



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

PAAVO OJAVALLI
RELEKOESTUKSISSA KÄYTETTÄVÄ
KYTKINLAITESIMULAATTORI
Diplomityö

Tarkastaja: professori Pekka Verho
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Tieto- ja sähkötekniikan tiedekunta-
neuvoston kokouksessa 5. lokakuu-
ta 2011

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Sähkötekniikan koulutusohjelma

OJAVALLI, PAAVO: Relekoestuksissa käytettävä kytkinlaitesimulaattori

Diplomityö, 57 sivua, 1 liitesivu

Marraskuu 2011

Pääaine: Sähköverkot ja -markkinat

Tarkastaja: professori Pekka Verho

Avainsanat: sähköasema, suojarele, relekoestus, rekonfigurointi, IEC 61850, GOOSE

Sähkövoimajärjestelmän relesuojaus on erittäin merkittävä koko voimajärjestelmän luotettavan ja turvallisen käytön varmistamisessa. Suojausjärjestelmän on oltava jatkuvasti toiminnassa ja valmiina erottamaan vikaantuneet verkon osat. Jotta voidaan olla varmoja relesuojaukselle asetettavien vaatimusten täyttymisestä, suoritetaan relesuojausjärjestelmälle koestuksia, joissa simuloidaan erilaisia vikatapauksia ja näin varmistetaan suojausjärjestelmän oikea toiminta. Johtuen siirtoverkon relesuojauksen monimutkaisuudesta ja toiminnan kriittisyydestä, pitää järjestelmille suoritettavien koestusten olla mahdollisimman kattavia ja luotettavia. Tämän vuoksi relekoestuksista tulee usein monimutkaisia ja aikaa vieviä, koska on otettava huomioon useita erilaisia verkon vikatapauksia sekä kytkentätilanteita.

Tämän diplomityön tavoitteena oli toteuttaa laite, jolla pystyttäisiin simuloimaan katkaisijoita ja koestettavaa kytkinlaitekenttää. Laitteesta toivotaan olevan hyötyä relekaapeille suoritettavissa tehdas- ja käyttöönottokoestuksissa. Diplomityön teoriaosuudessa käydään läpi sähköasemien kiskojärjestelmiä, ensiö- ja toisiolaitteita sekä voimajärjestelmän suojausta ja sen koestamista. Työn käytännön osuudessa toteutettiin relekoestuksessa käytettävä kytkinlaitesimulaattori käyttäen nykyaikaista ohjelmoitavaa suojarelettä. Releelle laadittiin erilaisiin koestuksiin soveltuvia konfiguraatioita, joilla voidaan simuloida relekoestuksen aikana kyseistä kytkinlaitekenttää ja suojausjärjestelmän toimintaan liittyviä signaaleja. Simulaattorin toteutuksessa käytettiin hyväksi IEC 61850-väylästandardissa määriteltyjä GOOSE-viestejä, joilla pystytään koestusten yhteydessä toteuttamaan binäärisiä sisään- ja ulostuloja simulaattorin sekä koestuslaitteen välillä ilman erillistä johdotusta. Ohjelmoitavan suojareleen käyttö mahdollistaa simulaattorin soveltamisen monissa erilaisissa koestustilanteissa, koska laitteen toimintalogiikka voidaan muuttaa melko nopeasti. Laitteelle on mahdollista laatia jatkossa aivan uudenlaisia konfiguraatioita, jolloin samaa laitetta on mahdollista hyödyntää tulevaisuudessa vastaan tulevissa uudenlaisissa koestustilanteissa.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Electrical Engineering

OJAVALLI, PAAVO: Feeder bay simulator device for relay testing

Master of Science Thesis, 57 pages, 1 Appendix page

November 2011

Major: Power Systems and Electricity Market

Examiner: Professor Pekka Verho

Keywords: Electrical substation, protection relay, relay testing, relay configuration, IEC 61850, GOOSE

Relay protection has a significant role in securing a power system's safe and reliable operation. A protection system must always be in operation and ready to clear any fault that might occur in the power system. To make sure that protective relays can fulfill these requirements, their operation has to be tested thoroughly. Testing is done by simulating different power system faults and observing the performance of the protection system. In transmission networks the protection system is a very complex and critical component and therefore the tests have to cover the whole operation of the system and be very reliable. This means that the testing often becomes very complex and time-consuming because there are so many different fault and switching situations to be taken into account.

The main objective of this M. Sc. thesis work was to implement a device that could be used in relay testing to simulate circuit breakers and the switchyard of the tested bay. The device would be used in substation relay cubicle testing during factory and site acceptance tests. The theoretical part of this thesis work covers busbar layouts of substations, primary and secondary devices, protection of power systems and protection system testing. The practical part of the work consisted of implementing and testing the simulator device. The most suitable device to be used was determined to be a modern feeder manager protection relay. A big part of the work was to create different configurations for the relay so that it would be possible to simulate a substation bay in different testing situations. The simulator utilizes also GOOSE messages that are defined in the IEC 61850 standard. They can be used to make input and output connections between the simulator and a testing device without real wiring. Using a configurable protection relay as a simulator device enables many different testing applications, because changing the operation of the device is pretty simple. It is possible to make different configurations for the device and depending on the testing situation the required one will be used. The configurations can also be changed afterwards, which makes it possible to use the simulator for many other purposes that might come up in the future.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Empower Oy:n Siirtoverkkoprojektit-divisioonassa. Työn tarkastajana on toiminut Tampereen teknillisen yliopiston Sähköenergiatekniikan laitoksen professori Pekka Verho. Työn ohjaajina ovat toimineet Empower Oy:ltä dipl.ins. Petri Koski ja tekn. lis. Enn Kukk. Haluan kiittää heitä kaikkia työhön liittyneistä neuvoista.

Suuret kiitokset menevät myös perheelleni suuresta tuesta ja kannustuksesta, jota olen saanut koko opiskelujeni ajan.

Turussa 18.11.2011

Paavo Ojavalli

SISÄLLYS

1.	Johdanto	1
2.	Sähköasemat.....	3
2.1.	Kiskojärjestelmät.....	3
2.1.1.	Yksikisko	4
2.1.2.	Kisko-apukisko	5
2.1.3.	Kaksoiskisko	5
2.1.4.	Kaksoiskisko-apukisko	6
2.1.5.	Duplex	7
2.2.	Ensiölaitteet.....	8
2.2.1.	Muuntajat	9
2.2.2.	Katkaisijat	10
2.2.3.	Eroittimet ja maadoituskytkimet	12
2.2.4.	Mittamuuntajat	12
2.3.	Toisiojärjestelmä.....	16
2.3.1.	Suojareleet.....	17
2.3.2.	Apusähköjärjestelmä.....	19
2.3.3.	Sähköasema-automaatio.....	20
3.	Sähköverkon suojaus.....	23
3.1.	400 kV:n johtojen suojausperiaatteet	24
3.2.	110 kV:n johtojen suojausperiaatteet	25
3.3.	Muuntajien suojausperiaatteet.....	26
3.4.	Jälleenkytkennät ja tahdissaolon valvonta	28
3.5.	Kisko- ja katkaisijavikasuojaus.....	29
4.	Koestukset.....	31
4.1.	Relekaappien vastaanottokoestukset (FAT).....	31
4.2.	Sähköasemien käyttöönottoestukset (SAT)	32
4.3.	Releiden kausikoestukset	33
4.4.	Koestustoimenpiteet ja käytettävät laitteet.....	34
5.	Kytinlaitesimulaattorin ominaisuuksien määrittely	37
5.1.	Käytössä oleva vanha simulaattori.....	38
5.2.	Sopivan laitteen valinta.....	39
5.2.1.	Simulaattorin apujännite	40
5.2.2.	Liitännät	40
5.2.3.	IEC 61850 -tiedonsiirtoprotokollan hyödyntäminen	42
6.	Laitteen konfigurointi ja toteutus	43
6.1.	Valitun releen konfigurointityökalut.....	43
6.2.	Sopivien konfiguraatioiden laatiminen	44
6.3.	GOOSE-viestien konfigurointi	47
6.4.	Simulaattorin fyysinen toteutus	50
7.	Testaaminen ja hyödyn arviointi.....	52

7.1 Käyttökokemuksia.....	52
7.2 Hyödyn arviointi ja jatkokehittäminen.....	54
8. Yhteenveto	56
Lähteet.....	57
Liite 1: Simulaattorin liitântäkuva	

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

AJK	Aikajälleenkytkentä
CID	Configured IED Description
FAT	Factory Acceptance Test. Tehdastesti, joka suoritetaan ennen relekaapin toimitusta sähköasemalle.
GOOSE	Generic object oriented substation event. IEC 61850 -standardissa määritelty pikaviesti reaaliaikakriittisen tiedon siirtoon.
IEC 61850	Tietoliikenneverkot ja -järjestelmät sähköasemalla -standardi
IP	Internet protocol
PJK	Pikajälleenkytkentä
RTU	Remote terminal unit. Kaukokäytön ala-asema.
SAT	Site Acceptance Test. Käyttöönottokeustus, joka suoritetaan uudelle asennukselle ennen sen käyttöönottoa.
SCD	Substation Configuration Description.
SF ₆	Rikkiheksafluoridi. Eristyskaasu, jota käytetään katkaisijoissa ja kaasueristeisissä kojeistoissa.
SOTF	Switch on to fault. Vikaa vasten kytkentä, jolloin katkaisijaa kiinni kytkettäessä seuraa hidastamaton laukaisu.

1 JOHDANTO

Sähkövoimajärjestelmä kuuluu nykyaikaisen yhteiskunnan kriittisimpiin järjestelmiin. Vaikka voimajärjestelmä suunnitellaankin huolellisesti ja monet asiat otetaan erittäin tarkasti huomioon, ilmenee järjestelmässä silti ajoittain vikoja. Vikoihin on varauduttava riittävällä suojausjärjestelmällä, joka pystyy erottamaan vikaantuneet verkon osat riittävän nopeasti ja selektiivisesti. Ilman toimivaa suojausjärjestelmää syntyneet viat saattaisivat levitä voimajärjestelmässä, mikä saattaisi vaarantaa koko järjestelmän stabiiliuden ja johtaa erittäin laajaan ja pitkäkestoiseen sähkönjakelun suurhäiriöön. Suojausjärjestelmän kriittisyys koko järjestelmän luotettavuuden kannalta asettaa sen erityisen tärkeään asemaan, minkä vuoksi sen suunnitteluun ja toimintaan pitää kiinnittää erityisen suurta huomiota.

Verkon suojausjärjestelmä on hyvin monimutkainen kokonaisuus, joten siihen liittyvien laitteiden suunnittelu, konfigurointi ja asennus on tehtävä hyvin tarkasti. Oleellisen osan järjestelmän kelpoisuuden toteutamisesta muodostavat uusille asennuksille suoritettavat koestukset ennen niiden käyttöönottoa. Koestuksiin sisältyvät niin yksittäisille laitteille ja asennuksille tehtävät tarkastukset ja mittaukset kuin suojareleille suoritettavat kattavat koestukset. Koestuksissa tärkeimpänä tehtävänä on varmistua, että suojausjärjestelmä toimii kokonaisuutena siten kuin on suunniteltu. Järjestelmän monimutkaisuudesta johtuen koestusten suorittamiseen kuluu usein runsaasti aikaa.

Tämä diplomityö on tehty Empower Oy:n Siirtoverkkoprojektit-divisioonaan. Työn tavoitteena on saada aikaan laite, jolla pystyttäisiin simuloimaan koestettavaa kytkinlaitetekenttää. Joidenkin koestusten yhteydessä järjestelmään liittyvien tietojen simuloiminen on välttämätöntä työn suorittamiseksi. Simulaattorin käytön tavoitteena on, että sitä hyödyntämällä voitaisiin suorittaa relekaapeille tehtävät tehdastestit ja sähköasemalla suoritettavat käyttöönotto-koestukset. Hyvin onnistuneella simulaattorin toteuttamisella on mahdollista saada yksinkertaistettua ja nopeutettua koestusten suorittamista. Lisäksi sähköasemalla suoritettavien koestusten yhteydessä pystyttäisiin simulaattoria käyttämällä vähentämään oikealta katkaisijalta vaadittavien toimintakertojen määrää. Simulaattorista toivottaisiin siis olevan hyötyä tuleviin sähköasemaprojekteihin liittyvissä koestuksissa ja käyttöönotoissa. Hyödyntämällä IEC 61850-tiedonsiirtoprotokollan GOOSE-viestejä, saadaan simulaattoriin sisällytettyä mielenkiintoisia lisäominaisuuksia, kuten mahdollisuus sisään- ja ulostulojen toteuttamiseen ilman erillistä johdotusta koestuslaitteelle.

Työn alkupuolen teoriaosuudessa perehdytään sähköasemien laitteisiin ja järjestelmiin sekä verkon suojaukseen. Lisäksi perehdytään järjestelmille ja suojareleille suoritettaviin koestuksiin. Työn käytännön osuuteen kuului simulaattorin toteutustavan

valinta, sen ominaisuuksien määrittely, sopivien konfiguraatioiden laatiminen ja testaus. Työn loppupuolella käsitellään toteutuksen onnistumista, simulaattorin käyttömahdollisuuksia ja jatkokehitysmahdollisuuksia.

2 SÄHKÖASEMAT

Sähköasemat ovat erittäin keskeisiä koko sähkövoimajärjestelmän toiminnalle. Niillä suoritetaan muunto eri jännitteisten verkon osien välillä. Niille on myös keskitetty suurin osa voimajärjestelmän suojauksesta, ohjauksesta ja mittauksesta. Suomen kantaverkkoon kuuluvia, Fingrid Oyj:n omistamia, sähköasemia on hieman yli sata, mutta näiden lisäksi jakelu- ja alueverkkoyhtiöiden omistuksessa olevien, vähintään 110 kV:n sähköasemien lukumäärä on Energiamarkkinaviraston tilastojen mukaan hieman yli 800. [1] [2]

Sähköasemat ovat keskenään hyvinkin erilaisia riippuen niiden tehtävistä ja sijainnista verkossa. Sähkö- tai kytkinasema -nimikkeen alle sopivat sekä koko voimajärjestelmän kannalta kriittiset 400 kV:n solmupisteasemat että 400/110 kV:n alueverkkoa syöttävät muuntoasemat. Lisäksi on hyvin laaja kirjo erikokoisia ja eri periaatteilla rakennettuja 110/20 kV:n sähköasemia, jotka taas ovat paikallisesti tärkeässä asemassa, vastaten keskijänniteverkon syöttämisestä ja suojauksesta. Usein käytetään kytkinasema-termiä kuvaamaan sähköasemaa, jolla ei sijaitse muuntajaa vaan, joka sisältää mahdollisuuden kytkentöjen suorittamiseen.

Tämän työn teoriaosuudessa keskitytään lähinnä siirtojännitetason sähköasemiin, niillä käytettäviin laitteisiin, suojausperiaatteisiin ja relekoestuksiin. Tämä valinta on tehty lähinnä siitä syystä, että työn käytännön osuudessa toteutettavaa kytkinlaitesimulaattoria tarvitaan todennäköisimmin juuri siirtoverkon sähköasemiin liittyvien järjestelmien koestuksissa. Keskijänniteverkon asemilla suojausjärjestelmän toiminta on siinä määrin yksinkertaisempaa, että koestusten suorittaminen ei yleensä vaadi itse koestuslaitteen lisäksi kovinkaan monimutkaisia apuvälineitä. Siirtoverkkoon liittyvien suojausten koestamisessa sen sijaan tulee usein tarve simuloida tiettyjä koestettavaan kytkinlaitetekenttään liittyviä tietoja ja monimutkaisia toimintasekvenssejä, jolloin tällaisen erillisen laitteen toteuttaminen on perusteltua.

Suhteellisen pienikin sähköasema sisältää suuren määrän erilaisia laitteita ja järjestelmiä, minkä vuoksi koestuksiin liittyvä tehtäväkenttä on erittäin laaja. Sähköasemiin liittyvät työtehtävät vaativat monenlaista osaamista niin suunnittelussa ja asennuksissa kuin käyttö- ja koestustehtävissä toimivilta ihmisiltä. Järjestelmien kriittisyys asettaa suuret vaatimukset laitteiden toiminnan luotettavuudelle, joten järjestelmät on suunniteltava, rakennettava ja koestettava erittäin huolellisesti.

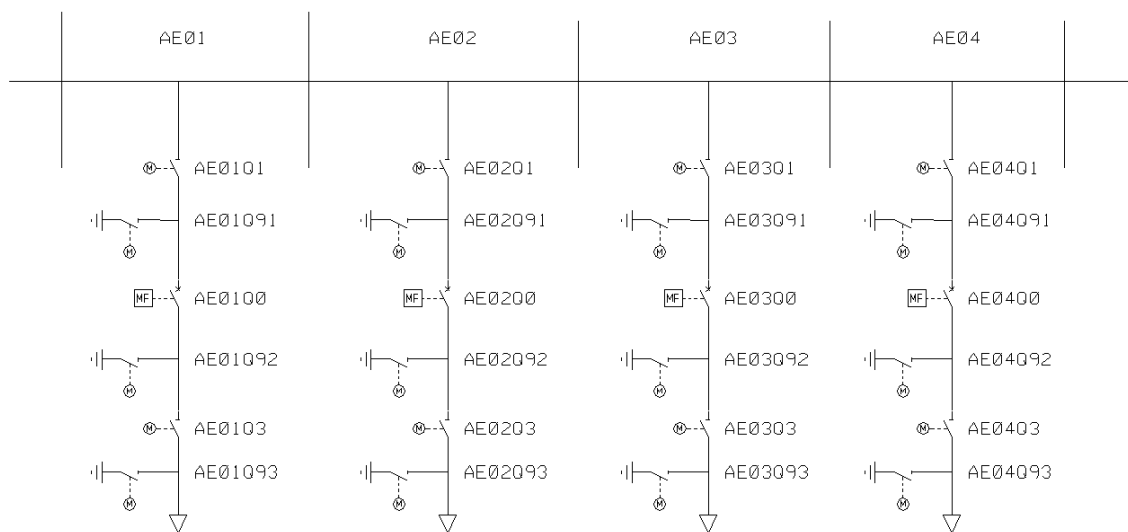
2.1 Kiskojärjestelmät

Kokoojakiskojärjestelmän valinta kuuluu sähköaseman yleissuunnitteluun. Sähköasemalla käytettävällä kiskojärjestelmällä on erittäin suuri merkitys sähköaseman käyttö-

varmuuteen, käytettävyyteen ja sähköaseman kustannuksiin. Sovellettava kiskojärjestelmä vaikuttaa myös suojauksen toteuttamiseen. Tässä käsitellään Suomessa yleisesti käytettyjä kiskoratkaisuja, joita ovat yksikisko-, kisko-apukisko-, kaksoiskisko-, kaksoiskisko-apukisko- ja duplex-järjestelmät. Pienillä keskijänniteverkkoa syöttävillä sähköasemilla nimenomaista kokoojakiskoa ei yläjännitepuolella välttämättä tarvita vaan kiskon korvaa ainoastaan sähköasemaa syöttävä johto. Maailmalla on siirtojännitteillä yleisessä käytössä myös 1½-katkaisija- ja rengaskiskojärjestelmiä, joita ei Suomessa kuitenkaan ole juuri sovellettu.

2.1.1 Yksikisko

Yksikiskojärjestelmä on varsinaisista kokoojakiskojärjestelmistä yksinkertaisin ja käyttövarmuudeltaan heikoin. Tässä järjestelmässä kaikki johdot ja muuntajat liittyvät yhteen ja samaan pääkiskoon. Huolloltaan ja käytettävyydeltään yksikiskojärjestelmä on rajoittunut, koska esimerkiksi katkaisijahuolto vaatii kyseiselle johdolle keskeytyksen. Lisäksi kiskovika tai kiskon huoltaminen aiheuttaa koko aseman tekemisen jännitteettömäksi. Tällaista järjestelmää voidaan käyttää pienillä sähköasemilla, joilla ei ole erityisiä vaatimuksia käyttövarmuutta tai kuormien ryhmittelyä varten. Yksikiskojärjestelmän huolto- ja käyttömahdollisuuksia voidaan hieman parantaa lisäämällä kiskoon pitkittäiskatkaisumahdollisuus, jolla kisko voidaan jakaa kahteen osaan. [3, s. 102 - 103]

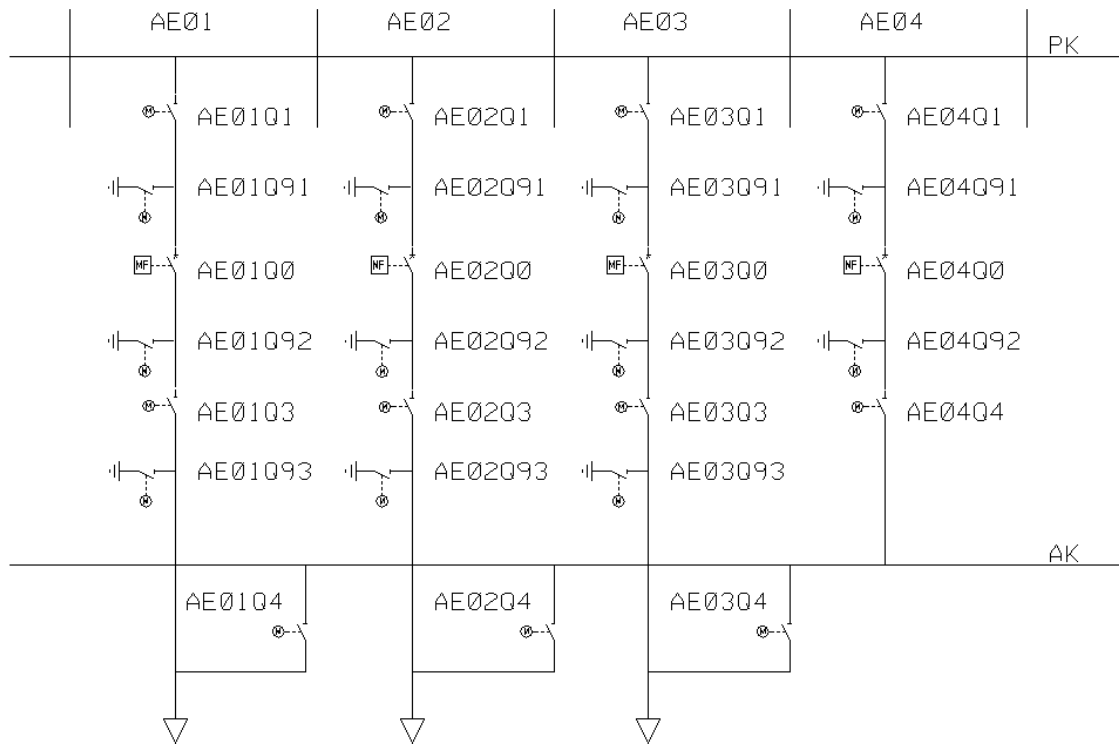


Kuva 1. Esimerkki yksikiskojärjestelmästä.

Kuvassa 1 on yksinkertaistettu periaatekuva yksikiskojärjestelmän pääkaaviosta, johon liittyy neljä johtoa. Kuvaan on merkitty kentätunnukset AE01...AE04 ja näiden kenttien kytkinlaitteet. Q0 tarkoittaa katkaisijaa, Q1 kiskoerotinta, Q3 linjaerotinta ja Q91...Q93 maadoituskytkimiä.

2.1.2 Kisko-apukisko

Kisko-apukiskojärjestelmässä kaikki johdot ja muuntajat liittyvät samaan pääkiskoon, mutta kukin katkaisija pystytään korvaamaan yhdistämällä kiskot kiskokatkaisijan (AE04Q0) kautta ja kytkemällä johto erottimella (Q4) apukiskoon. Tämän jälkeen voidaan avata johtolähdön oma katkaisija (Q0) ja erottaa se molemmista suunnista kisko- (Q1) ja linjaerottimien (Q3) avulla. Kytkenästä ei siis aiheudu lainkaan johtokeskeytystä, ja tämän korvauskytkennän aikana voidaan tehdä korvatun katkaisijan tarvitsemat huoltotoimet. Vaikka apukisko mahdollistaa aseman huomattavasti joustavamman käytön, se ei kuitenkaan paranna käyttövarmuutta mahdollisessa kiskoviassa, sillä pääkiskossa oleva vika aiheuttaa keskeytyksen kaikilla asemalta lähtevillä johdoilla. Yksittäisten laitteiden kuten katkaisijan tai virtamuuntajan hajotessa järjestelmä kuitenkin mahdollistaa käytön jatkumisen kytkentöjen suorittamisen jälkeen. [3, s. 102 - 104]



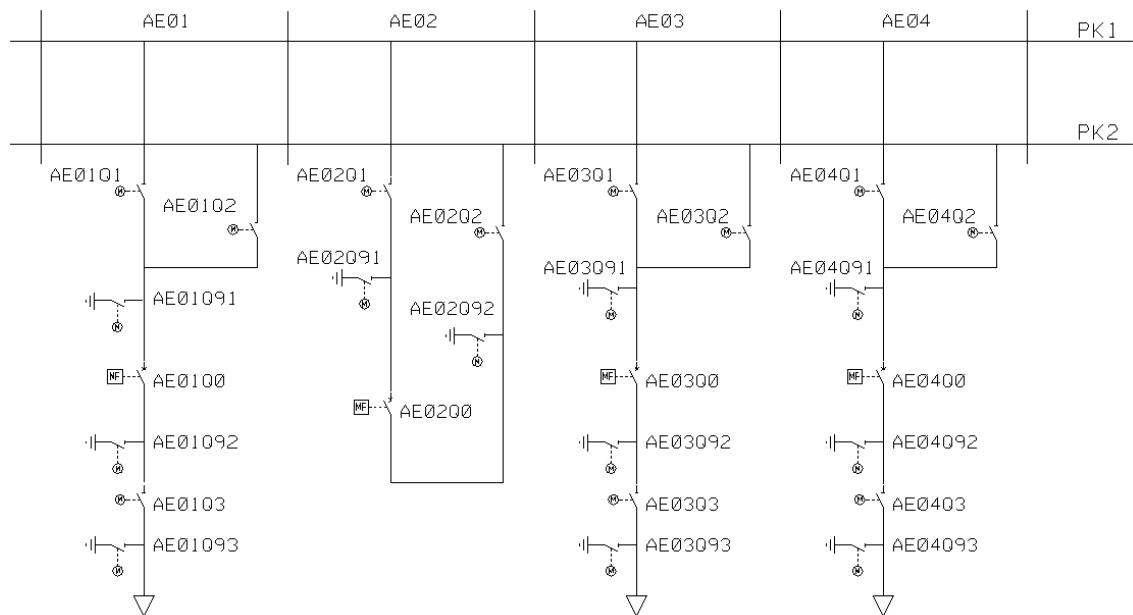
Kuva 2. Kisko-apukiskojärjestelmän periaatteellinen pääkaavio.

Kuvassa 2 on esitetty kolme johtolähtöä sisältävän kisko-apukiskojärjestelmän periaatteellinen pääkaavio. Kenttä AE04 on kiskokatkaisija.

2.1.3 Kaksoiskisko

Kun käytössä on kaksi pääkiskoa, voidaan sähköasemaan liittyviä johtoja ja muuntajia ryhmitellä halutulla tavalla käytön aikana. Syinä kuormien jakamiseen eri kiskoille voivat olla esimerkiksi oikosulkutehojen rajoittaminen tai vaihtelevasti käyttäytyvien teollisuuskuormien erottaminen muusta kuormituksesta. Lisäksi kaksoiskiskojärjestelmä mahdollistaa toisen kiskon jännitteettömäksi tekemisen huoltoa varten.

Kaksoiskiskojärjestelmässä käytössä on yksi katkaisija (Q0) ja molemmille kiskoille omat kiskoerottimet (Q1 ja Q2). Lisäksi katkaisijan toisella puolella on linjaerotin (Q3). Mikäli järjestelmässä halutaan tehdä katkaisijahuoltoja ilman käytön keskeytymistä tai mittamuuntajavaurion aiheuttaman keskeytyksen tulee olla lyhyt, voidaan järjestelmään asentaa myös katkaisijoiden ohikytkennän mahdollistavat erottimet. Tällöin siis katkaisija korvataan kiskokatkaisijalla, jolloin käyttö muistuttaa kiskoapukiskojärjestelmää ja suojaus säilyy selektiivisenä katkaisijan korvauksesta huolimatta. Kiskokatkaisijaa käytetään myös katkaisijavikasuojana, eli se varmentaa muita katkaisijoita. Lisäksi sillä voidaan erottaa kiskot heti vian syntyessä, mikä voi tulla kyseeseen, jos johtolähtöjen katkaisijoiden katkaisukyky on heikompi. [3, s.103 - 105]



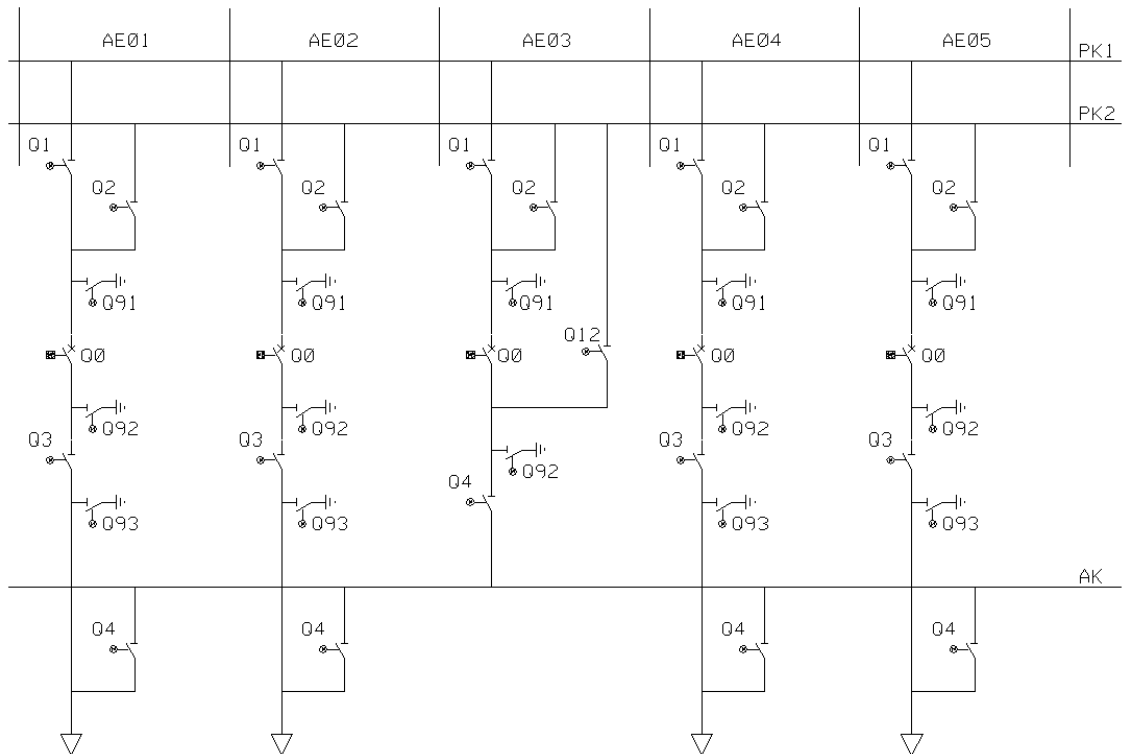
Kuva 3. Kaksoiskiskojärjestelmän pääkaavio. Kenttä AE02 on kiskokatkaisija.

Kuvassa 3 on esitetty kaksoiskiskojärjestelmän periaatekaavio. Kaaviossa on kolme lähtökenttää ja kiskokatkaisijakenttä.

2.1.4 Kaksoiskisko-apukisko

Kaksoiskisko-apukiskojärjestelmässä on kaksi pääkiskoa, joihin liitytään omilla kiskoerottimilla (Q1 ja Q2) sekä yhteisellä katkaisijalla (Q0). Katkaisija voidaan ohittaa apukiskon kautta kytkemällä lähtö apukiskolle erottimella (Q4) ja käyttämällä kiskokatkaisijaa (AE03Q0). Järjestelmä mahdollistaa siis hieman laajemmat kytkentävaihtoehdot kuin kaksoiskiskojärjestelmä. Järjestelmässä voidaan esimerkiksi tehdä toinen pääkisko ja apukisko samaan aikaan jännitteettömäksi. Lisäksi voidaan väliaikaisesti syöttää kahta lähtöä yhden katkaisijan kautta tai lähdöt voidaan kytkeä yhteen muun laitoksen ohi. Järjestelmä on suhteellisen kallis laitteiden suuren lukumäärän vuoksi, joten sitä käytetään lähinnä tärkeillä 110 kV:n asemilla. Kaksoiskisko-apukiskojärjestelmiä on aikaisemmin rakennettu paljon myös 400 kV:n asemilla, mutta näitä on viime aikoina korvattu duplex-järjestelmillä paremman käyttövarmuuden vuoksi. Kaksoiskisko-

apukiskojärjestelmässä kiskovika aiheuttaa vioittuneeseen kiskoon kytketyille kuormille kytkentäajan mittaisen keskeytyksen, jonka aikana kuormat siirretään kunnossa olevalle kiskolle. [3, s.103 - 105]



Kuva 4. Kaksoiskisko-apukisko-järjestelmän pääkaavio. Kenttä AE03 on kiskokatkaisija.

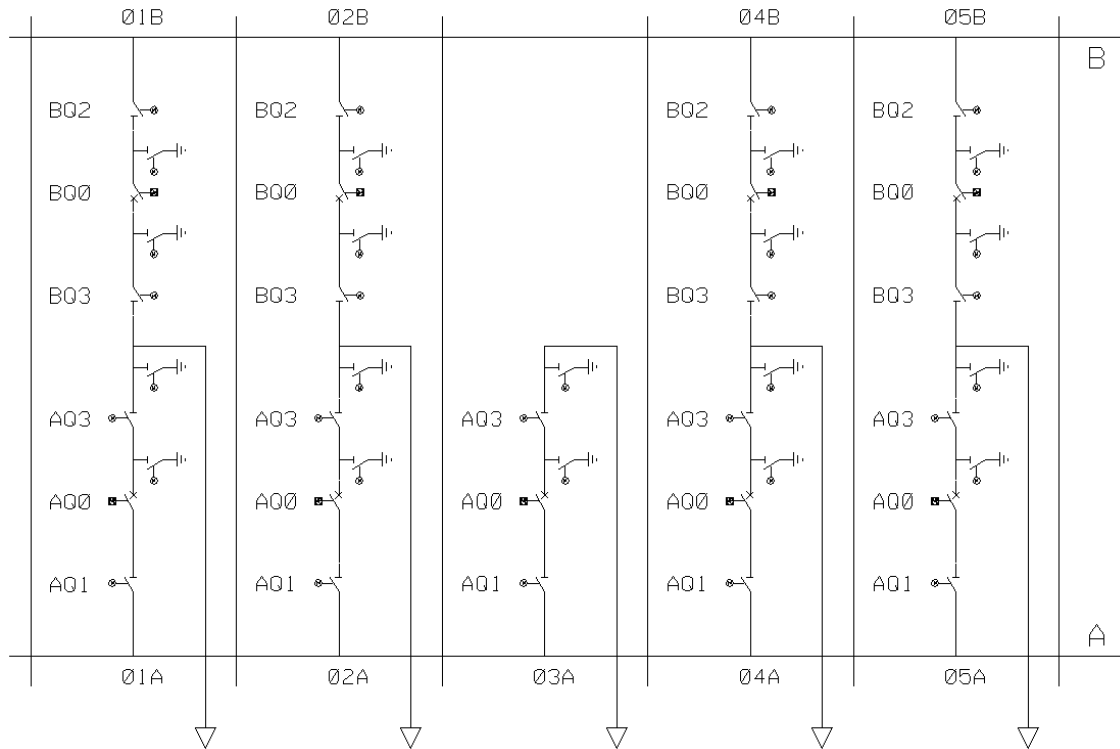
Kuvassa 4 on esitetty kaksoiskisko-apukiskojärjestelmän periaatteellinen pääkaavio. Järjestelmässä on neljä lähtökenttää ja kiskokatkaisijakenttä.

2.1.5 Duplex

Duplex-järjestelmässä (kaksikatkaisijajärjestelmässä) on kaksi pääkiskoa, joihin molempiin liitytään katkaisijalla (AQ0 ja BQ0). Järjestelmä on käyttövarmuudeltaan hyvä, koska kiskovian vuoksi ainoastaan vioittuneeseen kiskoon liittyvät katkaisijat laukaistaan. Kaikki johdot siis jäävät edelleen verkkoon toisen kiskon kautta. Hyvän käyttövarmuuden vuoksi duplex-järjestelmä on käytössä useilla tärkeillä 400 kV:n sähköasemilla. 1960- ja 1970-luvuilla rakennettujen sähköasemien kaksoiskisko- tai kaksoiskisko-apukiskojärjestelmiä on viime aikoina korvattu duplex-järjestelmillä, mikä on osaltaan johtanut siihen, että 400 kV:n aseman kiskovika ei enää ole ollut voimajärjestelmän mitoittava vika. [4, s. 275]

Duplex-järjestelmän suojausten ja ohjauksen toteuttaminen on tietyllä tapaa yksinkertaisempaa ja selväpiirteisempää kuin esimerkiksi kaksoiskisko-apukiskojärjestelmässä. Tämä johtuu juuri kiskokatkaisijan ja apukiskon puuttumisesta. Duplex-järjestelmää voi tavallaan ajatella kuin kahtena erillisenä yksikiskokenttänä. Myös kiskosuojausten toteuttaminen on yksinkertaisempaa siten, että molemmilla kis-

koilla on oma erillinen kiskosuojansa. Huono puoli duplex-järjestelmässä on melko kallis hinta, koska jokainen lähtö vaatii kahdet katkaisijat ja virtamuuntajat. Hankintahintaa voidaan saada pienemmäksi käyttämällä esimerkiksi erottavia katkaisijoita, jolloin kiskoerottimista voidaan luopua. Muita säästämahdollisuuksia ovat esimerkiksi kisko- tai johtojännitemuuntajat sekä mahdollisuus virtamuuntajien sijoittamiseksi johdon puolelle. Nämä vaativat kuitenkin aseman käytettävyyden ja käyttövarmuuden tarkkaa miettimistä. Melko yleiseksi on tullut ns. 1/2-duplex-kenttien käyttö muuntajien liittämiseen. Tällöin siis muuntaja kytketään ainoastaan toiseen pääkiskoon. [3, s.102 – 110]



Kuva 5. Duplex-järjestelmän pääkaavio.

Kuvassa 5 on esitetty duplex-järjestelmän periaatteellinen pääkaavio, jossa on viisi kenttää. Pääkiskot on merkitty A ja B kiskoiksi. Kenttä 03 on toteutettu 1/2-duplexina.

2.2 Ensiölaitteet

Ensiölaitteet ovat fyysisesti kiinni jännitteisissä osissa ja niiden läpi virtaa tehoa. Sähköasemien ensiölaiteisiin kohdistuu jatkuvasti suuria jännite- ja virtarasituksia, mistä johtuen niiden suunnittelu ja mitoitus ovat haastavia tehtäviä. Sähköisten rasitusten lisäksi ensiölaitteet ovat alttiina muuttuville sääolosuhteille. Laitteiden mitoituksessa on normaalien käyttöolosuhteiden lisäksi otettava huomioon vikatilanteet, joiden aikana laitteisiin kohdistuvat sähköiset ja mekaaniset rasitukset voivat olla moninkertaisia normaaliin nähden. Tässä työssä keskitytään lähinnä ensiölaitteiden toimintaan verkon osana, eli laitteiden tarkkoja toimintaperiaatteita ja rakenteiden yksityiskohtia ei käsitellä.

2.2.1 Muuntajat

Tehomuuntajat ovat perusedellytys koko sähkönsiirrolle, koska ne mahdollistavat tehon siirtämisen eri jännitetasoilla. Tämä mahdollistaa sähkönsiirron pitkällä etäisyyksillä suurella jännitteellä, mikä pitää verkon tehohäviöt kohtuullisina. Muuntajissa teho siirtyy eri jännitetasojen välillä sähkömagneettisen induktion välityksellä eli eri jännitetasot ovat galvaanisesti erossa toisistaan. [4, s. 54]

Muuntajan päätehtävän eli jännitetason muuttamisen suorittavat rautasydän ja käämitykset. Rautasydän muodostaa suljetun magneettipiirin, jonka ympärille käämitykset käämitään. Siirtoverkon muuntajat varustetaan käämikytkimellä, mikä mahdollistaa muuntajan muuntosuhteen muuttamisen kuormituksen aikana ja näin ollen verkon jännitteensäädön. Perinteisten muuntajien eristysaineina toimivat paperi ja prespaani sekä muuntajaöljy. Öljyn tehtävänä on eristämisen lisäksi toimia myös jäähdytysväliaineena. Öljyä jäähdytetään johtamalla se muuntaja-astian ulkopuolisiin radiaattoreihin, jotka tehostavat lämmön johtamista öljystä ulkoilmaan. Tarvittaessa jäähdytystä voidaan tehostaa puhaltamalla ilmaa radiaattoreiden lamellien väliin. Muuntajiin on myös asennettu öljyn paisuntasäiliö, koska öljyn tilavuus muuttuu lämpötilan mukaan. Jakelumuuntajina voidaan käyttää myös ns. kuivamuuntajia, joissa öljyn sijasta eristeenä on käytetty hartseja ja jäähdytysväliaineena toimii ilma. [5, s. 43 - 50]

Suurin osa Suomen kantaverkon tehomuuntajista on $400 \pm 6 \times 1,33 \% / 120 / 21$ kV:n kolmikäämimuuntajia. Kytkentäryhmä on yleensä YNyn0d11. Kytkentäryhmäkoodissa iso Y ja N kertovat, että 400 kV:n käämi on kytketty tähteen ja tähtipiste on esillä muuntajan kannella. Pieni y ja n sekä numero nolla ilmoittavat 110 kV:n käämin tähtikytkennän, tähtipisteen tuonnin kannelle sekä sen, että 400 ja 110 kV:n vaihejännitteiden välillä ei ole muuntajasta aiheutuvaa vaihe-eroa. Viimeisenä oleva d11 kertoo, että 21 kV:n tertiäärikäämi on kytketty kolmioon ja vaihejännitteet ovat 30 astetta edellä 400 kV:n vaihejännitteitä. 21 kV:n tertiäärikäämiä käytetään hyväksi verkon loistehotasapainon ylläpitämisessä. Tertiääriin kytketään reaktoreita, joilla kompensoidaan 400 kV:n johtojen tuottamaa loistehoa.

400 ja 110 kV:n tähtipisteiden tuominen muuntajan kannelle mahdollistaa niiden maadoittamisen halutulla tavalla. Tähtipisteen käsittelyllä pystytään vaikuttamaan verkon ominaisuuksiin ja käyttäytymiseen vikatilanteiden aikana. Maadoitustavalla on erityisen suuri merkitys verkon maasulkuvirtoihin ja maasulkusuojauksen toteuttamiseen. Suomen 400 ja 220 kV:n verkot on maadoitettu kaikilla sähköasemilla virranrajoituskuristimien kautta. Kuristimien mitoituksella voidaan vaikuttaa maasulkuvirtaan ja maasulun aikana esiintyviin ylijännitteisiin. Maasulkuvirran rajoittaminen kuristimilla tai jättämällä tähtipiste joissain kohdin maadoittamatta, kasvattaa maasulun aikaisia käyttötaajuisia ylijännitteitä terveissä vaiheissa, mikä on otettava huomioon verkon eristysmitoituksessa. Toisaalta maasulkuvirran ei haluta olevan tarpeettoman suuri, mutta sen pitää kuitenkin olla riittävä suojauksen toimimiseen. Suomen 400 ja 220 kV:n verkossa pyritään vian aikana esiintyvät vaihejännitteet pitämään alle 1,4-kertaisina terveeseen tilaan nähden, jolloin verkkoa kutsutaan tehollisesti maadoitetuksi. 110 kV:n verkkoa ei

maadoiteta joka paikasta, joten siinä maasulun aikaiset ylijännitteet ovat suurempia, mutta maasulkuvirrat jäävät pienemmiksi. Maasulkusuojauksen toteuttamisperiaatteita 400 ja 110 kV:n verkoissa on käsitelty luvuissa 3.1 ja 3.2. [3, s.141 - 149] [4, s. 210 - 215]

2.2.2 Katkaisijat

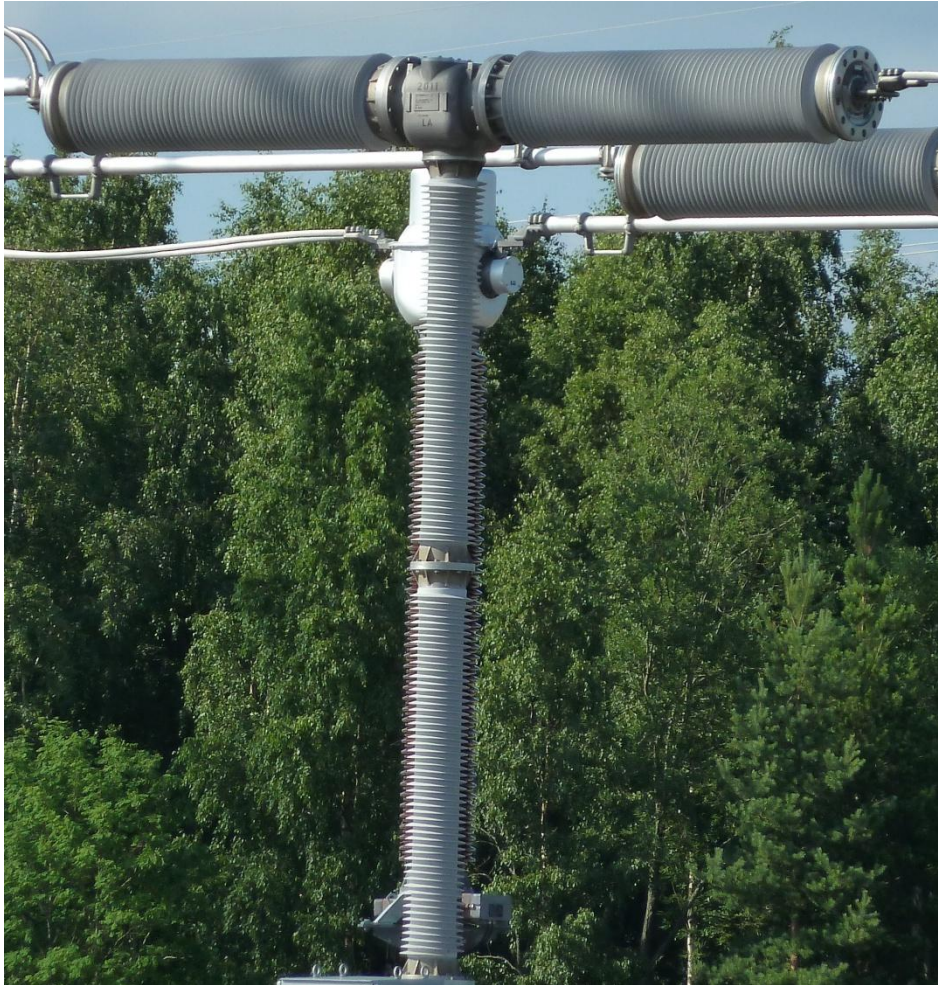
Katkaisijat ovat voimajärjestelmän tärkeimpiä kytkinlaitteita, jotka pystyvät kytkemään ja katkaisemaan niin normaalit kuormitus- kuin vikatilanteiden vikavirrat. Katkaisijoita ohjataan joko manuaalisesti halutun kytkentätilanteen aikaansaamiseksi tai sitten ne toimivat automaattisesti suojareleiden ohjaamina. Manuaalisia ohjauksia voidaan tehdä paikallisesti tai kauko-ohjauksella verkon käyttökeskuksesta.

Katkaisijoita on eri aikoina valmistettu useita eri tyyppisiä kuten: ilma-, öljy-, vähäöljy-, paineilma-, tyhjiö- ja SF₆-katkaisijat. Katkaisijatyypin kertoo katkaisukammiossa käytetyn väliaineen, jolla on tärkeä rooli katkaisutapahtumassa syntyvän valokaaren sammuttamisessa. Uusissa siirtojännitetaso asennuksissa SF₆-katkaisijat ovat ylivoimaisesti käytetyimpiä. Verkossa on kuitenkin käytössä vielä suuri joukko vanhempia vähäöljy- ja paineilmakatkaisijoita.

Vähäöljykatkaisijoita on käytetty pääasiassa 123 kV:n jännitteeseen asti. Mikäli vähäöljykatkaisijaa halutaan käyttää suuremmilla jännitteillä, tarvitaan useampia katkaisupäitä sarjassa. Vähäöljykatkaisijoissa on yleensä käytetty moottoriviritteisiä jousia katkaisuliikkeen aikaansaamiseksi. Itse katkaisu tapahtuu öljytäytteisessä sammutuskammiossa. Vähäöljykatkaisijoiden ero vanhoihin öljykatkaisijoihin on sammutuskammioiden toteuttaminen vaihekohtaisesti, mikä vähensi huomattavasti katkaisijan sisältämän öljyn määrää.

Paineilmakatkaisijoita on käytetty aina suurimpiin jännitteisiin asti. Niissä sekä katkaisijan ohjausliike, että valokaaren sammuttaminen suoritetaan paineilman avulla, joten katkaisijan käyttö edellyttää myös paineilmaverkostoa sähköasemalle. Katkaisupään ilmanpaine on noin 30 bar, ja katkaisutapahtuman aikana valokaarta jäähdytetään puhaltamalla katkaisupäähän paineilmaa. Paineilmakatkaisijalla, jossa on yksi katkaisupää, on päästy aina 72,5 kV:n jännitteeseen asti, mutta esimerkiksi 420 kV:n jännitteellä tarvitaan neljä katkaisupäätä. Melkoisesta kehityksestä katkaisijatekniikassa kertoo se, että uusissa SF₆-katkaisijoissa tarvitaan samalla jännitetasolla enää kaksi katkaisupäätä. [3, s.161 - 189]

SF₆-katkaisijoista on tullut siirtojännitteillä erittäin yleisesti käytettyjä, koska niistä on pystytty tekemään muita katkaisijoita pienempiä ja rakenteeltaan yksinkertaisempia. Tämä johtuu SF₆-kaasun hyvistä eristys- ja valokaaren jäähdytysominaisuuksista. Kuva 6 on uudehkosta SF₆-katkaisijasta otettu valokuva. Viime aikoina on yleistynyt ns. erottavien katkaisijoiden käyttö. Niissä yhdistetään sekä katkaisijan että erottimen toiminnot samaan katkaisukammioon. Käytännössä tämä tarkoittaa, että katkaisukammioista on tehty hieman isompi, jotta se täyttää erottimelta vaaditut jännitekestoisuudet. Erottavien katkaisijoiden käytöllä on pyritty vähentämään tarvittavien erottimien lukumäärää, jolloin sähköaseman huolto- ja vikakohteet vähenevät. [6, s. 29 - 39] [7, Ch. 10]



Kuva 6. 400 kV:n SF₆-katkaisija.

Katkaisijan tärkein ominaisuus on luotettava aukeaminen niin normaalin kuormitusvirran kuin vikatilanteen aikana. Laukaisumekanismi on toteutettu siten, että katkaisijan sulkeutuminen virittää samalla aukiohjaukseen käytettävän jousen. Tämä varmistaa sen, että katkaisija on aina valmiina avautumaan. Katkaisijan sulkeutumisen jälkeen pitää kiinniohjaukseen käytettävä jousi virittää uudelleen, ennen kuin seuraava kiinniohjaus voidaan suorittaa. Katkaisijan laukaisupiirit on usein toteutettu varmennettuna siten, että aukiohjaukseen käytetään kahta laukaisukelaa. Mikäli asemalla on käytössä kaksi akustoa, kytketään nämä erilliset laukaisupiirit eri akustojen syötettäviksi. Vikatilanteessa releen laukaisukosketin sulkee laukaisupiirin, mikä vapauttaa katkaisijan laukaisumekanismiin. Katkaisijan pääkoskettimien tilatiedot saadaan luotettavasti katkaisijan apukoskettimien kautta. Tilatietoja tarvitaan esimerkiksi kaukokäyttöön ja jälleenkytkentäreleelle. [8]

2.2.3 Erottimet ja maadoituskytkimet

Erottimia käytetään jännitteisten ja jännitteettömien verkon osien erottamiseen esimerkiksi huoltotöitä varten. Tärkeimmät erottimelta vaadittavat ominaisuudet ovat jatkuviin kuormitusvirtojen ja lyhytaikaisten vikavirtojen kesto sekä luotettava avautuminen ja

sulkeutuminen ohjattaessa. Suomessa on kiinnitettävä huomiota erottimien luotettavaan toimintaan myös talvisissa olosuhteissa. Koska erottimilla ei ole virran katkaisu- eikä kytkentäkykyä, niillä voidaan kytkeä vain tyhjäkäyviä, lyhyitä johtoja tai kiskoja. Peruserätyytenä on, että ensin avataan katkaisija, jonka jälkeen erottimella tehdään turvallinen ja näkyvä avausväli kahden verkon osan välille. Kiinnikytkeä suoritetaan vastakkaisessa järjestyksessä. Erottimet jaetaan toimintatapansa mukaan vaaka- ja pystysuunnassa liikkuviin. Liike suoritetaan lähes poikkeuksetta moottorihjattuna. Erottimien yhteydessä käytetään yleensä myös maadoituskytkimiä, joilla voidaan maadoittaa jännitteettömäksi tehty verkon osa turvallista työskentelyä varten. [3, s. 190 - 198]

Sähköasemien kytkinlaitteita ohjattaessa voi sattua virheohjauksia inhimillisten erehdysten vuoksi. Kytkinlaitteiden lukitusjärjestelmällä onkin merkittävä osa sähköaseman käyttöturvallisuuden varmistamisessa. Sen tarkoituksena on kytkinlaitteiden virheohjausten aiheuttamien vaaratilanteiden välttäminen. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi erottimen avaaminen virrallisena tai maadoituskytkimen sulkeminen jännitteistä verkon osaa vasten. Lukitukset on usein toteutettu sähköisesti siten, että kytkinlaitteen lukitusmagneetti estää ohjauksen, kun siltä puuttuu ohjaussähkö. Sähköisten lukitusten lisäksi käytössä on myös mekaanisesti toteutettuja lukituksia esimerkiksi samalle telineelle asennetun erottimen ja maadoituskytkimen välillä. Sähköaseman lukituslogiikka on suunniteltava sähköaseman topologian mukaan siten, että se mahdollisimman kattavasti ottaa huomioon ja estää kaikki virhetoiminnot. Suunnitteluvaiheessa laaditaan kullekin kytkinlaitteelle lukitusehdot, joiden on oltava voimassa ohjauksen sallimiseksi. [9, Ch. 4.3]

2.2.4 Mittamuuntajat

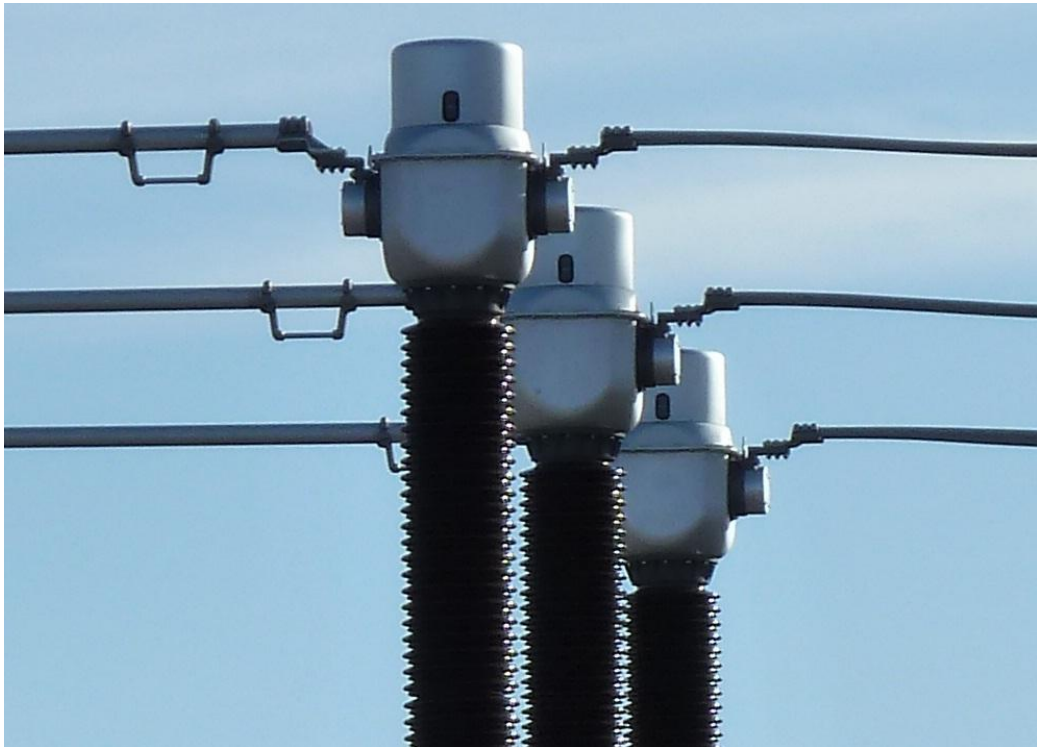
Virta- ja jännitemuuntajat ovat sähköverkon suojauksen kannalta erityisen tärkeässä asemassa. Niiden tehtävänä on muuttaa ensiöpuolen suuret virrat ja jännitteet suojareleille ja muille mittalaitteille sopiviksi. Ne siis eristävät ensiö- ja toisiopiirit toisistaan ja mahdollistavat releiden ja mittareiden sijoittamisen pois kohteen välittömästä läheisyydestä, kuten erilliseen sähköasemarakennukseen. Mittamuuntajien ansiosta pystytään toisiopiirien nimellisvirtoina ja -jännitteinä käyttämään standardoituja arvoja, huolimatta suuresta vaihtelusta ensiösuureiden arvoissa. [10, s. 16]

Ideaalitilanteessa ensiöpuolen arvo kopioituisi toisiopiiriin suoraan muuntosuhteen mukaan jolloin ainoastaan toisiovirran tai -jännitteen amplitudi muuttuisi. Tällöin siis muut ominaisuudet, kuten taajuus, aaltomuoto ja vaihe, vastaisivat täysin ensiöarvoja. Mittamuuntajien tuottamassa toisiopiirin virrassa tai jännitteessä on kuitenkin aina pientä virhettä, mikä voi aiheuttaa ongelmia suojaukselle. Virheet aiheutuvat mittamuuntajien tyhjäkäyntivirrasta ja käämitysten hajaimpedansseista. Virheen suuruus on riippuvainen myös ensiösuureen arvosta ja toisiopiirin kuormituksesta eli taakasta. [3, s. 198] Mittamuuntajien on pystyttävä toimimaan riittäväällä tarkkuudella myös verkon vikatilanteiden aikana, koska suojaus perustuu mittamuuntajien kautta saatuihin tietoihin. Erityisesti tämä näkyy vaatimuksina suojaukseen käytetyissä virtamuuntajissa, joiden pitää pystyä toistamaan suuret vikavirrat kyllästymättä.

Virtamuuntajat

Virran mittaaminen voimajärjestelmässä on haastavaa, koska normaalien kuormitusvirtojen ja vikavirtojen erot ovat hyvin suuria eli toisin sanoen tarvittava mittausalue on laaja. Tämän vuoksi eri käyttöön tarkoitetuilta virtamuuntajilta vaaditaan erilaisia ominaisuuksia. Virtamuuntajat jaetaan yleensä suojaus- ja mittaussvirtamuuntajiin. Sähköasemilla käytetään kuitenkin yleisesti monisydämiä virtamuuntajia, joiden rautasydämet ovat erilaisia. Samasta laitteesta saadaan siis virrat sekä suojuareille että energiamittareille.

Suojaussydän ei saa kyllästyä vian aikana, koska tämä vääristäisi releiden mittaamaa tietoa verkon tilanteesta ja saattaisi estää suojuareleen toimimisen. Suojaussydämen on siis oltava poikkipinnaltaan mittaussydäntä suurempi, jotta se pystyy tuottamaan riittävästi toisiovirtaa releen oikean toiminnan varmistamiseksi. Mittaussydän taas mitoitetaan siten, että normaaleilla kuormitusvirroilla sen mittaussvirheet ovat hyvin pienet, mutta ensiövirran kasvaessa sydän kyllästyy ja rajoittaa toisiovirtaa, mikä suojaa herkkiä mittalaitteita. [5, s. 87 - 98] Kuvassa 7 on valokuva 400 kV:n johtokentän virtamuuntajaryhmästä.



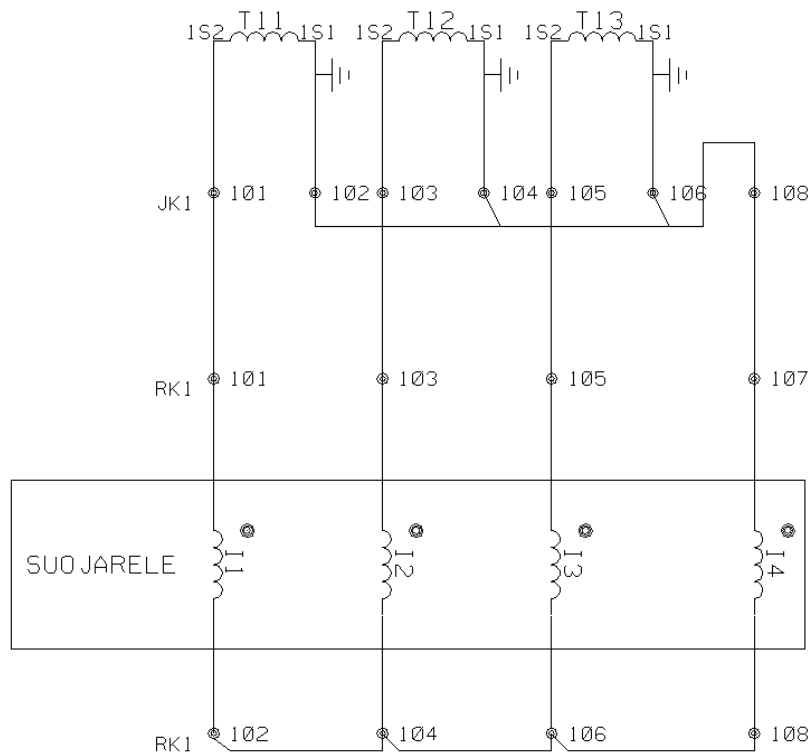
Kuva 7. Valokuva johtokentän virtamuuntajista.

Koestuksen kannalta virtamuuntajien tärkeimmät tunnettavat asiat ovat niiden ensiön ja toision nimellisvirrat eli muuntosuhde, napaisuudet ja toision tähtipisteen sijainti. Ensiön nimellisvirta on valittava siten, että normaalissa kuormitustilanteessa virtamuuntajat eivät ylikuormitu. Ensiövirran valinnassa on otettava huomioon myös asennuspaikan oikosulkuvirran suuruus. Toision nimellisvirta on yleensä joko 1 tai 5 ampeeria. Aikaisemmin toisioon asennettavien laitteiden nimellisvirta piti valita käytettävien

virtamuuntajien mukaan, mutta useimmissa nykyaikaisissa laitteissa pystytään usein valitsemaan nimellisvirta itse 1 tai 5 ampeeriksi. Virtamuuntajien navat merkitään ensiöpuolella P1 ja P2, jolloin vastaavat navat toisiopuolella ovat S1 ja S2. Käämitykset on toteutettu siten, että kun ensiövirta menee navasta P1 sisään, vastaava toisiovirta tulee navasta S1 ulos.

Virtamuuntajien toisiokäämit on aina maadoitettava jommastakummasta päästään potentiaalın nousun estämiseksi. Kun käytetään kolmea tähteen kytkettyä virtamuuntajaa kaikkien vaihevirtojen mittaamiseen, pitää ne kaikki maadoittaa vain yhdestä ja samasta pisteestä. Maadoitetun tähtipisteen sijainti kiskoon nähden ja toisiopiirien kytkentä suojarleeseen määrittävät tehon positiivisen mittaussuunnan. Nämä on otettava huomioon myös suunnattujen suojarleiden parametreissa, sillä ne vaikuttavat suojan toimintasuuntaan. Käyttöönoton yhteydessä on oltava erittäin huolellinen ja varmistuttava, että esimerkiksi distanssirele ja suunnattu maasulkurele toimivat oikeassa suunnassa sattuvissa vioissa.

Koestusten yhteydessä on aina muistettava, että virtamuuntajien toisiopiiriä ei saa missään tilanteessa avata kuormituksen aikana. Tämä johtuu siitä, että tällöin ensiövirta magnetoi sydäntä, mutta toisiovirta ei pääse muodostamaan ensiövuon kasvua rajoittavaa toisiovuota. Tämä johtaa nopeasti sydämen kyllästymiseen, ja samalla toisioliittimien jännite nousee jopa useisiin kilovolteihin, mikä aiheuttaa vaaratilanteen niin ihmisille kuin laitteillekin. Virtamuuntajien toisiossa ei siis saa myöskään käyttää varokkeita ja piirit on johdotettava riittävän paksuilla johdoilla. Ennen toisioliittimien avaamista on huolellisesti oikosuljettava virtamuuntajan puoleiset liittimet. Virtamuuntajien toisiopiirit johdotetaan yleensä releelle avattavien riviliittimien kautta. Jotta riviliittimet voidaan avata, on ensin tarkistettava johdotuspiirustuksista, kummalla puolella riviliitinrimaa ovat virtamuuntajilta tulevat johdinten päät, ja oikosuljettava ne. Tätä havainnollistetaan kuvassa 8, jossa on esitettyä piirikaavio kaikkien kolmen virtamuuntajan toisiokäämeistä T11-T13 ja niiden kytkennästä suojarleeseen. Jos ensiössä kulkee virtaa, pitää relekaapista 1 (RK1) oikosulkea liittimet 101, 103, 105 ja 107 ”yläpuolelta”. Tämän jälkeen liittimet voidaan avata ja koestusvirta syöttää liittimien ”alapuolelta” releelle. Koestukset pyritään yleensä suorittamaan siten, ettei ensiössä kulje virtaa, jolloin virtamuuntajat voisikin jättää oikosulkematta. Hyvä tapa kuitenkin on, että käsittelee kulloinkin koestettavaa kennoa kuin se olisi jännitteellinen, jolloin ei pääsisi sattumaan ikäviä vahinkoja. [3, s. 198 - 215]



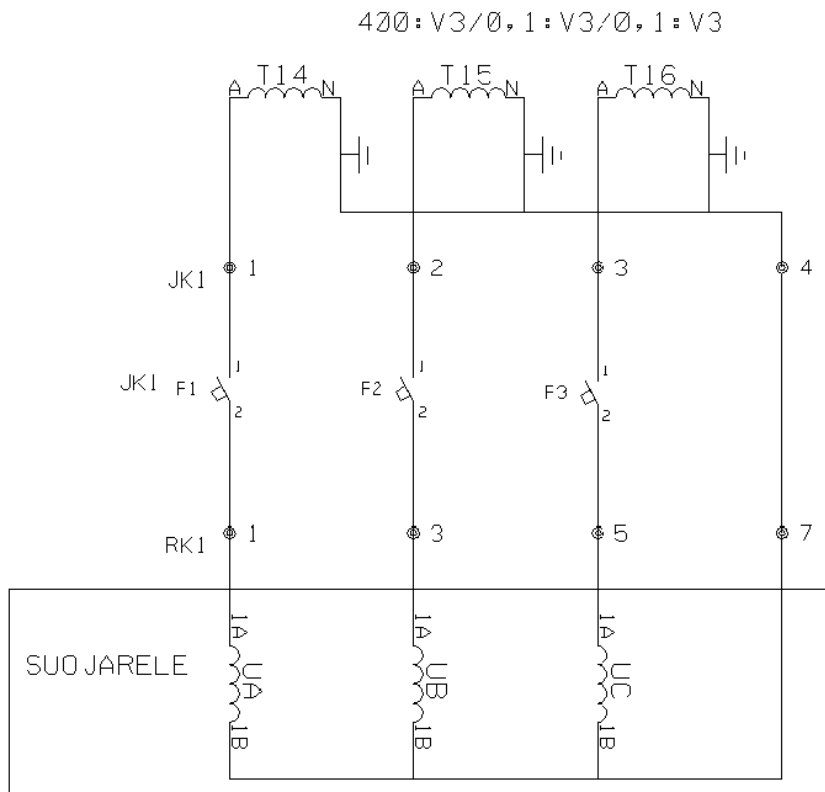
Kuva 8. Periaatekuva virtamuuntajien toisiokäämien kytkennästä suojarieleeseen.

Jännitemuuntajat

Verkon jännitteen mittaaminen eroaa virran mittaamisesta erityisesti siinä, että yleensä jännite pysyy melko tarkkaan vakioarvossa tai sitten sitä ei ole lainkaan. Jännitemuuntajissa riittää usein vain yksi sydän, jonka ympärille voidaan käämiä useampia käämejä eri tarkoituksiin. Jännitemuuntajien käämit pystytään kuitenkin toteuttamaan siten, että sama käämi täyttää sekä mittaus- että suojausvaatimukset. Jännitemuuntajat voidaan jakaa induktiivisiin ja kapasitiivisiin. Induktiivisia jännitemuuntajia voidaan käyttää 123 kV:n jännitteeseen asti, mutta tätä korkeammilla jännitteillä on edullisempaa käyttää kapasitiivisia jännitemuuntajia. Kapasitiivisen jännitemuuntajan toiminta perustuu jännitteenjaon toteuttamiseen kondensaattoreilla, minkä jälkeen jännite mitataan induktiivisen jännitemuuntajan avulla. [10, s. 86 - 97]

Jännitemuuntajien muuntosuhde ilmoitetaan muodossa $400:\sqrt{3} / 0,1:\sqrt{3} / 0,1: \sqrt{3}$ kV. Tämä tarkoittaa, että jännitemuuntajat on kytketty vaiheen ja maan väliin ja ensiön nimellinen pääjännite on 400 kV. Jännitemuuntajissa on kahdet toisiokäämit, joiden nimellisjännite on 100 voltia. Tällaisten jännitemuuntajien toisiokäämien kytkennästä on esitetty piirikaavio kuvassa 9. Mikäli toisioliittimistä mitataan yleismittarilla jännitettä vaiheen ja maan väliltä (RK1, liittimet 1 ja 7), mittarin tulisi siis normaalitilanteessa (ensiön pääjännite 400 kV, vaihejännite 231 kV) näyttää noin 57,7 voltia ja kahden vaiheen väliltä mitattaessa (liittimet 1 ja 3) 100 voltia. Jännitemuuntajien toisiopiirit suojataan johdonsuojakatkaisijoilla (F1...F3). Toisiokäämit voidaan kytkeä tähteen kuten ao. kuvassa, jolloin saadaan mitattua vaihejännitteet. Toisiokäämeistä voidaan muo-

dostaa myös ns. avokolmiokytkentä, jolla saadaan mitattua verkon tähtipisteen jännite (nollajännite). Toisioliittimissä käytetään merkintöjä a ja n, joista n kytketään tähtipisteeksi. Avokolmiomittaukseen tarkoitetun käämin toisioliittimet merkitään da ja dn. Avokolmiomittaukseen käytetään esimerkiksi 110 ja 20 kV:n verkoissa suunnatun maasulakusuojaus toteutuksessa. Tällöin jännitemuuntajien muuntosuhteena on yleensä 110 kV:n verkossa $110:\sqrt{3} / 0,1:\sqrt{3} / 0,1:3$ kV, joista viimeisenä mainittu käämi kytketään avokolmioon. Tämä tarkoittaa sitä, että kun täydellisessä maasulakussa ensiön nollajännite on täyden vaihejännitteen suuruinen, on toisiojännite avokolmiossa 100 voltia.



Kuva 9. Periaatekuva jännitemuuntajien toisiokäämien kytkennästä suojarieleeseen.

Joihinkin virtamuuntajiin on sisällytetty kapasitiivinen ulosotto, jota myös voidaan käyttää jännitteen mittaamiseen. Sitä ei kuitenkaan suositella käytettäväksi suojaukseen tai tarkkaan mittaukseen. Kapasitiivista ulosottoa voidaan kuitenkin käyttää tahdissaolon valvontaan tai johdon jännitteen indikointiin. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että distanssireleelle voidaan tuoda jännitetieto kiskojännitemuuntajilta, ja tahdissaolonvalvoja vertaa kiskojännitettä ja kapasitiivisesta ulosotosta saatavaa jännitettä. Tällöin virtamuuntajien on sijaittava katkaisijasta katsottuna johdon puolella. [3, s. 215 - 223]

2.3 Toisiojärjestelmä

Sähköaseman toisiojärjestelmällä tarkoitetaan kokonaisuutta, jolla pystytään valvomaan, ohjaamaan ja suojaamaan sähköaseman primääriprosessia. Suuri osa näistä toiminnoista

perustuu automaattisesti sähköasemalla suoritettaviin toimintoihin. Verkon käyttö ja valvonta perustuu lähes täysin kaukokäyttöjärjestelmien avulla suoritettuun keskitettyyn valvontaan, eli asemilla ei normaalityloissa ole lainkaan miehitystä. Tässä esityksessä keskitytään vain sähköasemien paikalliseen suojaukseen ja ohjaukseen, joten kaukokäyttöjärjestelmät on rajattu työn ulkopuolelle.

2.3.1 Suojareleet

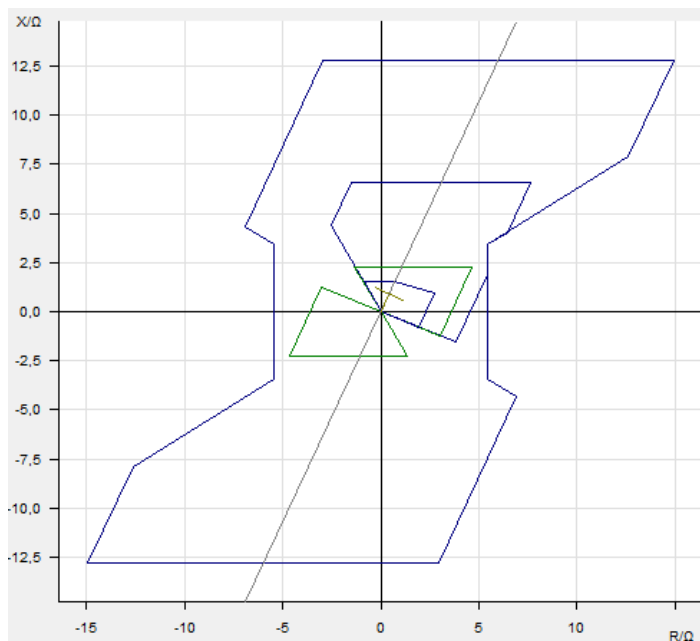
Suojareleiksi kutsuttuja laitteita on käytetty sähköverkoissa koko niiden olemassaolon ajan. Releiden toiminta perustui pitkään sähkömekaniikkaan, eli ne sisälsivät liikkuvia osia, joiden liike saatiin aikaan sähkömagneettisten voimavaikutusten avulla. Sähkömekaanisia releitä seurasivat 1960-luvulla käyttöön tulleet elektroniset releet, joissa ei enää liikkuvia osia ollut. Tämän vuoksi niitä usein kutsutaankin staattisiksi releiksi. 1980-luvulla otettiin käyttöön ensimmäisiä digitaalisia eli mikroprosessoreihin perustuvia suojareleitä. Vaikka sana ”rele” onkin säilynyt käytössä, ovat nykyaikaiset numeeriset releet teknisesti ajateltuna täysin erilaisia laitteita edeltäjiinsä verrattuna. Peruseriaate suojalaitteiden toiminnassa on kuitenkin pysynyt samana. Vanhat releet oli yleensä suunniteltu suorittamaan yksi tarkkaan määritelty tehtävä. Esimerkiksi kolmivaiheinen ylivirtasuojaus toteutettiin kolmella yksivaiheisella ylivirtareleellä. Uusiin numeerisiin releisiin voidaan sisällyttää monia eri suojaustoimintoja, niitä voidaan ohjelmoida erittäin monipuolisesti toimimaan halutulla tavalla, ja lisäksi niihin on integroitu myös ohjaus- ja automaatiotoimintoja. [11, Ch. 7]

Releen perustoimintaan kuuluu voimajärjestelmän yhden tai useamman suureen (virta, jännite) mittaaminen ja vertaaminen aseteltuun toimintarajaan. Toimintarajan ylittyessä tai alittuessa rele havahtuu ja lähettää laukaisusignaalin katkaisijalle joko välittömästi tai asetellun aikahidastuksen kuluttua. Releen mittaustoiminnot suoritetaan analogisilla sisääntuloilla, jotka kytketään osaksi mittamuuntajien toisiopiiriä. Mitatut analogiasignaalit muutetaan digitaalisiksi, jonka jälkeen ne käsitellään releen prosessorin ja muistin avulla. Releissä on myös binäärisiä sisään- ja ulostuloja. Sisääntuloilla voidaan antaa releelle tietoja prosessista kuten katkaisijan tilatieto tai tieto vasta-aseman releen havahtumisesta. Binääristen ulostulojen eli lähtökoskettimiensa avulla rele lähettää ohjauksia ja signaaleja muille järjestelmään liittyville laitteille. Näitä ovat esimerkiksi katkaisijoiden laukaisusignaalit tai hälytys releen toimintahäiriöstä. [3, s. 344 - 345, 388 - 390]

Uusiin releisiin on saatavilla monipuolisia väyläliitännämahdollisuuksia, joiden avulla ne pystytään liittämään osaksi sähköasema-automaatiota. Tiedonsiirron toteuttaminen digitaalisesti optisessa tai sähköisessä muodossa on mahdollistanut väylän kautta siirrettävän tietomäärän moninkertaistumisen ja samalla vähentänyt sähköasemalla tarvittavaa kaapelointia huomattavasti. Releissä voi olla esimerkiksi omat liitännänsä rele- ja huoltoväylää varten sekä lisäksi erillinen väylä PC:n kanssa kommunikointiin. Rele- väylää käytetään releiden kommunikointiin kaukokäytön ala-aseman kanssa, eli esimerkiksi kytkinlaitteiden ohjaukset ja tilatiedot on mahdollista siirtää sitä pitkin. Erillistä huoltoväylää voidaan käyttää releiden häiriötallenteiden keräämiseen, jolloin niiden

siirto ei kuormita huomattavasti tärkeämpää releväylää. Liittämällä rele tietokoneeseen, johon on asennettu releen asettelu- ja konfigurointiohjelmisto, voidaan lukea releen tietoja ja tehdä asettelumuutoksia paikallisesti. [10, s. 30–32]

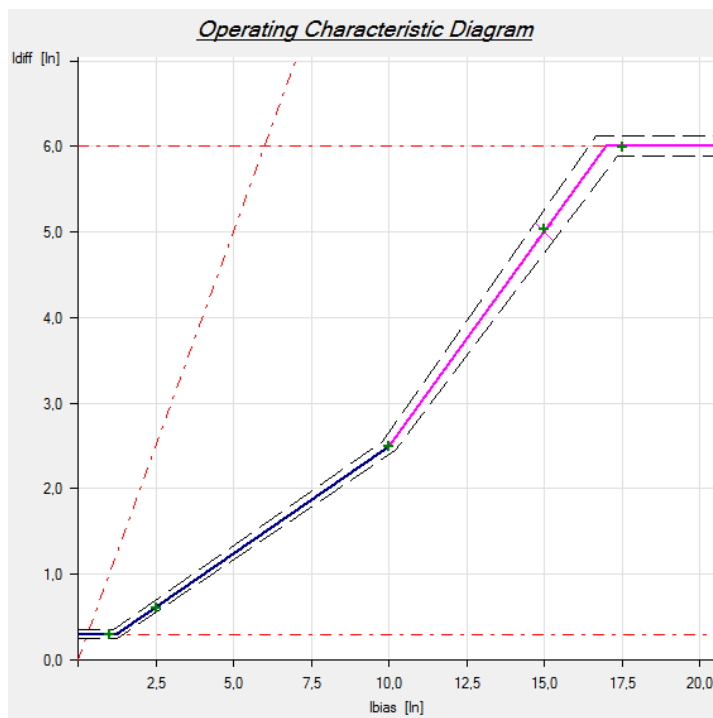
Siirtoverkon suojuuksessa käytetyimmät reletyypit ovat distanssi-, differentiaali- ja ylivirtareleet. Distanssireleiden toiminta perustuu impedanssin laskemiseen mitattujen virtojen ja jännitteiden perusteella ja niitä käytetään pääasiassa johtojen oikosulkusuojina. Virran ja jännitteen perusteella rele pystyy määrittämään vian suunnan ja etäisyyden mittauspisteestä, jolloin voidaan toteuttaa silmukoidussa verkossa selektiivinen suojaus. Distanssireleeseen asetellaan ns. vyöhykkeet, joille määritellään ulottuma ja aikahidastus. Eri asemilla sijaitsevien distanssireleiden vyöhykkeet menevät osittain toistensa päälle, jolloin ne toimivat myös toistensa varasuojina. Suojausvyöhykkeet on havainnollista esittää R-X-tasossa, mistä on esitetty esimerkki kuvassa 10. Kulloinkin mitattu impedanssi vastaa toimintapistettä R-X-tasossa, jolloin impedanssiosoitimelle voidaan määrittää pituus ja kulma. Kyseinen suojarle sijaitsee origossa, ja origon kautta kulkeva suora kuvaa suojattavaa johtoa. Kun origosta lähdetään oikeaan yläneljännekseen, kuljetaan linjan suuntaan. Vasen alaneljännes sijaitsee suojan takana. Siniset viivat rajaavat releen toimintavyöhykkeitä, joille on määritelty omat toiminta-ajat. Vihreällä rajattu vyöhyke on ns. SOTF-vyöhyke (Switch on to fault eli laukaisun nopeutus). Vyöhyke toimii myös suojan takana olevissa vioissa ja se aktivoituu katkaisijan kiinniohjauksesta lyhyeksi ajaksi. Tällä tavoin varmistetaan hidastamaton laukaisu, jos katkaisija suljetaan vikaa vastaan joko käsin tai jälleenkytkennän yhteydessä.



Kuva 10. Distanssireleeseen asetellut vyöhykkeet R-X-tasossa.

Differentiaalireleet ovat ns. vertoreleitä, jotka mittaavat virtaa suojattavan kohteen molemmin puolin. Ne lähettävät laukaisukäskyn, kun virtojen erotus ylittää asetellun arvon. Differentiaalireleiden yleisin käyttökohde on muuntaja-, generaattori- ja kiskosuojaus, mutta niitä käytetään myös johtosuojina etenkin sarjakompensoiduilla ja

lyhyillä johdoilla. Differentiaalireleiden käyttö johtosuojina edellyttää apuyhteyttä johdon eri päissä sijaitsevien suojujen välille, koska kummankin releen on tiedettävä myös toisessa päässä mitattu virta. Differentiaalireleen asetelut esitetään ns. toimintakarakteristiikkakuvassa, jossa on pystyakselilla mitattu erovirta (I_{diff}) ja vaaka-akselilla ns. vakavointivirta (I_{bias}). Eravirta lasketaan suojausalueelle tulevien virtojen summana, ottaen suunnat huomioon, jolloin terveessä tilanteessa eravirran tulisi olla likimain nolla. Vakavointivirta on määritelty eri releissä eri tavoin, mutta perusajatuksena on, että se kasvaa suojausalueen läpi kulkevan virran kasvaessa. Suoja laukaisee, kun mitattu erovirta on käyrän yläpuolella. Sallittu erovirta on siis sitä suurempi, mitä suurempi kuormitusvirta on. Kuvassa 11 on esitetty esimerkki differentiaalireleen toimintakarakteristiikasta.



Kuva 11. Differentiaalireleen toimintakarakteristiikka.

Ylivirtarele lähettää laukaisun virran ylittäessä asetellun arvon. Pelkällä ylivirtareleellä ei pystytä havaitsemaan vian suuntaa, joten silmukoidussa verkossa suojaus ei voi perustua yksinään niiden käyttöön. Ylivirtarele voi toimia vakio- tai käänteisaikaisena. Käänteisaikainen ylivirtarele toimii sitä nopeammin, mitä suurempi mitattu virta on ja siihen voidaan määritellä erilaisia laukaisukäyriä. Siirtoverkossa ylivirtareleitä käytetään etupäässä muuntajien ja 110 kV:n johtojen varasuojina. [3, s. 346 - 356]

2.3.2 Apusähköjärjestelmä

Sähköaseman apusähköjärjestelmän tehtävänä on järjestää sähkönsyöttö aseman laitteille. Tämä on koko aseman toiminnan ja suojausjärjestelmän kannalta erittäin kriittinen tehtävä, koska ilman apusähköä ei asemalla toimi juuri mikään. Sähköaseman apusähköjärjestelmään kuuluvat ns. omakäyttösähkö ja akkuvarmennettu tasasähköjakelu. Tärkeim-

mät vaihtosähkönjakelut on myös varmennettu siten, että niitä syötetään akustosta vaihtosuuntaajan (invertteri) välityksellä.

Sähköaseman 400/230 VAC omakäyttökeskusta syötetään yleisestä sähköverkosta, ja yleensä tavoitteena on, että asemalla on ainakin kaksi mahdollista pj-syöttöä. Aseman syöttö voidaan järjestää myös erillisellä omakäyttömuuntajalla. Varmennukseen voidaan jakeluverkon lisäksi käyttää myös varavoimakonetta. Omakäyttökeskuksesta syötetään sähköaseman talotekniikka, ulkokentän valaistus, laitteiden lämmitys ja tasasähköjärjestelmä.

Tasasähkön jatkuva saatavuus on asemalla turvattava, koska suojauslaitteiden ja kaukokäytön toiminta ovat siitä riippuvaisia. Tasasähköjärjestelmää syötetään omakäyttökeskuksesta tasasuuntaajilla, ja järjestelmä on akkuvarmennettu. Toisistaan erillisiä tasasähköjärjestelmiä on yleensä kaksi, ja niiden syöttämät kuormat on ryhmitelty siten, että toisiaan varmentavat suojaustoiminnot toimivat eri apusähköllä. Suojauslaitteiden ja kaukokäytön lisäksi akkuvarmennuksen piiriin kuuluvia laitteita ovat mm. katkaisijoiden viritysmoottorit, erottimien ohjausmoottorit ja lukitusjännitteet. Normaalityössä, eli silloin kun omakäyttökeskuksen vaihtosähkönsyöttö on kunnossa, tasasuuntaajat syöttävät aseman tarvitseman tasasähkön. Samalla ne huolehtivat akustojen varaamisesta. Kun vaihtosähkönsyötössä ilmenee ongelmia, syötetään tasasähkö akustosta. Akustot on mitoitettava riittävän suuriksi, jotta sähkönsyötössä ilmenevät viat on mahdollista korjata ennen akuston tyhjenemistä. Suomessa rajana on käytetty vähintään kymmentä tuntia. Akustojen jänniteinä käytetään yleisesti joko 110 tai 220 voltia. Mikäli asemalla tarvitaan muita jännitetasoja (esim. 48 voltia kaukokäyttölaitteisiin), ei niille välttämättä asenneta omia akustoja vaan jännitetasoa muutetaan konverttereiden (DC-DC-muunnin) avulla. [12, s. 13 - 25]

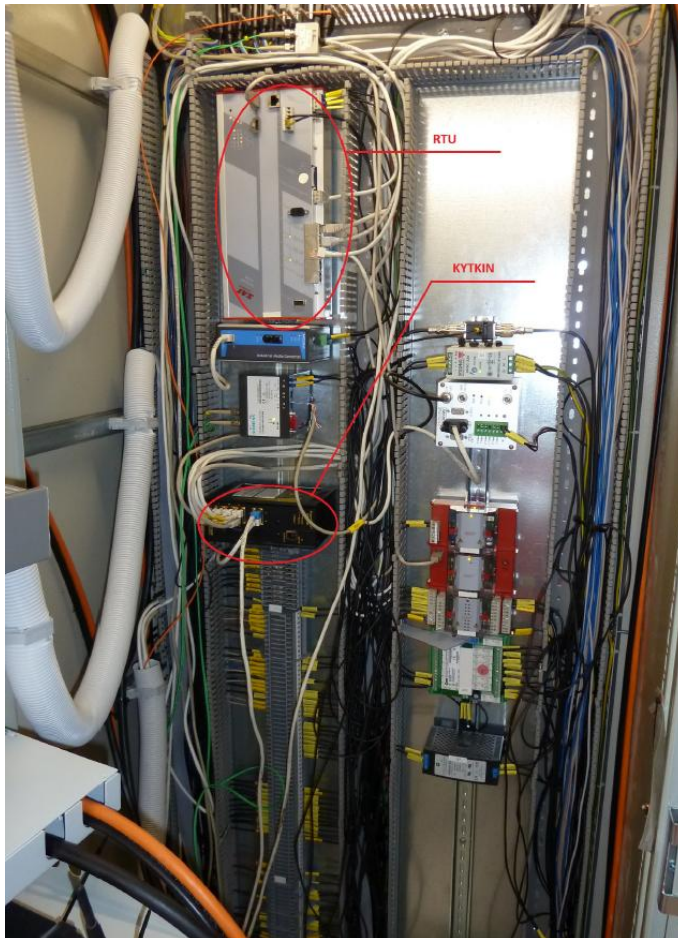
Tasasähköjärjestelmän suojaus on suunniteltava huolellisesti, ja siitä on saatava mahdollisimman selektiivinen ja nopea. Lisäksi järjestelmässä esiintyvistä vioista on saatava hälytys. Tämän vuoksi suojaukseen käytetään johdonsuojakytkimiä (varokeautomaatti), koska niiden toimimisesta pystytään saamaan hälytys katkaisijan apukoskettimen avulla. Tämän lisäksi on käytettävä paristonvalvontarelettä, joka antaa hälytyksen akuston jännitteen laskiessa asetellun rajan alapuolelle. Tasasähköjärjestelmän maasulkuvalvonta toteutetaan tarkkailemalla järjestelmän eristystä maahan nähden. [10, s. 339 - 342]

2.3.3 Sähköasema-automaatio

Sähköasema-automaatiolla tarkoitetaan automaatiojärjestelmää, joka vastaa sähköasemaan liittyvistä ohjauksista, mittauksista, säädöstä ja valvonnasta. Oleellinen osa sähköasema-automaatiota on tiedonsiirto niin aseman sisällä kuin myös aseman ja valvomon välillä. Käsite on siis erittäin laaja ja joskus myös hieman vaikeasti määriteltävissä. Vanhemmilla sähköasemilla suojaus ja muu automaatio ovat olleet melko selkeästi erillään toisistaan, mutta nykyaikaisiin suojauslaitteisiin integroidut mittaus-, ohjaus-, ja tietojen rekisteröintiominaisuudet ovat tehneet niistä merkittävän osan sähköasema-automaatiota. Suojauslaitteet ja muut säätimet suorittavat edelleen suojaus- ja säätötoimin-

tonsa täysin itsenäisesti, mutta näiden toimintojen lisäksi ne toimivat tärkeänä linkkinä primääriprosessin ja automaatiojärjestelmän välissä. Releet kytketään osaksi paikallista automaatiojärjestelmää, ja niiden kautta hoidetaan mm. mittauksia, tapahtumatietojen kirjauksia ja kytkinlaitteiden ohjauksia. [13]

Tietoliikennejärjestelmistä on tullut merkittävä osa sähköasemien hallinnassa. Suurimpina syinä tähän on ollut digitaalisen tiedonsiirron ja lähiverkkotekniikoiden kehittyminen. Tiedonsiirrossa on pääosin siirrytty erikseen laitteelta toiselle johdotetuista ratkaisuksista digitaalisiin, sarjamoitisiin väylätekniikoihin. Tiedonsiirtomediana voidaan tällöin käyttää joko valokuitua tai kupariparikaapelia. Sähköaseman tietoliikenteen keskeisenä laitteena toimii RTU (Remote terminal unit) eli kaukokäytön ala-asema. RTU toimii rajapintana kaukokäytön ja sähköaseman paikallisen automaation välissä. RTU:n ja kaukokäytön keskusaseman välisten tietoliikenneyhteyksien avulla siirretään aseman kytkinlaitteiden tilatiedot, mittaukset, ohjaukset sekä tapahtuma- ja hälytystiedot verkon käyttökeskukseen. Paikallinen ohjaus ja valvonta hoidetaan HMI:n (Human Machine Interface) eli paikallisvalvontapisteen kautta. [3, s. 385 - 391] Kuvassa 12 on valokuva pienen sähköaseman kaukokäyttökaapista. Aseman paikallisautomaatio on toteutettu IEC 61850-väylällä. Kuvassa näkyy mm. RTU ja Ethernet-kytkin, johon releet on liitetty.



Kuva 12. Sähköaseman kaukokäyttökaappi.

Sähköasemien releväylät ja niissä käytetyt tiedonsiirtoprotokollat olivat pitkään valmistajakohtaisia ratkaisuja, mikä saattoi estää eri valmistajien laitteiden käytön. Tämän ongelman ratkaisuksi on pyritty kehittämään uusi kansainvälinen IEC 61850 - Tietoliikenneverkot ja -järjestelmät sähköasemalla -standardi (Communication networks and systems in substations). Sen tavoitteina on ollut päästä eroon valmistajakohtaisista ratkaisuista ja ylimääräisistä muunnoksista eri protokollien välillä. Standardissa on pyritty eriyttämään tietojen ja palveluiden käsittely käytettävästä tiedonsiirtotavasta, jolloin standardia on mahdollista käyttää myös tulevaisuudessa tiedonsiirtotekniikan kehityessä. Tällä hetkellä IEC 61850:n tiedonsiirto perustuu Ethernet-lähiverkko-tekniikkaan, joka on ollut jo pitkään maailmanlaajuisessa käytössä. Ethernet-tekniikalla saavutetaan suuri tiedonsiirtokapasiteetti ja -nopeus, mikä mahdollistaa jopa reaaliaikakriittisen tiedon siirtämisen väylän kautta ns. GOOSE (Generic object oriented substation event) -viestien avulla. GOOSE-viesteillä pystytään toteuttamaan ns. horisontaalista tiedonsiirtoa suoraan kahden suoja-reen välillä. Viesteillä voidaan siirtää esimerkiksi kytkinlaitteiden tilatietoja ja lukituksia. Esimerkkinä tällaisesta signaalista voidaan mainita keskijänniteverkon sähköasemalla toteutettu syöttökennon ylivirtareleen nopean portaan lukitus. Lukitus voidaan toteuttaa GOOSE-viestinä siten että kunkin johtolähtöä suojaavan releen ylivirran havahtumistieto viedään väylän kautta kiskoa syöttävän kennon releelle. Aikaisemmin kyseinen lukitus on toteutettu suoja-reen havahtumiskoskettimilta johdottamalla, mutta GOOSE-viestien käytöllä vastaava voidaan haluttaessa toteuttaa releväylän kautta. Standardissa on määritelty myös ns. prosessiväylä, jossa voitaisiin siirtää releiltä katkaisijoille menevät laukaisusignaalit ja jopa mittamuuntajien mittaussignaalit digitaalisessa muodossa. Tällaiset ratkaisut ovat kuitenkin vielä lähinnä kokeiluasteella, eli laukaisut ja mittaukset toteutetaan edelleen johdottamalla ja käyttämällä perinteisiä mittamuuntajia. Suojaustoimintojen toteuttaminen perinteisten tapojen sijaan releväylän avulla edellyttää uusia toimintatapoja ja osaamista etenkin käyttö- ja koestushenkilökunnalta. Erityisesti tietoliikenneosaaminen tulee entistä tärkeämmäksi.[14]

3 SÄHKÖVERKON SUOJAUS

Vaikka sähköverkossa käytettävien laitteiden suunnitteluun ja kunnossapitoon käytettäisiin kuinka paljon rahaa ja aikaa tahansa, verkossa sattuu ajoittain vikoja. Peruseriaatteena voidaan pitää, että mitä kriittisempi ja arvokkaampi verkon osa on, sitä kattavammin se suojataan erilaisten vikojen varalta. Ylivoimaisesti suurin osa suurjännitteisen sähköverkon vioista on salamaniskujen ja myrskyjen aiheuttamia, mutta myös erilaiset laitevauriot ja inhimilliset erehdykset aiheuttavat vikoja. Sähköverkon suojausjärjestelmän tärkeimpänä tehtävänä on tunnistaa ja erottaa vikaantunut verkon osa muusta järjestelmästä riittävän nopeasti ja luotettavasti. Vian erottamatta jättämisestä aiheutuisi vaaraa niin ihmisille, laitteille kuin koko voimajärjestelmän toimivuudelle. Suojauksen toteutuksessa on huomioitava siirtoverkon suunnittelussa ja käytössä noudatettava ns. N-1 -periaate, jonka mukaan mikään tavallinen yksittäinen verkon vika ei saa aiheuttaa käyttökeskeytystä tai vian laajenemista verkossa. N-1 -periaate ja sähkövoimajärjestelmän kriittisyys koko yhteiskunnan toiminnan kannalta asettavat erittäin korkeat vaatimukset verkon käyttövarmuudelle ja sen suojausjärjestelmän toimivuudelle. Suurena haasteena suojauksen toteutuksessa on määrittellä, millaiset viat suojausjärjestelmän tulee pystyä hoitamaan ja millaiset seuraukset erilaisille vioille sallitaan. Tämä edellyttää kompromissien tekoa, jossa on huomioitava erilaisten vikojen todennäköisyydet ja niiden seuraukset. [4, s. 271 - 276]

Suojaukselle asetettavia vaatimuksia ovat kattavuus, selektiivisyys sekä toimintavarmuus ja -nopeus. Kattavuudella tarkoitetaan sitä, että järjestelmään ei saa jäädä suojaamattomia osia. Tämä varmistetaan siten, että releiden suojausvyöhykkeet menevät osittain toistensa päälle, jolloin eri suojalaitteet toimivat myös oman pääsuojavyöhykkeensä ulkopuolisissa vioissa varasuojina. Selektiivisyydellä taas tarkoitetaan sitä, että vian sattuessa mahdollisimman pieni verkon osa kytketään irti, jolloin muun verkon toimintaa pystytään jatkamaan mahdollisimman pienin seurauksin. Vaatimukset suojauksen kattavuudesta ja selektiivisyydestä saattavat joskus olla hieman ristiriidassa keskenään, jolloin vaaditaan suojauksen suunnittelussa tarkkaa suojauskoordinaatiota. Suojauksen toimintavarmuus tarkoittaa sitä, että rele toimii silloin, kun verkossa on oikeasti vika, mutta ei kuitenkaan laukaise turhaan. Tietyissä tilanteissa virhelaukaisut voivat olla lähes yhtä haitallisia kuin laukaisun epäonnistuminen. Suojauksen on toimittava riittävän nopeasti, koska vikatilanne aiheuttaa verkon laitteille suuria rasituksia ja vaaratilanteen vikapaikan lähistölle. Nopealla vikakohdan erottamisella voidaan estää vikojen leviäminen muualle järjestelmään ja pienentää laitteille aiheutuvia vaurioita. Suojauksen toimintanopeus ja toimintavarmuus ovat keskenään jossain määrin ristiriidassa, koska

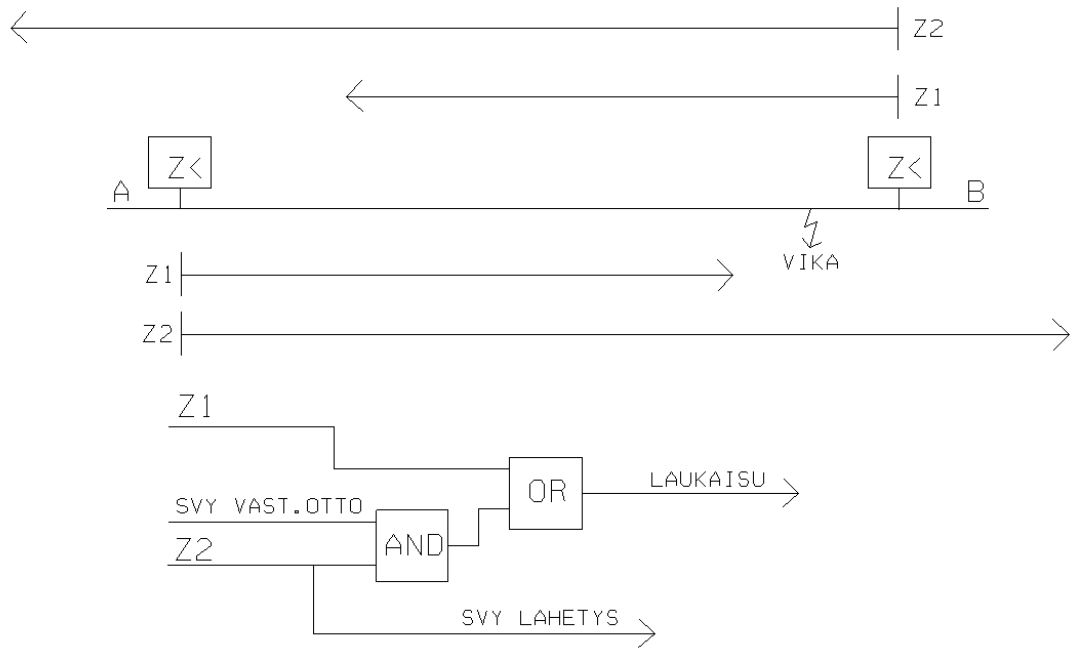
laukaisuaajan lyhentäminen kasvattaa releen suorittaman virhelaukaisun todennäköisyyttä. [11, Ch. 2] [3, s. 342 - 345]

3.1 400 kV:n johtojen suojausperiaatteet

Kantaverkon stabiiliuden säilyttämisen vuoksi on 400 kV:n johtojen nopea ja luotettava suojaus erityisen tärkeää. Tämä johtuu verkon suurista oikosulkutehoista, jonka vuoksi vikojen aiheuttamat jännitekuopat leviävät laajalle alueelle. Vian aikana verkon siirtokyky pienenee, mikä johtaa generaattoreiden pyörimisnopeuden kasvuun, ja mikäli viikatilanne pitkittyy, voidaan menettää generaattoreiden tahtikäyttö. Mikäli vian takia verkosta irtoaa useita isoja generaattoreita, voi seurauksena olla laaja suurhäiriö.

Siirtoverkon johtosuojausten perustan muodostaa distanssisuojaus, joka toteutetaan kahdella erillisellä distanssireleellä. Releet pyritään valitsemaan eri valmistajilta redundanssin lisäämiseksi. Tavoitteena on, että nämä muodostaisivat kaksi täysin erillistä, toisistaan riippumatonta suojausjärjestelmää. Käytännössä tämä toteutetaan siten, että releet sijaitsevat eri relekaapeissa, ne kytketään mittamuuntajilla eri toisiokäämeille, ja niiden apujännitteet syötetään eri akustoista. Distanssisuojausta täydennetään numeerisiin distanssireleisiin integroidulla suunnatulla maasulkusuojauskella ja suuriresistanssisia maasulkuja varten erillisellä suuntaamattomalla nollavirtareleellä. Suuntaamattomalla nollavirtareleellä varmistetaan maasulkusuojausten riittävä herkkyys, jotta vähintään 500 ohmin maasulkuviat saadaan laukaistua. Jälleenkytkentöjä varten käytössä on erillinen jälleenkytkentärele ja tahdissaolonvalvoja (ks. luku 3.4). Sarjakompensoiduilla johdoilla distanssisuojausten soveltaminen vaikeutuu, ja siksi niillä käytetään kahden distanssireleen sijaan sekä distanssi- että differentiaalirelettä, jotka molemmat vaativat viestiyhteyden toimiakseen. [3, s. 361 - 367]

Distanssisuojausten apuna käytetään ns. apuyhteystydennystä (Suojausten viestiyhteys, SVY). Tällä tarkoitetaan sitä, että saman johdon eri päissä olevien distanssireleiden välillä on viestiyhteys, jonka avulla pystytään varmistamaan koko johdolle nopea vian irtikytkentä myös sellaisessa tilanteessa, jossa vika sattuu melko lähellä johdon päätä. Viestiyhteyden toiminnan perusperiaatetta on havainnollistettu kuvassa 13. Tarkempi toimintatapa vaihtelee sovelluskohteen ja käytettävien laitteiden mukaan. Kuvan 13 tapauksessa vikapaikka on lähellä B-asemaa, jolloin se sijaitsee A-aseman releen hidastetulla toisella vyöhykkeellä. Distanssireleiden ensimmäistä vyöhykettä ei voida asetella kattamaan koko suojattavaa johtoa, koska tällöin olisi vaarana sen ulottuminen joissain tilanteissa vasta-aseman yli, mistä seuraisi epäselektiivinen laukaisu. Kuvassa on esitetty myös viestiyhteyssignaalin logiikkakaavio, joka on samanlainen molemmissa releissä. Tässä tapauksessa B-aseman releen toisen vyöhykkeen havahtumisesta lähetetään A-aseman releelle signaali, joka vapauttaa A-aseman releen toisen vyöhykkeen tekemään hidastamattoman laukaisun. Tällöin johto saadaan laukaistua myös A-asemalta lähes yhtä nopeasti kuin B-asemalta. [10, s. 263 - 264]



Kuva 13. Kahden distanssireleen välisen apuyhteyden perustoimintaperiaate.

3.2 110 kV:n johtojen suojausperiaatteet

110 kV:n verkon suojaukselle ei aseteta yhtä suuria toimintavaatimuksia kuin 400 kV:n verkon. Tähän on syynä 110 kV:n verkossa sattuvien vikojen pienempi vaikutusalue ja niissä esiintyvät pienemmät oikosulkutehot. Normaalisti pääsuojana käytetään yhtä distanssirelettä, jonka varasuojana on käänteisaikahidasteinen ylivirtarele. 110 kV:n johtojen distanssisuojauksessa ei viestiyhteyden käyttö ole aina välttämätöntä, jolloin johdon loppupään viat saatetaan laukaista vasta toisen vyöhykkeen hidastuksella. Lyhyillä rengasjohdoilla saattaa kuitenkin selektiivisyyden toteuttaminen distanssisuojausta käyttämällä olla hankalaa. Niillä käytetäänkin usein pääsuojana johtodifferentiaalirelettä, ja distanssirele toimii varasuojana. Tällöin myös viestiyhteyden toteuttaminen johdon päiden välille tulee välttämättömäksi.

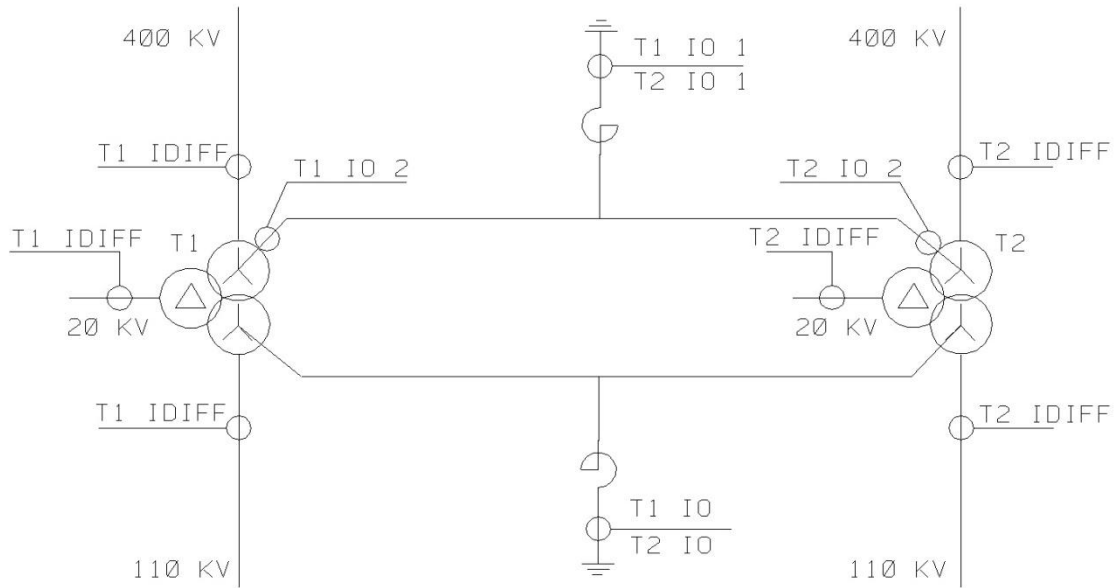
Toisin kuin 400 kV:n verkossa, 110 kV:n verkossa on vain osa muuntajien tähtipisteistä maadoitettu. Tämän vuoksi on selektiivisen maasulkusuojauksen aikaansaamiseksi käytettävä suunnattua maasulkusuojausta. Maasulkurele mittaa johdon nollavirtaa ja verkon nollajännitettä, joiden välisen kulmaeron perusteella se pystyy päättämään vian suunnan. Nollajännite mitataan jännitemuuntajien avokolmiokytkennästä, ja nollavirta voidaan mitata kolmen vaihevirran avulla muodostamalla releelle virtojen summa-kytkentä. Vaihtoehtoisesti rele voi laskea nollavirran ja -jännitteen suoraan vaihesuureista. Suunnan määrittämisen lisäksi eri paikoissa sijaitsevien releiden laukaisuajat pitää porrastaa selektiivisyyden varmistamiseksi. [3, s. 367 - 371]

3.3 Muuntajien suojausperiaatteet

Suuret tehomuuntajat pyritään suojaamaan mahdollisimman kattavasti vaikka muuntajaviat ovatkin melko harvinaisia. Tähän on syynä muuntajavikojen tuhoisat seuraukset muuntajalle ja niistä aiheutuvat kalliit ja pitkäkestoiset korjaukset. Siksi suojauksesta pyritään tekemään mahdollisimman nopea ja vikoja ennakoiva. Muuntajan suojauksessa ja valvonnassa käytetään myös ei-sähköisiin mittauksiin perustuvia suojalaitteita, koska tietyissä vioissa vikavirrat ovat liian pieniä havaittavaksi kuormitusvirrasta.

Muuntajan pääsuojana käytetään yleisesti differentiaalirelettä, joka mittaa muuntajaan tulevat ja lähtevät virrat ja laukaisee, jos erovirta ylittää asettelun. Differentiaali-releen suojausalue on täysin rajattu virtamuuntajien sijaintiin, eli se toimii ainoastaan niiden rajaaman alueen sisäpuolisissa vioissa. Differentiaalireleet ovat ns. vakavoituja (stabiloituja), eli niiden toimintaan vaadittavan erovirran suuruus kasvaa muuntajan kuormituksen kasvaessa. Tällä tavoin eivät esimerkiksi käämikytkimestä ja virtamuuntajien eroista aiheutuvat erovirrat aiheuta laukaisua. Muuntajaa verkkoon kytkettäessä muuntaja ottaa suuren kytkentävirran, joka voi olla moninkertainen muuntajan nimellisvirtaan nähden. Kytkentävirta näkyy differentiaalireleelle täytenä erovirtana, joten turhat laukaisut ovat mahdollisia. Nämä pyritään estämään ns. yliaaltosalvan avulla, joka mittaa kytkentävirrassa tyypillisesti esiintyvää toista yliaaltoa eli 100 Hertzin taajuutta. Yliaaltosalpa lukitsee differentiaalireleen laukaisun, kun toisen yliaallon suhde virran perusaaltoon nähden ylittää asetellun toimintarajan.

Differentiaalireleen lisäksi muuntajasuojana voidaan käyttää vakioaikaista ylivirtarelettä, joka toimii myös kisko- ja johtovioissa. Muuntajien tähtipistemaadoituksiin liittyvien suojausten toteuttaminen riippuu asemalla sijaitsevien muuntajien lukumäärästä ja muuntajatyypeistä. Jos asemalla on kaksi muuntajaa, käytetään niiden saman jännitetason tähtipisteiden maadoittamiseen yleensä yhteistä kuristinta. 400 kV:n tähtipisteessä molemmat muuntajat on suojattu kahdella erillisellä nollavirtareleellä, joista toiselle nollavirta mitataan muuntajan tähtipisteen läpiviennistä (Kuvassa 14 T1 Io 2 ja T2 Io 2) ja toiselle maadoituskuristimen maan puoleisesta johtimesta (T1 Io 1 ja T2 Io 1). Normaalitylanteessa kukin nollavirtarele laukaisee vain oman muuntajansa, mutta poikkeuksena on tilanne, jossa vain toinen muuntajista on maadoitettu. Tällaisessa tilanteessa kukin nollavirtarele laukaisee ensin maadoittamattoman muuntajan ja pienellä hidastuksella maadoitetun. 110 kV:n tähtipisteessä kummallakin muuntajalla on yksi nollavirtarele, jotka mittaavat nollavirtaa 110 kV:n maadoituskuristimen maan puoleisesta johtimesta (T1 Io ja T2 Io). Suojat laukaisevat ainoastaan oman muuntajansa katkaisijat, joista ensin 110 kV:n katkaisijan ja sitten 400 kV:n katkaisijan pienellä hidastuksella. [15] Edellä kuvattua kahden muuntajan differentiaali- ja tähtipistesuojauksen periaatetta on havainnollistettu kuvassa 14. Virtamuuntajien yhteydessä on mainittu, mille suojalle kyseisen virtamuuntajan virta on johdotettu.



Kuva 14. Periaatekuva kahden muuntajan differentiaali- ja tähtipistesuojauksesta.

Vaikka itse muuntajan suojarieleet ovatkin toiminnaltaan melko yksinkertaisia ylivirtareleitä, tulee suojausjärjestelmän toiminnasta melko monimutkainen kokonaisuus. Tämä johtuu lähinnä siitä, että muuntaja liittyy aina vähintään kahteen, usein kolmeen eri jännitetasoon. Jokaisessa jännitetasossa on omat suojansa, ja eri suojuille tuodaan mittaustietoja useista eri paikoista, esimerkiksi differentiaalireleelle kaikkien kolmen jännitetaso virrat. Lisäksi eri jännitetasoihin liittyvät suojarieleet laukaisevat eri ehdoilla eri katkaisijoita, jotka sijaitsevat eri paikoissa. Lisäksi muuntajien tähtipistesuojat ja erilaiset kytkentätilanteet monimutkaistavat järjestelmää, esimerkiksi mahdollinen korvauskytkentä kiskokatkaisijan kautta 110 kV:n puolella.

Muuntajien ei-sähköisiä suojalaitteita ovat esimerkiksi Buchholz-rele, öljyn virtausrele sekä käämien ja öljyn lämpötilojen kuvaajat. Buchholz- eli kaasureleen toiminta perustuu kaasun havaitsemiseen muuntajasäiliön ja paisuntasäiliön välisessä putkessa. Kaasun muodostus on merkki muuntajan sisäisistä eristysvialista, kuten käämi- tai kierrossuluista. Mikäli kaasun muodostuminen on hidasta, rele voi antaa hälytyksen, jolloin voidaan tehdä tarvittavat kytkennät muuntajan verkosta erottamiseen ja vian tarkempaan selvittämiseen. Äkillisessä eristysviassa muuntajassa syntyvä paineaalto aiheuttaa kuitenkin öljyisyöksyn kaasureleen läpi, jolloin rele laukaisee muuntajan välittömästi irti verkosta. Öljyn virtausrele toimii käämikytkimen suojana. Se asennetaan käämikytkimen ja paisuntasäiliön väliseen yhdysputkeen. Käämikytkimen kytkennän epäonnistuksessa putkeen aiheutuu öljyvirtaus, jonka perusteella virtausrele laukaisee muuntajan irti verkosta. Käämien ja öljyn lämpötilanvalvontaa käytetään muuntajan ylikuormitus- suojaukseen. Lämpötilanvalvonnassa käytetään kahta porrasta, jolloin alempi lämpötila antaa hälytyksen ja ylempi laukaisee. Hälytyksen saaminen antaa mahdollisuuden muuntajan kuormituksen pienentämiseen hallittujen kytkentämuutosten avulla. [3, s. 378 - 380] [10, s. 189 - 205]

3.4 Jälleenkytkennät ja tahdissaolon valvonta

Suurin osa avojohdoilla sattuvista vioista on ohimeneviä eli vika yleensä poistuu lyhyen jännitteettömän ajan jälkeen. Jännitteettömän ajan aikana esimerkiksi salaman aiheuttama valokaari ehtii sammua ja ilmapälin jännitekestoisuus palaa riittäväksi, jolloin johdolle pystytään palauttamaan jännite melko nopeasti. 400 kV:n verkossa käytön nopea palauttaminen turvaa myös koko verkon stabiiliutta ja generaattorien tahdissapysymistä. Toisaalta epäonnistunut jälleenkytkentä aiheuttaa uuden vikajakson, mikä pidentää vika-aikaa ja saattaa joissain tilanteissa vaarantaa verkon stabiiliutta. [4, s. 257 - 258]

Jälleenkytkennällä tarkoitetaan katkaisijan automaattista kiinnikytkentää suoja-releen tekemän aukiohjauksen jälkeen. Suomessa käytetään yleisesti pika- ja aikajälleenkytkentöjä. Pikajälleenkytkentä (pjk) suoritetaan ainoastaan johtosuojan hidastamattoman laukaisun jälkeen. Epäonnistuneen pjk:n tai hidastetun laukaisun jälkeen suoritetaan vielä aikajälleenkytkentä (ajk), ja mikäli sekään ei onnistu, seuraa lopullinen laukaisu, ja vika todetaan pysyväksi. Pikajälleenkytkentä vaatii vähimmillään 0,4 sekunnin jännitteettömän ajan, jotta johdolla oleva valokaari ehtii sammua ja ilman jännitelujuus palata normaaliksi. Johtojen päiden välisellä apuyhteydellä parannetaan huomattavasti pjk:n onnistumisen todennäköisyyttä etenkin, jos vikapaikka on lähellä johdon päätä. Ilman apuyhteyttä olisi mahdollista, että johdon toisen pään katkaisija avautuisi välittömästi, mutta toinen pää laukaisisi johdon toisen vyöhykkeen hidastuksella (n. 0,3 sekuntia). Tällöin vikapaikka ei tulisi jännitteettömäksi riittävän pitkäksi ajaksi, ennen kuin välittömästi avautunut katkaisija suorittaa pikajälleenkytkennän. Pjk siis epäonnistuisi, ja käytönpalautus onnistuisi vasta ajk:n noin 30 - 60 sekunnin jännitteettömän ajan jälkeen. 400 kV:n johdoilla katkaisijat suljetaan eri päissä eri aikaan, eli jännitteenanto voidaan tehdä vain toisesta päästä johtoa. Pjk:ssä katkaisija avataan jännitteen antavassa päässä yleensä 2,4 sekunnin ajaksi ja vastaanottavassa päässä 2,6 sekunnin ajaksi. Aika on siis huomattavasti pidempi kuin valokaaren sammuminen vaatisi, mutta tällä ei pitäisi olla juuri vaikutusta verkon stabiiliuteen. Normaalisti jälleenkytkennät tehdään kolmivaiheisina, mutta tietyillä voimalaitosjohdoilla ja Pohjois-Lapin 220 kV:n verkossa on käytössä yksivaiheinen pikajälleenkytkentä. Voimalaitosjohdoilla kolmivaiheinen pjk saattaisi aiheuttaa liian suuria rasituksia generaattorille. Aikajälleenkytkennät suoritetaan aina kolmivaiheisina. [3, s. 371 - 373] [11, Ch. 14]

Jälleenkytkennät voidaan toteuttaa joko erillisellä jälleenkytkentäreleellä, tai vaihtoehtoisesti ne voidaan integroida johtosuojaan. Suomessa käytetään yleensä erillistä jälleenkytkentärelettä 400 kV:n johdoilla, mutta 110 kV:n johdoilla jälleenkytkennät on usein integroitu esimerkiksi distanssireleeseen. Erilliselle jälleenkytkentäreleelle tuodaan digitaalituloihin suoja-releiden havahtumis- ja laukaisusignaalit, joiden välisen aikaeron perusteella jälleenkytkentärele päättelee, kuuluuko sen suorittaa pika- vai aikajälleenkytkentä. Vaikka jälleenkytkennät olisi integroitu distanssireleeseen, ne voidaan silti käynnistää myös muilta suoja-releiltä vastaavalla tavalla. Esimerkkinä tällaisesta toteutuksesta voidaan mainita 110 kV:n johto, jolla on käytössä suunnattu maasulkurele ja jälleenkytkennät sisältävä distanssirele.

Jälleenkytkentöjen jännitteettömänä aikana toisistaan eronneiden verkon osien jännitteet saattavat joutua epätahtiin. Tahdistamattoman kytkennän välttämiseksi käytetään kaikilla 400 kV:n ja joillain 110 kV:n johdoilla jälleenkytkentöjen yhteydessä tahdissaolon valvojaa, joka on usein integroitu jälleenkytkentäreleeseen. Tahdissaolon valvoja vertailee jännitettä katkaisijan molemmin puolin ja sallii kiinniohjauksen vain jos ennalta määritellyt ehdot täyttyvät. Esimerkiksi jännitteen antavassa päässä tahdistusedoksi määritellään, että kiskossa on jännite mutta johdolla ei. Jännitteen vastaanottavassa päässä katkaisijan kiinnikytkentä sen sijaan vaatii, että johdolla ja kiskossa on jännite ja näiden kulma-, suuruus- ja taajuusero on riittävän pieni. Duplex-kiskojärjestelmässä on käytössä ns. seurantatoiminto (master - follower), jossa master-katkaisija suljetaan ensin ja follower-katkaisija suljetaan vain, jos vika on poistunut. Toisin sanoen jälleenkytkentöjä yritetään suorittaa vain master-katkaisijalla, ja mikäli jälleenkytkentä onnistuu, suljetaan follower-katkaisija pienen viiveen jälkeen. Jos jälleenkytkentä epäonnistuu, ei follower-katkaisijaa yritetä sulkea lainkaan. [10, s. 351 - 356]

3.5 Kisko- ja katkaisijavikasuojaus

Johtolähtöjen virtamuuntajista katsottuna kiskon puolella sattuvat viat ovat kiskovikoja. Kun johdoilla käytetään distanssisuojausta, tulevat kiskotkin suojattua, mutta ongelmana on, että ne kuuluvat tällöin vasta-asemien distanssireleiden toiseen suojausvyöhykkeeseen. Vikaantuneeseen kiskoon liittyvien johtojen distanssireleet näkevät kiskoviat takanapäin, joten ne eivät laukaise vikaa. Tällöin siis asemalla sattuvan kiskovian seurauksena kaikki asemaan kytkeytyvät johdot kytkettäisiin irti toisen vyöhykkeen hidastuksella. Etenkin 400 kV:n verkossa kaikkien johtojen irtikytketyminen pitkän vika-ajan jälkeen aiheuttaisi suuria ongelmia verkon stabiiliudelle. Asemalla sattuvissa vioissa oikosulkutehot ovat erittäin suuria, jolloin pitkä vika-aika aiheuttaisi myös mittavia vahinkoja sähköaseman laitteille. Tämän vuoksi kaikilla 400 kV:n asemilla on erillinen kiskosuoja, joka laukaisee nopeasti vain vioittuneeseen kiskoon liitetyt katkaisijat. Duplex-järjestelmässä kiskosuojaus on välttämätön, koska sillä pystytään välttämään kiskoviasta aiheutuvat johtokeskeytykset. 110 kV:n asemilla erillistä kiskosuojausta käytetään keskeisimmillä asemilla ja SF₆-eristeisissä sisäkytkinlaitoksissa.

Kiskosuojauksen tärkeimmät vaatimukset ovat nopea ja selektiivinen toiminta sekä käyttövarmuus. Suojauksen toiminta-ajan on oltava alle 100 ms, mikä sisältää myös katkaisijoiden toiminta-ajat. Selektiivisyys edellyttää, että suojat saavat luotettavasti tarvitsemiensa kytkinlaitteiden tilatiedot, jotta ne pystyvät toimimaan oikein kaikissa mahdollisissa kytkentätilanteissa. Kiskosuojan tarpeettomat laukaisut on myös estettävä mahdollisimman tarkasti, koska koko kiskon tekeminen jännitteettömäksi aiheuttaa merkittävää haittaa voimajärjestelmälle. [10, s. 207 - 233]

Kiskosuojaus perustuu vakavoituun differentiaalisuojaukseen, eli suoja mittaa kaikkien kiskoon liittyvien johtojen virtaa. Virtojen suunnat huomioiden kokonaisvirran tulisi olla likimain nolla. Vakavointi kasvattaa suojan toimimiseen vaadittavaa erovirtaa kiskon läpi kulkevan virran kasvaessa, millä vältetään virtamuuntajien eroista ja kylläs-

tymisestä aiheutuvat virhelaukaisut. Kiskosuojaus voidaan toteuttaa keskitetysti tai hajautetusti, joista hajautettu ratkaisu on nykyisin huomattavasti yleisempi tapa. Keskitetyssä ratkaisussa kaikkien kenttien virrat ja erottimien asentotiedot tuodaan samalle laitteelle, joka tarkkailee niiden perusteella suojausalueen summavirtaa. Hajautetussa ratkaisussa on käytössä jokaiselle kiskoon liittyvälle kentälle oma kenttäyksikkö, joille tuodaan vain kyseiseen kenttään liittyvät mittaukset ja tilatiedot. Kenttäyksiköt yhdistetään valokuidulla kiskosuojan keskusyksikköön, joka prosessoi tiedot ja määrittelee niiden perusteella suojausvyöhykkeet ja laukaisupäätökset. Keskitettyyn ratkaisuun nähden hajautettu toteutus vähentää tarvittavan toisiojohdotuksen määrää ja helpottaa mahdollista laajennusta. [16, s. 25 - 33]

Osana kiskosuojausta käytetään myös katkaisijavikasuoja, jolla varaudutaan viikatilanteessa ensisijaisen katkaisijan toimimattomuuteen. Suojaus perustuu katkaisijan avautumisen ja virran katkeamisen valvontaan. Katkaisijavikasuojan ajastin käynnistyy suojarileen laukaisusignaalista, ja mikäli katkaisija ei aukea määritetyn ajan kuluttua, lähetetään laukaisukäsky vioittuneen katkaisijan kanssa samalle kiskolle kytketyille katkaisijoille. Toisin sanoen laukaistaan vioittuneen katkaisijan ”takana” olevat katkaisijat. 400 kV:n johdoilla laukaisusignaali lähetetään myös johdon toisen pään suojarielelle. Signaali on yleensä vain laukaisun salliva, eli vasta-aseman katkaisijan laukeamiseen vaaditaan myös vasta-aseman suojarileen havahtuminen. [3, s. 357 – 359] [3, s. 381 - 384]

4 KOESTUKSET

Sähköturvallisuuslain [17] mukaan: ”Sähkölaitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava niin sekä niitä on huollettava ja käytettävä niin, että: niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa.” Lisäksi Kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksessä sähkölaitteistojen käyttöönotosta ja käytöstä [18, luvut 2 ja 3] todetaan, että sähkölaitteistolle on suoritettava käyttöönototarkastus, jossa riittävässä laajuudessa selvitetään, ettei laitteisto aiheuta sähköturvallisuuslaissa mainittua vaaraa. Saman päätöksen kolmannessa luvussa mainitaan myös, että sähkölaitteiston haltijan on huolehdittava, että sähkölaitteiston kuntoa ja turvallisuutta tarkkaillaan ja havaitut puutteet ja viat poistetaan riittävän nopeasti. Sähkölaitteistolle on myös laadittava ennalta sähköturvallisuuden ylläpitävä kunnossapito-ohjelma. Sähkölaitteistolle on lisäksi suoritettava määräaikaistarkastuksia, joissa tulee varmistua siitä, että laitteiston käyttö on turvallista. Kaikista sähkölaitteistoille suoritettavista tarkastuksista tulee laatia tarkastuspöytäkirjat laitteiston haltijan käyttöön.

Sähkösäätimen laitteille ja järjestelmille suoritettavien koestusten ja mittausten tavoitteena on varmistaa laitteiden oikea ja turvallinen toiminta. Kuten aiemmin on jo todettu, nämä kaksi asiaa ovat tärkeitä koko voimajärjestelmän kannalta, ja siksi suunnittelussa tai asennuksissa sattuneet virheet sekä mahdolliset laitevauriot tulee löytää. Suojausjärjestelmät sisältävät hyvin monenlaisia laitteita, ja järjestelmät voivat olla hyvinkin monimutkaisia, joten koestajalta vaaditaan hyvin laajaa käsitystä koko järjestelmän toiminnasta. Koestuksia tehtäessä ehdoton edellytys on, että koestaja on riittävän perehtynyt laitteiden ja järjestelmien toimintaan, jotta on mahdollista todeta niiden kelppoisuus. Suojausjärjestelmän koestamisessa todennäköisesti vaikein asia on sen kokonaistoiminnan hahmottaminen. Yksittäisen suojalaitteen toiminta pystytään yleensä varmistamaan hyvinkin tarkasti, mutta ongelmaksi tulee kaikkien suojaukseen osallistuvien laitteiden yhteistoiminnan ja niiden välisen selektiivisyyden varmistaminen. [10, s. 376 - 380]

4.1 Relekaappien vastaanottokoestukset (FAT)

Relekaappien vastaanottokoestukset eli FAT-testit suoritetaan relekaapeille ennen niiden toimittamista sähkösäätimelle. Yleensä nämä testit suoritetaan relekaapin valmistajan tiloissa. FAT-testeissä varmistutaan mm. siitä, että relekaappi on toteutettu suunnitelmiensa mukaan, johdotukset ovat piirikaavioiden ja johdotuspiirustusten mukaisia sekä releiden asennukset ja konfigurointi on suoritettu oikein. Lisäksi relekaappien tarkastuksessa tulee kiinnittää huomiota mm. kaapin kosketussuojauksiin sekä kojeiden ja liitinten merkintöihin. FAT-testeissä suojareleiden toiminta koestetaan perusteellisesti ja

varmistetaan siitä, että niiden toimintarajat ja -ajat ovat määritellyn mukaisia. Yksittäisten suojarleiden toiminnan testaamisen lisäksi pyritään mahdollisimman kattavasti varmistamaan koko suojausjärjestelmän oikeasta toiminnasta, jotta asemalla tapahtuvassa käyttöönotossa ei tulisi vastaan ikäviä yllätyksiä. Yksi tärkeä osa suojausjärjestelmän koestamista on esimerkiksi jälleenkytkentäsekvenssien oikean toiminnan tarkastus. Lisäksi suoritetaan erilaisia toiminnallisia testauksia, joilla pyritään varmistamaan suojausjärjestelmän toiminta erilaisissa häiriötilanteissa. Esimerkkinä tällaisista testauksista voidaan mainita releen apusähkön katkaisu, jolloin releen tulee antaa hälytys. Apusähköjen palautuessa rele ei saa lähettää laukaisua ja sen asetukset eivät saa jännitteen kaatoamisen seurauksena muuttua. [19]

4.2 Sähköasemien käyttöönottokoestukset (SAT)

Sähköaseman käyttöönottokoestuksilla tarkoitetaan uusille asennuksille sähköasemalla tehtäviä tarkastuksia ja mittauksia ennen niiden käyttöönottoa. Perustelut käyttöönottokoestusten tekemiseen ovat sähköturvallisuusmääräykset, mahdolliset laitevalmistajan takuuehdot, tilaajan vaatimukset sekä varmistuminen laitteiden oikeasta asennuksesta, toiminnasta ja soveltuvuudesta aiottuun käyttökohteeseen. Koestuksista laaditaan pöytäkirjat, jolloin asennuksesta ja asennustavasta saadaan dokumentti myöhempää käyttöä varten. Käyttöönottokoestus voidaan jakaa järjestelmäkoestukseen ja relekoestukseen.

Järjestelmäkoestusten peruseriaatteena on varmistuminen asennusten suunnitelmien mukaisuudesta ja valmistajan asennusohjeiden noudattamisesta. Lisäksi varmistetaan, että asennukset täyttävät eri standardien vaatimukset. Koestuksia tehdään sekä silmämääräisesti että erilaisiin mittauksiin perustuen. Järjestelmäkoestuksiin kuuluvat mm. ensiolaitteille tehtävät tarkastukset ja mittaukset, kaapeleiden eristysvastusmittaukset, maadoitusten tarkastukset, akuston tarkastus sekä DC- ja AC-keskusten toiminnan ja hälytysten testaukset. Laitteiden ohjaukset, lukitukset ja merkinannot testataan paikallisesta ohjauspisteestä ja käytönvalvontajärjestelmästä. Katkaisijoilta mitataan mm. toiminta-ajat ja ohjauskelojen alimmat toimintajännitteet. Kaikilta kytkinlaitteilta mitataan myös pääkoskettimien ylimenovastukset. Mittamuuntajista mitataan mm. napaisuus, muuntosuhde, eristysvastus ja toisiotaakka. Laitteille tehtävien mittausten lisäksi varmistetaan, että suojakohteet ja niiden ulkoiset piirit on toteutettu suunnitelmien mukaisesti sekä hyvää asennustapaa noudattaen. Tämä tarkoittaa sekä johdotusten että laitteiden asennusten tarkastusta ja toiminnan mahdollisimman kattavaa testausta. Järjestelmäkoestus on hyvin laaja-alainen osa sähköaseman käyttöönottoa ja siihen vaaditaan monia erilaisia mitta- ja tarkastuslaitteita. Lisäksi koestajan tulee tuntea kulloinkin mitattaville asennuksille sovellettavien standardien vaatimuksia. [20] [10, s. 365 - 380]

Relesuojaukselle tehtävässä käyttöönottokoestuksessa pyritään simuloimaan mahdollisimman tarkasti oikeita käyttö- ja vikatilanteita, minkä tarkoituksena on varmistaa suojarleiden ja mahdollisimman kattavasti koko muun suojausjärjestelmän oikea toiminta. Releiden toimintaa ei kuitenkaan välttämättä ole koestettava yhtä perusteellisesti kuin FAT-testeissä (esim. distanssireleen vyöhykerajat) vaan koestuksessa

tulisi keskittyä nimenomaan suojausjärjestelmän kokonaistoiminnan testaamiseen. Releitä koestetaan kaikki käyttöön otettavat suojaustoiminnot ja suojauskohteeseen liittyvät lukitus-, hälytys-, käynnistys, ym. toiminnot vastaanottavalle laitteelle asti. Katkaisijoiden laukaisupiirien toiminta tulee testata katkaisijalle asti laukaisemalla katkaisija vähintään kerran kummallakin laukaisukelalla ja myös molemmilla keloilla samanaikaisesti. Myös jälleenkytkentöjen toiminta testataan oikealla katkaisijalla. [10, s. 365 - 380] [19]

4.3 Releiden kausikoestukset

Koska vikoja sattuu suhteellisen harvoin, voi yksittäinen suojarele olla hyvinkin pitkään toimimatta. Toisin sanoen sen toiminnasta tai toimintakyvystä ei saada tarkkaa indikaatiota. Kuitenkin vian sattuessa releen on oltava täysin toimintakykyinen ja pystyttävä suoriutumaan tehtävästään alun perin suunnitellulla tavalla. Tämän vuoksi suojarelleille tehdään säännöllisin väliajoin kausikoestuksia, joilla saadaan varmistus niiden toimintakyvystä. Kausikoestusten tavoitteena on siis löytää mahdolliset suojausviat ennen kuin ne aiheuttavat turhan laukaisun tai jättävät kokonaan laukaisematta, jos vika sattuu. Kausikoestuksiin sisältyvät yleensä releen toimintarajojen ja -aikojen koestus sekä releen sisääntulojen ja lähtökoskettimien toiminnan testaus. Myös releen toimintaan liittyvien hälytysten toiminta tarkistetaan. Lisäksi mahdollisuuksien mukaan tulisi varmistua laukaisupiirin kunnosta laukaisemalla katkaisija ainakin kerran suojarelleellä. Sopivan koestusvälin määrittäminen pitää miettiä tarkkaan, koska myös liiallinen koestus saattaa aiheuttaa enemmän ongelmia kuin mitä vikojen nopealla havaitsemisella saavutetaan. Tämä johtuu esimerkiksi koestusten yhteydessä sattuvista virhelaukaisuista. Kausikoestusten lisäksi releitä koestetaan asettelu- tai konfiguraatiomuutosten yhteydessä, jolloin on kiinnitettävä huomiota etenkin siihen, että suojan toimintasuunta on säilynyt muutosten seurauksena oikeana. [21, Ch. 9]

Kausikoestukset pyritään tekemään korvauskytkennän tai käyttökeskeytyksen aikana, mutta joskus keskeytyksistä saattaa aiheutua kohtuutonta haittaa sähkönsiirrolle. Tällöin koestus joudutaan tekemään käyttöä keskeyttämättä, jolloin tehtävät toimenpiteet on mietittävä erityisen tarkasti ja varmistettava niiden turvallisuus. Turhan laukaisun estämiseksi on koestettavalta releeltä katkaisijalle lähtevät laukaisupiirit avattava, lisäksi tulisi välttää turhien hälytysten aiheuttamista käyttökeskukseen. Turvallisuuden varmistamiseksi on erityisesti otettava huomioon luvussa 2.2.4 kerrotut asiat virtamuuntajan toisiopiirin avaamisesta. Koestuskytkennät täytyy myös purkaa huolellisesti oikeassa järjestyksessä ja avatut liittimet on muistettava sulkea. [19]

Uudempiin releisiin sisältyvät melko laajat itsevalvontaominaisuudet. Tämä tarkoittaa, että ne pystyvät tarkkailemaan omaa tilaansa ja antamaan hälytyksen mahdollisista ongelmista. Itsevalvonta pystyy havaitsemaan niin releen sisäiset häiriöt (esim. prosessori ja ohjelmisto) kuin apusähköhäiriötkin. Itsevalvonta on mahdollistanut koestusvälien pidentämisen. Sähkömekaaniset releet vaativat koestuksia staattisia tai numeerisia releitä useammin, koska niiden osat saattavat jäykistyä käytön puutteen vuoksi.

Staattisissa releissä ongelmia taas aiheuttaa elektroniikkaosien vanheneminen. [10, s. 34 - 35 ja 377 - 380]

4.4 Koestustoimenpiteet ja käytettävät laitteet

Relekoestuksissa simuloidaan erilaisia verkon vikatilanteita syöttämällä suojareleelle haluttuja virtoja ja jännitteitä. Releiden toimintaa tarkkaillaan niiden toimintarajojen ja -aikojen osalta. Koestusmenetelmät voidaan jakaa ensiö- ja toisiokoestuksiin, joiden ero on koestusvirtojen ja -jännitteiden syöttötavoissa. Ensiökoestuksissa koestussuureet syötetään mittamuuntajien ensiöliittimien kautta, kun taas toisiokoestuksissa toisiopiirit irrotetaan mittamuuntajista ja koestussuureet syötetään suoraan toisiopiireihin. Suojauksen toiminta-aika olisi suositeltavaa mitata katkaisijan ensiöliittimistä, jolloin otettaisiin huomioon kaikki katkaisijan avautumisaikaan vaikuttavat laitteet. Koestusmenetelmistä ensiökoestus on luotettavampi kattavuutensa vuoksi, mutta toisiokoestus on usein huomattavasti helpompi ja turvallisempi suorittaa ja siksi myös käytetympi tapa. Tähän on syynä se, että toisiokoestuksissa riittävät huomattavasti pienemmät virrat ja jännitteet, jolloin koestuslaitteiden ei tarvitse olla yhtä järeitä kuin ensiökoestuksessa. Lisäksi toisiopiireihin on huomattavasti helpompi päästä käsiksi, koska ne on yleensä johdotettu relekaappiin avattavien riviliittimien kautta. [10, s. 365 – 368]

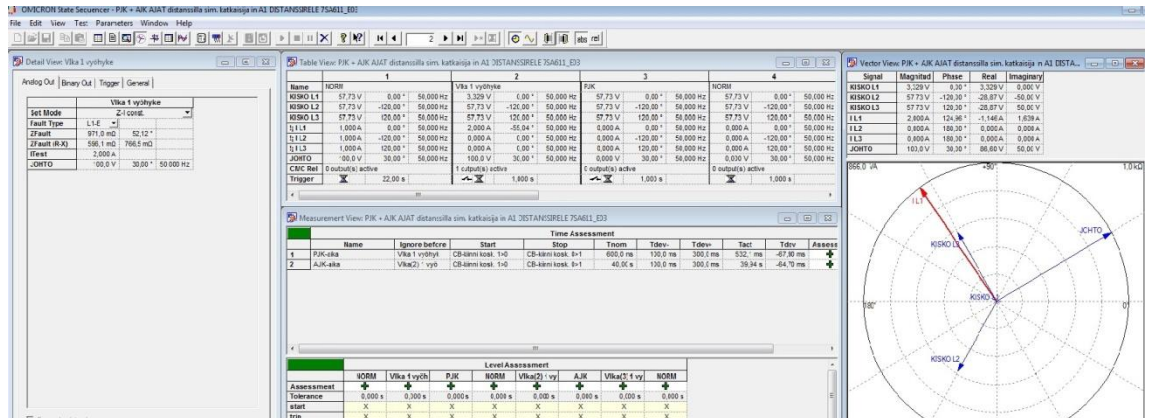
Nykyisillä toisiokoestuslaitteilla pystytään syöttämään haluttuja virtoja ja jännitteitä sekä muuttelemaan niiden suuruuksia, vaihekulmia ja taajuutta. Lisäksi laitteissa on releen toiminta-aikojen mittaamiseen tarvittavat ajastimet, joiden käynnistys- ja pysäytysehdot voidaan määrittellä. Eri koestuslaitteilla pystytään syöttämään virtoja ja jännitteitä yksi- tai kolmivaiheisesti. Kehittyneemmissä laitteissa on kuusi virtalähtöä, jolloin kolmivaihevirratt pystytään syöttämään samanaikaisesti kahteen paikkaan. Tämä mahdollistaa esimerkiksi muuntajan differentiaalisuojan kattavan koestuksen. Käytettäviltä koestuslaitteilta kulloinkin vaadittavat ominaisuudet määräytyvät siis koestettavista laitteista ja koestuksen laajuudelle asetetuista vaatimuksista.

Empower Oy:ssä on toisiokoestuslaitteina käytössä Omicronin CMC -sarjan laitteita. Laitteet ovat likimain tietokoneen keskusyksikön kokoisia ja niillä voidaan mallista riippuen syöttää erisuuruisia virtoja ja jännitteitä yksi- tai kolmivaiheisesti. Laitteissa on kymmenen binääristä sisääntuloa, jotka voidaan yksitellen määrittellä toimimaan potentiaalivapaasti koskettimen yli tai käyttäjän määrittelemän kynnysjännitteen ylittyessä. Lisäksi laitteissa on neljä ohjattavaa lähtörelettä, joilla voidaan tarvittaessa simuloida suojausjärjestelmään liittyvien koskettimien toimintaa. Kuvassa 15 on valokuva Omicronin CMC 256-toisiokoestuslaitteesta.



Kuva 15. Omicron CMC-256-toisiokoestuslaite

Laitteen toimintaa ohjataan tietokoneelle asennetun Test Universe -ohjelmiston avulla. Manuaalisen koestuksen, jossa käyttäjä määrittelee itse syötettävän virran tai jännitteen suuruuden lisäksi ohjelmisto sisältää monia valmiita koestusmoduuleita. Moduuleita löytyy valmiina esimerkiksi ylivirta-, differentiaali- ja distanssireleiden koestukseen. Peruserätyksenä valmiiden moduuleiden käytössä on, että käyttäjä määrittelee koestusohjelmalle releeltä vaaditut toiminta-arvot ja -ajat sekä sallitut poikkeamat asetusrajoista. Tämän jälkeen laite koestaa releen toiminnan määritellyissä toimintapisteissä ja kertoo olivatko mitatut arvot rajojen sisällä. Erityisesti distanssireleitä koestettaessa hyödyllinen ominaisuus on releen asettelukuvion tuominen koestusohjelmaan suoraan releen asettelutiedostosta, koska kuvioiden määrittäminen manuaalisesti olisi melko työläs operaatio. Tätä ominaisuutta käytettäessä on kuitenkin varmistuttava erityisen tarkasti, että releen asetellut ovat oikeat, koska tällöin on mahdollista, että ohjelma koestaisi releen väärillä asetteluilla, mutta ilmoittaisi käyttäjälle releen toimineen oikein. Lisäksi ohjelmalla voi toteuttaa hyvinkin monimutkaisia koestussekvenssejä, joilla pystytään simuloimaan erilaisia verkon vikatilanteita. Sekvenssiä voidaan ohjata määrittämällä erilaisia liipaisuehtoja, joiden perusteella suojauksen oikea toiminta voidaan todeta, koskien esimerkiksi jälleenkytkentä- ja tahdistusehtoja. Kuvassa 16 on esimerkki eräästä koestussekvenssistä, jolla on mitattu jälleenkytkentöjen jännitteettömät väliajat. Kuvassa näkyvästä osoitinpiirroksesta näkee havainnollisesti koestuslaitteen syöttämien virtojen ja jännitteiden suunnat ja suuruudet. Valmiita moduuleita käytettäessä ohjelmasta saadaan heti koestuksen yhteydessä valmis koestuspöytäkirja. Koestusohjelmaan voidaan yhdistää useita eri moduuleita, jolloin samaan tiedostoon on mahdollista sisällyttää releen kaikkien toimintojen koestus. Tiedostoa pystytään tämän jälkeen käyttämään uudelleen ja tarvittaessa muokkaamaan, mistä on hyötyä koestettaessa useita samankaltaisia suojareleitä. Samaa koestuspohjaa voidaan hyödyntää myöhemmin myös kausikoestusten yhteydessä. [22]



Kuva 16. Kuva Test Universe –ohjelmasta.

5 KYTKINLAITESIMULAATTORIN OMINAISUUKSIIEN MÄÄRITTELY

Tiettyissä koestustilanteissa on pystyttävä simuloimaan koestettaville suojalaitteille joi-tain järjestelmän toimintaan vaikuttavia tietoja. Tällaisia ovat esimerkiksi jälleenkytkentä- ja distanssireleiden oikean toiminnan edellyttämät tiedot katkaisijoiden asennosta ja jälleenkytkentävalmiudesta. Kytkinlaitesimulaattorin avulla pyritään simuloimaan yksit-täisen kytkinlaitekentän katkaisijaa tai katkaisijoita sekä suojausjärjestelmän toimintaa riittävän tarkasti. Tarkoituksena on, että laitteella pystytään jäljittelemään ulkokentän toimintaa koestuksen aikana, jotta järjestelmän toiminta on mahdollista koestaa katta-vasti. Lisäksi simulaattorilla voitaisiin simuloida erilaisia toimintoja ja signaaleja suo-jausjärjestelmälle. Koestettaessa simulaattorilla voidaan esimerkiksi simuloida ”Jänni-temuuntajan suojakytkin lauennut” -tieto ja tarkastaa, että järjestelmä toimii tämän seu-rauksena vaatimusten mukaan. Simulaattoria tarvitaan etenkin uusien relekaappien teh-dastesteissä, koska ne tehdään usein ennen relekaappien toimittamista sähköasemalle, jolloin oikeaa katkaisijaa ei ole edes saatavilla. Sähköasemalla tehtävissä käyttöönotto-koestuksissa oikea katkaisija olisi yleensä käytettävissä, mutta koestusten yhteydessä vaadittavien toimintakertojen määrä voi olla useita satoja, jolloin kaikkien testien suorit-taminen oikealla katkaisijalla rasittaisi sitä turhaan. Simulaattoria käyttämällä voidaan toimintakertojen määrää vähentää huomattavasti koestamalla järjestelmä simulaattorilla ja käyttämällä oikeaa katkaisijaa vain niissä testauksissa, joissa sitä välttämättä tarvi-taan.

Kun simulaattorina käytetään nykyaikaista relettä, voidaan laitteesta tehdä sovel-tuva moniin eri tilanteisiin ja tarpeisiin. Simulaattorille voidaan tehdä useita erilaisia konfiguraatioita, joista voidaan aina kulloistakin tarvetta varten ladata käyttöön parhai-ten sopiva. Voidaan esimerkiksi tehdä omat konfiguraatiot eri kiskojärjestelmille ja eri-tyyppisille koestuksille. Konfiguraatioita on myös mahdollista muuttella uusien tarpei-den mukaan. Tällä tavalla on mahdollista laajentaa simulaattorin käyttökohteita. Tavoit-teena laitteen toteutuksessa siis oli, että laite jäisi riittävän avoimeksi siten, että siihen olisi tulevaisuudessa mahdollista lisätä ominaisuuksia, jotka mahdollistaisivat laitteen käytön vielä tuntemattomissa sovellutuskohteissa. Laitteen toteutuksessa tavoiteltavia ominaisuuksia olivat monikäyttöisyys, mutta samalla kuitenkin pyrittiin pitämään lait-teen käyttö mahdollisimman yksinkertaisena. Niin sanotun ”universaalin simulaattorin” toteutusta pidettiin jo alun pitäen mahdottomana, mutta tavallaan ohjelmoitavan releen käyttö tekee simulaattorista lähes tällaisen, koska konfiguraatiota muuttamalla simulaat-torin toiminta pystytään asettamaan halutuksi. Toisaalta ohjelmoitavan releen käyttö mahdollistaa simulaattorin toimintojen jakamisen pienempiin kokonaisuuksiin, jolloin

kaikkia ominaisuuksia ei edes tarvitse sisällyttää samaan konfiguraatioon. Tämä tekee laitteen toteutuksesta ja käytöstä huomattavasti yksinkertaisempaa ja pienentää virheiden todennäköisyyttä. [23]

Kytkinlaitesimulaattorin perustoimintaperiaatteena on, että siihen johdotetaan relekaapista oikealle katkaisijalle menevät ohjaukset. Vastaavasti simulaattorista relekaappiin johdotetaan simuloidun katkaisijan tilatiedot ja muita simuloitavia signaaleita. Tavoitteena on, että ainakin osa koestuslaitteen ja simulaattorin välisestä tiedonsiirrosta pystyttäisiin toteuttamaan IEC 61850-väylän GOOSE-viestien avulla. Tämän seurauksena kaikkia signaaleita ei tarvitse johdottaa erikseen koestuslaitteeseen, mikä kasvattaa käytettävissä olevien sisään- ja ulostulojen määrää. Pääasiallisesti simulaattoria tultaisiin hyödyntämään FAT- ja SAT-testeissä, joissa suoritettavat koestukset ovat toisinaan melko monimutkaisia ja aikaa vieviä. Riittävä määrä käytettävissä olevia sisään- ja ulostuloja helpottaa koestamista ja mahdollistaa myös joidenkin koestusten automatisoinnin. Simulaattoria on kuitenkin mahdollista käyttää myös täysin itsenäisenä laitteena ilman yhteyttä koestuslaitteeseen. Tällöin simulaattorin konfiguraatioon voitaisiin tehdä näytöltä manuaalisesti ohjattavia objekteja, joilla simulaattorin toimintaa voidaan hallita. Koestettavan järjestelmän oikean toiminnan toteamisessa voitaisiin käyttää hyväksi myös simulaattorin omaa tapahtumalistaa.

5.1 Käytössä oleva vanha simulaattori

Yksinkertaisimmillaan relekoestuksissa voidaan katkaisijasimulaattorina käyttää kippi-relettä, jolle viedään relekaapin riviliittimiltä katkaisijan auki- ja kiinniohjaukset. Katkaisijan tilatiedot saadaan tällöin kippireleen apukoskettimien välityksellä. Koestusten yhteydessä on tähän asti ollut käytössä itse tehty katkaisijasimulaattori, joka on toteutettu apureleilla ja kytkimillä. Laitteen toimintaperiaatteen tuntee lähinnä vain sen tekijä. Siitä ei ole tehty piirikaavioita vaan ainoa saatavilla oleva dokumentti rajoittuu johdotustaulukkoon. Simulaattorissa on käytetty säädettäviä aikahidastuselimä, joilla on pyritty saamaan aikaan mahdollisimman todenmukaisia toiminta-aikoja. Uudessa simulaattorissa nämä toiminta-ajat ovat määriteltävissä logiikkaan konfiguroitujen ajastimien parametreissa, jolloin niiden määrittämisestä saadaan joustavampaa ja tarkempaa. Laitteen suurimpana puutteena on, että siihen ei ole alun perin sisällytetty kahta katkaisijaa, mikä hankaloittaa sen käyttöä duplex-järjestelmää koestettaessa. Vanha simulaattori on lisäksi melko painava ja hankalasti kuljetettava, mihin myös toivotaan uuden simulaattorin myötä parannusta. Kuvassa 17 on esitetty valokuva vanhan simulaattorin sisältä löytyvistä apureleista ja laitteen kytkemisessä käytetyistä riviliittimistä. Laitteen kanssa on lisäksi käyttökytkimiä. Laitteen mukana kulkeviin varusteisiin kuuluu suuri määrä kytkentäjohtoja.



Kuva 17. Vanha katkaisijasimulaattori sisältä.

5.2 Sopivan laitteen valinta

Kytkinlaitesimulaattorin toteutuksessa ensimmäisenä tehtävänä oli simulaattoriksi soveltuvan laitteen valinta. Useiden valmistajien valikoimista löytyy vaihtoehtoja, jotka soveltuisivat käytettäväksi simulaattorin toteutuksessa. Laitteen valinnassa oli kuitenkin oltava tarkkana tiettyjen ominaisuuksien suhteen. Näitä olivat erityisesti laitteen apujännite, sisään- ja ulostulojen kynnys- ja maksimijännitteet, mahdollisimman monipuolinen ja helppo ohjelmoitavuus sekä logiikan prosessointikyky, näytön ominaisuudet ja IEC 61850-tiedonsiirtoprotokollan tukeminen. Lisäksi laitteen valinnassa kiinnitettiin huomiota laitteen fyysiseen kokoon ja painoon, koska jo ennestään koestuksessa käytettäviä välineitä ja tarvikkeita on paljon, joten ylimääräinen lisätaakka ei ole kovin toivottavaa. Oman osuutensa käytettävän laitteen valintaan aiheutti myös laitteen hankintahinta.

Jo ennalta tiedettiin, että nykyaikainen kennoterminaalirele soveltuu edellä mainittuihin kriteereihin erittäin hyvin. Tavoitteena oli kuitenkin kartoittaa mahdollisuuksia myös vaihtoehtoisille toteutustavoille. Simulaattorin toteutuksessa ei tarvita lainkaan suojauslaitteita sisältämiä suojaustoimintoja, joten simulaattori olisi mahdollista toteuttaa esimerkiksi teollisuudessa laajassa käytössä olevilla ohjelmoitavilla logiikoilla. Tavoitteena tämän toteutustavan harkinnassa oli mahdolliset säästöt laitteen hankintahinnasta. Ohjelmoitavien logiikoiden käyttömahdollisuuksia selvitettyä tuli kuitenkin vastaan muutamia seikkoja, jotka eivät välttämättä olisi estäneet niiden käyttöä, mutta ainakin hankaloittaneet sitä. Ensinnäkin logiikoiden yleisin käyttöjännite ja digitaalisten sisään- tulojen jännite on 24 V DC. Pienen tutkimisen ja kyselyiden jälkeen selvisi, että on olemassa myös sähköasemille soveltuvilla jännitteillä toimivia logiikoita ja I/O-kortteja, joten periaatteessa tämä ongelma olisi ollut ratkaistavissa. Suuremmaksi ongelmaksi olisi tullut kuitenkin IEC 61850-protokollan käyttö ja GOOSE-viestien toteuttaminen.

Mikäli GOOSE-viestejä ei pystytä laitteessa käyttämään, sen ominaisuudet jäisivät huomattavasti vähäisemmiksi. Tällöin esimerkiksi kaikki koestuslaitteeseen halutut signaalit pitäisi johdottaa suoraan koestuslaitteen omiin sisääntuloihin, joita on melko rajallinen määrä. Tämä olisi tarkoittanut, että logiikkaan olisi ollut huomattavasti hankalampaa sisällyttää katkaisijasimulaattorin lisäksi mitään muita lisäominaisuuksia. Simulaattori olisi siis jäänyt täysin erilliseksi laitteeksi, jolloin mahdollisuudet simulaattorin ja koestuslaitteen yhteistoiminnalle olisivat olleet huomattavasti vähäisemmät. Eräaseen logiikkaan olisi ollut saatavilla IEC 61850-kommunikointimoduuli, mutta sen toimiminen todettiin muiden lähteiden perusteella riittämättömäksi. [24] Muita syitä tämän toteutusvaihtoehdon hylkäämiseksi olivat mm. releiden parempi tuntemus simulaattorin käyttäjien keskuudessa ja se, että ohjelmointityökalut olisi pitänyt hankkia erikseen. Loppujen lopuksi laitteiden hankintahinnoissakaan ei ollut kovin suuria eroja releiden hintoihin nähden, joten ei katsottu viisaaksi yrittää simulaattorin toteuttamista tällaisilla laitteilla. Päädyttiin siis käyttämään valmiiksi tuttuja laitteita, jotka on alusta pitäen suunniteltu toimimaan sähköasemaympäristössä. Seuraavissa kappaleissa on käyty läpi tärkeimmät releen valinnassa huomioidut seikat.

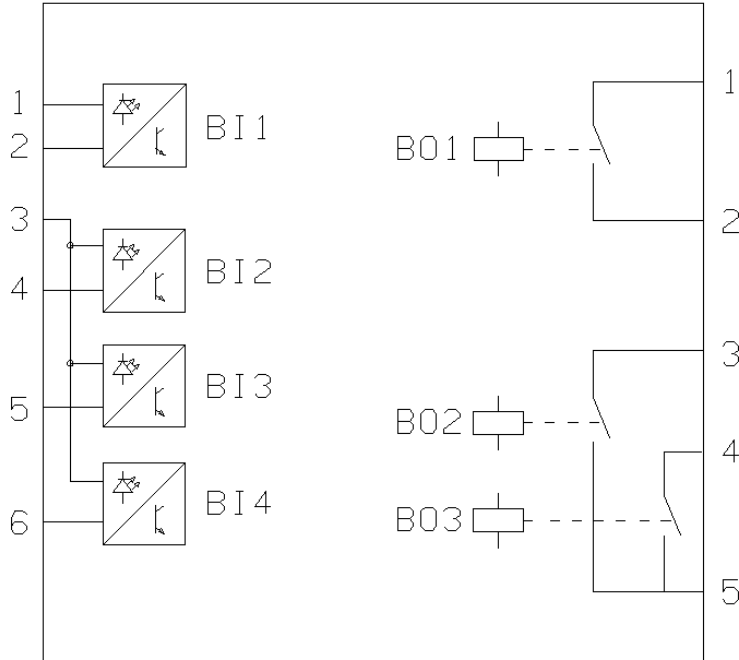
5.2.1 Simulaattorin apujännite

Simulaattorin apujännitteellä tarkoitetaan laitteen käyttöjännitettä. Edellytyksenä oli, että simulaattoria voidaan käyttää mahdollisimman monessa paikassa ja joustavilla tavoilla. Tämä tarkoitti käytännössä sitä, että simulaattoria tulee voida käyttää niin 230 voltin vaihtosähköllä kuin myös 110 ja 220 voltin tasasähköllä. Tällä mahdollistetaan simulaattorin käyttäminen tavalliseen pistorasiaan liitettynä tai sitten apusähkö voidaan syöttää erillisellä tasavirtalähteellä. Koska sähköasemien apusähköt ovat yleensä joko 110 tai 220 voltia, voidaan simulaattorin apusähkö ottaa myös suoraan koestettavasta relekaapista. Nämä edellytykset eivät näyttäneet muodostuvan ongelmaksi harkinnassa olleiden releiden välillä.

5.2.2 Liitännät

Sisään- ja ulostulojen eli I/O:n suhteen joudutaan miettimään sopiva kompromissi I/O:n määrän ja laitteen koon välillä. Myös mahdollinen laajennettavuus piti harkita. Esimerkiksi Siemensin 7SJ64-rele jouduttaisiin tilaamaan koko 19 tuuman levyisenä, mikäli haluttaisiin enemmän kuin 20 binääristä sisääntuloa. Lisäksi huomiota kannattaa kiinnittää sisään- ja ulostulojen ryhmittelyyn eli niiden galvaanisiin yhteyksiin keskenään. Sisääntuloissa liitännät on ryhmitelty esimerkiksi niin, että tietyille ryhmälle tuodaan yksi yhteinen miinusjännite. Tästä seuraa siis se, että esimerkiksi neljä sisääntuloa vaatii yhteensä viisi fyysistä liitintä. Mikäli haluttaisiin toteuttaa neljä sisääntuloa ns. ”single-input”-na, tarvittaisiin yhteensä kahdeksan liitintä. Näin saadaan vähennettyä johdotuksen määrää ja tilan tarvetta, mutta haittana on, että näihin sisääntuloihin voidaan tuoda ainoastaan yhden ja saman akuston syöttämiä jännitesignaaleja. Laitetta johdotettaessa on siis kiinnitettävä huomiota siihen, mitkä signaalit voidaan kytkeä mihinkin liitti-

meen. Ulostuloissa periaate on sama, mutta niissä tuodaan yhtein liittimeen yhteinen plus-jännite. Kuvassa 18 on esitetty esimerkki liittinten ryhmittelystä. Sisääntuloista BI1 on galvaanisesti erossa muista, kun BI2...BI4:n yhteinen miinus-jännite tuodaan liittimeen 3. Lähtökoskettimista BO1 on erotettu ja BO2:lle ja BO3:lle tuodaan yhteinen plus-jännite liittimeen 5.



Kuva 18. Periaatekuva sisään- ja ulostulojen ryhmittelystä. Liitteessä 1 on esitetty laajempi kuva releen liitännöistä.

Toinen erittäin tärkeä seikka laitteen sisään- ja ulostuloissa on niiden jännitetasot. Kuten mainittu sähköasemilla käytetään yleisesti niin 110 V kuin 220 V tasasähköä. Tämän vuoksi edellytettiin, että laitteen sisään- ja ulostulot pystyvät toimimaan molemmilla jännitetasoilla. Tämä edellytys ei sinänsä olisi ollut esteenä minkään harkinnassa olleen releen kohdalla, mutta eroja laitteiden välillä silti oli. Joissain releissä on mahdollista asettaa itse kunkin sisääntulon kynnyksijännite melko laajalla alueella, mistä saattaa olla tietyissä tilanteissa hyötyä. Tällöin jotkin sisääntulot voidaan asettaa toimimaan esimerkiksi 48 tai 24 voltin jännitteellä. Alhaisempi kynnyksijännite mahdollistaa esimerkiksi erilliselle hälytyskeskukselle vietävien signaalien tuomisen simulaattoriin. Kaikissa tarkastelluissa releissä kuitenkin oli siis mahdollista saada sisään- ja ulostulot toimimaan sekä 110 että 220 voltin jännitteillä. Lähtökoskettimissa huomionarvoisia ominaisuuksia ovat nimellisjännitteen lisäksi virrankesto sekä virrankatkaisu- ja kytkentäkyky. Samassa releessä voi olla esimerkiksi erilaisia koskettimia, joista järeämmät on tarkoitettu katkaisijan tai erottimien ohjauksiin ja heikommät muiden signaalien välittämiseen. Koskettimien ominaisuudet kannattaa ottaa huomioon niiden käyttötapoja määrittäessä.

5.2.3 IEC 61850 -tiedonsiirtoprotokollan hyödyntäminen

Kytkinlaitesimulaattorina käytettävän releen yhtenä vaatimuksena oli IEC 61850-tiedonsiirtoprotokollan tukeminen. IEC 61850 on Ethernet-tekniikkaan perustuva valmistajasta riippumaton tiedonsiirtoprotokolla. Siinä määritellään tietoliikenteelle ja laitteiden välittämille viesteille tietyt standardin mukaiset ominaisuudet ja rajapinnat.

Kytkinlaitesimulaattorissa IEC 61850-protokollaa käyttämällä on mahdollista toteuttaa simulaattorin ja koestuslaitteen välille ns. virtuaalisia sisään- ja ulostuloja. Tämä tarkoittaa sitä, että kaikkia signaaleja ei tarvitse yksitellen johdottaa simulaattorin ja koestuslaitteen välillä, vaan ainakin osa niistä voidaan toteuttaa standardissa määritellyillä GOOSE-viesteillä. Kun releen lähettämät GOOSE-viestit on konfiguroitu Test Universe -koestusohjelmaan, niitä voidaan käyttää koestuksessa hyödyksi lähes kuin oikeasti johdotettuja sisääntuloja. Simulaattorin ja koestuslaitteen sisääntuloissa ainoa ero on se, että simulaattoriin ei pysty ottamaan sisääntuloja potentiaalivapaasti vaan ne vaativat toimiakseen jännitteen. GOOSE-viestejä hyödyntämällä saadaan lisättyä huomattavasti käytössä olevien sisään- ja ulostulojen määrää. Näistä on hyötyä esimerkiksi koestettaessa useita lähes samanlaisia relekaappeja peräkkäin, koska tällöin koestusta on mahdollista automatisoida. Riittävä määrä liitäntöjä mahdollistaa kaikkien tarvittavien signaalien toiminnan varmentamisen kerralla, jolloin johtoja ei tarvitse vaihdella kesken koestuksen.

6 LAITTEEN KONFIGUROINTI JA TOTEUTUS

Simulaattorin toteutuksessa käytettäväksi releeksi valittiin ABB:n REF630-kennoterminaali. Melko painava syy releen valintaan oli laitteen kokoon nähden suhteellisen suuri sisään- ja ulostulojen määrä. Sen lisäksi relettä voidaan käyttää sekä vaihtoa- että tasasähköllä. Kyseisessä kuusikiloisessa releessä on käytettävissä 32 sisääntuloa ja 27 ulostuloa. Etupaneelissa on 15 LED-indikaattoria, joiden avulla voidaan simulaattorin käytöstä tehdä hieman havainnollisempaa. Kuvassa 19 on valokuva laitteen etupuolen käyttöpaneelista ja takapuolella olevista liitännöistä.



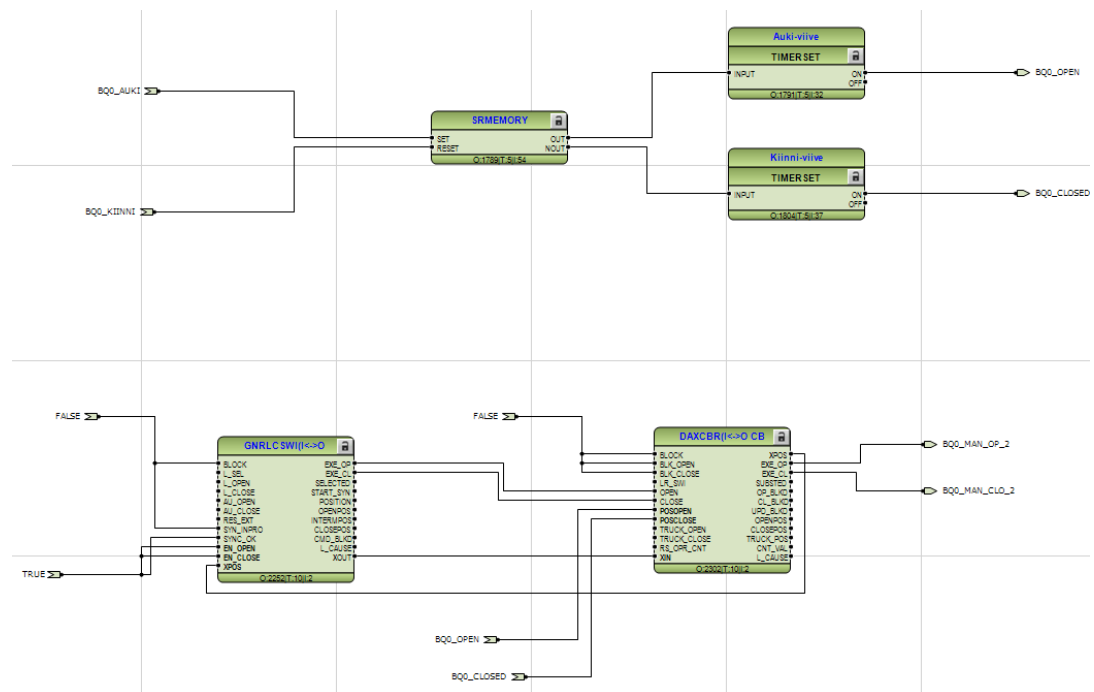
Kuva 19. Simulaattoriksi valittu rele.

Kyseiseen releeseen on tarjolla valmiita tehdaskonfiguraatioita, jotka on suunniteltu muutamien yleisimpiin keskijännitejohdoilla käytettäviin suojausperiaatteisiin sopiviksi. Simulaattorin toteuttamisessa niistä ei kuitenkaan ole juurikaan hyötyä, koska jos vertaillaan normaalia suojareleen toimintaa simulaattoriin, periaatteessa koko toimintalogiikka täytyy kääntää ympäri. Eli kun normaalisti suojarele antaa ohjaukset katkaisijalle, niin simulaattoriin nämä ohjaukset otetaankin sisääntuloihin. Sen sijaan simulaattorin ulostulokoskettimista pitäisi saada ulos esimerkiksi katkaisijan tilatiedot. Helpoimmaksi vaihtoehdoksi todettiin siis konfiguroinnin aloittaminen tyhjästä ilman tehdaskonfiguraatiota.

6.1 Valitun releen konfigurointityökalut

Releen valinnan ja tilaamisen jälkeen aloitettiin tutustuminen releen konfigurointiohjelmaan. ABB:n 630-sarjan releet konfiguroidaan PCM600-ohjelmalla, jonka käyttö perustuu erilaisten valmiiden toimilohkojen ja muuttujien käyttöön sekä niiden yhdistämiseen keskenään. Ohjelmassa on valmiita toimilohkoja erilaisille suojaus-, ohjaus- ja mittaus-toiminnoille, jotka on järjestetty omiin kirjastoihinsa. Toimilohkoja voidaan valita ja asettaa konfiguraatioon halutulla tavalla. Toimilohkot yhdistetään graafisen käyt-

tölliittymän avulla tarvittavien signaalien ja muiden toimilohkojen kanssa haluttujen toimintojen aikaansaamiseksi. Sisääntulosignaalina voi toimia esimerkiksi relekaapista simulaattorin digitaaliseen sisääntuloon johdotettu laukausignaali. Toimilohkokirjastossa on myös logiikkaohjelmoinnissa käytetyt lohkot, joihin kuuluvat esimerkiksi loogiset portit sekä erilaisia kiikkuja ja ajastimia. Katkaisijamallin luominen olikin lähinnä logiikkaohjelmointia, joten juuri nämä yleiset toimilohkot olivat eniten käytettyjä. Konfigurointityökalun avulla määritellään myös releen ulkoiset liitännät eli miten tiettyyn sisääntuloon tuotu jännite tulkitaan ja mitä tietoja releen lähtökoskettimilla simuloidaan. Konfigurointiin kuuluu myös näytön ulkoasun määrittäminen.



Kuva 20. Kuva simulaattorin konfiguraatiosta.

Kuvassa 20 on esitetty osa katkaisijan toimintalogiikasta. Ylempänä oleva SR-kiikku kuvaa katkaisijaa, jonka sisääntuloihin on tuotu auki- ja kiinniohjaukset. Kiikun ulostuloissa olevia tilatietoja hidastetaan omilla ajastimillaan, joille voidaan asettaa likimain todellisuutta vastaavat katkaisijan toiminta-ajat. Ajastimien jälkeisissä muuttujissa on siis oma tilatietonsa katkaisijan auki- ja kiinniasentotiedoille. Alemmat toimilohkot liittyvät releen näytöltä toteutettavaan katkaisijan ohjauksiin ja asennonosoitukseen.

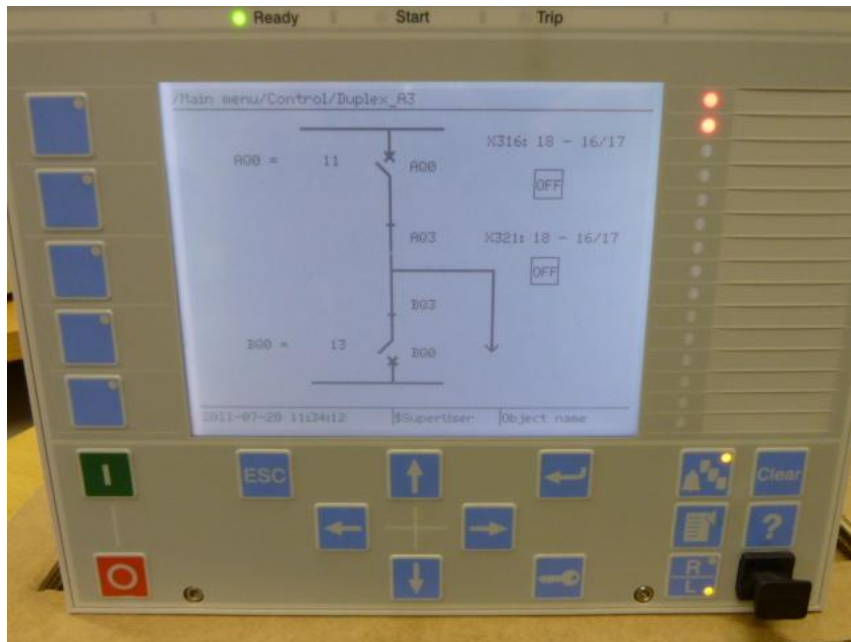
6.2 Sopivien konfiguraatioiden laatiminen

Simulaattorin konfigurointi ja alustava testaus suoritettiin Empower Oy:n Turun toimipisteessä. Testauksen aikana releen sähkönsyöttö hoidettiin säädettävän tasavirtalähteen avulla, jonka avulla releelle annettiin myös tarvittavia sisääntulosignaaleja. Aluksi simulaattoriin pyrittiin konfiguroimaan katkaisijamalli, joka toimisi mahdollisimman tarkasti oikean katkaisijan tavoin. Mallin luominen perustui oikealle katkaisijalle menevien laukaisu- ja kiinniohjaussignaalien tuomiseen simulaattoriin ja simulaattorin toiminnan

määrittämiseen näiden perusteella. Toiminnassa pyrittiin huomioimaan oikeiden katkaisijoiden ja muiden laitteiden aiheuttamat viiveet.

Katkaisijamallia ensimmäisiä kertoja testattaessa tuli vastaan muutamia puutteita ja virheitä, joita pyrittiin ratkomaan yksi kerrallaan. Ongelmien ratkaisemisessa auttoi PCM600-ohjelman online-moodi, jolla pystyy seuraamaan releen logiikan toimintaa. Eräs vastaan tulleista ongelmista oli oikeissa katkaisijoissa olevan pumppauksen eston (anti-pumping) toteuttaminen. Pumppauksen estolla estetään katkaisijan usea perättäinen kiinniohjaus. Tällainen tilanne voisi syntyä, jos katkaisija suljetaan käsin ja verkossa onkin vika. Tällöin kiinniohjaus voisi olla vielä päällä, kun suojarele aukaisee katkaisijan. Simulaattorin logiikassa katkaisijan kiinniohjaus oli määritelty käynnistämään kymmenen sekunnin ajastin, joka kuvasi kiinniohjausjousen uudelleenvirittämiseen kuluvaan aikaan. Ajastimen käymisen aikana katkaisija ei siis sulkeutunut. Tämän lisäksi kiinniohjauslogiikkaan oli tehtävä sellainen looginen piiri, joka sallii ainoastaan yhden kiinniohjauksen yhdellä kiinniohjaussignaaliilla. Tämä ei tosin onnistunut ensimmäisellä yrittämällä, koska piiri mahdollisti kiinniohjauksen jäämisen päälle, mikäli ohjauspulssin pituus jäi liian lyhyeksi. Tästä seurasi siis se, että vaikka simulaattorille annettiin laukausignaali, katkaisija sulkeutui aina kymmenen sekunnin kuluttua. Muutamien yritysten jälkeen piiri saatiin kuitenkin toimimaan halutulla tavalla siten, että katkaisija menee yhdellä pulssilla kiinni ainoastaan kerran ja tämän jälkeen kiinniohjauspulssin on poistettava ennen seuraavan kiinniohjauksen sallimista. Tällaisia pieniä ongelmanratkaisuja tuli vastaan muutamia ja yleensä ne saatiin korjattua lisäämällä pieni hidastus tai lisäehto jonkin toiminnon suorittamiseen. Hieman laajemmalla ohjelmointikokemuksella tällaisia pieniä epäideaalisuuksista johtuvia sudenkuoppia olisi ehkä osannut hieman ennakoida etukäteen, mutta nyt moni asia opittiin vasta kokeilun jälkeen. Kun katkaisijamalli oli saatu toimistolla toimimaan tyydyttävällä tavalla, tuli mahdollisuus testata sitä distanssireleiden kausikoestusten yhteydessä. Koestuksissa simulaattorin katkaisijalogiikka tuntui toimivan melko hyvin, vaikka pientä kehitettävää ilmenikin.

Pelkkien katkaisijoiden toteuttamisen lisäksi konfiguraatioihin sisällytettiin joitain lisäominaisuuksia sisään- ja ulostulojen sallimissa rajoissa. Tällaisia olivat esimerkiksi linjaerottimien tilatietojen ja suojauksen viestiyhteyssignaalien simulointi. Simulaattorin käyttöpaneeliin konfiguroitiin pikanäppäimet katkaisijoiden ohjauksille. Lisäksi ledeihin pystyttiin konfiguroimaan joitain merkinantosignaaleita, kuten katkaisijoiden tilatiedot tai ”Katkaisijan jousi ei vireessä” -tieto. Simulaattorin näytöllä näytetään katkaisijoiden lisäksi myös kaksi ohjauskytkintä, joilla voidaan ohjata kahta vapaata kosketinta. Katkaisijoiden toimintakertalaskuri lisättiin lähinnä uteliaisuuden vuoksi. Duplexkentälle piirretty simulaattorin mimiikka on esitetty kuvassa 21.



Kuva 21. Simulaattorin näyttö duplex-kentän konfiguraatiossa.

Simulaattorin konfiguroinnissa tavoitteena oli luoda ns. tyyppikonfiguraatioita erilaisille kytkinlaitekentille. Pyrkimyksenä oli, että ne saataisiin mahdollisimman valmiiksi, jotta niitä ei tarvitsisi enää itse koestustilanteessa muokata. Tavoitteen saavuttaminen voi tosin olla vaikeaa, mutta konfiguraatiot pyrittiin pitämään siinä määrin yksinkertaisina, ettei niiden muuttaminen sähköasemalla olisi liian vaikeaa. Konfiguraatioita tehtäessä pyrittiin kuitenkin tutkimaan sekä aikaisemmin toteutettujen projektien koestuksia että tulevien projektien suunnitelmia. Konfiguraatioiden laatimisessa edettiin sellaisessa järjestyksessä, että ensin pyrittiin saamaan katkaisijalogiikka toimimaan tyydyttävällä tavalla, jonka jälkeen konfiguraatioihin lisättiin koestuksessa tarvittavia toimintoja. Viimeiseksi pyrittiin toteuttamaan simulaattorin ja koestuslaitteen väliset GOOSE-viestit.

Johtokentille laadittiin omat konfiguraatiot yhdelle katkaisijalle eli kisko-apukisko- ja kaksoiskisko-apukiskojärjestelmille. Kun nämä oli saatu toimimaan, lisättiin toinen katkaisija duplex-kenttää varten. Käytännössä katkaisijan lisääminen ei enää vaatinut muuta kuin kopioimista ja sisään- ja ulostulojen lisäämistä. Samalla periaatteella saatiin toteutettua myös duplex-kenttä 1-vaiheiselle pikajälleenkytkennälle. Tämä vaati jokaiselle navalle oman toimintalogiikan toteuttamista eli käytännössä kyseiseen konfiguraatioon piti tehdä kuusi katkaisijaa. Kun simulaattori saatiin toimimaan ohjausten perusteella oikein, voitiin määritellä koestuksessa tarvittavia tietoja lähtökoskettiimiin. Simulaattoria tullaan tarvitsemaan erityisesti distanssi- ja jälleenkytkentäreleiden koestuksissa, joissa simuloitavia tietoja ovat esimerkiksi katkaisijoiden tilatiedot ja mahdolliset viestiyhteyssignaalit. Lisäksi distanssireleen SOTF-toimintoa koestettaessa pitää simuloida katkaisijan kiinniohjaus. Jälleenkytkentäreleen koestuksessa simuloidaan usein suojareleen havahtumis- ja laukaisutiedot. Tämä johtuu siitä, että melko usein jälleenkytkentäreleen toiminta perustuu näiden kahden signaalin väliseen aika-

eroon. Rele päättää havahtumisesta laukaisuun mitatun ajan perusteella, kuuluuko sen tehdä pika- vai aikajälleenkytkentä.

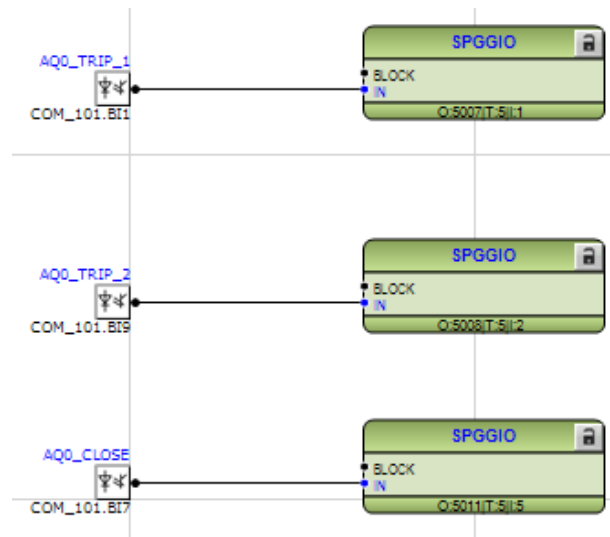
Taulukossa 1 on esitetty hieman pelkistetty lista simulaattorin kautta kulkevista signaaleista. Katkaisijan laukaisu ja kiinniohjaukset saadaan simulaattorin sisääntuloihin kytkemällä simulaattori katkaisijan auki- ja kiinniohjauspiireihin. Simulaattorista relekaappiin simuloitavat jännitesignaalit toteutetaan kytkemällä simulaattorin lähtökosketin kyseiselle signaalille kuuluvaan virtapiiriin.

Taulukko 1. Simulaattorin kautta kulkevat signaalit.

Signaalit	Relekaapista simulaattoriin	Simulaattorista relekaappiin	Simulaattorista koestuslaitteeseen	Koestuslaitteesta simulaattoriin
Katkaisijan /Katkaisijoiden laukaisu ja kiinniohjaukset	Jännitesignaali		GOOSE-viesti	
Katkaisijan /Katkaisijoiden asentotiedot		Jännitesignaali	GOOSE-viesti	
Simuloidut releen havahtumis- ja laukaisusignaalit		Jännitesignaali		GOOSE-viesti
Simuloidut viestiyhteyssignaalit		Jännitesignaali		GOOSE-viesti
Simulaattorin auki- ja kiinniohjaukset				GOOSE-viesti

6.3 GOOSE-viestien konfigurointi

Kun simulaattori oli saatu toimimaan loogisesti halutulla tavalla, pyrittiin toteuttamaan virtuaaliset sisään- ja ulostulot simulaattorin ja Omicron-koestuslaitteen välillä. Tähän tarvittiin erillistä ABB:n IET600-ohjelmaa, jolla voidaan konfiguroida releen lähettämät ja vastaanottamat GOOSE-viestit. Konfigurointi tapahtuu siten, että ensin PCM600-ohjelmassa määritellään lähetettäväksi halutut signaalit IEC 61850-standardin mukaisiksi tietopisteiksi. Esimerkiksi simulaattorin sisääntuloon tuotu laukaisusignaali määritellään yleiseksi yksinapaiseksi merkinannoksi (Single-point generic process I/O). Tämä on esitetty kuvassa 22. Signaalit on määritettävä IEC 61850:n mukaisiksi, koska muuten IET600-ohjelma ei löytäisi niitä, jolloin niitä ei myöskään voitaisi määritellä lähetettäväksi GOOSE-viesteinä.

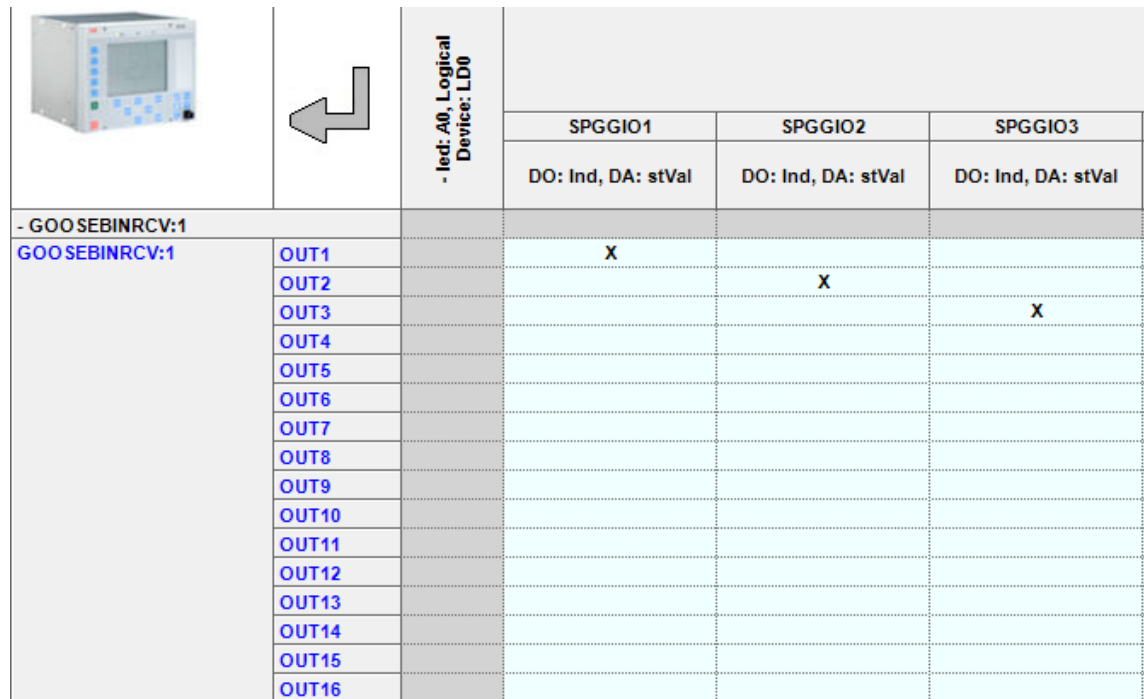


Kuva 22. Sisääntulojen määrittäminen IEC 61850:n mukaisiksi tietopisteiksi.

Tämän jälkeen PCM600-ohjelman konfiguraatitiedostosta saadaan muodostettua IEC 61850:n mukainen scd-tiedosto (Substation Configuration Description), joka ladataan IET600-ohjelmaan. Kyseinen tiedosto sisältää tiedot mm. sähköaseman sisäisen kommunikaation toiminnallisuudesta. [25] IET600-ohjelmassa voidaan määrittellä simulaattorin lähettämän GOOSE-viestin sisällöksi kulloinkin halutut signaalit. Normaalitylanteessa GOOSE-viestejä käytettäisiin sähköaseman sisäisten signaalien siirtämiseen yksittäisten releiden välillä, jolloin siis sekä viestin lähettävä että vastaanottava laite tulee määrittellä kyseisessä scd-tiedostossa. Simulaattorin toteutuksen näkökulmasta tämä edellytys vaikutti aluksi hieman ongelmalliselta. Tämä johtui siitä, että jos kytkinlaitesimulaattori halutaan määrittellä viestin vastaanottajaksi, mikä laite tulisi määrittellä lähettäjäksi? Ongelma ratkesi siten, että konfiguraatit sisältävään projektiin lisättiin ylimääräinen relekonfiguraatio, joka määritettiin simulaattorin vastaanottamien viestien lähettäjäksi. Oikeasti nämä viestit lähetetään koestuslaitteesta eli koestuslaite simuloikin periaatteessa jonkin samaan releväylään määritellyn releen lähettämiä GOOSE-viestejä. Tämä on kuitenkin siinä mielessä yksinkertaista toteuttaa, että koestusohjelmistoon pystytään lataamaan suoraan konfiguroinnin lopputuloksena saatu relekohtainen cid-tiedosto (Configured IED Description), jonka avulla koestusohjelma löytää sekä kytkinlaitesimulaattorin lähettämät että vastaanottamat GOOSE-viestit. Tämän jälkeen simulaattorin lähettämät signaalit voidaan määrittellä koestusohjelman sisääntuloiksi (subscriptions) ja simulaattorin vastaanottamat signaalit ulostuloiksi (simulations).

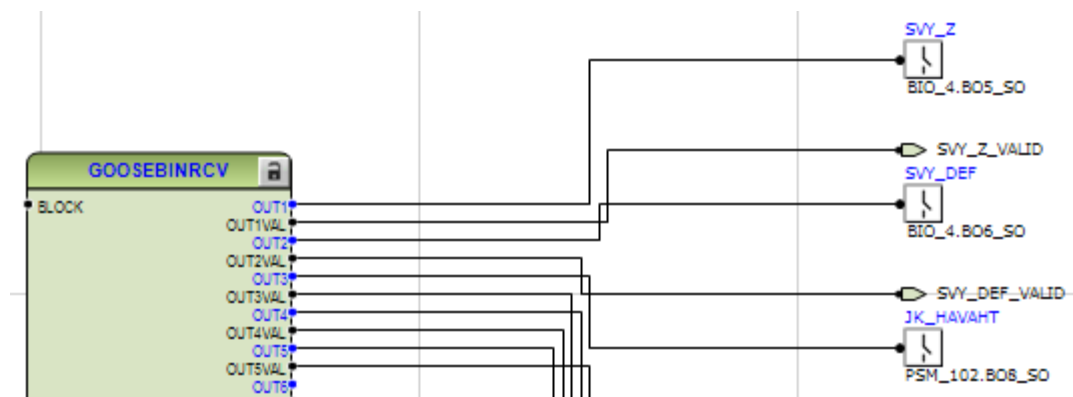
Ennen simulaattorikonfiguraation lataamista releeseen, pitää tehdyt kommunikatiomuutokset päivittää releen konfiguraatioon ja määrittää simulaattorin vastaanottamien GOOSE-viestien toiminta. Tämä tehdään kuvissa 23 ja 24 esitetyllä tavalla. Kuvassa 23 näkyvät SPGGIO 1...3 ovat IET600-ohjelmassa määritetty simulaattorin vastaanottamiksi signaaleiksi, jotka kuvassa näkyvällä matriisilla reititetään GOOSE-BINRCV-toimilohkon ulostuloihin (OUT 1...3). Matriisin avulla tehdyn reitittämisen jälkeen kunkin signaalin vastaanottaminen aktivoi kuvassa 24 näkyvän GOOSE-BINRCV-toimilohkon vastaavan ulostulon, jotka tässä tapauksessa on viety suoraan

halutuille lähtökoskettimille. Näin siis saadaan koestusohjelman kautta ohjattua kytkinlaitesimulaattorin lähtökoskettimia. Tämän jälkeen yllä kuvattuja simulaattorin sisään- ja ulostuloja voidaan määrittellä vapaasti koestusohjelmassa käytettäviksi, jolloin niitä voidaan hyödyntää aivan kuin koestuslaitteen omia sisään- ja ulostuloja.



		- Icd: A0, Logical Device: LD0	SPGGIO1	SPGGIO2	SPGGIO3
			DO: Ind, DA: stVal	DO: Ind, DA: stVal	DO: Ind, DA: stVal
- GOOSEBINRCV:1					
GOOSEBINRCV:1	OUT1		X		
	OUT2			X	
	OUT3				X
	OUT4				
	OUT5				
	OUT6				
	OUT7				
	OUT8				
	OUT9				
	OUT10				
	OUT11				
	OUT12				
	OUT13				
	OUT14				
	OUT15				
	OUT16				

Kuva 23. Releen vastaanottamien GOOSE-viestien reitittäminen GOOSEBINRCV-toimilohkon ulostuloihin.

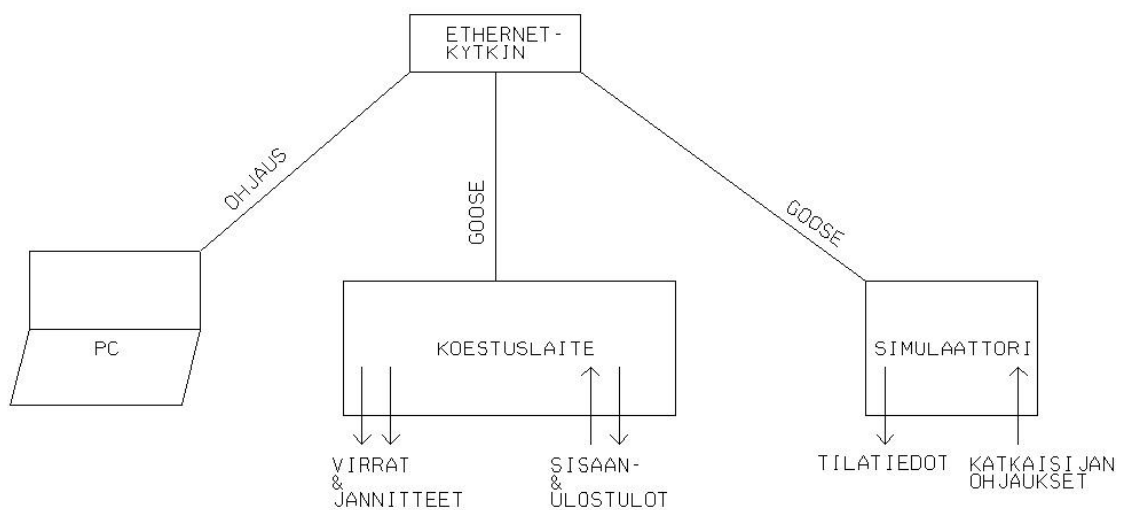


Kuva 24. Vastaanotetun GOOSE-viestin toiminnan määrittäminen.

Tässä vaiheessa GOOSE-viesteillä tuotiin simulaattorilta koestuslaitteeseen laukausignaalit ja katkaisijoiden tilatiedot. Koestuslaitteesta GOOSE-viestien avulla simuloitaviksi signaaleiksi valittiin viestiyhteyssignaalit sekä jälleenkytkentäreleen koestuksessa käytettävät havahtumis- ja laukausignaalit. Myös jännitemuuntajan suoja-katkaisijan avautumistieto voidaan simuloida GOOSE-viestillä. Tätä käytetään usein distanssireleen varaylivirtasuojan aktivoimiseen. Nämä signaalit valittiin tässä vaiheessa lähinnä siksi, että niitä pitää simuloida lähes aina, kun johtolähdön suojausta koestetaan. Tämä siis tarkoittaa sitä, että nämä lähes aina tarvittavat signaalit voidaan toteuttaa il-

man erillistä johdotusta koestuslaitteeseen, jolloin koestuslaitteen omat sisään- ja ulostulot jäävät vielä vapaasti käytettäviksi. Lisäksi simulaattorin katkaisija tai katkaisijat voidaan ohjata kiinni tai auki koestusohjelmasta.

Koestuksen yhteydessä GOOSE-viestit lähetetään koestuslaitteesta, mutta koestuslaitteen toiminnan ohjaaminen vaatii myös PC:n yhdistämistä koestuslaitteeseen. Koestuslaitteen on siis oltava yhteydessä sekä PC:n että simulaattorin kanssa. Koestuslaitteessa on ainoastaan yksi Ethernet-portti, joten GOOSE-viestien hyödyntäminen edellyttää IEC 61850-väylän toteuttamista simulaattorin, koestuslaitteen ja PC:n välille. Tämä onnistuu kytkemällä kaikki laitteet yhteen Ethernet-kytkimen kautta. Lisäksi laitteiden IP-osoitteet on asetettava siten, että ne kaikki kuuluvat samaan IP-aliverkkoon. Kuvassa 25 on esitetty periaatekuva koestuslaitteiston kytkennästä.



Kuva 25. Koestuslaitteiston kytkentäperiaate hyödynnettäessä GOOSE-viestejä.

6.4 Simulaattorin fyysinen toteutus

Sopivien konfiguraatioiden lisäksi simulaattorin toteutuksessa kannattaa huomioida myös johdotus mahdollisimman tarkoituksenmukaisesti. Tavoitteena olisi, että laitteen kytkentä sujuisi mahdollisimman yksinkertaisesti eikä johtojen paikkoja tarvitsisi vaihdella kesken koestuksen. Esimerkiksi käytettävät sisääntulot pyrittiin ryhmittelemään mahdollisimman loogisesti. Lisäksi otettiin huomioon eri akustojen syöttämien signaalien vaatimat ryhmittelyt. Lähtökoskettimet ovat käytetyssä releessä pääosin galvaanisesti toisistaan erotettuja, mutta niistä osa on ns. merkinantokoskettimia ja osa ohjauskoskettimia. Käytännössä ero on virran kytkentä- ja katkaisukyvyssä. Konfiguraatioista piirrettiin liitântäkuvat, joihin on dokumentoitu konfiguraatioissa käytetyt sisään- ja ulostulot. Duplex-kentän liitântäkuva on esitetty liitteessä 1.

Simulaattorin mahdollista kotelointia mietittäessä harkinnassa oli lähinnä laitteen takaseinän liittimien suojaaminen siten, että taakse olisi kiinnitetty levy, johon olisi asennettu läpiviennit laitteen liittimiä varten. Simulaattorin kytkeminen olisi ollut tämän jälkeen helppoa, kun koestusjohdot olisi saanut kytkettyä suoraan takaseinään ba-

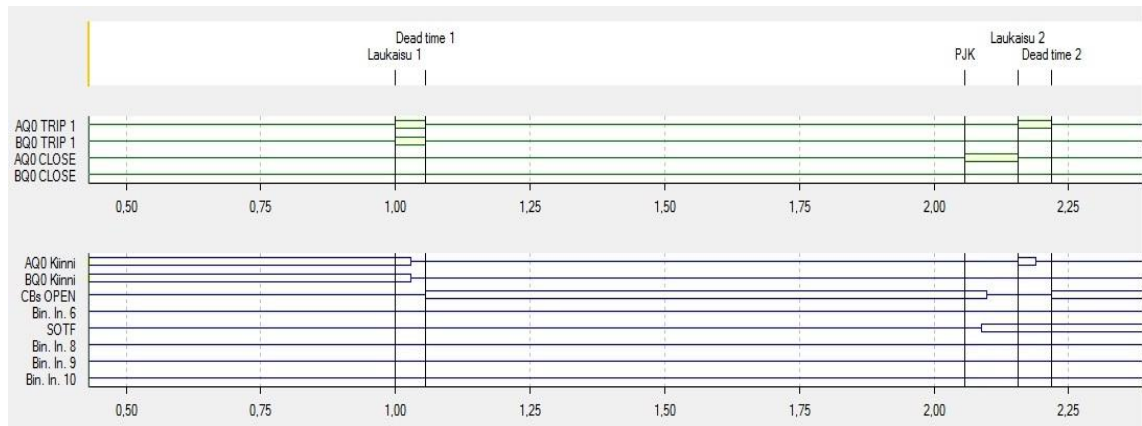
naaniliittimillä. Ongelmaksi olisi kuitenkin tullut liitinten suuri määrä ja niiden tarvitsema tila, koska levystä olisi pitänyt tehdä huomattavasti takaseinää leveämpi. Siksi päädyttiin yksinkertaisimpaan mahdolliseen ratkaisuun eli siihen, että tehtiin riittävä määrä kytkentäjohtoja, joiden toiseen päähän juotettiin banaaniliittimiin sopiva naarasliitin. Toiseen päähän puristettiin pääteholkki, joka voidaan kiinnittää simulaattorin liittimiin.

7 TESTAAMINEN JA HYÖDYN ARVIOINTI

7.1 Käyttökokemuksia

Toteutetun kytkinlaitesimulaattorin käyttökokemukset todellisissa koestustilanteissa jäivät tässä diplomityössä valitettavan vähälle. Ensimmäisiä käyttökokemuksia työssä toteutetulle simulaattorille saatiin lähinnä testimielessä suhteellisen yksinkertaisessa ympäristössä. Kyseessä oli pienehkö 110 kV:n asema, jossa oli yksikisko-apukiskojärjestelmä. Kyseisellä sähköasemalla suoritettavat kausikoestukset olisivat edellyttäneet ainoastaan katkaisijan kiinni-tiedon simuloimisen, joten apuvälineeksi olisi riittänyt pelkkä kippirele. Tästä syystä kyseiset koestukset olivatkin hyödyllisiä lähinnä simulaattorin katkaisijalogiikan testausta ajatellen. Simulaattoria käytettiin hyväksi distanssireleeseen integroitujen jälleenkytkentöjen ja tahdissaolon valvonnan koestuksissa. Tässä vaiheessa simulaattorissa ei hyödynnetty GOOSE-viestejä, joten kaikki koestuslaitteeseen otettavat signaalit johdotettiin erikseen ja ulkoiset havahtumis- ja laukausignaalit simuloitiin koestuslaitteen omilla lähtökoskettimilla. Simulaattorin tehtäväksi jäi siis vain katkaisijan tilatiedon simulointi, jolloin johdotukseksi riitti katkaisijan auki- ja kiinniohjauksien tuominen simulaattorille sekä simulaattorin tilatiedon vieminen takaisin relekaappiin. Simulaattori tuntui toimivan kyseisissä koestuksissa melko hyvin, vaikka pieniä käyttöön liittyviä kehittämiskohteita ilmenikin. Tämä testaus oli siinä mielessä hyödyllinen, että sen jälkeen saatiin jonkinlainen varmistus katkaisijalogiikan toimivuudesta todellisessa koestustilanteessa. Tästä rohkaistuneena toteutettiin konfiguraatiot myös monimutkaisemmille kytkinlaitekentille.

Konfiguraatioihin jääneitä virheitä pyrittiin etsimään toimistolla suorittamalla kuvassa 26 esitetyn kaltaisia testejä. Tässä vaiheessa tuli ilmi muutamia pieniä virheitä, jotka johtuivat lähinnä sopimattomista parametreista ja pienistä huolimattomuuksista erilaisten muutosten teon yhteydessä. Lisäksi testillä pystyttiin mittaamaan simulaattorin toiminta-ajat. Testaukset toteutettiin Omicronin koestuslaitteella, simuloimalla katkaisijoiden ohjauksia sen omilla lähtökoskettimilla. Kuva 26 on otettu duplex-järjestelmälle tehdyn konfiguraation toiminnan testauksesta jälleenkytkentöjä koestettaessa.



Kuva 26. Simulaattorin toiminnan testaus jälleenkytkentöjen koestuksessa.

Kuvan 26 yläosassa vihreällä väritetyt neljä signaalia ovat koestuslaitteen lähtökoskettimien tilat, jossa viiva tarkoittaa auki-tilaa ja palkki tarkoittaa kiinni-tilaa. Lähtökoskettimilla simuloitiin kummallekin katkaisijalle laukaisusignaali ja kiinniohjaus. Alaosassa on sinisellä simulaattorista koestuslaitteeseen otetut tilatiedot. Listassa on kummankin katkaisijan kiinni-tiedot ("AQ0 Kiinni" ja "BQ0 Kiinni") ja "CB's OPEN"-tieto, joka on aktiivinen, kun molemmat katkaisijat ovat auki. Sekvenssin alussa molemmat katkaisijat ovat kiinni, kunnes koestuslaitteen lähtökoskettimilla simuloidaan suojarleen laukaisukoskettimien toiminta ("AQ0 TRIP 1" ja "BQ0 TRIP 1"). Tämän jälkeen poistuu ensin kummankin katkaisijan kiinni-tieto, jonka jälkeen katkaisijoiden auki-tieto tulee aktiiviseksi. Testiin määriteltiin sekunnin mittainen jännitteetön aika, joka päättyy, kun "AQ0 CLOSE" eli A-katkaisijan kiinniohjaus tulee aktiiviseksi. Tässä simuloitiin tilannetta, jossa pikajälleenkytkentä epäonnistuu, eli laukaisusignaali tulee aktiiviseksi välittömästi katkaisijan sulkeuduttua, mikä ei tosin vastaa aivan tarkasti todellisuutta, sillä oikeasti laukaisusignaali tulisi hieman hitaammin. Testissä mitattiin katkaisijan kiinnioajaksi vain 33 ms, mikä on siis huomattavasti todellisuutta lyhyempi aika. Tällä saatiin kuitenkin varmistettua se, että simulaattori itsessään pystyy toimimaan riittävän nopeasti.

Samasta testistä saatiin mitattua simuloidun katkaisijan avautumisajaksi 56,8 ms ja sulkeutumisaikaksi 98,7 ms. Näitä verrattiin erään aikaisemman sähköasemaprojektin katkaisijoille suoritettuihin mittauksiin, joissa vastaaviksi ajoiksi oli mitattu 28 ms ja 65 ms. Vaikka eroja onkin, niin niillä ei kuitenkaan pitäisi olla suurta käytännön merkitystä. Katkaisijan toiminta-aikojen muuttaminen konfiguraatiossa onnistuu kuitenkin helposti parametreja muuttamalla, joten niitä hieman säädettiin. Tärkeintä kuitenkin tässäkin testissä oli se, että simulaattorin toiminta jälleenkytkentäsekvenssin aikana oli oikeanlainen. Toisin sanoen simulaattori toimi ohjausten mukaan oikein eikä logiikkaan jäänyt ylimääräisiä signaaleita päälle testin päättyttyä.

GOOSE-viestejä ensimmäistä kertaa testattaessa laite alkoi toimia yllättävänkin helposti. Simulaattorin lähettämien GOOSE-viestien toimintaa oli jo hieman pystytty varmentamaan erillisen IEDScout-ohjelman avulla. Simulaattorille simuloitavien GOOSE-viestien toimiminen sen sijaan herätti hieman epäilyksiä etukäteen. Epäilyksistä

huolimatta koestusohjelmisto löysi määritellyt GOOSE-viestit simulaattorin cid-tiedoston avulla ja tämän jälkeen virtuaaliset sisään- ja ulostulot olivat kyseisessä koestusohjelmassa käytettävissä. Koestusohjelmasta annetuilla ohjauksilla pystyi tämän jälkeen ohjaamaan ennalta määriteltyjä simulaattorin koskettimia sekä sulkemaan tai avaamaan katkaisijan.

7.2 Hyödyn arviointi ja jatkokehittäminen

Simulaattorin hyödyn arviointi tässä vaiheessa on melko vaikeaa, koska laitetta ei vielä päästy sen vaativammissa tilanteissa hyödyntämään. Yksi selkeimmistä työn hyödyistä on, että nyt löytyy valmiina laite, jolla pystytään toteuttamaan ainakin osa sellaisista toiminnoista, jotka joka tapauksessa olisi toteutettava tavalla tai toisella. Etenkin monimutkaisemmissa koestuksissa laitteen käytöstä on hyötyä tulevaisuudessa. Lisäksi laite on melko avoin eli tulevaisuudessa sitä voitaneen käyttää koestusten lisäksi myös joissain muissa käyttökohteissa. Tässä vaiheessa on melko vaikeaa tietää laitteen jatkokehittämisestä, mutta kun laite on nyt hankittu, niin jatkossa riittää sopivan konfiguraation tekeminen kulloiseenkin tilanteeseen. Tässä työssä saatiin aikaiseksi tyyppikenttiä, joita on kuitenkin mahdollista muokata kulloistakin sovelluskohdetta varten paremmin sopivaksi. Eli käytännössä siinä vaiheessa, kun tulevia koestuksia suunnitellaan, on mahdollista muuttaa simulaattorin koskettimia tai toimintalogiikkaa tarvittavien toimintojen simuloimiseksi.

Jatkossa eräs mahdollinen käyttötapa laitteelle voisi olla esimerkiksi sen hyödyntäminen sähköaseman lukituslogiikan testaamisessa. Tällöin laitteella voitaisiin simuloida useiden eri kytkinlaitteiden tilatietoja ja varmistaa lukitusten oikea toiminta. GOOSE-viestejä hyödyntämällä voitaisiin simulaattorin toimintaa ohjata koestuslaitteella, jolloin koestuksia pystyttäisiin automatisoimaan. Tämä olisi hyödyllistä sellaisessa tilanteessa, että koestettavana on useita samanlaisia relekaappeja. Tämä johtuu lähinnä siitä, että sopivan konfiguraation ja koestusohjelman valmisteluun meni varmasti melko paljon aikaa, joten yhtä relekaappia varten sellaisen tekeminen ei todennäköisesti olisi kovin järkevää. Todennäköisesti myös muita GOOSE-viestejä hyödyntäviä sovellutuksia on tulevaisuudessa mahdollista toteuttaa nyt hankitulla releellä. Toinen mahdollinen tapa hyödyntää laitetta voisi olla sen käyttäminen yksinkertaisesti koestuslaitteen laajennusosana, jolloin siihen ei välttämättä sisällyttäisi lainkaan katkaisijatoimintoja. Tällä tavoin saataisiin huomattavasti lisää liitännöitä koestuslaitteeseen. Simulaattoria on pystytty hyödyntämään toimistolla myös ilman koestuslaitetta, kun on haluttu testata uusien releiden konfiguraatioita ja niiden välisen väylän toimintaa. Tällaiseen tarkoitukseen simulaattoriin voidaan määritellä tarpeellinen määrä ohjattavia koskettimia, jotka johdotetaan testattavien releiden sisääntuloihin. Tämän jälkeen simulaattorin näytöltä voidaan tehdä haluttu muutos kytkentätilanteeseen ja samanaikaisesti voidaan tarkkailla testattavien releiden toimintaa.

Vanhaan simulaattoriin verrattuna laitteen koko pienenee noin neljännekseen ja painokin laskee noin kuuteen kiloon, joten sitä on huomattavasti mukavampi liikutella.

Koon pienenemisestä huolimatta ominaisuudet ovat uudessa simulaattorissa laajemmat ja huomattavasti helpommin muunneltavat. Ehkäpä merkittävin etu vanhaan laitteeseen verrattuna on lähtökoskettimien toiminnan muunneltavuus. Eli vaikka laitteen looginen toiminta pysyisikin samana, voidaan koskettimista ulostulevia tietoja muuttaa tarpeen mukaan. Muita etuja vanhaan laitteeseen nähden ovat vähäisempi johdotuksen tarve, dokumentoidut liitännät ja toimintaperiaate.

8 YHTEENVETO

Tämän diplomityön tavoitteena oli saada aikaan laite, jota voidaan hyödyntää relekaappien koestuksissa. Työssä tutustuttiin sähköasemien ensiö- ja toisiolaitteisiin ja niihin liittyviin järjestelmiin. Pääpaino oli verkon suojausjärjestelmässä ja siihen liittyvissä koestuksissa. Työn käytännön osuuteen kuului simulaattorina käytettävän laitteen valinta ja sen konfigurointi toimimaan halutulla tavalla. Konfiguraatioiden laatimista edelsi tutustuminen käytetyn suojausjärjestelmän konfigurointityökaluihin. Koska tekijällä ei ollut etukäteen juurikaan kokemusta releiden konfiguroinnista, piti opettelu aloittaa ilman perusasioita. Konfigurointi kulki testauksen kanssa rinnakkain eli konfiguraatioita rakennettiin pienissä osissa ja muutosten toiminta pyrittiin varmistamaan heti tuoreeltaan. Simulaattorin toimintoja määriteltäessä tutkittiin suojausjärjestelmän toimintamäärittelyjä, aikaisempien projektien koestuksia ja relekaappien piirikaavioita.

Työn selvimpänä tuloksena saatiin käyttöön testilaitte, jota voidaan käyttää hyväksi relekaappien koestuksissa. Laitteella voidaan simuloida katkaisijoita tai erottimia sekä sen sisään- ja ulostuloja voidaan käyttää hyväksi koestuslaitteen liitäntöjen rinnalla. Lisäksi laite on edelleen vapaasti muokattavissa, joten sen toiminta- ja käyttötapaa voidaan muuttaa tulevaisuudessa erilaisten tarpeiden mukaan. Kyseistä suojausjärjestelmää voidaan käyttää hyväksi myös joidenkin suojaustoimintojen ja releväylän testauksessa ennen sähköasemalle menoa.

Toteutetun testilaitteen lisäksi työ oli muullakin tavalla tekijälleen hyödyllinen. Teoriaosuudessa käsiteltiin sähköasemien järjestelmiin, suojausperiaatteisiin ja koestuksiin perehtymisestä on hyötyä jatkossakin, mutta niiden tunteminen oli edellytys myös työn käytännön osuuden toteuttamisessa. Lisäksi toteutuksessa käytettyyn releeseen ja sen konfigurointiin tutustumisesta on jo nyt ollut suurta hyötyä muihin projekteihin liittyvissä töissä, joten työn painottuminen käytännön osuuteen oli erittäin hyvä asia. IEC 61850 -protokollan GOOSE-viestien käyttö simulaattorin toteutuksessa oli hyvä tapa tutustua niiden toimintaan, mistä on hyötyä tulevilla projekteilla niiden käytön yleistyessä. GOOSE-viestien käytön lisääntyminen sähköasemilla lisää todennäköisesti tarvetta niiden käyttöä tukeville koestuslaitteille, mikä saattaa johtaa jatkossa uudenlaisiin koestusmenetelmiin. Työn edetessä simulaattorilta vaadittavat ominaisuudet ja niiden mahdolliset toteutustavat konfiguraatioissa selkenivät tekijälle vähitellen, kun suojausjärjestelmien toimintaperiaatteet tulivat tutummiksi suojaus- ja piirikaavioiden sekä vanhojen koestusohjelmien tutkimisen tuloksena. Työn toteutus ja laitteen ominaisuuksien määrittely olisi tietysti ollut laajemman koestuskokemuksen myötä kertaluokkaa yksinkertaisempaa ja myös huomattavasti nopeampaa.

LÄHTEET

- [1] Sähköverkon tunnusluvut vuodelta 2009, Energiamarkkinavirasto, saatavilla: <http://www.emvi.fi/data.asp?articleid=2049&pgid=69>, viitattu 29.3.2011
- [2] Suomen sähköjärjestelmä, Fingrid Oyj, saatavilla: http://www.fingrid.fi/portal/suomeksi/yritysinfo/suomen_sahkojarjestelma/, viitattu 29.3.2011
- [3] Elovaara, J., Haarla, L. 2011. Sähköverkot. Osa 2. 1. painos. Otatiето, 551 s.
- [4] Elovaara, J., Haarla, L. 2011. Sähköverkot. Osa 1. 1. painos. Otatiето, 520 s.
- [5] Nousiainen, K. 2007. Magneettipiirit ja muuntajat -opetusmoniste. Tampereen teknillinen korkeakoulu, 112 s.
- [6] Kuosa, D. 2007. Vika- ja kunnossapitotietojen hyödyntäminen suurjännitekytkinlaitteiden kunnonhallinnassa. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu.
- [7] ABB Switchgear manual
- [8] HPL 362 – 420B2, Katkaisijan käyttöohje, ABB Power Technologies
- [9] McDonald, J. D. 2007. Electric Power Substations Engineering, CRC Press
- [10] Mörsky, J. 1992. Relesuojatekniikka. 2. painos. Otatiето, 459 s.
- [11] Network Protection & Automation Guide, Areva
- [12] Siivonen, K. 2007. Sähköaseman apusähköjärjestelmät. Tutkintotyö, Tampereen ammattikorkeakoulu.
- [13] Verho, P. Sähkönjakeluautomaatio-kurssin luentomateriaali, Tampereen teknillinen yliopisto.
- [14] Keskinen, A. 2008. Sähköasemastandardin IEC 61850 soveltaminen toimitusprojektissa. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto.
- [15] Fingrid Oyj. 2011. Sähköasemien koulutuspaketti – Fingridin relesuojaus 400-sarjan speksit.
- [16] Hautala, J. 2007. Hajautetun kiskosuojan 7SS52 parametointi ja käyttöönotto. Tutkintotyö, Tampereen ammattikorkeakoulu.
- [17] Sähköturvallisuuslaki, 14.6.1996/410
- [18] Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteistojen käyttöönotosta ja käytöstä, 5.7.1996/517
- [19] Fingrid Oyj. 2009. Ohje 4001. Suojareleiden ja muiden toisilaitteiden koestus.
- [20] Turpela, J. Empower Oy, Sähköasemakoulutus
- [21] Gill, P. 2009. Electrical Power Equipment Maintenance and Testing, CRC Press
- [22] CM-Line-Catalog, Omicron, 2009
- [23] Sähköpostikeskustelu 12.2.2011, Enn Kukk
- [24] Yliselä, V. 2010. IEC 61850:n soveltaminen voimalaitosprojekteissa. Diplomityö, Oulun yliopisto.
- [25] Ethernet & IEC 61850, Alkeet ja perehdytys, Siemens AG 2007

Liite 1: Simulaattorin duplex-kentän konfiguraation liitântäkuva

