



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Joni Hissa

DIGITAALINEN SÄHKÖASEMA – YLIVIRTASUOJAUKSEN TOTEUTUS

Tekniikka
2019

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Joni Hissa
Opinnäytetyön nimi	Digitaalinen sähköasema – ylivirtasuojauksen toteutus
Vuosi	2019
Kieli	suomi
Sivumäärä	60 + 5 liitettä
Ohjaaja	Jari Koski

Tässä opinnäytetyössä oli tarkoituksena tutkia digitaalista sähköasemaa ja siellä tapahtuvaa kommunikointia ja ylivirtasuojauksen toteutusta. ABB:n Grid Automation -yksikön esittämä aihe syntyi tarpeesta varautua digitaalisen sähköaseman kehitykseen. Työssä perehdyttiin tarkemmin IEC 61850 -standardin kommunikointitapoihin ja SAM600-sarjan laitteiden toimintatapoihin.

Digitaalisella sähköasemalla kommunikointi perustuu IEC 61850 -standardin datamalliin. Datamalli luo pohjan erilaisille tarvittaville kommunikointitavoille, kuten sähköaseman sisäiselle laitteiden väliselle informaation siirrolle eli ns. GOOSElle ja näytearvojen lähetykselle. Näitä kommunikointitapoja hyödyntäen voitiin laitteita testata digitaalisesti Omicronin CMC356 -testilaitteen ja IEC 61850 -moduulien avulla. Ennen testausvaihetta täytyi kuitenkin perehtyä digitaaliseen sähköasemaan, käytettäviin laitteisiin ja suojauksien toteutukseen. Perehtymisvaiheessa pyrittiin käyttämään luotettavia lähteitä laaja-alaisesti.

Lopputulena opinnäytetyön tavoitteet saatiin täytettyä. Laitteet saatiin viestimään keskenään ja ylivirtasuojaus saatiin toteutettua digitaalisella sähköasemalla käytettävillä laitteilla. Digitaalisuus mahdollistaa nopeamman viestinnän laitteiden välillä ja siten myös lyhyemmät katkaisuaikat vikatilanteiden ilmentyessä. Digitaalisuus mahdollistaa laitteiden laajemman seurannan ja testattavuuden. Opinnäytetyössä tutkittiin myös digitaalisen sähköaseman vaikutusta kustannuksiin, luotettavuuteen, tekniseen toteutukseen ja katkaisuaikoihin.

ABSTRACT

Author	Joni Hissa
Title	Digital Substation – Overcurrent Protection
Year	2019
Language	Finnish
Pages	60 + 5 Appendices
Name of Supervisor	Jari Koski

The objective of the thesis was to study communication between SAM600 devices and a protection relay and how to implement an overcurrent protection in a digital substation. The subject of the thesis was proposed by ABB Grid Automation unit to respond for future development of digital substation.

Communication in a digital substation is based on the IEC 61850 standard. The data model of IEC 61850 defines the base for digital substation communication, such as GOOSE and sampled values streaming. These communication types were used while testing with the Omicron CMC356 test device and the IEC 61850 modules. The sampled values were streamed from Omicron to the protection relay using a switch in assistance. However, before the practical testing could be initiated, comprehensive research on digital substation, devices and protection implementation was needed.

The objective of the thesis was fulfilled. Using digital substations devices, communication was created between devices and protection functions were operating as expected. Digitalization enables faster communication between devices which leads to faster response times and shorter breaking times. Digitalization enables much wider tracking of devices status and better testability. The outcome of digital substation was inspected on the part of cost-effectiveness, reliability, technical implementation and breaking times. In addition, a guideline for SAM600 devices configuration and basic IEC 61850 testing was created to help in future.

Keywords	Digital substation, IEC 61850 standard, SAM600, overcurrent protection and Omicron
----------	--

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

LIITELUETTELO

TERMIT JA MÄÄRITELMÄT

1	JOHDANTO.....	12
2	ABB.....	14
3	PROJEKTIN TAUSTA, TARKOITUS JA TAVOITTEET	15
	3.1 Tausta.....	15
	3.2 Tarkoitus ja tavoitteet	15
4	TEORIATAUSTA.....	16
	4.1 Sähköasema.....	16
	4.2 Digitaalinen sähköasema	17
	4.2.1 Digitaalisuuden kehitys.....	19
	4.2.2 Digitaalisen sähköaseman mahdollisuudet	20
	4.2.3 Digitaalisen sähköaseman ongelmat	23
	4.3 IEC 61850	25
	4.3.1 Standardin synty.....	25
	4.3.2 Standardin osat	26
	4.3.3 Datamalli.....	27
	4.3.4 GOOSE	29
	4.3.5 Näytearvo	32
	4.4 Digitaalisen sähköaseman mahdollistavat laitteet	33
	4.4.1 SAM600-liitännälaitteet.....	33
	4.4.2 SAM600-IO	36
	4.4.3 Optinen mittamuuntaja.....	36
	4.4.4 Digitaalinen katkaisija.....	37
	4.4.5 Ethernet-kytkin.....	38
5	LÄHESTYMISTAPA PROJEKTIIN JA SEN TOTEUTUS	40

5.1	Laitteet	40
5.2	Asennus.....	42
5.3	Laitteiden konfigurointi	43
6	TESTITULOKSET.....	49
6.1	QuickCMC	49
6.2	Sampled Values Configuration.....	52
6.3	GOOSE Configuration.....	53
6.4	IEC 61850 Client/Server.....	54
6.5	Test Document -pohja.....	54
6.6	Overcurrent-moduuli.....	56
7	YHTEENVETO	58
7.1	Projektille asetettujen tavoitteiden toteuttaminen.....	58
7.2	Projektin tuotokset	58
7.3	Jatkotutkimukset	59
	LÄHTEET.....	61

LIITTEET

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Sähköaseman rakenne. /4/.....	17
Kuva 2. Sähköaseman digitalisoituminen. /6/	18
Kuva 3. Valokuitukaapeli ja eräs sille käytettävistä liitintyypeistä. /9/	21
Kuva 4. Datamallinnuksen kokonaisuus. /15/	27
Kuva 5. Datamallin alatasot. /17/	28
Kuva 6. Esimerkki objektin nimeämisestä. /9/	29
Kuva 7. GOOSE-viestin sisältö. /9/.....	30
Kuva 8. Tapahtuman vaikutus GOOSE-viestin lähetykseen. /9/	31
Kuva 9. Näytearvojen lähetys prosessiväylässä. /9/	32
Kuva 10. SAM600-liitäntälaitteet. /19/	35
Kuva 11. SAM600-IO. /19/	36
Kuva 12. Optisen virtamuuntajan integroimismahdollisuudet. /20/.....	37
Kuva 13. ABB:n kehitteillä oleva digitaalinen katkaisija. /21/	38
Kuva 14. HSR- ja PRP-topologia. /22/.....	39
Kuva 15. REL670 näyttöpaneeli.	41
Kuva 16. Suuntaa antava testausasettelu. /23/.....	43
Kuva 17. PCM600 projektipuu.	44
Kuva 18. SAM600-MU näytearvojen streamaus.	45
Kuva 19. REL670 sovelluskonfigurointi.....	46
Kuva 20. REL670 GOOSE-aineisto.....	46
Kuva 21. Katkaisijan avaus.	47
Kuva 22. QuickCMC esittely.	50
Kuva 23. QuickCMC tulokset.	51
Kuva 24. Sampled Values Configuration -moduulin asetukset.	52
Kuva 25. GOOSE Configuration -moduuli.....	53
Kuva 26. Data-attribuuttien tarkastelun tulokset.....	54
Kuva 27. Luotu testauspohja.	55
Kuva 28. QuickCMC streamin ja GOOSE:n avulla.	55
Kuva 29. Ylivirtasuojan havahtumis- ja pudotusraja.	56
Kuva 30. Overcurrent testauksen tulokset.....	57

Taulukko 1. GOOSE-viestien toimitusajat. /9/ 31

Taulukko 2. SAM600-laitteiden ennalta määritetyt digitaalitulot. /18/ 34

LIITELUETTELO

LIITE 1. SAM600-CT rakennepiirros

LIITE 2. Testausasettelu

LIITE 3. SAM600-CT johdotuskaavio

LIITE 4. Omicron Test Universen aloitussivu

LIITE 5. Rullakon riviliitinriman piirikaavio

TERMIT JA MÄÄRITELMÄT

A	Ampeeri
A/D	Analogia/Digitaali- muunnin
AC	Alternating Current, vaihtovirta
ANSI	American National Standards Institute, amerikkalainen standardointi-instituutti
CIGRE	Sähköjärjestelmän kehitykseen keskittyvä kansainvälinen voittoa tavoittelematon järjestö
DA	Data Attribute, data-attribuutti
DC	Direct Current, tasavirta
DO	Data Object, dataobjekti
FAT	Tehdastiloissa sijaitseva testausalue
FOCS	Fiber Optic Current Sensor, optinen virtasensori
GDPR	General Data Protection Regulation, EU:n yleinen tietosuojasetus
GE	General Electric, yhdysvaltalainen monialayritys
GOOSE	Generic Object-Oriented Substation Event, sähköasemalla käytetty laitteiden väliseen tapahtumien ja ohjausten lähetykseen tarkoitettu protokolla
HSR	IEC 62439-3 High-Speed Ring Redundancy, verkkotopologia, jossa laitteet yhdistetään rengasmaisesti ja saavutetaan redundanttisuus

IEC	International Electrotechnical Commission, kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio
IEC 61850	Sähköaseman automaation kattava kommunikointistandardi
IED	Intelligent Electronic Device, älykäs sähköinen laite
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, kansainvälinen tekniikan alan järjestö, joka määrittelee useita standardeja
In	Nimellisvirta
IO	Input Output system, tulo- ja lähtösignaaleihin perustuva järjestelmä
JYVSECTEC	Jyväskylän ammattikorkeakoulun tiloissa järjestettävä kyberharjoitus
LD	Logical Device, looginen laite
LN	Logical Node, looginen solmu
Mimiikka	Releen näytöllä oleva yksijohdinkaavio
PCM600	Protection and Control Manager, IED-laitteiden ohjaukseen, konfigurointiin ja monitorointiin käytetty tietokoneohjelma
PRP	Parallel Redundancy Protocol, verkkotopologia, jossa kaikki laitteet kahdennetaan saavuttaen redundanttisuus
PTP	IEEE 1588 Precision Time Protocol, aikasykronoinnissa käytetty protokolla
Red box	Testausasettelun havainnollistavassa kuvassa käytetty nimitys, todellisuudessa AFS660-SR -kytkin

REL670	Line Distance Protection Relay, linjadistanssisuojaus -suojarele
SAM600-CT	SAM600 Stand-Alone Merging Unit, SAM600-sarjan liitäntälaitte, joka toimii virtamuuntajana
SAM600-TS	SAM600 Stand-Alone Merging Unit, SAM600-sarjan liitäntälaitte, joka toimii aikasykronoinnissa ja kommunikointiyhteyden luomisessa
SAM600-VT	SAM600 Stand-Alone Merging Unit, SAM600-sarjan liitäntälaitte, joka toimii jännitemuuntajana
SCL	Substation Configuration Language, sähköaseman konfigurointikieli
SCT	System Configuration Tool, järjestelmän konfigurointityökalu
Stream	Lähetys
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol, yleisin Internet-liikennöinnissä käytetty tietoliikenneprotokolla
USB	Universal Serial Bus, USB-liitin
UTC	Coordinated Universal Time, koordinoitu yleisaika
V	Voltti

1 JOHDANTO

Aiheen valinta

Maailman digitalisoituessa vaaditaan kehitettäviltä laitteilta yhä enemmän luotettavuuden ja turvallisuuden saralla. Digitaalinen sähköasema edistää luotettavuutta, turvallisuutta ja kustannustehokkuutta. ABB:n esittämä ”Digitaalinen sähköasema – ylivirtasuojauksen toteutus” on opinnäytetyönä ajankohtainen ja lähitulevaisuudessa tärkeä kehityskohde. Tammikuussa 2019 on aloitettu Suomen ensimmäinen pilotti digitaaliseen sähköasemaan liittyen.

Taustatiedot

Aikaisempia avoimia tutkimuksia digitaaliseen sähköasemaan liittyen ei ole merkittävästi. Janne Kaukosen opinnäytetyössä ”Sähköaseman digitalisaation vaikutus primäärilaiterajapintaan” tutkitaan digitaalisen sähköaseman muutoksia primäärilaitteistossa. Opinnäytetyössä käsitellään muun muassa sähköaseman ulkokentän laitteistoa ja keskitytään tarkemmin digitaaliseen erotinohjaimen. Tämä opinnäytetyö keskittyy enemmän toisiopuoleen ja suojalaitteiden kommunikointiin ja toimintaan.

Tutkintakysymykset

Tutkintakysymyksien avulla pyritään luomaan opinnäytetyölle konkreettisia selvityskohteita, jotka ohjaavat opinnäytetyön pääkohtien selvittämistä. Kysymysten avulla pyritään ohjaamaan tutkimusta teoriapohjan kautta kohti käytännön ongelmia. Opinnäytetyön kysymykset joihin pyrin vastaamaan ovat:

- Mitä tarkoittaa digitaalinen sähköasema?
- Mitä hyötyjä ja ongelmia digitaalinen sähköasemaratkaisu tuottaa?
- Miten sähköaseman laitteet kommunikoivat digitaalisella sähköasemalla?
- Miten digitaalisen sähköaseman ylivirtasuojaus toteutetaan REL670-releen ja SAM600-sarjan laitteiden avulla?

Jotta kahteen ensimmäiseen kysymykseen voidaan vastata, on ensin määriteltävä sähköasema yleisesti ja vertailtava perinteistä ja digitaalista ratkaisua. Kolmanteen kysymykseen vastataan esittelemällä digitaalisen sähköaseman kommunikointiin luotu standardi. Standardista esitellään tärkeimmät kommunikointiin ja ohjauskäskyihin liittyvät asiat. Neljäs kysymys pitää sisällään opinnäytetyön käytännön osuuden. ABB:n testialueella rakennetaan simulointimalli käytettävien laitteiden avulla ja tutkitaan laitteiden toimintaa eri kommunikointi- ja vikatiloissa.

2 ABB

ABB on johtava teknologian edelläkävijä, joka palvelee teollisuus-, energia-, liikenne- ja infrastruktuurialoilla maailmanlaajuisesti. ABB syntyi vuonna 1988, kun ruotsalainen ASEA ja sveitsiläinen Brown, Boveri & Cie yhdistyivät. Yhtymä toimii yli 100 maassa ja työllistää noin 147 000 henkilöä. Pääkonttori sijaitsee Zürichissä, Sveitsissä. ABB:n toimitusjohtaja on nimeltään Peter Voser. ABB:n toiminta keskittyy suurimmaksi osaksi automaatio- ja sähkövoimatekniikkaan. /1/

Suomessa ABB toimii noin 20 paikkakunnalla. Tehtaat sijaitsevat Helsingissä, Vaasassa, Porvoossa ja Haminassa. Suomessa ABB on yksi suurimmista teollisen alan työnantajista, työllistäen noin 5 300 henkilöä. /2/

Grid Automation Systems

Sähköverkko tarvitsee verkonhallintajärjestelmän toimiakseen luotettavasti ja tehokkaasti. Suomen Grid Automation Systems -yksikkö suunnittelee ja toimittaa sähköverkon suojaus-, ohjaus-, automaatio- ja valvontajärjestelmiä kotimaahan ja ulkomaille. Projektiin kuuluu usein myös järjestelmän rakennus ja testaus paikan päällä. Projekteja toimitetaan sähköyhtiöille, teollisuudelle ja infrastruktuurikohteisiin. Grid Automation Systems työllistää noin 4 000 henkilöä, joista Suomessa noin 60. /3/

3 PROJEKTIN TAUSTA, TARKOITUS JA TAVOITTEET

3.1 Tausta

Jatkuva teknologian kehittyminen ja yhä laajemmat vaatimukset sähköjakelun ja -turvallisuuden saralla vaativat palveluntarjoajia kehittämään tuotteitaan. Digitaalinen sähköasema on tulevaisuuden haaste, johon on syytä varautua hankkimalla tietoa ja kokemusta. Perinteiseen sähköasemaratkaisuun verrattuna kaapelointi vähenee, laitteiden keskitys lisääntyy, tiedonkeruu monipuolistuu ja asennustyö muuttuu enemmän ohjelmointipohjaiseksi.

ABB Oy, Grid Automation Systems tarjoamassa opinnäytetyössä perehdytään digitaalisen sähköasemaan ja erityisesti digitaalisen kommunikoinnin ja digitaalisen ja analogisen rajapinnan tutkimiseen.

3.2 Tarkoitus ja tavoitteet

Projektin tarkoituksena on tutustua digitaaliseen sähköasemaan ja toteuttaa digitaalisen sähköaseman ylivirtasuojaus. Toteuttaakseen ylivirtasuojauksen, täytyy laitteiden kommunikointi- ja konfigurointitapa ymmärtää. Ylivirtasuojauksen toimintaa testataan käyttäen apuna Omicronia. Valmiille opinnäytetyölle on asetettu seuraavat tavoitteet:

- Sisältää ohjeita SAM600-laitteiden ja suojarleen väliseen kommunikointiin.
- Sisältää ohjeita Omicronilla suoritettavaan testaukseen.
- Sisältää esimerkkiratkaisun ylivirtasuojauksen toteutuksesta.

Jotta kaksi ensimmäistä tavoitetta voidaan täyttää, täytyy ensin perehtyä laitteiden toimintaan ja kommunikoinnin määrittäviin standardeihin. Ylivirtasuojauksen toiminta voidaan todeta Omicron testauksen yhteydessä. Tämän perusteella voidaan luoda projektissa käytetystä ratkaisusta toteutusohje. Edellä mainittujen kolmen tavoitteen täytyttyä, työn tulokset esitellään osaston suunnittelijoille. Lisäksi luodaan ohje, joka sisältää yksityiskohtaiset vaiheet laitteiden konfiguroinnista, määrittelystä ja ylivirtasuojauksen toteutuksesta.

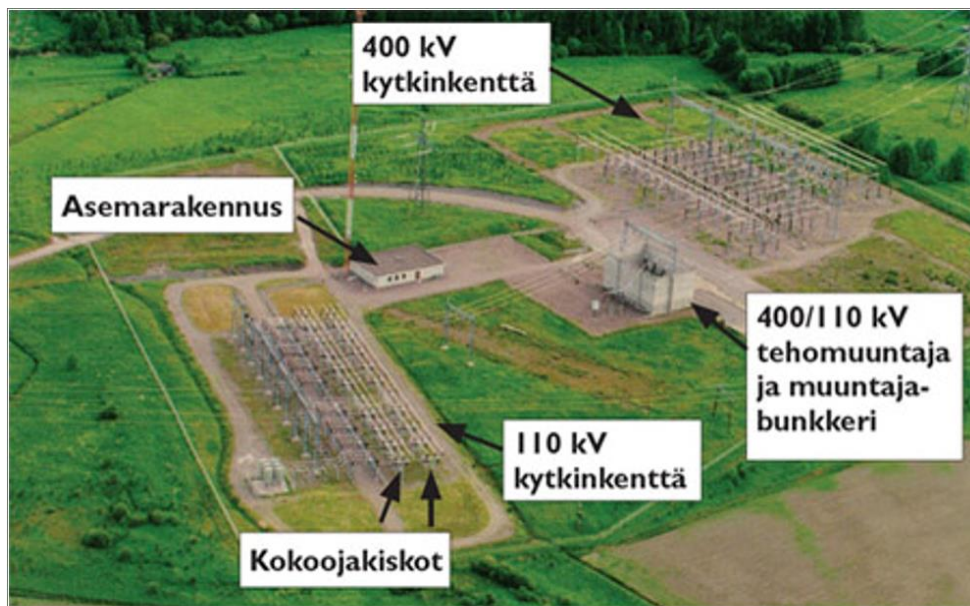
4 TEORIATAUSTA

Tässä osiossa käydään aiheeseen kuuluvaa teoriataustaa läpi. Ensin esitellään sähköasema yleisesti ja sen tärkeimmät komponentit. Tämän jälkeen siirrytään digitaalisen sähköaseman pariin. Digitaalisen sähköaseman osuudessa keskitytään esitellyn jälkeen digitalisaation kehitykseen ja sen mukana tuleviin mahdollisuuksiin ja ongelmiin. Sitten kerrotaan tärkeimmästä digitaalisen sähköaseman mahdollistavista standardista, IEC 61850:sta. IEC 61850 osuudessa kerrotaan sähköasemalla käytettävästä kommunikointikielestä ja erilaisista kommunikointitavoista. Lopuksi esitellään digitaalisen sähköaseman mahdollistavia laitteita.

4.1 Sähköasema

Sähköasemat ovat sähköjakelun ja -siirron kannalta tärkeitä jakelupisteitä. Sähköasemat voidaan jakaa kahteen päätyyppiin, kytkinlaitoksiin ja muuntoasemiin. Kytkinlaitoksella yhdistetään vain saman jännitetaso johtoja. Muuntoasemalla yhdistetään vähintään kahden eri jännitetaso johtoja. Perinteisesti muuntoasemilla nostetaan jännitetasoa sähkönsiirtoa varten siirtohäviöiden pienentämiseksi ja laskeaan jännitettä asiakasta varten sopivalle tasolle. /4/

Sähköasemien laitteet voidaan jakaa kahteen osaan, ensiö- ja toisiolaitteisiin. Ensiöpuolella sijaitsevat laitteet, joiden kautta sähköenergia saapuu. Ensiöpuolella sijaitsevat sähköenergian vastaanottamiseen ja muuntamiseen liittyvät laitteet, kuten kiskostot, kytkinlaitteet, kompensointilaitteet ja muuntajat. Toisiopuolella sijaitsevat sähköverkon suojaukseen liittyvät laitteet, ensiö- ja toisiopuolen laitteille käytösähköä syöttävät laitteet, valvontatietoa keräävät järjestelmät sekä ensiö- ja toisiopuolen laitteiden ohjaamiseen käytettävät järjestelmät. Ensiö- ja toisiolaitteiden lisäksi sähköasemalla on kiinteitä rakenteita, kuten asemarakennukset, muuntajabunkkerit ja aidat. Kuvassa 1 on esitetty 400/110 kV muuntoasema. /4/



Kuva 1. Sähköaseman rakenne. /4/

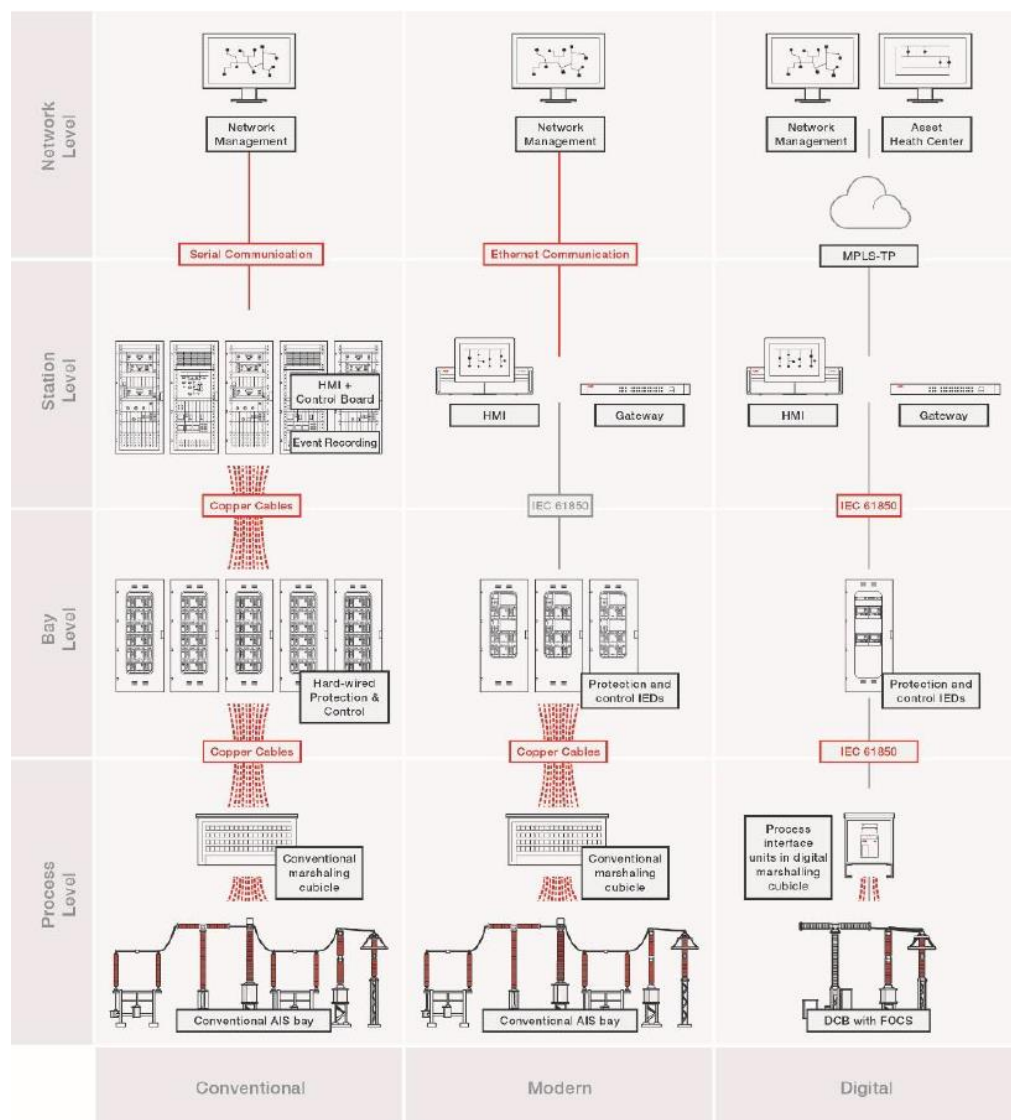
4.2 Digitaalinen sähköasema

Digitaalisella sähköasemalla tietoliikenne on Ethernet-pohjaista perinteisen kupari-kaapelointiratkaisun sijaan. IEC 61850 on kattava standardi, joka määrittelee sähköasemilla käytettävän Ethernet-pohjaisen kommunikointiprotokollan. Kansainvälinen standardi mahdollistaa digitaalisen sähköaseman signaalien täyden digitalisoinnin. IEC 61850 -standardi esitellään tarkemmin kappaleessa 4.3.

Digitaalisen sähköaseman järjestelmä voidaan jakaa kolmeen osaan. Ensimmäinen taso on prosessitaso, joka on rajapinta sähköaseman primäärilaitteiden kanssa. Toisen tason muodostavat toisilaitteet, joihin kuuluvat suojaus- ja ohjauslaitteet. Suojaus- ja ohjauslaitteiden lisäksi tähän kuuluvat muun muassa kennotermiinaalit, mittalaitteet ja tallentimet. Kolmantena toimii asemataso, johon kuuluu aseman sisäinen tietoliikenne ja ohjausjärjestelmä sekä muut aseman valvonta- ja tukitoiminnot. /5/

Kuvassa 2 on esitetty vasemmalta oikealle sähköaseman digitalisaation kehitys. Nykyisin rakennettavat sähköasemat ovat pitkälti keskimmäisen kuvan mukaisia, mutta tulevaisuudessa siirtyvät kohti oikeanpuoleista kuvaa. Kuvassa edetessä

vasemmalta oikealle kuparikaapeliin käyttö vähenee, kun kommunikointi vaihtuu enemmän valokuitupohjaiseksi. Sähköasema muuttuu kompaktimmaksi ulkokentän laitteistojen yhdistyessä ja laitteiden keskittämisellä.



Kuva 2. Sähköaseman digitalisoituminen. /6/

4.2.1 Digitaalisuuden kehitys

Digitaaliset sähköasematkaisut tulevat kehittymään lähitulevaisuudessa. Pariisissa jokavuotisesti järjestettävässä CIGREn tapahtumassa otetaan kantaa sähköjärjestelmiin ja niiden kehitykseen. Vuoden 2018 CIGREn kehitystapahtumassa ABB oli esittämässä digitaalista sähköasemaa ja siihen kuuluvaa ABB Ability™ -sarjan ratkaisua. ABB Ability™ -sarjaan kuuluu muun muassa digitaaliset teho- ja jake-lumuuntajat. CIGREn ja monien muiden järjestämien kehitystapahtumien lisäksi digitaalinen sähköasema vaatii erilaisia tutkimuksia ja projekteja nyt ja tulevaisuudessa, oli sitten kyseessä digitaalisen kommunikoinnin tutkiminen tai uuden laitteen suunnittelu ja testaus. /7/

Suomen kantaverkkoa hallinnoiva Fingrid Oyj allekirjoitti tammikuussa 2019 sopimuksen Kotkan lähistöllä sijaitsevan Pernoonkosken sähköaseman perusparantamisesta ja digitalisoimisesta Empower PN Oy:n kanssa. Itävaltalainen Sprecher Automation toimii projektin teknologiatoimittajana ja integraattorina. Perusparannuksen lisäksi kahdessa johtolähtökentässä toteutetaan suojaus- ja ohjausjärjestelmät myös valokuituverkolla ja optisilla virtamuuntajilla, perinteisten järjestelmien rinnalle. Pernoonkosken digitaalinen sähköasemapilotti on ensimmäinen Suomessa ja osana Fingridin strategista hanketta, jossa on tarkoitus tutustua digitaalisen sähköaseman toimintaan. Fingridin rakentamispäällikkö Daniel Kuosan sanojen mukaan Pernoonkosken digipilotti on väliaskel ennen 100 % digitaalista sähköasemaa. /8/

Digitaalisella sähköasemalla mittamuuntajilta tulevat signaalit muutetaan digitaaliksi ja tästä ylöspäin kaikki signaalit ovat digitaalisia, aina prosessitason jakokaapeista asematason valvontalaitteille asti. Täysin digitaalisen sähköasema tarkoittaisi optisten mittamuuntajien käyttämistä, jolloin signaalit muutetaan jo ulkokentän mittalaitteen toisiossa. Myös primäärilaitteille menevät ohjauskäskyt olisivat digitaalisia. Täysin digitaalisella sähköasemalla kommunikointi voitaisiin periaatteessa luoda jokaisen laitteen välille, kaikki laitteet ymmärtäisivät samaa kommunikointiprotokollaa.

4.2.2 Digitaalisen sähköaseman mahdollisuudet

Digitaalisella sähköasemaratkaisulla voidaan saavuttaa useita hyötyjä kustannusten, turvallisuuden ja käyttövarmuuden saralla. Seuraavaksi esitellään muutamia digitaalisen sähköaseman tuottamia hyötyjä ja mahdollisuuksia.

Kommunikointitapa

Kuparikaapelointi vähenee noin 80 % digitaalisen sähköaseman myötä. Kuparikaapeloinnin vaihtuessa valokuitukaapelointiin säästetään materiaali- ja asennuskustannuksissa. Valokuitukaapeli on kevyempi, joustavampi ja pienempi, minkä vuoksi valokuituasennuksessa säästetään myös kuljetuskustannuksissa.

Sähköaseman kaapelointivaatimukset nousevat tekniikan kehittyessä. Valokuitukaapeloinnilla on monia tärkeitä ja tarpeellisia ominaisuuksia:

- Valokuidulla voidaan siirtää tietoa pitkiäkin matkoja.
- Tiedonsiirtonopeutta voidaan säätää
- Sisältää erinomaisen galvaanisen erotuksen
- Valokuidun käyttöikä on pitkä ja huoltokustannukset alhaiset
- Erinomainen kaistanleveys saatavilla
- Suojaa elektromagneettista säteilyä ja radioaaltoja vastaan
- Valokuitu on kevyt, pieni ja taipuisa kaapeli.

Yllä olevien ominaisuuksien vuoksi valokuitukaapeli on joustava ratkaisu ja sen tulevaisuus on taattu. Valokuitukaapeli pystyy tarvittaessa sopeutumaan alati kasvaviin siirtonopeuksiin ja yhä laajempiin kaistanleveyksiin. Kuvassa 3 on esitetty valokuitukaapeli liittimineen. /9/



Kuva 3. Valokuitukaapeli ja eräs sille käytettävistä liitintyypeistä. /9/

Digitaalisen sähköaseman kommunikoinnin tulevaisuus näyttää lupaavalta. Kommunikointia varten huolellisesti kehitetty standardi antaa vaatimukset kommunikoinnille, mutta jättää varaa tulevaisuuden muutoksille. Kommunikointi tapahtuu IEC 61850 -standardin mukaan ja tämänhetkisen tilanteen vallitessa tieto siirretään käyttäen Ethernetiä. Kommunikointitapa ja tiedonsiirto eivät ole kytköksissä toisiinsa, minkä vuoksi tiedonsiirtotapaa voidaan vaihtaa, mikäli Ethernetiä toimivampi ratkaisu kehitetään /9/.

Kustannustehokkuus

Digitaalinen järjestelmä voidaan asettaa valvomaan itse itseään. Järjestelmän valvoessa itseään, laitteistoaan ja ennakoidessaan, kausittaisia koestuksia ei mahdollisesti enää tarvita. Markkinoilla on jo nyt erilaisia antureita ja mittareita, joilla voidaan mitata tutkittavan laitteen toimintaa ja arvoja. Poikkeuksellisten toiminta-arvojen ilmetessä, tilanteeseen voidaan puuttua ja täten ennakoida ja toimia ennen vikatilanteen syntymistä. Aikaperusteisen kunnossapidon muuttuessa kuntoperusteiseksi, myös huollon aiheuttamat käyttökeskeytykset vähenevät. Digitaalisessa järjestelmässä on myös enemmän mahdollisuuksia suorittaa päivityksiä ja huoltoja ilman käyttökeskeytyksiä. Käyttökeskeytykset ovat ikäviä asiakkaalle ja kalliita sähkönjakelijalle. /10/

Turvallisuus

Digitaalista dataa siirtävä valokuitu ei aiheuta sähköiskun vaaraa, toisin kuin perinteinen kuparikaapeloitu ratkaisu. Signaalien vaihtuessa digitaalisiksi jakokaapissa tai ulkokentän laitteissa myös sähköiskun vaara pienenee. Valokuitukaapeli ei myöskään aiheuta magneetti- ja sähkökenttään häiriöitä. Sähkökentällä, varsinkin valvomossa, jotkin laitteistot ovat herkkiä, minkä vuoksi kaapelin tuottama häiriö saattaa riittää hankaloittamaan laitteiston toimintaa.

Sähköiskuvaaran pienentyessä, signaalin digitalisoimisella myös virtamuuntajat muuttuvat turvallisimmiksi. Perinteinen virtamuuntaja saattaa räjähtää toisiossa ollessa auki. Optiset virtamuuntajat eivät räjähdä, toisiopuolen signaalien ollessa digitaalisia /10/.

Testattavuus

Järjestelmä voidaan suurimmaksi osaksi testata etukäteen. Kommunikoinnin toiminnallisuus voidaan kokeilla jo tehdasalueella ennen varsinaista ja kallista testausta paikan päällä. Loppuasennuspaikalla järjestelmän toiminnallisuus voidaan testata kätevämmiin digitalisoidun järjestelmän ansioista. Kommunikointi voidaan kokeilla lähettämällä streameja Ethernet-kanavia pitkin perinteisten fyysisten sähköisten signaalien sijasta. Mahdolliset kustomoinnit tai loppuprojektin muutokset on mahdollista suorittaa ohjelmointimuutoksilla ilman johtojen lisä- tai muutosasennuksia. /9/

Laitteet

Erilaisten anturien hinnat ovat laskeneet, jonka vuoksi voidaan saada monipuolista ennakoivaa tietoa sähköasemalaitteiden kunnosta ja toiminnasta. Nykyaikainen kunnonvalvonta yhdistää anturijärjestelmät, langattoman tiedonsiirron, pilvianalytiikan sekä jo olemassa olevan kuntotiedon tehokkaasti visualisoituna. Kunnossapito muuttuu aikaperusteisesta mallista kunterusteiseksi ja ennakoivaksi. Sähköasemalaitteiden peruskunnossapidon tarve tulee vähenemään, kun laitteet alkavat valvoa itseään. /10/

4.2.3 Digitaalisen sähköaseman ongelmat

Digitaaliseen sähköasemaan siirryttäessä muodostuu myös ongelmia. Digitaalisen sähköaseman alkutaipaleella täytyy tehdä useita erilaisia tutkimuksia, testejä ja projekteja, joilla selvitetään digitalisoinnin vaikutusta ja digitaalisen sähköaseman toimintaa. Digitaalisuuden myötä täytyy opetella paljon uutta, muun muassa uusista ohjelmista ja laitteista. Perinteinen sähköasema on toiminut suurilta osin sähkötekniikan taitojen varassa. Tulevaisuudessa digitalisoinnin lisääntyessä täytyy osata yhä enemmän tietotekniikkaa. Tämän vuoksi henkilökuntaa täytyy kouluttaa uusien laitteiden ja tietoliikenteen ja -tekniikan saralla.

Tiedonsiirto

Digitaaliseen kommunikointiin siirryessä, myös lähetettävän ja vastaanotettavan tiedon määrä kasvaa. Useiden viestien ja streamien lähetyksen tapahtuessa monta kertaa yhden sekunnin aikana, vaaditaan riittävä tiedonsiirtonopeus. Sähköasemalla vikatilanteessa tapahtuva viestinnän määrän kasvu ei saa käyttää kokonaan tarjolla olevaa tiedonsiirtonopeutta. Mikäli tiedonsiirtonopeus olisi liian alhainen ja sähköaseman viestintä käyttäisi 100 % tiedonsiirtonopeudesta, viestien lähetysnopeus laskee. Lähetysnopeuden laskiessa myös tärkeiden viestien, kuten laukaisukäskyjen lähetysnopeus hidastuu. Jotta sähköaseman tiedonsiirtokapasiteetti ei täytyisi, pitää sähköaseman kuormituksen olla normaalitilanteessa alhainen. Tiedonsiirtonopeus täytyy osata mitoittaa niin tulevaisuuden tarpeiden kuin sähköasemalla tapahtuman johdosta kasvavan viestinnän mukaan. /11/

Yhteensopivuus ja runsaudenpula

Digitalisoinnin myötä uusien laitteiden kehittäminen, testaus ja valmistus on tärkeää. Uusien laitteiden täytyy ylipäättänsä pystyä vastaanottamaan ja lähettämään tietoa IEC 61850-standardin vaatimusten mukaan. Standardin vaatimusten täyttäminen on tärkeää, jotta uudet laitteet ovat yhteensopivia keskenään. Tällä hetkellä erilaisia laitteita ei ole vielä saatavilla paljon, minkä vuoksi yhteensopivuus eri valmistajien laitteiden välillä on tärkeää. Laitteiden runsaudenpulan vuoksi myös

hinnat ovat korkeampia, mikä nostaa digitalisoidun sähköaseman materiaalikustannuksia.

Vaikka nykyajan laitteet olisivat yhteensopivia toistensa kanssa, se ei vielä riitä. Uusien laitteiden täytyy pystyä kommunikoimaan myös vanhojen, analogiasignaaleja lähettävien ja vastaanottavien laitteiden kanssa, olipa sitten kyseessä esimerkiksi kytkinlaite tai suojarele, tiedon täytyy kulkea eteenpäin. Tässä tilanteessa tarvitaan muun muassa A/D-muuntimia, joilla saadaan analogiasignaalit muutettua digitaalisiksi. Hyvänä esimerkkinä A/D-muuntimesta toimii SAM600-sarjan liitäntälaitteet.

Tietoturva

Fingridin ICT-johtajan Kari Suomisen mukaan erilaisia kantaverkkoon kohdistettuja hyökkäyksiä on kymmeniä kertoja viikossa. Hyökkäyksen yrittäjät ovat todennäköisesti yksityishenkilöitä ja suuri osa heistä harrastelijoita. Useissa tapauksissa tunkeutumista yrittävän alkuperämaa saadaan selville. Tunkeutumisen yrityksiä tehdään suurimmaksi osaksi suurvaltojen toimesta, mutta yrittäjiä tulee myös muista maista. /12/

Vakavimpana hyökkäyksenä Fingridillä pidetään viisi vuotta sitten tapahtunutta hyökkäystä, jonka seurauksena tunkeutajat saivat yhden käyttäjän viisi eri käyttäjätunnusta ja salasanaa. Vuodosta saatiin välitön tieto kyberturvallisuuskeskukselta eivätkä järjestelmät olleet kriittisiä. Yhtiön kriittisimmät järjestelmät eivät ole yhteydessä nettiin – niihin ei voi siis päästä käsiksi nettihyökkäyksien avulla. Eräässä toisessa tapauksessa palvelunestohyökkäyksen seurauksena nettipalvelut kaatuivat 20 minuutin ajaksi keskellä yötä. /12/

Vuonna 2015 jouluaaton aattona Länsi-Ukrainaan tehtiin laaja kyberhyökkäys. Kolmeen sähköjakelukeskukseen hyökättiin, jonka seurauksena tuntemattomat hakkerit kaatoivat sähköverkon ja katkaisivat sähkön 230 000 ihmiseltä. Kyberturvallisuus on alati kasvava puheenaihe maailman digitalisoituessa. /12/

Kyberturvallisuutta kehitetään jatkuvasti muun muassa erilaisten virustorjuntaohjelmien ja palomuurien avulla. Tänä päivänä edellä mainitut suojaukset eivät

yksinään riitä – täytyy myös osata toimia tunkeutujan päästyä sisälle järjestelmään. Fingrid harjoittelee muiden sähkönjakelutoimijoiden kanssa vuosittain Jyväskylän ammattikorkeakoulussa JYVSECTEC-tapahtumassa. Ensimmäisen kerran vuonna 2017 helmikuussa järjestetyssä tapahtumassa harjoiteltiin muun muassa toimintaa tunkeutujan päästessä järjestelmään. Kolme kertaa järjestetty JYVSECTEC auttaa hahmottamaan muuten niin abstraktia tietoturvan käsitettä. Kesäkuun 2018 JYVSECTEC-tapahtumassa harjoiteltiin yrityksiä ja poliisin kanssa EU:n uutta GDPR-tietosuojaa-asetusta ja toimenpiteitä simuloitussa tunkeutumistilanteessa. /13/

4.3 IEC 61850

IEC 61850 on erittäin laaja kansainvälinen sähköaseman ja IED-laitteiden kommunikointiprotokollaan keskittyvä standardi. Seuraavassa kappaleessa esitellään standardin synty ja syyt standardin luomiselle. Tämän jälkeen esitellään standardin osat ja syvennytään kommunikointiprotokollaan tarkemmin.

4.3.1 Standardin synty

Standardin kehitys aloitettiin vuonna 1995 vastaamaan lukuisiin ongelmiin, joita muodostui ilman yhteistä riittävän toiminnallisuuden omaavaa kommunikointistandardia. Standardille asetetut tavoitteet olivat seuraavat: Läpikotainen protokolla sähköasemalle ottaen huomioon erilaisten vaadittavien tietojen mallintamisen. Viestintäprotokollalle määriteltiin tietojen siirtämiseen vain vaadittavat perustoiminnot, jotta standardia olisi helppo kehittää tulevaisuudessa ilman suurempia muutoksia. Standardilta vaadittiin suurta yhteensopivuutta eri toimittajien järjestelmien ja laitteiden välillä. Tavoitteena oli luoda yhteinen menetelmä täydelliseen tiedon varastointiin. Määriteltiin kokonaisvaltainen testaus, joka vaaditaan läpäistäväksi standardin vaatimukset täyttäviltä laitteilta. Edellä mainittujen viiden pää-tavoitteen pohjalta standardin kehitys aloitettiin yhdessä amerikkalaisen ANSIn ja eurooppalaisen IEC:n kanssa kansainvälisen ja yhteisen standardin luomiseksi. Standardilaitosten lisäksi kehityksessä oli mukana useita merkittäviä yrityksiä ympäri maailman, kuten ABB ja Schneider. Standardin ensimmäinen versio julkistettiin vuonna 2004. /9/

Standardiin lisättiin seuraavien vuosien aikana tarpeen ja kehityksen mukaan vaadittavia lisäyksiä ja uusia vaatimuksia. Vuonna 2009 korjauksien ja lisäosien kattama IEC 61850 edition 2 julkaistiin. Uuden edition tärkeimpinä muutoksina oli järjestelmän käytettävyyden ja integroitumisen kehittyminen. Lisäksi suunnittelusta, testauksesta ja huollosta tehtiin joustavampaa ja helpompaa. Vuoden 2009 jälkeen standardiin on lisätty uusia osia useita vuodessa. Uusin lisätty osa on IEC 61850-7-6, joka käsittelee ohjeita yksinkertaisten sovellusprofiilien määrittämiseen. Tällä hetkellä IEC 61850 -standardi kattaa englanninkielisenä 5 841 sivua, koostuen 35 osasta. /14/

4.3.2 Standardin osat

Standardin kattaessa suuren määrän osia, ei ole tarpeellista esitellä jokaista erikseen. Seuraavaksi standardin pääkohtien esittely:

IEC 61850-1: Johdanto ja yleiskatsaus

IEC 61850-2: Sanasto

IEC 61850-3: Yleiset vaatimukset

IEC 61850-4: Järjestelmän ja projektin hallinta

IEC 61850-5: Kommunikointivaatimukset

IEC 61850-6: Sähköaseman kommunikointikieli (SCL)

IEC 61850-7: Kommunikointimalli (datamalli ja palvelut)

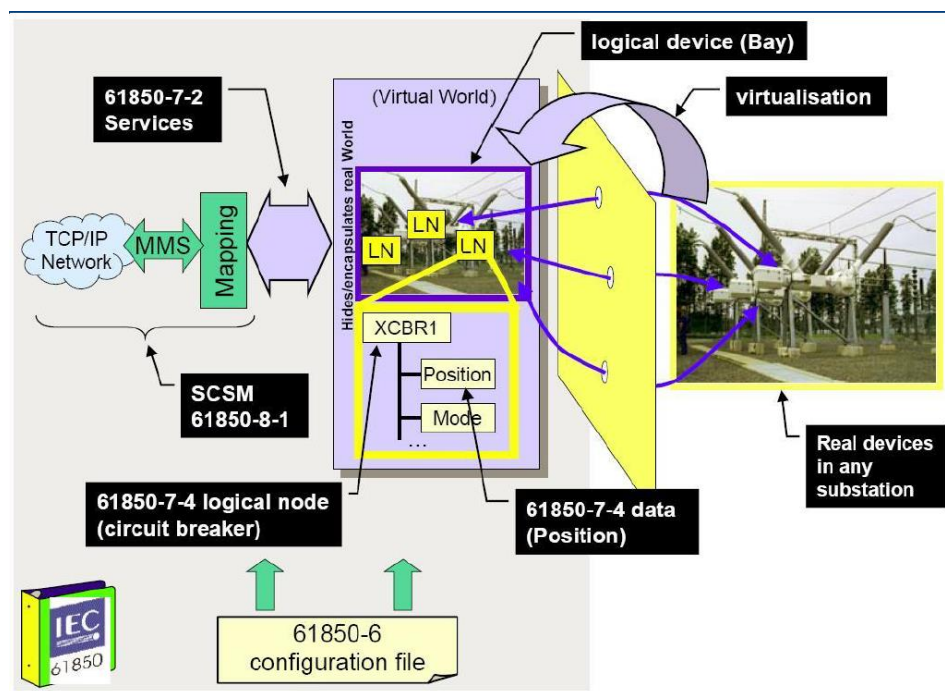
IEC 61850-8 (Asemaväylä): 8-1: Kartoitus: MMS, TCP/IP, GOOSE

IEC 61850-9 (Prosessiväylä): 9-2: Spesifioitujen kommunikointipalveluiden kartoitus

IEC 61850-10: Vaatimustenmukaisuuden testaaminen /9, 14/

4.3.3 Datamalli

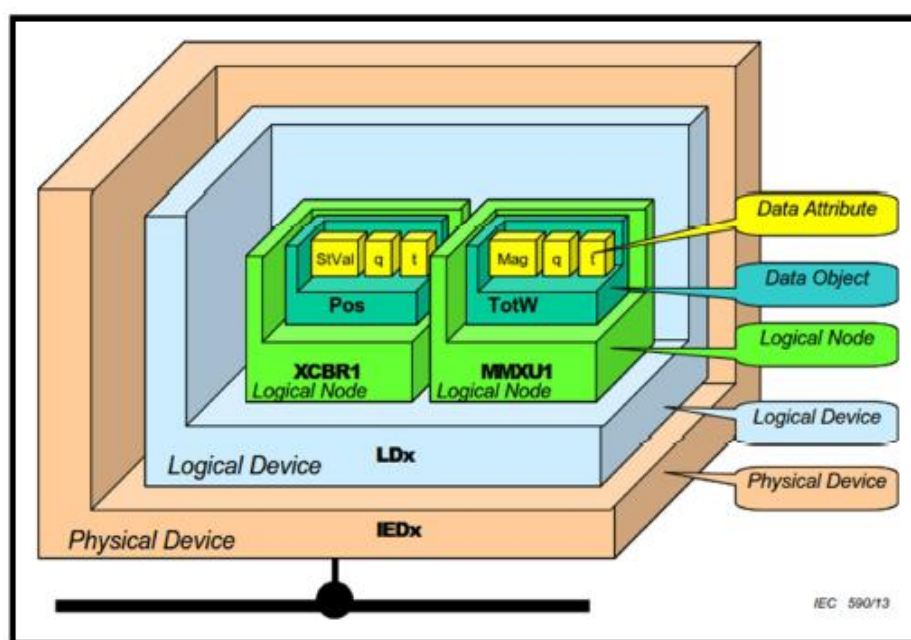
Standardin seitsemännessä osassa määritellään kommunikointimalli, johon kuuluu datamallinnus ja palvelut. Datan mallinnus on merkittävä osa koko standardista luoden pohjan käytettävälle tiedonsiirtotavalle. Dataluokkien jakautumista havainnollistetaan kuvien 4 ja 5 avulla. Datamalli koostuu fyysisestä laitteesta, loogisista laitteista, loogisista solmuista, dataobjekteista ja data-attribuuteista. Kuten kuvassa 4 on esitelty, fyysinen laite on kytköksissä reaaliin maailmaan ja datamallin muut osat virtuaaliin maailmaan. Datamallin ja sen osakokonaisuuksien nimeäminen on määritetty IEC 61850 -standardissa.



Kuva 4. Datamallinnuksen kokonaisuus. /15/

Fyysinen laite on jokin IED-laite, hyvänä esimerkkinä toimii suojarele. Fyysinen laite voi olla myös mikä tahansa muu laite, joka sisältää älyä. Fyysiseen laitteeseen saadaan yhteys laitteen verkko-osoitteen avulla. Fyysisellä laitteella on vähintään yksi looginen laite, mutta yleensä useita.

Looginen laite koostuu useista loogisista solmuista. Tämä on kokoelma fyysiselle laitteelle toteutetuista loogisista solmuista. Kuvassa 5 yksi loogisista solmuista on MMXU1. Loogisen solmun tyyppin tunnistaa ensimmäisen kirjaimen avulla, M-kirjain merkitsee mittausarvoa (Measurement). Toinen looginen solmu XCBR1 on katkaisija (Circuit Breaker). Looginen solmu sisältää dataobjekteja, kuten kuvassa XCBR1 sisältää asentotiedon Pos. Asentotieto sisältää data-attribuutteja, kuten StVal eli tilatieto (Status Value), q eli laatu (Quality) ja t eli aika (Time). /9, 16/



Kuva 5. Datamallin alatasot. /17/

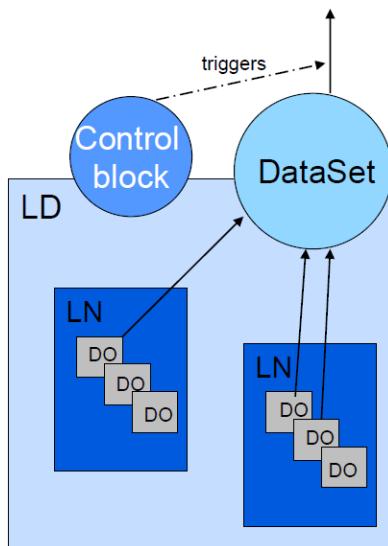
Kuvassa 6 on esimerkki millaiselta tämän datamallin pohjalta luotu kokonaisuus voisi näyttää. Nimen alkuosan muodostaa sähköaseman jännitetason ja johtolähdön tarkennus. Tämän jälkeen nimen yksilöinti jatkuu edellä mainitun mukaisessa järjestyksessä. Kuvan 6 esimerkkitilanteessa ohjataan katkaisijan tilatietoa. Katkaisijan tilatieto voi olla kiinni tai auki.

- (Physical Device-Logical Device)-Prefix
- Logical Node – Instance number –
Data object – Data attribute
 - E.g. DEMK1K01A1.CTRL.CBCSWI1.Pos.stVal

Kuva 6. Esimerkki objektin nimeämisestä. /9/

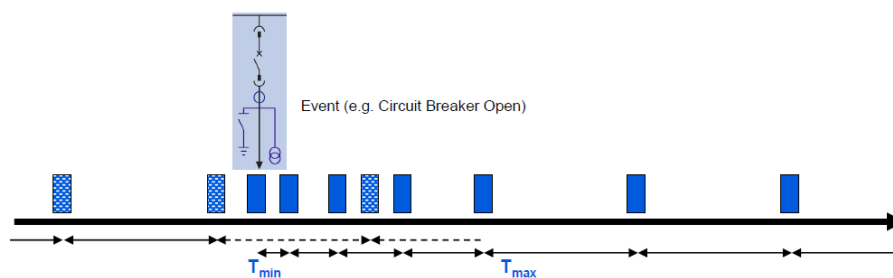
4.3.4 GOOSE

Digitaalinen sähköasema mahdollistaa GOOSEn (Generic Object-Oriented Substation Event) käytön asema- ja prosessiväylällä. Sähköasemalla lähetettävät GOOSE-viestit välittävät katkaisukäskyjä, tilatietoja, operaattorin käskyjä ja välittävät hälytys- ja tapahtumalokeja. GOOSE-viestintää käytetään pääsääntöisesti automaattiseen tilatietopäivitykseen ja katkaisukäskyihin. GOOSE toimii datamallin pohjan mukaan ja määritelläänkin jo konfigurointivaiheessa. Kuvassa 7 havainnollistetaan GOOSE-viestin sisältöä. Aineisto (DataSet) sisältää lähetettävän GOOSE-viestin ja ohjauslohko (Control Block) sisältää lähetys ehdot ja viestin vastaanottajat. Näihin kuuluvat mitä dataa lähetetään, milloin ja kenelle. GOOSE-viestit lähetetään automaattisesti asetetun intervallin välein. Lähetetty data sisältää kaiken tiedon, vaikka vain yksi tiedonjyvä olisi muuttunut. /9/



Kuva 7. GOOSE-viestin sisältö. /9/

Kuvassa 8 on havainnollistettu tapahtuman vaikutusta GOOSE:n aineiston lähetystaajuuteen. Jonkin poikkeavan tapahtuman sattuessa lähetystiheys kasvaa hetkellisesti. Kuvan esimerkissä tapahtumana on katkaisijan avautuminen. Aineisto lähetetään ensin minimiajan (T_{\min}) välein ja lähetystaajuus lasketaan vaiheittain normaaliin (T_{\max}) taajuuteen. Aineisto lähetetään vakion (T_{\max}) välein, kunnes seuraava tapahtuma esiintyy. Kommunikointia IED-laitteiden välillä valvotaan lähettämällä dataa jaksoittain ja esimerkiksi HSR- tai PRP-topologiaa käyttäen. HSR- ja PRP-topologia on esitelty kappaleessa 4.4.5. Topologian rakenteen vuoksi sama GOOSE-viesti saapuu vastaanottajalle kahta eri reittiä. Mikäli vastaanottajalle saapuu vain yksi GOOSE-viesti, yhteys on katkennut jossain kohdassa. Tämä mahdollistaa topologian redundanttisuuden ja kommunikointiyhteyden valvonnan. GOOSE-viestin saapuessa vastaanottajalle kahdennettuna, vastaanottava laite tulkitsee vain yhden viestin ja poistaa toisen. Mikäli aineiston lähetyksen epäonnistuu, ohjelma ilmoittaa siitä käyttäjälle. /9/



Kuva 8. Tapahtuman vaikutus GOOSE-viestin lähetykseen. /9/

GOOSE-viestinnässä on määritelty eri tapahtumien vaaditut lähetyksnopeudet. Esimerkiksi katkaisusignaalin lähetys on noin 3 millisekuntia, mikä on nopeampi kuin perinteisellä kuparikaapelointiratkaisulla (**Taulukko 1.**). Tapahtuman aikakiireellisuuden vähentyessä, myös vaadittava signaalin lähetyksaika on kasvaa. Digitaalisen sähköaseman viestinnässä on kuitenkin syytä kiinnittää huomiota lähetettävän tiedon määrän jakson aikana. GOOSE-viestit ja seuraavaksi esiteltävät näytearvot vaativat riittävän suuren lähetyksnopeuden toiminnan varmuuden takaamiseksi. Esimerkiksi ylivirran havaitsemisen jälkeen viestintää tapahtuu enemmän ja tiheämmin kuin normaalitilanteessa. Mikäli sähköaseman tiedonsiirtonopeus ei ole riittävä, GOOSE-viestien ja näytearvojen lähetyksnopeus laskee. Tämän vuoksi normaalitilanteessa tapahtuvan viestinnän määräksi suositellaan enimmillään 50 % tiedonsiirtonopeudesta. /11/

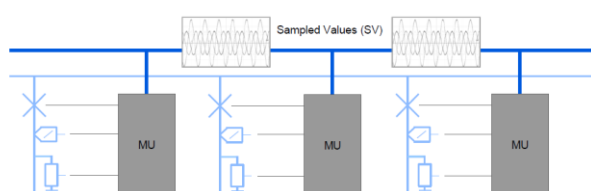
Taulukko 1. GOOSE-viestien toimitusajat. /9/

Transfer time class	Transfer time [ms]	Application examples: Transfer of
TT0	>1 000	Files, events, log contents
TT1	1 000	Events, alarms
TT2	500	Operator commands
TT3	100	Slow automatic interactions
TT4	20	Fast automatic interactions
TT5	10	Releases, status changes
TT6	3	Trips, blockings

4.3.5 Näytearvo

Prosessiväylän kommunikointia on määritelty tarkemmin IEC 61850-9-2 -osassa. Siinä keskitytään erityisesti näytearvojen (Sampled Values) lähetykseen. Standardi on kuitenkin todella laaja ja jättää paljon tulkinnan varaan, mikä hankaloittaa yhteensopivuutta laitevalmistajien kesken. Standardiin tehtiin lisäosa 9-2-LE (light edition), mikä ottaa kantaa tarkemmin digitaaliseen rajapintaan ja muuntajiin. Standardi määrittää tarkennuksia muun muassa näytearvojen lähetyksenopeuden, aineiston sisällön ja aikasykronoinnin tahoilla.

Näytearvoja käytetään digitaalisen tiedonsiirtämiseen esimerkiksi mittamuuntajien antaman analogisen virta- ja jännitetiedon kanssa. Kuvan 9 avulla havainnollistetaan näytearvojen lähetystä prosessiväylällä. Kuvan liitännälaitteet (MU) mittaavat muuntajilta tulevia jännite- ja virtatietoja ja välittävät ne prosessiväylään digitalisoituina näytearvoina. Data lähetetään jatkuvana streamina prosessiväylän kautta vastaanottajille. Näytearvon lähetyksenopeus riippuu lähetettävän tiedon määrästä kehyksissä (frame) ja lähetystaajuudesta. Näytearvon lähetyksenopeus on esitetty kaavassa 1. /9/



- IEC 61850-9-2 = Process bus = Sampled values (SV)
 - Transmission of sampled analogue (especially U/I) and digital values from primary technology over Ethernet network
 - Enables sharing of values among IEDs
 - Data are sent in continuous data stream

Kuva 9. Näytearvojen lähetys prosessiväylässä. /9/

Kaavan 2 esimerkkitilanteessa näytearvon näytteenottotaajuuden ollessa 4000 hertsiä ja näytteen määrä yhdessä viestissä yksi, näytearvon lähetyksenopeus tapahtuu 250

mikrosekunnin välein. Näytearvon lähetyksessä ei käytetä vastaanottajan kuitausta, uusimman näytearvon tiedot kirjoitetaan vanhemman päälle.

$$T = \frac{1}{\text{SmpRate} * \text{ASDU}}, \text{ jossa } T = \text{aika} \quad (1)$$

SmpRate = näytteenottotaajuus

ASDU = näytemäärä/viesti

$$T = \frac{1}{4000 * 1} = 250 \mu\text{s} \quad (2)$$

Näytearvojen ja muun digitaalisen viestinnän tapahtuessa useita kertoja sekunnissa, myös aikasykronointi on tärkeää. Digitaalista viestintää voidaan kutsua reaaliaikaiseksi, sillä aikasykronoinnilla saavutetaan hyvin tarkkoja aikoja. Aikasykronoinnissa tarkimpana luokkana on T5, jossa sallittu virhe tarkkuudessa on 1 mikrosekunti. Tähän luokkaan kuuluu esimerkiksi GPS-kello (Global Positioning System). GPS-kellon lisäksi tähän luokkaan yltävät 1PPS (1 Pulse Per Second) ja IEEE 1588 -versiot 1 ja 2. /9/

4.4 Digitaalisen sähköaseman mahdollistavat laitteet

Seuraavissa kappaleissa esitellään opinnäytetyössä käytetyt digitaalisen sähköaseman mahdollistavat laitteet. Näiden jälkeen esitellään vielä muutamia laitteita, jotka edistävät digitaalisen sähköaseman kehitystä.

4.4.1 SAM600-liitäntälaitteet

Nykyisin vallitsevassa tilanteessa rakennettavat ja uudistettavat sähköasemat ovat osittain analogisia ja digitaalisia. Ensiöpuolen virta- ja jännitemuuntajilta tulevat analogiasignaalit täytyy muuttaa toisiopuolen hyväksymäksi kommunikointitavaksi, digitaaliseksi. Ensiö- ja toisiopuolen välissä analogisen ja digitaalisen kommunikoinnin rajapinnassa toimii liitäntälaitteet. Liitäntälaitteet mahdollistavat niin nykyisten sähköasemien uudistuksen kuin uusien digitaalisten sähköasemien rakentamisen. ABB:n ratkaisussa liitäntälaitteet sijaitsevat sähköaseman ulkokentällä virta- ja jännitemuuntajien läheisyydessä sijaitsevissa jakokaapeissa. Liitäntälaitteet muuttavat mittamuuntajien syöttämän datan digitaaliseksi jo ulkokentällä ja

siirtävät tiedon eteenpäin. SAM600-liitäntälaitteet operoivat 24 V DC käyttöjännitteellä.

SAM600-liitäntälaitteiden etupaneelissa on kolme lediä; punainen hälytyksiä varten, keltainen varoituksia varten ja vihreä valmiuden ilmaisuun. Näiden lisäksi SAM600-liitäntälaitteiden päällä on 4 lediä, paitsi SAM600-TS -laitteella 8. Nämä ledit ilmaisevat vieressä olevien porttien tilasta ja liikennöinnistä. Tällöin esimerkiksi johdon rikkoutuminen nähdään joko SAM600-laitteiden etupaneelien ledeistä ja tarkemmin yläpuolella olevista tietoliikenneledeistä.

SAM600-laitteilta mittaustiedot siirtyvät eteenpäin näytearvojen lähetyksellä. Näytearvot lähetetään jatkuvana streameina, mitkä relehuoneessa sijaitseva ohjausrele vastaanottaa. Näiden lähetyksien määrään ei ole rajoituksia, kunhan kaistanleveys ja lähetyksenopeus pysyy sallituissa arvoissa.

Taulukko 2. SAM600-laitteiden ennalta määritetyt digitaalitulot. /18/

SAM600-laite	Digitaalitulo 1	Digitaalitulo 2	Digitaalitulo 3	Digitaalitulo 4
SAM600-CT	Testikytkimen aktivointitaso	-	-	-
SAM600-VT	Testikytkimen aktivointitaso	Sulakehäiriö A-vaiheessa	Sulakehäiriö B-vaiheessa	Sulakehäiriö C-vaiheessa
SAM600-TS	-	-	-	-

SAM600-TS

SAM600-TS on yksi kolmesta ABB:n tarjoamasta liitäntälaitteesta. TS tulee sanoista Time Synchronisation, joka tarkoittaa aikasykronointia. SAM600-TS -laite mahdollistaa kommunikoinnin redundanttisuuden ja liitäntälaitteiden aikasykronoinnin. SAM600-liitäntälaitteet yhdistetään keskenään PRP- tai HSR-tekniikalla. Tähän käytetään kussakin liitäntälaitteessa olevia X101 ja X102 Ethernet-portteja.

Laitteen sisältäessä useita kommunikointiportteja, prosessiväylän kytkimien tarve minimoidaan. SAM600-TS käytetään liitälaitteiden kommunikointiyksikkönä ja sen kautta yhdistytään releeseen, SAM600-TS ei kuitenkaan ole välttämätön, vaan kommunikointi toimii myös ilman sitä. Kuvassa 10 vasemmalta oikealle SAM600-CT, SAM600-VT ja SAM600-TS. /18/



Kuva 10. SAM600-liitälaitteet. /19/

SAM600-CT

SAM600-CT, Current Transformer, toimii nimensä mukaisesti virtamuuntajan liitälaitteena. Ulkokentän virtamuuntajalta tulevat analogiasignaalit kytketään SAM600-CT:n liittimiin. SAM600-CT digitalisoi virran asetuksen mukaan 1A tai 5A nimellistä virtaa vastaavaksi. Liitälaitteeseen voi kytkeä kolmivaiheisen virran lisäksi nollavirran, tai laite voi laskea sen vaihevirtojen avulla. Liitteessä 1 esitetty SAM600-CT:n rakennepiirros.

SAM600-VT

SAM600-VT, Voltage Transformer, toimii jännitemuuntajan liitälaitteena. SAM600-VT toimii SAM600-CT:n tavoin mittaamalla ulkokentän jännitemuuntajalta tulevat analogiasignaalit ja digitalisoi ne vastaamaan 100V-125V nimellistä jännitettä. SAM600-VT voi mitata nollajännitteen liittimen kautta tai laskea vaihejännitteiden avulla.

4.4.2 SAM600-IO

SAM600-liitäntälaitteiden kanssa samaa sarjaa on myös SAM600-IO -liitäntäyksikkö. SAM600-IO voi sijaita esimerkiksi samassa jakokaapissa liitäntälaitteiden kanssa ulkokentällä. SAM600-IO:n tehtävä on toimia analogisen ja digitaalisen maailman rajapinnassa. SAM600-IO vastaanottaa ohjausreleeltä tulevat katkaisijoiden laukaisukäskyt ja lähettää käskyt eteenpäin analogisena tietona esimerkiksi katkaisijalle ja monitoroida katkaisijoiden tilaa ja toimintaa. SAM600-IO:ta voidaankin kutsua laukaisureleeksi, sillä se ei sisällä suojausfunktiota eikä analysoi liitäntälaitteiden lähettämiä mittaustietoja. Ohjausreleen kanssa kommunikointi tapahtuu GOOSE-viestinnän avulla prosessiväylällä. SAM600-IO:n portit on esitetty kuvassa 11. SAM600-IO on rakenteeltaan normaalin suojausreleen kaltainen, mutta siinä ei ole näyttöä. Liitteessä 2 SAM600-IO toiselta puolelta kuvattuna. Laitteeseen saa erillisenä osana liitettävä näytön tarpeen vaatiessa.



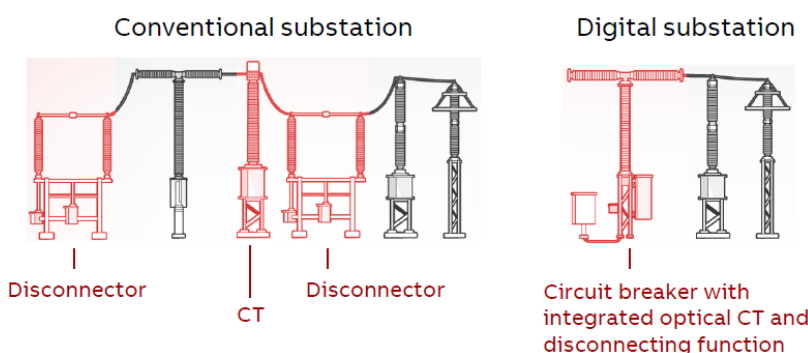
Kuva 11. SAM600-IO. /19/

4.4.3 Optinen mittamuuntaja

Siirryttäessä yhä digitalisoituneempaan sähköasemaan, myös mittamuuntajat ovat digitaalisia. Optisessa mittamuuntajassa toisiopuoli on digitalisoitu. Tällöin mittamuuntaja kommunikoi IEC 61850-9-2LE -protokollan mukaisesti prosessiväylään kytkettyjen laitteiden kanssa. Optinen mittamuuntaja mahdollistaa paremman mitaustarkkuuden ja signaalien digitalisoinnin jo kytkentäkentällä. Optiset mittamuuntajat eivät ole kuitenkaan kovin yleisiä, sillä ne ovat vielä hintavia. IEC 61869

-standardi ottaa kantaa mittamuuntajiin ja vuonna 2016 ilmestynyt osa käsittelee digitaalista rajapintaa mittamuuntajilla. Vuonna 2019 ilmestynyt osa käsittelee liitäntälaitteiden standardointia perinteisen mittamuuntajan ja liitäntälaitteiden rajapinnassa.

Perinteiseen ratkaisuun verrattuna optinen virtamuuntaja mahdollistaa selvästi kompaktimman toteutuksen. Kuvassa 12 on havainnollistettu optisen virtamuuntajan integroimismahdollisuuksia. Optiseen virtamuuntajaan on mahdollista integroida erotin ja katkaisija, mikä säästää tilaa kytkentäkentällä. Optinen virtamuuntaja on tarkempi kuin edeltäjänsä. Optisen virtamuuntajan mittavirhe on noin 0,2 % 500kA saakka, vaikka lämpötila tai johtimen sijainti vaihtelisi. Virran mittaus perustuu Faradayn induktiolakiin. Optinen virtamuuntaja ei myöskään kyllästy, eikä räjähdä, ja se on täytetty turvallisemmalla ja ympäristöystävällisemmällä typpikaasulla (N_2) rikkiheksafluoridin (SF_6) sijaan. /20/



Kuva 12. Optisen virtamuuntajan integroimismahdollisuudet. /20/

4.4.4 Digitaalinen katkaisija

Edellä mainituilla laitteilla digitaalinen kommunikointi tapahtuu kohti prosessiväylää ja toisilaitteita. Digitaalinen kommunikointiyhteys voidaan muodostaa myös toiseen suuntaan – prosessiväylän laitteilta ulkokentän katkaisijoille ja erottimille. Jotta kommunikointiyhteys toimisi digitaalisesti, myös katkaisijoiden täytyy

olla älykkäitä. Digitaalisten katkaisijoiden tarjonta ja käyttö on vielä melko vähäistä ja uusia katkaisijoita on kehitysvaiheessa.

ABB kehittää tällä hetkellä uutta digitaalista katkaisijaa, joka on saatavilla vuoden päästä (**Kuva 13.**). Digitaalisen kommunikoinnin lisäksi katkaisijan toiminta on perinteistä katkaisijaa tehokkaampaa:

- Digitaalisen katkaisijan laukaisuaika on jopa 100 kertaa nopeampi kuin perinteisen sähkömekaanisen katkaisijan
- Tehohäviöt ovat jopa 70 % alhaisempia kuin vastaavilla ratkaisuilla
- Perinteinen katkaisija vaatii säännöllistä huoltoa ja täytyy vaihtaa noin 10 000 laukaisun jälkeen. Digitaalinen katkaisija pystyy jopa satakertaiseen laukaisumäärään luotettavasti ja vaatii vähemmän huoltoa. /21/



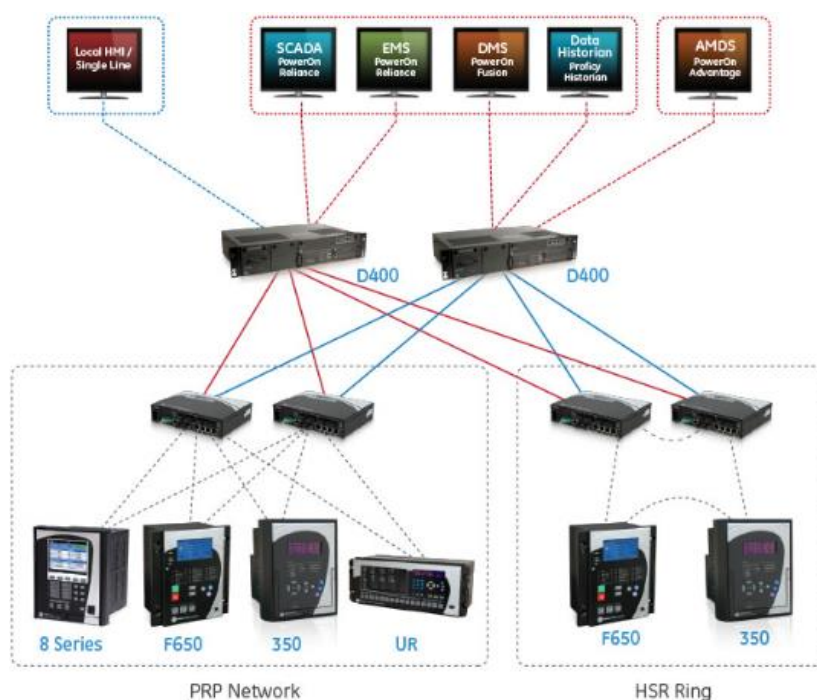
Kuva 13. ABB:n kehitteillä oleva digitaalinen katkaisija. /21/

4.4.5 Ethernet-kytkin

Sähköasemalla voi olla myös laitteita, jotka eivät yksinään tue redundanttisuuden takaavaa kommunikointiprotokollaa. Jotta redundanttisuus olisi silti mahdollista saavuttaa, tarvitaan Ethernet-kytkin. Ethernet-kytkimessä on useita portteja, jolloin siihen voi yhdistää useita laitteita. Kytkin kerää laitteiden lähettämät tiedot ja

välittää niitä eteenpäin. Kytkin sisältää usein virustorjunnan ja sen avulla sähköase-
maa voidaan turvallisesti ohjata niin paikallisesti kuin etäohjauksellakin.

Kuvassa 14 on vertailtu HSR- ja PRP-topologiaa ja niiden mahdollistamista Ether-
net-kytkimen avulla. Kuvassa käytetty kytkin on GE:n (General Electric) Multilin
D400. Kuvan oikeassa alareunassa on HSR-topologian rengasmainen rakenne, tieto
kulkee kahta eri reittiä laitteiden kautta. PRP-topologian rakenne ilmenee kuvan
muissa kytkennöissä. PRP-topologiassa kaikki laitteet yhdistetään kahden kytki-
men kautta ylöspäin. PRP-toteutus on kalliimpi ratkaisu kuin HSR, mutta topolo-
giaa on mahdollista käyttää melkein missä vain ja kahdennettu tietoliikenne takaa
redundanttisuuden. Myös HSR-topologia on redundanttinen, eli järjestelmän toi-
minta jatkuu yhden laitteen vioittuessa.



Kuva 14. HSR- ja PRP-topologia. /22/

5 LÄHESTYMISTAPA PROJEKTIIN JA SEN TOTEUTUS

Opinnäytetyö aloitettiin tutustumalla digitaaliseen sähköasemaan ja sen käsitteisiin yleisellä tasolla. Tutustumisvaiheessa haettiin aikaisempia tutkimuksia aiheeseen liittyen ja erilaisia dokumentteja, joissa selvitettiin digitaalista sähköasemaa ja IEC 61850 -standardin mukaistaa kommunikointia. Tämän jälkeen selvitettiin käytettävien laitteiden ja ohjelmien ominaisuuksia ja toimintaa. Aihealueeseen tutustuttiin kotona ja ABB:llä järjestetyn työpisteen äärellä. Samanaikaisesti varmistettiin tarvittavien lupien ja kurssien järjestäminen. Tarvittavien lupien ja kurssien suorittaminen mahdollisti kulku- ja käyttöoikeudet tiloihin ja laitteisiin. Testipaikkana toimi FAT-alue (Factory Acceptance Test), jossa suoritetaan laitteiden toiminnan testaus ennen asiakkaalle toimitusta. FAT-alue sijaitsi samassa rakennuksessa kuin järjestetty työpiste, mikä mahdollisti joustavan työskentelyn käytännön- ja teoriaosuuden välillä. Digitaalisen sähköaseman ja sen laitteiden perusymmärryksen pohjalta voitiin aloittaa myös käytännön osuuden toteutus.

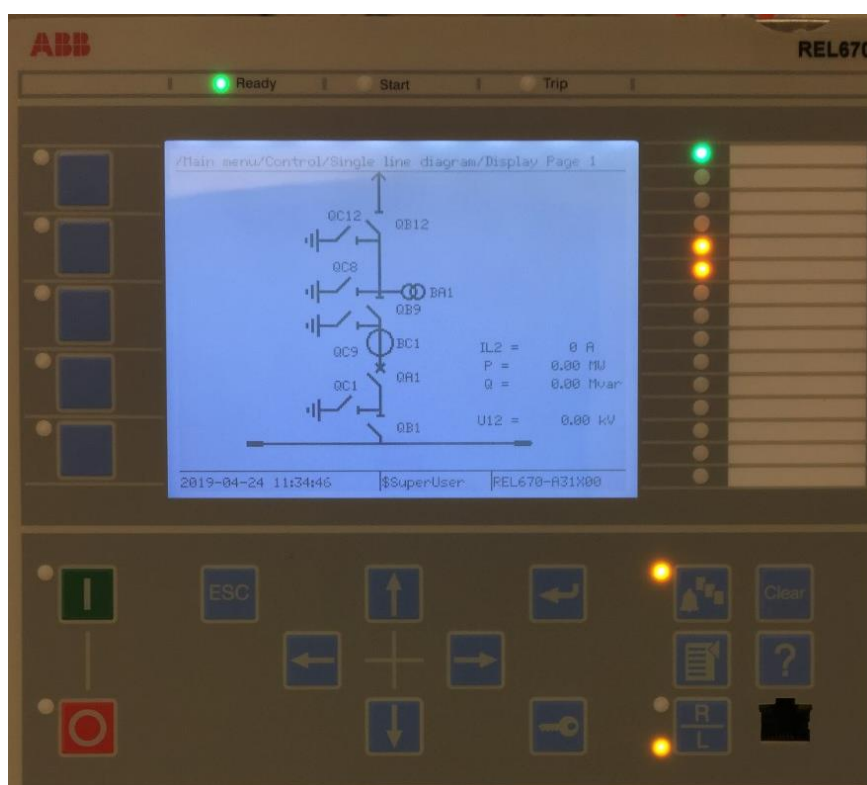
Käytännön osuuden toteutus esitellään seuraavissa kappaleissa. Ensiksi käydään läpi projektissa käytetyt laitteet ja niiden tehtävät. Laiteselvityksen jälkeen tutustutaan laitteiden välisiin asennuksiin. Tämän jälkeen esitellään laitteiden konfigurointi ja kommunikointiyhteyden määrittely. Laitteiden määrittelyn jälkeen siirrytään simuloitujen testien asetteluihin ja konfigurointeihin.

5.1 Laitteet

Testialueella käytettävät laitteet on sijoitettu valmiiseen liikuteltavaan rullakkoon. Opinnäytetyössä käytetyt laitteet ja rullakko on esitelty liitteessä 2. Rullakossa on valmiina kaksi vaakatasoa, mihin oli mahdollista sijoittaa pystyssä pidettäviä laitteita. Tasojen lisäksi rullakon molemmilla puolilla on metallikiskot, mihin käytettävät laitteet sijoitettiin. Rullakon toisella puolella on valmiiksi johdotettuja riviliitimiä, mitkä on mahdollista kytkeä suoraan releen analogiakanaviin. Rullakkoon saadaan 230 V pistokkeen avulla ja rullakkoon kuuluu valmiina myös kytkin.

Liitteessä aikaisemmin esiteltyjen laitteiden lisäksi esiintyy REL670, Omicron CMC356, kytkimet, teholähteet ja tietokone. REL670 on rele, jota käytetään

linjadistanssisuojauksessa. Relettä voidaan nimittää suojaus- tai ohjausreleeksi tässä ratkaisussa, sillä IO-rele hoitaa katkaisutoimintoja. Liitteen kuvasta huomataan REL670 ja SAM600-IO yhdennäköisyys. Molemmilla on samanlainen pohja, mutta IO-liitäntäyksikkö ei sisällä näyttöä REL670 tapaan. Kuvassa 15 vielä tarkempi esitys REL670:stä. Kuvassa nähdään myös releen etupaneelissa sijaitsevat painikkeet ja näytöllä mimiikka ja muutamat mittaustiedot. Näytön oikealla puolella sijaitsevat ledit ilmaisevat muun muassa katkaisijoiden tilatietoja tai kommunikointiyhteyden toimintaa. Releen valikon kautta voidaan muun muassa asettaa aika, tutkia mittaustietoja tarkemmin, hakea tapahtumaloki ja säätää asetuksia. Kytkimien ja teholähteiden esittely tapahtuu kappaleessa 5.2.



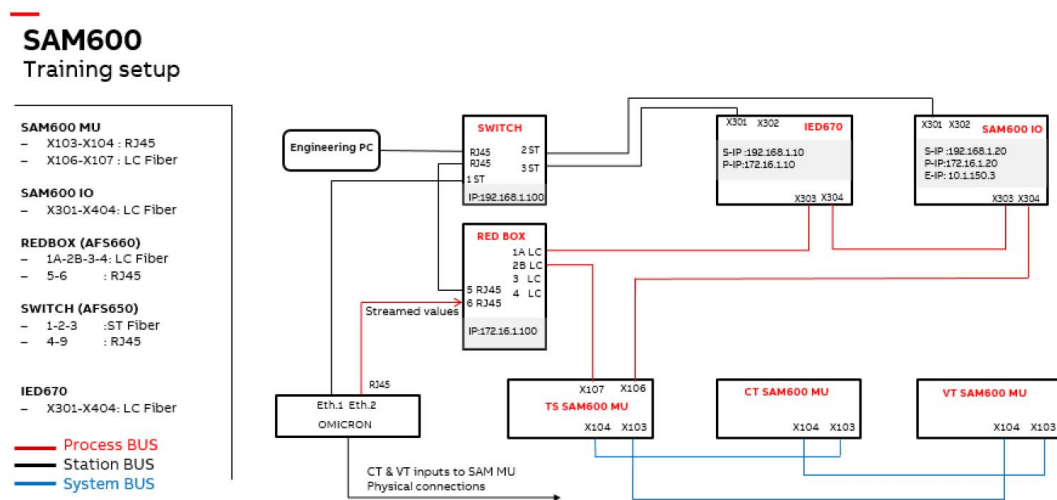
Kuva 15. REL670-näyttöpaneeli.

Liitteessä 2 erillisellä pöydällä sijaitseva punasininen Omicron CMC356 on käytössä releiden testauksessa ja käyttöönottotarkastuksissa. Omicronilla voidaan

esimerkiksi syöttää virtaa ja jännitettä releille analogisesti ja vastaanottaa koskettimelta digitaalitulot. Tällöin voidaan tarkastella katkaisunopeutta, havahtumista ja tiedonsiirtonopeutta. Omicroniin on myös mahdollista ostaa IEC 61850 -protokollan tarkasteluun liittyviä lisäosia. Omicronilla voidaan lähettää näytearvoja streamina SAM600-liitännälaitteiden tapaan. Lisäosien avulla voidaan myös testata GOOSE-viestejä. GOOSE-viestejä voidaan lähettää ja vastaanottaa Omicronin ja tietokoneen testiohjelman avulla. Omicronin testiohjelman avulla on myös mahdollisuus tarkastella yksittäisiä data-attribuutteja, eli datamallin pienimpiä osia, ja niiden arvoja ja muutoksia. Mainittujen testien lisäksi löytyy niitä vielä paljon enemmän ja erilaisia, riippuen käytetystä Omicron-laitteesta ja tietokoneella käytettävästä ohjelmasta. /9/

5.2 Asennus

Laitteiden asennus ja kytkentä suoritettiin liitteen 2 ja suuntaa antavan kuvan 16 mukaan. Kuvassa sinisellä näkyvät viivat liitännälaitteiden välillä muodostavat niiden oman järjestelmäväylän. Järjestelmäväylällä kommunikoidaan RJ45-verkko-kaapelien avulla. Punaisella näkyvät viivat muodostavat prosessiväylän. Liitännälaitteet yhdistyvät prosessiväylään SAM600-TS:n kautta valokuitujohtimilla. Testiasettelu muodostaa HSR-topologian, joka mahdollistaa järjestelmän toiminnan yhden johdon vikaantuessa. Prosessiväylä yhdistyy myös kuvassa näkyvään red boxiin, minkä tehtävänä on mahdollistaa Omicronin kytkentä HSR-topologiaan. Red box on testitilanteessa toteutettu AFS660-SR -kytkimellä. Mustalla esitetyt viivat muodostavat asemaväylän. REL670 ja SAM600-IO yhdistyvät asemaväylään valokuitujohdotuksella asemaväylän kytkimen eli AFS670 kautta, mikä on liitteessä 2 rullakon ylimmässä osassa. Asemaväylän kytkimeen yhdistytään tietokoneella ja Omicronilla suoraan tietokoneeseen. Omicronilla kytkeydytään AFS 660-SR -kytkimeen RJ45-kaapeloinnilla, minkä avulla voidaan syöttää testattavaan piiriin näytearvoja streamina. Kytkimeltä yhteys jatkuu muun prosessiväylän tavoin valokuitukaapelilla.



Kuva 16. Suuntaa antava testausasettelu. /23/

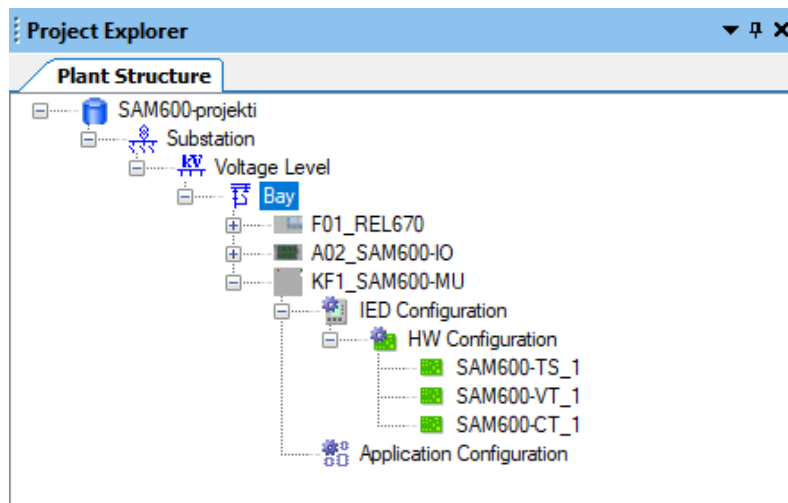
Omicronilla kytkeydyttiin SAM600-CT:n portteihin analogisesti fyysisen virran- syötön mahdollistamiseksi. Liitteessä 2 näkyvän kuvan mukaisesti käytettiin johti- mia järjestyksessä punainen, musta, vihreä ja sininen (L1, L2, L3 ja N). SAM600- CT:n johdotuskaavion mukaisesti virtakanavien tähtipisteet johdotettiin yhteen kes- kenään (LIITTEET 1 ja 3).

Testausasettelussa tarvittiin kaksi eri teholähdettä, sillä laitteiden käyttämä jännite- taso vaihteli. Testauksessa käytetyt tehollähteet olivat säädettäviä ja malliltaan Po- wernet ADC7340. Liitteessä 2 oikeanpuoleinen tehollähde syöttää kumpaakin re- lettä ja kaikkia liitäntälaitteita niiden käyttämällä 24 voltin tasajännitteellä. Vasem- malla oleva tehollähde syöttää AFS660-SR -kytkintä sen käyttämällä 110 voltin tasajännitteellä.

5.3 Laitteiden konfigurointi

Laitteiden konfigurointiin käytettiin PC:lle asennettavaa ABB:n PCM600-ohjelmaa (Protection and Control Manager). PCM600-ohjelmaa käytetään IED-laitteiden konfigurointiin ja ohjaukseen. Projektissa konfiguroitiin kolme IED-laitetta, REL670, SAM600-IO ja SAM600-MU. Konfigurointi tehtiin online-tilassa, mikä mahdollistaa tietojen lukemisen suoraan laitteelta. SAM600-MU sisältää kaikki sii- hen liitetyt liitäntälaitteet, tässä tapauksessa 3 kappaletta (**Kuva 17**). IED-laitteiden

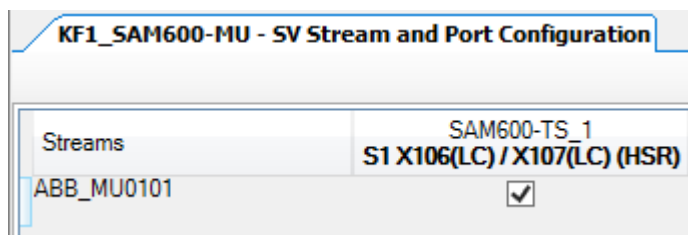
nimen edessä olevat kolme merkkiä muodostavat laitekohtaiset tekniset avaimet (Technical Key).



Kuva 17. PCM600-projektipuu.

SAM600-MU konfiguroitiin liittämällä USB-kaapeli PC:ltä SAM600-TS -liitännälaitteeseen. Liitännälaitteet muodostavat yhdessä oman järjestelmäkohtaisen kommunikointiväylän RJ45-kaapelien avulla ja niitä käsitelläänkin kokonaisuutena. Parametriasetuksissa (Parameter Settings) valittiin liitännälaitteiden käyttämä jännite-taso ja laitekohtaiset nimellisarvot. SAM600-CT:lle valittiin ensioarvoksi 1 000 A ja toisioarvoksi 1 A. Samalla valittiin aikasynkronointi pääkellon (Master clock) mukaan ja aikasynkronointitila IEC 61850-9-3 PTP. IEEE 1588 verkkotunnukseksi valittiin 93, mikä valitaan myös muihin saman aikasynkronoinnin sisältäviin laitteisiin. Aikasynkronoinnin vastaanottavaksi portiksi valittiin X106- ja X107-liittimien muodostama HSR-linkki.

SAM600-MU laitteille luotiin näytearvoja lähettävä streami, ABB_MU0101 (**Kuva 18.**). Streami lähettää aikaisemmin muodostetun HSR-linkin kautta näytearvoja eteenpäin. Kuvassa luotu streami sisältää SAM600-VT:n ja SAM600-CT:n mittaamat arvot. REL670-konfiguroinnissa valitaan streami vastaanotettavaksi.



Kuva 18. SAM600-MU näytearvojen streamaus.

REL670 ja SAM600-IO konfiguroitiin muodostamalla PC:llä yhteys AFS670-kytkimeen RJ45-kaapelilla. Laitteiden luomisen jälkeen täytyi luoda sovelluskonfiguraatio (Application Configuration). Sovelluskonfigurointia varten saatiin valmiina pohjakonfigurointi, joka sisältää tarvittavat perusfunktiot, kuten suojaus- ja mittauslohkot. Kuvassa 19 yleisnäkymä PCM600-sovelluskonfiguroinnista. Sovelluskonfigurointia muokattiin tarpeen mukaan – REL670 sisältää mittaus- ja suojauslohkot laukaisuohjausta varten. Liitälaitteiden lähettämä streami saapuu sovelluskonfiguroinnissa SMAI-lohkoon. SMAI-lohkon (Signal Matrix for analog inputs) tehtävänä on vastaanottaa lähetetty streami ja välittää se eteenpäin OC4PTOC-lohkolle. Suojauslohkon tehtävänä on lähettää laukaisukäsky eteenpäin, mikäli virta ylittää sallitun rajan. Käsky kulkee laukaisun vastaanottolohkon kautta SMPPTRC1-lohkolle. SMPPTRC1-lohkon laukaisukäsky siirtyy GOOSE-viestillä SAM600-IO:lle.

REL670:n GOOSE-kommunikointi toimii kuvan 20 mukaisesti. Kuvan vasemmassa laidassa on luodut aineistot ja niiden nimet. Valmiiksi ladatun pohjakonfiguraation vuoksi kuusi aineistoa oli valmiina. Alin aineisto on luotu laukaisukäskyn välitystä varten. Aineisto pitää sisällään SMPPTRC1-lohkon data-attribuutit tilatieto (Status Value) ja laatu (Quality). Kuvassa lähetettävän aineiston nimen jälkeen on valittuna yksi neliö. Tämä tarkoittaa lähetettävän aineiston vastaanottajaa. Kyseinen aineisto lähetetään AE01A02-laitteelle, joka tarkoittaa SAM600-IO:ta. Laitetunnuksen jälkeinen S5-merkintä tarkoittaa lähetykseen käytettävää tukipistettä.

S5-tukipiste on valikoitu toimimaan prosessiväylässä ja S1-tukipiste asemaväylässä.

F01_REL670 - Application Configuration	
REL670-A31X00 CONFIGURATION Line distance protection for a single breaker application with 3 phase tripping for solidly earthed networks.	
Main Application name	Main Application description
OVERVIEW	Table of content
AI	Analog inputs, CT and VT
PROT_IMP	Impedance protection
PROT	Backup protection functions
QA1	QA1 related functions such as Synchrocheck, Autorecloser
LOGIC	Signal logic
MEAS	Metering and measurement
SUPP	Protection related functions such as Disturbance recorder, Fuse failure supervision
COMMON	Common functions

< **OVERVIEW** AI PROT_IMP PROT QA1 LOGIC MEAS SUPP COMMON Control BAY_RES Positions GOOSE

Kuva 19. REL670-sovelluskonfigurointi.

GOOSE Communication - IEC 61850 Configuration				
	AE01A02 (S1)	AE01A02 (S5)	AE01F01 (S1)	AE01F01 (S5)
AE01F01.S1.LD0.LLN0.MeasFt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
AE01F01.S1.LD0.LLN0.Security	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
AE01F01.S1.LD0.LLN0.StatIed	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
AE01F01.S1.LD0.LLN0.StatNmI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
AE01F01.S1.LD0.LLN0.StatUrg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
AE01F01.S1.LD0.LLN0.StatUrgBlk	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
AE01F01.S1.LD0.LLN0.Trip	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

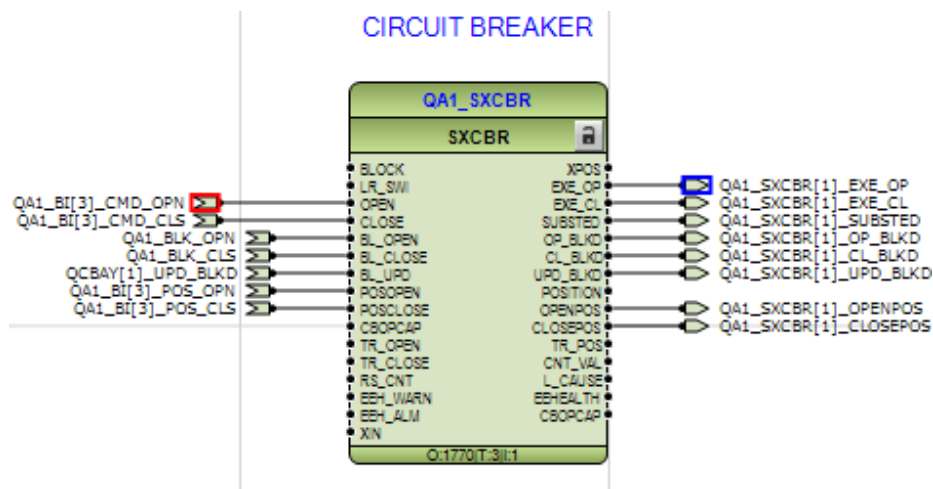
<

Data Sets GOOSE Controls Inputs

Substation.Voltage Level.Bay.AE01F01

Kuva 20. REL670 GOOSE-aineisto.

SAM600-IO:n sovelluskonfiguraatio sisältää katkaisijoiden ja erottimien laukaisuun liittyvät lohkot. SAM600-IO kommunikoi prosessiväylässä digitaalisesti GOOSE-viestinnällä ja lähettää katkaisukäskyjä analogisesti. REL670:n lähettämä laukaisukäsky saapuu GOOSE-viestillä SAM600-IO:lle. Käsky saapuu SAM600-IO:n SMBI-lohkolle (Signal Matrix for binary inputs), joka vastaanottaa saapuvia binääritietoja. Binääritieto on nolla tai yksi ja laukaisukäskyn tullessa se on yksi. Tällöin SMBI-lohko lähettää SXCBR -katkaisijalohkelle avauskäskyn. Kuvassa 21 punaisella merkitty CMD_OPN -tulo on SMBI-lohkon lähettämä avauskäsky. Sinisellä merkitty EXE_OP -lähtö on eteenpäin lähetettävä avauskäskyn toteutus. Käsky jatkaa SMBO-lohkolle, joka käsittelee lähteviä binääritietoja. SMBO-lohkon kautta katkaisijan avauskäsky toteutuu ja katkaisijan kosketin avautuu. Vaikka katkaisijan koskettimen avautuminen vaikuttaa pitkältä toteutusketjulta, tapahtuu se kuitenkin nopeasti. Kappaleessa 6.1 on käsitelty QuickCMC -moduulin avulla tehtyjä testauksia ja tuloksia, esimerkiksi katkaisijan avautumisaikaa.



Kuva 21. Katkaisijan avaus.

Kommunikointiyhteyden varmistamiseksi luotiin yksi ylimääräinen GOOSE-lähetys. Tämä lähetys toimii REL670n ja SAM600-IO:n välillä. Laitteet lähettävät toisilleen noin 10 sekunnin välein indikoiteja GOOSE:n avulla. REL670n

vastaanottaessa GOOSE-viestit, ohjelmoitiin yksi valo syttymään releen näyttöpaneelissa. Mikäli yhteys katkaistiin laitteiden välillä, yhteyttä indikoiva valo sammui kymmenen sekunnin kuluessa. Tämä mahdollisti kommunikointiyhteyden nopean varmistamisen lisättäessä uusi kytkin virtapiiriin.

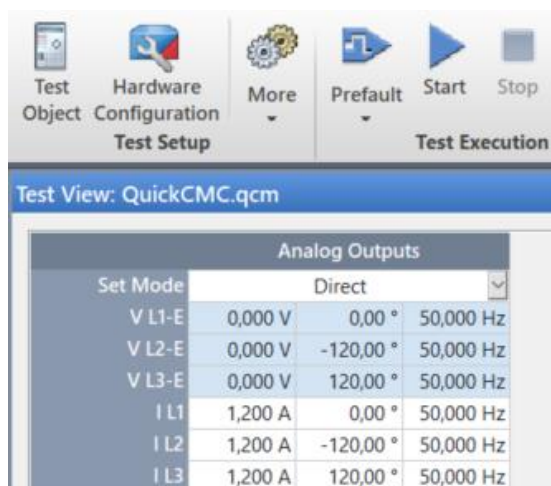
Liitälaitteiden ja REL670n välisen streamin toiminta voitiin testata asettamalla liitälaitteet simulointitilaan. Simulointitilassa liitälaitteet syöttävät niille asetettujen nimellisarvojen verran virtaa ja jännitettä. Tuloksien saapuessa REL670n näytölle ja mittauskanaville, saatiin varmistus yhteyksien toiminnasta.

6 TESTITULOKSET

Projektissa testaukset toteutettiin Omicron Test Universe -ohjelmalla. Liitteessä 4 on kuva Test Universe -ohjelman alkuvalikosta. Projektissa käytetyt moduulit on merkitty moduulin vasemmalla puolella näkyvällä punaisella viivalla. QuickCMC -moduulilla voidaan tehdä nopeita testauksia, esimerkiksi syöttää virtaa analogisesti virtarajan yli ja katsoa toimiiko suojaus. IEC 61850 -moduuleita voidaan käyttää digitaalisen sähköaseman testaukseen. Valitsemalla New Test Document -moduulin voidaan luoda testipohjia. Testipohjaan voidaan liittää useita eri moduuleita, mitkä testiohjelma suorittaa kerralla läpi. Tämä mahdollistaa testauksien nopean toteutuksen, kun valmis testipohja suorittaa kaikki tarvittavat testaukset kerralla. Testauksissa käytettiin Omicron CMC356 -laitetta.

6.1 QuickCMC

QuickCMC-moduuli on kätevä työkalu nopeisiin ja yksinkertaisiin testauksiin. Aluksi täytyy määritellä laitteiston konfiguraatio (Hardware Configuration) jos konfigurointia ei saada automaattisesti Omicronin testilaitteelta. Sitten voidaan kuvan 22 mukaisesti asetella vikatyypin, jännitteen ja virran määrä, kulma sekä taajuus. Tämän jälkeen määritellään Omicronin testilaitteen tulokanavat. Tulokanaviin voidaan ottaa binääritiedot analogisesti tai digitaalisesti testattavalta laitteistolta. Seuraavaksi voidaan aloittaa testaus painamalla ylävalikossa sijaitsevaa Start-painiketta.






Kuva 22. QuickCMC esittely.

Projektissa QuickCMC-moduulia käytettiin aluksi testaamaan laitteiden ja asennusten toiminta ja myöhemmin katkaisu- ja havahtumisnopeutta. Katkaisu- ja havahtumisnopeuden testaamista varten otettiin käyttöön kolme binäärituloa. Binääritulot ovat Omicronin testilaitteessa olevia tulokanavia, jotka voidaan ohjelmoida tunnistamaan, kun niiden tieto muuttuu nollassa yhdeksi tai toisinpäin. Kolmas binääritulo aseteltiin mittaamaan REL670n havahtumisaikaa, eli ylivirtasuojauslohkon havahtumista. Toinen binääritulo aseteltiin mittaamaan REL670n lähettämän laukaisukäskyn lähetyskuluvaan aikaan. Tässä siis otettiin testauksen vuoksi REL670n normaalisti GOOSEa pitkin lähettämä laukaisukäsky myös analogisesti riviliittimien kautta testilaitteelle. Ensimmäinen binääritulo aseteltiin mittaamaan SAM600-IO:n laukaisuaikaa. Vertaamalla SAM600-IO:n ja REL670n laukaisuaikaa, voidaan tutkia GOOSE-viestin lähettämiseen ja tulkitsemiseen kuluvaan aikaan. Ensimmäisessä binääritulokanavassa REL670 tunnistaa ylivirran ja, kuten reaaliolanteessa, lähettää sen GOOSE-viestillä SAM600-IO:lle, joka lähettää katkaisukäskyn. Katkaisukäsky otetaan analogisesti testilaitteen binääritulokanavaan.

Kuvassa 23 on esitetty testauksessa saadut tulokset. Kuvasta nähdään, kuinka ensin 27 millisekunnin kuluttua vian esiintymisestä REL670 havahtuu ylivirtaan. Aika alkaa, kun ylivirran syöttäminen virtapiiriin aloitetaan. Tämän jälkeen REL670n ylivirtasuojaus -lohkon (OC4PTOC) täytyy havaita virta ja lähettää se

laukaisulohkon (SMPPTRC1) kautta SMBO-lohkolle (Signal Matrix for binary output). SMBO-lohko vastaa lähetettävistä binääritiedoista, tässä tapauksessa lohko on ohjattu avaamaan kosketin ylivirran tapahtuessa. Tieto koskettimen avautumisesta saadaan riviliitinriman kautta Omicronin binääritulokoskettimelle. REL670:n ja SAM600-IO:n riviliitinkytkennät on esitetty liitteessä 5. Liitteessä nähtävän X41-riman liitintä 25 on käytetty tähtipisteenä. Riman X42 liitintä 39 on käytetty mittaamaan REL670:n havahtuma.

REL670:n asetuksien kautta on laitettu 500 millisekunnin viive havahtumisen jälkeen, minkä vuoksi seuraava tapahtuma on yli 500 millisekunnin päässä ylivirran syöttämisen aloituksesta. Seuraavaksi REL670 antaa katkaisijan laukaisukäskyn ja laukaisutieto otetaan liittimen 38 kautta binääritulokanavaan 2. Aikaa havahtumisesta laukaisuun kuluu neljä millisekuntia, kun poistetaan lisätty viive. SAM600-IO:n laukaisu saapuu liittimen 26 kautta ensimmäiseen binäärituloon 33 millisekunnin kuluessa ylivirran syöttämisestä. Ero REL670:n laukaisuajan kanssa on noin kaksi millisekuntia, mikä muodostuu GOOSE-viestin lähetys- ja vastaanottoajasta. Tällaisella virtapiirillä ylivirran ilmentyessä katkaisija saa avauskäskyn 33 millisekunnin kuluessa. Tähän lisättäessä vielä katkaisijan avausaika ja valokaaren palamis aika, saadaan ylivirran katkaisuun kuluva aika kokonaisuudessaan.

Binary Inputs / Trigger				
IO Trip	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		532,9 ms
REL670 Trip	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>		531,1 ms
REL670 St	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>		26,90 ms

Kuva 23. QuickCMC tulokset.

6.2 Sampled Values Configuration

Omicronilla voidaan syöttää virta- ja jännitearvoja digitaalisesti Sampled Values Configuration -moduulin avulla. Moduulin konfigurointi voidaan tehdä manuaalisesti tai asetukset voidaan tuoda PCM-projektin kautta SCL-tiedostona. Moduulin avulla voidaan määrittää enimmillään kolme streamia, joista tarvitaan kuvan 24 mukaiset tiedot. Tämän lisäksi määritellään vielä Omicronin käyttämä Ethernet-portti, näytearvojen lähetysnopeus ja mahdollinen aikasykronointi. Asetuksien jälkeen ohjelma tarkastaa konfiguroinnin läpi virheiden varalta ja sen jälkeen näytearvojen konfigurointi on valmis. Tämän jälkeen näytearvojen konfigurointia voidaan käyttää kaikissa Omicron Test Universe -ohjelman moduuleissa.

Test View: Sampled Values Configuration

Sampled Values 1 | Sampled Values 2 | Sampled Values 3 | General

Sampled Values Disabled

Sampled Values Enabled

Sampled Value ID (svID):

Multicast MAC Address:

Application ID (APPID):

VLAN ID:

VLAN Priority:

Quality:

Simulation Flag: ▾

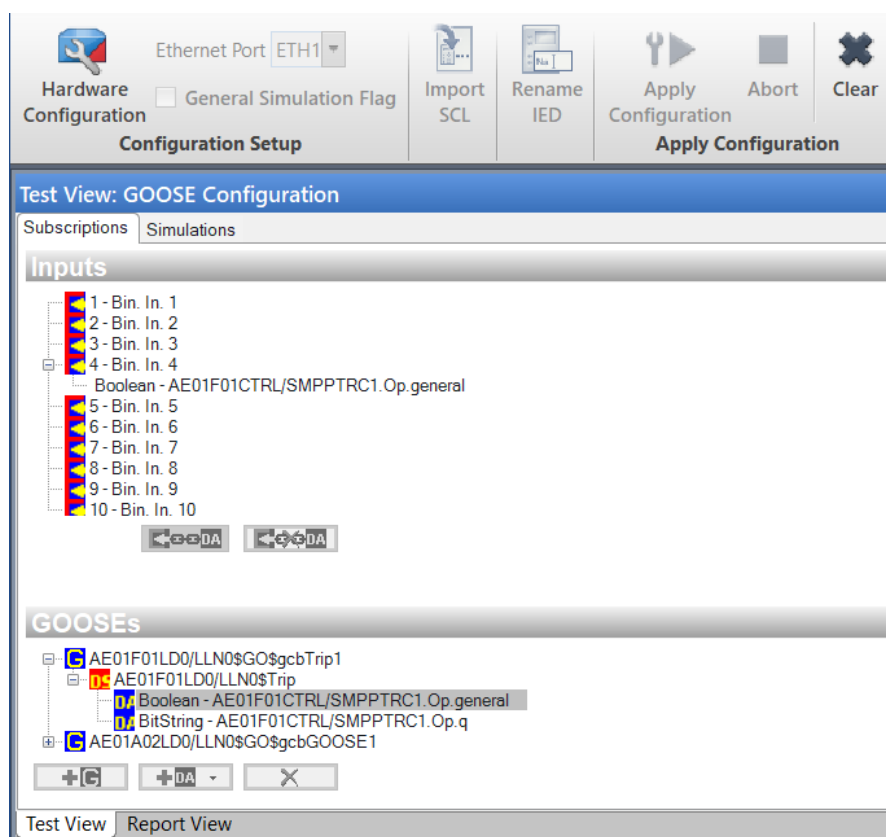
Kuva 24. Sampled Values Configuration -moduulin asetukset.

Näytearvojen konfigurointi -moduuli mahdollistaa sähköasemien laitteiden digitaalisen testauksen. Perinteisesti releille syötettävät virta- ja jännitearvot vaihtuvat kytkimen kautta syötettäviksi digitaalisiksi streameiksi. Tämä mahdollistaa streamien lähetyksen kytkimen kautta usealle releelle ilman johtimien asennusta ja

irrottamista jokaisen releen kohdalla erikseen. Moduuli ylipäättensä mahdollistaa esimerkiksi sähköaseman laitteen vaihtamisen ja testaamisen digitaalisesti, kun lopuosa sähköasemasta on samalla toiminnassa.

6.3 GOOSE Configuration

GOOSE Configuration -moduulin avulla GOOSE-viestejä voidaan ottaa testilaitteen tulokanaviin. Vaihtoehtoisesti GOOSE-viestejä voidaan simuloida testilaitteen lähtökanavien avulla. Kuvassa 25 on ladattu SCL-tiedoston sisältämät GOOSE-aineistot. Aineiston sisältö saapuu kuvassa alla olevaan GOOSEs-valikkoon, josta tarvittavat data-attribuutit voidaan tuoda Inputs-valikon tulokanaville. Kuvassa neljänteen binääritulokanavaan on yhdistetty REL670:n lähettämä laukaisukäsky. Kappaleessa 6.5 on käytetty lisättyä tulokanavaa mukana testauksessa.



Kuva 25. GOOSE Configuration -moduuli.

6.4 IEC 61850 Client/Server

IEC 61850 Client/Server -moduulilla voidaan syöttää testattavaan piiriin virta- ja jännitetietoja ja tutkia laitteiden sovelluslohkojen käyttäytymistä data-attribuuttien tasolla. Moduuliin tuodaan SCL-tiedoston avulla tutkittavan laitteen konfigurointi-asetukset. Tämän jälkeen määritellään testaustilanteet, jonka asetuksiin sisältyy syötettävän virran ja jännitteen määrä, tutkittavat data-attribuutit ja testausaika sekä mahdollinen testauksen pysäyttävä ehto. Testitilanteessa tutkittiin REL670:n käyttäytymistä normaali- ja vikatilanteessa. Normaalitilanteessa syötettiin 0,5 A virtaa ja vikatilanteessa 1,2 A. Laukaisuraja releellä on nimellisarvo (1 A). Tutkittaviksi data-attribuuteiksi valittiin laukaisulohkon (SMPPTRC1) ja ylivirtasuojauslohkon (PH3PTOC1) toiminta. Odotetuksi tulokseksi normaalitilanteessa asetettiin epätoosi (False), sillä suojausten ei pitäisi toimia, mikäli ylivirtaa ei esiinny. Vikatilanteessa odotettu tulos on tosi (True), sillä ylivirtarajan ylittyessä suojausten tulee toimia. Kuvassa 26 on esitetty tarkasteltavien data-attribuuttien tulokset normaali- ja vikatilanteessa. Kuvan oikeassa laidassa näkyvät vihreät oikein-merkit osoittavat testin onnistuneen. Odotuksien mukaisesti vikatilanteessa suojaukset toimivat ja normaalitilanteessa eivät.

	Name	State	Parameter	Expected	Dev-	Dev+	Actual	Dev.	Timestamp	Assessment
1	Assess. 1	Vikatilanne	CTRL.SMPPTRC1.Op.general	True			True		24.4.2019 ...	✓
2	Assess. 2	Vikatilanne	OC4_1.PH3PTOC1.Op.general	True			True		24.4.2019 ...	✓
3	Assess. 3	Normaalitilanne	CTRL.SMPPTRC1.Op.general	False			False		24.4.2019 ...	✓
4	Assess. 4	Normaalitilanne	OC4_1.PH3PTOC1.Op.general	False			False		24.4.2019 ...	✓

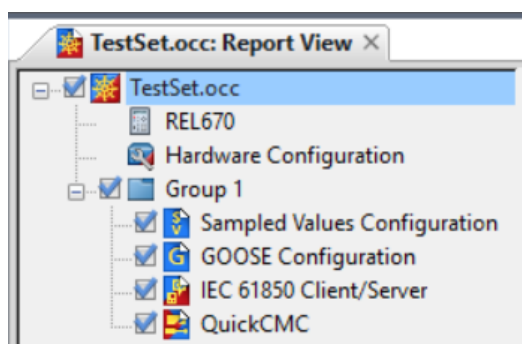
Kuva 26. Data-attribuuttien tarkastelun tulokset.

6.5 Test Document -pohja

Test Document -moduulilla voidaan luoda testauspohja, joka sisältää tarvittavat moduulit. Test Document -moduulilla voidaan testata kaikki siihen liitetyt testaukset läpi kerralla. Testidokumentin luominen aloitetaan määrittelemällä siinä testattava IED, esimerkiksi suojaarele. Tämän jälkeen määritellään Omicronin testilaitteen asetukset. Tähän kuuluvat muun muassa virta- ja jännitekanavien konfigurointi

sekä analogia- ja binääritulojen ohjelmointi. Peruskonfiguroinnin jälkeen voidaan aloittaa testimoduulien lisääminen dokumenttipohjaan. Moduulit voidaan luoda tai tuoda valmiiksi luotu-moduuli tiedoston avulla suoraan dokumenttipohjaan.

Lisäämällä edellisissä kappaleissa luodut moduulit samaan testidokumenttiin, saadaan kuvan 27 mukainen testiasettelu. Sampled Values Configuration – ja GOOSE Configuration -moduulien konfiguroinnin jälkeen niitä voidaan käyttää QuickCMC:llä testattaessa. Tällöin QuickCMC -moduulissa asetetut virta- ja jännitearvot lähetetään testattavaan virtapiiriin streamin avulla. REL670:n GOOSE-laukaisukäsky otetaan testilaitteen neljänteen binääritulokanavaan. Kuvassa 28 on esitetty tulokset käytettäessä testidokumentin moduuleita apuna. Kuvan GOOSE Trip -tulo on GOOSE:n kautta vastaanotettu releen laukaisukäsky. GOOSE:n kautta vastaanotettu laukaisukäsky on analogisesti vastaanotettua laukaisukäskyä (REL670 Trip) neljä millisekuntia nopeampi.



Kuva 27. Luotu testauspohja.

Binary Inputs / Trigger			
IO Trip	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	531,4 ms
REL670 Trip	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	529,5 ms
REL670 St	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	25,50 ms
GOOSE Trip	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	525,3 ms

Kuva 28. QuickCMC streamin ja GOOSE:n avulla.

6.6 Overcurrent-moduuli

Ylivirtasuojaus-moduulin avulla voidaan tutkia tarkemmin suojauksen toimintaa. Moduulilla voidaan esimerkiksi asetella virta kasvamaan $0,98...1,02 * I_n$ (nimellisvirta) välillä. Tällöin voidaan tutkia millä virran arvolla ylivirtasuojauksen laukeaa ja kuinka nopeasti. Moduulin avulla voidaan tutkia ylivirtasuojauksen toiminta-arvoa ja laukaisuun kuluva aika. Suojauksen toimintaa voidaan tutkia nostamalla virtaa tai muuttamalla vaiheiden välisiä kulmia. Moduulilla voidaan myös tutkia tarkka ylivirtasuojauksen toimintaraja ja sen resetointiraja. Ylivirtasuojaus toimii, mikäli suojauksen toimintaraja ylitetään ja virran arvo pysyy resetointirajaa suurempana asetetun ajan verran.

Testauksissa Overcurrent-moduulin trippausehdoksi aseteltiin ylivirtasuojaus lohkon havahtuminen ja GOOSE Trip -signaalin vastaanottaminen. Näiden ehtojen täytyessä moduuli tulkitsee suojan launneen. Kuvassa 29 on esitetty ylivirtasuojauksen havahtumis- ja resetointiraja. Ylivirtasuojauksen laukaisurajaksi on aseteltu 1,00 ampeeria ja suojaus havahtui 1,001 ampeerin virralla. Ylivirtasuojauksen rese-toitui, kun virta laski 0,978 ampeerin suuruiseksi.

State	Type	Angle	Trip Value	Resolution	I Pick-up				I Drop-off	Reset Ratio		
					nom	min	max	act	act	nom	act	Error
✓	L1	-60,00 °	n/a	50,00 ms	1,000 A	990,1 m	1,010 A	1,001 A	979,0 mA	0,9500	0,9780	2,947 %
✓	L1-L2	-60,00 °	n/a	50,00 ms	1,000 A	990,1 m	1,010 A	1,001 A	979,0 mA	0,9500	0,9780	2,947 %
✓	L1-L2-L3	-60,00 °	n/a	50,00 ms	1,000 A	990,1 m	1,010 A	1,001 A	979,0 mA	0,9500	0,9780	2,947 %

Kuva 29. Ylivirtasuojan havahtumis- ja pudotusraja.

Kuvassa 30 on esitetty kolmen eri vikatyypin ylivirtasuojauksen testaus. Vikatyyppeinä toimivat L1-vaiheen ylivirta, L1- ja L2-vaiheen välinen ylivirta ja L1-, L2- ja L3-vaiheen välinen ylivirta. Virta aseteltiin kasvamaan askelmaisesti $0,98...1,02 x$ nimellisvirran välillä. Laukaisuaikaa tarkasteltaessa huomataan suuremman ylivirran ja nopeamman laukaisuajan välillä yhteys.

State	Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	tnom	tmin	tmax	tact	Deviation
✓	L1	I1>	0,9800	980,0 mA	-60,00 °	No trip	No trip	No trip	No trip	n/a
✓	L1	I1>	1,000	1,000 A	-60,00 °	500,0 ms	460,0 ms	No trip	532,2 ms	6,44 %
✓	L1	I1>	1,020	1,020 A	-60,00 °	500,0 ms	460,0 ms	540,0 ms	525,7 ms	5,14 %
✓	L1-L2	I1>	0,9800	980,0 mA	-60,00 °	No trip	No trip	No trip	No trip	n/a
✓	L1-L2	I1>	1,000	1,000 A	-60,00 °	500,0 ms	460,0 ms	No trip	533,7 ms	6,74 %
✓	L1-L2	I1>	1,020	1,020 A	-60,00 °	500,0 ms	460,0 ms	540,0 ms	527,0 ms	5,4 %
✓	L1-L2-L3	I1>	0,9800	980,0 mA	-60,00 °	No trip	No trip	No trip	No trip	n/a
✓	L1-L2-L3	I1>	1,000	1,000 A	-60,00 °	500,0 ms	460,0 ms	No trip	535,6 ms	7,12 %
✓	L1-L2-L3	I1>	1,020	1,020 A	-60,00 °	500,0 ms	460,0 ms	540,0 ms	532,0 ms	6,4 %
✓	L1-L2-L3	I1>	1,500	1,500 A	-60,00 °	500,0 ms	460,0 ms	540,0 ms	525,9 ms	5,18 %

Kuva 30. Overcurrent-testauksen tulokset.

7 YHTEENVETO

7.1 Projektille asetettujen tavoitteiden toteuttaminen

Kappaleessa 3.2 asetetut tavoitteet tuli täytettyä. Käytettyihin laitteisiin ja ohjelmiin hankittiin kokemus ja ymmärrys, mikä mahdollisti laitteiden välisen kommunikoinnin ja ylivirtasuojauksen toteuttamisen. Tämän opinnäytetyöraportin lisäksi luotiin erillinen laitteiden konfigurointi- ja testausohje, minkä tarkoituksena on auttaa laitteiden käsittelyssä. Dokumentoinnin lisäksi ABB:llä pidettiin esitystilaisuus, missä projektin tuotoksia käytiin läpi ja esiteltiin laitteiden toimintaa käytännössä FAT-tilassa luodun simulointimallin avulla.

7.2 Projektin tuotokset

Projektin tuloksena saatiin luotua asettelu, jonka avulla voitiin testata laitteiden kommunikointia ja toimintaa vikatilanteissa. Kommunikointiväylää pitkin lähetettiin liitäntälaitteen mittaamia ja simuloituja näytearvoja streamin avulla. Omicronin ja IEC 61850 -moduulien avulla voitiin simuloida vikatilannetta lähettämällä näytearvoja testilaitteelta releelle. Testilaitteen avulla voitiin myös lähettää ja vastaanottaa GOOSE-viestejä ja tutkia lohkojen data-attribuuttien tiloja. Tulevaisuudessa Omicronin testilaitte voidaan liittää kytkimen kautta sähköaseman testattavaan piiriin ja suorittaa tarvittavat testaukset digitaalisesti. Syötettävät arvot lähetetään streamia pitkin ja laitteiden toimintaa tarkastellaan GOOSE:n ja data-attribuuttien avulla, ei analogisesti kosketintietoja tutkimalla.

SAM600-liitäntälaitteet ja SAM600-IO-yksikkö mahdollistavat tarkan aikasykronoinnin ja tukevat digitaalisen sähköaseman liikennöintiä. Vertailtaessa SAM600-sarjaa muiden toteutusvaihtoehtojen kanssa, löytyy SAM600-sarjalta paljon tärkeitä toiminnallisia ominaisuuksia. SAM600-sarja mahdollistaa muun muassa HSR- ja PRP-topologian käyttämisen, streamien lähettämisen, useita tarkkoja aikasykronointimahdollisuuksia ja sen toiminnallisuus ja tarkkuus eri lämpötiloissa on ensiluokkaista. SAM600-sarja on teknillisesti hyvin ajan tasalla, mutta käytettävyys muodostuu heikkoudeksi. SAM600-sarjan tuotteet toimivat 24 VDC jännitteellä, mikä ei ole kovin tyypillinen sähköaseman toisilaitteiden jännite.

7.3 Jatkotutkimukset

Projektin aikana pyrittiin selvittämään tärkeimpiä laitteiden käyttäytymiseen ilmeviä kysymyksiä. Muutamia laitteiden toimintaan liittyviä seikkoja jäi selvittämättä joko käytettävän ajan vuoksi tai selvittämiseen tarvittavan laitteen puuttumisen vuoksi. Seuraavassa luettelossa on kerätty ehdotuksia jatkotutkimuksille, joita pidettiin tärkeinä.

- GOOSE-viestien lähetysnopeuden tutkiminen normaalitilanteessa ja ylikuormitustilanteessa
- Releen LPHD.Sim -lohkon asettaminen tosi-tilaan (True) ja Omicronilla General simulation flag -asetuksen käyttäminen
- Erillisen aikasynkronointilaitteen käyttäminen ja aikasynkronoinnin oikeellisuuden toteaminen

Kappaleen 4.3.3 taulukossa 1 käsiteltiin GOOSE-viestien toimitusaikoja. Tällä hetkellä GOOSE:n lähetettävien aineistojen rakentamiseen ei ole vielä selkeitä ohjeita ja standardeja käytössä. GOOSE-liikennöinnin kasvaessa aineistojen sisällön merkitys nousee suurempaan arvoon. Nykyisin GOOSE-aineistojen luomisella ei ole ollut niin suurta merkitystä, kun liikennöintiä ei ole ollut niin paljon ja GOOSE-viestit ovat kuormitustilanteessakin saapuneet vastaanottajalle käytännössä heti. Digitalisaation lisääntyessä sähköasemalla GOOSE-viestintä lisääntyy ja aineistojen luomiseen on syytä kiinnittää enemmän huomiota. PCM-ohjelmalla luodessa GOOSE-aineistoa ei ole asetusta, mistä säättää aineiston lähetysten nopeus. Kuitenkin taulukon vaatimuksien mukaan esimerkiksi Trip-signaalit tulee saapua vastaanottajalle 3 millisekunnin kuluessa. Tämä herättää kysymyksiä GOOSE-viestinnän toimintatavasta. Tunnistaako GOOSE lähetettävän aineiston sisältämän tärkeimmän viestin ja sen perusteella valitsee lähetysnopeuden? Täytyykö aineistojen lähetys erikseen määrittää asettamalla signaalit tärkeysjärjestykseen (Priority)? Miten GOOSE-viestintä toimii liikennöinnin kasvaessa suuremmaksi kuin siirtokapasiteetti?

Simuloidessa streamia Omicronin testilaitteen avulla, suojarele vastaanottaa kaksi samannimistä streamia, liitäntälaitteen ja testilaitteen oman. Testauksissa

huomattiin liitäntälaitteen streamin olevan tärkeämpi, jolloin testilaitteen lähettämä streami jäi vastaanottamatta. Testilaitteen streami saatiin suojarielelle, kun irroitettiin liitäntälaitteen streamin lähetykseen käyttämät valokuitukaapelit. Tähän toimenpiteeseen on kuitenkin parempi tapa. Omicronilla voidaan asettaa streamille General simulation flag -asetus päälle, jolloin suojariele havaitsee sen simuloituna streamina. Suojarieleellä asetetaan LPHD.Sim -lohko todeksi, jolloin suojariele vastaanottaa vain simuloituksi merkittyjä streameja. Tätä tapaa tutkittiin ja kokeiltiin simulointimallin kanssa, mutta ei saatu toimimaan. Asian pohjalta on luotu tukipyyntö, minkä avulla on tarkoitus selvittää simuloinnin toteutus.

Projektissa aikasynkronointi toteutettiin asettamalla rele PTP-aikasynkronoinnin isännäksi. Kaikki laitteet asettivat kellonsa releen kanssa samaan aikaan. Jatkotutkimuksen kohteena voitaisiin selvittää esimerkiksi GPS-kellon kanssa toteutettua aikasynkronointia. Selvitettäväksi jää myös SAM600-laitteiden aikasynkronoinnin oikeellisuuden toteaminen. Tarkistetaanko aikasynkronoinnin oikeellisuus liitäntälaitteiden ja IO-yksikön tapahtumalokin avulla, kun laitteissa ei ole erillistä näyttöä, mistä nähtäisiin kellonaika.

LÄHTEET

- /1/ ABB:stä lyhyesti. Viitattu 12.2.2019. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti>
- /2/ ABB Suomessa. Viitattu 12.2.2019. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>
- /3/ ABB Oy, Grid Automation Systems. Viitattu 12.2.2019. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/yksikot/grid-automation-systems>
- /4/ Koski, J. Sähkölaitokset. Opintomoniste. Vaasan Ammattikorkeakoulu. Viitattu 15.3.2019. <https://portal.vamk.fi/course/view.php?id=5857>
- /5/ Richards, S. 2014. Digitaalisuus parantaa asemien luotettavuutta. Promaint. Viitattu 11.2.2019. <https://promaintlehti.fi/Kunnonvalvonta-ja-kayttovarmuus/Digitaalisuus-parantaa-asemien-luotettavuutta>
- /6/ Werner, T. 2018. Enabling digital substations. ABB webinar. Viitattu 15.3.2019. <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=4CAE000558&LanguageCode=en&DocumentPartId=pdf&Action=Launch>
- /7/ Bawa, H. 2018. ABB takes power grids into the digital future at CIGRE 2018 in Paris. Zurich, Switzerland. Viitattu 19.3.2019. <https://new.abb.com/news/detail/6483/abb-takes-power-grids-into-the-digital-future-at-cigre-2018-in-paris>
- /8/ Fingrid Oyj. 2019. Fingrid toteuttaa digitaalisen sähköaseman pilotin. Viitattu 19.2.2019. <https://www.fingrid.fi/sivut/ajankohtaista/tiedotteet/2019/fingrid-toeuttaa-digitaalisen-sahkoaseman-pilotin/>
- /9/ ABB tietokanta: UniGear Digital Concept Training PPMV Brno, Sept. 11-12, 2013. Viitattu 28.2.2019. ABB tietokanta: Ei julkisesti saatavilla.
- /10/ Kuosa, D. 2018. Digitaalinen sähköasema. Viitattu 19.2.2019. <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/yhtio/toimikunnat/neuvottelukunta/digitaalinen-sahkoasema-9-2018.pdf>

/11/ 2018. ABB tietokanta: Digital substation architecture design – Performance considerations. Viitattu 19.3.2019. ABB tietokanta: Ei julkisesti saatavilla.

/12/ Oksanen, J. & Muhonen, T. 2017. Suomen sähköverkkoon hyökätään jatkuvasti – myös suurvallat aktiivisia. Taloussanomat. Viitattu 20.2.2019. <https://www.is.fi/taloussanomat/art-2000005101603.html>

/13/ Pajunen, D. Kyberturvallisuus varmistetaan aidoilla harjoituksilla. 2017. Viitattu 20.2.2019. Fingridlehti. <https://www.fingridlehti.fi/kyberturvallisuus-varmistetaan-aidoilla-harjoituksilla/>

/14/ IEC 61850:2019 SER Series. 2019. International Electrotechnical Commission. 2019. Viitattu 28.2.2019. <https://webstore.iec.ch/publication/6028>

/15/ Zhang, J. Gunter C. 2011. IEC 61850 – Communication Networks and Systems in Substations: An Overview of Computer Science. USA, Illinois. Illinois Security Lab. Viitattu 28.2.2019. <http://seclab.illinois.edu/wp-content/uploads/2011/03/iec61850-intro.pdf>

/16/ Kaukonen, J. 2017. Diplomityö: Sähköaseman digitalisaation vaikutus primääri-laite rajapintaan. Viitattu 15.3.2019. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/127825/Kaukonen_Janne.pdf?sequence=1&isAllowed=y

/17/ Huang, W. 2018. Learn IEC 61850 Configuration in 30 Minutes. Viitattu 25.3.2019. <http://prorelay.tamu.edu/wp-content/uploads/sites/3/2018/04/2-Learn-IEC-61850-Configuration-in-30-Minutes-Wei-HuangPDF.pdf>

/18/ ABB tietokanta: SAM600 Process Bus I/O System – Operation Manual. Viitattu 20.3.2019. ABB tietokanta: Ei julkisesti saatavilla

/19/ ABB. SAM600 process bus I/O system – Enabling the digital substation. Viitattu 18.3.2019. <https://new.abb.com/substation-automation/products/protection-control/sam600>

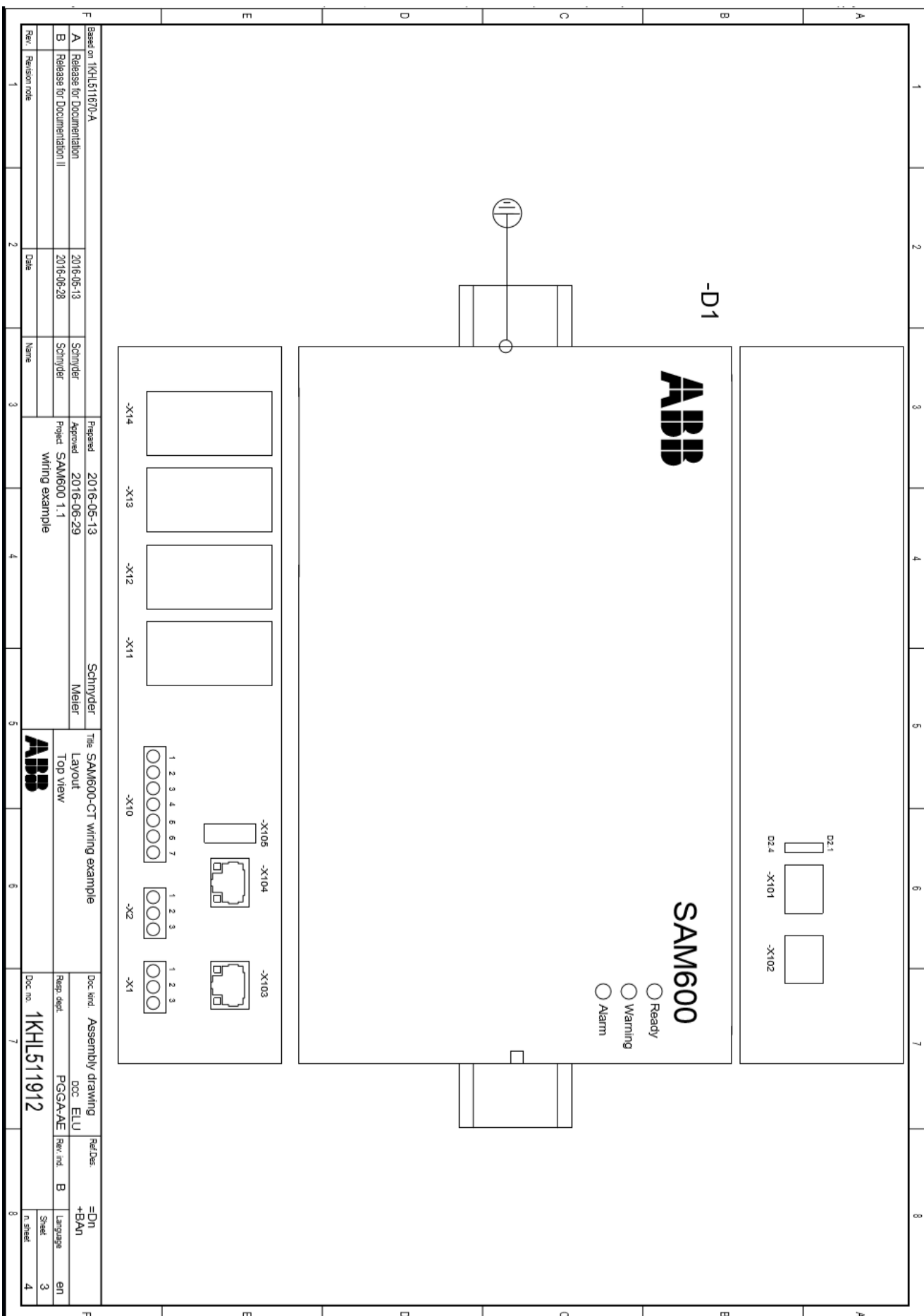
/20/ 2018. ABB tietokanta: Digital substations introduction, benefits, solutions. Viitattu 1.4.2019. ABB tietokanta: Ei julkisesti saatavilla.

/21/ 2019. ABB reinvents the circuit breaker – breakthrough digital technology for renewables and next-gen power grids. Viitattu 2.4.2019. <https://new.abb.com/news/detail/18499/abb-reinvents-the-circuit-breaker-breakthrough-digital-technology-for-renewables-and-next-gen-power-grids>

/22/ GE verkkosivut. Viitattu 5.4.2019. <http://www.gegridsolutions.com/multilin/catalog/f650.htm>

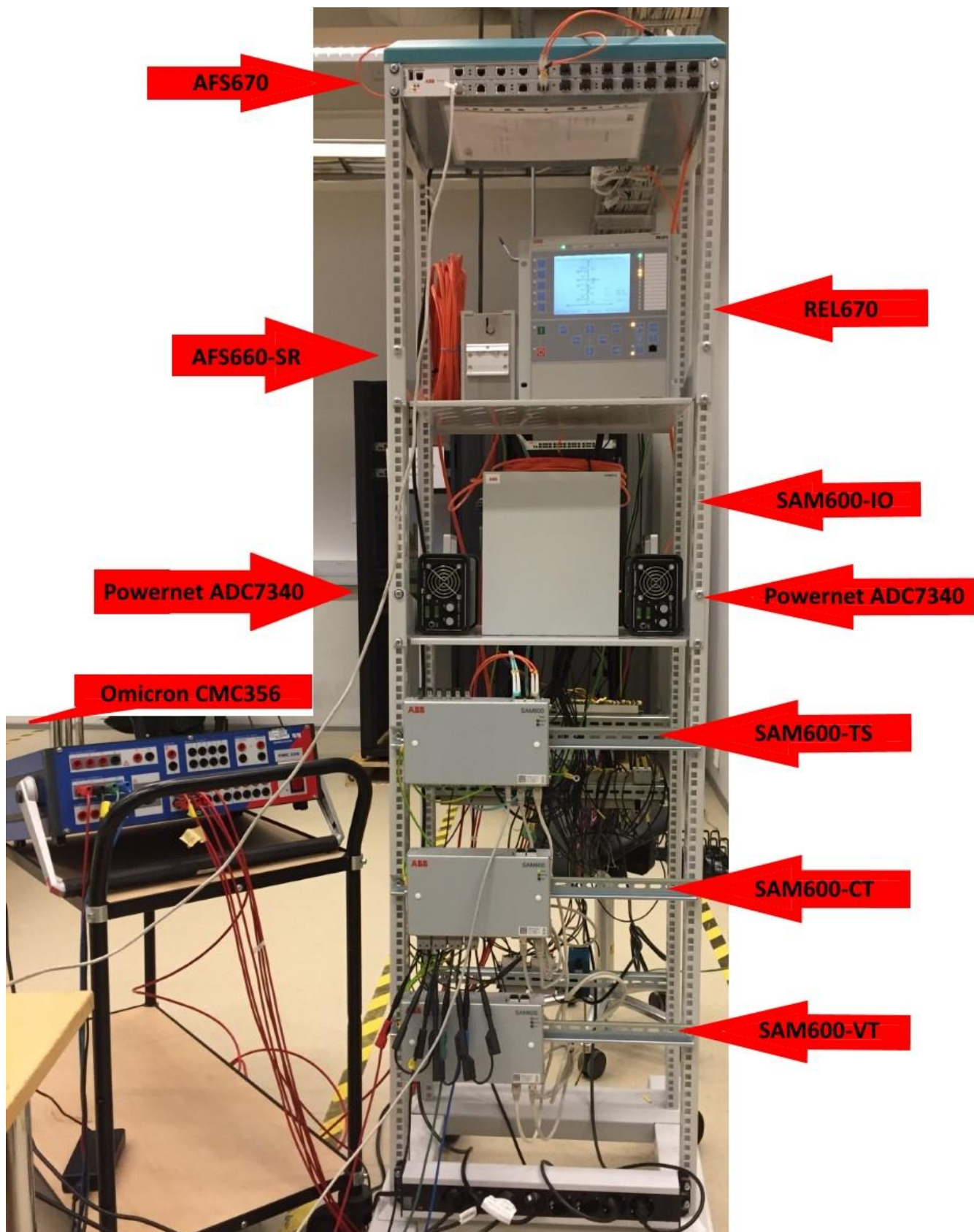
/23/ ABB tietokanta: ABB Grid Automation Products. Viitattu 10.4.2019. ABB tietokanta: Ei julkisesti saatavilla.

LIITE 1. SAM600-CT rakennepiirros.

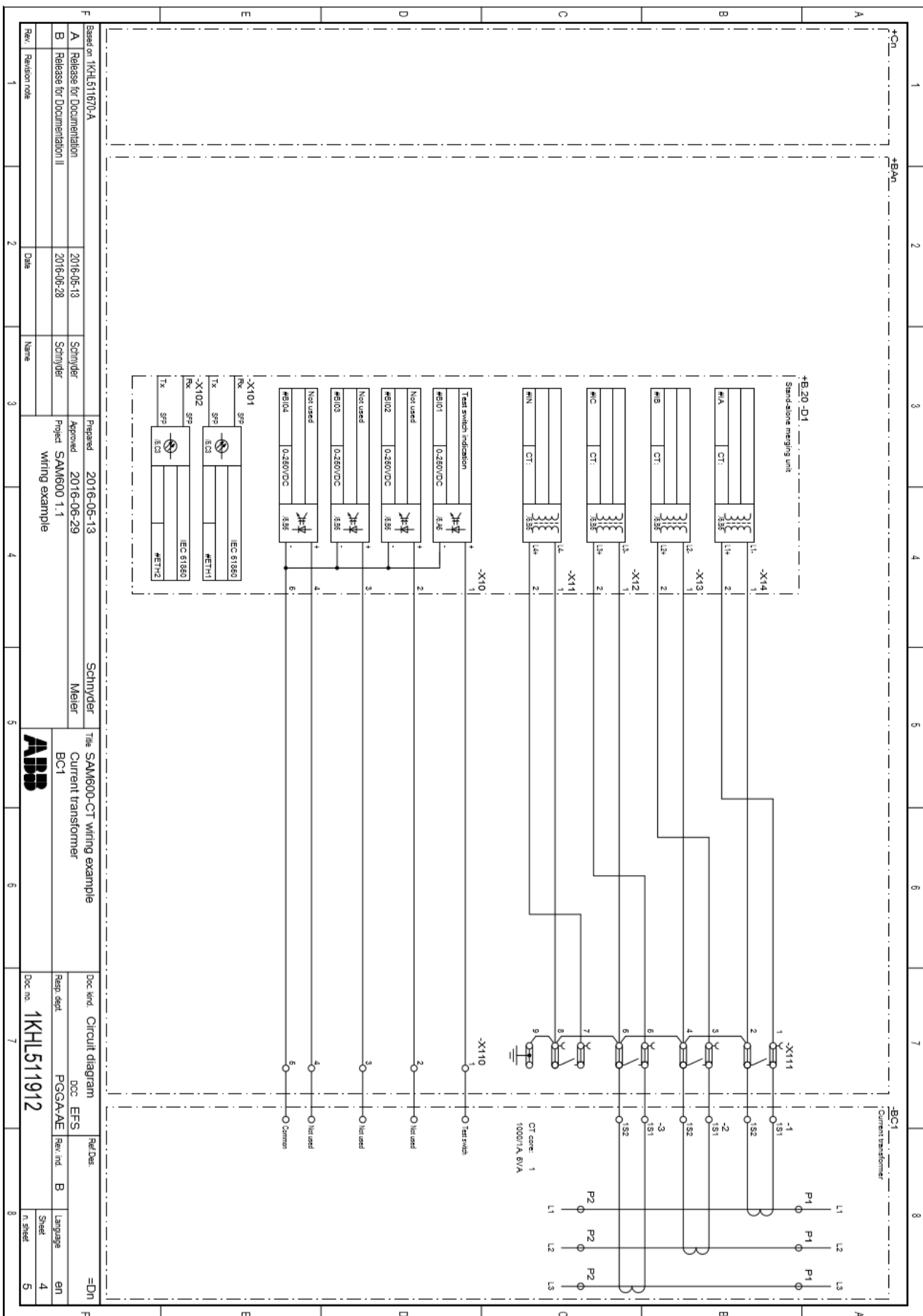


Based on: 1KHL511912-A		Prepared: 2016-05-13	Schnyder	Title: SAM600-CT wiring example		Doc kind: Assembly drawing	Ref: Dns =DN +BAN
A	Release for Documentation	2016-05-13	Schnyder	Approved: 2016-05-29	Layout	DCC: ELU	Rev: B
B	Release for Documentation II	2016-05-28	Schnyder	Project: SAM600 1.1	Top view	PGGA/AE	Rev. ind: B
Rev.	Revision note	Date	Name	wiring example		Doc no. 1KHL511912	Sheet 3
1							n sheet 4

LIITE 2. Testausasettelu.



LIITE 3. SAM600-CT johdotuskaavio.



Rev.	Revision note	1	2	3	4	5	6	7	8	5
Based on 1KHL511912A										
A	Release for Documentation	2016-05-13	Schnyder	Prepared	2016-05-13	Schnyder	Title	SAM600-CT wiring example		
B	Release for Documentation II	2016-06-28	Schnyder	Approved	2016-06-29	Meier	Current transformer	BC1		
				Project	writing example					
				Date			Doc kind	Circuit diagram		
				Name			Resp. dept	PGGA/AE		
							Rev. ind.	B		
							Doc no.	1KHL511912		
							Ref. Des.	=Dn		
							Language	en		
							Sheet	4		
							n. sheet	5		

Test Universe 4.00

Test Modules

- Stand-alone Startup
- QuickCMC
- Ramping
- Pulse Ramping
- State Sequencer
- Advanced TransPlay
- Annunciation Checker
- Overcurrent
- Distance
- Advanced Distance
- VI Starting
- Autoreclosure
- Power
- Advanced Power
- Single-Phase Differential
- Diff Configuration
- Diff Operating Characteristic
- Diff Trip Time Characteristic
- Diff Harmonic Restraint
- Synchronizer
- Meter
- Transducer
- PQ Signal Generator

Control Center

- Creating Multifunctional Test Documents
- New Test Document
- Open Existing Test Document
- Open Protection Testing Library
- Examples of Use - PDF Documents
- Examples of Use - Control Center Documents
- Open Generic Template
- OCC Batch

Network Simulation

- System-based Protection Testing
- RelaySimTest
- NetSim
- Transient Ground Fault

CMControl

- Quick & Easy Manual Testing
- CMControl P

Data Management

- Asset and Test Set Management
- ADMO

IEC 61850

- Testing Power Utility Communication
- GOOSE Configuration
- Sampled Values Configuration
- IEC 61850 Client/Server
- IEDScout
- SVScout

Configuration Modules

- Configuring CMC Test Set Features
- CB Configuration
- AuxDC Configuration
- ISIO Connect

Test Tools

- Additional Applications
- TransPlay
- EnerLyzer (for CMC 256/356)
- EnerLyzer Live (for CMC 430)
- TransView
- Harmonics
- Binary I/O Monitor
- Polarity Checker
- O/C Characteristics Grabber

Custom

- User-specific Tools

Setup

- Test Equipment Preparation
- Test Set Association
- System Settings
- License Manager
- Language Selection

Support

- Documentation and Assistance
- Getting Started
- Video Tutorials
- Manuals
- Help
- Tips & Tricks
- Contacts
- OMICRON Assist
- Diagnosis & Calibration...
- What's New
- Get Support
- Customer Portal



