

# **Ritande av reläblockschema för ledningsfack och samlingskena i 400 kV duplex-ställverk**

Simo Häyhä

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

El- och automationsteknik

Vasa 2023

## EXAMENSARBETE

Författare: Simo Häyhä

Utbildning och ort: El- och automationsteknik, Vasa

Inriktning: Elkraft

Handledare: Henrik Järveläinen och Risto Aho

Titel: Ritande av reläblockschema för ledningsfack och samlingskena i 400 kV duplex-ställverk

---

Datum: 14.4.2024 Sidantal: 33

Bilagor:

---

### Abstrakt

Detta examensarbete har gjorts åt VEO Oy under våren 2024. Uppgiften var att skapa reläblockschema för ett ledningsfack och samlingskenan till kundens nya 400 kV projekt. Målet var att dra nytta av ett tidigare projekt som hade levererats till samma kund för några år sedan och anpassa det för att motsvara deras senaste modell reläblockscheman, inklusive projektspecifika skyddsreläer och andra komponenter.

Bakgrunden till arbetet är VEO:s växande roll som ett energiföretag, och den ökande efterfrågan på 400 kV elstationer. Detta examensarbete erbjöd ett utmärkt tillfälle att lära mer om reläblockscheman för elstationer och de reläer och andra skyddsanordningar som används, samtidigt som arbetet gynnade projektet.

I den teoretiska delen av examensarbetet behandlas uppbyggnaden av elnätet och elstationer samt de vanligaste komponenterna i elstationer och reläblockscheman. I själva praktiska delen behandlas och förklaras reläblockschemat för ett 400 kV ledningsfack samt samlingskenan. Arbetet behandlar inte i stor utsträckning själva planeringen av reläblockscheman eftersom detta redan var till stor del gjort. Elstationens kretsscheman behandlas inte alls i detta examensarbete.

Resultatet blev utmärkta reläblockscheman som skickades till kunden för kommentarer när arbetet var klart. Dessa ritningar kan med små justeringar användas för de andra ledningsfacken i samma projekt och kan användas som grund i liknande framtida projekt.

---

Språk: svenska

Nyckelord: AutoCAD, reläblockschema, ledningsfack, duplex-ställverk

## OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Simo Häyhä

Koulutus ja paikkakunta: Sähkö- ja automaatiotekniikka, Vaasa

Suuntautumisvaihtoehto: Sähkövoimatekniikka

Ohjaajat: Henrik Järveläinen ja Risto Aho

Nimike: 400kV-johtolähdön ja duplex-kiskon suojauskaavioiden piirtäminen

---

Päivämäärä: 14.4.2024 Sivumäärä: 33

Liitteet:

---

### Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on tehty VEO Oy:lle keväällä 2024. Tehtävänä oli luoda asiakkaan uuteen 400kV projektiin suojauskaaviot johtolähdölle ja duplex-kiskolle. Tavoitteena oli hyödyntää aiempaa projektia, joka oli toimitettu samalle asiakkaalle joitakin vuosia sitten, ja muokata sitä vastaamaan heidän uusimpia mallisuojauskaavioitaan, sisältäen projektikohtaiset suojareleet ja muut komponentit.

Työn taustalla on VEO:n kasvava rooli energia-alan yrityksenä ja erityisesti 400 kV sähköasemien kysynnän kasvu. Tämä opinnäytetyö tarjosi loistavan tilaisuuden oppia lisää sähköasemien suojauskaavioista ja niissä käytettävistä releistä ja muista suojalaitteista, samalla kun työ hyödytti projektia.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käydään läpi sähköverkon rakenne, sähköasemat, sähköasemien yleisimmät komponentit ja suojauskaaviot. Itse työn toteutuksessa keskitytään 400 kV johtolähdön ja duplex-kiskon suojauskaavioiden selittämiseen ja piirtämiseen. Työ ei juurikaan käsittele suojauskaavioiden suunnittelua koska tämä oli jo suurimmaksi osin tehty. Sähköaseman piirikaavioita ei tässä opinnäytetyössä käsitellä lainkaan.

Lopputuloksena syntyivät erinomaiset suojauskaaviot, jotka työn valmistuessa lähtivät asiakkaalle kommentoitavaksi. Näitä piirustuksia pystytään pienellä muokkaamisella hyödyntämään muihin saman projektin johtolähtöihin ja tulevaisuudessa myös muihin vastaaviin projekteihin.

---

Kieli: ruotsi

Avainsanat: AutoCAD, suojauskaavio, johtolähtö, duplex-kisko

## **BACHELOR'S THESIS**

Author: Simo Häyhä

Electrical Engineering and Automation, Vasa

Specialisation: Power Systems Engineering

Supervisors: Henrik Järveläinen and Risto Aho

Title: Drawing of protection diagrams for a 400kV outgoing feeder and duplex busbar.

---

Date: 14.4.2024    Number of pages: 33

Appendices:

---

### **Abstract**

This thesis was completed for VEO Oy in the spring of 2024. The task was to create protection diagrams for the customer's new 400kV project for the feeder and duplex busbar. The aim was to utilize a previous project delivered to the same customer several years ago and modify it to correspond to their latest standard protection diagrams, including project-specific protective relays and other components.

The background of the work is VEO's growing role as an energy industry company, especially with the increasing demand for 400 kV substations. This thesis provided an excellent opportunity to learn more about substation protection diagrams and the relays and other protective devices used in them, while also benefiting the project.

The theoretical part of the thesis covers the structure of the power grid, substations, the most common components of substations, and protection diagrams. In the implementation of the work itself, the focus is on explaining and drawing protection diagrams for the 400 kV feeder and duplex busbar. The work does not extensively cover the design of protection diagrams as this was largely already done. The circuit diagrams of the substation are not addressed at all in this thesis.

The result was excellent protection diagrams, which were sent to the customer for review upon completion of the work. These drawings can be utilized with minor modifications for other feeders in this project and for similar projects in the future.

---

Language: Swedish

Key words: AutoCAD, protection diagram, outgoing line, duplex busbar

## Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Avgränsning.....	1
1.2	Uppdragsgivare.....	1
2	Teori.....	3
2.1	Elnätets uppbyggnad.....	3
2.2	Elstationer.....	3
2.3	Ställverk.....	5
2.3.1	Ställverk med öppen konstruktion.....	5
2.3.2	Kompakta ställverk.....	6
2.3.3	Brytare.....	6
2.3.4	Frånskiljare.....	8
2.3.5	Mättransformatorer.....	9
2.3.6	Skyddsreläer.....	10
2.4	Skensystem.....	10
2.5	Transformatorer.....	11
2.6	Kompensationsanordning.....	12
2.7	Ventilavledare.....	13
3	Planeringsprogram.....	15
3.1	Eplan.....	15
3.2	Autodesk.....	15
4	Reläblockscheman.....	17
4.1	Allmänt om reläblockscheman.....	17
4.2	Reläblockschema för ett ledningsfack.....	17
4.3	Reläblockschema för samlingsskenan.....	17
5	Definition av apparaterna.....	18
5.1	Distansskyddsrelä.....	18
5.2	Relä för återinkoppling.....	20
5.3	Samlingsskenans skyddsrelä.....	21
5.4	Fältstyrenheten.....	22
5.5	Signalöverföringssystem.....	22
6	Praktiskt genomförande.....	24
6.1	Reläblockschema för ett ledningsfack.....	25
6.2	Reläblockschema för samlingsskenan.....	29
7	Resultat.....	31
8	Diskussion.....	31
9	Litteraturförteckning.....	32

# 1 Inledning

Detta examensarbete har gjorts åt VEO Oy under våren 2024. Målet med detta examensarbete var att skapa reläblockschema för ett ledningsfack och samlingskenan som skulle vara visuellt identiska med kundens modellritningar, men med korrekta komponenter och lösningar till kundens nya 400 kV projekt. Samtidigt var meningen med detta, att de producerade reläblockscheman för ledningsfacket skulle kunna tillämpas på resten av ledningsfacken i projektet. Dessutom skulle dessa reläblockscheman även gå att använda som botten för framtida liknande 400 kV projekt. Genom att använda dessa ritningar som botten effektiviseras och förbättras processen för att skapa reläblockscheman för framtida 400 kV projekt.

## 1.1 Avgränsning

Detta examensarbete fokuserar mest på allmän teori om elnätet, elstationer, dess vanligaste komponenter samt ritande och förklarandet av 400 kV ledningsfack- och samlingskenans reläblockscheman. I examensarbetet behandlas inte själva planeringen av reläblockscheman, och kretsscheman tas inte upp alls. Genom att begränsa omfånget till allmän teori och ritandet och förklarandet av reläblockscheman kan arbetet fokusera på att uppnå hög kvalitet.

## 1.2 Uppdragsgivare

VEO Oy är ett företag inom energiindustrin och är grundat i Vasa 1989. VEO Oy hade år 2022 en omsättning på 115,8 miljoner euro. VEO Oy levererar olika lösningar till företag som till exempel automationslösningar, elektrifieringslösningar och livscykeljänster. Till VEO Oy:s egna produkter hör E-House, ställverk och frekvensomriktarsystem och automations- och skyddssystem. [1].

VEO Oy har ungefär 500 anställda där ungefär 260 arbetar inom planering, 170 inom produktion och installation och de resterande 70 inom försäljning och projektledning. De flesta av dem jobbar i Vasa vid VEO:s huvudkontor och i ställverksfabriken som är beläget i samband med huvudkontoret (figur 1). I fabriken tillverkas låg- och mellanspannings ställverk, frekvensomvandlarcentraler och kontrollpaneler till olika projekt. VEO Oy har flera kontor i Finland och ett kontor i Norge och i Sverige. I Finland finns kontor i Vasa, Seinäjoki, Tammerfors, Rovaniemi och Paimio. I Sverige är kontoret

beläget i Västerås och i Norge befinner sig kontoret i Oslo. VEO Oy har även ett kontor i Storbritannien tack vare dotterbolaget IC Electrical. [1].



**Figur 1. VEO:s huvudkontor i Vasa. [2].**

## 2 Teori

I det här kapitlet behandlas elnätet, elstationer och deras vanligaste komponenter. Elstationernas komponenter går igenom på allmän nivå och deras funktionsprincip och konstruktion förklaras.

### 2.1 Elnätets uppbyggnad

Det finländska stamnätet underhålls och ägs av företaget Fingrid, som ägs till största delen av staten. Stamnätet består av ungefär 14 000 kilometer högspänningsledning varav över hälften av detta är 110 kV ledning. Fingrids huvuduppgifter är att se till att hela Finlands elnät håller rätt spänningsnivå, frekvens och att alla får sin elektricitet utan störningar. Enligt lagen måste Fingrid se till att produktionen och konsumtionen hela tiden går hand i hand. [3], [4].

I Finland delas elnätet upp i tre olika delar; stamnät, regionnät och distributionsnät. Regionnätet överför elektricitet inom ett visst landskap. Distributionsnätet kan ansluta sig till stamnätet via regionnätet eller direkt till stamnätet. Stamnätet i Finland har en spänning på; 110, 220 eller 400 kV medan regionnäten har en spänning på 110 kV. Distributionsnäten har den lägsta spänningen och den är; 0,4, 1, 10 eller 20 kV. [5].

Hushållen i Finland får sin el från distributionsnäten. De större elkonsumenterna som till exempel industrin, butiker, sjukhus och lantbruk och dylikt kan vara anslutna direkt till stamnätet eller regionnätet. Även elproducenter som till exempel solkraftverk och vindkraftverk kan anslutas till stamnät eller regionnätet. [5].

Finland har även högspänd likströmsöverföring till Estland, Sverige och Ryssland. Detta används för att kunna koppla ihop olika elnät oberoende på frekvensskillnader och spänningsskillnader. Genom att använda högspänd likströmsöverföring påverkar inte störningar i ett lands elnät det andra landets elnät. En annan orsak till att högspänd likströmsöverföring används är för att det blir mindre förluster än med högspänd växelströmsöverföring då man drar kablar längre sträckor. [5].

### 2.2 Elstationer

När man överför elenergi krävs många elstationer. Elstationerna är punkter i överförings- eller distributionsnätet där kopplingar kan göras, spänningen kan regleras och elenergi

kan distribueras till olika ledningar (figur 2). En elstation befinner sig antingen på ett inhägnat område eller inne i en byggnad. Termen kompakt elstation används för elstationer som är belägna inomhus. Vanligtvis byggs kompakta elstationer där det är ont om utrymme och där man inte vill att elstationen skall synas, oftast i stadsmiljö. Kompakta elstationer är oftast GIS-elsstationer (Gas Insulated Substations). Gasen som används i ställverk är SF<sub>6</sub> (svavelhexafluorid) gas och SF<sub>6</sub> gasen möjliggör ett mycket kompaktare ställverk än vad någon annan isolations metod. SF<sub>6</sub> gasen är en färglös och luktfri gas som hör till gruppen f-gaser, och den är en betydande växthusgas, vilket är en stor nackdel. [6, s. 106].

Elstationer består vanligtvis av transformatorer, skenor, brytare, frånskiljare, säkringar och mättransformatorer. Direktanslutna ventilavledare används som överspänningsskydd för utrustningen. [7, s. 106].

Elstationer kan vara slutstationer, där det finns utrymme och möjlighet till utökning. En slutstation kan till exempel omvandlas till en lednings station varifrån man tar elenergi från en elledning som går genom området och transporterar denna elenergi för distributionsnätets behov. [7, s. 106].

När man planerar elstationer är det viktigt att beakta flera saker. Det skall vara möjligt att säkert utföra servicearbeten på brytare, frånskiljare och andra komponenter samt kunna byta ut dem utan att orsaka avbrott i eldistributionen. Detta åstadkommer man genom att man i planeringsskedet ser till att det finns tillräckligt med utrymme och vägar för servicepersonal och fordon. Det är också viktigt att man tar i beaktande transportvägar och utrymme för transformatorn ifall det finns en eller flera sådana vid elstationen. [6, s. 117].

Placeringen av elstationer inom elnätet är starkt beroende av kopplingsstationens överföringskapacitet och dess prognos för tillväxt. Andra faktorer som påverkar placeringen är; miljöförhållanden, landskaps frågor, byggnadstidpunkt, ekonomiskt läge och möjligheten till utbyggnad av elstationen i framtiden. [7, s. 106].



Figur 2. 400 kV elstation. [8].

## 2.3 Ställverk

Med ställverket menar man helheten, som innehåller alla nödvändiga kopplings-, skydds-, styrnings- och övervakningsapparater. Man delar upp ställverken vanligtvis i tre delar; lågspänning-, mellanspänning- och högspänningsställverk. [6, s. 117]. I detta examensarbete fokuseras endast på högspänningsställverk.

Det är viktigt att användarpersonalen av ställverket inte utsätts för faror orsakade av skador på ställverket. Detta kräver att alla säkerhetsgångar och staket är byggda på det sättet att de avståndskraven som SFS 6001 kräver uppfylls. Särskild uppmärksamhet bör ägnas åt farliga gaser och strålning som uppstår av ljusbågar. Även spridningen av ljusbågen som uppstår vid kortslutning och dess skadeverkning måste förhindras. Detta gör man genom att dela upp inomhusställverket i avdelningar som är åtskilda från varandra. [6, s. 117].

De olika delarna av elanläggningen placeras på det sättet att deras kopplingspunkter är så nära varandra som möjligt, så att skenorna och allt kablage som går mellan dem går den rakaste och kortaste vägen. Skenorna måste väljas utifrån vad som uppfyller de tekniska och ekonomiska kraven bäst. [6, s. 117].

### 2.3.1 Ställverk med öppen konstruktion

Med ett ställverk med öppen konstruktion avser man ett system som byggs utomhus och som använder luft som den elektriska isoleringen mellan högspänningsskenorna. Ställverk med öppen konstruktion är lämpliga för installationer där spänningen är 110 kV

eller högre och där det finns tillräckligt med billig tomtmark tillgängligt. Det beror på att besparingar som uppnås genom lägre byggkostnader och avstående från skyddande kapslingar, kompenserar för eventuella extra kostnader för en större tomt och utomhusinstallationens utrustning. [6, ss. 117-120].

### 2.3.2 Kompakta ställverk

Förr byggde man även ställverk inomhus med öppen konstruktion och luft som isolering, men detta är oftast inte lönsamt längre. Trots detta byggs sådana ställverk fortfarande i Norge. Vanligtvis använder kompakta ställverk SF6-gas som isolering. (figur 3). Det är också vanligt att man vid saneringen ersätter gammalt inomhusställverk med öppen konstruktion med ett GIS-ställverk. GIS-ställverk används även då man vill bygga ut ett utomhusställverk men det finns inte tillräckligt med utrymme på tomten för att man skulle kunna utöka utomhusställverket. Den största nyttan med SF6-isolerade ställverk är att den sparar mycket utrymme jämfört med ett ställverk med öppen konstruktion. [6, s. 120].



Figur 3. Ett GIS ställverk under konstruktion.

### 2.3.3 Brytare

Brytaren (figur 4) är en viktig del av en elstation. Brytaren har två huvudsakliga uppgifter. Den första är att snabbt bryta den strömförande kretsen när ett fel uppstår för att inte vidare skador hinner ske. Den andra uppgiften är att kunna skilja åt olika delar av elnätet vid behov. En brytare är konstruerad på det sättet att en motor laddar upp en fjäder och brytaren använder sedan den uppladdade fjäderns energi för att slå till och från brytaren

väldigt snabbt. Typiska frånslagningstiden för en brytare är mellan 25-35ms och tillslagningstiden är mellan 55-65ms. Till och från-tiden får inte variera mycket mellan faserna. [9].

En brytare skall gå att styra manuellt vid behov, men i normala fall styrs den via signaler som skyddsreläet skickar när något fel uppstår. När ett fel uppstår får brytaren en signal att slå från. Denna signal får den via ett skyddsrelä som tar emot mätvärden hela tiden från mättransformatorerna. De vanligaste orsakerna till att en brytare slår från orsakas av fel som överström eller jordslutning. En brytare måste vara konstruerad på det viset att den klarar av att bryta flera gånger större strömmar än brytarens märkström. När en brytare slår från i en strömförande krets bryts inte den strömförande kretsen direkt, utan den hålls intakt en stund via en ljusbåge. Detta betyder att förrän strömkretsen bryts, flyter all ström igenom de sista kontaktytorna som tack vare den höga resistansen värms upp och smälter. När kontaktytorna separeras skapas en brygga av flytande metall mellan ytorna. Efter att metallbron har avdunstat joniseras den och dess omgivning, vilket resulterar i bildandet av en ledande gasplasma där strömmen flödar. Detta fenomen är vad man kallar för en ljusbåge. För att denna ljusbåge skall släckas måste man använda en isolerande vätska eller gas i brytaren. I princip alla högspänningsbrytare använder SF<sub>6</sub>-gas som släcknings gas och isolator. [6, ss. 161-165], [10, ss. 169-170].

Det finns flera krav som en brytare måste uppfylla, som till exempel klara av att bryta induktiva och kapacitiva strömmar, klara av att bryta alla strömmar som uppkommer i kretsen oberoende på hur stora de är, samt måste den klara av höga frekvenser och stötströmmar. Brytaren är en så viktig komponent i ett elsystem att den måste vara väldigt funktionssäker i alla förhållanden. [6, ss. 161-165].



**Figur 4. Trefas brytare. [11].**

### 2.3.4 Frånskiljare

Frånskiljaren (figur 5) har som uppgift att skilja åt spänningsförande delar när man gör underhållsarbete eller service. Man måste kunna tydligt se att frånskiljaren är öppen eller om man inte kan se detta måste den vara utrustad med en tydlig mekanisk lägesindikator. Det måste också vara möjligt att låsa fast frånskiljaren i öppet läge eller slutet läge, så att ingen kan i misstag sluta eller öppna frånskiljaren under servicearbeten. Vanligtvis placerar man frånskiljaren alltid på den matande sidan före brytaren, men ifall brytaren kan få matning från båda hållen krävs det att frånskiljare installeras på båda sidorna av brytaren. Frånskiljare kan även placeras på andra ställen om det krävs att någon del eller apparat skall kunna kopplas loss från elnätet för underhållsarbete. Frånskiljare används även för att jorda de strömlösa ledningarna så att spänning som induceras i ledningarna inte skall orsaka fara för de som håller på med underhållsarbete. Därtill används arbetsjordningar även fast frånskiljaren skulle redan jorda den strömlösa kretsen. [6, ss. 190-191].

Frånskiljaren är inte konstruerad för att klara av att bryta stora strömmar utan det är meningen att de skall manövreras endast när kretsarna är strömlösa. Den klarar dock av att bryta några ampers strömmar och höga spänningar som lämnar kvar i korta strömlösa skensystem eller ledare. Frånskiljaren klarar också av att bryta transformatorns tomgångsström. Även fast frånskiljare inte behöver klara av att bryta större strömmar måste den klara av full belastning och kortslutningsströmmar i slutet läge. [6, ss. 190-191].

Frånskiljare manövreras antingen för hand eller med hjälp av en motor. Mindre elstationer har oftast ingen motor för manövrering av frånskiljare, men större anläggningar har nästan alltid motormanövrerings möjlighet. Även fast frånskiljaren manövreras med hjälp av en motor måste det även gå att manövrera dem förhand. [6, ss. 190-191].



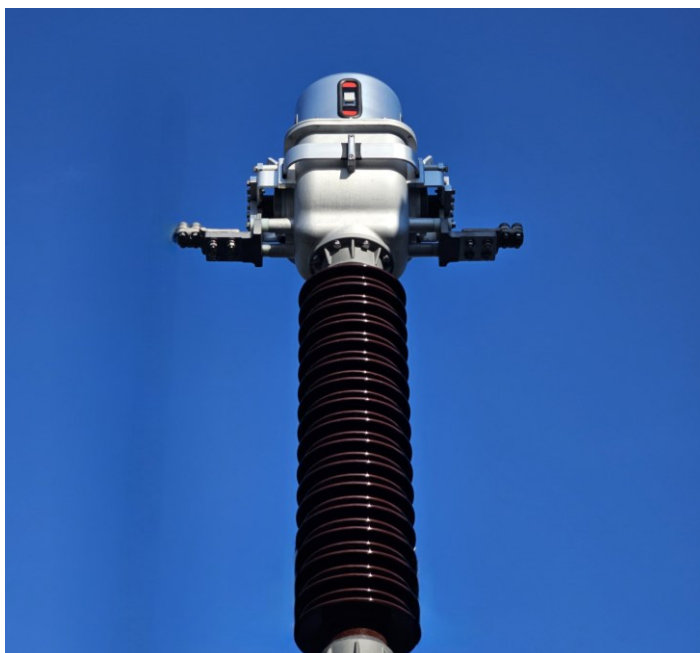
Figur 5. Trefas frånskiljare. [12].

### 2.3.5 Mättransformatorer

Mättransformatorer (figur 6) används för att antingen mäta ström eller växelspanning. De är alltså specialbyggda transformatorer menade för endast detta ändamål. Deras huvuduppgift är att omvandla stora växelspanningar och strömmar till lägre spänningar och strömmar, som passar för skyddsutrustningen alltså skyddsreläerna. Dessa omvandlade strömmar och spänningar måste vara väldigt noggrant avspeglade och därför har mättransformatorer alltid ett bestämt noggrant omsättningsförhållande. [6, ss. 198-199].

Mättransformatorns konstruktion skiljer sig inte mycket från en vanlig transformator utan grundar sig oftast på elektromagnetisk induktion. Som isolation och kylning används vanlig transformatorolja och lindningarna är isolerade från varandra med bakelit eller pressat papper. [13].

I och med att tekniken, och speciellt digitaltekniken har utvecklats mycket under de senaste åren, har detta möjliggjort framtagningen av digitala mättransformatorer som omvandlar den analogt mätta strömmen- eller spänningen till digitalsignal, och kommunicerar sedan med skyddsrelät via optisk fiber. Med hjälp av detta får man mätvärden med bättre precision, på grund av att det inte blir spänningsfall i kablar, och optisk fiber inte är utsatt för elektrisk störning. [6, s. 224].



**Figur 6. Mättransformator menad för mätning av strömmar.**

### 2.3.6 Skyddsreläer

Skyddsreläer (figur 7) är komponenter som tillsammans med brytare och mättransformatorer bildar en helhet som skyddar elnätets olika komponenter vid felsituationer. Skyddsreläer använder informationen de får från mättransformatorerna och andra givare som till exempel ljusbågsdetektorer och styr och ställer över elstationen med hjälp av denna information. Viktigaste uppgiften är alltså att skilja åt den del av elnätet eller den komponent som har något fel så snabbt som möjligt, så att resten av elnätet kan fortsätta fungera normalt. Ifall detta inte sker tillräckligt snabbt, finns det stor risk att elnätet, ställverkets komponenter eller egendom, även djur och människor kan utsättas för fara beroende på felet som uppstått. De moderna skyddsreläerna har flera olika viktiga funktioner som till exempel; överspänningsskydd, överströmsskydd, differentialskydd, impedansskydd, jordfelsskydd, under/över frekvensskydd och distansskydd. [6, ss. 335-337], [14, s. 421], [15].



Figur 7. ABB REF630 skyddsrelä. [16].

## 2.4 Skensystem

Skensystemen spelar en avgörande roll i elstationernas kopplingslösningar och de möjliggör kopplingar av olika enheter vid elstationen. Beroende på om skenorna är kopplade till en brytare eller enbart till en fränskiljare kallas de för huvudskenor eller hjälpskenor. Valet av skensystem påverkas av flera faktorer såsom anslutna ledare, transformatorer, krav på elstationens utbyggbarhet, underhållsmöjligheter, enkelhet och kostnader. [6, s. 102].

Det finns flera olika principer på hur skensystemen i ställverk konstrueras, men de vanligaste skensystemen är; skenlösa system, system med enkelskena, dubbelskena med enkelbrytare och dubbelskena med dubbelbrytare. Ett skenlöst system passar för enklare ändstationer med en enda transformator. Nackdelar med ett skenlöst system är att den saknar möjligheten att dela upp användningen eller göra omkopplingar. Ett system med en skena liknar ett skenlöst system, men tillåter anslutning av flera ledningar till skenan. Den är även ekonomisk att bygga och en bra lösning för en mindre elstation, men underhålls- och reparationsarbeten kan vara begränsade. Dubbelskena med enkelbrytare har två huvudskenor, två fränkskiljare och en brytare per utgång. Å andra sidan, i dubbelskena med dubbelbrytare används fyra fränkskiljare och två brytare per utgång. Detta resulterar i en hög driftsäkerhet, men konstruktionen är kostsam på grund av det ökade antalet komponenter som krävs. Dessutom behövs mer utrymme jämfört med andra system. Ett dubbelskensystem fungerar alltså på det sättet att när det ena fältet behöver reparationer eller underhåll kopplar man in reservfältet. Vissa mycket viktiga elstationer kan ha till och med tre fält. [6, s. 102], [17].

Skenorna tillverkas utav koppar, aluminium eller olika aluminium blandningar. Ren aluminium har ett väldigt dåligt skydd mot mekanisk påfrestning och därför är det vanligast att skenorna är konstruerade av en aluminium blandning. Nyttan med aluminium blandningarna är att de är kostnadseffektiva och tål bättre mekaniska påfrestningar. [6, s. 115].

## 2.5 Transformatorer

Transformatorn (figur 8) är en elapparat som i ett växelströmssystem omvandlar och reglerar spänningar och strömmar genom elektromagnetisk induktion. Trefastransformatorer kan vara direkt från grunden konstruerade som trefasenheter eller bestå av tre skilda enfasenheter. Specialtillverkade transformatorer kan reglera fasvinkeln mellan två nät med samma spänning för att styra effektfördelningen mellan två parallella sektioner av nätet. Vanligtvis använder stora högspänningstransformatorer transformatorolja, papper och presspan som isolering. Oljan har även en annan viktig uppgift, den ansvarar för kylningen av transformatorn. Oljebehållaren byggs vanligtvis av seg och mycket uthållig stålplåt. Kärnan i transformatorer är oftast konstruerad av tunna stålplåtar som har en tjocklek på ungefär 0.23-0.35 mm. Dessa plåtar är kallvalsade och oftast laserbehandlade för att minska på förlusterna. Lindningarna i högspänningstransformatorer är alltid tillverkade av koppar men mindre

distributionstransformatorer kan ha lindningar som är tillverkade av aluminium. Aluminium skulle inte fungera som lindningsmaterial i högspänningstransformatorer på grund av att förlusterna skulle bli alldeles för höga. Den enda rörliga och en av de viktigaste delarna av en högspänningstransformator är lindningsomkopplaren. Den har som uppgift att ändra antalet lindningsvarv på primära eller sekundära sidan för att kunna reglera spänningen i elnätet, ifall spänningen håller på och blir för låg eller för hög. Vanligtvis kan man med hjälp av lindningsomkopplaren justera spänningen ungefär 10 % åt båda hållen. På högspänningstransformatorer ändrar man vanligtvis antalet lindningsvarv på den sidan där det är lägre spänning, detta på grund av enklare åtkomst och för att minimera strömbelastningen under drift. [6, ss. 141-142].



**Figur 8. Stor trefastransformator.**

## 2.6 Kompensationsanordning

Den reaktiva effekten, som behövs för att upprätthålla stabiliteten i högspänningsnäten, produceras och hanteras effektivt genom användningen av olika kompensationsenheter i både distributions- och överföringsnät. I distributionsnäten används kondensatorbatterier för att generera reaktiv effekt och upprätthålla spänningsnivåerna. Däremot när det handlar om överföringsnät använder man en kombination av parallellkopplade kondensatorer och reaktorer. Reaktorerna behövs för att kompensera den överflödiga reaktiva effekten som ledningarna producerar under lätt belastning. [18, s. 162].

I Finlands stamnät är reaktorer en viktig del av kompensationsystemet. I Finland har vi trefas reaktorgrupper med en total kapacitet på 63 Mvar. Dessa reaktorer har en luftkärna och är kopplade till trefastransformatorers tertiärlindningar. Reaktoreernas uppgift är att skydda ledningarna från skador och ser till att de fungerar optimalt. [6, ss. 225-226].

För att öka överföringskapaciteten på långa kraftledningar används seriekopplade kondensatorer. Dessa kondensatorer kompenserar för ledningarnas reaktans och ökar därmed deras överföringsförmåga, det är viktigt att kompenseringskondensatorerna placeras så nära som möjligt det förbrukningsstället som skapar mest reaktiv effekt. I Finlands stamnät är seriekopplade kondensatorer anslutna till långa nord-sydliga 400 kV överföringsledningar. Dessa kondensatorer har möjliggjort ökad överföringskapacitet mellan olika geografiska områden utan att kräva nya investeringar i kraftledningar. [6, ss. 225-226].

Dessa olika kompensationsenheter används aktivt i Finland och är viktiga för att garantera en pålitlig och effektiv överföring av elektricitet. [6, ss. 225-226].

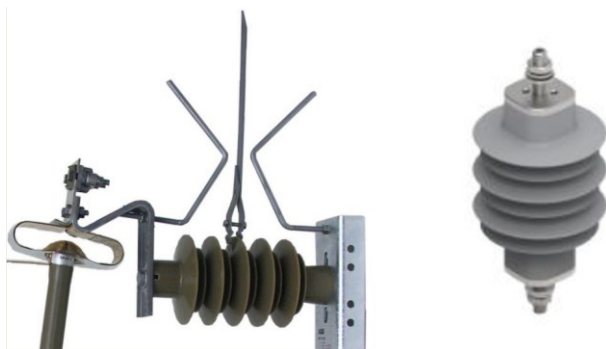
## 2.7 Ventilavledare

Ventilavledare används vid alla spänningsnivåer och deras uppgift är att skydda från överspänning, som skulle orsaka skador på ställverkets apparater. Överspänning kan uppstå vid blixtnedslag eller när kopplingar sker i elnätet och dessa kallas för transienta överspänningar. [14, s. 258].

Det finns en nyare och en äldre modell av ventilavledare (figur 9). Den äldre modellen som uppfanns kring 1930-talet använde kiselkarbidmotstånd. Kiselkarbid är ett material med starkt spänningsberoende karakteristik som betyder att när spänningen stiger blir det inre motståndet mindre. Detta material fungerade ganska bra, men läckströmmen blev snabbt för stor redan vid nominella spänningar som resulterade i att ventilavledaren förstördes, och därför hamnade man att lägga till ett gnistgap. Dessa typer av ventilavledare användes mycket fram till 1970-talet då den nya varianten introducerades. Den nya versionen använder motstånd av zinkoxid istället för kiselkarbid. Zinkoxid till skillnad från kiselkarbid har en mycket stark ickelinjär karakteristik och därför har man kunnat lämna helt bort gnistgapen i dessa ventilavledare. Fortfarande kan man se gamla ventilavledare med gnistgap i bruk, men dessa används inte längre i nybyggen eller saneringar på grund av de bättre tekniska egenskaperna och billigare priset hos ventilavledare, som använder zinkoxid istället för kiselkarbid. Ventilavledare som

använder zinkoxid kan ersätta den gamla typen av ventilavledare vid alla spänningsnivåer. En nackdel med ventilavledare utan gnistgap är att deras livslängd blir lite kortare jämfört med ventilavledare med gnistgap, detta beror på att den nominella spänningen med nominell frekvens nöter på skyddet. [6, ss. 237-240], [14, ss. 426-427].

Ventilavledare placeras så nära som möjligt det viktigaste objektet som skall skyddas som oftast är transformatorn. Om man vill skydda även något annat i närheten av transformatorn kan man placera dem på max 50 meters avstånd från transformatorn mätt via fasledaren. Alla faser skall alltid ha en egen ventilavledare. [19, ss. 201-202].



**Figur 9. Ventilavledare med gnistgap till vänster och utan gnistgap till höger. [20], [21].**

### 3 Planeringsprogram

Det finns flera bra planeringsprogram för elstationsplanering. I det här kapitlet presenteras kort de två vanligaste programmen som används för detta ändamål vid VEO.

#### 3.1 Eplan

Eplan är ett tyskt företag som är Rittals dotterbolag och är en del av Friedhelm Loh group. Företaget grundades år 1984. Eplan tillhandahåller servicelösningar och mjukvarulösningar inom områdena automations, mekatronisk och elektrisk konstruktion. Eplan används där det krävs mjukvara som försnabbar utmanande konstruktionsprocesser. [22].

Vid VEO används Eplan Electric P8 för i princip all el-planering förutom där det behövs mer grafiska ritningar som är lättare att rita i AutoCAD. Orsaken till att Eplan används istället för AutoCAD är för att den erbjuder mycket mer avancerade funktioner och lösningar som sparar tid. Eplan togs i bruk av VEO redan för 10 år sedan och de flesta som jobbar inom el-planering vid VEO är vana användare av programmet. Alla nya arbetstagare som kommer att jobba inom planering vid VEO får en bas skolning på hur man använder Eplan.

#### 3.2 Autodesk

Autodesk är ett företag som grundades 1982 i Mill Valley, Kalifornien, USA och har utvecklat det mycket populära planeringsverktyget AutoCAD. AutoCAD erbjuder mångsidiga funktioner för både 2D- och 3D-design och modellering. Det är baserat på linjer och bågar, vilket möjliggör mångsidig ritning i olika projekt.

Autodesk erbjuder flera olika versioner av AutoCAD för att möta olika användares behov. AutoCAD Mechanical fokuserar på mekanisk design och AutoCAD Electrical på elektrisk design. Dessa båda erbjuder specialiserade verktyg och funktioner. [23].

AutoCAD LT användes i detta examensarbete och det är en mer begränsad version som erbjuder grundläggande funktioner utan 3D-funktionalitet och förbyggda symboler. LT-versionen inkluderar inte heller inbyggd programmeringsförmåga, vilket gör anpassning av användargränssnittet svårare jämfört med den fullständiga versionen. Orsaken till att AutoCAD användes och används för ritning av reläblockscheman är för att den är lättare

att använda och har bättre funktioner för grafiskt ritande jämfört med Eplan, som inte riktigt är ett lämpligt program för grafisk design. Inga 3D-ritningar behövdes heller så det gick bra att använda LT-versionen av AutoCAD.

Den mest avgörande skillnaden mellan AutoCAD och AutoCAD LT är priset. Årlig licens för fullständiga versionen är betydligt dyrare än för LT-versionen, vilket gör den till ett attraktivt alternativ för företag som behöver flera licenser men inte håller på så mycket med 3D-planering. [24].

## 4 Reläblockscheman

I detta kapitel förklaras kort vad elstationernas reläblockscheman är och vad de är till för.

### 4.1 Allmänt om reläblockscheman

Reläblockscheman är en viktig del av elstationsplaneringen. Reläblockscheman presenterar visuellt strukturen och funktionen av skyddssystem över elstationen. Reläblockscheman visar hur signalerna och kopplingarna är gjorda mellan olika enheter, såsom skyddsreläer, mätinstrument, brytare och larmenheter. Reläblockscheman innehåller information om skyddsutrustningen. Dessa enheter övervakar kraftnätet och agerar för att skydda det vid eventuella fel. Det är viktigt att förstå hur enheterna skall vara kopplade till varandra för att kunna säkerställa korrekt funktion och kommunikation. Signalflöden visar hur information överförs mellan olika delar av skyddssystemet. Detta inkluderar styrkommandon och larmsignaler som utlöses vid avvikelser eller fel i elnätet.

### 4.2 Reläblockschema för ett ledningsfack

Varje ledningsfack skall ha ett eget reläblockschema och i reläblockschemat presenteras huvudskydd 1 och huvudskydd 2 och alla signaler som kommer in till fältstyrenheten, återkopplingsreläet och signalöverföringsenheten. Ledningsfackets reläblockschema består mest av fältstyrenhetens signaler.

### 4.3 Reläblockschema för samlingskenan

I reläblockschemat för samlingskenan är skenorna presenterade och man kan se alla ledningsfacken och deras brytare och skyddsfunktioner. Man ser alla väsentligaste signalerna som kommer in och går ut från samlingskensskyddsreläet och signaler som kommer in till fältstyrenheten och hur den skickar signalerna vidare. Man ser också hur olika förreglingar och utlösningar för dessa styrs.

## 5 Definition av apparaterna

I detta kapitel presenteras och förklaras kort funktionen hos de olika skyddsreläer och kontrollenheter som förekommer i projektets reläblockscheman.

### 5.1 Distansskyddsrelä

I de flesta 400 kV projekt används två distansskyddsreläer som huvudskydd för utgående ledningar, och dessutom är dessa av olika tillverkare. De delas in i huvudskydd 1 och huvudskydd 2. I detta projekt användes Siemens 7SA86 (figur 10 till vänster) som huvudskydd 1 och ABB REL670 (figur 10 till höger) som huvudskydd 2. Kunden har valt att använda två reläer för att säkerställa att skydden inte slutar fungera även om ett av reläerna får ett fel. Dessutom kommer reläerna från olika tillverkare för att minska risken för att båda reläerna skulle drabbas av samma mjukvaru- eller hårdvaruproblem.



Figur 10. Siemens 7SA86 till vänster. [25]. ABB REL670 till höger. [26].

Ett distansskyddsrelä används vanligtvis för att skydda långa maskade ledningar med spänningar på 110 kV eller högre, detta på grund av att den kan upptäcka felriktningen effektivt i nät där felströmmen kan uppstå från vilken riktning som helst. Även den minsta felströmmen är vanligtvis större än den största belastningsströmmen, detta gör att överströmsreläer inte kan förverkliga selektivt skydd. Däremot mäter distansreläer impedansen från den felaktiga fasen mellan platsen där den är placerad och felplatsen. Den kan alltså bestämma avståndet till felplatsen genom impedansmätning. Eftersom ledningens resistans i kraftöverföring är mycket liten jämfört med reaktansen i ledningen, bestäms strömmens storlek och fasvinkel nästan helt av ledningens reaktans. Distansreläet använder sig av denna information för att identifiera felriktningen. Om felet är framför reläet, ligger strömmen ungefär  $90^\circ$  efter spänningen på grund av den induktiva karaktären av felströmmen. Om felet däremot är bakom reläet alltså på en ledning som inte skyddas av

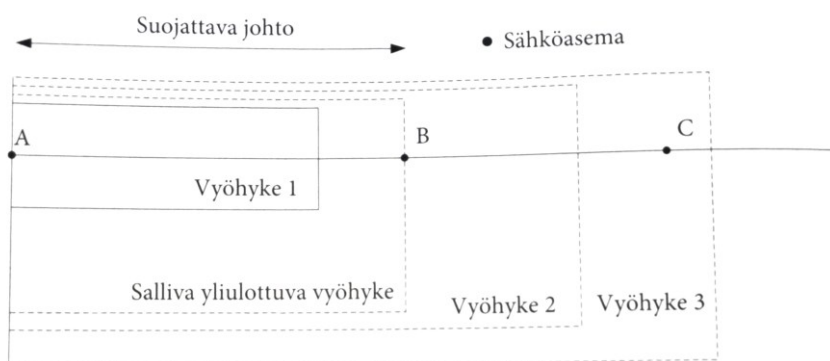
reläet, men som kommer från samma elstation, ligger strömmen  $90^\circ$  före spänningen. Reläet ska fungera så att när den uppmätta impedansen sjunker under det inställda värdet öppnar den de brytare som krävs. Distansreläet reagera endast på fas fel i den önskade riktningen. Med ett riktat distansskyddsrelä kan ett snabbt och selektivt skydd uppnås i slingnätet. [27], [6, s. 348].

Nackdelar med distansreläet är strömkänsligheten. Denna varierar mycket beroende på typen av distansskyddsreläet som används. De gamla el-mekaniska reläerna har en strömkänslighet på ungefär 50% av reläets nominella ström och nyare mikroprocessor styrda har en strömkänslighet på 10% av reläets nominella ström. Om felströmmen är mindre än denna strömkänslighet, klarar inte reläet av att upptäcka felet även om spänningen skulle ligga på 0V. Distansreläet klarar inte heller av att reagera på hög resistans i felet på grund av att den inte kan särskilja det från normal belastningsström. Distansreläer klarar av att identifiera felresistanser upp till 20 ohm. [6, ss. 348-349].

Distansreläbaserade skyddssystem är uppbyggda kring zoner med specifika räckvidder och tidsfördröjningar. Dessa zoner är konstruerade för att snabbt identifiera och reagera på fel som uppstår på olika platser längs ledningen. Den första zonen täcker vanligtvis största delen av ledningen ungefär 80–85%, baserat på dess reaktansvärden. För att säkerställa en snabb och precis utlösning av skyddsfunktioner vid fel utnyttjas kommunikationsfunktioner i distansreläerna. Detta innebär att skyddsfunktionerna vid olika punkter längs ledningen samverkar genom kommunikationskanaler.

Moderna reläer använder ofta tekniken POTT (Permissive Overreach Transfer Trip), vilket innebär att reläerna i båda ändorna är inställda så att de har större reaktansvärden än vad ledningen som de skall skydda har. För att säkerställa att felsignaler snabbt kommer fram används olika tekniker för signalöverföring, såsom optiska fiberanslutningar, radiolänkar, bärvägsförbindelser eller traditionella telefonnät. Fel inom den första zonen och kommunikationszonen behandlas utan tidsfördröjning. Om kommunikationsmöjligheterna är begränsade kommer reläet att hantera felen som är i slutet av linjen genom tidsfördröjning av zon 2. Den andra och tredje zonen fungerar som en del av skyddet för nästa ledning och har egna tidsfördröjningar inställda. Fördröjningen i den andra zonen är vanligtvis 0,4 sekunder medan den i den tredje zonen är 1 sekund. Deras räckvidd planeras så att de täcker ledningarna som ligger bakom elstationen men oftast täcker den andra zonen ungefär 120% av den skyddade ledningens längd och den tredje zonen täcker åtminstone sträckan mellan A-B-C detta kan ses i figur 11. Distansreläbaserade skyddssystem, med dess zonindelning,

erbjuder snabb och precist skydd för ledningar, vilket gör det möjligt att snabbt upptäcka och hantera eventuella fel. [6, ss. 349-351].



**Figur 11. Distansskyddsreläets zoner. Den första zonen täcker ungefär 85% av den skyddade ledningen, medan den andra zonen täcker hela ledningen och ungefär 20% av följande ledning. Den tredje zonen täcker båda ledningarna och lite av följande ledning. [6, s. 352].**

## 5.2 Relä för återkoppling

I detta projekt användes Siemens 7VK87 (figur 12) som återkopplingsrelä. Ett återkopplingsrelä används för att få återkopplingen att ske automatiskt efter att ett fel uppstått. Automatisk återkoppling används endast när det handlar om luftledningar. Återkopplingsreläet fungerar på det sättet, att efter att linjen varit spänningslös en viss förinställd tid, och skyddsreläet har slagit från brytaren och sedan meddelat åt återkopplingsreläet att försöka sluta kretsen på nytt, tar den och slår till brytaren som slåtts från på grund av något fel. Ett vanligt fel kan vara till exempel ett träd eller en kvist som antingen nuddat eller fallit på el-linjen. Återkopplingsreläet kan vara ett helt skilt relä som i detta projekt eller så kan den vara integrerad i något av skyddsreläer som har utlösningens möjlighet. De två vanligaste typerna av återkoppling kallas för SÅI (snabb återkoppling) och FÅI (fördröjd återkoppling). SÅI används vid korta spänningslösa tillfällen och FÅI när det varit en längre spänningslös period. [6, s. 356].



Figur 12. Siemens 7VK87. [28].

### 5.3 Samlingsskenans skyddsrelä

Samlingsskenans skyddsrelä är en typ av differentialrelä och den har som uppgift att jämföra inkommande strömmar och strömmar som går ut från skenan. Ifall den märker en avvikelse i strömmarna tar den och slår från alla brytare som hör till den skenan som fått något fel. Ju större strömmen är som passerar genom objektet desto större strömvariation behöver samlingsskenans skyddsrelä för att fungera. Detta beror på att ifall den skulle reagera på liten strömvariation skulle fel nära det skyddade området kunna utlösa reläet. Reaktionstiden för dessa reläer varierar mellan 5-17 ms. I spänningar över 220 kV räcker det med endast fasströmsmätning för att jordfelsströmmarna alltid är större än belastningsströmmarna. Däremot i 110 kV nät som är delvis jordade behöver man välja ett speciellare relä som klarar av att antingen mäta små nollströmmar, eller klarar av att skilja mellan små nollströmmar och stora belastningsströmmar. Detta på grund av att i 110 kV nät är oftast jordfelsströmmarna lägre än belastningsströmmarna. [6, ss. 357-358].

I detta projekt användes ett samlingsskenskyddsrelä av typen Siemens 7SS85, och kan ses i bilden nedanför (figur 13).



Figur 13. Siemens 7SS85. [29].

## 5.4 Fältstyrenheten

I detta projekt användes en fältstyrenhet av modellen Siemens 6MD85. Fältstyrenheten spelar en central roll inom elstationer. Den har som uppgift att styra ställverksfacken enligt fördefinierad styrlogik och fungerar som en länk mellan operatören och fältanordningarna. Fältstyrenheten fungerar i IEC 61850-miljöer och korrekta kommunikationsinställningarna i denna miljö är avgörande för att datautbytet mellan enheterna skall fungera korrekt. Fältstyrenheten kräver en optimerad process för att den skall kunna utföra sina automations- och kontrollfunktioner. [30, s. 3].

IEC 61850 är en standard som strukturerar intelligenta enheters data- och kommunikationstjänster inom elektriska system. Den möjliggör kompatibilitet mellan olika tillverkares enheter och ersätter äldre protokoll. Standarden bygger på Ethernet-teknologi för snabb och pålitlig dataöverföring och erbjuder en flexibel design som kan anpassas till olika system och behov över tid. Dess fördelar inkluderar kompatibilitet mellan enheter, effektiv dataöverföring och en skalbar arkitektur som underlättar hanteringen av elkraftsystemen. [31].

## 5.5 Signalöverföringssystem

Signalöverföringsenheten fungerar som en kommunikationslänk mellan skyddsreläerna. Den används främst i samband med distansreläer och differentialreläer och fungerar som ett kompletterande tilläggskydd som hjälper till med att hålla elnätet stabilt. Signalöverföringssystemet används alltid när man överför spänningar på 400 kV eller högre, även ibland med lägre spänningar men främst med 400 kV. Detta beror på att

högspänningsnät har en utlösningfördröjning i zon 2 och den kan vara för långsam i vissa situationer, och kommunikationen som signalöverföringssystemet möjliggör förkortar denna tid avsevärt. Syftet med signalöverföringsenheten är alltså att förkorta utlösningfördröjningen för båda ändarna av ledningen så att utlösningfördröjningen för zon 1 och 2 skulle vara lika korta. Man vill att zon 2 har lika kort tidsfördröjning som zon 1 alltså kring 50ms. Detta möjliggör fränkoppling av laster innan återinkopplingssekvensen, vilket förbättrar möjligheterna för att snabb återinkoppling skall lyckas. Detta är särskilt viktigt i situationer där snabbheten är avgörande för att man skall kunna undvika störningar i elnätet. [32, ss. 286-287].

I detta projekt användes signalöverföringssystem av två olika tillverkare. Den ena enheten var ABB:s NSD570 (figur 14) och den andra enheten var Siemens SWT3000 (figur 15). NSD570 och SWT3000 möjliggör snabb, tillförlitlig och säker överföring av skyddskommandon över olika kommunikationsmedier, tack vare en fullständig uppsättning linjegränssnitt. En viktig funktion är deras stöd för både IEC 61850 och konventionella kontakttypsgränssnitt. Detta innebär att NSD570 och SWT3000 kan hantera utbytet av GOOSE-meddelanden mellan traditionella och IEC 61850-kompatibla fördelningsstationer. [33].



Figur 14. ABB NSD570 signalöverföringsenhet. [33].



Figur 15. Siemens SWT3000 signalöverföringsenhet. [34].

## 6 Praktiskt genomförande

Ritningarna som skapats för detta projekt är alla konfidentiella och därför är ritningarna som presenteras i examensarbetet förenklade och nerskalade versioner av de riktiga ritningarna. De inkluderar inte verkliga identifierare, texter eller något som skulle kunna avslöja projektets detaljer.

Uppgiften var att rita reläblockscheman för ett ledningsfack och för samlingskennan. Anledningen till att reläblockschemat ritades endast för ett ledningsfack var att resten av ledningsfacken skulle ha ett likadant reläblockschema och då en var färdig kunde den tillämpas på resten av ledningsfacken i projektet.

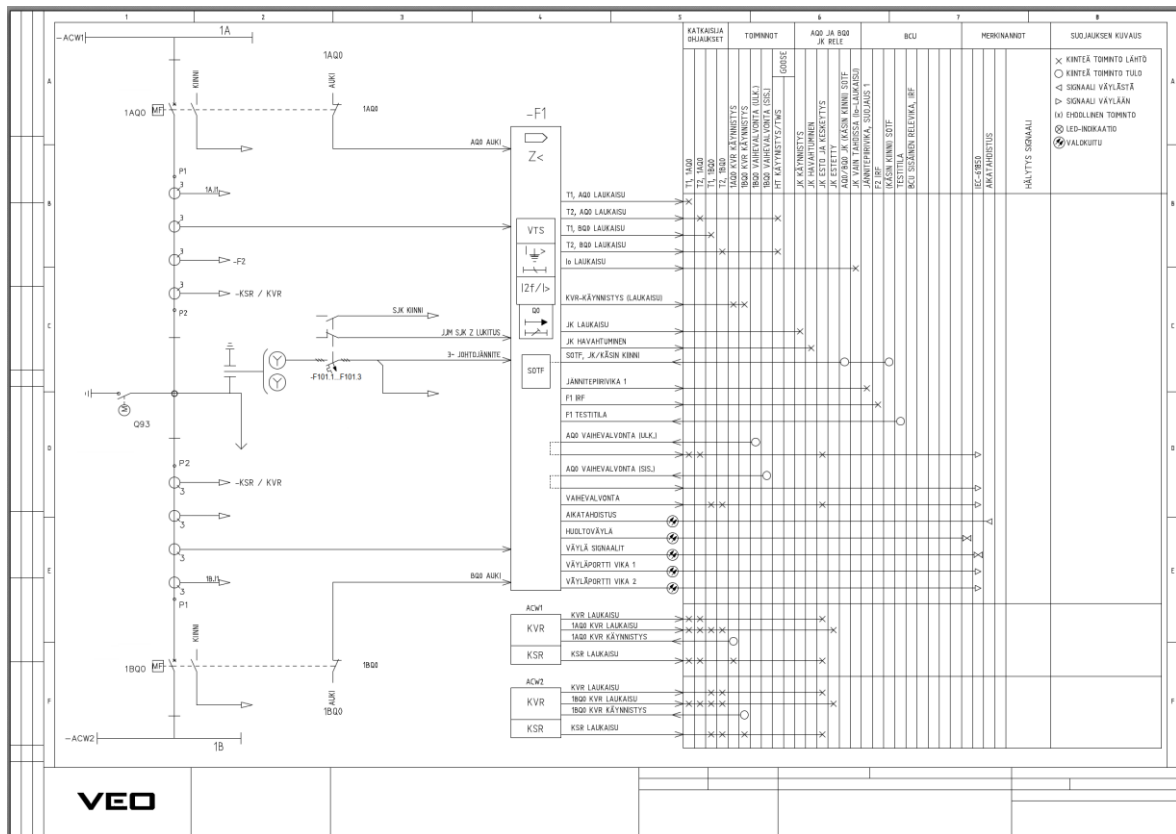
Uppgiften begränsades till ritande av reläblockscheman, medan själva planeringsarbetet av reläblockscheman var till största delen redan gjort. Projektets reläblockscheman var väldigt komplexa, och det skulle inte ha funnits tillräckligt med tid för att först planera dem och sedan ännu rita dem.

Som modell och botten för att rita reläblockscheman användes nyligen tillhandahållna exempel av reläblockscheman som kunden levererat och reläblockscheman från ett projekt som var ett par år gammalt, som hade levererats till samma kund. Dessa reläblockscheman uppdaterades så att de uppfyllde de nya kraven hos skydds- och styrsystem.

Själva ritningarna av reläblockscheman gjordes i AutoCAD LT-designprogrammet. Med detta program är det lättast att rita grafiska ritningar.

## 6.1 Reläblockschema för ett ledningsfack

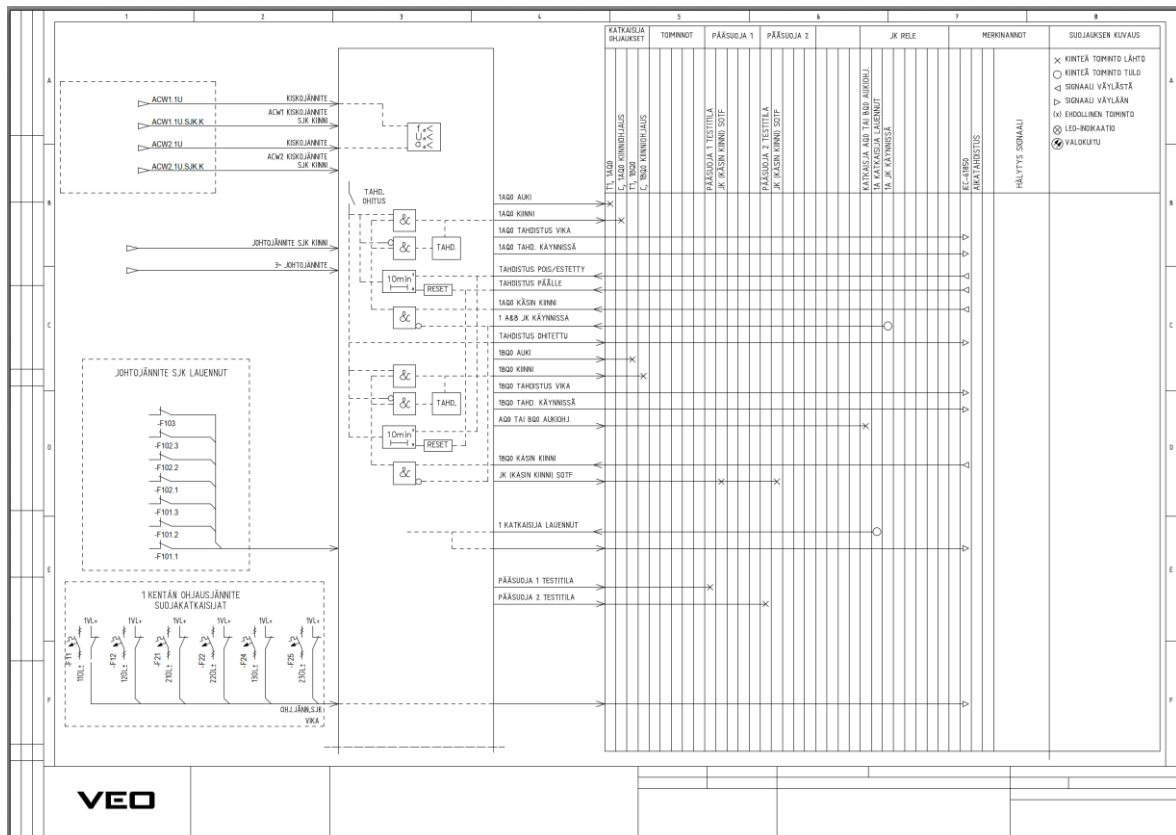
Arbetet påbörjades med att rita reläblockschemat för ett ledningsfack, och sammanlagt blev reläblockschemat för ett ledningsfack elva sidor. De första två sidorna var innehållsförteckningar. På den tredje sidan presenterades huvudskydd 1 (figur 16), vilket var ett Siemens 7SA86 distansskyddsrelä.



Figur 16. Huvudskydd 1.

På denna sida presenteras en översikt över samtliga signaler relaterade till skyddsfunktioner som går in och ut från huvudskydd 1. Den fjärde sidan såg nästan identisk ut med denna sida och där presenteras huvudskydd 2, som är av modellen ABB REL670. Båda huvudskyddsreläer har egna matningar från batteripaketet, så de kan fungera självständigt även om det andra huvudskyddet skulle vara ur bruk. Båda huvudskydden har bortom distansskyddsfunktionen egna riktade jordfelskydd och kommunikationsbindelser till motstationen.

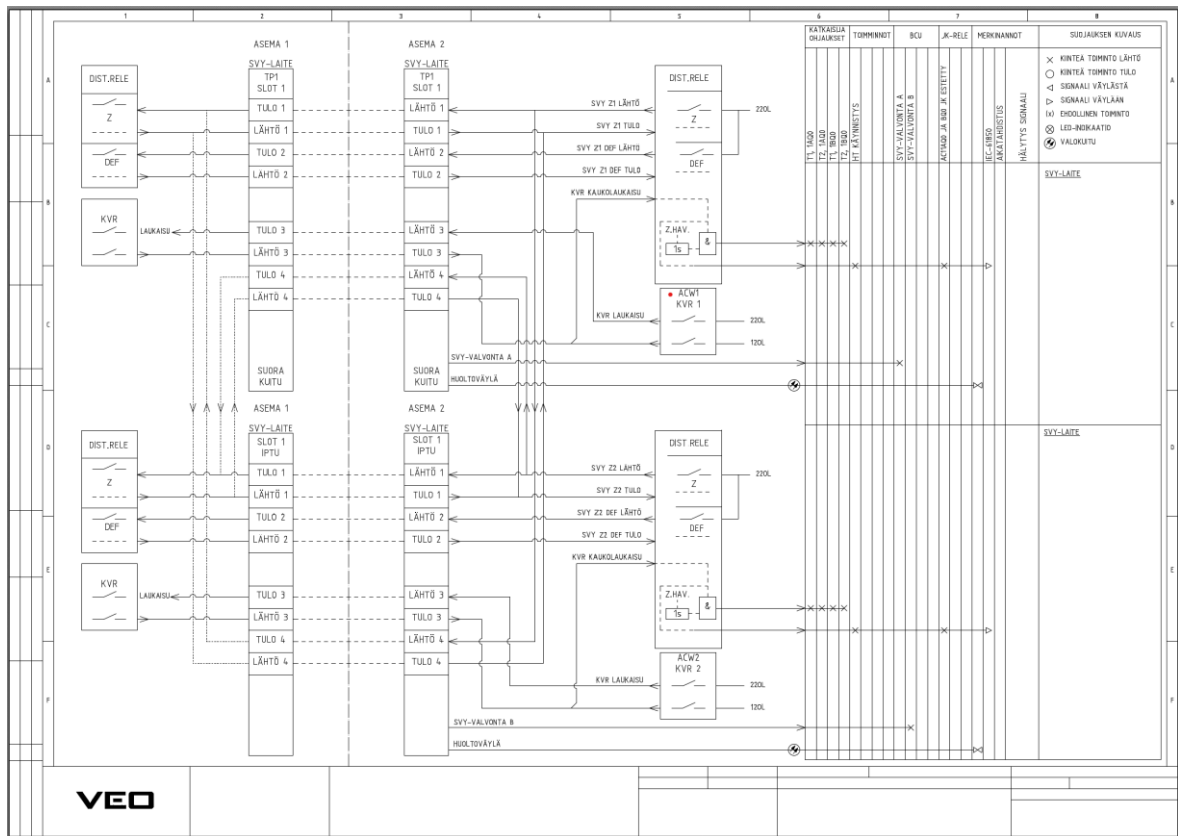
Sidan 5-9 presenterade signaler som skickas till fältstyrenheten. På sida fem (figur 17) visas signaler för stängning och öppning av brytare samt andra signaler relaterade till brytarna såsom synkronisering och testläge.



Figur 17. Fältstyrenhetens signaler.

På sidan sex visas spänningsmätningens och signalöverföringsenhetens signaler. På sjunde sidan visas statusinformation för fränkskiljaren för ledningsfacket och deras öppnings- och stängningssignaler. På åttonde sidan visas AQ0-ledningsfacket och dennes brytares statusinformation inklusive utlösningar, SF6-tryckmätning, läckagevarning, låsningar och fasövervakningssignaler. På nionde sidan visas samma information för BQ0-ledningsfackets brytare samt statusinformation om jordknivarna och eventuella fel på fränkskiljarmotorerna.

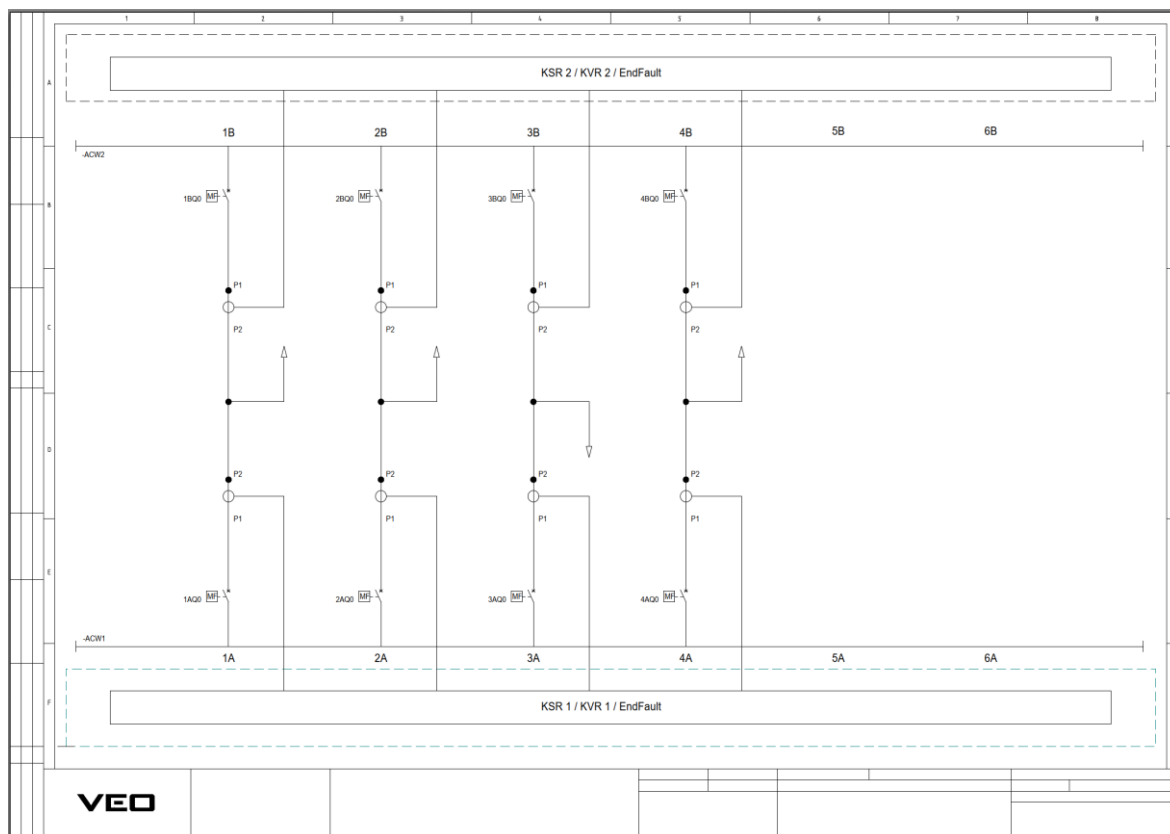




Figur 19. Signalöverföringsenheterna.

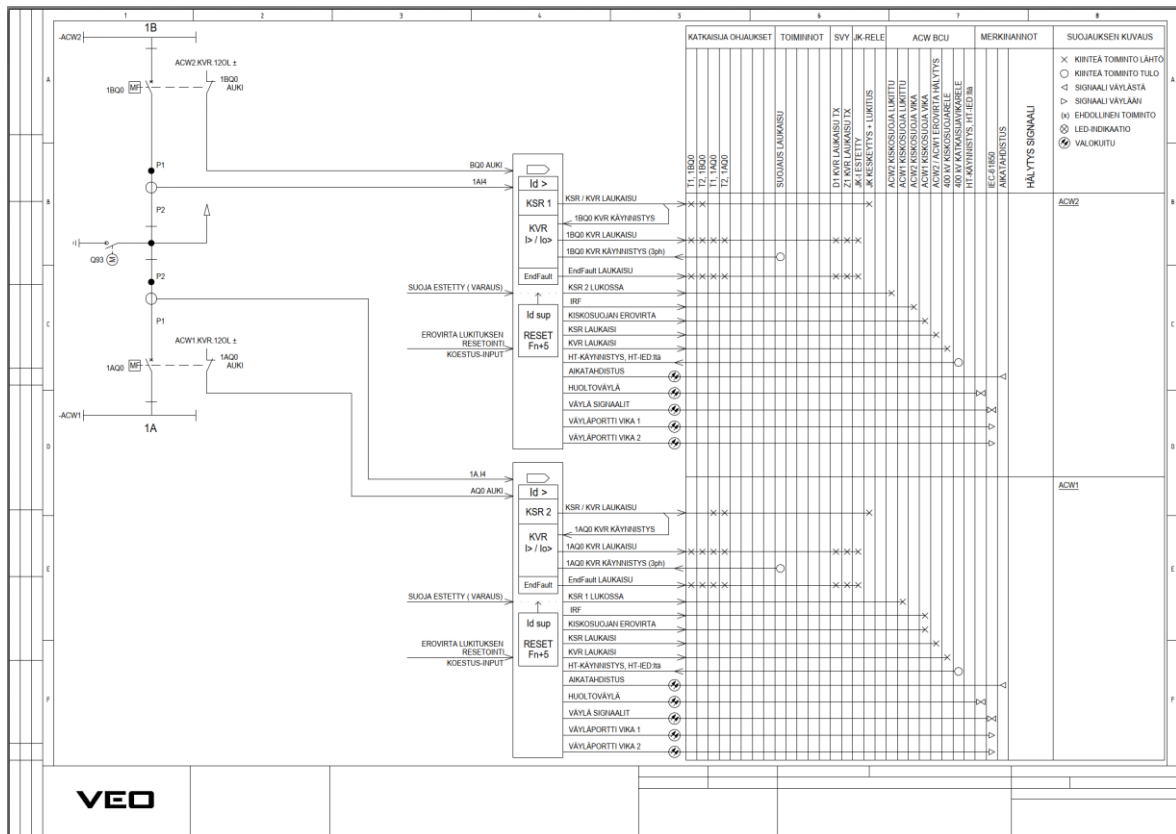
## 6.2 Reläblockschema för samlingskenan

När reläblockschemat för ledningsfacket var klart, påbörjades ritande av reläblockschemat för samlingskenan. Reläblockschemat för samlingskenan blev totalt sexton sidor långt. Första två sidorna var enbart innehållsförteckningar. På andra och tredje sidan visades skenorna och alla ledningsfack samt reservutgångar och hur samlingskenan matar dessa ledningsfack. Figur 20 är ett förenklat exempel på tredje sidan av reläblockschemat över samlingskenan.



Figur 20. Samlingskenan.

I det här projektet finns det sammanlagt tolv 400 kV ledningsfack, varav fem tas i bruk och sju lämnar som reserv. Dessa tolv ledningsfack skulle inte ha fått plats på en enda sida, så det beslöts att dela upp dem så att hälften av ledningsfacken presenterades på en sida och de återstående sex på nästa sida. Reserv ledningsfacken presenterades också i reläblockschemat för samlingskenan. När detta var klart ritades också en separat bild för varje ledningsfack, inklusive reserv ledningsfacken. Ett exempel på hur detta ser ut ses i figur 21.



Figur 21. Ledningsfack.

Bilderna för varje ledningsfack såg ut som figur 21, med ett undantag. De gemensamma larmen visades endast i den första ritningen av ledningsfacket som tas i bruk och det första ledningsfacket som lämnar som reserv. I ritningarna av ledningsfacken som lämnade som reserv visades endast signaler och skenor utan något annat innehåll.

## 7 Resultat

Resultatet av detta examensarbete blev utmärkta reläblockscheman för både ett ledningsfack och för samlingskennan. Reläblockschemat för ledningsfacket går med små modifikationer att använda till resten av projektets ledningsfack och dessa ritningar kan användas som grund för framtida 400 kV projekt.

## 8 Diskussion

I den ursprungliga planen var avsikten att rita både reläblockscheman och kretsscheman för projektet, där AutoCAD och Eplan var de verktygen som skulle användas för att genomföra detta. Under projektets gång blev det dock klart att reläblockscheman för detta specifika projekt och för den aktuella kunden krävde en betydande mängd tid och resurser på grund av sin komplexitet. För att säkerställa att arbetet kunde slutföras inom vettiga tidsramar, fattades beslutet att enbart fokusera på reläblockscheman, och därmed ändra på den ursprungliga planen.

Svårigheter i projektet var att komma igång med själva ritandet av reläblockscheman och detta berodde på att jag inte hade kommit i kontakt med reläblockscheman förr. Jag hade inte heller använt AutoCAD mycket i arbetslivet och endast gått en kurs i skolan för något år sedan. Det tog alltså en liten stund innan man lärde sig hur man använder programmet effektivt.

Trots att den ursprungliga planen ändrades och omfattningen av examensarbetet begränsades, var alla parter nöjda med slutresultatet. Personligen är jag också nöjd med slutresultatet, och hela processen har varit mycket lärorik.

## 9 Litteraturförteckning

- [1] VEO Oy, "VEO Oy," 10 1 2024. [Online]. Available: <https://veo.fi/fi/>.
- [2] M. Korpela, "Vaasa firm VEO signs mega hydroelectric power plant deal: Yle," 20 10 2014. [Online]. Available: <https://yle.fi/a/3-7537983>. [Använd 18 3 2024].
- [3] Fingrid Oyj, "Yhtiö esittely: Fingrid Oyj," 18 3 2024. [Online]. Available: <https://www.fingrid.fi/sivut/yhtiö/esittely/>.
- [4] Fingrid Oyj, "Kantaverkko/kehittäminen/suomen-sähköjärjestelmä: Fingrid Oyj," 18 3 2024. [Online]. Available: <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kehittäminen/suomen-sahkojarjestelma/>.
- [5] "Energiatietoa/energiaverkot/sähköverkot: Energiateollisuus ry," 14 1 2024. [Online]. Available: <https://energia.fi/energiatietoa/energiaverkot/sahkoverkot/#collapse-header-38791>.
- [6] J. Elovaara och L. Haarla, Sähköverkot 2, 1:a red., Helsingfors: University press Oy ja Ylioppilaskustannus, HYY Yhtymä, 2011.
- [7] L. Hietalahti, Sähkövoimatekniikan perusteet, 1:a red., Vanda: Amk-kustannus Oy Tammertekniikka, 2013.
- [8] Nationalgrid, "Nationalgrid.com," [Online]. Available: <https://www.nationalgrid.com/electricity-transmission/another-year-closer-low-carbon-energy-millions>. [Använd 23 2 2024].
- [9] VEO Oy, *Koestusohje, katkaisija*, Vasa, 2016.
- [10] H. Blomqvist, *Elkraftsystem 1*, 2:a red., Stockholm: Liber Ab, 2003.
- [11] B. Joffer, "Ny ABB-teknik 23 900 gånger bättre för miljön," 23 4 2015. [Online]. Available: <https://www.dalademokraten.se/2015-04-23/ny-abb-teknik-23-900-ganger-battre-for-miljon>. [Använd 18 3 2024].
- [12] Eurolaite Oy, "Sähkötekniikan tuotteet," [Online]. Available: <https://www.eurolaite.fi/sahkotekniikan-tuotteet/erottimet/suurjannite-erottimet/>. [Använd 18 3 2024].
- [13] A. Shahid, "High voltage transformer," 2 5 2023. [Online]. Available: <https://technicalknowledge.com/high-voltage-transformer/>.
- [14] K. A. Jacobsson, S. Lidström och C. Öhlén, *Elkraftsystem 1*, 3:dje red., Stockholm: Liber Ab, 2016.
- [15] Eaton Power Quality Oy, "Electrical circuit protection fundamentals of protective relays," 24 2 2024. [Online]. Available: <https://www.eaton.com/in/en-us/products/electrical-circuit-protection/fundamentals-of-protective-relays.html>.
- [16] ABB Oy, "medium-voltage/digital-substations/protection-relays," [Online]. Available: <https://new.abb.com/medium-voltage/digital-substations/protection-relays/feeder-protection-and-control/feeder-protection-and-control-ref630-iec>. [Använd 18 3 2024].
- [17] P. Bolin, *The Electric Power Engineering Handbook*, 3:dje red., Boca Raton: CRC Press LCC, 2012.
- [18] K. A. Jacobsson, S. Lidström och K. Öhlén, *Elkraftsystem 2*, 4:de red., Stockholm: Liber AB, 2016.
- [19] J. Elovaara och Y. Laiho, *Sähkölaitostekniikan perusteet*, 4:de red., Helsingfors: Tekijä ja Oy Ylioppilaskustannus/Otatieto, 1999.
- [20] Elektroskandia Ab, "Bildnavigering: Elektroskandia Ab," [Online]. Available: <https://www.elektroskandia.se/bildnavigering?id=1541&artnr=0635356>. [Använd 18 3 2024].

- [21] Ahlsell Ab, "Elmaterial ventilavledare: Ahlsell Ab," [Online]. Available: <https://www.ahlsell.se/category/el/elnatsmateriel-06-09/06-ventilavledare>. [Använd 18 3 2024].
- [22] Eplan, "eplan.fi," [Online]. Available: <https://www.eplan.fi/>. [Använd 28 3 2024].
- [23] Autodesk, "Products AutoCAD," 18 3 2024. [Online]. Available: <https://www.autodesk.fi/products/autocad/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=ACDIST>.
- [24] Autodesk, "Products AutoCAD LT," 18 3 2024. [Online]. Available: <https://www.autodesk.fi/products/autocad-lt/overview?term=1-MONTH&tab=subscription&plc=ACDLT>.
- [25] Siemens, "Siemens.com," [Online]. Available: <https://www.siemens.com/global/en/products/energy/energy-automation-and-smart-grid/protection-relays-and-control/siprotec-5/distance-protection/distance-protection-siprotec-7sa86.html>. [Använd 25 3 2024].
- [26] ABB, "ABB line distance protection IED REL 670," 2007. [Online]. Available: [https://library.e.abb.com/public/d3e498f5103a9e83c125729000763532/1MRK506264-BEN\\_G\\_en\\_Line\\_distance\\_protection\\_IED\\_REL670\\_pre-configured.pdf](https://library.e.abb.com/public/d3e498f5103a9e83c125729000763532/1MRK506264-BEN_G_en_Line_distance_protection_IED_REL670_pre-configured.pdf). [Använd 25 3 2024].
- [27] R. Kytölehto, *1-vaiheinen pikajälleenkytkentä SIEMENS 7VK87-jälleenkytkentäreleellä examensarbete VAMK sähkötekniikka*, Vasa, 2022.
- [28] Siemens, "Siemens.com," [Online]. Available: <https://www.siemens.com/global/en/products/energy/energy-automation-and-smart-grid/protection-relays-and-control/siprotec-5/breaker-management/circuit-breaker-management-device-siprotec-7vk87.html>. [Använd 2 4 2024].
- [29] Siemens, "Siemens.com," [Online]. Available: <https://www.siemens.com/global/en/products/energy/energy-automation-and-smart-grid/protection-relays-and-control/siprotec-5/busbar-protection/busbar-protection-siprotec-7ss85.html>. [Använd 2 4 2024].
- [30] A. Akhtar, M. Sheraz och M. Waqar Ahmed, "selinc.com," 2 2023. [Online]. Available: <https://selinc.com/api/download/137952/>. [Använd 2 4 2024].
- [31] ABB, "ABB.com," [Online]. Available: <https://new.abb.com/control-systems/fi/system-800xa/hajautettu-800xa-ohjausjärjestelma/kenttavaylaprotokollat/iec-61850>. [Använd 2 4 2024].
- [32] J. Mörsky, *Relesuojaustekniikka*, 1:a red., Esbo: Otatieto, 1992.
- [33] Hitachienergy, "hitachienergy.com," [Online]. Available: <https://www.hitachienergy.com/se/sv/products-and-solutions/communication-networks/wired-networks/nsd-teleprotection>. [Använd 27 3 2024].
- [34] Siemens, "Siemens.com," [Online]. Available: <https://www.siemens.com/global/en/products/energy/energy-automation-and-smart-grid/smart-communications/teleprotection-for-high-voltage-lines-swt-3000.html>. [Använd 27 3 2024].