

Niko Hellgren

IEC 61850 SAMPLED VALUE -SOVEL- LUKSET SÄHKÖVERKOISSA

Kandidaatintyö
Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Tarkastaja: Sami Repo
Syyskuu 2023

TIIVISTELMÄ

Niko Hellgren: IEC 61850 Sampled Value -sovellukset sähköverkoissa
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tieto- ja sähkötekniikan kandidaattiohjelma
Syyskuu 2023

Tämä kandidaatintyö on kirjallisuuskatsaus IEC 61850 -standardiin ja standardin määrittelemään Sampled Value -protokollaan sekä sen sovelluksiin sähköverkoissa. Työn tavoitteena on selvittää sähköasema-automaation standardia IEC 61850 ja standardissa hyödynnettävää Sampled Value -protokollaa sekä selvittää missä sovelluksissa Sampled Value -protokollaa hyödynnetään. Työssä esitellään yleiskuva IEC 61850 -standardista ja Sampled Value -protokollasta, joita hyödynnetään sähköverkon sovelluksissa. Lisäksi työssä tarkastellaan millaisissa sovelluksissa ja miten Sampled Value -protokollaa hyödynnetään.

IEC 61850 -standardi on sähköasema-automaatioon kehitetty globaali standardi, joka on myöhemmin laajentunut muihin sähköverkon osiin. IEC 61850 -standardi määrittelee sähkövoimajärjestelmän erilaiset kommunikaatiotavat automatisointiin, suojaukseen ja hallintaan.

Sampled Value -protokollalla pystytään siirtämään digitaalista mittausdataa Ethernet-pohjaisen tiedonsiirtoväylän avulla. Sampled Value -viestien avulla saadaan välitettyä lähes reaaliaikasta dataa sähkövoimajärjestelmän tilasta. Yleisimmät komponentit, jotka hyödyntävät Sampled Value -protokollaa ovat älykkäät elektroniset laitteet, Merging Unit -laitteet ja digitaaliset mittalaitteet. Lisäksi Sampled Value -protokollaa voidaan hyödyntää erilaisissa sähköverkon sovelluksissa, kuten sähköauton latausjärjestelmässä osana hajautettua energiantuotantojärjestelmää.

Työssä osoitetaan, että Sampled Value -protokollaa pystytään hyödyntämään hyvin laajasti sähköverkoissa. Protokollan avulla saavutetaan merkittäviä hyötyjä, kuten edullisemmat sähkövoimajärjestelmän rakennus- ja käyttökustannukset sekä nopeampi tiedonsiirto järjestelmän sisällä. IEC 61850 -standardissa määritelty Sampled Value -protokollan käyttötapa ei kuitenkaan ole täysin yksikäsitteinen, jonka takia laitteiden välinen yhteensopivuus saattaa hankaloitua.

Avainsanat: IEC 61850, Sampled Value, Merging Unit, IED

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. IEC 61850 -STANDARDI	2
2.1 IEC 61850 -sähköaseman malli.....	4
2.2 Standardin protokollat	6
2.3 Standardin hyödyt	8
3. SAMPLED VALUE -PROTOKOLLA	10
3.1 Toimintatapa	10
3.2 Sampled Value -viesti	11
3.3 Sampled Value -protokollan hyödyt.....	13
4. SAMPLED VALUE -PROTOKOLLAA HYÖDYNTÄVÄT LAITTEET	15
4.1 Merging Unit -laitteet.....	15
4.2 Low Power Instrument Transformers.....	16
4.3 Intelligent Electronic Devices	17
5. IEC 61850 -POHJAINEN SÄHKÖAUTOJEN LATAUSJÄRJESTELMÄ	19
6. YHTEENVETO.....	22
LÄHTEET	23

1. JOHDANTO

Sähköverkoja joudutaan ylläpitämään ja kehittämään jatkuvasti, jotta sähköverkkojen avulla voidaan turvallisesti ja luotettavasti tarjota sähköenergiaa asiakkaille. Vuonna 2013 voimaan astunut sähkömarkkinalaki määrää Suomessa toimivia sähkönjakeluyhtiöitä toteuttamaan verkolle tietyt käyttövarmuutta ja luotettavuutta koskevat vaatimukset, mikä on saanut sähkönjakeluyhtiöt parantamaan verkon säänvarmuutta sekä hallittavuutta. [1] Sähkömarkkinalain aiheuttaman mittavien sijoitusten ja teknologian edullinen ja kattava saatavuus on saanut sähköverkot muuttumaan entistä enemmän automatisoiduiksi ja valvotuiksi. Sähköverkko pyritään saamaan mahdollisimman etäohjatuksi ja automatisoiduksi, jolloin saadaan parannettua verkon toimitusvarmuutta ja vähennettyä keskeytysten määriä automaatiolla ja paremmilla valvontaa helpottavilla antureilla ja mittalaitteilla. Eräs tapa kehittää sähköverkojärjestelmän automaatiota on hyödyntää jo vuodesta 2000 luvun alusta alkaen kehitettyä sähköaseman automaation standardia IEC 61850 [2]. Standardissa IEC 61850 on määritelty yhdeksi kommunikaatitavaksi Sampled Value -protokolla [2], jota pystytään hyödyntämään sähköverkojärjestelmän erinäisissä komponenteissa.

Automatisoiduilla sähköasemilla ja sähköverkon komponenteilla pystytään valvomaan verkon toimintaa tarkemmin, keräämään enemmän dataa, ohjaamaan verkkoa ilman verkon operaattorin henkilöstöä sekä paikantamaan ja erottamaan vikaantuneet verkon osat. Täten pystytään vähentämään sähkönjakelun keskeytyksestä ja verkon ylläpidosta aiheutuneita kuluja sekä helpottamaan verkon hallintaa ja kehittämistä. Sähköverkojärjestelmä pyritään muuttamaan mahdollisimman digitaaliseksi, jotta sen hallinta olisi helpompaa ja keskitetympää. Työn tavoitteena on selventää sähköasema-automaation standardia IEC 61850 ja standardissa hyödynnettävää Sampled Value -protokollaa sekä selvittää, missä sovelluksissa IEC 61850 -standardia ja Sampled Value -protokollaa hyödynnetään.

Luvussa 2 selvitetään standardin IEC 61850 määrittelemää sähköaseman mallia ja sen tuomia hyötyjä. Luvussa 3 selvennetään Sampled Value -protokollan toimintatapaa ja etuja, joita protokolla tarjoaa kommunikaatiomenetelmänä. Luvussa 4 tarkastellaan Sampled Value -protokollaa hyödyntäviä laitteita. Luvussa 5 tarkastellaan IEC 61850 -standardiin pohjautuvan sähköauton latausjärjestelmää osana hajautettua energiantuotantojärjestelmää ja Sampled Value -protokollan roolia latausjärjestelmässä. Luku 6 sisältää työn yhteenvedon.

2. IEC 61850 -STANDARDI

IEC 61850 -standardi on globaali standardi sähköasema-automaatiolle ja sähkövoimajärjestelmien kommunikaatiojärjestelmään, joka määrittelee sähkövoimajärjestelmän erilaiset kommunikaatiotavat automaation ja suojaukseen. Standardia alettiin kehittää kommunikaatiojärjestelmälle asetettujen vaatimusten pohjalta. Näihin järjestelmän vaatimukseen lukeutuu kyky kuvata itseään, nopea kommunikaatio älykkäiden elektronisten laitteiden (IED) välillä, mahdollisuus käyttää järjestelmää kaikkialla organisaatiossa, standardeihin perustuva, usean toimittajan välinen yhteensopivuus, tuki sähkövoimavoimajärjestelmän näytedatalle, tuki tietoturvalle ja järjestelmän automaattinen konfigurointi [3]. Selkeiden vaatimusten pohjalta ja jatkuvasti kehittyvän tiedonsiirtotekniikan avulla pystyttiin alkamaan kehittää uutta standardia kommunikaatiojärjestelmälle, josta syntyi myöhemmin kansainvälinen standardi IEC 61850 kommunikaatioverkostoille ja -järjestelmille sähköasemissa.

Standardi IEC 61850 sisältää esimerkiksi mallin automatisoidulle sähköasemalle, sähköaseman konfigurointikielen, abstraktin kommunikaatiopalvelurajapinnan, dataluokat ja kommunikaatiopalvelukartoitukset [4]. Standardi koostuu kymmenestä pääosasta, jotka ovat esillä kuvassa 1.

Part #	Title
1-1	Introduction and overview
1-2	Guideline on extending IEC 61850
2	Glossary
3	General requirements
4	System and project management
5	Communication requirements for functions and device models
6	Configuration description language for communication in power utility automation systems related to IEDs
7-1	Basic communication structure - Principles and models
7-2	Basic information and communication structure - Abstract communication service interface (ACSI)
7-3	Basic communication structure - Common data classes
7-4	Basic communication structure - Compatible logical node classes and data object classes
7-410	Basic communication structure - Hydroelectric power plants - Communication for monitoring and control
7-420	Basic communication structure - Distributed energy resources and distribution automation logical nodes
8-1	Specific communication service mapping (SCSM) - Mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3
8-2	Specific communication service mapping (SCSM) - Mapping to Extensible Messaging Presence Protocol (XMPP)
9-2	Specific communication service mapping (SCSM) - Sampled values over ISO/IEC 8802-3
9-3	Precision time protocol profile for power utility automation
10	Conformance testing

Kuva 1: IEC 61850 standardin sisältö [2]

Osiossa 1 sisältää esittelyn ja yleiskuvan standardista. Osiossa 1–2 määritellään ohjeistukset standardin laajentamisesta sen käyttäjille. Osiossa 3, 4 ja 5 tunnistetaan ja määritellään kommunikaatiojärjestelmän yleiset ja täsmälliset toiminnalliset vaatimukset, joiden pohjalta voidaan määritellä standardin toiminnot. Osiossa 6 määritellään sähköase- man sisäisten viestintälaitteiden konfigurointikieli SCL (Substation Configuration Language). SCL on XML-pohjainen ohjelmointikieli, jonka avulla voidaan yksiselitteisesti konfiguroida IEC 61850 pohjautuvien systeemien laitteet hyödyntämällä SCL-tiedostoja [3]. SCL:n avulla pystytään vähentämään merkittävästi laitteiden manuaalista konfigurointia, vähentämään eri toimijoiden väärinkäsityksiä ja virheitä laitteiden konfiguroinnissa ja

tuen järjestelmän laitteiden automaattiseen konfigurointiin. Osiossa 7 määritellään kommunikaatiojärjestelmän kommunikaatorakenne, johon sisältyy kommunikaatiojärjestelmän periaatteet ja käytettävät mallit, abstraktin kommunikaatiopalvelurajapinnan (ACSI) määrittely, yleiset dataluokat (CDC) ja loogiset solmut (LN), jotka toimivat oikeiden laitteiden funktioina [5]. Osiossa 8 ja 9 määritellään kommunikaatiojärjestelmän käyttämien itsenäisten palveluiden ja datan ohjaus taustalla toimiviin protokolliin. Osiossa 8 määritellään tarkemmin abstraktien dataolioiden ja palveluiden ohjaus Manufacturing Message Specification (MMS) -protokollaan ja GOOSE-protokollaan [3]. Osiossa 9-2 määritetään Sampled Value (SV) -datan ohjaus Ethernet-runkoon. Standardin osioissa 7-410 ja 7-420 on määritelty myös IEC 61850 -standardin laajennukset vesivoimalaitoksen, hajautetun tuotannon ja sähköjakelun automatisointiin. Tämän lisäksi IEC 61850 -standardi sisältää useita teknisiä raportteja ja tarkennuksia standardin käyttöön liittyen [2].

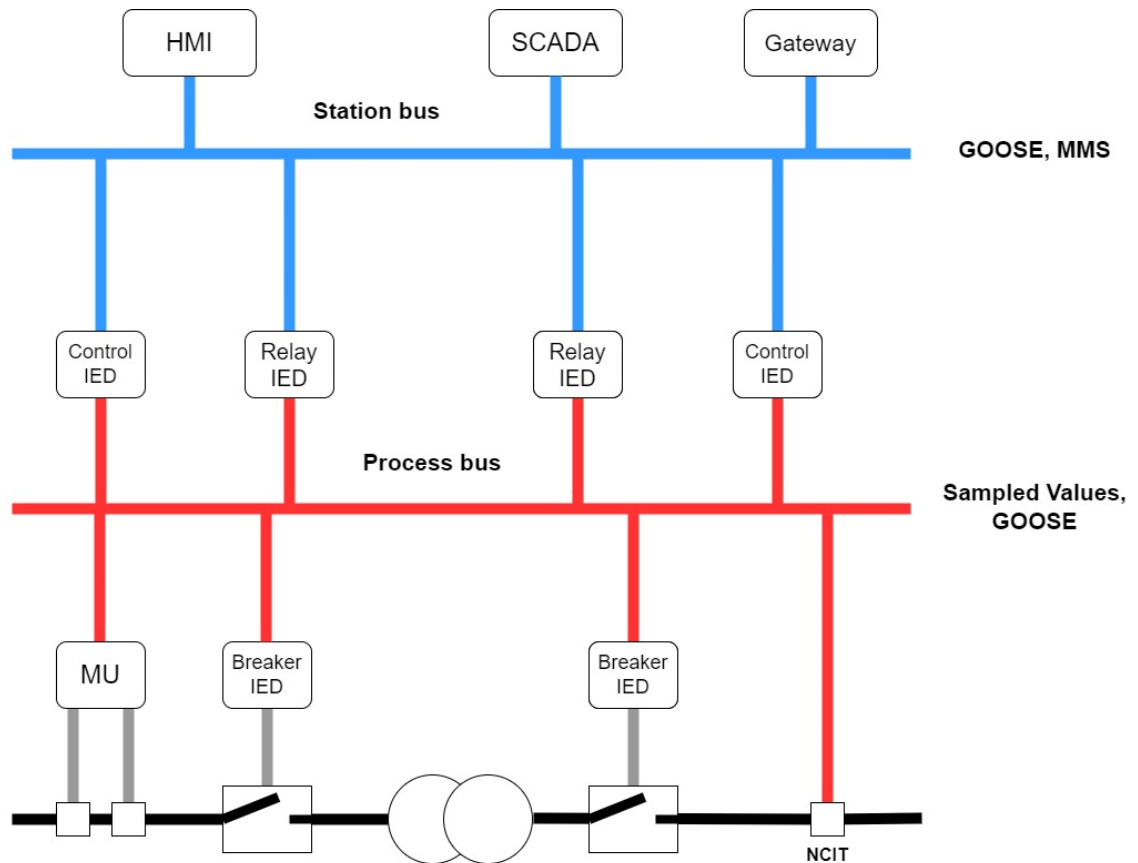
2.1 IEC 61850 -sähköaseman malli

Yhdistämällä IEC 61850 -standardin määrittelemät osa-alueet, voidaan koota standardin määrittelemä malli sähköasemalle, joka näkyy kuvassa 2. Standardin määrittelemä sähköaseman malli voidaan jakaa kolmeen tasoon, jossa jokaisessa on erilaisia laitteita prosessitasoon (Process level), yksikkötasoon (Bay level) ja asematasoon (Station level) [6].



Kuva 2: IEC 61850 -sähköaseman mallin osat [6]

Prosessitasosta löytyy erilaisia toimilaitteita, kuten katkaisijoita, virta- ja jännitemuuntajia sekä Merging Unit -laitteita. Yksikkötasosta löytyy erilaisia älykkäitä toimilaitteita kuten esimerkiksi suojareleitä ja katkaisijoita. Lopulta hierarkkisen rakenteen ylimmältä tasolta, asematasolta, löytyy sähköaseman hallinta- ja valvontalaitteita sekä käyttöliittymiä sähköaseman hallintaa varten.



Kuva 3: IEC 61850 -sähköaseman malli

Sähköaseman mallin tasoja yhdistävät tiedonsiirtoväylien rakennetta ja merkitystä voidaan havainnoida paremmin kuvan 3 avulla. Prosessikerroksen ja yksikkökerroksen välillä siirretään tietoa prosessiväylällä ja yksikkökerroksen ja asemakerroksen välillä tieto siirretään asemaväylällä. Molemmat tiedonsiirtoväylät toimivat Ethernet-standardin mukaisesti.

Prosessikerroksessa kerätään dataa erilaisilla mittalaitteilla. Perinteisillä analogista signaalia tuottavilla mittalaitteilla mittaussignaali ohjataan Merging Unit -laitteisiin, jotka digitalisoivat signaalin Sampled Value -protokollan mukaisesti. NCIT (Non Conventional Instrument Transformer) -laitteisiin kuuluu esimerkiksi digitaaliset ja optiset mittalaitteet. NCIT-laitteiden avulla voidaan lähettää suoraan digitalisoitua Sampled Value -mittausdataa. [7] Digitalisoitu data lähetetään ylemmälle kerrokselle prosessiväylän avulla. Prosessitason mittalaitteet keräävät dataa jännitteestä, virrasta ja sähkövoimajärjestelmän

tilasta [3]. Prosessitason mittalaitteilta on myös mahdollista välittää dataa muista mitattavista suureista, kuten lämpötilasta. Merging Unit -laitteesta kerätty data kulkeutuu yksikkötason toimilaitteille ”publisher/subscriber” mukaisesti. Merging Unit ja NCIT-laitteet toimivat datan julkaisijoina ja älykkäät toimilaitteet, jotka ovat tilanneet Merging Unit- tai NCIT-laitteen julkaisemaan dataa, saavat vastaanotettua kyseisen datan.

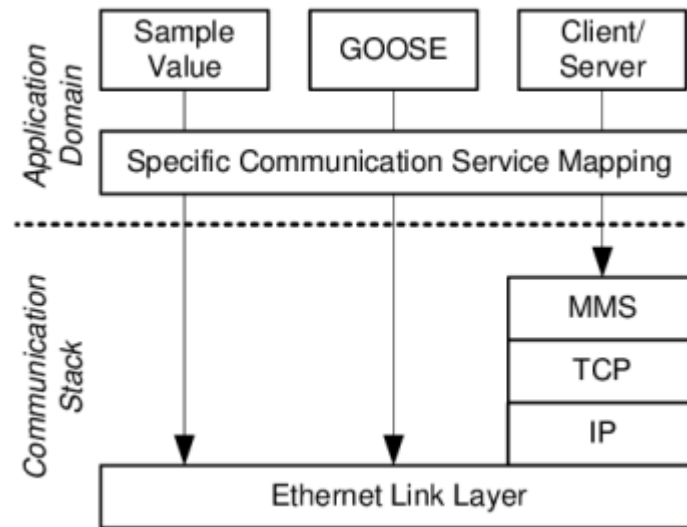
IEC 61850 -standardin mukaisissa järjestelmissä käytetään usein IEEE 1588 -protokollaa (Precision Time Protocol, PTP) järjestelmän laitteiden julkaisijoiden synkronoinnissa [8,9]. Aikasyntronoinnin avulla voidaan varmistua, että järjestelmän laitteet ovat synkronoituja keskenään ja mittaustiedot saadaan mitta- ja Merging Unit -laitteilta tarpeeksi nopeasti. PTP-protokollan mukaisessa synkronoinnissa Ethernetin välityksellä lähetetyt viestit ”aikaleimataan”, jota vertaamalla laitteiden kelloon saadaan synkronoitua laitteet [8,9]. On myös mahdollista käyttää muita keinoja järjestelmän aikasyntronointiin [9].

Asemaväylä toimii Ethernet-pohjaisena tiedonsiirtoväylänä älykkäiden toimilaitteiden välisessä kommunikaatiossa ja yhteytenä asematason hallintalaitteisiin ja käyttöliittymiin, kuten järjestelmän fyysiseen käyttöliittymään (kuvassa 3 HMI) tai ohjauskeskukseen (esimerkiksi SCADA -järjestelmään). Asemaväylä mahdollistaa myös etäyhteyden toteuttamisen muihin verkostossa yhteydessä oleviin järjestelmiin, kuten verkossa toimiviin käyttöliittymiin tai muihin sähköasemiin [5]. Asemaväylän kommunikaatio mahdollistaa esimerkiksi kehittyneempiä sähkövoimajärjestelmän suojaus-, ohjaus- ja valvontatoimintoja [3].

IEC 61850 -standardin mukainen sähkövoimajärjestelmän malli mahdollistaa järjestelmän hallinnan yhdestä etäyhteydestä. Etäyhteydestä voidaan toteuttaa kaikki hallintaan tarvittavat käyttöliittymät, joista voidaan kommunikoida kaikkien järjestelmässä olevien laitteiden kanssa. Etäyhteydestä on mahdollista toteuttaa järjestelmän tietoturvatoinnot, jolloin yksittäisten laitteiden kuormitus vähenee kommunikoidessa etäyhteydessä olevien laitteiden kanssa. [3]

2.2 Standardin protokollat

IEC 61850 -standardissa määritellään kommunikaatiojärjestelmän sisäiseen tiedonsiirtoon kolme protokollaa. MMS (Manufacturing Messaging Specification) -protokollaa käytetään yksikkötason IED-laitteiden ja asematason hallinta- ja valvontalaitteiden väliseen kommunikaatioon. GOOSE (Generic Object-Oriented Substation Events) -protokollaa käytetään järjestelmän IED-laitteiden välisessä kommunikaatiossa. Sampled Value -protokollalla siirretään asematason mittalaitteilta mittaustiedot yksikkötason IED-laitteille. [6] Sampled Value -protokollaa käsitellään laajemmin luvussa 3.



Kuva 4: IEC 61850 -standardin tietoliikenneprofiilit [10]

Kuvassa 4 on esitettyä IEC 61850 -standardin datan ohjaus standardissa käytettäviin protokollisiin. GOOSE- ja Sampled Value -protokollaa käyttävät viestit voidaan suoraan ohjata Ethernet-runkoon ja lähettää Ethernet-väylällä eteenpäin. GOOSE-protokollaa käytetään aikakriittisten toimintojen toteutuksessa, kuten järjestelmän suojauksessa, jolloin protokollalta vaaditaan nopeaa ja luotettavaa tiedonsiirtoa [11]. GOOSE-protokolla toimii IED-laitteiden välisessä tiedonsiirrossa "publisher/subscriber" mallin mukaisesti, jolloin yhdellä viestillä voidaan välittää tietoa useammalle IED-laitteelle. IED-laitteiden lähettämää GOOSE-viestien vastaanottamista ei varmisteta erillisellä viestillä. GOOSE-viestejä lähetetään useita kertoja peräkkäin lisääntyvällä viiveellä, kunnes viestin aiheuttama muutos tapahtuu järjestelmässä. [12]

IEC 61850 -standardin mukaisissa järjestelmissä IED-laitteiden ja asematason laitteiden välisessä kommunikaatiossa hyödynnetään MMS-protokollaa. MMS-protokolla toimii "client/server" periaatteen mukaisesti tiedonsiirrossa [13]. MMS-protokollan "client/server" mallissa "client" on tiedonsiirtoverkossa oleva laite, joka pyytää informaatiota "server" -laitteilta. Mallin "server" -laitteet ovat vastaavasti verkossa olevia laitteita, joilla on "client" -laitteen tarvitsema informaatio. MMS-protokollan "client" -laite pyytää informaatiota "server" -laitteelta, johon "client" -laite saa pääsyoikeuden. [14]

IEC 61850 -standardissa MMS-protokolla ohjataan TCP/IP-protokollaan, mikä on havainnollistettu kuvan 4 protokollapinossa. TCP/IP-protokollalla mahdollistetaan kommunikaatiojärjestelmän "client" -laitteiden pääsyn "server" -laitteisiin IP-osoitteen perusteella. Täten "client" -laitteet pääsevät lukemaan ja kirjoittamaan dataa sekä asettamaan "server" -laitetta. [13] IEC 61850 -standardin mukaisessa kommunikaatiojärjestelmässä

IED-laitteet toimisivat ”server” -laitteina, ja asematason hallintalaitteet, kuten SCADA-järjestelmä ja ohjauskeskuksen tietokoneet toimisivat ”client” -laitteina.

2.3 Standardin hyödyt

Suurimpia haasteista sähkövoimajärjestelmien automatisaatiossa on se, että järjestelmän automatisaation investointien perustelu on hankalaa. Kuitenkin automatisoinnin tuomat edut sähkövoimajärjestelmissä ovat olleet tiedossa: pienemmät käyttökustannukset, parempi sähkönlaatu ja lyhyempi vasteaika keskeytyksiin. Sähkövoimajärjestelmän kommunikaatiojärjestelmän ja laitteiden asettamisella on suuri osuus sähkövoimajärjestelmän rakentamiseen ja käyttöön liittyvissä kustannuksissa, joita ei ole ennen IEC 61850 -standardia osattu huomioida. [4] Standardi IEC 61850 on kehitetty ratkaisemaan myös tämä ongelma ja sen ongelman ratkaisussa hyödynnetään modernia Ethernet-standardia tiedonsiirrossa.

Kappaleessa 2 on esitetty modernit vaatimukset kommunikaatiojärjestelmälle. IEC 61850 -standardi on kehitetty täyttämään kaikki vaatimukset ja tuomaan merkittäviä hyötyjä, joita ei ollut mahdollista saavuttaa aiemmillä kommunikaatiojärjestelmillä. Standardista on tunnistettavissa keskeiset avainpiirteet, jotka tukevat kommunikaatiojärjestelmälle asetettuja vaatimuksia. Keskeisinä avainpiirteinä voidaan tunnistaa datan ja dataobjektien looginen nimeäminen datan sisältämän tiedon tai järjestelmän mukaan. Nimet ovat myös standardisoituja, jolloin järjestelmän konfigurointi ja käyttäminen selkeytyy. Standardissa kaikki laitteet pystyvät määrittämään itsensä, jolloin järjestelmän ulkopuolisten laitteiden yhteensovittaminen helpottuu. Standardi tukee laajoja ja korkean tason palveluita, kuten GOOSE- ja Sampled Value -protokollia sekä standardin mukaiset järjestelmät voidaan konfiguroida standardisoidulla kielellä. [4]

Suurin hyöty, joka saadaan käyttämällä IEC 61850 -standardia, on järjestelmän laitteiden välinen yhteensopivuus riippumatta laitteen valmistajasta tai toimittajasta [6, 15]. Tällöin järjestelmään liitettyjen laitteiden toiminnallisuuksien välillä on hyvin pieniä eroja tai ovat täysin samansaisia riippumatta laitteen valmistajasta. Täten pystytään vähentämään kustannuksia laitteiden konfiguroinnissa ja helpottamaan uusien laitteiden ja sovellusten yhdistämistä järjestelmään [4].

Standardin avulla voidaan vähentää merkittävästi sähköasemien valmistukseen ja käyttöön liittyviä kustannuksia [4]. Ethernet-pohjaiset prosessi- ja asemaväylät mahdollistavat useiden laitteiden välisen kommunikaation käyttämällä vain Ethernet-pohjaisia väyliä tiedonsiirrossa. Näin pystytään vähentämään johdotusten ja johtokanavien tuomia kustannuksia, koska jokaisen yhteydessä olevan laitteen välille ei tarvitse erikseen asentaa

johdinyhteyttä. Standardisoidun konfigurointikielen ansiosta järjestelmän laitteiden käyttöönotto, vaihtaminen ja päivittäminen helppoa ja nopeaa, jonka ansiosta voidaan vähentää kuluja laitteiden konfiguroinnissa. Hyödyntämällä Ethernet-pohjaista tiedonsiirtojärjestelmää sähkövoimajärjestelmän sisällä kuin muualla organisaatiossa, tiedonsiirto sähkövoimajärjestelmän ja muun organisaation järjestelmien, kuten ohjauskeskusten, välillä on yksinkertaisempaa [4]. Täten voidaan vähentää eri järjestelmien väliseen tiedonsiirtoon tarvittavia laitteita, jonka avulla saadaan vähennettyä järjestelmien väliseen tiedonsiirtoon liittyviä kuluja.

IEC 61850 -standardin uudet ja edistyneet ominaisuudet mahdollistavat uusia ja kehittyneempiä toimintoja sähkövoimajärjestelmissä [4]. Tämän lisäksi standardi on suunniteltu tukemaan sähkövoimajärjestelmien kehittymistä [5]. Standardin mukaisten järjestelmien suunnittelu, huoltaminen ja käyttäminen helpottuu pääasiassa standardisoidun konfigurointikielen, itsestään määrittävien älykkäiden laitteiden ja standardoidun tietojärjestelmän sisäisen nimeämiskäytännön ansiosta [5, 15].

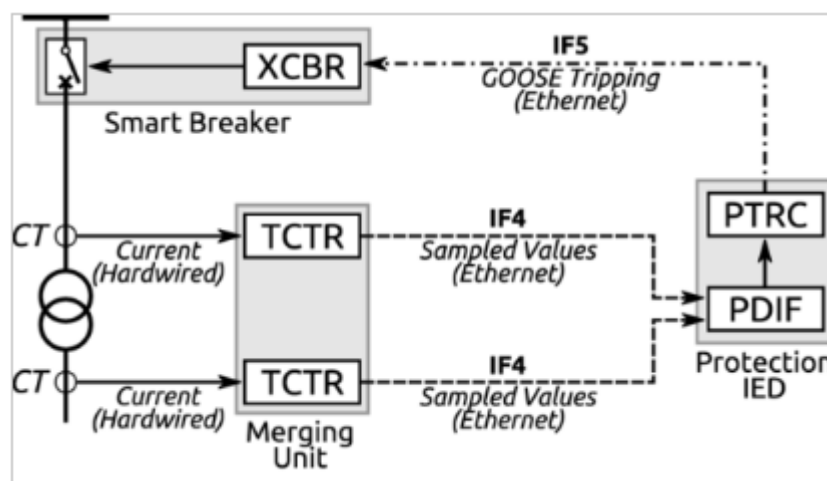
3. SAMPLED VALUE -PROTOKOLLA

Sampled value -protokolla on määritelty standardissa IEC 61850-9-2 mittausdatan hankintaan ja siirtoon kommunikaatiojärjestelmän sisällä [16]. Sampled value -protokolla mahdollistaa yksikkötason ja prosessitason välisten laitteiden nopean tiedonsiirron hyödyntämällä Ethernet-pohjaista prosessiväylää. Nopeiden Sampled Value -viestien avulla mahdollistetaan esimerkiksi reaaliaikaisia suojaus-, valvonta- ja ohjaustoiminnallisuuksia.

3.1 Toimintatapa

Sampled Value -protokollassa siirretään Merging Unit -laitteiden muuntamia analogisia signaaleja tai digitaalisen mittalaitteen muodostamia digitaalisia signaaleja mittalaitteen mittaamista suureista [16]. Sampled Value -viesteillä pystytään siirtämään nopeasti mitattua dataa digitalisoituna Ethernet-viestirungon avulla IED-laitteille. Sampled Value -viestin tehtävää voidaan havainnollistaa kuvassa 5, jossa on toteutettu differentiaalisuojaus hyödyntämällä IEC 61850 -standardin mukaisia laitteita.

Kuvan 5 suojauksen tapauksessa analogiset virtamittalaitteet syöttävät analogista mittausdataa Merging Unit -laitteille. Merging Unit-laite digitalisoi mittausdatan ja lähettää mittausdatan Sampled Value -viestillä LAN-väylän avulla IED-laitteelle, mikä ohjaa katkaisijaa. Sampled Value -viesteillä voidaan välittää miltein reaaliaikaista dataa johtimen virrasta IED-laitteelle, joka voi tehdä päätöksen kytkimen käytöstä.



Kuva 5: Suojauksen toteutus Sampled Value -protokollan avulla [7]

Sampled Value -protokolla toimii "publisher/subscriber" -periaatteen mukaisesti [18], jossa jokin julkaisija (publisher) julkaisee informaatiota. Tilajat (subscriber), jotka ovat

tilanneet julkaisijan lähettämää informaatiota voivat vastaanottaa kyseiseltä julkaisijalta lähetettyä informaatiota.[19] IEC 61850 -standardin mukaisten laitteiden tapauksessa ”publisher/subscriber” -kommunikaatiossa Merging Unit -laitteet ja digitaaliset mittalaitteet, jotka lähettävät Sampled Value -viestejä, toimivat julkaisijoina. Sampled Value -viestejä vastaanottavat IED-laitteet toimivat tilaajina.

Yksi IED-laite pystyy tilaamaan useammalta Merging Unit -laitteelta tai digitaaliselta mittalaitteelta mittausdataa. Jokainen prosessiväylän LAN-verkkoon lähetetty Sampled Value -viesti lähetetään tietyllä otsikolla. Kaikki prosessiväylän LAN-verkossa olevat IED-laitteet vastaanottavat Merging Unit -laitteen tai digitaalisen mittalaitteen lähettämän Sampled Value -viestin, mutta IED-laitteet voivat suodattaa pois kaikki Sampled Value -viestit joiden otsikko ei vastaa tilatun viestin otsikkoa. Täten IED-laite käsittelee vain viestejä, joita kyseinen IED-laite on tilannut. [18] Kun yksittäinen julkaisija voi lähettää usealle tilaajalle dataa, voidaan usean julkaisijan ja tilaajan systeemissä saavuttaa yksittäisille laitteille tietyn tason korvattavuus, jolla voidaan parantaa systeemin luotettavuutta [20].

UCAiug (Utility Communications Architecture International Users Group) on julkaissut suosituksen IEC 61850-9-2 -standardin ja Sampled Value -protokollan käytöstä [21]. Suositusta kutsutaan nimellä ”9-2 Light Edition” ja se määrittelee yksinkertaistetut suositukset IEC 61850-9-2 -standardin mukaisen prosessiväylän toteuttamiselle ja käytölle [16]. 9-2 LE ei ole standardi vaan standardin pohjalta tehdyt suositukset, joilla pyritään helpottamaan IEC 61850 -standardin käyttäjiä [21]. 9-2 LE ohjeistuksessa määritellään Sampled Value -datapakettien koko, näytteenottotaajuudet, aikasynkronoinnin vaatimukset ja fyysiset käyttöliittymät.

9-2 LE suosituksen mukainen laite julkaisee säännöllisin väliajoin prosessiväylän LAN-verkkoon Sampled Value -viestejä. Sampled Value -viestien välinen aika riippuu mitatun signaalin taajuudesta ja näytteenottotaajuudesta [18]. 9-2 LE suositus määrittelee näytteenottotaajuudeksi 80 tai 256 näytettä per taajuus-sykli. 80 näytteen näytteenottotaajuutta käytetään tavallisten suojaus- ja ohjaustoiminnallisuuksien toteuttamiseen ja 256 näytteen näytteenottotaajuutta käytetään korkean taajuuden vaatimiin toiminnallisuuksien toteuttamiseen, kuten sähkönlaadun seurantaan [22].

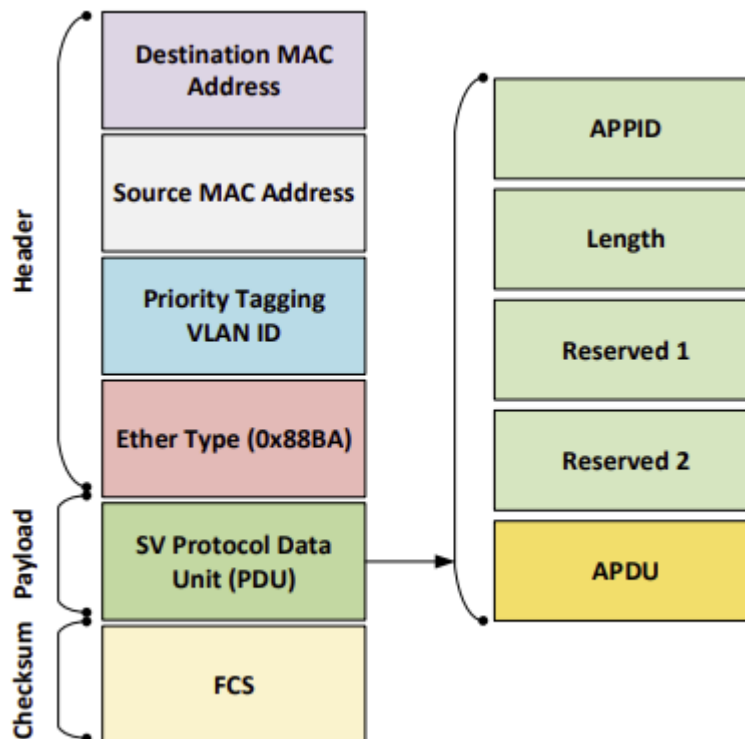
3.2 Sampled Value -viesti

Sampled Value -data pakataan Ethernet-viestin runkoon, jotta Sampled Value -viestejä voidaan lähettää Ethernet pohjaiseen prosessiväylään. Kuvassa 6 on esitetty Ethernet-runkoon perustuva Sampled Value -viestin runko ja SVPDU (Sampled Value Protocol

Data Unit) -kentän rakenne. SVPDUkenttä sisältää Sampled Value -protokollan vaatiman datan.

Sampled Value -viestin rakenne voidaan jakaa kolmeen osaan: otsikkoon (header), hyötykuormaan (payload) ja tarkistussummaan (checksum). Sampled Value -viestin otsikko sisältää viestin lähteen ja kohteen MAC-osoitteet, VLAN-tunnisteen ja Sampled Value -viestille uniikin "Ether Type" -kentän, jolla tunnistetaan hyötykuormassa käytetty protokolla. Sampled Value -viestin hyötykuorma sisältää SVPDU-kentän. Tarkistussumma -kentällä tarkistetaan, ettei viestissä ole virheitä. [17]

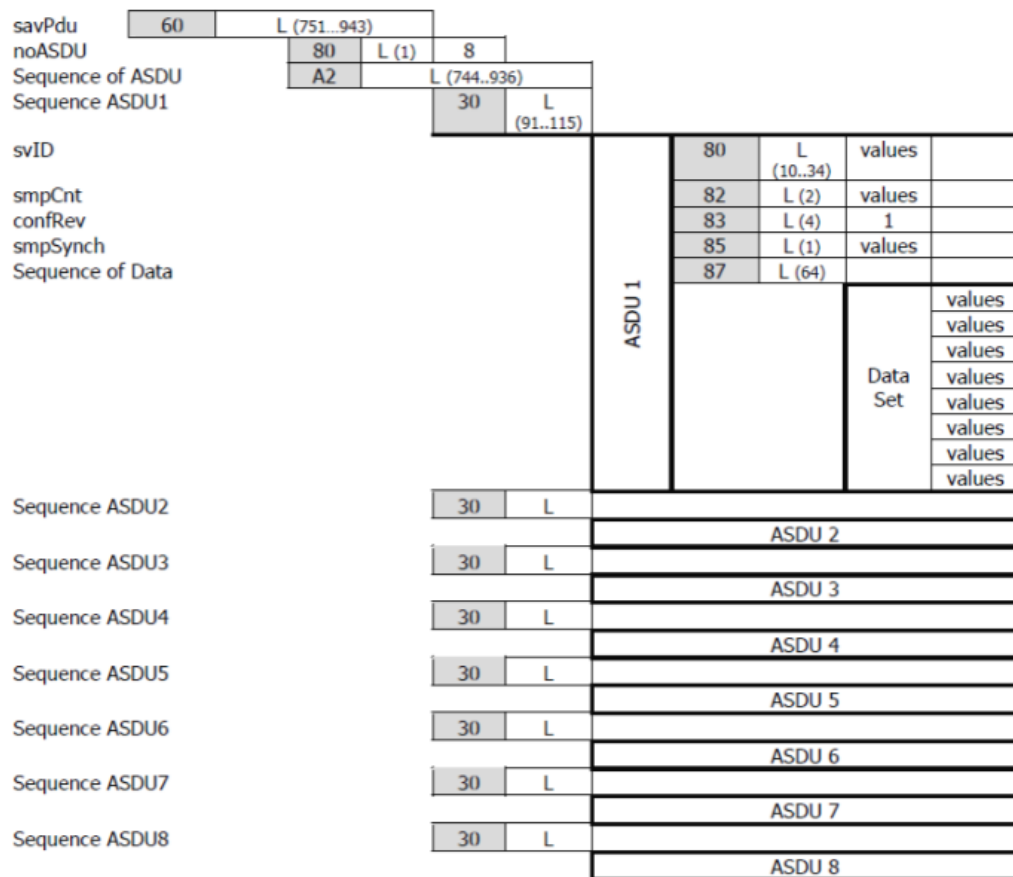
SVPDU-kenttä koostuu APPID (Application ID) kentästä, Length-kentästä, APDU (Application Protocol Data Unit) -kentästä ja kahdesta varalla olevasta kentästä. APPID-kenttä sisältää Sampled Value -viestille ominaisen otsikon, jolla tunnistetaan Sampled Value -viestit. Length-kenttä sisältää SVPDU-kentän pituuden. Kentät "Reserved 1" ja "Reserved 2" ovat varalla muita mahdollisia sovelluksia varten. [17]



Kuva 6: Sampled Value -viestin ja SVPDU-kentän rakenne [17]

Kuvassa 7 on esitetty APDU-kentän rakenne. APDU-kenttä koostuu kahdeksasta ASDU (Application Specific Data Unit) -kentästä, jotka sisältää näytteistetyn Sampled Value -datan. 9-2 LE suositusten mukaan yhteen ASDU-kenttään pakataan kahdeksan näytettä, jokaisen vaiheen virta- ja jännitenäyte, sekä nollajohtimen jännite ja virta. Jokaisesta ASDU-kentästä löytyy SVID-kenttä, joka on jokaiselle ASDU-kentälle ominainen

tunniste. SVID-kenttä sisältää Sampled Value -datan otsikon, jota viestien tilaajat käyttävät suodattamaan tilatut viestit. ASDU-kenttiä on mahdollista pienentää jos halutaan lähettää eteenpäin esimerkiksi vain dataa virrasta, jolloin jännitteelle varatut kentät jätettäisiin tyhjiksi [20]. ASDU-kenttään on mahdollista pakata dataa muista mitatuista suureista, kuten lämpötilasta, jos Sampled Value -protokollaa ei käytetä 9-2 LE suositusten mukaisesti.



Kuva 7: APDU-kentän rakenne [18]

3.3 Sampled Value -protokollan hyödyt

Osa Sampled Value -protokollan tuomista hyödyistä on samankaltaisia kuin IEC 61850 -standardin tuomat hyödyt johtuen siitä, että IEC 61850 -standardin hyödyt saavutetaan käyttämällä Sampled Value -protokollaa. Sampled Value -viestit täytyy muodostaa Merging Unit -laitteessa tai digitaalisessa mittalaitteessa, lähettää LAN-verkkoon ja käsitellä IED-laitteissa alle kolmen millisekunnin aikana [23]. Täten mitattu data saadaan siirrettyä nopeasti IED-laitteille, jotka tekevät päätöksiä saadun datan perusteella. Nopeiden Sampled Value -viestien avulla voidaan mahdollistaa esimerkiksi sähköverkkojen suojaustoimintoja ja nopeuttaa merkittävästi suojauksen toiminta-aikaa.

Sampled Value -viestit mahdollistavat myös LAN-väylän käyttämisen mittalaitteiden ja IED-laitteiden välillä. LAN-väylän avulla Sampled Value -viestit voidaan lähettää nopeasti ja hyödyntää "publisher/subscriber" -kommunikaatiomenetelmää lähettämään sama Sampled Value -viesti usealle eri IED-laitteelle. LAN-väylän avulla pystytään myös vähentämään merkittävästi kustannuksia, jotka aiheutuisivat yksittäisistä laitteiden välisistä analogisista yhteyksistä ja uusien laitteiden liittamisestä tiedonsiirtoverkkoon. [17]

Sampled Value -data lähetetään pakattuna standardisoituun ja selkeään Ethernet-runkoiseen Sampled Value -viestiin, jossa on uniikki tunnistetsikko [17]. Tällöin pystytään toteuttamaan "publisher/subscriber" -kommunikaatiomenetelmä prosessiväylän laitteiden välillä. Tämän lisäksi Sampled Value -viestintää käyttävien laitteiden on helppo muodostaa ja purkaa Sampled Value -viestien sisältämä data uniikin tunnistetsikon ja selkeän rakenteen ansiosta. Standardisoidun ja selkeän viestirakenteen ansiosta uusien Sampled Value -protokollaa hyödyntävien laitteiden asettaminen selkeytyy ja tulee edullisemmaksi.

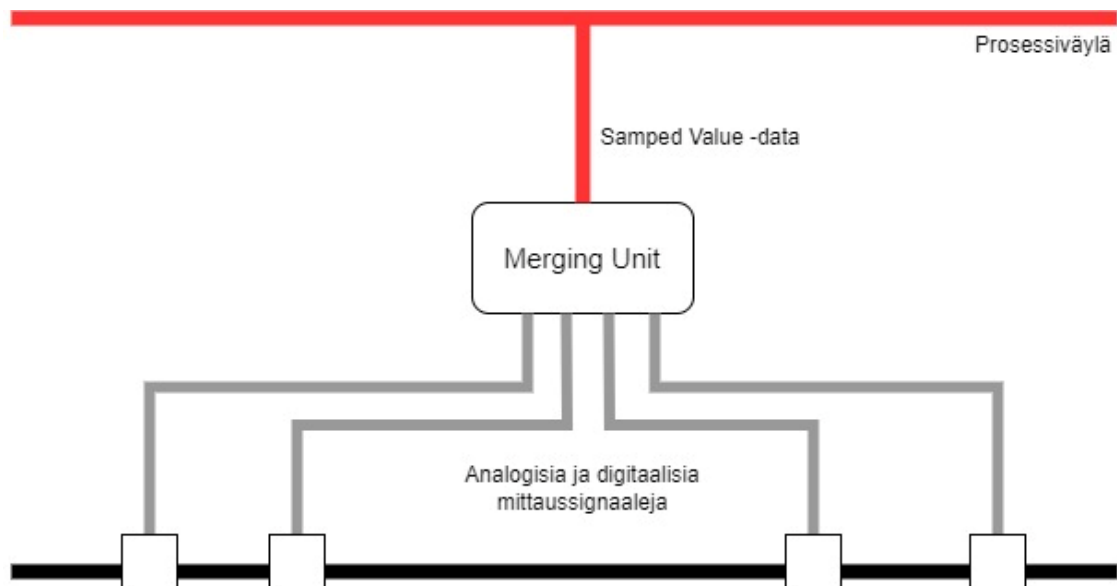
Datan välittäminen Sampled Value -protokollan avulla mahdollistaa IEC 61850 -standardin mukaisten laitteiden yhteensopivuuden [17]. Laitteet, jotka tukevat IEC 61850 -standardia ja Sampled Value -protokollaa pystyvät käsittelemään Sampled Value -viesteillä välitettyä mittausdataa, jonka avulla mahdollistetaan eri toimittajien laitteiden yhteensopivuus, mikä on myös yksi IEC 61850 standardin tuomista hyödyistä.

4. SAMPLED VALUE -PROTOKOLLA HYÖDYNTÄVÄT LAITTEET

4.1 Merging Unit -laitteet

IEC 61850 -standardin mukaisen Merging Unit -laitteen tehtävänä on näytteistä mittalaitteilta saatua dataa ja lähettää se IED-laitteille Sampled Value -viestien avulla [24, 25]. Merging Unit -laite pystyy vastaanottamaan analogista tai digitaalista mittaussignaalia useammasta mittalaitteesta ja lähettämään ne digitalisoituna halutulla menetelmällä eteenpäin [26]. Merging Unit -laitteiden avulla voidaan hyödyntää analogista signaalia tuottavia mittalaitteita digitaalisissa kommunikaatiojärjestelmissä, sillä Merging Unit -laite toimii rajapintana analogisten ja digitaalisen järjestelmän välissä.

Kuvassa 8 havainnollistetaan Merging Unit -laitteen merkitystä ja toimintaa. Merging Unit -laite sijoitetaan IEC 61850 -standardin hierarkkisessa mallissa kommunikaatiojärjestelmän prosessitasoon mittalaitteiden ja muiden mahdollisten prosessitason laitteiden kanssa. Sähkövoimajärjestelmän tilasta saadaan analogisia ja digitaalisia signaaleja mittalaitteilta, jotka Merging Unit -laite kerää, näytteistää ja digitalisoi. IEC 61850 -standardin mukainen Merging Unit -laite julkaisee mittausdatan Sampled Value -viestien avulla prosessiväylään.



Kuva 8: Merging Unit -laitteen toimintaperiaate

Merging Unit -laitteita on saatavilla useilta sähköverkon komponentteja valmistavilta toimittajilta. Merging Unit -laitteita valmistetaan toimimaan IEC 61850 -standardin mukaisessa järjestelmässä, jolloin Merging Unit -laite pystyy kommunikoimaan järjestelmän

muiden laitteiden kanssa ilman ylimääräisiä protokollanmuunnoksia [27]. Vaikka Merging Unit -laitteet valmistetaan yhteensopiviksi IEC 61850 -standardin mukaisten järjestelmien kanssa, eri valmistajien laitteet eivät ole välttämättä yhteensopivia toistensa kanssa. Eri valmistajien välisten laitteiden yhteensopimattomuus johtuu siitä, että IEC 61850 -standardi ei ole täysin yksikäsitteinen ja se määrittelee vaihtoehtoisia toimintoja, joita eri valmistajat saattavat hyödyntää erilaisin toteutuksin. [27, 28] Laitteiden välistä yhteensopivuutta on mahdollista kokeilla erilaisilla testausmenetelmillä. Lisäämällä testattuihin laiteisiin sertifikaatin läpäistyistä yhteensopivuustesteistä, voitaisiin helpottaa eri valmistajien välisten laitteiden yhteensopivuutta ja olemassa olevien järjestelmien laitteiden yhteensopivuutta uusien laitteiden kanssa. [28]

4.2 Low Power Instrument Transformers

Low Power Instrument Transformers (LPIT) ovat pienitehoisiin mittausperiaatteisiin pohjautuvia mittamuuntajia. Rogowskin käämi ja jännitteenjakajat ovat tyypillisiä mittausperiaatteita, joihin LPIT-mittamuuntajien mittaukset perustuvat [29]. Rogowskin käämiin pohjautuvilla mittalaitteilla voidaan mitata virtaa ja jännitteenjakajiin pohjautuvilla mittalaitteilla jännitettä.

LPIT-mittamuuntajat pystyvät lähettämään digitaalista tai pienitehoista analogista mitaussignaalia, jonka teho on vain muutamia volttiampeereja [30]. LPIT-mittamuuntajat voidaan valmistaa IEC 61850 -standardin mukaisesti, jolloin mittalaite kykenee lähettämään Sampled Value -viestejä [31]. Tällöin IEC 61850 -standardin mukaisissa järjestelmissä LPIT-mittamuuntajat toimivat julkaisijoina prosessiväylässä ja Merging Unit -laitteiden käytölle ei ole tarvetta mittaussignaaleiden muuntamisessa.

LPIT-mittamuuntajat ovat yleistymässä sähköenergiajärjestelmien mittalaitteina. LPIT-mittamuuntajia voidaan käyttää sähköenergiajärjestelmän suojaukseen, mittaukseen ja hallintaan. Lisäksi LPIT-mittamuuntajia on mahdollista käyttää sähkönlaadun ja kulutuksen valvonnassa. [29] LPIT-mittamuuntajien yleistymistä sähköenergiajärjestelmien mittalaitteina selittää se, että LPIT-mittamuuntajat ovat pienempiä ja kevyempiä kuin perinteiset mittalaitteet [32]. Tämän ansiosta mittauksia vaativat sovellukset, kuten keskijännitekojeistot, pystytään toteuttamaan kompaktimmassa koossa. LPIT-mittamuuntajia on laajasti saatavilla markkinoilla ja moni toimittaja tarjoaa LPIT-mittamuuntajia osana isompia tuotekokonaisuuksia [32, 33]. LPIT-mittamuuntajien etuna on myös mahdollisuus toteuttaa useampi järjestelmän toiminnallisuus yhdellä mittalaitteella [32]. LPIT-mittamuuntajan tuottaman digitaalisen signaalin ansiosta yhdellä mittamuuntajalla voidaan toteuttaa mittaukset esimerkiksi järjestelmän suojausta ja sähkönlaadun valvontaa varten.

4.3 Intelligent Electronic Devices

IED (Intelligent Electronic Device) -laitteet voidaan määrittellä usealla eri tavalla. IED-laite voidaan määrittellä esimerkiksi seuraavalla tavalla: IED-laite on mikrokontrollereilla toimiva laite, joka on asetettavissa käyttäjän toimesta [34]. IEC 61850 -standardin mukaisissa järjestelmissä ja sähköverkoissa kuitenkin IED-laitteella tarkoitetaan usein älykäitä suojarkeitä ja ohjauslaitteita.

IEC 61850 -standardin mukaisessa järjestelmässä IED-laitteet ovat sijoitettuna yksikkötasoon. IED-laitteiden tehtävänä on toteuttaa erilaisia sähkövoimajärjestelmän hallintakomentoja, kuten järjestelmän suojaus- tai ohjauskomennot. IED-laitteet kykenevät kommunikoimaan toisten IED-laitteiden kanssa GOOSE-viesteillä, jonka avulla IED-laitteilla toteutettuja toiminnallisuksia saadaan parannettua. [35] IEC 61850 -standardia tukevat IED-laitteet kykenevät vastaanottamaan Sampled Value -viestejä [36, 37]. IED-laitteet vastaanottavat järjestelmästä otettua mittausdataa Sampled Value -viesteillä, joiden perusteella IED -laitteet tekevät päätöksiä järjestelmän hallinnasta. IED-laitteet kommunikoivat muiden IED-laitteiden kanssa GOOSE-protokollan avulla ja asematason laitteiden kanssa MMS-protokollan avulla.



Kuva 9: ABB REF615 suojarle [36]

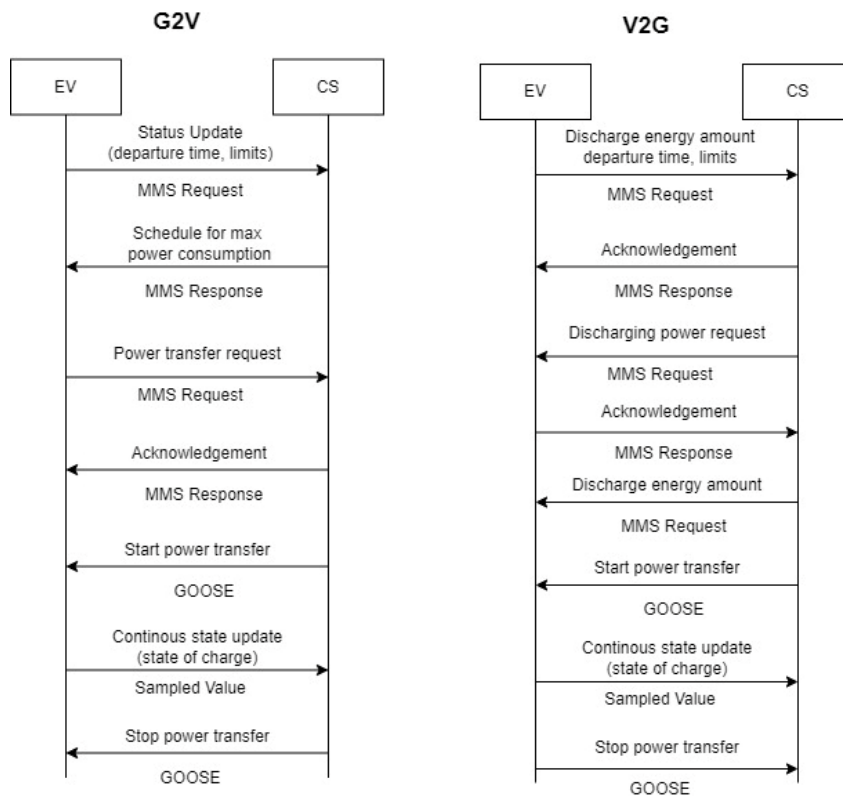
Kuvassa 9 on esitetty ABB:n valmistama suojarle. IED-laitteissa on usein fyysinen käyttöliittymä laitteen asettamista varten [35]. ABB:n suojarleessä käyttöliittymä on sijoitettu laitteen etuosaan, mikä on nähtävissä kuvassa 9. Fyysisen käyttöliittymän lisäksi IED-laitteissa on usein mahdollisuus asettaa laite etänä verkon kautta valmistajien tarjoamilla ohjelmistoilla [35, 36, 37]. Yhdellä IED-laitteella voidaan toteuttaa useita eri toimintoja

järjestelmän sisällä. Riippuen IED-laitteen toiminnoista, laitteella voidaan toteuttaa esimerkiksi sähkönlaadun valvontaa, järjestelmän suojaus ja järjestelmän ohjaustoimintoja.
[36, 37]

5. IEC 61850 -POHJAINEN SÄHKÖAUTOJEN LA-TAUSJÄRJESTELMÄ

Sähköautojen lisääntyvä määrä aiheuttaa sähköverkoille merkittävän kuormituksen kasvun. Koordinoidulla sähköautojen lataamisella voidaan vähentää sähköautojen yhtäaikaista lataamisesta aiheutuvia haittoja, kuten tehohäviöitä ja jännitetason muutoksia sähköverkoissa. [38] Koordinoidun sähköautojen lataamisen tehokkaaseen hyödyntämiseen tarvitaan luotettava kommunikaatiojärjestelmä myös latausaseman ja sähköauton välille. Latausaseman ja sähköauton välinen kommunikaatiojärjestelmä voidaan toteuttaa IEC 61850 -standardin mukaisesti [39]. Sähköautojen integrointi osaksi sähköenergiajärjestelmää on huomioitu standardissa IEC 61850 määrittämällä sähköauton ja latausaseman informaatiomallit standardin laajennoksessa IEC 61850-90-8 [40].

Sähköauton ja latausaseman välinen kommunikaatio mahdollistaa sähköautojen käyttämisen hajautettuna energiavarastona. Järjestelmää, jossa sähköauton akkua voidaan purkaa tukemaan sähköverkkojärjestelmää, kutsutaan V2G (Vehicle To Grid) -järjestelmäksi [38]. V2G-järjestelmää voidaan käyttää tukemaan hajautettua energiantuotantoa, kuten aurinkovoimaa, sähköverkoissa toimimalla liikkuvana energiavarastona.



Kuva 10: Sähköauton ja latausaseman välinen kommunikaatio

Kuvassa 10 on esitetty IEC 61850 -standardiin pohjautuvan kommunikaatiojärjestelmän viestintää sähköauton (EV) ja latausaseman (CS) välillä. Hajautetun sähköenergiajärjestelmän näkökulmasta, sähköauto ja latausasema voivat toimia kahdessa tilassa. G2V (Grid To Vehicle) tilassa sähköauton akkua ladataan verkosta ja V2G (Vehicle To Grid) tilassa sähköauton akkua puretaan sähköverkkoon. Molemmissa toimintatiloissa latausasema saa tiedon hajautetun sähköenergiajärjestelmän tilasta, kuten ennusteet verkon kuormituksesta, sähköntuotannosta ja sähkön hinnasta [40]. Sähköauton kytkeytyessä latausasemaan, sähköauto välittää latausasemalle tietoa auton toimintatilasta, kuten akun varaustilasta, arvioidusta lähtöajasta ja akun lataamisen ja purkamisen rajoituksista. Tilatietojen välittämisen jälkeen, sähköauto ja latausasema kommunikoivat energiansiirron suunnasta, määrästä ja aikataulusta riippuen sähköauton ja hajautetun energiajärjestelmän tarpeista. Sähköauton ja latausaseman välinen kommunikaatio auton tilasta ja akun lataamisesta tai purkamisesta toteutetaan MMS-protokollan avulla.

Sähköauton akkua ladataessa tai purkaessa, GOOSE-protokollalla kommunikoidaan kun halutaan aloittaa tai lopettaa jokin toiminto. Sähköauton latausjärjestelmässä GOOSE-viesteillä yleisesti aloitetaan tai lopetetaan energiansiirto sähköauton ja latausaseman välillä. Sähköautojen latausjärjestelmissä Sampled Value -protokollaa käytetään välittämään jatkuva-aikaisia mittaustietoja sähköautosta latausasemalle [39]. Pääasiassa sähköautolta välitetään Sampled Value -viestien avulla latausasemalle vain sähköauton akun varaustila (state of charge). Sähköauton ja latausaseman välillä kommunikoidaan Sampled Value -viesteillä vain sähköauton akun latauksen tai purkamisen aikana, mitä on havainnollistettu kuvassa 9. Mikäli sähköautolta halutaan lähettää muita mittauksia sähköautosta latauksen aikana latausasemalle, voidaan hyödyntää Sampled Value -viestejä välittämään jatkuva-aikaisesti myös muita mittauksia kuin pelkän akun varaustila.

Latauksen aikana akun varaustilasta otetaan mittauksia IEC 61850-9-2 -standardin mukaisesti. Sähköauton latauksen aikana, akun varaustilasta ei ole tarpeen ottaa useita mittauksia sekunnin aikana, sillä esimerkiksi yksi mittaus minuutissa on riittävä mittaustaajuus sähköauton latausta varten. Useissa sähkövoimajärjestelmän sovelluksissa hyödynnetään IEC 61850-9-2LE -suositusta Sampled Value -protokollan käytöstä. 9-2LE määrittelee Suomen sähkövoimajärjestelmässä pienemällä näytteenottotaajuudella 4000 mittauksen lähettämisen yhden sekunnin aikana. 4000 mittauksen lähettäminen sekunnin aikana on liian suuri mittaustaajuus sähköauton lataamista varten, jolloin on IEC 61850-9-2 -standardia on käytettävä erilaisella toteutuksella. [39] Eri valmistajien välinen yhteensopivuus sähköautojen latausjärjestelmissä saattaa hankaloitua, ellei IEC

61850-9-2 -standardille kehitettä 9-2LE:n tapaista suositusta sähköautojen latausjärjestelmille.

6. YHTEENVETO

IEC 61850 -standardi on käytössä laajasti sähkövoimajärjestelmien kommunikaatiojärjestelmien toteutuksessa. Hyödyntämällä standardia voidaan pienentää sähkövoimajärjestelmien rakennukseen ja käyttöön liittyviä kuluja merkittävästi. Standardin avulla mahdollistetaan järjestelmän laitteiden välinen yhteensopivuus sekä järjestelmän asettaminen yksinkertaistuu.

IEC 61850 -standardissa määritellyn Sampled Value -protokollan avulla mahdollistetaan nopea mittausdatan siirto. Sampled Value -protokollalla siirretään dataa sähkövoimajärjestelmän tilasta mittalaitteilta IED-laitteille käyttämällä Ethernet-pohjaista tiedonsiirtoväylää. Standardoidun tiedonsiirtoprotokollan ansiosta helpotetaan sähkövoimajärjestelmien laitteiden välistä yhteensopivuutta ja asettamista. Sampled Value -protokollan käytöstä on julkaistu suositus IEC 61850-9-2 LE, joka entisestään helpottaa Sampled Value -protokollaa käyttävien järjestelmien käyttöä ja asettamista.

Sampled Value -protokollaa voidaan hyödyntää lähes kaikkialla sähköverkossa. Sähköverkoissa olevat yleiset komponentit, IED-laitteet, Merging Unit -laitteet ja digitaaliset mittalaitteet, kykenevät hyödyntämään Sampled Value -protokollaa. Sampled Value -protokollaa hyödyntäviä laitteita käytetään esimerkiksi sähköverkojen suojaukseen, hallintaan ja valvontaan. Sampled Value -protokollaa hyödynnetään usein IEC 61850 -standardiin pohjautuvien kommunikaatiojärjestelmien mittausdatan siirtoon. IEC 61850 -standardia ja Sampled Value -protokollaa on mahdollista hyödyntää esimerkiksi sähköautojen ja latausasemien välisissä kommunikaatiojärjestelmissä.

IEC 61850 -standardin mukaisilla järjestelmillä pyritään saavuttamaan laitteiden välinen yhteensopivuus laitteen valmistajasta riippumatta. Standardin avulla ei kuitenkaan pystytä toteuttamaan laitteita ja niiden välistä kommunikaatiota täysin yksikäsitteisesti, jolloin standardin mukaisten järjestelmien toteutukset poikkeavat toisistaan. Uusien IEC 61850-9-2 LE mukaisten suositusten julkaiseminen erilaisille sähköverkon sovelluksille auttaisi ylläpitämään järjestelmän laitteiden välistä yhteensopivuutta.

LÄHTEET

- [1] Hiitola P. SÄHKÖMARKKINALAKI JA SEN VAIKUTUKSET VERKKOURA-KOITSIJOIHIN. Oulun ammattikorkeakoulu; 2018.
- [2] IEC 61850:2023 SER | IEC Webstore | LVDC [Internet]. [viitattu 17. huhtikuuta 2023]. Saatavissa: <https://webstore.iec.ch/publication/6028>
- [3] Baigent D, Multilin G, Mackiewicz R. Communication Networks and Systems In Substations: An Overview for Users. Protection&Control Journal 8th Edition [Internet]. 2009 [viitattu 12. maaliskuuta 2023]. Saatavissa: https://www.gegridsolutions.com/multilin/journals/issues/pcj_spring2009.pdf
- [4] Mackiewicz RE. Overview of IEC 61850 and Benefits. Teoksessa: 2006 IEEE PES Power Systems Conference and Exposition. 2006. s. 623–30.
- [5] Zhang J, Gunter CA. IEC 61850 - Communication Networks and Systems in Substations: An Overview of Computer Science. 2007 [viitattu 12. maaliskuuta 2023]; Saatavissa: https://www.researchgate.net/profile/Jianqing-Zhang-6/publication/229008227_IEC_61850-Communication_Networks_and_Systems_in_Substations_An_Overview_of_Computer_Science/links/0a85e534489932b57f000000/IEC-61850-Communication-Networks-and-Systems-in-Substations-An-Overview-of-Computer-Science.pdf
- [6] Basic understanding of IEC 61850 - What are the key aspects? [Internet]. SGRwin.com. [viitattu 12. maaliskuuta 2023]. Saatavissa: <https://www.sgrwin.com/basic-understanding-iec-61850/>
- [7] Ingram DME, Schaub P, Taylor RR, Campbell DA. Performance Analysis of IEC 61850 Sampled Value Process Bus Networks. IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2013;9(3):1445–54.
- [8] Han M, Crossley P. Vulnerability of IEEE 1588 under Time Synchronization Attacks. Teoksessa: 2019 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM). 2019. s. 1–5.
- [9] Han M, Guo H, Crossley P. IEEE 1588 time synchronisation performance for IEC 61850 transmission substations. International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2019;107:264–72.
- [10] Kasittula R. IEC 61850 -standardi palvelinkeskus- suunnittelussa. Metropolia Ammattikorkeakoulu; 2020.
- [11] Reda HT, Ray B, Peidaee P, Anwar A, Mahmood A, Kalam A, ym. Vulnerability and Impact Analysis of the IEC 61850 GOOSE Protocol in the Smart Grid. Sensors. 2021;21(4):1554
- [12] Rashid M, Yussof S, Yusoff Y. Trust System Architecture for Securing GOOSE Communication in IEC 61850 Substation Network. International Journal of Security and Its Applications. 2016;10:289–302.

- [13] IEC 61850 MMS Protocol [Internet]. [viitattu 7. toukokuuta 2023]. Saatavissa: https://www.typhoon-hil.com/documentation/typhoon-hil-software-manual/References/iec_61850_mms_protocol.html
- [14] Matoušek P. Description of IEC 61850 Communication. Faculty of Information Technology BUT; 2018.
- [15] IEC 61850 Power Industry Communications Standard [Internet]. automation.com. [viitattu 12. maaliskuuta 2023]. Saatavissa: <https://www.automation.com/en-us/articles/2003-1/iec-61850-power-industry-communications-standard>
- [16] Kapuge Kariyawasam Mudalige Sachintha, Kariyawasam. Implementation of an IEC 61850 Sampled Values Based Line Protection IED with a New Transients-Based Hybrid Protection Algorithm. University of Manitoba; 2016.
- [17] Hariri M, Harmon E, Youssef T, Saleh M, Habib H, Mohammed O. The IEC 61850 Sampled Measured Values Protocol: Analysis, Threat Identification, and Feasibility of Using NN Forecasters to Detect Spoofed Packets. *Energies*. 2019;12:3731.
- [18] IEC 61850 Sampled Values protocol [Internet]. [viitattu 25. maaliskuuta 2023]. Saatavissa: https://www.typhoon-hil.com/documentation/typhoon-hil-software-manual/References/iec_61850_sampled_values_protocol.html
- [19] Nour B, Sharif K, Li F, Yang S, Mounгла H, Wang Y. ICN Publisher-Subscriber Models: Challenges and Group-based Communication. *IEEE Network*. 2019;33(6):156–63.
- [20] Starck J, Hakala-Ranta A, Stefanka M. Switchgear Optimization Using IEC 61850-9-2 and Non-Conventional Measurements. 2012 [viitattu 30. maaliskuuta 2023]; Saatavissa: <https://library.abb.com/d/OP002%20Switchgear%20Optimization%20Using%20IEC%2061850-9-2%20and%20Non-Conventional%20Measurements.pdf>
- [21] UCA International Users Group, "Implementation guideline for digital interface to instrument transformers using IEC 61850," R2-1, UCA Int. Users Group, Raleigh, NC, USA, 2004.
- [22] Adewole AC, Tzoneva R. Impact of IEC 61850-9-2 Standard-Based Process Bus on the Operating Performance of Protection IEDS: Comparative Study. *IFAC Proceedings Volumes*. 2014;47(3):2245–52.
- [23] Rodríguez M, Lázaro J, Bidarte U, Jiménez J, Astarloa A. A Fixed-Latency Architecture to Secure GOOSE and Sampled Value Messages in Substation Systems. *IEEE Access*. 2021;9:51646–58.
- [24] Gaouda AM, Abdrabou A, Shaban KB, Khairalla M, Abdrabou AM, El Shatshat R, ym. A Smart IEC 61850 Merging Unit for Impending Fault Detection in Transformers. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2018;9(3):1812–21.
- [25] Del Prete S, Delle Femine A, Gallo D, Landi C, Luiso M. Implementation of a distributed Stand Alone Merging Unit. *J Phys: Conf Ser*. 2018;1065:052042.

- [26] Gurbiel M, Blumschein J, Dzienis C, Lang G, Styczynski ZA. Digital interface for IEC 61850. Requirements and accuracy definitions. Teoksessa: CIRED 2009 Electricity Distribution - Part 1. 2009. s. 1–4.
- [27] Anombem U, Li H, Crossley P, An W, Zhang R, Mctaggart C. Performance testing and assessment of Merging Units using IEC61850. Teoksessa: 2011 International Conference on Advanced Power System Automation and Protection. 2011. s. 1252–7.
- [28] Song EY, Lee KB, FitzPatrick GJ, Zhang Y. Interoperability test for IEC 61850-9-2 standard-based merging units. Teoksessa: 2017 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT). 2017. s. 1–6.
- [29] Hrabcik M, Javora R, Prokop V. LOW-POWER INSTRUMENT TRANSFORMERS FREQUENCY RESPONSE AND ACCURACY REQUIREMENTS FOR HARMONICS. Teoksessa CIRED 2019, Madrid, Spain; 2019.
- [30] Mingotti A, Peretto L, Tinarelli R. Calibration Procedure to Test the Effects of Multiple Influence Quantities on Low-Power Voltage Transformers. Sensors. 20. helmikuuta 2020;20:1172
- [31] Low Power Instrument Transformers (LPIT) testing with new technologies [Internet]. CESI. 2021 [viitattu 12. huhtikuuta 2023]. Saatavissa: <https://www.cesi.it/news/2021/low-power-instrument-transformers-lpit-testing-with-new-technologies-kema-lab/>
- [32] Mingotti A, Peretto L, Tinarelli R. Novel and Simplified Procedure to Test Immunity of Low-Power Voltage Transformers. Sensors. 2022;22(15):5804
- [33] Low-power instrument transformers for high-voltage gas-insulated switchgear [Internet]. [viitattu 23. huhtikuuta 2023]. Saatavissa: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1HC0137135&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [34] Haapoja S. Study and design of inter-range instrumentation group time code B Sampled Values. University of Vaasa; 2018.
- [35] Daboul M, Orsagova J, Bajanek T, Wasserbauer V. Testing protection relays based on IEC 61850 in Substation Automation Systems. Teoksessa: 2015 16th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE). 2015. s. 335–40.
- [36] Feeder protection and control REF615 IEC - Feeder protection and control (Protection relays) | ABB [Internet]. [viitattu 6. toukokuuta 2023]. Saatavissa: <https://new.abb.com/medium-voltage/digital-substations/protection-relays/feeder-protection-and-control/feeder-protection-and-control-ref615-iec>
- [37] Bay controller – SIPROTEC 6MD85 – Siemens AG [Internet]. siemens.com Global Website. [viitattu 6. toukokuuta 2023]. Saatavissa: <https://www.siemens.com/global/en/products/energy/energy-automation-and-smart-grid/protection-relays-and-control/siprotec-5/bay-controller/bay-controller-siprotec-6md85.html>
- [38] Aftab MA, Hussain SMS, Ali I, Ustun TS. IEC 61850-Based Communication Layer Modeling for Electric Vehicles: Electric Vehicle Charging and Discharging

Processes Based on the International Electrotechnical Commission 61850 Standard and Its Extensions. *IEEE Industrial Electronics Magazine*. 2020;14(2):4–14.

- [39] Ustun TS, Hussain SMS, Syed MH, Dambrauskas P. IEC-61850-Based Communication for Integrated EV Management in Power Systems with Renewable Penetration. *Energies*. 2021;14(9):2493.
- [40] Ustun TS, Hussain SMS, Kikusato H. IEC 61850-Based Communication Modeling of EV Charge-Discharge Management for Maximum PV Generation. *IEEE Access*. 2019;7:4219–31.