

SÄHKÖASEMAN FAT-KOESTUSOHJELMAN KEHITYS

Mikael Viitala
Opinnäytetyö AMK
Kevät 2025
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähkötekniikka

Tekijä: Mikael Viitala

Opinnäytetyön otsikko: Sähköaseman FAT-koestusohjelman kehitys

Työn ohjaajat: Ensio Sieppi (OAMK), Tuomas Kekki (Enersense)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2025

Sivumäärä: 35

Tässä opinnäytetyössä käytiin läpi sähköaseman keskeisempien komponenttien toiminta sekä perehdyttiin relesuojaukseen. Lisäksi työssä syvennyttiin nykyaikaisen sähköaseman tiedonsiirtomenetelmiin, kuten IEC 61850 -standardin mukaiseen tiedonsiirtojärjestelmään.

Teoriaosion perehtymisen lisäksi opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää kaksi erillistä 110 kV johtolähdön FAT-koestuspohjaa, joita voitaisiin käyttää tulevaisuuden projekteissa. Koestuspohjat sisälsivät johtolähdön suojauksen distanssisuojauksella sekä releen jälleenkytkennän testaamisen. Opinnäytetyö tehtiin sähköasemalaajennusprojektin yhteydessä Enersense PN Oy:lle.

Työstä valmistui kaksi ajantasaista OMICRON occ koestustiedostoa, joita voidaan käyttää tulevaisuuden projekteissa. Uudet koestuspohjat ovat selkeämpiä ja lineaarisempia koestettavien toimintojen osalta. Lisäksi testeihin lisättiin kommentteja, jotka selventävät testattavia asioita.

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Program in Electrical and Automation Engineering
Option of Electrical Engineering

Author: Mikael Viitala

Title of thesis: Development of a FAT testing program for a substation

Supervisors: Ensio Sieppi (OAMK), Tuomas Kekki (Enersense)

Term and year when the thesis was submitted: spring 2025

Number of pages: 35

This thesis examined the operation of the key components of a substation and delved into relay protection. Additionally, the study focused on modern substation communication methods, such as IEC 61850-compliant communication systems.

In addition to studying the theoretical background, the objective of the thesis was to develop two separate FAT testing templates for a 110 kV feeder, which could be utilized in future projects. The testing templates included protection testing of the feeder with distance protection as well as testing of the relay's reclosing function. The thesis was conducted as a part of a substation expansion project for Enersense PN Oy.

As a result of the work, two up-to-date OMICRON occ testing files were produced, which can be utilized in future projects. The new testing templates are more straightforward and linear regarding the functions being tested. Furthermore, comments were added to the test to explain what is being tested in each step.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	5
2 SÄHKÖASEMA	6
2.1 Muuntaja	6
2.2 Katkaisijat	7
2.3 Erottimet	9
2.4 Mittamuuntajat	10
2.4.1 Jännitemuuntaja	10
2.4.2 Virtamuuntaja	12
2.5 Suojausjärjestelmä	13
3 SÄHKÖASEMAN TIEDONSIIRTO	15
3.1 Sähköasema-automaation laitteet	15
3.1.1 IED-laitteet	15
3.1.2 RTU	15
3.1.3 SCADA ja HMI	16
3.2 IEC 61850	17
3.3 Tiedonsiirtoratkaisut	19
3.4 Tiedonsiirtoverkon redundanttisuus	20
4 110 KV JOHTOLÄHDÖN FAT-KOESTUS	23
4.1 FAT Koestus	23
4.2 OMICRON	23
4.2.1 CMC 356	24
4.2.2 Test universe	24
4.3 Distanssireleen koestus	26
4.4 Jälleenkytkentä ja tahdistus testit	27
5 KOESTUSOHJELMIEN KEHITTÄMINEN	29
6 POHDINTA	31
LÄHTEET	32

1 JOHDANTO

Sähköasemat ovat keskeinen osa sähköverkkoa, ja niiden tehtävänä on jakaa ja muuntaa sähköenergiaa verkon eri osien välillä. Riippumatta asemakohtaisesta roolista, jokainen sähköaseman komponentti on tärkeä sähköverkon toiminnan kannalta. Modernit sähköasemat hyödyntävät yhä useammin digitaalisia järjestelmiä, jotka mahdollistavat tehokkaan ja automatisoidun toiminnan.

Digitaalinen sähköverkko tarvitsee modernin tiedonsiirtoratkaisun, jotta järjestelmä voisi toimia. Modernin tiedonsiirtojärjestelmän avulla voidaan hallita, suojata ja valvoa sähköverkon toimintaa reaaliaikaisesti. Järjestelmän toiminnan kannalta kaikkien järjestelmässä olevien laitteiden välinen tieto täytyy kulkea saumattomasti laitevalmistajasta riippumatta. Saumattoman tiedonsiirron mahdollistaa IEC 61850 -standardi, johon perehdytään opinnäytetyössä tarkemmin.

Relesuojaus on olennainen osa sähköverkon turvallisuutta ja luotettavuutta. Suojareleiden tehtävänä on havaita sähköverkon häiriöt, kuten oikosulut, maasulut ja ylikuormitukset. Näiden havaittujen vikojen perusteella suojareleen täytyy selektiivisesti osata erottaa viallinen osa verkosta. Suojareleiden toiminnan varmistamiseksi ne on testattava huolellisesti ja asianmukaisin menetelmin.

Opinnäytetyön tavoitteena on perehtyä teoriatasolla sähköasemien komponentteihin, relesuojaukseen sekä sähköasemien tiedonsiirtoon. Teoriaosion perehtymisen lisäksi opinnäytetyön tavoitteena on kehittää kaksi erillistä 110 kV johtolähdön FAT-koestuspohjaa, joita voitaisiin käyttää tulevaisuuden projekteissa. Koestuspohjat sisältävät johtolähdön suojauksen distanssisuojauksella sekä releen jälleenkytkennän toiminnan. Opinnäytetyö tehdään sähköasemalaajennusprojektin yhteydessä Enersense PN Oy:lle.

2 SÄHKÖASEMA

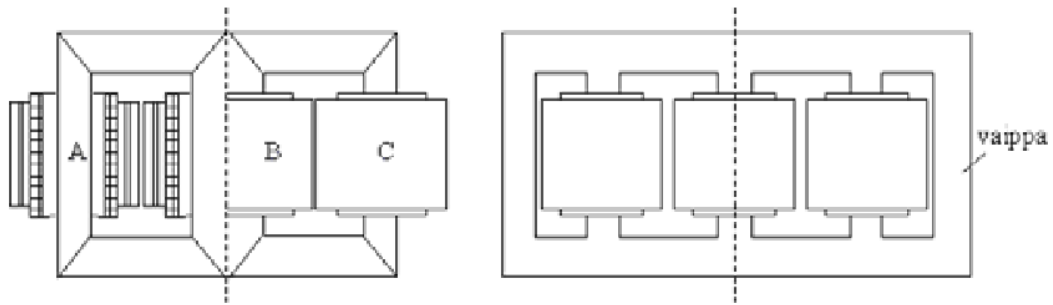
2.1 Muuntaja

Muuntaja on sähkölaite, jonka tehtävänä on muuntaa ja usein myös säätää jännitteitä ja virtoja kahden tai useamman käämityksen välillä hyödyntäen sähkömagneettista induktiota. Usein kolmivaihemuuntaja myös muuttaa jännitteen vaihekulmaa vakioarvolla, joka määräytyy muuntajan käämien kytkennästä. (Elovaara & Haarla 2011, 141.)

Pääsääntöisesti muuntaja kytketään joko kolmiokytkentään tai tähtikytkentään. Suurilla jännitteillä ja pienillä virroilla on soveliaista käyttää tähtikytkentää, sillä kytkennässä käämin yli jännite on vain 57,7 % sen verkon pääjännitteestä ja käämin virta on sama kuin vaihevirta. Tähtikytkentää käytetään myös, kun tarvitaan tähtipiste maadoittamista tai vinokuormittamista varten. Kun verkossa on pienet jännitteet ja suuret virrat, on taloudellisempaa käyttää kolmiokytkentää, sillä silloin käämiin vaikuttava jännite on sama kuin järjestelmän pääjännite ja käämivirta 57,7 % vaihevirrasta. (Elovaara & Haarla 2011, 141–142.)

Muuntaja on staattinen sähkölaite, jolla tarkoitetaan, että se toimii ilman liikkuvia osia ja muuntaa sähköenergiaa muodosta toiseen staattisten komponenttien avulla. Muuntajan aktiiviset osat ovat käämitykset ja rautasydän, jotka suorittavat muuntajan varsinaisen tehtävän. Aktiivisten osien lisäksi muuntajan muut osat ovat tukirakenteet, eristimet, muuntaja-öljy sekä jäähdytyslaitteet. Näitä osia kutsutaan passiivisiksi osiksi. (Korpinen 1998.)

Rakenteeltaan muuntaja voi olla joko sydän- tai vaippamuuntaja (kuva 1). Kolmivaiheisessa sydänmuuntajassa joka vaiheella on oma pylväänsä, jolla on vaiheeseen kuuluvat kaksi käämistä. Vaippamuuntajassa yhden vaiheen magneettivuolla on toisista vaiheista riippumaton paluutie. Sydänmuuntaja on rakenteeltaan yksinkertaisempi, minkä takia suurin osa kolmivaiheisista muuntajista on sydänmuuntajia. (Korpinen 1998.)



KUVA 1. Vasemmalla kolmivaiheinen sydänmuuntaja ja oikealla kolmivaiheinen vaippamuuntaja (Korpinen 1998)

Suuritehoisten muuntajien tähtipisteen puolinen pää varustellaan käämikytkimellä, jolla voidaan säätää muuntajan jännitettä $\pm 15\%$ muuntajan ollessa kuormitettuna. Jännitteen säätäminen tehdään yleensä muuttamalla ensiön johdin kierrosmäärää. Muuntajan vikakaasujen vuoksi käämikytkimet sijoitetaan normaalisti erilliseen öljytilaansa, joka ehkäisee käämikytkimen aikaansaaman kaasun sekoittumista mahdollisesti muuntajan eristeissä tapahtuvassa osittaispurkaustoiminnassa syntyneisiin kaasuihin. (Elovaara & Haarla 2011, 146.)

Muuntajan vikakaasuanalysointia käytetään lämpöantureiden kanssa muuntajien kunnonvalvontaan. Lämpöantureita käytetään varsinkin suuritehoisissa muuntajissa, sillä suuret lämpötilat nopeuttavat muuntajan eristyksen vanhene- mistä. (Elovaara & Haarla 2011, 147.)

2.2 Katkaisijat

Katkaisija on kytkinlaite, jonka tehtävänä on katkaista kuormitettu virtapiiri. Katkaisijat ovat keskeinen osa sähköverkon hallintaa, sillä niiden avulla voidaan säätää verkon topologiaa ja erottaa nopeasti vioittunut verkon osa muusta verkosta. Tämä on tärkeää vahinkojen ja vaaratilanteiden estämiseksi, sillä vikatilanteissa irtikytkentä estää ongelmien leviämisen laajemmalle alueelle. Sekä katkaisijalle että muille kytkinlaitteille on vaadittu toiminnaltaan normaali- sekä toimintatila. Normaalitilassa katkaisijan on kyettävä johtamaan kuormitusvirta ilman suuria häviöitä ja yllämpenemistä. (Elovaara & Haarla 2011, 161–162.)

Toimintatilassa katkaisijan on pystyttävä avaamaan ja myös sulkemaan oikosulkuvirta, joka voi olla moninkertainen nimellisvirtaan verrattuna. Tämä on toteutettava ilman, että katkaisija vioittuu. Lisäksi katkaisijan mekaaninen luotettavuus on keskeinen tekijä valintaprosessissa, sillä sen on kestettävä kiinni- ja auki-ohjaukset mekaanisesti ilman merkittävää kulumista. (Elovaara & Haarla 2011, 162–163.)

Kun katkaisija aukaisee virtapiirin, piiri ei katkea heti, vaan se jää johtamaan valokaaren välityksellä. Virtapiirin aiheuttama valokaari on varsin hyvä johdinaine varsinkin suurilla virroilla. Valokaari syntyy, kun katkaisijan auetessa kosketinpinnat lämpenevät ja synnyttävät metallisillan koskettimien välille. Tämä metallisilta höyrystyy ja alkaa ionisoitumaan ympäröivän väliaineen kanssa, josta syntyy kaasuplasmaa. Tätä kaasuplasmaa kutsutaan valokaareksi. (Elovaara & Haarla 2011, 163.)

Katkaisijoiden toiminta riippuu myös katkaisukammiossa käytettävästä väliaineesta. Käytettävä väliaine osallistuu sekä valokaaren sammuttamiseen että mahdollisesti katkaisukohdan jännitteisten osien eristämiseen katkaisijan muista osista. Katkaisijat voidaan siis jakaa eri ryhmiin riippuen käytettävästä väliaineesta. Katkaisijoita ovat esimerkiksi:

- ilmakatkaisijat
- öljykatkaisijat
- vähäöljykatkaisijat
- paineilmakatkaisijat
- SF₆-katkaisijat tai yleisemmin kaasukatkaisijat
- tyhjiökatkaisijat.

(Elovaara & Haarla 2011, 168–169.)

2.3 Erottimet

Sähköaseman kytkinkentällä sijaitsee erottimia, joiden tehtävänä on muodostaa turvallinen erotusväli erotetun virtapiirin ja muun laitoksen välille. Jotta turvallinen erotusväli voidaan todeta, täytyy erotusvälin olla näkyvä ja erottimen asento täytyy olla havaittavissa mekaanisella asennonosoituksella. (Elovaara & Laiho 1988, 263.)

Erottimen ohjaus toimii joko käsi- tai moottorihjattuna. Moottorihjattuja erottimia voidaan ohjata kaukokäytöllä esimerkiksi aseman valvomosta. Kun erotinta ohjataan moottorihjauksella, täytyy huomioida aseman lukituslogiikka, joka estää virheellisen ohjauksen tapahtumisen, esimerkiksi kuormitetun virtapiirin avaamisen. (Elovaara & Laiho 1988, 263.)

Erottimet kuuluvat katkaisijoiden kanssa kytkinlaitteisiin, mutta niitä ei käytetä kuormitetun virtapiirin avaamiseen tai sulkemiseen. Tämän takia niiltä ei vaadita katkaisu- eikä sulkemiskykyä toisin kuin katkaisijalta. (Elovaara & Laiho 1988, 263.)

Turvallisuuden parantamiseksi sähköasemilla käytetään erottimien ohella myös maadoituserottimia (kuva 2), joiden tehtävänä on varmistaa, että erotetun verkon osa on täysin jännitteetön. Maadoituserottimella yhdistetään erotetun virtapiirin osa maahan, jolloin se purkaa mahdollisen jäännösjännitteen ja estää muusta verkosta indusoituneen jännitteen vaaravaikutukset. Huoltotöissä maadoituserottimia käytetään lisätyömaadoituksen kanssa, jolla varmistetaan turvallinen työskentely. (Elovaara & Haarla 2011, 190.)



KUVA 2. HAPAM ASB maadoituserotin (HAPAM)

2.4 Mittamuuntajat

2.4.1 Jännitemuuntaja

Mittajännitemuuntajan tehtävä on muuttaa päävirtapiirissä oleva jännite pienemmäksi toisiopiirissä oleville laitteille, esimerkiksi suojarelleille sekä mittalaitteille. Mittajännitemuuntajan toiminta koostuu tavallisen muuntajan tavoin ensiökäämityksestä, toisiokäämityksestä sekä rautasydäimestä. Jännitemuuntajat voivat olla toiminnaltaan joko induktiivisia tai kapasitiivisia käyttökohteen mukaan. Kapasitiivisia jännitemuuntajia käytetään yleisimmin yli 245 kV:n käyttöjännitteillä. (Elovaara & Haarla 2011, 218.)

Jännitemuuntajan nimellisjännite suunnitellaan vastaamaan verkon nimellisjännitettä, sekä vaiheiden väliin kytkettävän ensiökäämin nimellisjännite ilmoitetaan pääjännitteenä. Suomessa yleisimmin käytetty toisiojännite on 100 V, kun ensiökäämi on kytkettynä kahden vaiheen väliin tai tähtipisteen ja maan välille. (Elovaara & Laiho 1988, 281.)

Jännitemuuntajien tarkkuusluokat määräytyvät jännite- sekä kulmavirheiden avulla.

Jännitevirhe voidaan laskea kaavalla 1 (Elovaara & Laiho 1988, 280.)

$$F_u = k_n \frac{U_s - U_p}{U_p} * 100\%$$

KAAVA 1

k_n = jännitemuuntajan nimellismuuntosuhde

U_s = toisiojännitteen tehollisarvo

U_p = ensiojännitteen tehollisarvo

Kulmavirhe määritellään analogisesti virtamuuntajien kanssa syntyvästä kulmaerosta ensio- ja toisiojännitteistä. Taulukosta 1 voidaan nähdä kaikille jännitemuuntajille tarkkuusrajavaatimukset, lukuun ottamatta avokolmiokäimejä. SFS 3381:2023 -standardissa on määritetty Suomessa käytettävä tarkkuusluokka, joka on 0,2 (SFS 3381:2023, 6). Tämä tarkoittaa, että jännitemuuntajan jännite- ja kulmavirheet on pysyttävä raja-arvojen sisällä, kun sen jännite on 80–120 % nimellisjännitteestä ja kun jännitemuuntajaa kuormitetaan 25 % ja 100 % nimelistaakasta. (Elovaara & Laiho 1988, 280.)

TAULUKKO 1. Jännitemuuntajien tarkkuusvaatimukset (ABB 2000)

Luokka	Jännitevirhe prosentteina + tai -	Kulmavirhe minuutteina + tai -
0,1	0,1	5
0,2	0,2	10
0,5	0,5	20
1	1	40
3	3	-

2.4.2 Virtamuuntaja

Virtamuuntajien tehtävä jännitemuuntajien tavoin on muuttaa primääripuolella olevat virrat pienemmiksi releille ja mittareille sekä eristää ensiö- ja toisiopiirit toisistaan. Virtamuuntajien toiminnalle asetetut vaatimukset on esitetty kansainvälisissä ja kansallisissa standardeissa, esimerkiksi IEC 60044-1. Virtamuuntajassa on joko yksi tai useampi sydän. Kun sydämiä on useita, niillä on yhteinen ensiökäämi, mutta jokaisella oma toisiokääminsä. (Elovaara & Haarla 2011, 198–199.)

Toisiokäämit jaotellaan joko mittaus-, suojaus- tai avokolmiokäämeihin. Mittauskäämejä käytetään nimensä mukaisesti esimerkiksi energianmittaukseen. Suojuskäämiä voidaan käyttää sekä suojaukseen että mittaukseen. Suojaustarkoituksessa käämiä käytetään suojarleiden kanssa. Avokolmiokäämiä käytetään maasulkusuojauksessa, jolla havaitaan maasulkuviat. (Elovaara & Haarla 2011, 198–199.)

Virtamuuntajissa mitoitusensiövirran standardisoidut nimellisarvot ovat 10, 15, 20, 30, 50 ja 75 A sekä näiden kymmenpotenssikerrannaiset. Toisiovirran standardisoitu arvo on perinteisesti ollut 5 A, mutta 1 A:n toisiovirta on yleistymässä suojarleiden modernisoitumisen takia, sillä näissä taakat ovat pienemmät. Mitoitustaakalla kuvataan suurinta kuormitusimpedanssia, jolla virtamuuntajaa voidaan käyttää kyseisen tarkkuusluokan vaatimusten mukaisesti. (Elovaara & Haarla 2011, 204–206.)

Samoin kuin jännitemuuntajille standardissa on määrätty mittaussydämelle tarkkuusluokat (kuva 3). Tarkkuusluokat määritellään suurimpien sallittujen virheiden perusteella, jotka liittyvät sekä virran että kulman poikkeamiin. Kulmavirhe on ensiö- ja toisiovirtojen välinen kulmaero, joka määritellään positiiviseksi, kun toisiovirran osoitin on ensiövirran osoittimen edellä.

Virtavirhe voidaan laskea kaavalla 2 (Elovaara & Laiho 1988, 272.)

$$F_i = k_n \frac{I_s - I_p}{I_p} * 100\%$$

KAAVA 2

k_n = virtamuuntajan nimellismuuntosuhde

I_s = toisiovirran tehollisarvo

I_p = ensiövirran tehollisarvo

Luokka	Virtavirhe ± %					Kulmavirhe ± min			
	$I_p = I_{pn} \times$					$I_p = I_{pn} \times$			
	0,05	0,2	0,5	1,0	1,2	0,05	0,2	1,0	1,2
0.1	0,4	0,2		0,1	0,1	15	8	5	5
0.2	0,75	0,35		0,2	0,2	30	15	10	10
0.5	1,5	0,75		0,5	0,5	90	45	30	30
1	3,0	1,5		1,0	1,0	180	90	60	60
3			3,0		3,0				
5			5,0		5,0				

KUVA 3. Virtamuuntajan mittaussydämen tarkkuusluokat (ABB 2000)

2.5 Suojausjärjestelmä

Sähköaseman suojausjärjestelmä on olennainen osa sähköverkon toimintaa, jonka tarkoituksena on suojella laitteita, henkilöitä ja ympäristöä mahdollisilta vahingoilta. Suojausjärjestelmä koostuu mitattavista suureista, kytkinlaitteista ja automaatiosta, joka ylläpitää verkon toimintaa ja reagoi mahdollisiin vikatilanteisiin. Suojareleet ovat keskeinen osa tätä järjestelmää, sillä ne valvovat verkon tilaa ja reagoivat mahdollisiin vikatilanteisiin selektiivisesti. Selektiivisyydellä tarkoitetaan, että kaikki verkon osat on suojattu aukottomasti ja vika-alue erotetaan muusta verkosta mahdollisimman pieneltä alueelta. Sähköasemilla selektiivisyys toteutetaan lähtökohtaisesti suojareleiden asetteluilla. (Kukkola 2024a.)

Suojarele (kuva 4) on laite, jolla havaitaan vikoja tai poikkeamia sähköverkon toiminnassa ja joka tarvittaessa käynnistää suojausmekanismit, kuten katkaisijoiden aukaisun. Perinteiset sähkömekaaniset releet korvataan nykypäivänä staattisilla, digitaalisilla ja mikroprosessoripohjaisilla suojareleillä, joihin tarvittavat toiminnot on integroitu yhdeksi kokonaisuudeksi. Digitaalisuuden ansiosta releisiin

voidaan ohjelmoida tilaajan haluamat toiminnot. Suojareleitä, jotka tarkkailevat sähkösuureita ja tekevät hälytyksiä ja ohjaukskäskejä, kutsutaan mittaaviksi releiksi. Mittaavien releiden lisäksi sähköverkossa käytetään väli- ja apureleitä, joiden tehtävänä on avustaa tai täydentää mittaavien releiden toimintaa. (Kukkola 2024b.)

Mittaavat suojareleet voidaan jakaa seuraaviin eri ryhmiin mitattavan suureen perusteella:

- ylivirtareleet
- ali- ja ylijännitereleet
- taajuusreleet
- suunta- ja tehoreleet
- epäsymmetriareleet
- vertoreleet kuten differentiaalireleet
- distanssireleet

(Kukkola 2024b.)



KUVA 4. Siemens SIPROTEC 7SA86 distanssirele (Siemens)

Suojarele pysyy normaalitilassaan, kun sen mittaava suure ei poikkea asetteluissa olevasta arvosta. Rele havahtuu, kun sen seuraama suure ylittää asetetun toiminta-arvon, mikä viittaa mahdolliseen vikaan. Jos rele pysyy havahtuneena tarpeeksi pitkän ajan, se antaa katkaisijalle laukaisukäskyn, lähettää hälytyksen tai tekee kummankin. Eri vikatyypeillä sekä vian sijainnilla on vaikutus havahtumisen ja laukaisun väliseen aikaan, jotka määritellään releen asetteluissa. (Elovaara & Haarla 2011, 344.)

3 SÄHKÖASEMAN TIEDONSIIRTO

3.1 Sähköasema-automaation laitteet

Sähköaseman automaatiojärjestelmä on laitteiston ja ohjelmistokokonaisuuden yhdistelmä, jota käytetään sähköverkon valvontaan ja ohjaukseen paikallisesti sekä etäyhteydellä. Automaatiojärjestelmä automatisoi myös toistuvia sekä työläitä tehtäviä parantaakseen järjestelmän tehokkuutta ja tuotettavuutta (Eaton 2024a). Perinteisen sähköaseman ohjaus on perustunut sähkömekaanisiin ohjaus-kuittauskytkimen toimintoihin. Digitalisoinnin ja mikroprosessoripohjaisten laitteiden yleistymisen jälkeen tilanne on muuttumassa niin, että suurta osaa aseman toiminnoista voidaan hallita automatiikan avulla, ja sen toimintaa voidaan tarkkailla verkkovalvomosta. (Elovaara & Haarla 2011, 386–387.)

3.1.1 IED-laitteet

IED (Intelligent Electronic Device) on nimensä mukaisesti älykäs laite, jolla voidaan käsitellä tietoa ja kommunikoida muiden laitteiden kanssa. Sähköasemilla IED:t ovat lähtökohtaisesti suoja releet, häiriötallentimet ja kenttäohjausyksiköt, jotka vastaanottavat tietoa esimerkiksi virta- ja jännitemuuntajilta tai muilta laitteilta. Näiden tietojen perusteella laite tekee suojaukseen tai ohjaukseen liittyviä päätöksiä algoritmien avulla. IED:t voivat myös tallentaa lokitiedostoja ja tapah-tumia. Vaikkakin mittaustiedot tuodaan releelle kuparikaapeleita pitkin, voivat ny-kyaikaiset sähköasemat välittää tietoa digitaalisesti hyödyntäen IEC 61850 -stan-dardia ja sen SV-protokollaa. (Eaton 2024a.)

3.1.2 RTU

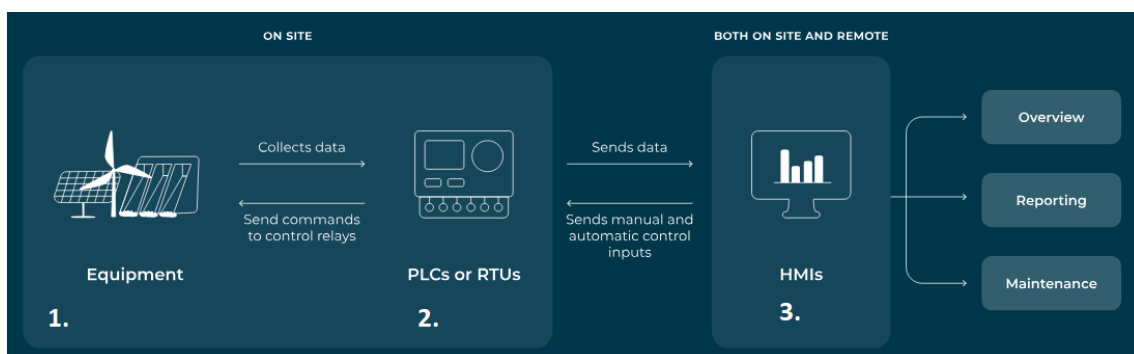
RTU (Remote Terminal Unit) eli kaukokäytön ala-asema on laite, jolla voidaan lähettää mittaustietoja ja dataa SCADA-järjestelmiin, sekä lisäksi ohjata järjestel-mää SCADA:sta lähetettyjen komentojen avulla. RTU valvoo sekä analogisia että digitaalisia kenttätietoja antureista ja mittareista, jotka seuraavat prosessien

muuttujia. Se välittää nämä tiedot käytönvalvontajärjestelmään. Käytännössä RTU kokoaa yhteen eri kenttälaitteiden tiedot, kuten mittaukset, hälytykset, tapahtumat ja kytkinlaitteiden tilatiedot ja siirtää ne käytönvalvontajärjestelmään. Näin RTU:lla voidaan seurata laitteiden fyysisiä olosuhteita, kuten lämpötiloja ja verkon topologiaa. (Rahul 2024.)

3.1.3 SCADA ja HMI

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) on järjestelmä, jota käytetään ohjaukseen, valvontaan ja datan analysointiin teollisuudessa ja eri prosesseissa. Järjestelmä koostuu laitteistoista ja käyttöliittymän ohjelmista, joilla voidaan tehdä tarvittavat toiminnot etänä. SCADA-järjestelmät ovat varsin hyödyllisiä sähköjälkijärjestelmässä, sillä ne kattavat monia etäkohteita, joissa valvonta ja ohjaus on ollut usein haastavaa. (SCADA International 2024.)

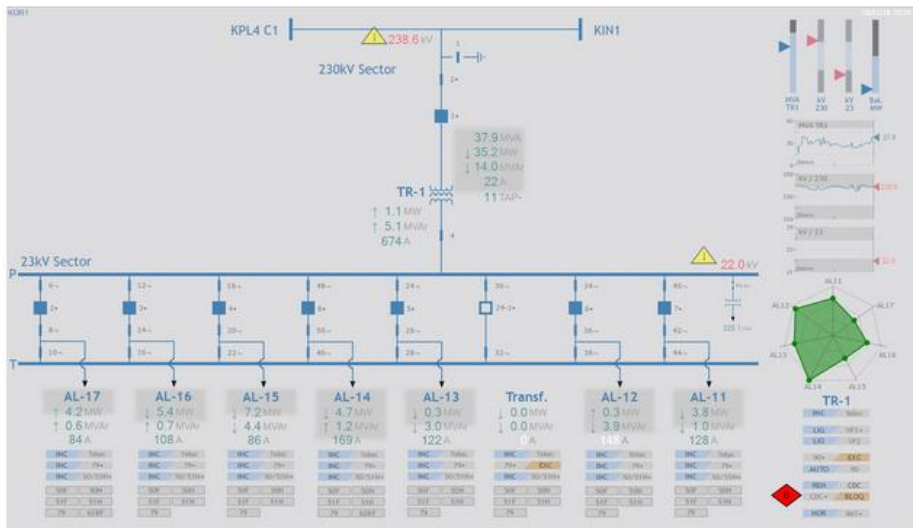
SCADA-järjestelmän toiminta perustuu pääsääntöisesti kolmen eri komponentin tiedonvaihtoon. Kuten kuvasta 5 nähdään kohta 1, joka sähköaseman tapauksessa on suojarile tai muu IED, kerää dataa tapahtumista RTU:lle, joka lähettää kaikilta eri laitteilta saadut tiedot HMI:lle sekä etäkäytössä olevaan SCADA-käyttöliittymään. Tämä prosessi voidaan myös tehdä toiseen suuntaan, jolloin SCADA:sta tehty etäohjaus lähetetään RTU:lle, jolla puolestaan vietään tieto ohjausta tekeväälle IED:lle. (SCADA International 2024.)



KUVA 5. SCADA-järjestelmän toimintaperiaate (SCADA International 2024)

Sähköaseman toimintaa voidaan myös ohjata ja valvoa asemalla käyttämällä HMI:tä. HMI (Human Machine Interface) on asemalla sijaitseva

paikallistyyöasema, joka on yksinkertaistettu versio SCADA-järjestelmästä. Tämä tarkoittaa sitä, että toisin kuin SCADA:ssa, jolla voidaan tehdä toimintoja monille eri sähköasemille, HMI:llä kaikki toiminnot ovat asemakohtaisia. HMI:llä ohjataan kyseisen sähköaseman verkkoa hyödyntäen käyttökaaviota (kuva 6), jossa on yksinkertaisesti esitetty aseman topologia ja komponentit. Samoin kuin SCADA-järjestelmässä, HMI kerää aseman tapahtumat sekä hälytykset. (Eaton 2024a.)

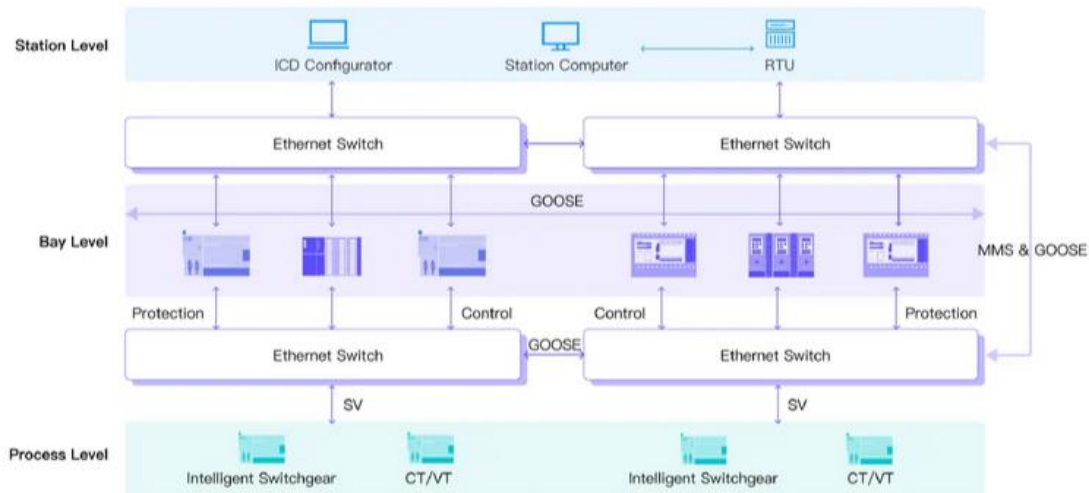


KUVA 6. Esimerkkikuva HMI:n käyttöliittymästä (DSC systems)

3.2 IEC 61850

Sähköaseman digitaalisuuden kehittyminen kasvaessa kehitettiin IEC 61850 tiedonsiirto- ja järjestelmäarkkitehtuuristandardi, joka on tehty käsittelemään sähköjärjestelmän älykkäiden laitteiden ja niiden data- ja tiedonsiirtopalveluja. Standardin ovat määrittäneet Pohjois-Amerikan ja Euroopan ANSI- ja IEC-organisaatiot. Koska standardi sisältää vakioidun älykkäiden laitteiden tietojen mallinnus- ja nimeämiskäytännön, voidaan sitä käyttää eri valmistajien laitteiden yhteensopivuuden takaamiseksi. (ABB 2024.)

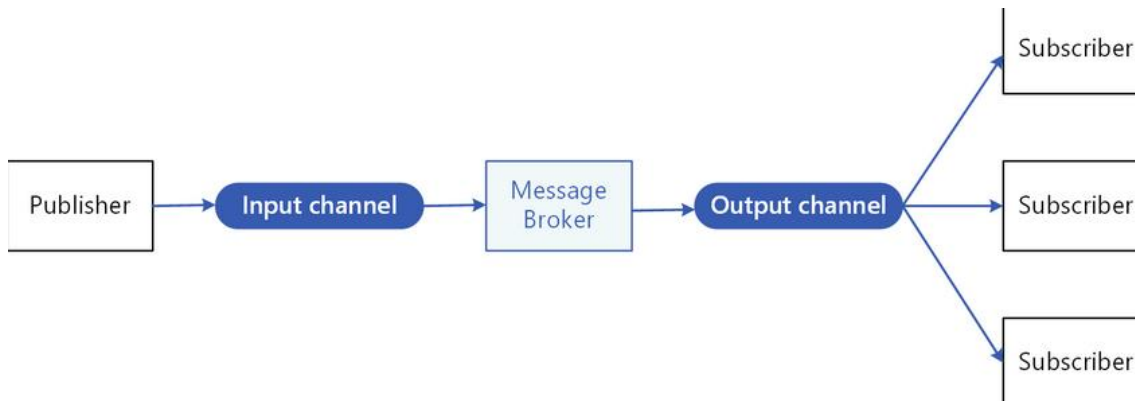
IEC 61850 -standardi on hyvin laaja ja kattaa suuren osan sähköasemien tiedonsiirtoon ja automaation liittyviä määritelmiä ja toiminnallisuuksia. Standardin laajuuden takia keskitytään tarkemmin sen keskeisiin viestintäprotokolliin, kuten GOOSE-, MMS- ja SV-viestintään (kuva 7), sillä ne ovat pääasialliset vakiintuneet viestinnän prosessit. (Padilla 2016.)



KUVA 7. Yksinkertaistettu IEC61850 kommunikointipiiri (EMQX)

IEC 61850 -standardi määrittää MMS (Manufacturing Message Specification) -protokollan, jota käytetään tiedonsiirtoon IED-laitteiden ja SCADA:n välillä. MMS käyttää tietoliikenteeseen TCP/IP tietoliikenneprotokollapinoa (Typhoon HIL Documentation 2025). TCP/IP koostuu TCP (Transmission Control Protocol) sekä IP (Internet Protocol) -tietoliikenneprotokollista. TCP-protokolla määrittelee missä muodossa tieto lähetetään ja varmistaa, että saapuva tieto on kokonainen. IP-protokollalla määritetään, minne haluttu tieto lähetetään käyttämällä IP-osoitetta. TCP/IP käyttää asiakas-palvelinmallia, jossa tiedon vastaanottava osapuoli pyytää tietoa lähettävältä osapuolelta. Sähköaseman tapauksessa SCADA (asiakas) pyytää IED-laitteelta (palvelin) tiedon. (FITech 101: Digi & Data 2025.)

IEC 61850 GOOSE (Generic Object Oriented System Events) on viestintäprotokolla, jota käytetään sähköaseman viestinnässä. Protokollaa käytetään lähtökohteisesti eri IED-laitteiden väliseen viestintään nopean ja luotettavan tiedonsiirron takia. GOOSE-viestit lähetetään "publisher/subscriber" -mallilla (kuva 8), joka tarkoittaa, että viestit lähetetään jokaiselle IED:lle, mutta ainoastaan ne, jotka on määritelty tilaajiksi ottavat viestin vastaan. Kyseisen toimintamallin takia viestin eheyttä ei voida varmistaa, ja siksi viestiä lähetetään jatkuvasti, vaikka tilatiedon muutoksia ei olisi. (iGrid T&D 2024.)



KUVA 8. Publisher/Subscriber -toimintamalli (Microsoft)

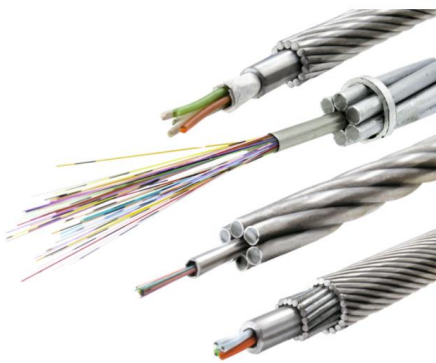
IEC 61850-9-2 -standardissa määritellään IEC 61850 Sampled Values Protocol (SV), joka on reaaliaikainen jännitteen- ja virranmittaus viestintä mittamuuntajien ja IED-laitteiden välillä. GOOSE-viestinnän tavoin SV-viestit lähetetään käyttäen lähettäjä/tilaaja -mallia. (OMICRON 2024a.)

3.3 Tiedonsiirtoratkaisut

Sähköverkon toiminta edellyttää luotettavaa ja toimivaa tiedonsiirtoa sähköaseman sisällä, asemien välillä sekä käyttökeskusten ja asemien väliseen kommunikointiin. Tietoliikenneyhteyksiä tarvitaan mm. voimajärjestelmän hallintaan, sähköverkon suojaukseen, kuormien ja tariffien ohjaukseen, automaattiseen kulutusmittaukseen ja turvallisuusvalvontaan. (Tervo 2012.)

Perinteisesti sähköasemien välinen tiedonsiirto toteutettiin käyttämällä kupari-kaapeleita, jotka lähettivät signaalia jännitteiden avulla. Metallisten kaapeleiden haittapuolena on ollut kaapelin impedanssin aiheuttama kantaman rajoitus sekä kohina, joka on aiheuttanut signaalissa häiriöitä. Puhelinverkkoyhtiöiden tiedonsiirtoverkot tarjosivat laajan kantaman, mutta niiden korkea hinta, rajallinen luotettavuus ja viiveet estivät niitä olemasta pysyvä ratkaisu (Higinbotham 2023). Näiden tapojen lisäksi on ollut monia muita tiedonsiirtotapoja esimerkiksi PLC (Power Line Carrier) -kanava, jossa voimalinjoja pitkin lähetetään korkeataajuisia signaalia. PLC-kanavaa käytetään nykypäivänä muun muassa optisen kuidun tukena. (Hitachi Energy 2025.)

Sähköverkkojen digitalisoinnin ansiosta tulivat käyttöön digitaaliset radiolinkit, sekä optiset järjestelmät. Niistä etenkin OPGW-ukkosjohtimet (kuva 9) kasvoivat suosituksi, koska niillä integroidaan valokuituyhteys perinteisen ukkosköyden sisään. Valokuituyhteyksiä käytetään nykypäivänä laajasti asemien välillä sekä aseman sisäiseen tiedonsiirtoon. Valokuidun suosion kasvu on johtunut niiden mahdollistaman galvaanisen erotuksen, häiriöimmunitetin ja suuren rakenteellisen kapasiteetin takia. (Tervo 2012.)



KUVA 9. Erilaisia OPGW-kaapeleita (GL-fiber)

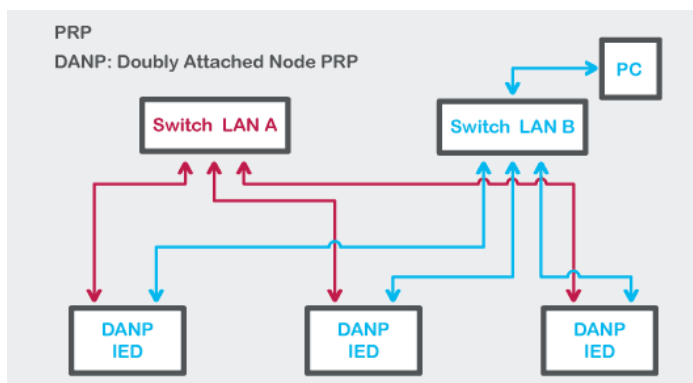
Modernilla sähköasemalla lähes kaikki aseman laitteet kytkeytyvät Ethernet-pohjaiseen tietoliikenteeseen IEC 61850 -standardin ansiosta. Redundantisella Ethernet-pohjaisella verkolla voidaan suorittaa laitteen konfiguroinnit, ohjaukset, oskillografia ja tapahtumasekvenssien tallentamiset. Kun kaikki tiedonsiirto yhdistetään toisiinsa väyläkytkimellä, voidaan hälytyspiirien kuparikaapelointia vähentää. (Higinbotham 2023.)

3.4 Tiedonsiirtoverkon redundanttisuus

Verkon redundanssilla tarkoitetaan komponenttien tai toimintojen kaksinkertaistamista. Redundantisilla järjestelmillä on mahdollista jatkaa toimintaa vikatilanteissa, mikä estää tietojen menetyksen ja vähentää verkon käyttökatkoksia. Redundanssin ansiosta verkkoa voidaan myös huoltaa sen ollessa toiminnassa. Ethernet on standardisoitu verkkoprotokolla, joka ei itsessään ole

redundanttinen, mutta eri redundanssi-protokollilla mahdollistetaan verkon käyttö digitaalisissa sähköverkoissa. (TTTech Industrial 2025.)

Parallel Redundancy Protocol (PRP) on IEC 62439-3 -standardissa määritetty protokolla, jolla voidaan luoda redundanttinen Ethernet-verkko. PRP:llä jokainen verkon solmu on kytkettynä kahteen erilliseen rinnakkaiseen lähiverkkoon (LAN), jotka lähettävät kaksi kopiota jokaisesta paketista (kuva 10). Kun kohdesolmu vastaanottaa paketin, se hyväksyy ensimmäisen kopion ja poistaa seuraavan. PRP-verkon haittapuolena on verkon kaksinkertainen kustannus, joka tekee siitä kalliimman kuin muiden redundanssi-protokollien. (TTTech Industrial 2025.)

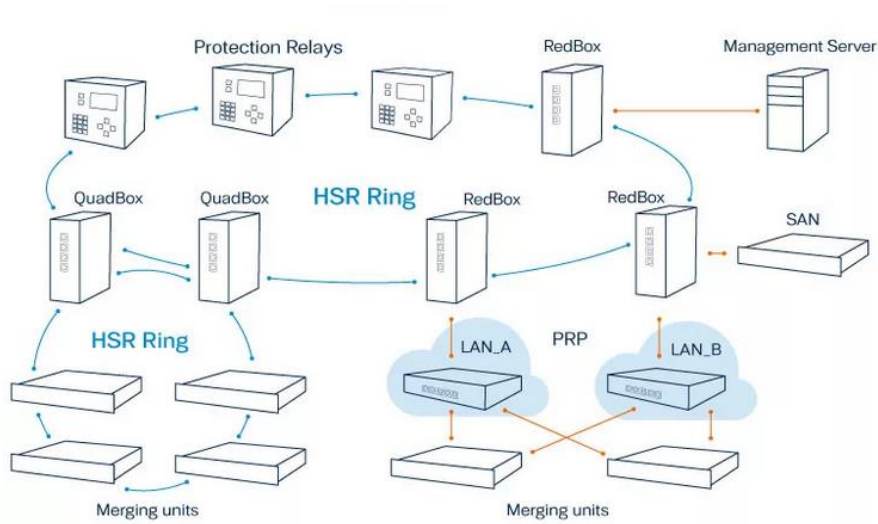


KUVA 10. PRP-protokollan rakennekuva (Schneider Electric)

IEC 62439-3 -standardissa myös määritellään High-availability Seamless Redundancy (HSR) -protokolla, jota käytetään sovelluksiin, jotka vaativat lyhyitä reagointiaikoja ja korkeaa saatavuutta. HSR:ää voidaan käyttää verkkojen rakentamiseen, joissa on nolhareagointiaika yhden vian sattuessa ja ennustettavissa oleva viive. HSR:n kustannukset ovat myös alhaisemmat verrattuna muihin Ethernetin redundanssiratkaisuihin. HSR-topologia toteutetaan tyypillisesti renkaalla, jossa lähdesolmu kaksinkertaistetaan ja lähetetään viestit kahden eri polun kautta kohteeseensa. Mikäli toinen poluista katkeaa häiriön vuoksi, viestit tulevat silti perille. (TTTech Industrial 2025.)

HSR-renkaat koostuvat tyypillisesti loppusolmuista, RedBoxeista ja QuadBoxeista (kuva 11). Loppusolmut eli esimerkiksi IED-laitteet sisältävät kaksi ulkoista Ethernet-porttia, jotka liittävät laitteen HSR-renkaaseen. Laite lähettää renkaan molempiin suuntiin saman viestin, jossa viestin saaja vastaanottaa ensimmäisen ja poistaa seuraavan kopion. Laite, jossa on vain yksi Ethernet-portti, ei ole

yhteensopiva HSR protokollan kanssa, jonka takia siihen tarvitaan RedBox (Redundancy Box). RedBox on laite, joka vastaanottaa molemmat HSR-renkaan signaalit ja lähettää nopeamman signaalin yhtä porttia pitkin siihen kytkettyyn laitteeseen. QuadBox (Quadruple Port Device) on laite, jolla voidaan yhdistää kaksi HSR-rengasta toisiinsa. (TTTech Industrial 2025.)



KUVA 11. HSR-renkaan rakennekuva (TTTech Industrial)

4 110 KV JOHTOLÄHDÖN FAT-KOESTUS

4.1 FAT Koestus

FAT (Factory Acceptance Test) on laadunvarmennusprosessi, missä laite tai järjestelmä testataan kattavasti ennen toimitusta asiakkaalle. Testauksessa laitteelle tehdään tietyt sovitut testit ja tarkastukset, joilla varmistetaan, että tuote täyttää vaatimukset, suunnittelukriteerit ja toiminnallisuudet. (DXP 2023.)

Sähköasemien toisiojärjestelmän saneeraus tai uusiorakentamisprojekteissa suojausjärjestelmä testataan perusteellisesti, jolla varmistetaan, että järjestelmän kokonaisuus toimii suunnitellulla tavalla. Käytännössä testitila rakennetaan vastaamaan sähköasemaa, johon simuloidaan tulevan verkon topologiaa. FAT-testauksien lisäksi työmaalla tehdään SAT (Site Acceptance Test), jolla varmistetaan laitteiden toimivuus ennen käyttöönottoa. (Fingrid 2021.)

FAT-koestuksissa varmistetaan, että automaatio- ja ohjausjärjestelmä toimii suunnitellulla tavalla ja vastaa asetettuja vaatimuksia. Samalla tarkastetaan, että IED-laitteet ja niiden toiminta järjestelmässä toimivat suunnitellusti. FAT-koestuksessa käydään läpi mahdollisia virheitä tai puutteita laitteistossa, järjestelmissä, dokumentaatiossa tai johdotuksissa. Virheet ja puutteet korjataan tarkastuksen yhteydessä. (Fingrid 2021.)

4.2 OMICRON

Jotta suojarleiden toimivuus voidaan todeta varmaksi, täytyy myös testilaitteen olla kykenevä ja luotettava. Markkinoilta löytyy monien eri valmistajien ratkaisuja releiden koestukseen, mutta tässä osiossa paneudutaan OMICRONin valmistamiin tuotteisiin, sillä niitä käytetään myös toimeksiannossa. OMICRON on Itävallassa perustettu yhtiö, joka on erikoistunut sähköenergiajärjestelmiin ja niiden komponenttien testaukseen, diagnostiikkaan ja monitorointiin. OMICRONin ratkaisuja käytetään laajasti sähkövoimayhtiöissä, teollisuudessa yli 160 maassa. (OMICRON 2024b.)

4.2.1 CMC 356

OMICRONilta löytyy laaja valikoima eri mallisia testilaitteita ja heidän CMC-mallistonsa ovat hyvin kykeneväisiä relekoestamiseen. OMICRON CMC 356 (kuva 12) on monipuolinen koestuslaite, joka soveltuu monien eri releiden koestukseen sukupolvesta ja valmistajasta riippumatta. CMC 356 eri ominaisuudet ovat:

- 4 jännitekanavaa 4x300 V tai 2x600 V
- 6 virtakanavaa, jolla voidaan syöttää virtaa 128 A:iin asti
- DC jännitelähde 0–264 V
- 4 binääristä ulostuloa
- 10 binääristä sisääntuloa
- Optio ELT-1, jännitteiden ja virtojen mittausta varten.

(OMICRON 2024c.)



KUVA 12. OMICRON CMC356 (OMICRON)

4.2.2 Test universe

Test Universe on OMICRONin koestusohjelmisto, jota käytetään OMICRON CMC-testilaitteilla. Ohjelmistolla voidaan monipuolisesti yhdistellä erilaisia testimoduuleja, joilla voidaan luoda joustavia ja täysin automaattisia testiohjelmiä. Eri-näiset testimoduulit rakennetaan Omicron Control Center (OCC) -tiedostopohjaan. Taulukosta 2 voidaan nähdä Test Universen yleiset testimoduulit koestamiselle.

TAULUKKO 2. Test Universen yleiset moduulit (OMICRON 2024d)

Testimoduuli	Ominaisuus
Quick CMC	Voidaan manuaalisesti testata eri releen toimintoja muuttamalla jännite ja virta-arvoja, sekä binäärisiä ulostuloja.
Ramping	Määrittää kynnyksarvot, kuten minimi-toimintarajan tai kytkentähystereesi-alueen. Se tuottaa virta- ja jännitelähdöille portaittain muuttuvia arvoja, mikä mahdollistaa sekä yksinkertaisten että monimutkaisten toimintojen testaamisen.
Pulse Ramping	Toiminto mahdollistaa suojaustoiminnon havahtumisrajan testaamisen ilman, että siihen liittyviä muita toimintoja tarvitsee poistaa käytöstä. Lisäksi välttää korkeiden jatkuvien testivirtojen käytön, mikä on erityisen hyödyllistä sähkömekaanisten releiden kanssa.
State Sequencer	Joustava moduuli, jossa määritellään toiminta-ajat ja loogiset aikasekvenssit. Tila määritellään ulostulojen arvoista, kuten jännite, virrat ja binääriset ulostulot, jonka jälkeen siirtyy seuraavaan tilaan.
Advanced Transplay	Mahdollistaa CMC-järjestelmän testaamisen ohimenevillä signaaleilla. Ohimenevien signaalien data, joka on saatu esimerkiksi vikarekisteristä, EnerLyzer-vaihtoehdolla.

Yleisten testimoduulien (taulukko 2) lisäksi Test Universe sisältää suojausfunktioiden testaamiselle soveltuvat testimoduulit muun muassa "Overcurrent", "Distance" ja "Advanced Distance". Overcurrent-testimoduulia käytetään suunnattujen ja suuntaamattomien ylivirtareleiden sekä maasulkusuojauksen testaukseen.

Overcurrent-testimoduulilla saadaan testattua laukaisujen ominaiskäyrät, suuntarajat sekä toiminta- ja palautusarvot. Distance-testimoduulilla voidaan testata distanssireleen toiminta simuloimalla vikoja eri vyöhykkeille. Advanced Distance-moduuli suorittaa samat toiminnot kuin Distance, mutta sisältää myös esimerkiksi laukaisuvyöhykkeiden rajaamisen. (OMICRON 2024d.)

Test Universen monipuolisten testimoduulien lisäksi OCC-pohjaan voidaan automaattisesti tuoda releen asetteluarvoja RIO:n tai XRIO:n avulla. RIO-tiedosto on yhtenäinen tietomuoto eri valmistajien suojarieleiden parametreille ja asetteluille. RIO:lla voidaan tuoda esimerkiksi distanssireleen vyöhykkeiden arvot suoraan ulkoisesta lähteestä. XRIO on RIO:n laajennettu versio, joka sisältää distanssin laukaisuvyöhykkeiden lisäksi muun muassa varaylivirtasuojan ja maasulkusuojan erinäiset toimintaportaat.

4.3 Distanssireleen koestus

Modernin 110 kV johtolähdön suojaus voidaan toteuttaa kahdella distanssireleellä, distanssilla sekä differentiaalireleellä tai pääsuojalla (distanssirele) ja varasuojalla (ylivirtasuoja sekä maasulkusuoja) (Fingrid s.a). Opinnäytetyön toimeksiannossa johtolähdön suojaus toteutettiin kahdella distanssireleellä. Tämän takia opinnäytetyössä pohjustetaan vain distanssireleen koestus.

Distanssirele on yleisesti käytetty johtolähdön suojausmenetelmä silmukoiduissa verkoissa, ja sen toiminta perustuu vikapaikan ja releen sijainnin välisen impedanssin mittaamiseen. Distanssireleiden suojaus toteutetaan eri vyöhykkeillä, jotka ulottuvat eri pituuksille. Vyöhykkeille asetetaan eri aikahidastukset riippuen vyöhykkeen ulottumasta. Käytännössä ensimmäinen vyöhyke kattaa 80–85 % johdon pituudesta ja sen laukaisu toteutetaan ilman viivettä. Muut vyöhykkeet suojaavat koko johdon pituuden sekä yleensä myös vasta-asemalta lähtevän johdon osan. Ulompien vyöhykkeiden laukaisuajat ovat tyypillisesti 0,4 sekuntia ja 1 sekunti. (Elovaara & Haarla 2011, 348–351.)

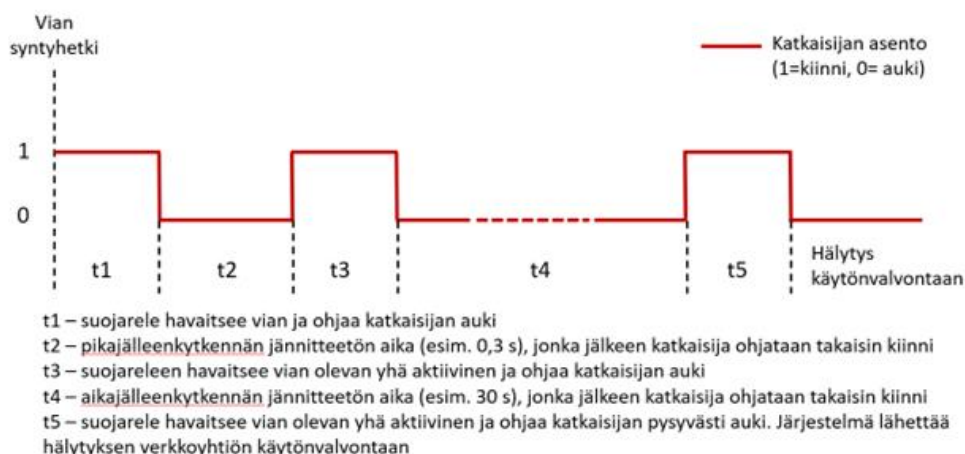
Distanssireleen koestuksessa testataan, että rele reagoi eri vikatilanteisiin oikein yksi-, kaksi- ja kolmivaihevioilla. Koestuksella simuloidaan erilaisia vikatilanteita. Näin varmistetaan, että eri suojaustoimintojen laukaisuajat sekä laukaisuajat

vastaavat aseteltuja arvoja. Näiden lisäksi testeissä varmistetaan, että releen koskettimet toimivat oikein eri vioilla esimerkiksi suojauksen viestiyhteyden lähetys. (Enersense s.a.)

4.4 Jälleenkytkentä ja tahdistus testit

Avojohtojen vioista suurin osa on ohimeneviä, jonka takia johtosuojauksessa on jälleenkytkentä-toiminnallisuus. Jälleenkytkentä voidaan toteuttaa joko erillisellä jälleenkytkentäreleellä tai toiminnallisuus voidaan integroida distanssireleeseen. Lisäksi tilanteissa, kuten voimalaitoksiin liittyvissä johdoissa, voidaan käyttää tahdissaolon valvontarelettä varmistamaan, että jälleenkytkentä tapahtuu verkon tahdistuksen mukaisesti. (Enersense s.a.)

Jälleenkytkentä voi tapahtua joko pikajälleenkytkentänä tai aikajälleenkytkentänä. Pikajälleenkytkentä eli PJK on hidastamattomissa laukaisuissa käytettävä jälleenkytkentä. Kuvasta 13 voidaan hahmottaa jälleenkytkennän toiminta. Normaalisti PJK palauttaa jännitteen 0,7 sekunnin kuluttua katkaisijoiden avauksesta. Aikajälleenkytkentää eli AJK tehdään hidastetuissa laukaisuissa PJK:n epäonnistuttua, kun johto on ollut jännitteetön 60 sekuntia. Mikäli PJK:ssa on käytetty tahdissaolonvalvontaa, käytetään sitä myös AJK:ssa. (Fingrid lehti 2017.)



KUVA 13. Jälleenkytkentäsekvenssin periaatekuva (Flyktman 2022)

Testatessa jälleenkytkentää kytetään piiriin katkaisijasimulaattori, johon simuloidaan realistinen katkaisijan sulkemisviive. Simulaattori antaa releelle tilatiedot katkaisijan asennosta, joka ylipäättään mahdollistaa jälleenkytkentöjen testaamisen. Testeissä testataan, että rele ei tee virheellisesti jälleenkytkentöjä ja lopettaa jälleenkytkentäsekvenssin tekemisen, kun jälleenkytkennän jälkeen vika on vielä verkossa.

Jälleenkytkentöjen lisäksi testeissä koestetaan distanssireleen ja kenttäohjausyksikön tahdissaolonvalvonta. Tahdissaolonvalvonta tarkkailee taajuus-, vaihe- ja jännite-ehtojen täyttymistä ja antaa katkaisijalle kiinnikäskyn näiden ehtojen täytyessä. Tahdissaolonvalvonnassa testataan kiinni-käskyn raja-arvojen vastaavuus asetteluihin sekä tarkastetaan tahdistusajat erilaisissa skenaarioissa.

5 KOESTUSOHJELMIEN KEHITTÄMINEN

Yrityksen toimeksiantona oli kehittää Test Universeen koestuspohja 110 kV johtolähdön suojaukselle sekä toiminnallisille testeille. Koestuspohjaa kehitettiin sähköasemalaajennusprojektin yhteydessä, jossa osana projektia lisätään kaksi uutta 110 kV johtolähtöä. Koestusohjelmat on tarkoitettu yrityksen käyttöön Enersensin työntekijöille ja pohjiin on selitetty yksityiskohtaisemmin koestettavat ominaisuudet. Tämän takia opinnäytetyössä käsitellään pintapuolisesti koestusohjelmien kehittäminen.

Suojaustestien kehittäminen alkoi tutustumalla vanhempiin versioihin, joista lähdettiin hahmottelemaan mahdollisia parannuksen kohteita. Yksi selkeyttävä tekijä oli muun muassa rakentaa koestuspohja pelkästään yhdellä Test Objectilla, joka helpottaa työn aloittamista, sillä releen distanssivyöhykkeet sekä ylivirtaportaat ovat kaikki saatavilla samasta kohteesta. Testipohjaan lisättiin ennen testin aloittamista selkeät kommentoinnit siitä, mitkä suojausfunktiot täytyy tarkastaa Test Objectista ennen testin aloittamista.

Suojaustestien pohjasta pyrittiin tekemään mahdollisimman lineaarinen ja looginen. Koestuspohjan luomisen apuna käytettiin tilaajan, eli tässä tapauksessa Fingridin koestustarkastuslistaa, jossa on listattuna vaatimukset, mitä releeltä testataan. Testien nimet numeroitiin suoraan tarkastuslistan mukaan, mikä helpottaa testausprosessia ja dokumentointia.

Toiminnallisten testien osalta tavoitteet olivat käytännössä samat. Kehitysprosessi eteni samankaltaisesti kuin suojaustestien. Se alkoi tutustumalla vanhoihin pohjiin. Parannuskohteiksi ilmeni muun muassa OMICRON ISIO 200 I/O-terminaalien käyttäminen, jolla saadaan kahdeksan sisään- ja ulostuloa enemmän käytettäväksi. ISIO:n kanssa kytkentä voidaan heti alussa tehdä valmiiksi, eikä kytkentämuutoksia tarvitse testien välissä tehdä, pois lukien releiden virta- ja apujännitemuutokset.

Työn tuloksena valmistui ajankäytöllisesti järkevämmät ja selkeämmät koestusohjelmat 110 kV:n distanssisuojalle sekä toiminnallisille kokeille. Työ kehitti

huomattavasti Test Universe -osaamistani, sekä paransi taitojani koestajan työssä. Työstä valmistuvat koestusohjelmat ovat luottamuksellisia, jonka takia niitä ei tässä opinnäytetyössä julkaista.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä sähköasemiin ja sähköasemien tiedonsiirtoon teoriatasolla. Tämän lisäksi työssä pohjustettiin FAT-koestusta sekä kehitettiin toimeksiantajalle FAT-koestuspohjat 110 kV:n johtolähdölle. Opinnäytetyön aikana työskentelin Enersensellä koestajana eri projekteissa. Opinnäytetyön aiheita valittaessa koestusohjelmien kehittäminen valikoitui hyväksi vaihtoehdoksi, sillä ne tuovat yritykselle lisäarvoa sekä kehittävät taitojani.

Opinnäytetyön raportin rakenteen luominen osoittautui hieman haasteelliseksi, sillä tästä aihealueesta on ennestään tehty hyvin monta opinnäytetyötä, joiden teoriaosassa käsitellään hyvin samaa asiaa. Tästä syystä opinnäytetyössä perehdyttiin enemmän myös sähköasema-automaatioon ja tiedonsiirtoon. Lisäksi sähköasema-automaatio ja tiedonsiirtomenetelmät ovat hyvin keskeisessä roolissa koestajan tehtävissä, joten tähän aihealueeseen perehtyminen oli hyödyksi. Sähköaseman tiedonsiirto on kylläkin aiheena hyvin laaja, joten sen täysi purkaminen olisi laajuudeltaan voinut olla oma opinnäytetyönsä, jonka takia raportissa pyrittiin rajaamaan aluetta pienemmäksi.

Opinnäytetyöstä valmistui tavoitteiden mukaisesti kaksi erillistä koestuspohjaa 110 kV johtolähdön FAT-koestamiseen. Näiden uusien koestuspohjien tarkoituksena oli parantaa koestusprosessin selkeyttä ja tehostaa ajankäyttöä.

Opinnäytetyön tavoitteet saavutettiin mielestäni onnistuneesti, sillä koestusohjelmien kehitys eteni suunnitellun aikataulun mukaisesti, ja 110 kV johtolähdöt pystyttiin koestamaan odotetusti ja ilman merkittäviä haasteita. Projekti eteni suunnitelman mukaisesti, ja lopputuloksena syntyneet koestuspohjat tarjoavat käyttökelpoisen ja tehokkaan työkalun tulevaisuuden koestustarpeisiin.

LÄHTEET

ABB 2000. Teknisiä tietoja ja taulukoita. 9. painos. Vaasa.

ABB 2024. IEC 61850. Luettavissa: <https://new.abb.com/control-systems/fi/system-800xa/hajautettu-800xa-ohjausjarjestelma/kenttavaylaprotokollat/iec-61850>. Luettu: 18.12.2024

DSC systems s.a. Kuvakaappaus. Luettavissa: <https://dscsys.com/>. Luettu: 3.1.2025.

DXP 21.12.2023. What is Factory Acceptance Testing (FAT) & How Does It Work? Luettavissa: <https://www.dxpe.com/what-is-factory-acceptance-test-protocol-purpose/>. Luettu: 20.10.2024.

Eaton 2024a. Substation automation: fundamentals of substation automation. Luettavissa: <https://www.eaton.com/us/en-us/products/utility-grid-solutions/grid-automation-system-solutions/fundamentals-of-substation-automation.html>. Luettu: 1.12.2024.

Eaton 2024b. Protective relays. Luettavissa: <https://www.eaton.com/sg/en-us/products/electrical-circuit-protection/fundamentals-of-protective-relays.html>. Luettu: 1.12.2024.

Elovaara, J. & Haarla, L. 2011. Sähköverkot 2. Helsinki: Otatieto

Elovaara, J & Laiho, Y. 1988. Sähkölaitostekniikan perusteet. 6. painos. Helsinki: Otatieto

Enersense s.a. Suojareleiden koestus. Sisäinen lähde.

Fingrid 31.1.2021. Suojaus- ja ohjausjärjestelmien testaus. Sisäinen lähde.

Fingrid lehti. 21.11.2017. Mitä tarkoittavat PJK ja AJK? Luettavissa: <https://www.fingridlehti.fi/mita-tarkoittavat-pjk-ja-ajk/>. Luettu: 1.12.2024.

Fingrid s.a. Relay protection of the main grid and customer connections. Luettavissa: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/en/customers/grid-connection/relay-protection-protection-of-the-main-grid-and-customer-connections.pdf>.

Luettu: 11.11.2024.

FItech 101: Digi & Data 2025. Internetin perusosat. Luettavissa: <https://fitech101.aalto.fi/fitech101/internet-and-browser-applications/1-principles-of-internet/>. Luettu: 2.1.2025

Flyktman, T. 16.11.2022. Kuvakaappaus. Sähköverkon suojaukset auttavat rajaamaan vikojen vaikutuksia. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Luettavissa: <https://blogit.jamk.fi/techtothefuture/2022/11/16/sahkoverkon-suojaukset-auttavat-rajaamaan-vikojen-vaikutuksia/>. Luettu: 1.12.2024.

GL-Fiber 13.3.2023. Kuvakaappaus. OPGW-kaapeli ukkossuojaukseen sähköjärjestelmissä. Luettavissa: <https://www.gl-fiber.com/fi/news/opgw-cable-for-lightning-protection-in-power-systems/>. Luettu: 5.1.2025.

Grasset, H. 12.6.2015. Kuvakaappaus. Parallel Redundancy Protocol (PRP): An in-depth look. Luettavissa: <https://blog.se.com/infrastructure-and-grid/smart-grid/2015/06/12/parallel-redundancy-protocol-prp-an-in-depth-look/>. Luettu: 3.1.2025.

HAPAM 2013. Kuvakaappaus. Free-standing earthing switches type ASB. Luettavissa: <https://www.hapam.com/wp-content/uploads/2021/02/Engels-ASB-f.pdf>. Luettu: 10.10.2024.

Higinbotham, W. 10.5.2023. Substation Communications – A primer. NETAworld. Luettavissa: <https://netaworldjournal.org/substation-communications-a-primer/>. Luettu: 5.1.2025.

Hitachi Energy 2025. Power Line Carrier. Luettavissa: <https://www.hitachienergy.com/products-and-solutions/communication-networks/wired-networks/power-line-carrier-communications>. Luettu: 5.1.2025.

iGrid T&D. 2024. IEC 61850 GOOSE Communication. Luettavissa: <https://www.igrid-td.com/smartguide/iec61850/goose-messaging/>. Luettu: 28.11.2024.

Korpinen, L. 14.10.1998. Muuntajat ja sähkölaitteet. Luettavissa: http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/9muuntajat_ja_sahkolaitteet.pdf. Luettu: 1.10.2024.

Kukkola, M. 2024a. Yleinen osio. K2024 Relay Protection and Remote Control of Distribution Networks -opintojakson esitysmateriaali Moodlessa. Oulun Ammattikorkeakoulu. Luettu: 4.10.2024.

Kukkola, M. 2024b. Reletyypit. K2024 Relay Protection and Remote Control of Distribution Networks -opintojakson esitysmateriaali Moodlessa. Oulun Ammattikorkeakoulu. Luettu: 4.10.2024.

Microsoft s.a. Kuvakaappaus. Publisher-Subscriber pattern. Luettavissa: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/patterns/publisher-subscriber>. Luettu: 28.11.2024.

Neuron Team 30.11.2023. Kuvakaappaus. IEC 61850 Protocol: Features, Information Model, and Combination With MQTT. EMQX. Luettavissa: <https://www.emqx.com/en/blog/iec-61850-protocol>. Luettu: 3.1.2025.

OMICRON 2024a. IEC 61850: Thematic Introduction and Testing Solutions. Lattavissa: <https://www.omicronenergy.com/en/solution/protection-testing-with-goose/>. Luettu: 5.1.2024.

OMICRON 2024b. Company. Luettavissa: <https://www.omicronenergy.com/en/company/>. Luettu: 26.11.2024.

OMICRON 2024c. CMC 356. The Universal Relay Test Set and Commissioning Tool. CMC 356 esite. Luettavissa: <https://www.omicronenergy.com/en/products/cmc-356/>. Luettu: 20.10.2024.

OMICRON 2024d. Test Universe. Luettavissa: <https://www.omicronenergy.com/en/products/test-universe/>. Luettu: 26.11.2024.

Padilla. E, 2016. Substation automation systems: Design and implementation. John Wiley & Sons, Incorporated. E-kirja. Luettu: 6.1.2025.

Rahul, A. 2024. Remote terminal unit (RTU). TechTarget. Luettavissa: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/remote-terminal-unit>. Luettu: 29.11.2024.

SFS 3381:2023. Vaihtosähköenergian mittaus. Mittauslaitteistot. 5. painos. Suomen standardoimisliitto SFS ry. Helsinki.

SCADA International. 2024. What is SCADA. Luettavissa: <https://scada-international.com/what-is-scada/>. Luettu: 7.12.2024.

Siemens 2020. Kuvakaappaus. SIPROTEC 7SA86. Luettavissa: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:3dafb50b-e1be-4b2e-ae4e-b1b8b49a29e0/siprotec-7sa86-profile.pdf>. Luettu: 14.10.2024.

Tervo, J. 5.3.2012. Moderni sähköverkko vaatii luotettavaa ja vikasietoista tiedonsiirtoa. Energiablogi. Konsulttitoimisto Reneco. Luettavissa: <https://konsulttitoimistoreneco.wordpress.com/2012/03/05/moderni-sahkoverkko-vaatii-luotettavaa-ja-vikasietoista-tiedonsiirtoa/>. Luettu: 3.1.2025.

TTTech Industrial 2025. HSR/PRP for smart grid networks. Luettavissa: <https://www.tttech-industrial.com/resource-library/blog-posts/hsr-prp>. Luettu: 3.1.2025.

Typhoon HIL Documentation 2025. IEC 61850 MMS Protocol. Luettavissa: https://www.typhoon-hil.com/documentation/typhoon-hil-software-manual/References/iec_61850_mms_protocol.html. Luettu: 2.1.2025.