

Matti Korkalo

SÄHKÖNJAKELUKESKUKSEN KÄYTTÖÖNOTTO

SÄHKÖNJAKELUKESKUKSEN KÄYTTÖÖNOTTO

Matti Korkalo
Opinnäytetyö
Syksy 2021
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-
ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikka, automaatiotekniikka

Tekijä: Matti Korkalo
Opinnäytetyön nimi suomeksi: Sähköjakelukeskuksen käyttöönotto
Opinnäytetyön nimi englanniksi: Commissioning of LVS
Työn ohjaaja: Tero Hietanen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2021
Sivumäärä: 26

Tämä opinnäyte työ tehtiin teollisuuden ratkaisuihin erikoistuneen Polar-Auto-
maatiolle. Materiaalikehitys aiheena oli kehittää syventävä esimateriaali ja
työssä käytettävä materiaali sähköjakelukeskuksien käyttöönotolle, yleisen te-
kemällä oppimisen rinnalle.

Avainsanat: sähköjakelukeskus, käyttöönotto, pienjänniteverkko, toiminnantar-
kastus, suojaukset, perehdytys

ALKULAUSE

Haluan kiittää Polar-Automaatiota, erityisesti Kimmo Angeriaa ja Jaakko Angeriaa mahdollisuudesta työskennellä ABB:n käyttöönottoympäristössä erittäin ammattiosaavien kollegojen kanssa. Polar-Automaation on sertifioitu arvotoimittaja. Se mahdollisti tietojeni ja taitojeni kasvamisen sähkönjakelukeskusten käyttöönotossa, sähköistyksessä ja yleisessä tehtaiden sähkö- ja automaatiotöiden nettelytavoissa. Haluan myös kiittää Tero Hietasta opinnäytetyön ohjaamisesta. Kirjoitin opinnäytetyöni töiden ohella.

9.11.2021 Matti Korkalo

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 SÄHKÖNJAKELUKESKUKSIEN SUOJAUKSET	8
2.1 ABB MNS 3.0 Fixed	9
2.2 REF620	10
2.3 Ylikuormasuojaus L	11
2.4 Selektiivinen oikosulkusuojaus S	12
2.5 Välitön oikosulkusuojaus I	13
2.6 Maasulkusuojaus G	13
2.7 Vinokuormitus	14
2.8 Lämpötilasuojaus	14
2.9 Valokaarisuoja	15
2.10 Virtamuuntajat	15
3 KÄYTTÖÖNOTTAMINEN	17
3.1 Sähköprojektien rakenne	17
3.2 Esitarkastukset	18
3.3 Virtapiirien tarkistaminen	18
3.4 Apuvirran syöttö	19
3.5 Suojarele	19
3.6 Omicron	21
3.7 Virtamuuntajat	23
3.8 Sverger	23
3.9 Eristysvastusmittaus	24
3.10 HVS puoli	24
4 YHTEENVETO	25
LÄHTEET	26

SANASTO

Busbar	Kiskosto
DIP	Standardoitu manuaalikytkinasetelma (Dual In-line Package)
GOOSE	Kommunikointiprotokolla (Generic Object Oriented Substation Events)
High Voltage	Korkeajännite
HMI	Ohjausnäkyvä (Human Machine Interface)
IED	Ohjausyksikkö (Integrated Electronical Device)
Low Voltage	Pienjännite
SCADA	Valvomo-ohjelmisto (<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i>)
xIn	Nominaalivirta

1 JOHDANTO

Polar-Automaatio on automaation ja sähköistyksen suunnitteluun, toimituksiin ja huoltoon erikoistunut korkean teknologian palvelutalo, joka hallitsee automaation elinkaaren hankkeen alkumetreiltä tuotantoon ja ylläpitoon saakka.

Polar-Automaation Tornion toimisto on vastuussa asennus-, ylläpito- ja käyttöönottoimituksista asiakkaalle sekä sähköistysprojekteista.

Polar-Automaation käyttöönotto-kohteiden lisääntyessä on huomattu, että tarve uusille käyttäjille on jatkuva. Vuosien jälkeen käyttäjät etenevät uralla korkeampiin tehtäviin sekä vanhemmat käyttäjät alkavat olla iäkkäitä. Käyttöönottoa ei opeteta juuri missään, eikä tähän liittyvää tietoa ole. Syventävien käyttöönotto-oppaiden määrä on erittäin vähäinen, lähes mitätön. Käyttöönottamiseen tarvittava tieto kulkee suusta suuhun kokeneemmilta työntekijöiltä seuraaville ilman yleistä ohjetta.

Opinnäytetyön tavoite on luoda syventävä käyttöönotto-opas, jonka tarkoitus on paikata työkohteeseen tullessa esitiedon puute työkokemuksesta ja työssä syntyvästä tiedosta. Oppaassa käydään läpi, miksi kyseisiä suojuuksia käytetään, miten niitä käytetään sekä miten kojeistot tarkistetaan toimiviksi turvallisesti. Opas käsittelee valmiiksi kasattujen keskuksien esitarkastuksia, testausta ja ohjelmointia, jotta voidaan varmistaa tuotteen toimivuutta. Tässä projektissa tuote-toimittajana toimii ABB ja Polar-Automaatio aliurakoitsijana ABB:lle.

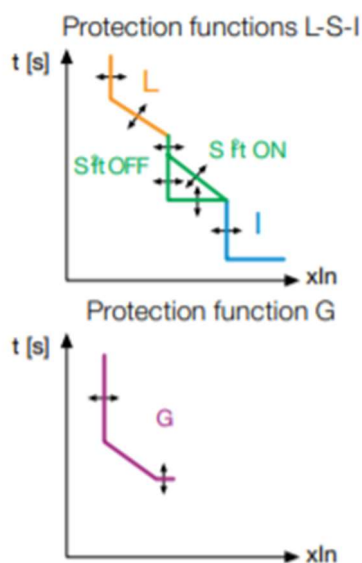
Käyttöönotto-oppaan luominen perustuu usean kuukauden aikana opittuihin menetelmiin, jotka on kerätty yhteen oppaaseen. Käyttöönotto-opas kasvattaa käyttäjän ymmärrystä suojuuksista. Käyttöönotto-oppaalla saadaan käyttäjä ymmärtämään suojausteoriaa, jolloin ongelmatilanteiden, vikojen ja vaarojen huomaaminen helpottuu.

2 SÄHKÖNJAKELUKESKUKSIEN SUOJAUKSET

Sähkönjakelukeskusten, kiskosiltojen ja toimilaitteiden suojaamisessa hyödynnetään useita eri suojausmenetelmiä. Pääsuojaus sähkönjakelukeskuksille tulee virta-arvon seurannasta virtamuuntajilla ja erilaisten katkaisijan laukaisukäyrien käytöstä, jotka asetetaan laukaisuarvoihin. Suojaukset lasketaan nykyaikana ohjelmien avulla syöttämällä ohjelmaan minkä tyylistä kuormaa sähkönjakelukeskuksella syötetään. Suojauksien arvot saadaan näihin erikoistuneilta suojauslaskijoilta.

Nominaalivirta ilmaistaan merkillä "xIn" ja asetettu aikaviive "t". LSIG-suojaus tarkoittaa ylikuormasuojausta L, selektiivistä oikosulkusuojausta S, välitöntä oikosulkusuojausta I ja maasulkusuojausta G.

Kuvassa 1 on esimerkki LSIG-suojauksen periaatteesta yhteiskäytössä.



KUVA 1. Tyypillinen LSIG suojaus (1, s. 21)

2.1 ABB MNS 3.0 Fixed

ABB MNS 3.0 Fixed Low Voltage Switchgear -tyylisissä sähköjakelukeskuk-
sissa on suojuuksia keskuksen molemmilla puolilla. Tulevaa puolta suojaa en-
simmäisenä High Voltage Switchgearin keskuksen lähtö, joka oli tässä tapauk-
sessa 33 kV. Tämä johdatetaan esimerkiksi 33 kV / 0,42 kV Resibloc muuntajalle,
jonka toisiopuoli on kytkettynä paikalliseen Low Voltage Switchgeariin. Kuvassa
2 on tyypillinen sähköjakelukeskus.



KUVA 2. ABB MNS 3.0 Fixed Sähköjakelukeskus (2)

LVS:n tulevaa puolta suojaa ABB SACE Emax 2 -ilmakatkaisija, joka on varustettu projektin oppimisympäristön tapauksessa 5 000 A:n virtakortilla. Suojaukset sähköjakelukeskuksissa perustuvat kyseisen ilmakatkaisijan aukaisemiseen, eli syötön ja lähtöjen erottamiseen. Keskuksien useissa lähdöissä on lisänä omat ilmakatkaisijat, joilla voidaan säätää prosessin toimilaitteiden suojaukset oikeiksi. Ilmakatkaisijat katkaisevat virran sen ja jännitteen nollakohdassa. Ilmakatkaisijassa ei ole oikosulkuvirran termistä muistia rajoittavaa ominaisuutta.

2.2 REF620

REF620 on syöttölaitteen suojarahle. Se on pääasiallinen suojarahle. Eri käyttötarkoituksiin on fyysisesti ja ohjelmallisesti erilaisia reileitä. REF on Restricted Earth Fault -suojarahkseen tarkoitettu suojarahle, joka on teollisuudessa yleisin suojarahle ABB:n linjastossa joustavuutensa ja ominaisuuksiensa takia. Sen ominaisuudet ovat erittäin muokattavissa asiakkaiden tarpeiden mukaan. Reileitä myös löytyy erikoistuneempiin käyttöihin kuten RET eli muuntajan suojarahle, REA eli valokaarisuojarahle ja monia muita eri tarkoituksiin ja ominaisuuksin. Suojarahleet ovat yleensä yhteydessä SCADA-järjestelmään ja käyttävät kommunikointiin natiivina kommunikointistandardeja IEC 61850 Edition 1 ja 2, IEC 61850-9-2 LE, Modbus, DNP3 ja IEC 60870-5-103. Ajat SCADAn ja REF620:n välillä voidaan synkronoida käyttäen IEEE 1588 V2 Precision Time Protokollaa, tätä protokollaa käytettiin opinnäytetyön oppimisympäristössäkkin. (3)

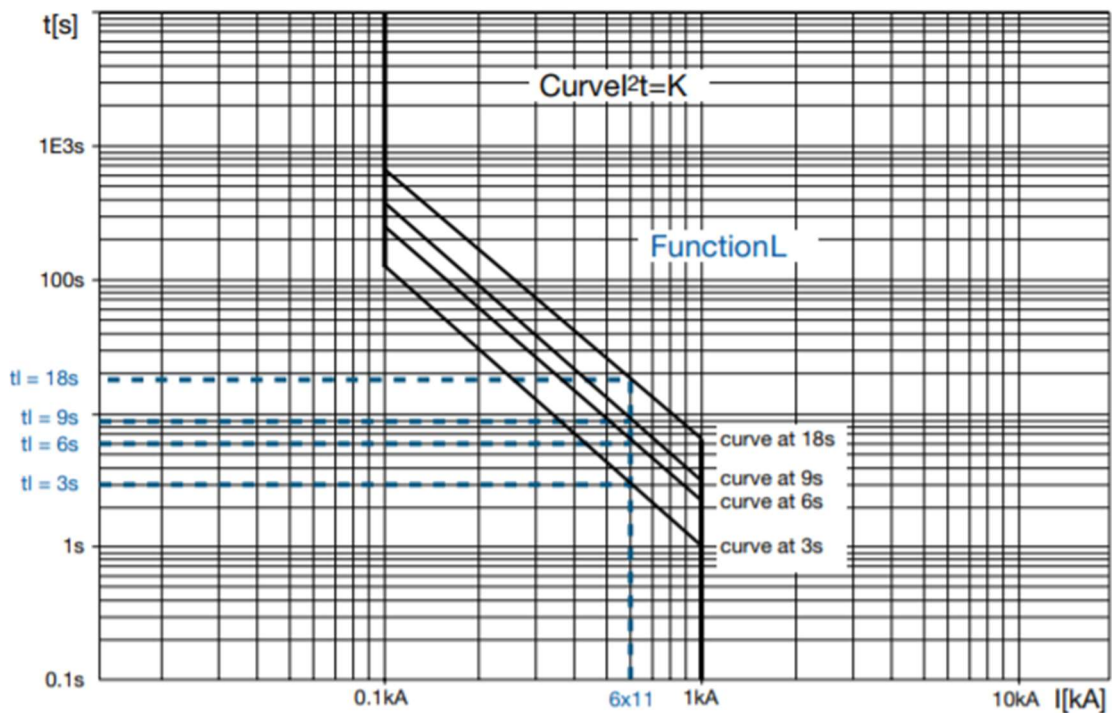
Yleensä suojarahleiden ohjelma tulee ABB:ltä relesuunnittelijalta, joka rakentaa lasketut suojaukset releen ja kommunikoinnit releen ohjelmaan, mutta ei ole ennenkuulumatonta, että kokeneemmat käyttöönottajat rakentaisivat releohtelman pienempiin kohteisiin itse.

Peruskommunikointi perustuu siihen, että lähetetään viestejä IP-osoitteisiin ja GOOSE-kommunikointi perustuu sanomiin, jotka kuulutetaan verkkoon ja oikean technical keyn omaavat suojarahleet lukevat ja toimivat sanoman mukaan. Technical keyn tarkoitus on estää väärän konfiguroinnin lataamista väärään IED:hen.

Tietokoneella ja IED:llä pitää olla asetettuna samat technical keyt, jotta siihen voidaan ladata muutoksia. (3)

2.3 Ylikuormasuojaus L

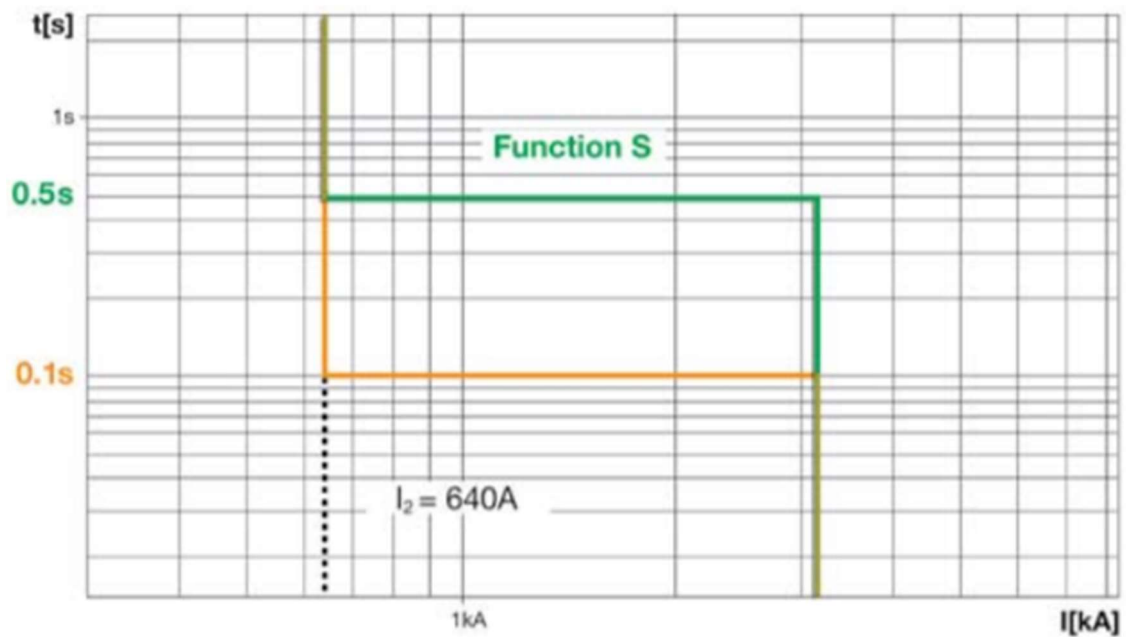
Ylikuorman suojaus, eli L-suojaus suojaa sähkönjakelukeskusta pitkäaikaiselta ylivirralla, joka on tasaisesti yli sähkönjakelukeskuksen luokitellun virran. Tämän käyrä on “käänteisellä ajalla” laskukaavalla ($I^2t = K$). Tämä voi olla säädettävissä riippuen suojauslaitteen tyypistä. Kuvassa 3 on kuvattuna L-laukaisukäyrä bilogarytmisessä skaalassa.



KUVA 3. Tyypillinen L laukaisukäyrä (1, s. 17)

2.4 Selektiivinen oikosulkusuojaus S

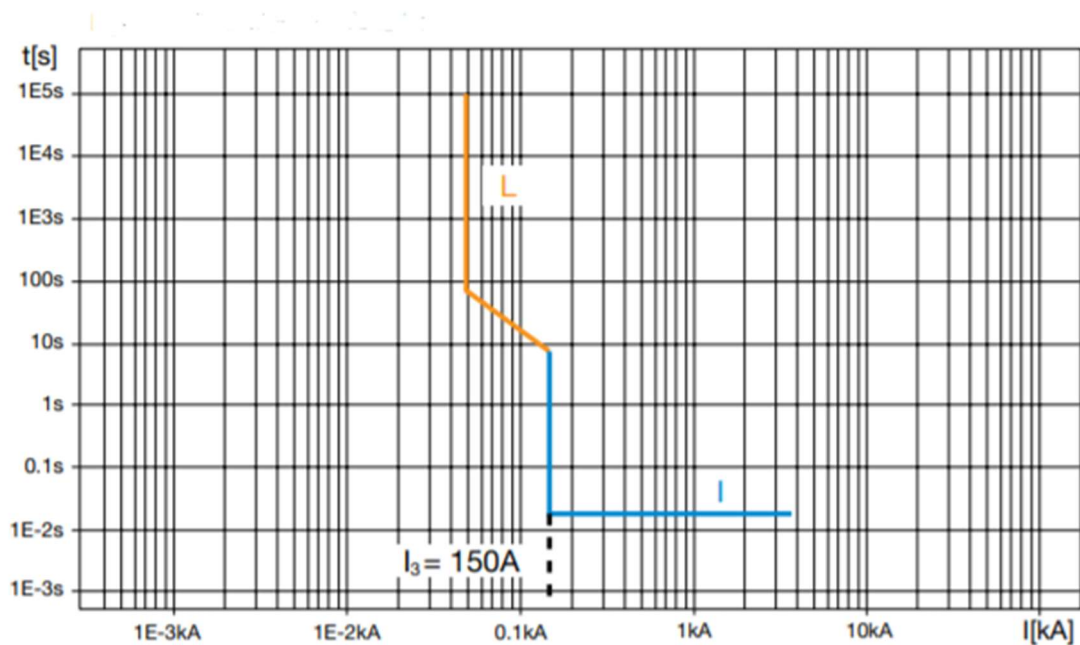
S-suojaus on oikosulkusuoja invertoidulla aikaviiveellä. Laukaisukäyriä on yleensä käytössä sama $I^2t=K$, jolloin suojaus laukeaa sitä nopeammin mitä suurempi oikosulkuvirta on tai pelkällä aikaviiveellä laukaisuajan saavutettua $t = K$, jonka laukaisu-aika on riippumaton laukaisu-arvon ylimenevästä virrasta. Kuvassa 4 on esimerkki $t = K$ laukaisukäyrästä aikaviiveellä 0,1 s ja 0,5 s.



KUVA 4. T_{max}in S-suojaukset, $t = K$ laukaisukäyrä (1, s. 18)

2.5 Välitön oikosulkusuojaus I

I-suojaus on välitön oikosulkusuojaus ja se aktivoituu välittömästi virran ylittäessä asetetun laukaisuarvon. Kuvassa 5 olevassa esimerkissä on piirretty sinisenä tämän laukaisukäyrä 150 A:n laukaisuarvolla.



KUVA 5. T_{max} in I-laukaisukäyrä (1, s. 19)

2.6 Maasulkusuojaus G

Paremmat suojauslaitteet pystyvät myös suojaamaan maasuluilta, joissa LSI-suojaukset eivät laukeaisi. Laukaisukäyrät toimivat samoilla periaatteilla kuin S-suojauksessa, jolloin on mahdollista valita joko $t = K/I^2$ käyrä tai $t = K$ käyrä. Tämä voidaan toteuttaa vertaamalla vaiheiden välistä virtaa tai sitten valvoen, että nollassa virtaa saman verran virtaa takaisin. Maasulkusuojauksen lisäämisessä pitää olla tarkkana minkälaista kuormaa sähkönjakelukeskus syöttää.

2.7 Vinokuormitus

Erikoistuneemmissa sähkönjakelukeskuksissa on otettu myös käyttöön vinokuormituksen suojaus eli sähkönjakelukeskuksen vaihdevirran epätasapainoinen kuormitus. Vinokuormituksen tapahtuessa erityisesti moottoreissa se nostaa huomattavasti moottorin käyntilämpöä ja aiheuttaa korkeampia jarrutusmomenteja. Käynnistyksen aikana nämä efektit moninkertaistuvat. Suojauslaitteesta, joka on varustettu vinokuormitussuojauksella, voidaan ottaa käyttöön ja säätää vinokuormitussuojaa yleensä prosentteina. Tämä lasketaan suojuksissa kaavassa 1 näkyvällä tavalla, jossa tulos on vaihde epätasapainosta prosentteina.

KAAVA 1. Vinokuormituksen epätasapainon laskenta prosentteina (4).

$$I_{avg} = \frac{(I_1 + I_2 + I_3)}{3} \quad I_k \text{ unbalance (\%)} = \frac{I_k - I_{avg}}{I_{avg}} \times 100 \text{ where } k = 1, 2, 3$$

I_{avg}	keskimääräinen virta 3-vaihejärjestelmässä
I_1, I_2, I_3	vaihevirrat
I_k	vaihevirta
$I_k \text{ unbalance (\%)}$	prosentuaalinen vinokuormitus vaiheittain
k	eri vaihteet

2.8 Lämpötilasuojaus

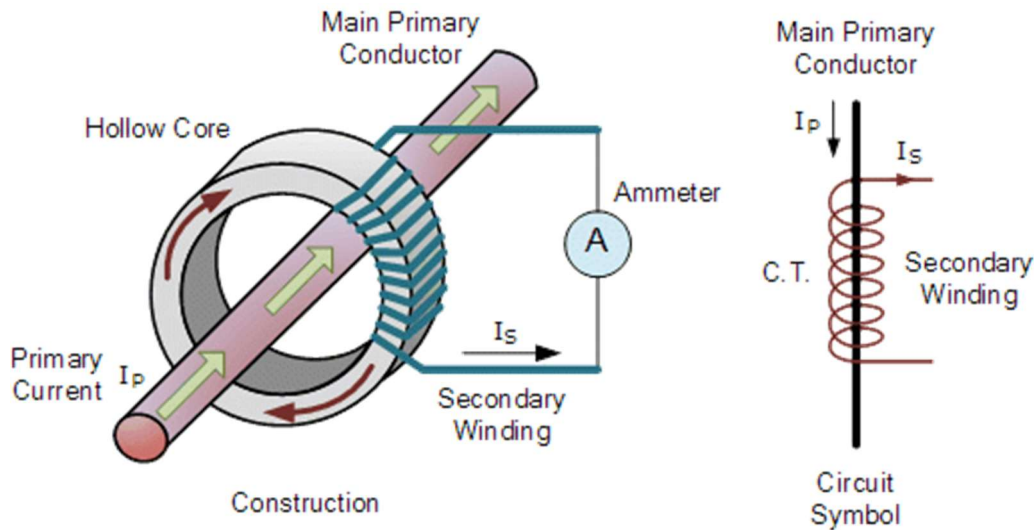
Melkein kaikissa uusissa sähkönjakelukeskuksia syöttävät muuntajat ovat varustettuna jollakin lämpötila-anturilla, joka lähettää tietoa muuntajan käyntilämpötilasta. Tähän myös asetetaan laukaisu-arvot joko suojarielelle tai sitten erilliselle lämpöreleelle pienemmissä muuntajissa. Esimerkiksi ABB:n valmistamissa Resi-bloc muuntajissa maksimilämpötila on 155°C. Myös suojarieleissä on sisäinen lämpötila-anturi, jolla seurataan, ettei suojariele lämpene yli sertifioidun toimimislämpötilan. (5).

2.9 Valokaarisuoja

Valokaarisuojauksella estetään kiskosilloissa tapahtuvia valokaaria, kun jokin ulkoinen esine aiheuttaa vaiheiden välillä valokaaren ja ionisoi ilman molekyylit, jolloin ilma alkaa toimimaan johdattimena virralle. Valokaarisuojaus TVOC-2 perustuu laukaisukomennon lähettämiseen katkaisijalle valokaaren tapahtuessa. Valokaaren TVOC-2 järjestelmä huomaa optisilla silmillään, jotka ovat asetettuina valokaarelle herkkiin kohtiin, esimerkiksi kiskosiltoihin. TVOC-2:iin voidaan myös lisätä CSU-2LV virtavahti toimimaan lisäehtona laukaisukomennolle, jolloin laukaisukomento ei lähde TVOC-2 järjestelmästä ennen kuin virta on ylittänyt CSU-2LV:n asetetun virta-arvon ja valokaari syntyy. TVOC-2 järjestelmässä pääasetukset asetetaan DIP-kytkimillä, riippuen sovelletusta käytöstä on tärkeä, että nämä asetetaan oikein.

2.10 Virtamuuntajat

Virtamuuntajilla voidaan mitata erittäin korkeita vaihtojännitevirtoja käyttämällä pientä käämiä indusoimaan virtamittauspiiri pienemmällä virralla. Erityisesti sähköjakelukeskuksissa tämän käyttö on välttämätöntä suurien virtojen takia. Suurimmassa osassa sähköjakelukojeistoja on useampi virtamuuntaja. Virtamuuntajien muuntosuhde kuvataan primäärivirran ja toisiovirran muuntosuhteella esimerkiksi 5000/5 A, eli ensiöpuolella virtaa 5000 A ja tämä muunnetaan 5 A toisipuolella. Kuvassa 6 näkyy virtamuuntajan toimintaperiaate.



KUVA 6. Virtamuuntajan toimintaperiaate (6)

Projektin oppimisympäristössä näissä sähkönjakokeskuksissa oli ABB CSU-2LV lisättyä TVOC-2 valokaarisuojajärjestelmään, Janitza UMG509:ään kuuluvat virtamuuntajat sekä suojarleen omat virtamuuntajat. CSU-2LV on ohjelmoitu olemaan näyttämättä alle 200 A:n virtoja ja se perustuu jänniteviestiin toisiopuolella. Janitzan ja suojarleen virtamuuntajat pystyvät mittaamaan ja indikoimaan jo muutaman ampeerin virran.

3 KÄYTTÖÖNOTTAMINEN

Tässä luvussa käydään läpi sähkönjakelukeskuksen käyttöönottoprosessia. Ohje olettaa, että lukijalla on perustietämys sähköstä sekä toimilaitteiden nimikkeistä. Ennen tarkastuksien aloittamista on tärkeää, että käyttöönottaja on perehdytetty tehtaan turvallisuuskäytäntöihin sekä käyttöönottoa johtavan emoyrityksen turvallisuuskäytäntöihin, joka oli projektin oppimisympäristössä ABB. Käyttöönottoja suoritetaan useasti ulkomailla. Ennen töiden aloittamista ulkomailla on tärkeä selvittää, mitä dokumentteja maassa tarvitaan lailliseen työnsuoritukseen. Esimerkiksi Ruotsissa tarvitsee verotukseen todistuksen asuinpaikasta (jos maksaa verot Suomeen), ruotsalaisen veronumeron tai todistuksen sen hakemuksesta.

3.1 Sähköprojektien rakenne

Vaativan sähköprojektin elinkaari koostuu aluksi määrittelyvaiheesta, jossa karotetaan projektin tavoitteet ja menetelmät, tämä pitää sisällään esisuunnittelun ja perussuunnittelun. Tätä seuraa tarkempi suunnitteluvaihe. Suunnittelun ollessa valmis alkaa toteutusvaihe, jossa tuotteet valmistetaan ja tehdään FAT-testaus. Tuotteiden toimivuuden toteamisen jälkeen tuotteet asennetaan ja suoritetaan käyttöönotto eli SAT-testaus, jossa laitteisto testataan asiakkaalla. (7)

Käyttöönotto on toiseksi viimeinen askel asiakkaan tilauksen täyttämässä. Käyttöönoton jälkeen pitää lain mukaan tehdä jälkitarkastus n. 3 kk:n päästä, jolloin tarkistetaan kaikki pöytäkirjat ja tehdään laitteille yleistarkastus. Yleensä sähkönjakelukeskus siirtyy asiakkaan vastuulle, kun siihen on otettu sähköt päälle onnistuneesti. (8)

3.2 Esitarkastukset

Ennen mittausten aloittamista on tärkeää tarkistaa, että kaikki tarvittavat toimilaitteet ovat oikein asennettuja sähkönjakelukeskuksessa. Yleensä sähkönjakelukeskuksen kaapit kuljetetaan kohteeseen osina. Syöttöpuoli on omana palasena ja lähtöpuolet omina palasina, jolloin esimerkiksi valokaarisuojan silmien kuidut ovat käärittyinä kaapin kappaleiden sisään. Tarvikkeiden fyysinen kunto, kiinnitykset lattiaan, johtimien kiinnitys liittimiin sekä esimerkiksi ovien maadoitukset on tarkistettava käyttöönottajän ja tulevien käyttäjien suojaamiseksi ennen mittausten aloittamista. On tärkeää, että kaikki virtapiirit tarkistetaan ennen apujännitteen syöttöä virtapiiriin johtavuusmittauksella tehtaan mahdollisten rakennusvirheiden takia. Myös testauksen ajaksi on hyvä katkaista katkaisijoilla sähkönjakelukeskukseen tulevat ja siitä lähtevät kaapelit.

3.3 Virtapiirien tarkistaminen

Ennen virtapiirien tarkistamista on hyvä muistaa testata mittalaite ensin esimerkiksi laittamalla mittari jännitteen mittausspuolelle ja testataan, mitä mittari näyttää jännitteisessä pistorasiassa, jotta voidaan varmistua mittarin toiminnallisuudesta. Jatkuvuustoiminto on hyvä tarkistaa asettamalla mittalaitteen navat yhteen ennen virtapiirien tarkistuksen aloittamista.

Virtapiirit tarkistetaan ennen apusähkön syöttämistä sähkönjakelukeskukseen. Tämä tehdään tekemällä pitkiä tarkastuksia pisteestä A-E sen sijaan, että tarkistettaisiin pisteet A-B-C-D-E erikseen. Pitkien tarkastuksien lopuksi tarkistetaan, ettei tarkastusvälissä ole oikosulkuja muiden siihen kuulumattomien piirien kanssa. Tässä vaiheessa on hyvä merkitä jännitteettömänä testatut virtapiirit vihreällä kynällä piirustuksiin, jotta itse kojeistaja pysyy ajan tasalla sekä seuraavat kojeiston kanssa toimijat näkevät, mitä on tarkistettu, jos esimerkiksi työt pitää pikaisesti kyseisestä kojeistosta lopettaa. Punaisella kynällä yleensä merkitään muutokset piirustuksiin.

Käyttöönnotossa käytetyt ns. "punakynä"-piirustukset skannataan ja digitalisoidaan, jotta revisiomuutokset voidaan korjata piirustuksiin myöhemmin.

3.4 Apuvirran syöttö

Kun virtapiirit on tarkistettu sähköttöminä, syötetään apuvirtapiiriin jännite. Se tehdään siihen kytketyllä valmiilla apuvirtapiirisytöllä tai syöttämällä apuvirta roikasta, jonka toinen pää on katkaistu ja kytketty apuvirtapiiriin syötöille tarkoitettuihin riviliittimiin. Apuvirran syöttämisen jälkeen tarkistetaan toimilaitteiden syötökanavista, että jännite on oikea nostamalla sulakkeet yksi kerrallaan ylös. Tämän jälkeen voidaan siirtyä toiminnallisiin tarkastuksiin toimilaitteiden kanssa. Oletuksena on, että jos virtapiiri on mitattu jännitteettömänä ja toimilaitteet toimivat normaalisti jännitteenalaisena, niin virtapiiri on kunnossa.

3.5 Suojarele

Henkilöiden, jotka ohjaavat ensimmäistä kertaa suojarelettä, on hyödyllistä opetella suunnistamaan suojareleen valikoita. ABB:llä on erinomainen työkalu, simuloitu REF615 suojarele, joka löytyy osoitteesta: http://protectionrelays-simulator.abb.com/ref615/files/simulator_demo.html.

On järkevää aloittaa lataamalla suojareleen konfiguraatio ensimmäisenä, jolloin voidaan tarkistaa suojareleelle tulevat tiedot samaan aikaan, kun mahdollisille riviliittimille tai muille toimilaitteille menevät tiedot. Suojareleen konfiguraatio ladataan asettamalla ensin suojareleelle oikea IP-osoite lokaalisti releen näytöstä sekä asettamalla tietokoneen LAN-portti samalle IP-alueelle. IP-osoite löytyy valikossa "Configuration -> Communication -> Ethernet -> Rear port". Tämän jälkeen asetetaan konfiguraatioon releessä sijaitseva "technical key". Technical key saadaan käyttäen PCM600 ohjelmaa klikkaamalla relettä, jolloin valitaan oikea avain. Saatuaan avaimen voi käyttöönottaja ladata konfiguraation suojareleelle käyttäen "Write to IED" toimintoa ja aloittaa testaamaan releen toimintoja. Tietokone, jolla technical key haettiin, muistaa avaimen ja osaa yhdistää automaattisesti suojareleeseen tarvitsematta hakea technical keytä uudestaan.

ABB:n suojarleet ovat melkein aina useamman suojarleen läsnä ollessa yhteydessä toisiinsa ja käyttävät IEC 61850 kommunikointistandardia, jolloin releeltä tulevat tiedot voidaan lähettää SCADA järjestelmään ja jälkiprosessoida.

Käyttönottaja saattaa joutua muuttamaan PCM600 konfiguraatiota testatakseen toimintoja, joille vielä ei ole asennettu infrastruktuuria. Näin voi tapahtua esimerkiksi kuituyhteyksien puuttuessa, kun käyttönottaja testaa syöttävän kojeiston laukaisun kuidun kautta tilanteessa, jossa syöttävä kojeisto olisi lauennut ja tämä lähettäisiin kuitua pitkin tiedon syötettäväkojeiston releelle aueta. Testatakseen edellä mainitun toiminnon käyttönottaja vaihtaa GOOSE-signaalien napaisuutta. Tämä testataan, jotta syöttävää kojeistoa uudelleen käynnistäessä eivätkä olisi kaikki kuormat samaan aikaan päällä eikä se aiheuttaisi virtapiikkiä tai turvallisuusriskiä laitteiden holtittomaan käynnistymiseen syötettävissä kojeistoissa.

REF620 suojarleessä voi valita binääri-inputtien jännitetason. Jännitetaso on hyvä laskea minimiin, eli 16 volttiin. Graafiset virheet ovat yleisiä HMI osiossa releessä esimerkiksi viivan katkeaminen kohdasta, jossa se ei pitäisi olla mahdollista. Nämä virheet ilmenevät, kun ladataan konfiguraation sisään. Graafiset virheet korjataan importoimalla Graphics display template samanlaisen HMI:n sisältävästä releestä ja exportoimalla HMI-virheelliseen releeseen. On mahdollista korjata virhe myös muokkaamalla virhekohtaa graphics display templatesta suoraan PCM600:n sisältä. Myös usein konfiguraatiot suojarleeseen tehdään samaan aikaan kun sähkönjakelukeskusta toimitetaan, jolloin käyttönottaja saattaa joutua tulostamaan ja leikkaamaan paperiset HMI-liuskat näytön painikkeiden ja valojen viereisiin taskuihin.

Monesti kuitu- ja verkkoyhteyksiä ei välttämättä ole tehty sähkönjakelukeskuksen käyttönottovaiheessa, jolloin yhteydet pitää testata jälkeinpäin. Suojarleen ja käyttökohteen toiminnoista riippuen nämä ovat tilannekohtaisia. GOOSE-signaalit voidaan testata syöttävään kojeistoon päin asettamalla LVS:n ja tätä syöttävän HVS:n suojarleen molemmat "Tests -> IED Test -> Test mode = on", jolloin käyttönottaja voi aktivoida eri suojaus- ja signaaleja LVS:n ja syöttävän kojeiston välillä. Test moden aktivoidut funktion testien GOOSE-signaalit merkitään näiden lähettämässä viestissä olemaan simuloituja hälytyksiä, jolloin ainoastaan releet,

jotka ovat myös Test modessa, vastaanottavat viestit. Tämä mahdollistaa GOOSE-signaalien turvallisen testaamisen sähköistetyssä syöttävässä kojeistossa.

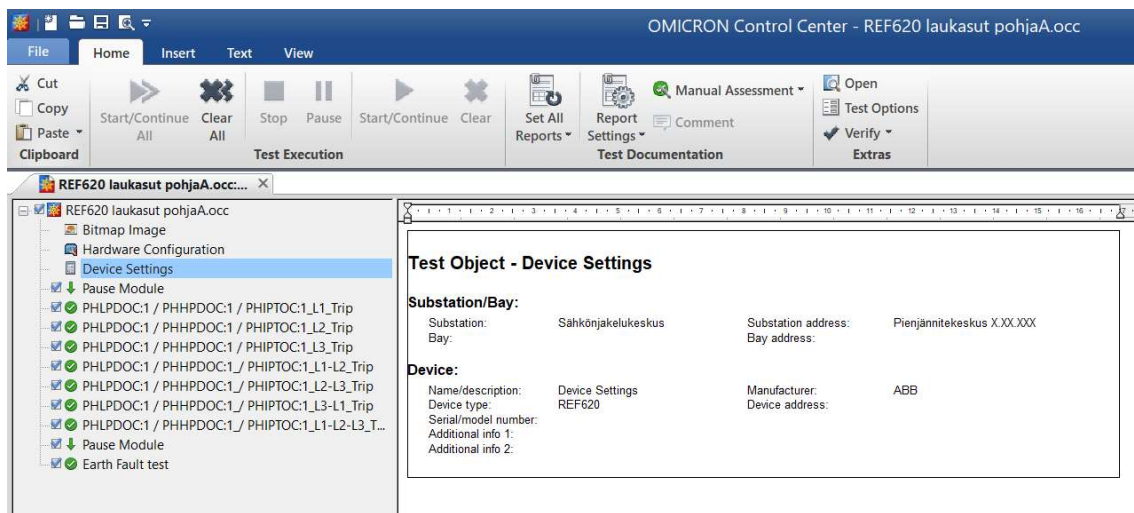
3.6 Omicron

Releeseen asetetut suojaukset testataan yleensä nykypäivänä Omicron 356 -tyylisellä automaattitesterillä, jossa käytetään valmiiksi tehtyjä pohjia, joissa on asetettuna automaattiset skaalaukset nominaalivirrasta riippuen. Normaalisti releistä otetaan ulos releen havahtuminen eli toimiaika sekä reaalivirta-arvot, joissa suojarele laukeaa. Omicron tulostaa näistä valmiin pdf-tiedoston kaikilla tarvittavilla tiedoilla. Myös erikoisempia testejä saatetaan suorittaa releen käyttötarkoituksesta riippuen, esimerkiksi differentiaalivirtasuojaukset.

Omicronin virtalähdöt yhdistetään releen oikeiden virtamuuntajien tilalle erottaen oikeat virtamuuntajat. Projektin oppimisympäristössä ABB MNS 3.0 Fixed sähkönjakelukeskukset olivat varustettuja erotettavilla terminaaleilla. Yhdistetään vaiheet vastaavassa 1, 2, 3 järjestyksessä releen virtamuuntajatuloihin N/AI1, N/AI2, N/AI3. ja nolla virtamuuntajien tähtikytkentäterminaaliin, joka kytkee releen AI1, AI2, AI3 terminaalit yhteen. Laukaisun Omicroniin tuleva binääritieto on konfiguroitavissa Omicron Control Centerissä, mutta yleensä se on asetettu Omicronin binäärituloon 2. Suojareleeltä tulevan laukaisutiedon pitää johdattaa Omicroniin, jotta laukaisuajat ja arvot saadaan ylös. Tämä tehdään kytkemällä Omicronin binääritulo 2 joko suoraan suojareleen laukaisukäskylähtöön tai sarjaan valmiin laukaisupiiriin kanssa.

Yhteys Omicroniin tietokoneelta luodaan käyttäen LAN-porttia. Tietokoneen LAN-portin IP-osoite pitää asettaa samalle alueelle Omicronin kanssa, jotta yhteys voidaan tehdä. Käyttäen OMICRON Device Link -ohjelmistoa voidaan hakea Omicronin laitteita ja näiden löydyttyä linkitetään laite painamalla pientä nappia Omicronin takana.

Kun linkitys ja johdotus on tehty, voidaan aloittaa testien teko suojaareleelle. Näissä käytetään yleensä valmiita testipohjia, joihin asetellaan vain oikeat laukaisukäyrätestit käyttöön ja oikeat virta- ja aika-arvot. Testeillä kartoitetaan ja varmistetaan releen ominaisuuksien toimivuus ja asetusarvot. Projektin oppimisympäristössä tehtiin pelkkä ”characteristic”-testi eli testataan, millä virta-arvoilla suojaarele oikeasti laukeaa ja kuinka paljon viive on. Kuvassa 7 on Omicronin perusnäkyä.



KUVA 7. Omicron Control Center perusnäkyä

Valmiissa pohjassa poistetaan vanhat tulokset painamalla ”Clear All” nappia, jonka jälkeen muokataan test objectin, device settingsit oikeille virta-arvoille ja otetaan käyttöön oikeat laukaisukäyrät. Suojauksista projektin oppimisympäristössä oli vain käytössä suojaareleessä PHHPTOC, PHIPTOC ja EFLPTOC. Asiakas ei vaatinut havahtumismittauksia, jolloin näitä ei suoritettu. Tässä on hyvä myös asettaa tiedot suojaareleestä Device settings -osioon, jotta raportissa tulee ilmi, mitä suojaarelettä on testattu. Polar-automaation valmiit testipohjat osaavat asettaa virtatestiarvot oikeille arvoille laukaisuarvojen syöttämisen jälkeen. Testit aloitetaan painamalla start painiketta. Maasulkutestiä varten pitää kytkentää muuttaa vaihtamalla asetettu Omicronin virtalähtö, projektin oppimisympäristössä käytettiin L1-N väliä, joka oli kytkettynä N/AI4 ja AI4 välille. Tällöin simuloidaan maasulkuvikaa. Lopuksi voidaan tulostaa tulokset hienoon autogeneratediin raporttiin Omicronin sisällä. Monesti koko testejä ei esitetä asiakkaalle, vaan tärkeimmät kohdat testistä ja täydet raportit tallennetaan tietokantoihin.

3.7 Virtamuuntajat

Virtamuuntajia testatessa paras tapa varmistua niiden toiminnasta on syöttää virtaa virtamuuntajan läpi ja katsoa lukemat toimilaitteesta tai mitata virtamuuntajan toisiosta. Asettamalla useamman kierroksen samaa johtoa virtamuuntajan ympäri voidaan moninkertaistaa johtoon syötetty virta. Kierrokset * virta = päätelaitteen näyttämä virta-arvo.

Virtamuuntajat on tärkeää tarkistaa aina, vaikkei näitä käytettäisikään missään. Jos virtamuuntajan toinen pää on "auki", niin virtamuuntaja kerää jännitettä ja kasvattaa sitä, kunnes se purkaa jännitteen heikoimmasta kohdasta. Tämä on erittäin hengenvaarallista, joten jokaisen Busbarin sähkökentän ympärille asetettu virtamuuntaja tulee testata syöttämällä virtaa virtamuuntajan läpi. Jos virtamuuntajan toisiopuolessa virtaa virta, niin virtamuuntajan molemmat puolet ovat kytkettyinä, koska virta tarvitsee suljetun piirin virratakseen. Johtavuusmittaus ei ole tarpeeksi virtamuuntajille, koska nämä ovat yhteydessä maihin toisiopuolella.

TVOC-2 virtaliittimet voidaan testata myös syöttämällä mV esimerkiksi Omicronista, jolloin huijataan Rogowski-coil virtamuuntajien antamaa jänniteviestiä CSU Ethernet-kaapeliterminaaleihin. Tämä tapa on mahdollinen, mutta ei aina riittävä, sillä itse virtamuuntaja jää testistä pois, jolloin käyttöönottaja testaa vain CSU:n virtamuuntajan Ethernet-liittimet.

3.8 Sverger

Meggerin valmistama tuote Sverger on erittäin muuntuva ja nopeakäyttöinen käyttöönottotyökalu erityisesti virtamuuntajien läpi syötettävän virran sekä vaihejännitteiden simuloinnissa jännitemittauksia varten. Molemmat toiminnot voidaan tehdä myös Omicronia käyttäen, mutta tämän operointi on hitaampaa verrattuna Svergerin käyttöön. Suojauksetkin voidaan testata Svergerin kellopiiriä käyttäen, mutta tästä tavasta on luovuttu Omicronin tultua tavalliseksi käyttöönottotyökaluksi sen automatisoinnin ja monipuolisuuden takia.

3.9 Eristysvastusmittaus

Eristysvastusmittaus eli “meggeröinti” suoritetaan tähän tarkoitettuun eristysvastusmittauksella. ABB MNS 3.0 Fixed -tyylisissä keskuksissa yleensä mitataan vain keskuksenpuolella katkaisijasta sijaitseva Busbar eli kiskosilta, josta mitataan kiskosillan välit. Ala-pääjakokeskukset eli Low Voltage Switchgearit ovat TNS järjestelmiä, jolloin “nolla” ja “maa” ovat yhteydessä keskuksen sisällä. Ylimääräiset yhteydet on hyvä katkaista, kun mittaa N ja PE väliltä. Esimerkiksi ylijännitesuojaus pitää avata ennen eristysvastusmittausta. Kuvassa 8 näemme optimaalisen järjestyksen mitata eristysvastus busbarista.

L1-L2			
L1-L3	L2-L3		
L1-N	L2-N	L3-N	
L1-PE	L2-PE	L3-PE	N-PE

KUVA 8. Eristysvastusmittauksen mittausjärjestys

3.10 HVS puoli

Käyttönottaja saattaa joutua tekemään ABB:n puolesta muutoksia HVS puolelle esimerkiksi kommunikointia koskien, tai jälkeinpäin tehtyjen muutosten lataamista. Konfiguraation lataaminen HVS sekä MVS puolelle ei mitenkään eroa LVS keskuksiin konfiguraation lataamisesta. ABB:n releet eivät vaihda tiloja latauksen aikana, jos muutos ei ole laskenut virta-arvoja alle aktiivisen käyttövirran tai muuttanut ohjelman suojausvälejä väärin. Myös virheelliset muutokset esimerkiksi ohjelman sovelluspuolella saattavat laukaista releen suojauksen. On hyvä tapa kuitenkin olla paikan päällä kirjoitettavan releen luona, vaikka etäyhteys olisi mahdollinen IEC 61850 kommunikointiprotokollan kautta, jos jotakin sattuu tapahtumaan tai joku muu henkilö on ohjaamassa relettä paikallisesti tai etänä.

4 YHTEENVETO

Projektin ongelmiksi ilmeni tiettyjen toimintatapojen oikeaksi leimaaminen, kun käyttöönottoprojektia on monia oikeita. Käyttöönottoprojektia on myös useita vääriä tai puutteellisia. Huomattuja puutteellisia testimenetelmiä käydään läpi niitä koskevissa luvuissa. Myös älyllisen omaisuuden julkaisemisen välttämiseksi projektin oppimisympäristö on pidetty anonyyminä.

Opinnäytetyöni tehtiin käyttöönotosta täyttämään helposti sisäistettävän tiedon ja esiperehdytyksen puutetta. Uskon, että opinnäytetyöni pystyy perehdyttämään sähkönjakelukeskuksista tietämättömän käyttöönottoon, kuitenkin mikään määrä tekstiä ei voi korvata tekemällä oppimista. Opinnäytetyö olisi voinut olla pidempi ja ennen kirjoittamisen aloittamista olisi pitänyt lukea pari esimerkkiopin-
näytetyötä.

Sähkönjakelusuojauksissa kerroin lyhyet esittelyt suojauskojeistoista ja suojaus-
sista, näistä aiheista olisi voinut kertoa paljon enemmän. Suojareleista ja suo-
jauslaskennoista olisi saanut erittäin paljon tekstiä, mutta nämä eivät välttämättä
ole opinnäytetyölleni tarpeeksi tärkeitä aiheita tietää syventävästi. Vaikeaksi ko-
jeistojen esittelyn teki oma perspektiivini laitteista. Olen toiminut niiden kanssa
usean kuukauden ajan, jolloin joitain asioita saattoi jäädä kertomatta niiden ol-
lessa itsestäänselvyyksiä minulle.

Käyttöönotto-luku onnistui mielestäni hyvin kertomaan tiivistetysti sähkönjakelu-
keskuksien käyttöönottoprosessin, koska sitä olen tehnyt usean kuukauden ajan.
Tässäkin luvussa joitain asioita saattoi jäädä kertomatta perspektiivini takia. Tä-
hän lukuun olisi voinut myös lisätä dokumentoinnit asiakkaalle.

Uskon, että mahdollisen YAMK- tai maisteritutkinnon kanssa voisin käyttää opin-
näytetyötäni pohjana laajemmalle tutkielmalle, jossa rajataan käyttöönottopro-
sessi asiakkaalle tarkasti.

LÄHTEET

1. Low voltage circuit breakers. Working with trip characteristic curves. ABB Inc. Saatavissa: <https://library.e.abb.com/pub-lic/9147d214ed83662e852575cf005ac7b5/1SXU210170B0201.pdf>. Hakupäivä 26.9.2021.
2. ABB MNS 3.0 Fixed. Scalable solution for infrastructure and process industries. 2021. Saatavissa: <https://new.abb.com/low-voltage/products/switchgear/mcc-and-iec-low-voltage-switchgear/mns-fixed>. Hakupäivä 26.9.2021.
3. Feeder protection and control REF620 IEC. ABB Inc, 2021. Saatavissa: <https://new.abb.com/medium-voltage/digital-substations/numerical-relays/feeder-protection-and-control/reion-for-medium-voltage/feeder-protection-and-control-ref620-iec>. Hakupäivä 27.9.2021.
4. Phase Unbalance Protection (ANSI 46). Schneider Electric, 2020. Saatavissa: https://product-help.schneider-electric.com/ED/TeSys/GV5-GV6_User_Guide/EDMS/DOCA0161EN/DOCA0161xx/Protection-functions/Protection-functions-8.htm. Hakupäivä 26.9.2021.
5. RESIBLOC. Dry Type Distribution Transformers. 250 kVA up to 40,000 kVA. ABB Inc. 2003. Saatavissa: <https://library.e.abb.com/pub-lic/40833565b02393bdc1257b130057e6a7/1LDE000017%20RESIBLOC%20brochure%20english.pdf>. Hakupäivä 26.9.2021.
6. Electronic-tutorials. The Current Transformer. Saatavissa: <https://www.electronics-tutorials.ws/transformer/current-transformer.html>. Hakupäivä 26.9.2021.
7. Laatu automaatiassa. Parhaat käytännöt. Automaatioseura 2001. Saatavissa: <https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1426/laatuautomaati-ossa.pdf>. Hakupäivä 8.11.2021.
8. Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistosta. Finlex 1434/2016. Saatavissa: <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161434>. Hakupäivä 8.11.2021.

