

Sammanställning och planering av utbildningsmaterial för elöverföringsundervisning i Technobothnias laborationsmiljö

Simon Alexander Manselin

Examensarbete för Ingenjör (YH)-examen

El- och automationsteknik

Vasa 2025

EXAMENSARBETE

Författare: Simon Manselin
Utbildning och ort: El- Automation
Inriktning: Elkraft
Handledare: Henrik Järveläinen

Titel: Sammanställning och planering av utbildningsmaterial för elöverföringsundervisning i Technobothnias laborationsmiljö

Datum: 26.05.2025 Sidantal: 32 Bilagor: 1

Abstrakt

Detta examensarbete har utförts på uppdrag av Yrkeshögskolan Novia. Målsättningen var att ta fram en enklare manual för användningen av reläskyddet SIPROTEC 5 7SA84 i undervisningsutrymmet Technobothnia.

Syftet med arbetet var att, genom att skapa en lättförståelig manual för hantering av reläet i fråga, bidra till undervisningen i elöverföring vid Yrkeshögskolan Novia. Med stöd av manualen som tagits fram i detta arbete, samt den teoretiska kunskap om distansskydd som beskrivs i arbetet, kan en person med goda grundkunskaper installera ett distansskydd i den elöverföringssimulator som finns i Technobothnias laboratorium.

Arbetet genomfördes genom en sammanställning av teoretisk kunskap om funktionsprinciperna för det aktuella reläskyddet, samt praktiska tester på det fysiska reläet och dess tillhörande programvara. En sammanställning av inställningarna i programvaran, samt annan nödvändig information för att använda reläet, finns som bilaga till detta arbete.

Språk: svenska

Nyckelord: distansskydd, elöverföring, reläskydd, SIPROTEC

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Simon Manselin
Koulutus ja paikkakunta: Sähkö- ja automaatiotekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto: Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja: Henrik Järveläinen

Nimike: Sähkönsiirto-opetuksen opetusmateriaalin kokoaminen ja suunnittelu Technobothnian laboratoriossa

Päivämäärä: 26.05.2025 Sivumäärä: 32

Liitteet 1

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on tehty Yrkeshögskolan Novain toimeksiannosta. Tavoitteena oli laatia yksinkertaistettu käyttöohje SIPROTEC 5 7SA84 -suojareleelle Technobothnian opetustilassa.

Työn tarkoituksena oli tukea sähkönsiirron opetusta Novialla laatimalla helposti ymmärrettävä ohje kyseisen releen käyttöön. Tämän työn yhteydessä laaditun ohjeen ja työn teoreettisen osuuden avulla henkilö, jolla on hyvät perustiedot, voi asentaa etäsuojauksen Technobothnian laboratoriossa sijaitsevaan sähkönsiirtosimulaattoriin.

Työ toteutettiin kokoamalla teoreettista tietoa kyseisen suojareletyyppin toimintaperiaatteista sekä tekemällä käytännön kokeita releellä ja siihen liittyvällä ohjelmistolla. Ohjelmiston asetukset ja muu tarvittava tieto releen käyttöön on koottu työn liitteeseen.

Kiel: ruotsi

Avin sanat: Distansisuoja, sähkösiirto, suojarelee, SIPROTEC

BACHELOR'S THESIS

Author: Simon Manselin
Degree Programme: Engineering and Automation, Vasa
Specialisation: Power Systems Engineering
Supervisor(s): Henrik Järveläinen

Title: Compilation and Planning of Educational Material for Power Transmission Instruction in Technobothnia's Laboratory Environment

Date: 26.05.2025 Number of pages: 32

Appendices 1

Abstract

This thesis was carried out on behalf of Novia University of Applied Sciences. The objective was to develop a simplified manual for the use of the SIPROTEC 5 7SA84 protection relay in the Technobothnia teaching environment.

The purpose of the work is to contribute to the teaching of power transmission at Novia by creating an easy-to-understand manual for handling the relay. With the support of the manual developed in this thesis, along with the theoretical knowledge of distance protection described herein, a person with solid basic knowledge can install a distance protection system in the power transmission simulator at Technobothnia's laboratory.

The work was carried out by compiling theoretical knowledge about the operating principles of the protection relay in question, and by conducting practical tests on the physical relay and its associated software. A summary of the software settings, along with other necessary information for using the relay, is included as an appendix to this thesis.

Language: Swedish

Key words: distance protection, electrical distribution, protective relay, SIPROTEC

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte.....	1
1.3	Målsättning.....	1
2	Teori.....	2
2.1	Eldistribution	2
2.1.1	Transformator.....	3
2.1.2	Brytare	5
2.1.3	Frånskiljare	6
2.1.4	Mättransformatorer	7
2.2	Reläskydd.....	7
2.2.1	Tidsbaserat överströmsskydd.....	8
2.2.2	Omedelbart överströmsskydd.....	9
2.2.3	Överspänningsskydd.....	9
2.2.4	Lågspänningsskydd	9
2.2.5	Distansskydd	9
3	Översikt av reläskyddet och simulator	14
3.1	Simuleringsmiljön	14
3.2	Reläskydd 7SA84.....	15
3.2.1	Zonskydd med fyrsidig karaktär	18
3.2.2	Zonskydd med MHO-karaktär	21
4	Genomförande	26
5	Konfigurering av SIPROTEC 5 relä.....	26
5.1	Beräkning av linjen	27
5.1.1	Zone timer start (_ : 2311:110).....	28
5.1.2	Dist. characteristic angle (_ : 2311:107).....	28
5.1.3	3I0> threshold value (_ : 2311:103)	28
5.1.4	3I0 pickup stabilization (_ : 2311:104)	29
6	Resultat.....	29
7	Diskussion	30
8	Slutsats.....	30
9	Källförteckning.....	32

1 Inledning

Detta arbete har gjorts i samarbete med Yrkehögskolan Novia. Idén bakom arbetet är att skapa en enklare handbok i handhavande av reläskydd tillverkat av Siemens, modell 7SA84.

1.1 Bakgrund

Skyddsrelä har blivit utbytt i Technobothnias undervisningsmiljö och ett behov av att skapa en manual för ibruktagande har uppstått. Idag finns ett flertal reläskydden av olika tillverkare för praktisk undervisning vid Technobothnias laborationsmiljö och det kan vara utmanande för undervisningspersonal att hålla sig ajour med alla olika mjukvaruprogram som idag används för att styra dessa reläer.

1.2 Syfte

Vid Yrkehögskolan Novias utbildning för el- och automationsteknik, med inriktningen elkraft, igår ett flertal kurser inom olika delar av el överföring och distribution. Till dessa kurser igår teoretiska, samt praktiska kunskaper om olika skydds principer som idag tillämpas i dagens eldistributionsnät. (Novia, 2024).

Den praktiska undervisningen genomförs i Technobothnias undervisningsutrymmen. Technobothnia drivs idag i samarbete av tre skolor: Vasa universitet, Vaasan ammattikorkeakoulu samt Yrkehögskolan Novia. Technobothnias eldistributionslaboratorium ansvaras av Vaasan ammattikorkeakoulu som införskaffar och installerar ny utrustning. (Technobothnia, 2024).

Då det kan vara tidskrävande att tillämpa ny utrustning i undervisningssyfte ämnar detta arbete att underlätta för lektorer, samt annan undervisande personal vid Yrkehögskolan Novia att lära sig använda el-distributionssimulatoren vid Technobothnia.

1.3 Målsättning

Målsättningen för arbetet var att en lektor, eller annan person som undervisar i elöverföring vid Novia Yrkehögskola, skall kunna använda sig av manualen för att

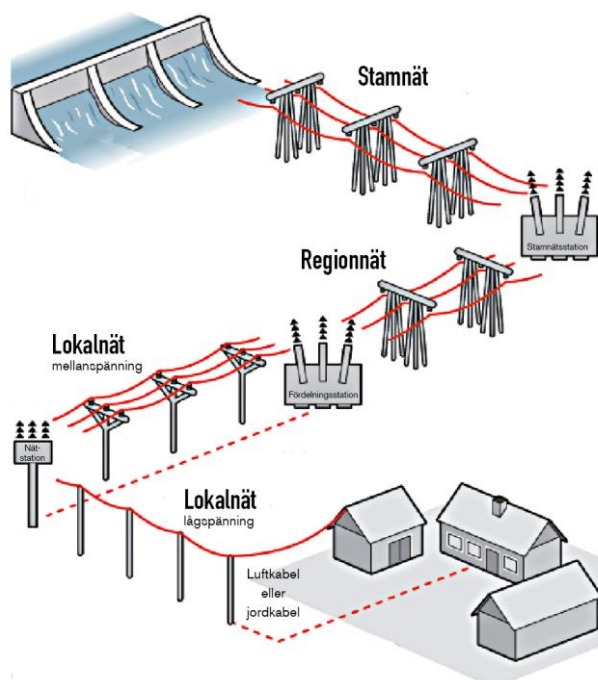
underlätta processen med att sätta sig in i handhavandet av skyddsrelä och el-distributionssimulatorens i Technobothnia.

2 Teori

Examensarbetets målsättning var att skapa en handbok för hantering av skyddsrelä Siprotec 7SA84 i en undervisningsmiljö. Handboken skall kunna användas som stöd för lektorer vid yrkeshögskolan Novia vid undervisning av praktiska moment i elöverföring. Teoridelen innefattar en teoretisk redogörelse för hur elkraften distribueras i Finland och reläskyddens funktion i distributionen.

2.1 Eldistribution

Elenergin distribueras och fördelas från produktion till konsumtion via kraftledningar som sträcker sig genom landet. För att elenergin skall kunna överföras på ett effektivt sätt finns det olika typer av ledningar med olika spänningsnivåer. Dessa ledningar delas upp i stamnät och distributionsnät. Stamnätet upprättas och underhålles av det statliga bolaget Fingrid. Stamnätet finns som växelström i spänningsnivåer med 400 kV, 220 kV och 110 kV samt HVDC överföringar mellan Finland och våra grannländer. Distributionsnätet upprätthålls av de olika bolag som distribuerar elkraft i Finland. Distributionsnäten är normalt anslutna till stamnätet via 110 kV. Distributionsnätet förekommer också i spänningsnivåer från 110 kV ner till 0,4 kV (Fingrid, 2024). För att kunna sammankoppla elnät på olika nivåer finns så elstationer. Elstationer fungerar som en knytpunkt i elnätet där det kan göras ändringar, fördelning eller stoppa distributionen av elenergin. (Energiateollisuus, 2024).



Figur 1: Elstationens roll. (Härnösand el & energi, 2024)

Elstationen är en sammansättning av olika komponenter vars syften är att skydda människor, djur och materiel för fara och att kunna genomföra energiöverföringen på ett så effektivt sätt som möjligt. En elstation kan variera i storlek beroende på belastningen av de elnäteten som stationen sammankopplar. Elstationen komponenter kan variera beroende på dess uppgift och anpassning till driftmålsättning. Huvudkomponenterna i en elstation som återfinnes i de allra flesta stationer är:

1. Transformator
2. Frånskiljare
3. Reläskydd
4. Spänningstransformator
5. Strömtransformator

2.1.1 Transformator

Transformatorn är en elapparat som kan omvandla en elektrisk spänning genom induktion. Transformatorn spelar en väsentlig roll i eldistributionen då det är med transformatorns hjälp man kan använda sig av olika spänningsnivåer i elnätet och skapa ett effektivt

distributionsnät. Utöver att reglera spänningar kan en transformator utformas att bland annat göra fasregleringar av spänningen. En transformator består av en järnkärna med två kopparlindningar. Då en ström går genom en av de två kopparlindningar startas en magnetisering av järnkärnan. Denna magnetisering genererar sedan en ström i den andra kopparlindningen som finns lindad kring samma järnkärna. Effektförhållandet förblir det samma i de två olika lindningar, men beroende på hur många varv kopparlindan är lindad kring järnkärnan, kommer det att resultera i olika spänningsnivåer. Detta kan beskrivas med två formlerna av förhållandena mellan de olika sidorna, där N beskriver antalet lindande varv.

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \quad (1)$$

Och

$$V_1 I_1 = V_2 I_2 \quad (2)$$

Då järnkärnan magnetiseras uppstår det vissa energiförluster via så kallade Eddy strömmar som uppstår i järnkärnan. Genom att laserkära tunna plåtar och sedan laminera dessa plåtar bidrar till att minska Eddy strömmen och därmed förlusterna i transformatorn. (Bayliss & Hardy, 2007).



Figur 2: Transformator (Tate Electricals, 2024)

2.1.2 Brytare

Brytaren är en elapparat som är konstruerad för att kunna bryta en strömkrets även vid hög spänning. För att kunna bryta en hög spänning krävs en konstruktion som klarar att släcka en ljusbåge som uppstår då två ledande delar separeras från varandra.

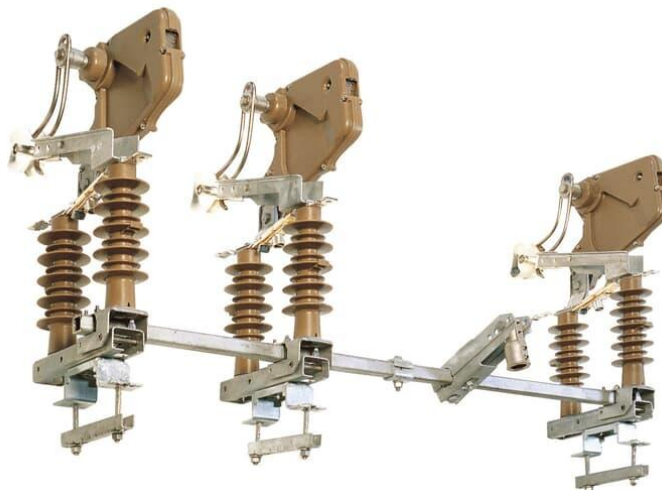


**Figur 3: Brytare för mellanspänningsställverk.
(ABB, 2024a)**

Genom att kontaktytorna omges av ett släckmedium, förhindrar det att det uppstår ljusbågar. Detta medium agerar samtidigt som isolator mot återvändande spänning. Brytare indelas i olika kategorier beroende vilken typ av mediet som används i brytaren, SF₆- brytare, vakuumbrytare, CO₂- brytare och oljebrytare. Brytaren skall vara för ändamålet dimensionerad så att den klarar kontinuerlig drift med nominell ström och brytningen av en maximal kortslutning ström vid kortslutning direkt på klämmorna. - Brytaren styrs normalt via signaler från ett reläskydd. Om ett fel uppstår skall brytaren kunna på några millisekunder bryta strömmen helt och gå från ledare till isolator. För att kunna bryta en strömkrets under last krävs energi, denna energi återfinns ofta i brytaren lagrad i en tillslagsfjäder. En annan variant kan vara brytare med motormanöverdon. Till en brytare skall det alltid finnas en anordning för att manövrera en brytare manuellt. Brytaren skall även vara försedd med indikator för spänt eller ospänt tillstånd av tillslagsfjädern. (Jacobsson, Lindström, & Öhlen, 2016).

2.1.3 Frånskiljare

En frånskiljares uppgift att säkert kunna bryta strömkretsen vid arbete av driftsanläggningen. En frånskiljare skall ha tydliga indikator för att underhållsarbetare skall kunna se att området för arbete är frånskilda från strömförande delare.

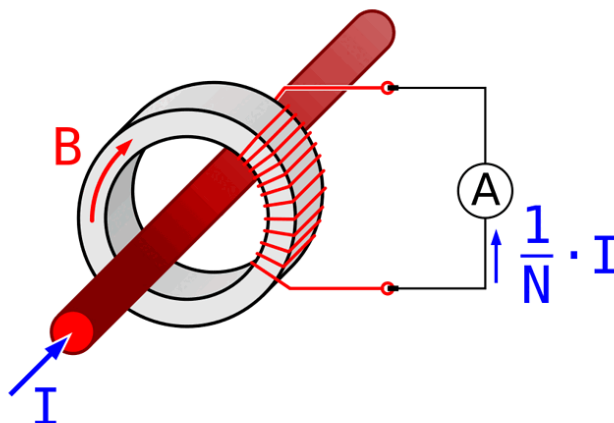


Figur 4: Frånskiljare för luftledning. (ABB, 2024a)

Vid större anläggningar manövreras frånskiljaren normalt med motor, och vid mindre anläggningar manövreras de manuellt. En frånskiljare skall alltid ha möjlighet för manuell manövrering oavsett normal manövreringsprincip. Vanligen är de strömledande delarna av frånskiljaren synliga för att tydligt indikera att arbete på linjen kan utföras säkert. Om det av olika orsaker inte är möjligt med synliga delar, skall en tydlig indikator installeras. En frånskiljare som är placerad utomhus och manövreras från markplan låses alltid i det aktuella läget. Den enklaste typen av frånskiljare är konstruerade av en strömförande balk som kan röra sig i slutet och öppet läge från en kontaktklyka. På grund av sin enkla konstruktion kan en frånskiljare inte manövreras vid belastning ström då ljusbågar kan uppstå. Strömmen bör därför sänkas eller brytas innan frånskiljaren kan manövreras. Spänningen kan dock vara på normal nivå vid manövrering av frånskiljaren. Frånskiljaren skall installeras före brytaren sett från matande sidan. Om matning kan ske från bägge sidor av brytaren, skall det då finnas frånskiljare på båda sidor brytaren. Frånskiljaren kan placeras vid flera punkter vid en anläggning för att underlätta framtida servicearbeten. (Jacobsson, Lindström, & Öhlen, 2016)

2.1.4 Mättransformatorer

Mättransformatorer finns som både ström och spänningstransformatorer. Dessa transformatorers primära uppgift är att med hög precision omvandla en hög spänning eller ström till ett lägre förhållande som ett reläskydd kan läsa av.



Figur 5: Mättransformator (Testguy, 2024).

Funktionsprincipen för en mättransformator är den samma som för en effektransformator, det vill säga Faradays induktionslag om elektromagnetism. En spänningstransformator har normalt en lägre läckström och mindre resistans i lindningarna än en effektransformator och därav en högre precision. En mätströmstransformator har en metallkärna som sluter kring den primära strömkällan. En sekundär tråd är lindad kring kärnan och antalet lindningsvarv kommer att påverka strömmen i sekundärtråden. Förhållandet mellan strömmen i primär och sekundär är statiskt. (Bayliss & Hardy, 2007).

2.2 Reläskydd

Reläskydd är en apparat som finns med i en elstation för att kunna upptäcka onormala förhållanden i elnätet och vidta skyddsåtgärder vid uppdagandet av abnormiteter i eldistributionen. Reläskydd kan vara lite olika utformade beroende på dess funktion och klassificeras in i olika grupper beroende på ingångarnas egenskaper, operationsfunktion och reläets funktionsprincip, såsom elektromekaniskt, statiskt eller mikroprocessor styrt. Ett reläskydd får information om systemets strömmar och spänningar via mättransformatorer och har således ingen direkt kontakt med de nätverk de är installerade på att skydda. Huvudsyfte för de flesta reläskydd är att kunna manövrera en brytare. Skyddsrelä är således inte direkt kopplat till den strömkrets det skyddar, utan sänder vid behov impulser till en frånskiljare som i sin tur är dimensionerad för de strömmar och spänningar som kretsen

skall klara. Vid det flesta fall sänder skyddsrelä en impuls för att öppna en brytare och öppna kretsen, men i vissa fall används även relät för att förhindra brytaren att öppnas. Skyddsrelä kan i sig inte öppna eller stänga en brytare, utan manövrerar frånskiljaren med att sända en ströminpuls som öppnar eller sluter en strömkrets som i sin tur utlöser en fjäder, hydraulikcylinder eller någon annan energisjälvständig mekanism som kan öppna brytaren och byta strömkretsen.



Figur 6: Reläskydd. (Siemens, 2024)

Ett reläskydd övervakar en rad olika parametrar och skall vid behov kunna reagera på fel som uppstått på den linje det är monterat för att skydda. Nedan följer en genomgång för de vanligaste principer ett reläskydd beräknar fel och övervakar nätet. (Bayliss & Hardy, 2007; Sleva, 2009)

2.2.1 Tidsbaserat överströmsskydd

Tidsbaserade överströmsskydd verkar enligt två faktorer, strömstyrka och tid. Ett givet strömтал är definierat för linjen relät är installerat att skydda, överströmsvärde. Då skyddsrelä registrerar ett strömvärde som överskrider överströmsvärdet startas en timer. Om ström värdet inte återgår till ett lägre strömvärde än det på förhands definierade överströmsvärdet kommer relät att sända en signal till brytaren att öppna kretsen. Tidsbaserade överströmsskydd kan även ha en stegrande funktion, vilket innebär att desto större ström som registreras av relät desto snabbare kommer relät att reagera och utlösa frånskiljaren, detta kan beskrivas av en tids-ström kurva. Uppmätt strömvärde divideras

med överströmsvärde och multipliceras med överströmsvärde. Ett tidsvärde för hur lång tid ett relä skall tolerera denna överström läses ut från tids-strömkurvan var det multiplicerade överströmsvärdet möter tidsvärdet på kurvan. (Sleva, 2009).

2.2.2 Omedelbart överströmsskydd

Omedelbart överströmsskydd har ingen avsiktlig fördröjning av utlösande av skyddet, och skall utlösas varje gång en ström överskrider det givna överströmsvärdet. För att göra korrekt inställning av överströmsvärdet bör det finnas väl dokumenterat vilka förhållanden som råder mellan relät mättransformatorn. (Sleva, 2009).

2.2.3 Överspänningsskydd

Ett överspänningsskydd är konstruerat att reagera och agera vid förhöjd spänning vid den linje ett relä är installerat för att skydda. Överspänningsskydd kan vara direkt verkande och öppna brytaren direkt en förhöjd spänning upptäcks, men kan också vara installerade med tids fördröjning där en viss överspänning tolereras över en förutbestämd tid. Ett maximalt spänningsvärde bestäms på förhand och relät programmeras med detta värde, överskrider detta värde kommer skyddsrelä att reagera antingen direkt efter en viss fördröjning. Eftersom ett reläskydd mycket sällan avläser den direkta spänningen från linjen, utan får spänningsvärde från en mättransformator, är det mycket viktigt att man vid installation av överspänningsskydd kontrollerar mättransformatorns omvandlingsförhållande och att detta dokumenteras väl (Sleva, 2009).

2.2.4 Lågspänningsskydd

Lågspänningsskydd reagerar då den uppmätta spänningen underskrider ett på förhand installerat spänningsvärde och reagerar vanligtvis direkt då ett för lågt spänningsvärde uppdagas. Lågspänningsskydden skall utlösas var gång spänningen understiger det installerade spänningsvärdet. (Sleva, 2009).

2.2.5 Distansskydd

Distansskydden används idag flitigt vid konstruktion av skyddsmekanismer i elstationer tack vare dess pålitlighet samt snabba reaktionstid. Distansskyddet beräknar linjens impedans med hjälp av att mäta förhållandet mellan ström och spänning:

$$Z = \frac{V}{I} \quad (3)$$

Då ett fel på linjen uppstår faller spänningen medan strömmen ökar, vilket i sin tur ger en lägre impedans. Impedansen kommer att vara konstant för linjen oberoende amplituden på ström och spänning och kan därför användas för att beräkna distans från relät till det uppstådda felet. Skyddsrelä kommer att reagera och utlösa skyddsmekanismen då ett lägre impedansvärde än den för relät angivna gränsvärdet (Z_R) uppmäts vid relät. Detta ger:

$$Z_R \geq \frac{V}{I} \text{ eller } IZ_R \geq V \quad (4)$$

Det kan dock vara komplicerat att övervaka förhållandena mellan I och V då de är normalt i 90° vinkel i förhållande till varandra, vilket kan leda till inkorrekta RMS. förhållande för I och V . Vi kan därför använda oss av två signaler S_1 och S_2 och konstant jämföra vinkeln mellan dessa två. Omvandlingsförhållanden mellan mättransformatorn tilldelas konstanten K . Vi kan då definiera S_1 och S_2 enligt följande:

$$S_1 = KV + IZ_R \quad (5)$$

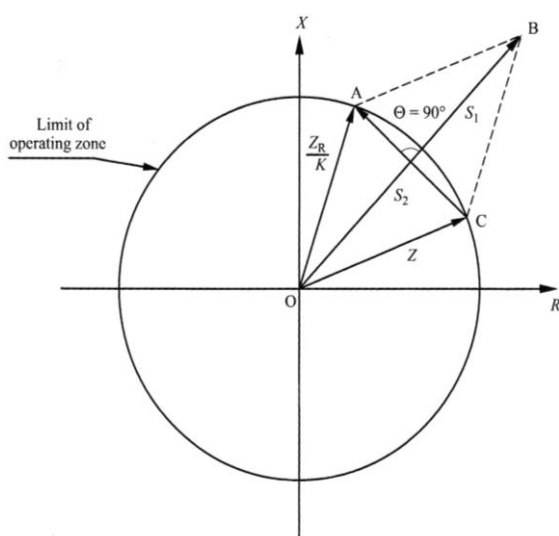
$$S_2 = -KV + IZ_R$$

Dividerar vi uttrycken med IK och förenklar får vi:

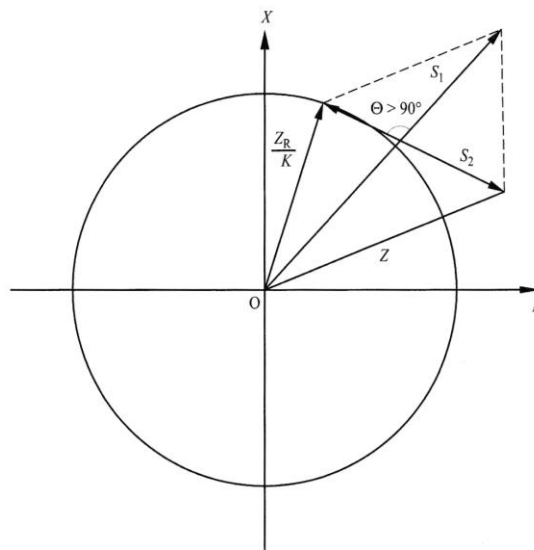
$$S_1 = Z + \frac{Z_R}{K} \quad (6)$$

$$S_2 = -Z + \frac{Z_R}{K}$$

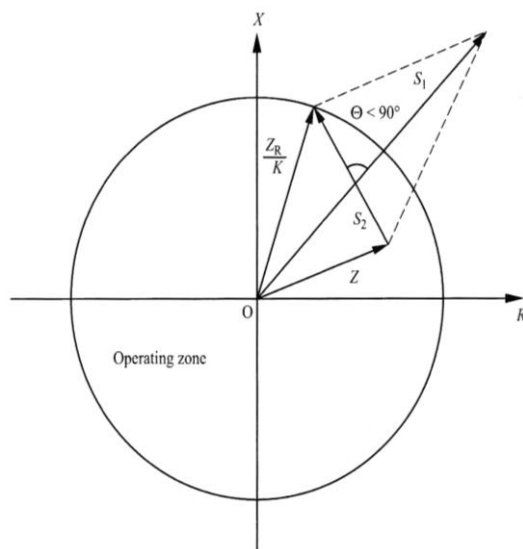
Genom att rita ett diagram med induktans och reaktans kan man visualisera reläts räckvidder för distansskyddet med impedans vektorer. Gränsvärdet som ställs in för att skydda linjen beskrivs som en cirkel och själva relät är i origon av diagrammet. Vinkeljämförelsens signaler S_1 och S_2 bildar diagonaler en romb i diagrammet (Figur 8) Impedansen under normal last kommer att ligga utanför cirkeln och vinkeln mellan S_1 och S_2 är över 90° (Figur 7). Om ett fel uppstår någonstans på linjen kommer impedansen att sjunka och vektorn för impedansen kommer att infalla innanför diagrammet cirkel (Figur 9).



Figur 8: Impedansskydd i R-X-diagram med impedans vektorer. (Gers & Holmes, 2011)



Figur 7: Impedans utanför gränsvärdet. (Gers & Holmes, 2011)



Figur 9: Diagram med impedans inom reläts gränsvärde. (Gers & Holmes, 2011)

Även vinkeln mellan S_1 och S_2 understiger 90° . Ett enkelt impedansskydd utlöser alltid då en impedans inom cirkeln upptäcks. Detta leder till att om ett fel i linjen på andra sidan relät uppstår, kommer relät att uppfatta strömmen och impedansen som negativ och vektorn för impedansen kommer att gå i negativ riktning och sluta inom gränsvärdescirkeln. Med riktningstyrt skydd kan relät undvika att utlösas för fel som uppstår på samlingskenan och undvika obefogade trippar för relät. Gränsvärdet för impedansen beskriv som en halvcirkel i diagrammets positiva del.

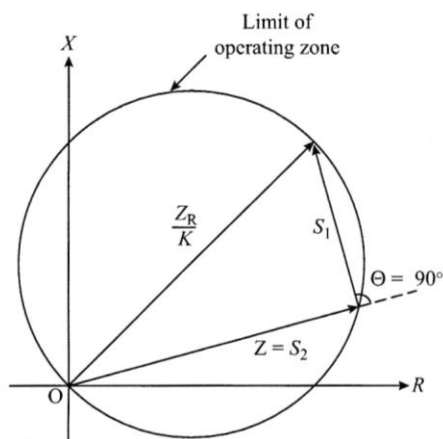
Genom att kombinera impedansskyddet med riktningstyrt skydd kan man erhålla de positiva egenskaperna i båda skydden. Detta skydd kallas för Mho, vilket har fått sitt namn från ohm baklänges. Ritat i R-X-diagrammet kommer gränsvärdets cirkels radie att skära origon genom att tilldela signalerna följande:

$$\begin{aligned} S_1 &= -KV + Z_R I \\ S_2 &= KV \end{aligned} \tag{7}$$

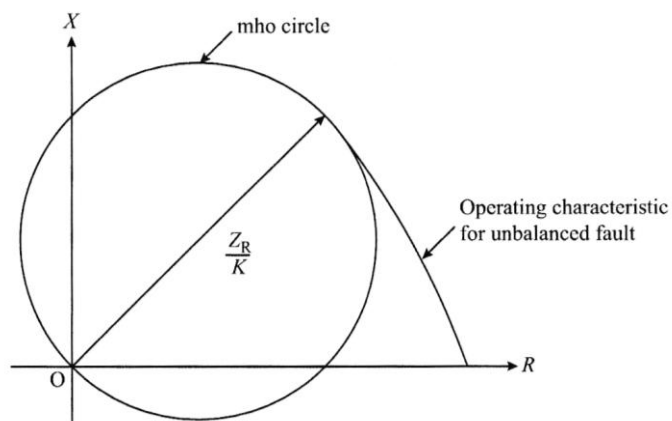
Förenklat:

$$\begin{aligned} S_1 &= -Z + \frac{Z_R}{K} \\ S_2 &= Z \end{aligned} \tag{8}$$

Då vi i R-X-diagrammet ritar ut gränsvärdesvektorn $\frac{Z_R}{K}$ får vi gränsvärdets cirkels diagonal. Om impedansen sjunker och impedansvektorn infinner sig innanför ringen och vinkeln mellan S_1 och S_2 kommer skyddet att utlösas. En nackdel med mho skydd kan uppstå vid mycket långa linjer då skyddet inte täcker en tillräckligt stor del av resistansen. Om ett fel på linjen då uppstår tillräckligt lågt från relät, kan det finnas tillräckligt med resistans i felet för att undgå relät. Genom att polarisera mho-skyddet kan man förlänga skyddets räckvidd längs R-axeln i R-X-diagrammet.



Figur 11: Mho skydd. (Gers & Holmes, 2011)



Figur 11: Polariserad mho. (Gers & Holmes, 2011)

En av det stora fördelarna med att använda sig av distansskyddet är att man kan dela in skydden i olika zoner. Med hjälp av dessa zoner kan flera relä ha en överlappande skydd på samma linje utan att nödvändigtvis utlösa alla reläskydd på en och samma gång vid ett fel och orsaka onödigt stora driftsstörningar samt fördröja felsökningen och eventuella reparationer av linjen. Med kunskapen om linjens impedans och längd kan vi dela in en linje i olika zoner. Normal praxis är att första zonen skyddar linjen som ligger närmast relät.

Zon 1 har ingen tidsfördröjning och skall således utlösas direkt ett fel upptäckt på linjen. Då impedanserna i linjen är relativt små och ett exakt gränsvärde för att täcka en hel linje, brukar en viss felmarginal användas vid inställning av första zonens gränsvärdes impedans. Ett vanligt tillvägagångssätt är att första zonen täcker 80–85 % av hela linjens impedans. Detta görs för att relät inte skall trippa på fel som uppstår vid linjens följande elstation.

Zon 2 tilldelas att skydda impedansen för hela linjens läng plus 50 % av därpå följande linje, detta med en tidsfördröjning på 0,2–0,4 s. Tidsfördröjningen ger andra de andra reläer som ligger närmare felet en chans att trippa först, men tar över ifall så icke skulle ske av någon orsak.

Zon 3 har ytterligare räckvidd och större tidsfördröjning. Räckvidden kan vara inställd att täcka de två följande elstationer samt 25 % av linjen efter den andra stationen. Tidsfördröjningen kan variera mellan 0,6–1 s. Individuella anpassningar i tid och täckning för de olika zoner görs för olika linjer där man har flera komponenter över en linje, till

exempel transformatorer etcetera. (Gers & Holmes, 2011; Sleva, 2009; Bayliss & Hardy, 2007).

3 Översikt av reläskyddet och simulator

I den teoretiska genomgången ovan har delar av de olika komponenter som normalt ingår i en elstation lyfts fram med en djupare genomgång av ett reläskyddsfunktioner och distansskydd. I detta kapitel görs en genomgång av den specifika modell som används i arbetet och dess funktions principer som används för distansskydden, samt en genomgång av de fysiska komponenter som utgör simuleringsmiljön.

3.1 Simuleringsmiljön

Skyddsrelä som beskrivs i detta arbete finns installerat i ett skåp gjort för att simulera elöverföring på en 400 kV linje. Skåpet är byggt 1995 och skyddsrelä har bytts ut till modernare reläskydd efter hand. Överföringslinjen som simuleras är ett modellexemplar av den verkliga högspänningslinjen som sträcker sig från Torneå till Muhos och med



Figur 12: 400kV kraftledning från Torneå till Muhos.
(Fingrid, 2025)

elstationer i Simo och Yli-Olheva. Simulerings-skåpet är konstruerat för att så nära som möjligt efterlikna impedanserna i den verkliga linjen med hjälp av spolar och resistanser och avstånden mellan stationerna är de samma som i verkligheten. Simulations-skåpet är byggt för att kunna simulera kortslutningar med olika resistans. Med utrustningen kan man

även simulera olika belastningar av elnätet för undervisning av andra skyddsmekanismer som kan tillämpas av relät.

3.2 Reläskydd 7SA84

Reläskyddet som används i simulator är av modellen SIPROTEC 5 7SA84 och tillverkat av Siemens. Reläskyddet är en av Siemens enklare modeller som är avsedd för skydda luftburna linjer med ett trefasskydd. Reläskyddet kan skydda linjer i olika konstellationer, så som i nät, ring eller rak kopplade system med en eller flera matningar. Reläskyddet har även utöver distansskyddet flera inbyggda skydd som kan anpassas efter behov. Reläskyddet har en mikroprocessor som gör beräkningarna som krävs för att de olika skydden skall kunna fungera på ett korrekt sett. Då det är frågan om ett relä med mikroprocessor fungerar de olika skyddsmetoder som en funktion, men olika typer av loopar och logik för att de korrekt utslag då någonting sker. En del av dessa logiker är färdigt programmerade från installation, så som hur ett skydd skall fungera, men det finns logik som ingenjörer kan påverka för att utforma relät att fungera efter specifika behov. Funktionsprincipen som nämns i detta arbete är samma för ett flertal SIPROTEC 5-modeller.

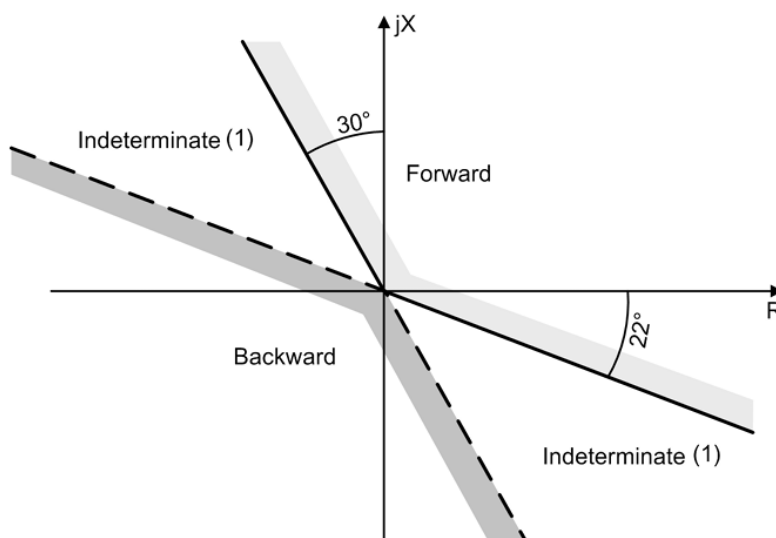
Med SIPROTEC 5 7SA84 kan man använda sig av två former av distansskydd. Distansskydd med klassisk impedansmätning, eller distansskydd med reaktans mätning. Med det klassiska impedansskyddet kan relät användas för att skydda delar av linjer med hjälp av zonindelningen. Det klassiska impedansskyddet kan också användas som reservskydd för andra reläskydd installerade för skyddandet av skenor, transformatorer eller andra linjer. Då ett jordningsfel uppstår på linjen startas flera funktioner i relät. Det första funktionen som upptäcker att ett jordningsfel har skett, startas en funktion för att mäta impedansen. Den uppmätta impedansen blir sedan jämförd med den valda operationskurvan (Mho eller cirkulär skydd). Ett avstånd från relät till det upptäckta felet är beräknat utgående från impedansen, och utgående från zonindelningen väljs vilken skyddsåtgärd som skall inledas. Härifrån starta en timer startas och beroende på timer för vald zon, sänder logiken en signal till brytaren att bryta strömmen då vald zons tidsfördröjning har nått noll.

För att kunna upptäcka eventuella jordfel på linjer övervakar SIPROTEC 5-modellerna de tre fasernas strömstorlek och kan då upptäcka om det uppstår obalans i förhållandet

mellan strömmarna. Då det sker ett jordfel någonstans längs linjen, kommer det då att ske en förskjutning i balansen mellan de tre olika fasernas strömmar och nollsekvensströmmen ($3I_0$) kommer då att påverkas. Då $3I_0$ strömmen överstiger ett tröskelvärde kommer jordfelsfunktionen att startas. För långa och högt belastade linjer kan det ibland ske en naturlig obalans mellan faserna. För att undvika felaktigt utlösta skydd kan man använda sig av metoden att jämföra nollsekvensströmmen mot negativa sekvensströmmen ($3I_2$). Om det uppstår en kortslutning på en fas, kommer negativa sekvensströmmen för samma fas att i stort sett vara av samma storlek. Om förhållandet mellan nollsekvensströmmen och negativa sekvensströmmen överskrider det på förhand givna tröskelvärdet kommer det att utlösas jordfelsfunktionen. Vidare kan även nollsekvensspänning (V_0) användas i tillägg för att upptäcka jordfel.

Då ett jordfel har blivit fastslaget av jordfelsfunktionen beräknas impedansen för felet och en impedansvektor definieras i ett R-X-diagram. Vid distansskydd med klassisk impedansmätning kan distansskyddets zoner tilldelas i rektangulär karaktär eller med Mohs karaktär.

För att kunna avgöra huruvida ett jordfel har skett framför eller bakom relät, beskrivs impedansen som en vektor. Beroende på vilken typ av data som finns tillgänglig för relät, kan det användas olika metoder för att avgöra riktningen för jordfelet. Det som kan inverka på metoden är befintliga mätningar, befintlig lagringskapacitet och typen av systemkonstellation. Riktningen avgörs var i R-X-diagrammet impedansvektorn befinner sig



[dw ritgkl. 2. en US]

Figur 13: Riktningsskärningar i ett R-X-diagram. (Siemens, 2024)

(Figur 13) Om det finns en seriekompensering längs med linjen som relät är installerat för att skydda, kan det ske fel i riktningsuppfattningen i relät ifall ventilavledaren inte jordar kortslutningsströmmen. För att riktning skyddet skall fungera korrekt vid seriekompenserade linjer, bör man vid installation av distansskyddet ange att det finns en seriekompensering på linjen.

SIPROTEC 5 kan använda sig av fyra olika metoder för att uppfatta om det sker ett jorfel i linjen det är installerats för att skydda. Dessa metoder är:

- Impedans
- Överström
- $\frac{V}{I}$
- $\frac{V}{I} < \varphi$

Vid övervakning av impedans för upptäckandet av ett jorfel övervakar relät strömmen på de tre faserna. Om någon av de tre fasernas strömvärde överstiger det på förhand förinställda minimivärdet för strömstorleken, kommer relät att beräkna impedansen mellan de olika faserna. Om då det upptäcks ett jorfel, kommer relät även att beräkna impedansen mellan fas och jord i kretsen. Om ett jordfel sker i endast en av faserna, kommer det ändå att inverka på impedansen i de andra faserna. Om ett fel uppstår till exempel mellan fas A och jord, kommer det också att inverka på impedansen på mellan fas A-B och A-C. Dessa impedanser har inget att göra med felsökningen och de har normalt en högre impedans i de friska kretsarna än den krets som har blivit påverkad av ett jordfel. De faser som ännu är fungerande har endast en liten påverkan av kortslutningsströmmen och har alltid en högre spänning än den fas som blivit påverkad och har därför ingen inverkan vid val av rätt skyddszone. Det är dock av vikt att relät kan identifiera rätt fas som är påverkad då det kan ge möjlighet att genomföra en enfasig brytning för att sedan pröva återsluta fasen.

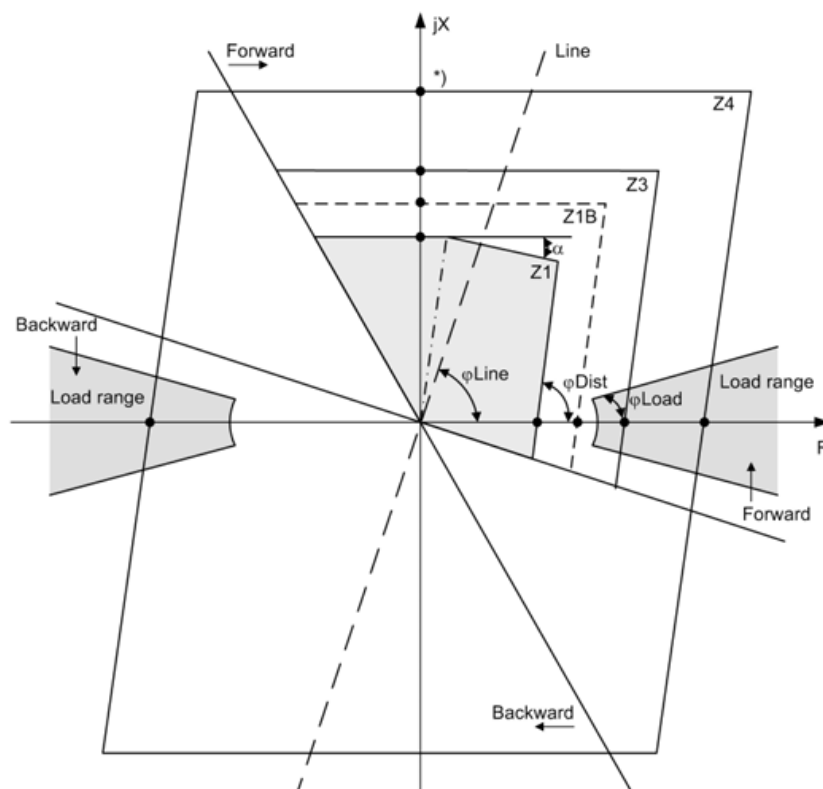
Överströmsövervakning är fasspecifik och övervakar strömmen i varje enskild fas. Om en ström överskrider det på förhand angivna gränsvärdet, sänder funktionen ut en signal för den enskilda fasen. Signalen kommer sedan att konverteras till information om kretsen som kan hanteras i distans zonen. Om systemet är jordat kan man välja vilken av kretsarna som

kommer att mätas, antingen mellan fas och jord, eller göra en jämförelse mellan faserna. Om systemet inte är jordat, kommer relät alltid att jämföra maxströmmen i de faser som inte har utlösts.

V/I -metoden är en krets och fas baserad metod för att upptäcka fel. För att detta skydd skall reagera krävs att strömmen i en krets överskrider det förhand inställda värdet för minsta ström i en krets. Om det är spänningen mellan två faser måste båda dessa fasers minimiström värden överskridas. Om strömmen överskrider minimiström värdet för en fas, beror utlösningstid på spänningen.

3.2.1 Zonskydd med frysiktig karaktär

Om slingan har en felimpedans som ligger väl inom driftpolygonen för en avståndszon, och impedansvektorn riktning överensstämmer med zonens riktning, aktiveras zonen. Slinginformationen omvandlas till fas-selektiva aktiveringsindikeringar. De fas-selektiva aktiveringsindikeringarna för zonerna bearbetas vidare i avståndsskyddets ut logik och av externa tilläggfunktioner.

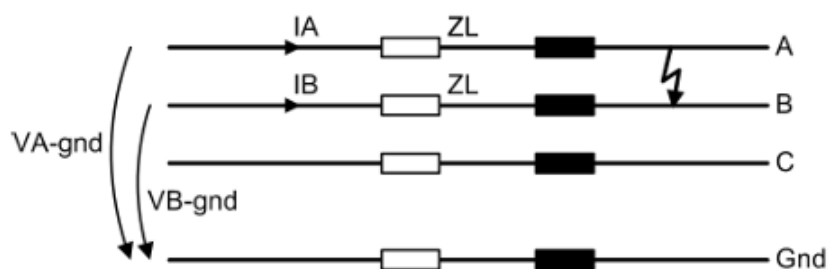


Figur 14: Zonskydd med frysiktig karaktär med fyra zoner. (Siemens, 2024)

Den fyrsidiga karaktärstiken (driftpolygonen) för zonen är en lutande parallelogram i R-X-planet. Driftpolygonen definieras av parametrarna X-räckvidd, R (fas-fas), R (fas-jord) och zonens lutningsvinkel. För att stabilisera polygonens gränser har karaktärstiken en hysteres på 5 %. Om felimpedansen ligger inom en polygon ökas gränserna med 5 % i alla riktningar.

Det finns ett impedansmätningselement för var och en av de sex möjliga fas-slingorna: A-jord, B-jord, C-jord, A-B, B-C och C-A. En hoppdetektering synkroniserar alla beräkningar till felhändelsen. Synkroniseringen möjliggör minimala och upprepningsbara aktiveringstider. Om ett annat fel inträffar under analysen beräknas impedanserna med hjälp av aktuella cykliska mätvärden. Analysen använder därmed alltid mätvärden för det aktuella felförhållandet.

Impedans beräkning exempel för kortslutning mellan två faser:



Figur 15: Kortslutning mellan två faser (A-B) (Siemens, 2024)

Exempel beräkning av impedans vid kortslutning mellan fas A-B, Figur 15

Slingans beräkning:

$$\underline{I}_A \times \underline{Z}_L - \underline{I}_B \times \underline{Z}_L = \underline{V}_{A-gnd} - \underline{V}_{B-gnd} \quad (9)$$

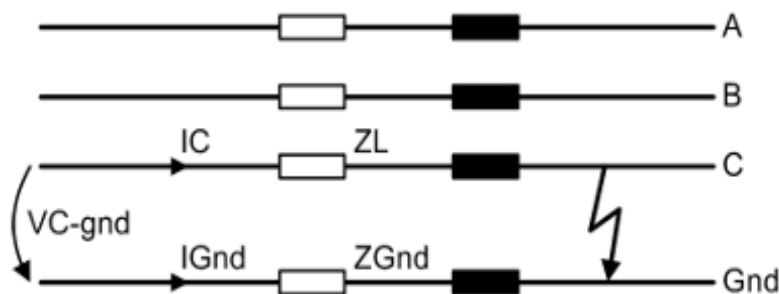
Kortslutningens impedans:

$$\underline{Z}_L = \frac{\underline{V}_{A-gnd} - \underline{V}_{B-gnd}}{\underline{I}_A - \underline{I}_B} \quad (10)$$

Så länge en av de inblandade ledningarna är frånkopplad, till exempel under enpolig dödtid vid automatisk återinkoppling, beräknas inte de involverade fas-till-fas-slingorna. Under den enpoliga dödtiden vid automatisk återinkoppling på fas A blockeras till exempel slingorna A-B och C-A. Detta förhindrar felaktiga mätningar med odefinierade mätvärden.

Processövervakaren i funktionsgruppen för ledningen övervakar statusen för den automatiska återinkopplingen och skickar blockeringsignalen

Vid beräkning av en fas-till-jord-slinga måste det beaktas att impedansen i returvägen genom jord vanligtvis inte motsvarar fasimpedansen. Detta gäller exempelvis för ett kortslutningsfel mellan fas C och jord (Figur 16).



Figur 16: Kortslutning fas-jord (C-Gnd) (Siemens, 2024)

Spänningen (V_{C-gnd}), strömmen i fasen (I_C) och jordströmmen (I_{gnd}) är uppmätta.

$$V_{C-gnd} = I_C \times (R_{ph} + jX_{ph}) - I_{gnd} \times (kr \times R_{ph} + (kx \times X_{ph})) \quad (11)$$

Impedansen vid felet beräknas enligt följande:

$$R_{C-gnd} = \frac{V_{C-gnd}}{I_C} \times \frac{\cos(\varphi_V - \varphi_{ph}) - \frac{I_{gnd}}{I_C} \times kx \times \cos(\varphi_V - \varphi_{gnd})}{1 - (kx + kr) \times \frac{I_{gnd}}{I_C} \times \cos(\varphi_{gnd} - \varphi_{ph}) + kr \times kx \left(\frac{I_{gnd}}{I_C}\right)^2} \quad (12)$$

$$X_{C-gnd} = \frac{V_{C-gnd}}{I_C} \times \frac{\sin(\varphi_V - \varphi_{ph}) - \frac{I_{gnd}}{I_C} \times kx \times \sin(\varphi_V - \varphi_{gnd})}{1 - (kx + kr) \times \frac{I_{gnd}}{I_C} \times \cos(\varphi_{gnd} - \varphi_{ph}) + kr \times kx \left(\frac{I_{gnd}}{I_C}\right)^2} \quad (13)$$

V_{C-gnd} = Kortslutningens spänningsvektor

I_C = Kortslutningens strömvektor

I_{gnd} = Jordströmmens vektor

φ_V = Fasvinkeln för kortslutningsspänningen

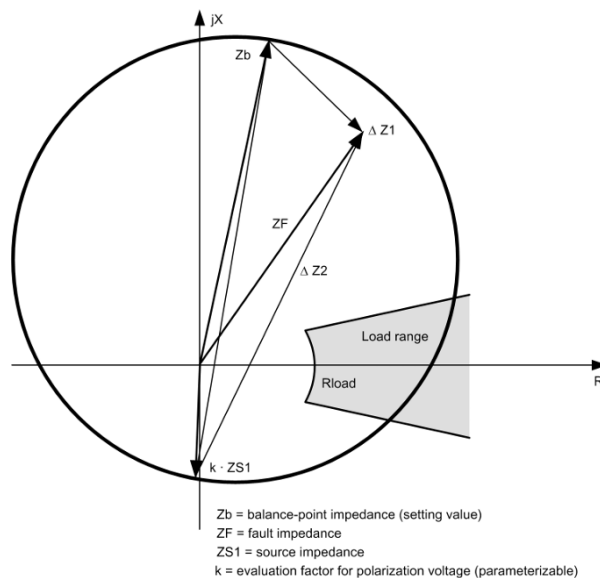
φ_{ph} = Fasvinkeln för kortslutningsströmmen

φ_{gnd} = fasvinkeln för jordströmmen

Faktorerna $Kr = R_{gnd}/R_{ph}$ och $Kx = X_{gnd}/X_{ph}$ är enbart beroende på linjens konstant och påverkas inte av avståndet till felet.

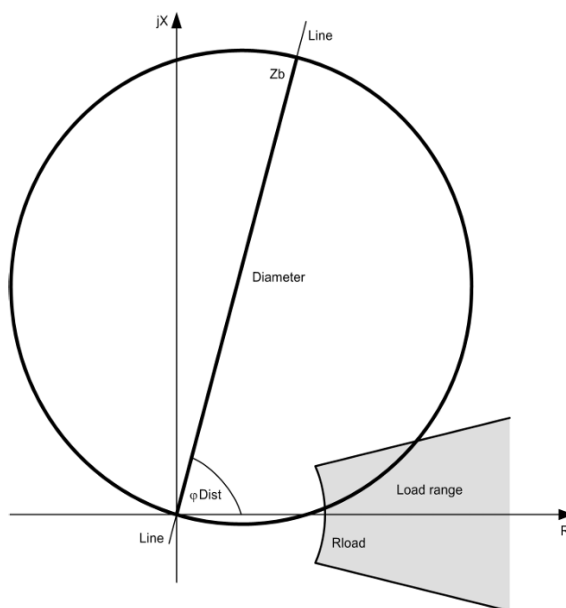
3.2.2 Zonskydd med MHO-karaktär

För att ordna mätvärdena på utlösningsnivån för MHO-karaktäristikkurvan bestäms vinkeln mellan två differensvektorer, $\Delta Z1$ och $\Delta Z2$ (Figur 17).



Figur 17: MHO karaktäristiskt zonskydd. (Siemens, 2024)

Dessa vektorer beräknas utifrån skillnaden mellan de två topparna på cirkelns diameter och felimpedansen.



Figur 18: MHO karaktäristiskt zonskydd. (Siemens, 2024)

Toppen Z_r motsvarar zonens inställningsvärde (parametern Z_r för impedansräckvidd och

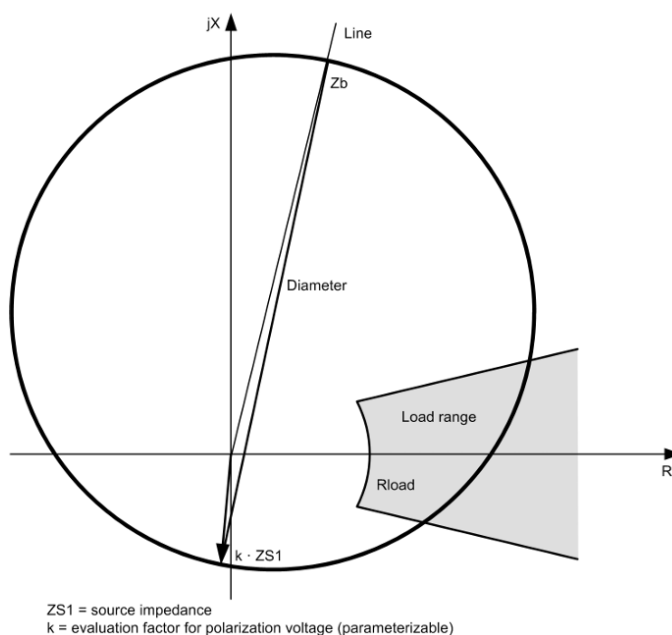
vinkeln ϕ enligt (Figur 18); toppen $k \cdot Z_V$ motsvarar polariseringsvärdet. I gränsfallet ligger Z_F på cirkelns periferi. Då är vinkeln mellan de två differensvektorerna 90° , enligt Thales sats. Inom karaktäristiken är vinkeln större än 90° ; utanför karaktäristiken är den mindre än 90° .

Differensvektorerna beräknas enligt följande:

$$\begin{aligned}\underline{\Delta Z}_1 &= \underline{Z}_F - \underline{Z}_T \\ \underline{\Delta Z}_2 &= \underline{Z}_F - k \times \underline{Z}_V\end{aligned}\quad (14)$$

MHO-karaktäristikkurvan passerar genom koordinatsprunget. Området runt origo är odefinierat, eftersom mätspänningen där är för liten för en tillförlitlig analys. MHO-karaktäristikkurvan är därför polariserad. Polariseringsen bestämmer den nedre toppen av cirkeln, det vill säga den nedre skärningspunkten för diameterlinjen med cirkelns omkrets. Den övre toppen förblir oförändrad och definieras av parametern Z_r , impedansräckvidden.

Omedelbart efter att ett fel inträffar påverkas kortslutningsspänningen av kompensationsförfarandet. Därför används den spänning som buffrades före kortslutningens inträffande för att utföra polariseringen. Detta förskjuter den nedre toppen med den impedans som motsvarar buffertspänningen (Figur 19). Om den buffrade kortslutningsspänningen är för liten används en korspolariserad spänning.



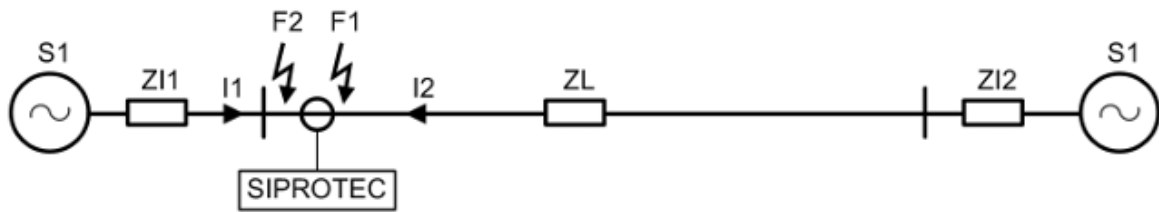
Figur 19: MHO skydd med buffertspänning. (Siemens, 2024)

Teoretiskt sett är denna vinkelrät mot de faktiska kortslutningsspänningarna för både fas-till-jord-slingor och fas-till-fas-slingor. Detta beaktas med en 90° -rotation under beräkningen. Den kvadratiska spänningen förskjuter också den nedre toppen av MHO-karaktäristikkurvan

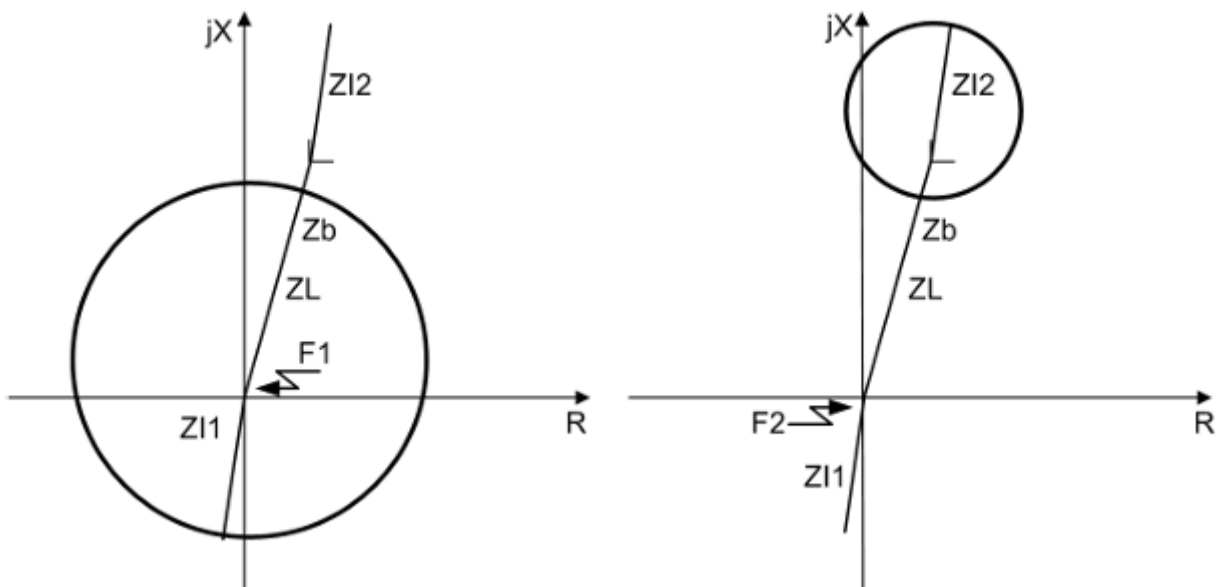
Den korspolariserade eller buffrade spänningen (utan lasttransport) är lika med den motsvarande generatorspänningen E . Efter kortslutningen ändras den inte (se även Figur 16). Den nedre toppen av cirkelns diameter framträder därmed förskjuten i impedansdiagrammet med polarisationsvärdet $k \cdot Z_{V1} = k \cdot E_1 / I_1$. Den övre toppen förblir definierad av inställningsvärdet Z_r , impedansräckvidden.

För felpositionen F_1 (Figur 22) ligger kortslutningen i framåtriktningen, medan källimpedansen är i bakåtriktningen. Alla felpositioner upp till den punkt där enheten är installerad (strömtransformatorn) ligger entydigt inom MHO-karaktäristikkurvan (Figur 22). Om strömmen vänder riktning ändras diameters topp plötsligt (Figur 22). En omvänd ström I_2 flyter nu genom mätpunkten (strömtransformatorn). Källimpedansen $Z_{V2} + Z_L$ bestämmer strömmen I_2 . Toppen Z_r förblir oförändrad och utgör nu den nedre gränsen för cirkelns diameter.

Under normal last på ledningen kan topplasvektorn också rotera med lastvinkeln.



Figur 22: Linjebeskrivning av strömriktningar. (Siemens, 2024)



Figur 22: Strömriktningar genom MHO-diagram. (Siemens, 2024)

Figur 22: Omvänd strömriktning i MHO-diagram. (Siemens, 2024)

För korta ledningar måste zonens räckvidd ställas in på ett lågt värde. För små slingspänningar är jämförelsen av fasvinkeln mellan differensspänningen och slingspänningen inte säker. Detta kan leda till felaktiga riktningensbeslut (utlösning eller blockering trots bakåtriktade fel). Om en polariseringsspänning används för fasvinkeljämförelsen undviks dessa problem. Polariseringsspänningen är proportionellt sammansatt av slingspänningen som buffrades innan felet inträffade och den aktuella slingspänningen. Följande ekvation visar polariseringsspänningen V_P för en fas-till-jord-slinga.

$$\underline{V}_P = (1 - K_{pre}) \times \underline{V}_{ph-gnd} + K_{pre} \times \underline{V}_{ph-gnd \text{ memory}} \quad (15)$$

Ett värde (faktor K_{pre}) för förfelspänningen kan ställas in separat för fas-till-jord- och fas-till-fas-slingor. Minnepolarisation utförs endast när RMS-värdet för den motsvarande buffertspänningen för fas-till-jord-slingor är större än 40 % av den märkta spänningen (V_{rated}). För fas-till-fas-slingor måste RMS-värdet för buffertspänningen vara större än 70 % av V_{rated} .

Vid ett efterföljande fel eller efter inkoppling på ett fel kan förfelspänningen saknas. I detta fall kan buffertspänningen endast användas under en begränsad tid av noggrannhetsskäl. För enpoliga kortslutningar och tvåpoliga kortslutningar utan jordkontakt kan en spänning som inte är involverad i felet användas för polarisation. Denna spänning roteras 90° i förhållande till den faktiska felspänningen (korspolarisation). Polariseringsspänningen V_P är en blandning av den aktuella spänningen och den motsvarande externa felspänningen. Följande ekvation visar polariseringsspänningen V_P för en fas-till-jord-slinga.

$$\underline{V}_P = (1 - K_{cross}) \times \underline{V}_{ph-gnd} + K_{cross} \times \underline{V}_{ph-gnd\ healthy} \quad (16)$$

Om buffertspänningen inte är tillgänglig kan korspolarisation användas. En utvärdering (faktor K_{cross}) för spänningen kan ställas in separat för fas-till-jord- och fas-till-fas-slingor.

4 Genomförande

Den praktiska delen av arbete med skapandet av en enklare manual inleddes med att bekanta sig med den mjukvara som används för att konfigurera SIPROTEC 5 reläer. Denna programvara är utvecklad och underhålls av Siemens och är en licens programvara vid namn DIGSI 5. DIGSI 5 finns tillgängliga endast vid några bärbara datorer i Technobothnias laboratorium. För att underlätta arbetet fick jag tillgång till en av dessa datorer. Under arbetet med att bekanta sig med DIGSI 5 framkom det att det finns ett stort utbud på funktioner och parametrar som kan konfigureras i programmet.

Efter att ett första projekt hade skapats i programmet, tog jag mig till Technobothnia för att prova mina konfigurationer. Väl på plats visade det sig tillstöta vissa svårigheter att få programvaran att kommunicera med det fysiska relät. Det krävdes åtskilliga försök innan jag lyckades efter att ha fått diskutera mina problem med Mikko Västi, lektor vid Vaasan Amamattikorkeakoulu. Västi upplyste mig om att en elev vid ett tidigare skede hade lyckats att installera ett kodlås på det fysiska relät (koden är 222 222), vilket gjorde det omöjligt att konfigurera relät utan denna kod. Då koden var tillgänglig för mig och jag lyckats få kontakt med relät, kunde jag sedan prova mina konfigurationer. Då jag inte lyckats finna korrekta uppgifter på de mättransformatorer som är inbyggda i simulationsskåpet och är av stor vikt vid konfigurering av distansskydd, fick jag utgå från Västis tidigare projekt som fanns på datorn jag lånat. Med dessa parametrar lyckades jag till slut konfigurera relät och implementerad mina beräkningar på relät och pröva dessa. Noggrannare beskrivningar för beräkning av linjens impedans finns i följande kapitel och bildbeskrivning av konfigurationen i DIGSI 5 finns som bilaga till detta arbete.

5 Konfigurering av SIPROTEC 5 relä

Nedan följer en teoretisk beskrivning av hur ett SIPROTEC 5 relä kan konfigureras för att fungera ändamålsenligt i den tidigare beskrivna simulationsmiljön. Rubriken följs av konfigurationsprogrammet DIGSI 5s funktionskod för att förenkla vid konfigurering av relät.

5.1 Beräkning av linjen

Från datablad tillgängligt i Technobothnia kan utläsas resistans och induktans för linjen som finns i simulationsskåpet. Dessa uppgifter har använts till beräkningarna för distansskyddets zonindelning.

Total resistans för 241 km anges till 36,8 Ω.

$$R_{\Omega/km} = \frac{36,8\Omega}{241km} = 0,153\Omega/km \quad (17)$$

Total induktans för 241 km anges till 249,4 mH. Beräknat till ohm:

$$X = H \times f \times \pi \times 2 \quad (18)$$

$$X = 249mH \times 50hz \times \pi \times 2 = 78,35\Omega$$

$$X_{\Omega/km} = \frac{78,35\Omega}{241km} = 0,325\Omega/km$$

Impedansen per kilometer för linjen beräknas enligt:

$$Z_{\Omega/km} = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (19)$$

$$Z_{\Omega/km} = \sqrt{(0,153\Omega/km)^2 + (0,325\Omega/km)^2}$$

$$Z_{\Omega/km} = 0,359 \Omega/km$$

$$\varphi_Z = \tan^{-1} \left(\frac{X}{R} \right)$$

$$\varphi_Z = \tan^{-1} \left(\frac{0,3595\Omega/km}{0,153\Omega/km} \right)$$

$$\varphi_Z = 85,39^\circ$$

Zon 1 skall täcka 80 % till 85 % av linjens längd, beräknat från relät i fråga, till nästa reläskydd på linjen. I simulationsmiljön finns ett till relä efter 141 km. Räckvidden för zon 1 beräknad således enligt följande:

$$Z_{Z1} = 0,8 \times 0,33\Omega/km \times 141km \quad (20)$$

$$Z_{Z1} = 40,5\Omega$$

Zon 2 skall täcka 100 % av linjen fram till närmaste påföljande relä och 50 % av linjen mellan relä 2 och 3 sett från relät i fråga.

$$Z_{Z2} = Z_{141km} + 0,5 \times (Z_{250km} - Z_{141km}) \quad (21)$$

$$Z_{Z2} = 76,06\Omega + 0,5 \times (81,54\Omega - 76,06\Omega)$$

$$Z_{Z2} = 70,2\Omega$$

Residua kompensering beräknas enligt följande

$$Kr = \frac{R_{gnd}}{R_{ph}} = \frac{38,8}{77,7} = 0,474 \quad (22)$$

$$Kx = \frac{X_{gnd}}{X_{ph}} = \frac{78,3}{38,29} = 2,04$$

(Siemens, 2024)

5.1.1 Zone timer strart (_: 2311:110)

Som första konfiguration av relät rekommenderas att göra en inställning av huruvida timern för skydden skall startas i samband med att ett fel upptäcks av relät, eller om timern skall startas först då funktionen för val av zon startas. Fördelen med att starta en skild timer för varje påbörjad zon kan finnas om man skall koordinera flertal skydd. (Siemens, 2024).

5.1.2 Dist. characteristic angle (_: 2311:107)

Distansskyddets karaktäristiska vinkelinställning är 85° enligt fabriksinstallation. Enligt Siemens rekommendation skall distansskyddets karaktäristiska vinkelinställning ställas enligt linjes vinkel. I simulatorns fall görs det enligt uträkningen ovan. (Siemens, 2024).

5.1.3 3I0> threshold value (_: 2311:103)

Denna inställning reglerar tröskelvärdet för jordfelsfunktionen. Fabriksinställningen ligger på 0,1A och torde fungera för simulationen. (Siemens, 2024).

5.1.4 3I0 pickup stabilization (_: 2311:104)

För att undvika att relät utlöser jorfelsfunktionen vid störningar i nollsekvensströmmen kan det justeras en viss tolerans i denna konfiguration. Dessa störningar kan bland annat uppstå i samband med tvinnade kablar eller störningar från strömtransformatorn vid högre laster. Om ingen skälig misstanke för sådana störningar, rekommenderar tillverkaren att inställningen förblir 0,1 så som är från fabrik förhands installerats. (Siemens, 2024).

6 Resultat

Målsättning med detta arbete var att skapa en manual, med vilken man kan installera ett distansskydd i undervisningssyfte vid elöverföringsimulatorn vid Technobothnia. Med hjälp av den manual som finns under bilagor bör en lärare eller annan person med grundkunskaper om reläskydd få en överblick i hur man i denna reläskydds modell navigerar fram till distansskyddets olika parametrar. Målsättningen är att manualen skall fungera som stöd i den praktiska undervisningen. För att kunna bruka reläskyddets distansskydd kräver dock att brukaren har en viss bakomliggande kunskap i distansskydd.

Genom att ta del av den teoretiska kunskap som finns samlad i detta arbete, bör en person med grundläggande kunskap om el överföring förhoppningsvis kunna installera en enklare version av distansskydd. Arbetet ger inte en direkt lösning på hur ett distansskydd skall konfigureras för att, enligt teorin ge ett fullständigt distansskydd med korrekt zonindelning i simulations miljön vid Technobothnias. En noggrannare mätning av linjens impedanser, samt en kontroll av simulations miljöns mättransformatorer hade varit nödvändigt för att få distansskyddet optimalt. Detta hade endast varit möjligt att genomföra tillsammans med behörig personal vid Technobothnias, då det skulle kräva att utföra mätningar innanför simulationsskåpets skyddshölje.

7 Diskussion

Arbetet med att ta fram en manual för att bruka distansskyddet vid det tilltänkta relät har varit krävande och intressant. Det har varit svårt att avgränsa ramen för vad arbetet kan och skall innehålla, då reläet i fråga erbjuder många möjligheter att implementera olika former av skydd. Det har mellantid varit svårt att undersöka de teoretiska kunskaper jag införskaffat mig i en praktisk miljö, då det stundvis varit mycket krävande att hitta och förstå alla detaljer om inverkar på reläets funktioner. Även små ändringar i programvaran har visat sig ha stora följder för hur skyddet fungerar i praktiken. Vidare undersökning av relät kunde med fördel göras för att skapa en större helhet av kunskapsbank som hjälpmedel till lektorer och andra undervisare.

En komplett guide för hur distansskyddet installeras på relät i fråga blev inte uppfylld. Orsaken till att det ej blev en komplett manual är delvis de svårigheter som tidigare har beskrivits i detta arbete. Att överkomma alla svårigheter och genomföra de mätningar som hade krävts hade kunnat innebära en fördubbling av arbetstimmar för att färdigställa detta arbete. Beslutet bakom att inte färdigställa en komplett manual förankrades också med tanken att den som använder manualen ej skall kunna kopiera allt mätningar och beräkningar direkt från detta arbete, vilket kunde underminera själva syftet med arbetet med att bidra till undervisningen vid yrkeshögskolan Novia. Arbetet ger dock en god möjlighet för en läsare att bilda sig en förståelse för hur ett distansskydd skall konfigureras tillämpas för ändamålet resultat.

8 Slutsats

Examensarbetet har resulterat i en användarvänlig manual som underlättar förståelsen och hanteringen av Siemens SIPROTEC 7SA84-reläskydd i undervisningsmiljöer. Genom att kombinera teoretisk kunskap om eldistribution och distansskydd med praktiska instruktioner för konfigurering och simulering, erbjuder arbetet ett värdefullt stöd för både lektorer och studenter vid Yrkeshögskolan Novia.

Manualen bidrar till att minska inlärningströskeln för ny utrustning och skapar bättre förutsättningar för effektiv och säker undervisning i el överföring. Även om arbetet inte

täcker alla avancerade funktioner hos reläet, ger det en stabil grund för vidare fördjupning och utveckling. Detta bidrar till ökad förståelse för skyddssystemens roll i moderna elnät och stärker studenternas praktiska färdigheter inför framtida yrkesutmaningar.

9 Källförteckning

- ABB. (2024a). *ABB*. Retrieved from Brytare för mellanspänning:
<https://new.abb.com/medium-voltage/sv/apparater/brytare>
- ABB. (2024a). *ABB*. Retrieved from Frånskiljare och lastfrånskiljare för luftledningar:
<https://new.abb.com/medium-voltage/sv/apparater/franskiljare-lastfranskiljare/luftledningar>
- ahsell. (2024). *ahsell*. Retrieved from Frånskiljare NPS-EASY:
<https://www.ahsell.se/products/el/elnatsmateriel-06-09/06-elnatsmateriel/franskiljare/0635363>
- Bayliss, C., & Hardy, B. (2007). *Transmission and Distribution Electrical Engineering*. Elsevier.
- Energiatieto*. (2024). Retrieved from Sähköverkot:
<https://energia.fi/energiatietoa/energiaverkot/sahkoverkot/>
- Fingrid. (2024). Retrieved from Finlands elsystem:
<https://www.fingrid.fi/sv/grid/stamnatet-och-dess-utveckling/finlands-elsystem/>
- Fingrid. (2024). *Fingrid*. Retrieved from Kuluttajatietoa:
<https://www.fingrid.fi/sivut/yhtio/kuluttajatietoa/?tag=9389&pageSize=5&page=1&language=fi>
- Fingrid. (2025). *Fingridin karttapalvelut*. (Fingrid) Retrieved 2025, from Suomen kantaverkko: <https://karttapalaute.fingrid.fi/?setlanguage=sv#>
- Gers, J. M., & Holmes, E. J. (2011). *Protection of Electricity Distribution Networks*. The Institution of Engineering and Technology.
- Härnösand el & energi. (2024). Retrieved from Om vårt elnät:
<https://www.hemab.se/elnat/omvartelnat.4.2d99860e1628c1ca72a4dbef.html>
- Jacobsson, K. A., Lindström, S., & Öhlen, C. (2016). *Elkraftsystem 1*. Stockholm: Liber AB.
- Novia. (2024). *El- och automationsteknik h21, dagstudier, Elkraftsteknik*. Retrieved from Studieguiden: <https://studieguiden.novia.fi/sv/13622/sv/13685/DAG21H-V-ELA/94/year/2021>
- Siemens. (2024). *Siprotec 5*. Retrieved from Distance Protection 7SA: https://www.quad-industry.com/titan_img/ecatalog/SIPROTEC%205.02%20Leitungsschutz%20Edidtion%20%20EN%202012.pdf
- Siemens. (2024). *SIPROTEC_5_Manuals_V9.30*. Retrieved from <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109744289/complete-package-of-siprotec-5-device-drivers-online-help-and-manuals?dti=0&lc=en-FI>
<https://support.industry.siemens.com/cs/document/109744289/complete-package-of-siprotec-5-device-drivers-online-help-and-manuals?dti=0&lc=en-FI>

Sleva, A. F. (2009). *Protective Relay Principles*. CRC Press.

Svenska Kraftnät. (2024). *Om transmissionsnätet*. Retrieved from Svenska kraftnät förvaltar och utvecklar det svenska transmissionsnätet för el.: <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-transmissionsnätet/>

Tate Electricals. (2024). *Power Transformer*. Retrieved from <https://chintglobal.com/blog/power-transformer-purpose/>

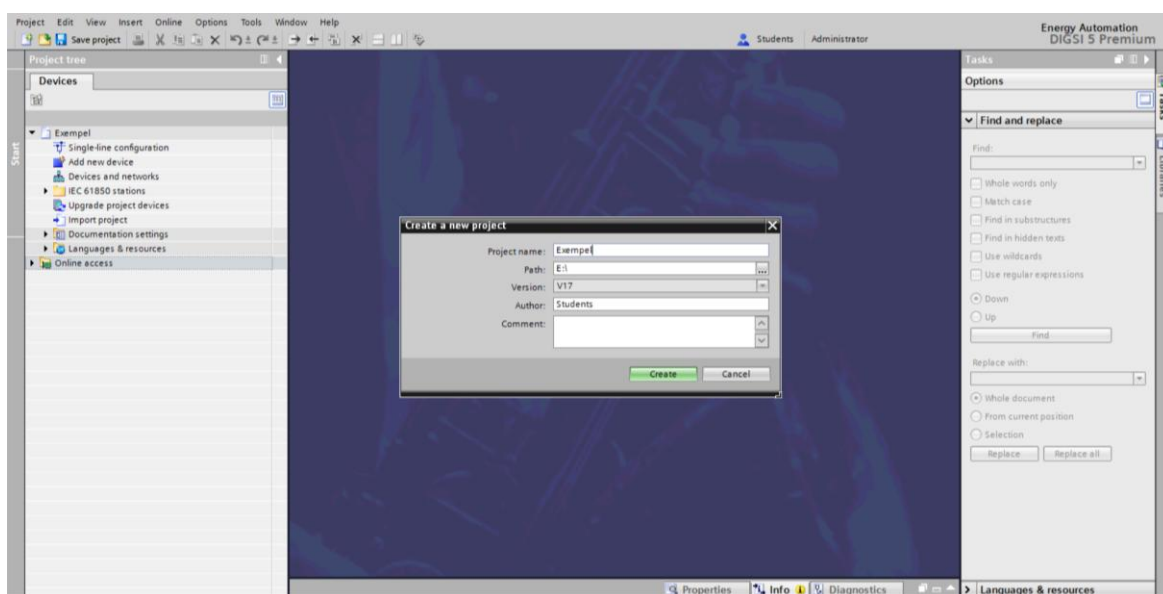
Technobothnia. (2024). *Electrical laboratories include power distribution, generation, transmission, electrical machines, drives, automation, DEMVE project and EMC*. Retrieved from Technobothnia: <https://www.technobothnia.fi/technical-collaboration/the-laboratories/electrical-laboratories/>

Testguy. (2024). *Testguy*. Retrieved from Current Transformer Basics: Understanding Ratio, Polarity, and Class: <https://wiki.testguy.net/t/current-transformer-basics-understanding-ratio-polarity-and-class/121>

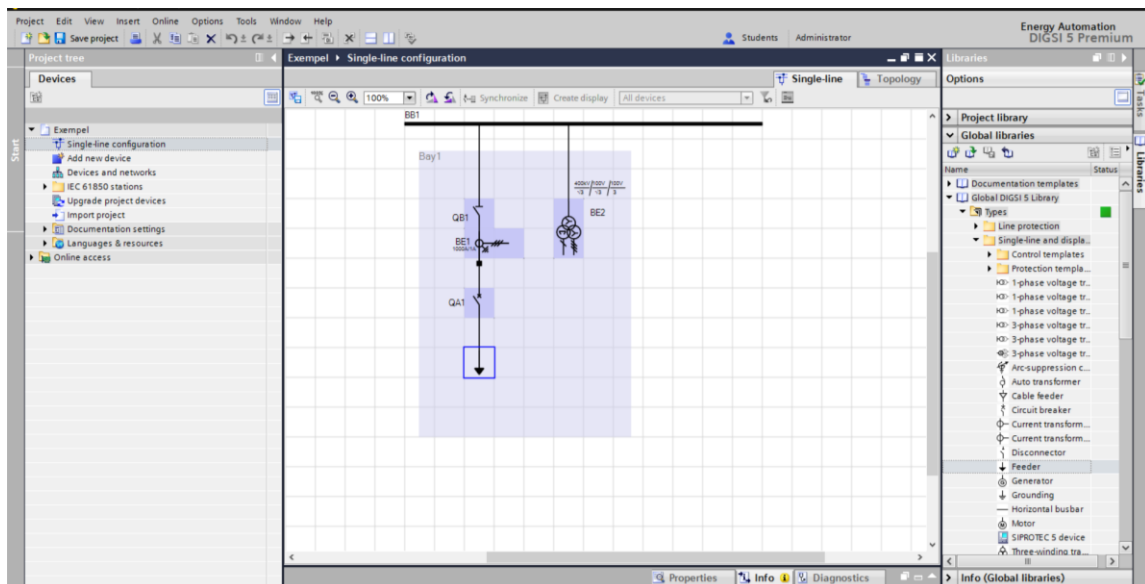
Bilagor

Bilaga 1. En snabbguide i konfiguration av SIPROTEC 7SA84

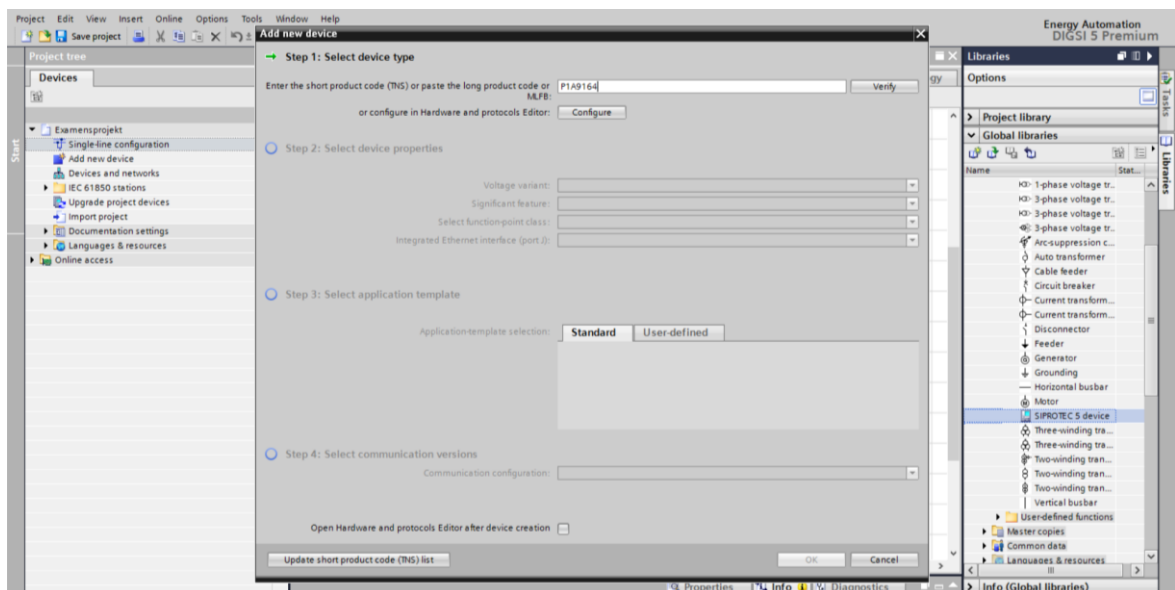
Ett nytt projekt skapas genom att välja new Project. Projektets namn och lagringsplats väljs från dialogrutan



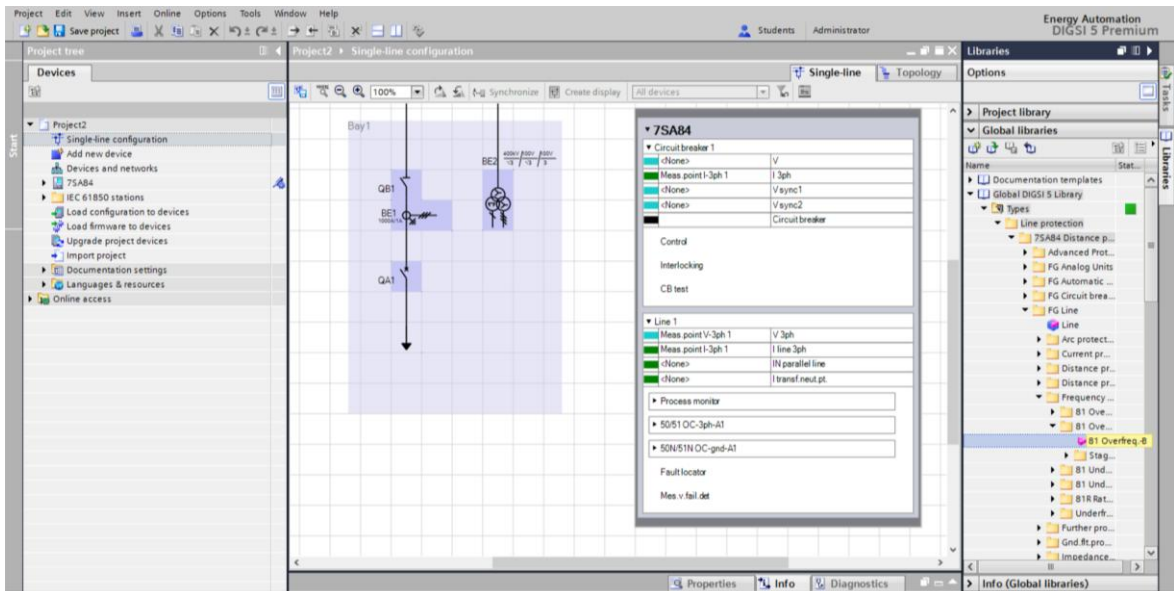
Då projektet har skapats kan de olika komponenter som används läggas till i "Singel line configuration". En lista över olika komponenter hittas på längst till vänster av sidan under "Libraries". Ett system med tillhörande frånskiljare, strömtransformator, brytare och spänningstransformator kan kopplas till systemet. Komponenterna dras med musen från biblioteket på vänstersida till önskad plats.



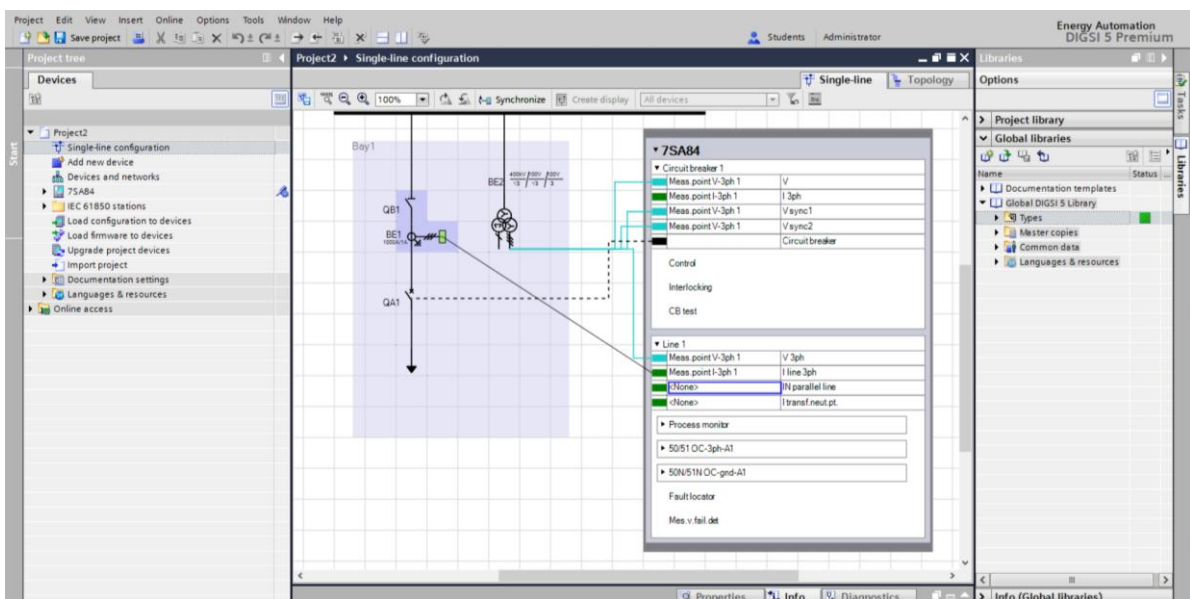
Efter att övriga komponenter har lagts till kan en SIPROTEC 5 enhet läggas till. Då enheten har placerats på ritytan kommer en dialogruta fram för definiera vilket relä man önskar. Alla Siemens skydds relä har en produktkod som kan användas. Produkt koden kan fås direkt från relät om man har tillgång till det, eller från Siemens hemsida. Reläskyddmodellen vid Technobothnia har produktkoden **P1A9164**.



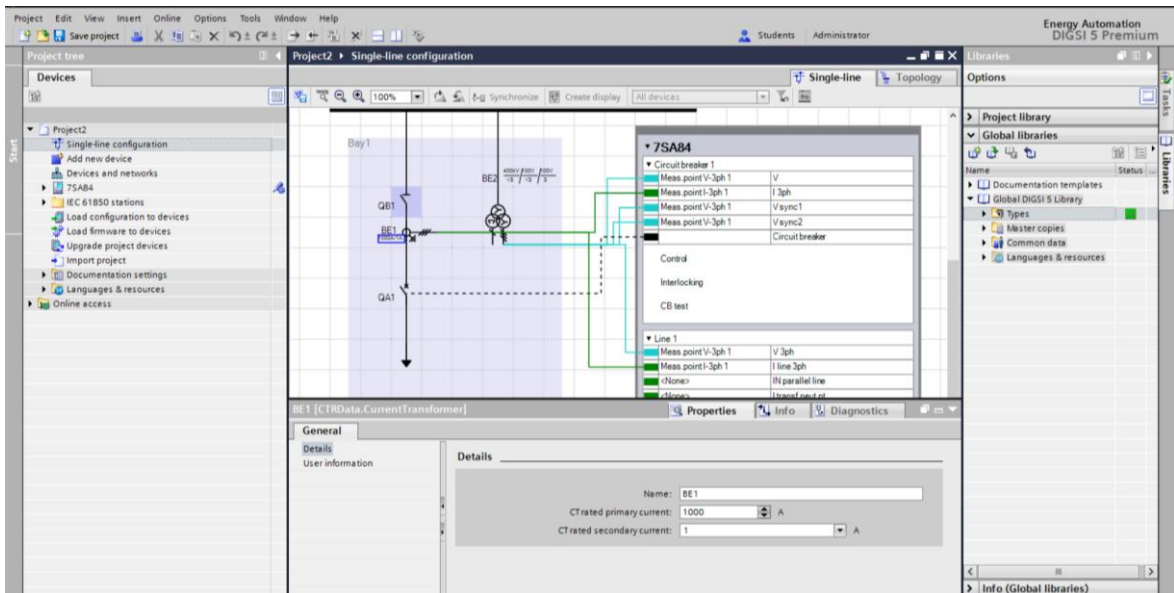
Då programmet har bekräftat relä koden, kommer relämodellen att komma upp i diagrammet. Olika relä modeller kommer med olika skydd färdigt installerade i mjukvaran. I denna dialog kan användaren själv lägga till utökade skydd från biblioteket på vänster sida av skärmen genom att dra önskat skydd med musen in till reläets dialogruta.



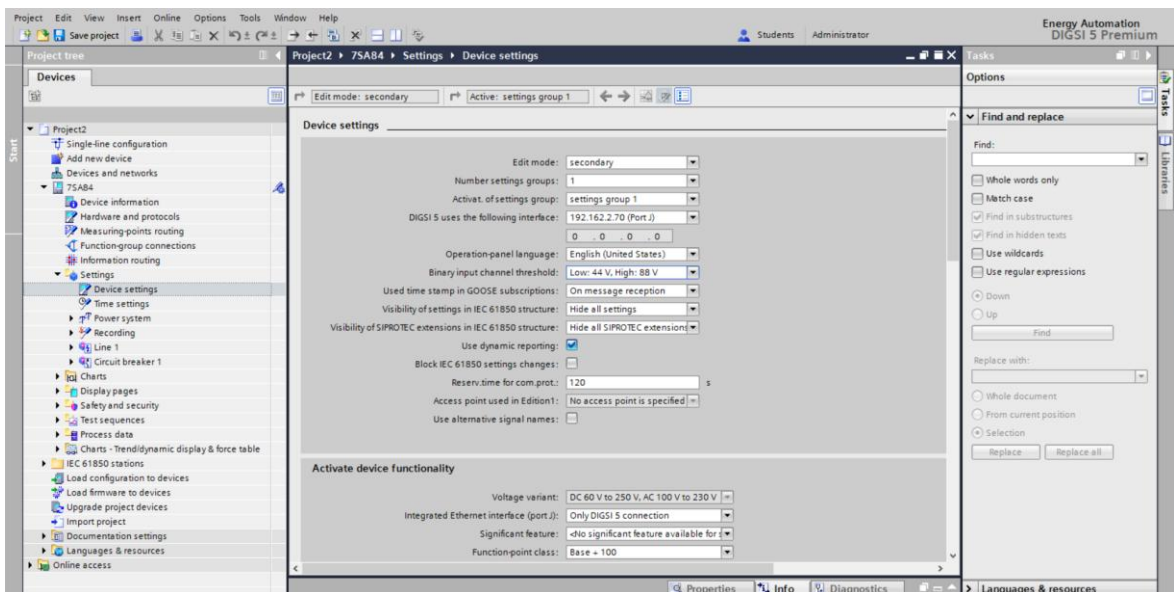
Relät kopplas i diagrammet till rätt mät punkt genom att dra en linje med musen från relä till mätpunkter i det ritade diagrammet. Även brytaren kopplas i programmet till korrekt brytare.



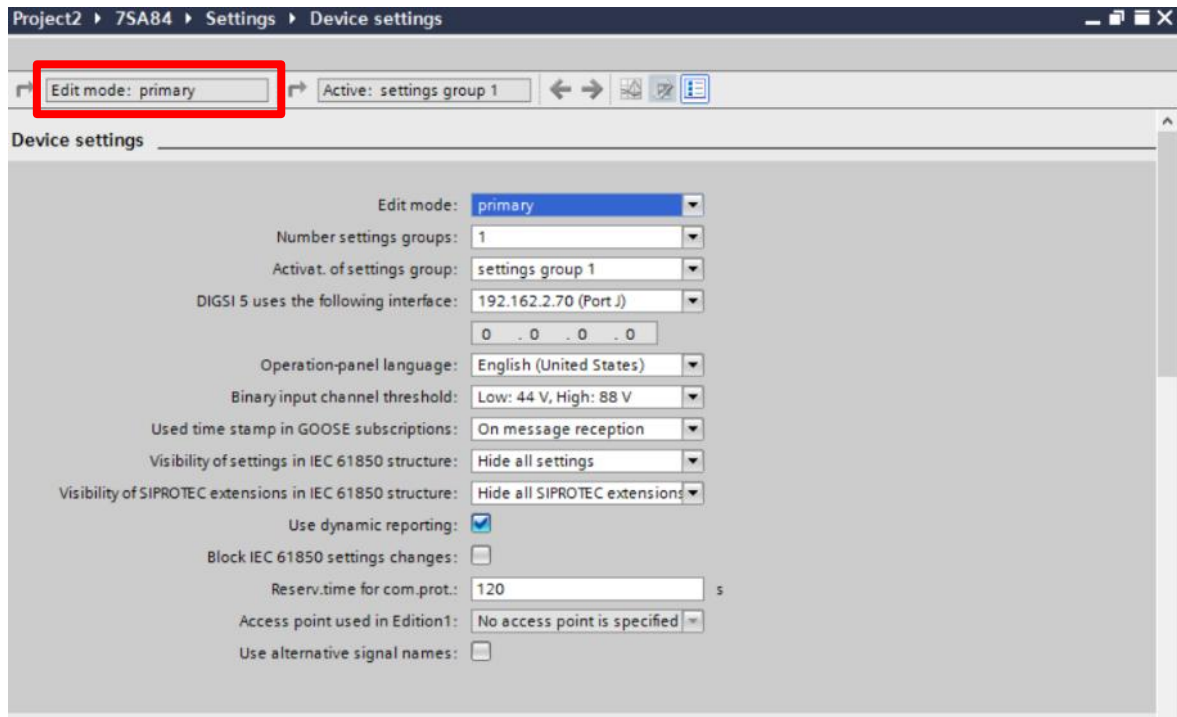
Genom att dubbelklicka på mättransformatorns angivna omvandlingsfaktor, kan den snabbt justeras i detta skede. Detta kan också göras i ett senare skede om då behövs då DIGSI 5 reglerare alla värden beräknade på omanlig faktorn automatiskt.



Stor del av reläts inställningar kan göras från "Device settings" menyn. Mer detaljerad beskrivning ges vid följande figur.

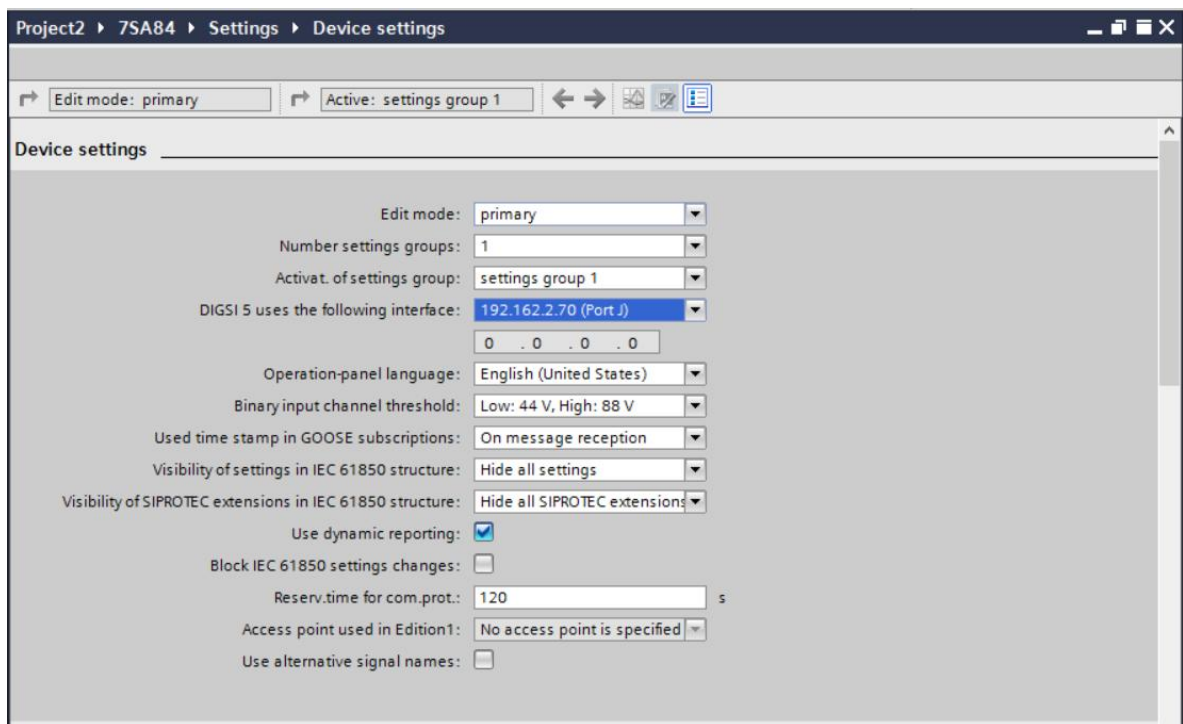


Här bör användaren välja huruvida den önskar göra inställningarna med primära eller sekundära beräkningar. Skulle man välja att ändra inställningen i ett senaste skede kommer programmet att skala alla inställningar för att motsvara tidigare inställning. Inställningen för primärt eller sekundärt värde finns synlig i dialogrutans övre hörn vid inställning av



andra parametrar för förtydligande.

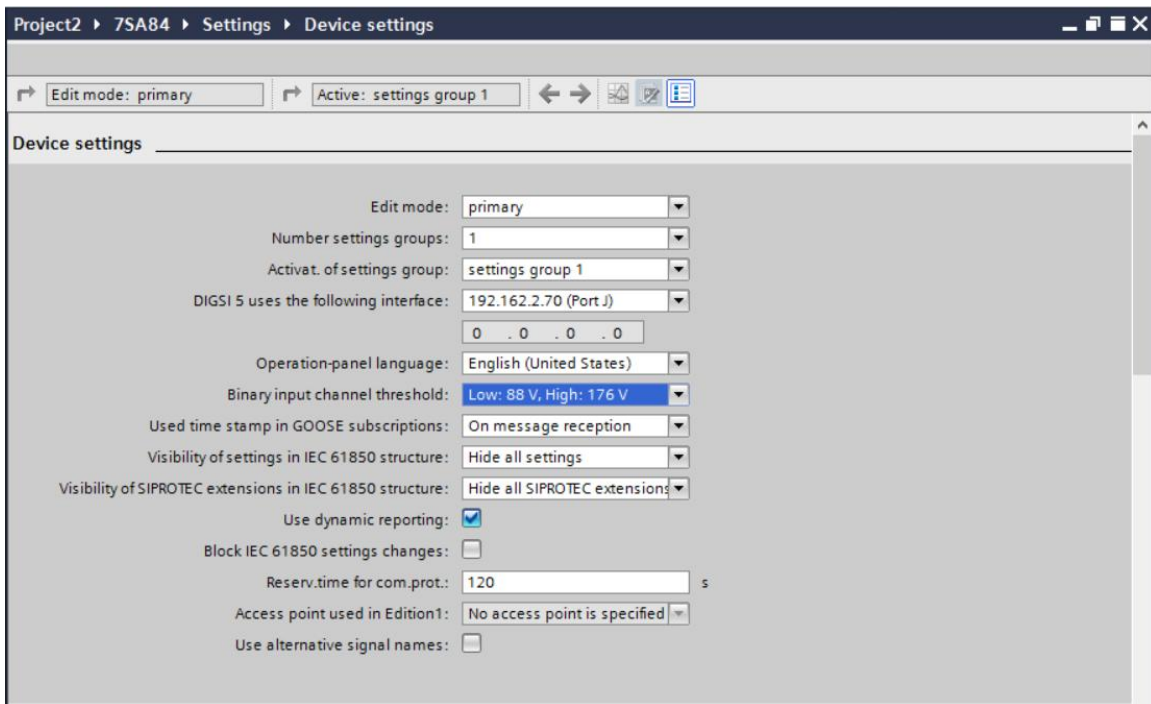
Rätt port och IP adress måste konfigureras för att relät skall kunna ha kontakt med datorn. I laboratoriet finns en switch installerad vid arbetsbordet. Switchen är kopplad till reläts J-port på baksidan med Ethernet kabel.



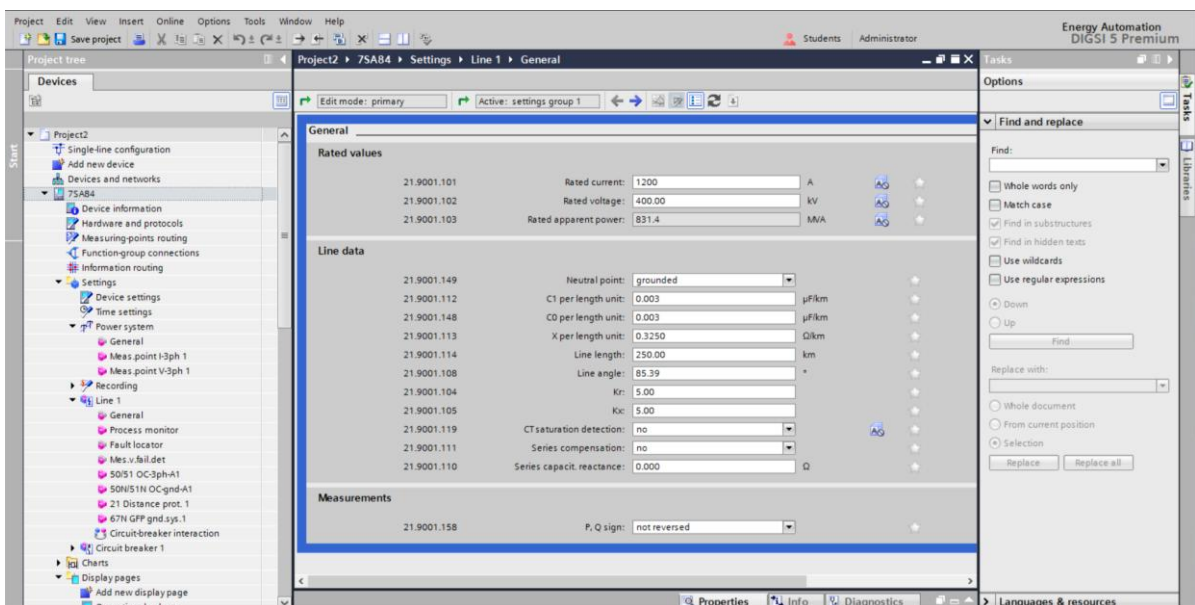
Switchen placerad vid arbetsbordet.



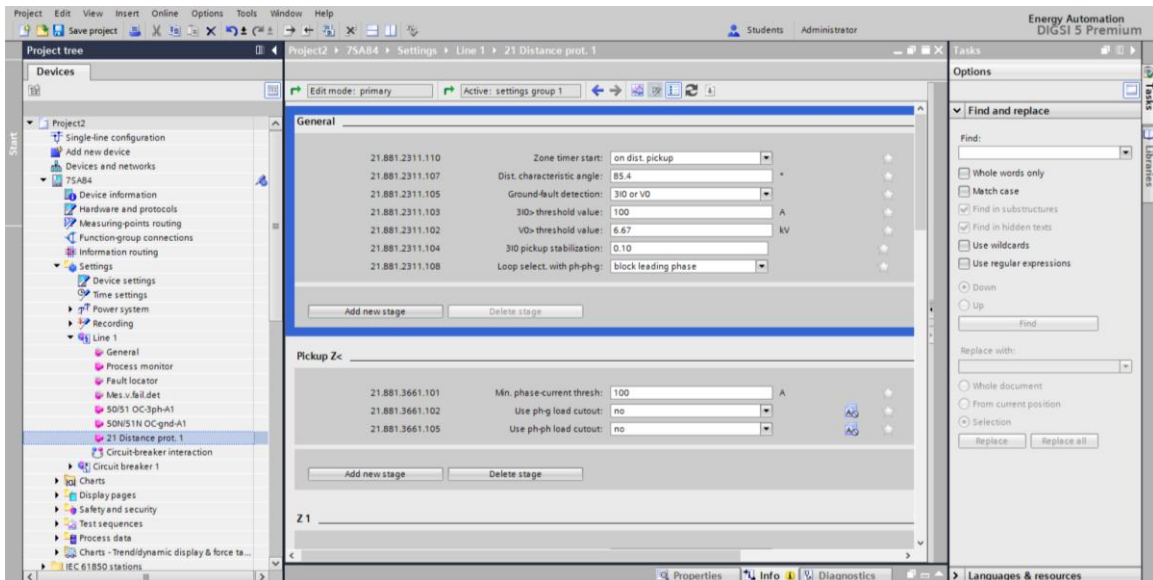
Inställningen av spänningsnivån för de analoga signalerna ställs även in här.



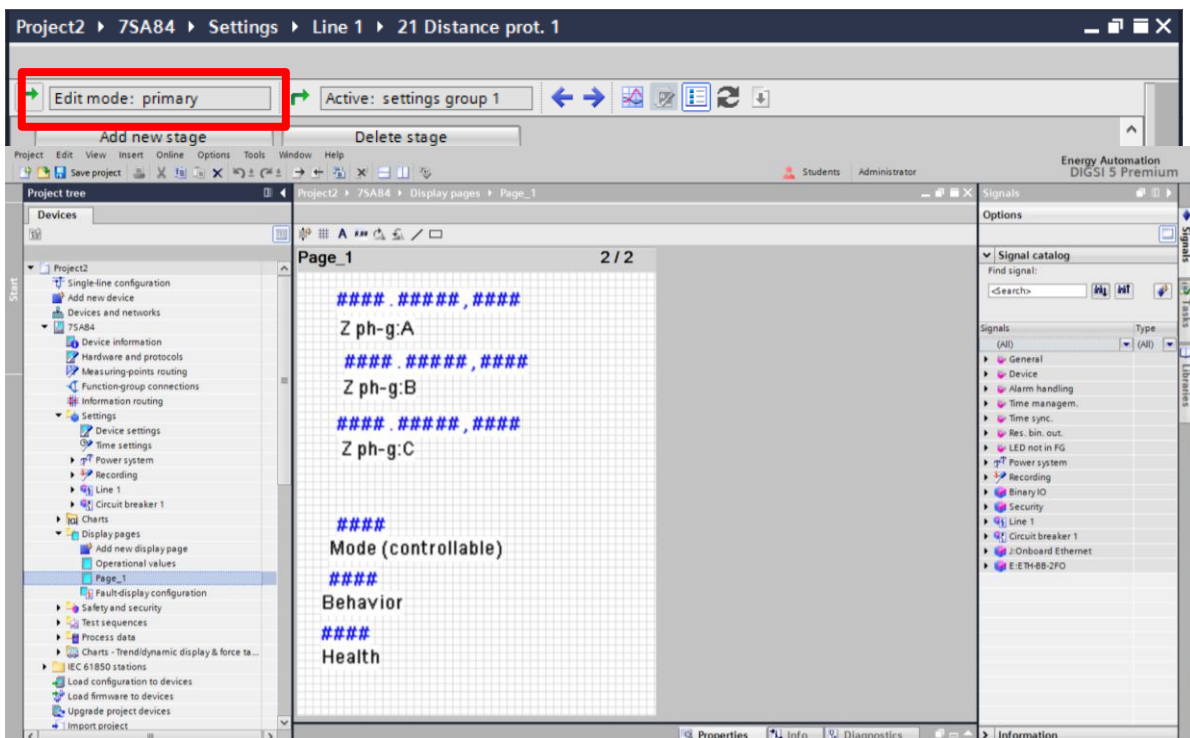
För korrekta beräkningar krävs att programmet har information om linjen. Dessa inställningar görs enligt beräkningar gjorda av linjens impedans. Beräkningar av impedans beskrivet i arbetet.



Till följande kan inställningar för de olika skydden göras.

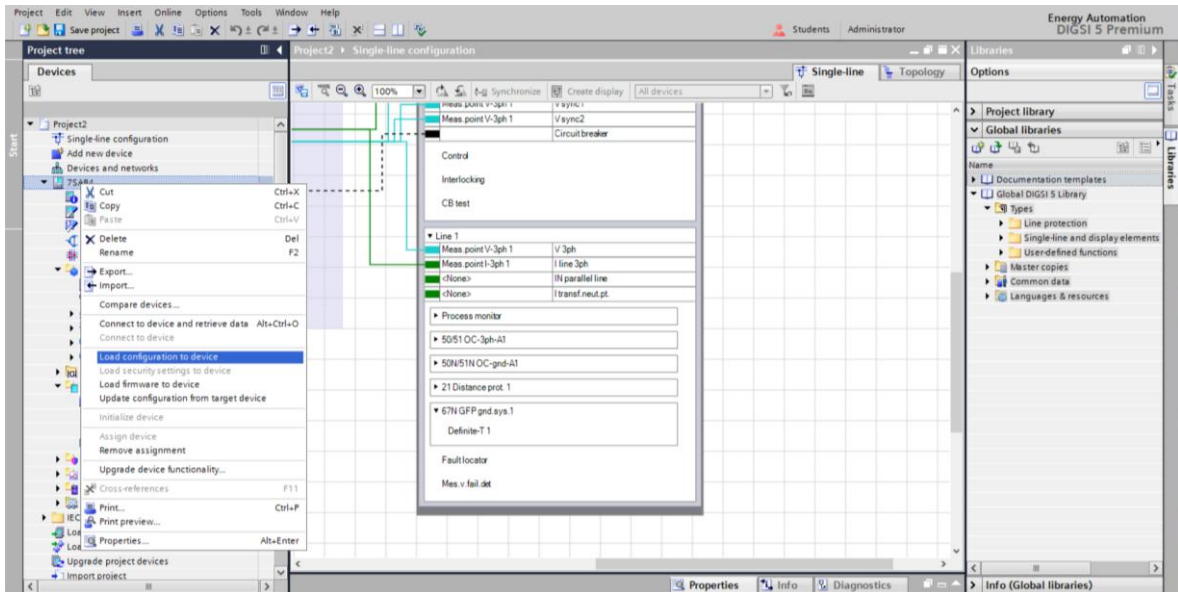


De olika zon skyddens impedanser beräknas och konfigureras enligt beräkningar. Notera att zonskydden ej är aktiverade vid uppstart, utan måste läggas på skilt. Notera även om inställningarna är för primär eller sekundära värden.

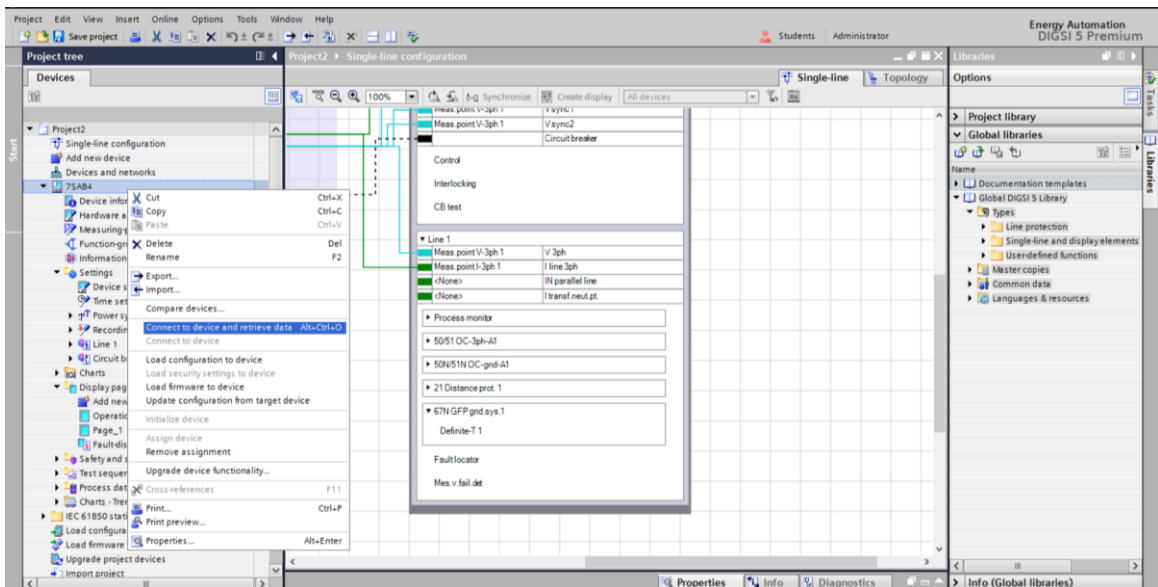


Då konfigurationerna är gjorda för relät kan inställningarna laddas till det fysiska relät. Konfigurationerna laddas till relät genom att med musen högerklicka på relät i menyn till

vänster och sedan välja "Load configuration to device". Skyddsrelä I laboratoriet är lösenordskyddad. Lösenordet är 222 222.



Önskar man övervaka och ta data från relät till mjukvaran kan man skapa en online kontakt med relät. Högerklicka med musen på relät i vänster sidas meny och välj "Connect to device and retrieve data"



Realtidsdata och loggar finns att läsa från menyn i vänster sida.

