

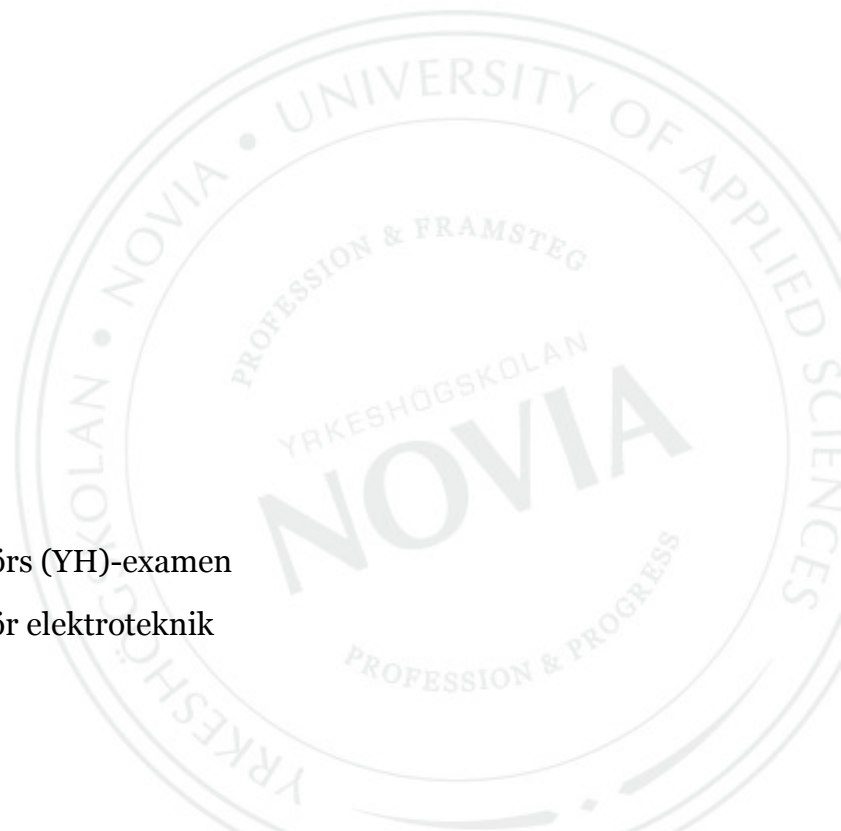
# **Planeringsarbete för byte av skyddsrelä**

Simon Kanckos

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Utbildningsprogrammet för elektroteknik

Vasa 2011



## EXAMENSARBETE

Författare: Simon Kanckos

Utbildningsprogram och ort: Elektroteknik, Vasa

Inriktningalternativ: Elkraftteknik

Handledare: Martti Hokkanen

Titel: *Planeringsarbete för byte av skyddsrelä*

---

15.3.2011

34 sidor

---

### Abstrakt

Gamla reläskydd kan plötsligt sluta fungera. Därför är Kojola elstation i behov av nya. Elnätet har växt sedan de gamla reläskydden planerades och det betyder att inställningarna behöver uppdateras, men först måste de gamla reläskyddens inställningar och deras funktioner begripas. Genom att undersöka de gamla reläskyddens manualer och elstationens ritningar erhöles en bild av hur det fungerar. Gamla inställningsberäkningar jämförs med litteratur och nya uträkningssätt. Nya inställningar beräknas främst med hjälp av Excel.

Kortslutningar, jordslutningar och farliga beröringsspänningar gör att elnätet behöver ett skydd som kan koppla ifrån den matande stationen från felet på linjen.

Kortslutningsströmmar är oftast stora strömmar som gör att ledningarna värms upp och kan i värsta fall gå av. Jordslutning är en typ av kortslutning där strömkretsen sluts via jorden. Det gör att felströmmarna blir mycket mindre än vid kortslutning, men i stället uppkommer farliga beröringsspänningar som följd av att strömmen går via jord.

Resultatet av examensarbetet är uppdaterade reläinställningar och en genomgång av elnätet. Arbetet ger en bra inblick i beräkning av reläinställningar och hur ett elnät fungerar. Det ger också en större kunskap om reläskydd och hur man bäst skyddar apparater och människor från farliga strömmar och spänningar.

---

Språk: svenska

Nyckelord: reläskydd, kortslutning, jordslutning

---

Förvaras: Tritonia, Vasa vetenskapliga bibliotek, Webbiblioteket Theseus.fi

## **BACHELOR'S THESIS**

Author: Simon Kanckos  
Degree Programme: Electrical Engineering  
Specialization: Electrical power engineering  
Supervisor: Martti Hokkanen

Title: *Planning of protection relay replacement*

---

17.3.2011                      34 pages

---

### **Abstract**

Old protection relays might suddenly stop working. That is why Kojola substation is in need of new ones. The electric mains have grown since the old protection relays were planned and that means that the settings need to be updated. Before that the settings of the old protection relays and their functions need to be known. A picture of the function was obtained by analyzing the manuals of the old protection relays and the drawings of the substation. The calculations of the old settings have been compared with literature and new calculation means. New settings are mainly calculated by using Excel.

Short circuits, earth faults and dangerous touch voltages mean that the mains need a protection that can disconnect the feeding station from the faulty line. Short circuit currents are big currents that make the lines hot and, if it comes to the worst, the lines can break. Earth faults are a sort of short circuit where the circuit is closed through the earth. That is why the fault currents are much smaller with earth faults than with short circuits, but instead dangerous touch voltages will appear as a result of the current flowing through the earth.

The result of my thesis work is updated relay settings and a survey of the mains. This Bachelor's thesis gives a good glimpse of how to calculate relay settings and how an electrical supply system works. It also gives a greater knowledge of protection relays and of how devices and humans are protected from dangerous currents and voltages.

---

Language: Swedish              Key words: protection relay, short circuit, earthfault

---

# Innehållsförteckning

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Inledning .....   | 1  |
| 2     | Syfte .....   | 2  |
| 3     | Teoretiska utgångspunkter.....  | 2  |
| 3.1   | Elstationen.....  | 3  |
| 3.2   | Reläskydd.....  | 5  |
| 3.3   | Selektivitet.....   | 6  |
| 3.4   | Oy Strömberg Ab: s reläskydd .....                                    | 7  |
| 3.4.1 | SPAJ 3C5 J3 .....   | 7  |
| 3.4.2 | SPAS 1B1 J3 .....   | 8  |
| 3.4.3 | SPAT 2D200 J3 .....   | 9  |
| 3.5   | Vamp 40 reläskydd .....   | 9  |
| 3.6   | Uppdraget.....  | 12 |
| 4     | Teoretisk bakgrund .....  | 13 |
| 4.1   | Överströmsskydd .....   | 15 |
| 4.2   | Jordfelskydd.....   | 16 |
| 4.3   | Tillåtna spänningar .....   | 16 |
| 4.4   | Återinkoppling.....   | 18 |
| 5     | Tidigare forskning.....   | 19 |
| 6     | Metoder och tillvägagångssätt.....                                    | 20 |
| 6.1   | Beräkning av kortslutningsströmmar .....                              | 20 |
| 6.2   | Beräkning av jordfelsströmmar och beröringsspänningen, $U_{tp}$ ..... | 23 |
| 6.3   | Bestämning av utlösningstider.....                                    | 27 |
| 6.4   | Inställning av Vamp reläskydd .....                                   | 29 |
| 6.4.1 | Vampset.....  | 30 |
| 7     | Resultat och tolkning.....  | 31 |
| 8     | Kritisk granskning och diskussion.....                                | 32 |
|       | Källförteckning.....  | 33 |

## 1 Inledning

Företaget som beställt examensarbetet är det lokala elbolaget i Esse, Esse Elektro-Kraft Ab. Esse Elektro-Kraft är ett relativt litet elbolag med sitt ansvarsområde i delar av fem kommuner. I Pedersöre, närmare bestämt i Esse, har bolaget sin hemort. Där har man också sina två vattenkraftverk i Esse å. Övriga kommuner som man delvis distribuerar el i är Korteshjärvi, Alahärmä, Nykarleby och Kronoby. (EEKAB Företagspresentation, 2010).

År 1920 bildades ett andelslag för utbyggnaden av vattenkraftverk i Esse å. År 1925 ombildades andelslaget till det nuvarande aktiebolaget Esse Elektro-Kraft Ab. Vattenkraftverket som byggdes i företagets begynnelse ligger i Värnum i Esse, där det har byggts ut och moderniserats flera gånger. Kraftverkets första elproducerande enhet är inte längre i bruk, men där finns nu en gammal maskin kvar samt en tillbyggnad i form av en nyare maskin som ligger intill den gamla. Båda dessa är i drift största delen av året. Det finns också ett nyare kraftverk i Hattar, lite längre upp längs Esse å. Årsproduktionen för dessa två kraftverk (tre maskiner) är ca 10 miljoner kWh. (EEKAB Företagspresentation, 20.5.2010).

Företaget verkar inom ett landsbygdsområde och har ca 3700 nätkunder. Esse Elektro-Krafts nät består av ca 440 km högspänningsledningar som har en spänning på 20 kV, ca 460 km lågspänningsledningar med spänningen 400 V och ca 380 transformatorstationer, samt fyra elstationer som transformerar ner stamnätsspänningen på 110 kV till distributionsspänningen 20 kV. Av dessa fyra elstationer är endast tre i företagets ägo, Esse station, Korteshjärvi station och Kojola station, där reläskydden är i behov av uppdatering. (EEKAB Företagspresentation, 20.5.2010).

Enligt Esse Elektro-Krafts VD, Ingvar Kulla, är det i dagsläget ca 92 % av de ca 3700 nätkunderna som köper sin el av bolaget. Företaget säljer inte sin el till andra än de som finns i deras nät. Detta gör att den totala årsleveransen av el till kunderna uppgår till ca 50 miljoner kWh, vilket betyder att den producerade mängden el genom företagets vattenkraftverk inte räcker till. Tilläggskraften fås genom att Esse Elektro-Kraft är delägare i Katternö Kraft Ab och Perhonjoki Oy, därifrån tilläggskraft fås i form av andelskraft. Genom att man är delägare i dessa två bolag kan man säga att man är självförsörjande till 100 %. (EEKAB Företagspresentation, 20.5.2010).

## 2 Syfte

Syftet med detta arbete är att uppdatera de befintliga reläskydden i Kojola elstation till nya reläskydd av modellen Vamp 40. De befintliga reläskydden, som är från tiden då det nuvarande ABB i Finland hette Strömberg, börjar närma sig slutet på sin elektriska livslängd. Med nya reläskydd kan man bättre följa upp vad som är orsaken till fel i elnätet, eftersom de nya reläskydden sparar loggdata. Larmhanteringen blir också bättre med nya reläskydd, vilket är en fördel.

Ett syfte med arbetet är också att öka kunskaperna om Vamps reläskydd, för att ifall behov finns i framtiden även byta flera föråldrade reläskydd till nyare Vamp reläskydd. Vamps reläskydd kommer att användas eftersom de redan införskaffats och har funnits på lager en tid. Vamps reläskydd är också aningen lättare att använda än nutidens ABB reläskydd och främst är de lättare att ställa in, tack vare det rätt så överskådliga inställningsprogrammet Vampset.

Detta examensarbete ökar även kunskaperna om distributionsnätverk, främst Esse Elektro-Krafts nät i Kojola. På så vis ger det en bra teori om hur ett nät fungerar och vad man behöver tänka på vid planering och uppbyggnad av ett elnät.

Främst fås lärdomar i att ta reda på fakta om ett elnät, som behövs när reläskyddsinställningar till nätet beräknas. Genom arbetet blir också beräkning av inställningar och vad man bör tänka på när man gör det mer bekant. Samtidigt blir alla bestämmelser som finns vid planering av skyddsanordningar och vad som är bestämt i lag, samt vad det är mer fritt med, genomgångna och på så vis mera bekanta.

Under arbetets gång så har examensarbetets innehåll förkortats och ändrats. Grundsyftet är fortfarande det samma, att reläskydden är i behov av uppdatering. Orsakerna till ändringen i innehållet är att det skulle ha blivit alltför tidskrävande att göra vissa delar av examensarbetets ursprungliga innehåll.

## 3 Teoretiska utgångspunkter

Utgångspunkten för arbetet är en gammal elstation från början av 1980-talet. Elstationen är inkopplad på ett privatägt regionnät med en spänning på 110 kV. Dess uppgift är att transformera ner spänningen från 110 kV till distributionsspänningen 20 kV. Den huvudsakliga utgångspunkten är de gamla reläskydden som skyddar både den inkommande

linjen och de utgående linjerna. Också de nya reläskydden och dess inställningar är en del av den huvudsakliga utgångspunkten som behöver undersökas och arbetas med.

### 3.1 Elstationen

Elstationen består av inkommande luftlinjer med spänningen 110 kV, fränskiljare, brytare, en transformator och en liten barack, se bilden nedan. I baracken finns skilda fack för inkommande och utgående linjer. Varje linje, utgående eller inkommande, har en brytare och ett reläskydd. Reläskydden är tillverkade av ABB, dåvarande Strömberg.



*Figur 1. Kojola elstation.*

I Kojola station finns det en inkommande linje som är kopplad till en YNd11 kopplad transformator som tar ner spänngen från 110 kV till 20 kV. Transformatorn, som är märkt  $110\pm 9*1,67\% / 21kV$  och 10 MVA, har en lindningskopplare på 18 steg som gör att spänningen kan varieras mellan ungefär 93 kV och 127 kV. Som överspänningsskydd för transformatorn fungerar en 132 kV:s ventilavledare på uppspänningssidan omedelbart före transformatorn och en 96 kV:s ventilavledare i uppspänningssidans stjärnpunkt, samt en 24 kV:s ventilavledare på transformatorns nedspänningssida. Den inkommande linjen har ett gammalt Strömbergs SPAJ 3C5 J3 överströmsskydd, och strömtransformatorer med förhållandet 300/5 A.



De utgående linjerna är fyra till antalet. Två går till Alahärmä, den ena mer norrut och den andra mer söderut från stationen. Dessa kallas Alahärmä 1 och 2. En linje går norrut mot Forsby i Pedersöre genom Markby i Nykarleby och delar av Överpurmo i Pedersöre. Denna linje kallas Purmo. Den sista utgående linjen kallas Korteshjärvi, eftersom den går mot Korteshjärvi och levererar el till delar av Korteshjärvi. Numreringen i stationen är sedan en annan, där är Alahärmä 1 först, Purmo och Korteshjärvi sedan samt till sist Alahärmä 2, eftersom den kommit till senare vid utvidgning av stationen. Deras numrering är BA05, BA07, BA09 och BA11 i ovan nämnd ordning.

De äldre utgående linjerna, Alahärmä 1, Purmo och Korteshjärvi, har alla gamla Strömbergs reläskydd. Det är ett reläskydd innehållande fyra olika moduler, en SPAJ 3C5 J3 överströmsmodul, en SPAS 1B1 J3 jordfelsmodul och en SPAT 2D200 J3 återinkopplingsmodul, samt en SPAN 2A4 J3 räknare. I bilden nedan syns dessa moduler. Den nyare linjen Alahärmä 2 har ett lite nyare ABB reläskydd i form av ett SPAA 341 C ledningsskyddsrelä. Samtliga strömtransformatorer på de utgående linjerna har förhållandet 100/5 A, dessutom finns kabelströmstransformatorer med förhållandet 70/1 A.



Figur 2. Utgående facket BA05 Alahärmä 1 med gamla Strömberg reläskydd.



I elstationen finns också ett fack för skenbrytaren vilken kopplar om mellan huvud- och hjälpskenan i stationen. Där finns också ett fack för egenförbrukning och mätning samt ett fack för jordfelskompenseringsutrustningen som satts till senare. Dessutom finns ett fack som fungerar som likspänningscentral och alarmcentral, med alla 110 V:s ackumulatörer som behövs för likspänningssystemet, ett fack med fjärrstyrningsutrustningen och ett fack som innehåller styrningen av 110 kV, samt ett fack som används som kontor. I ”kontoret” finns ritningar och manualer som hör till stationen och dess apparater samt en telefon och förstahjälputrustning.

### 3.2 Reläskydd

Ett reläskydd är kort sagt en komplicerad säkring. Mer ingående kan man säga att ett relä är en apparat som övervakar en strömkrets och har en funktion då en förändring sker i strömkretsen. Som följd av förändringen har reläet i uppgift att utföra en styrning eller indikering i samma eller i en annan strömkrets. Reläet kan övervaka en eller flera storheter och när någon av dessa överstiger det på reläet inställda värdet startar reläet, för att sedan fungera, vänta eller göra något annat, helt enligt vad det är inställt att göra. (Undervisningsmaterial).

Ett reläskydd är alltså då ett eller flera relän som med hjälp av tillbehör, vanligtvis någon typ av brytare, kopplar bort en viss del av nätet vid felsituationer (Blomqvist, 1997, s.328). Ett reläskydd bör kunna fungera selektivt, så att endast en liten del av nätet blir bortkopplat. Reläskyddet bör också fungera så snabbt som möjligt, för att minimera skadorna som felet orsakar. Skydden bör vara enkla och driftsäkra samt skydda hela systemet utan några luckor. (Undervisningsmaterial).

När man planerar skydd för ett helt system så delas systemet in i olika skyddszoner. Där varje skyddszons skydd planeras skilt för sig, men med beaktande av hela systemets krav. En skyddszon kan vara t.ex. ledningar, transformatorer, generatorer, samlingsskenor och kombinationer av dessa. I Kojola station är varje utgående linje en skild skyddszon, ett överlappande skydd i Kojola är t.ex. överströmsreläet som är på den inkommande linjen och på hjälpskenan. Det bör dessutom finnas reservskydd ifall de egentliga reläskydden inte fungerar som de ska. Dessa reservskydd är oftast mekaniska skydd.

Reläskydden benämns ofta enligt vilken feltyp de är avsedda för, t.ex. kortslutningsskydd, jordfelsskydd och avbrottsskydd. De mäter då strömmen, spänningen, effekten eller

frekvensen och detekterar om denna ändras, vilket betyder att det är något fel. Den storhet som reläskyddet mäter och fungerar efter kallas påverkande storhet. Då denna påverkande storheten går över reläets inställda funktionsvärde startar reläet. Men det tar en tid från att reläet startat till att det gör något, t.ex. ger en impuls till brytaren att bryta strömmen. Denna tid kallas reläets funktionstid, som kan variera mellan 2 – 40 ms. (Blomqvist, 1997, s.349–350). Ifall reläet inte hinner bryta strömmen före den påverkande storheten igen har sjunkit så mycket att strömmen inte längre behöver brytas, så går reläet igen till vilotillstånd. Tröskelvärde för att reläet ingen ska gå till vilotillstånd, utan att bryta strömmen, kallas återgångsvärde och är oftast lite lägre än funktionsvärdet. Återgångsförhållande kallas återgångsvärdet dividerat med funktionsvärdet, och det är ett värde som brukar nämnas i ett reläs tekniska specifikation. (Undervisningsmaterial).

Reläskydden kan vara inställda att bryta olika snabbt. Förutom reläets funktionstid kan man sätta in olika tidsfördröjningar innan reläet funktionerar, dvs. skickar impuls till brytaren att bryta. Det här används främst ifall det är frågan om endast små överbelastningar, som kan försvinna lika fort som de uppstår. Olika tidsfördröjningar är också bra när man försöker uppnå ett selektivt skydd. Tidsfördröjningarna kan vara både konstant tidsfördröjda och följa en inverttidskurva, dvs. tiden innan reläet arbetar blir kortare desto större storheten som mäts blir. Förutom tidsfördröjda reläer finns också momentana reläer, som fungerar momentant, dvs. reläet arbetar så fort det hinner. Men man behöver räkna med att reläet alltid behöver sin funktionstid innan det utför några funktioner. (Blomqvist, 1997, s.350 – 351).

Olika typer av reläskydd som behandlas i detta arbete är överströmsskydd, jordfelsskydd och nollpunktsspänningsskydd. De två sistnämnda i form av riktat jordfelsskydd. Den påverkande storheten för överströmsskyddet är ström, medan den för det riktade jordfelsskyddet är jordslutningsström, nollpunktsspänning och den aktiva eller reaktiva effektens riktning, eller som man normalt benämner det: vinkeln mellan spänningen och strömmen.

### **3.3 Selektivitet**

Med selektivitet menar man att man kopplar bort endast den del av nätet som är felaktig. Det gör man för att inte så många ska drabbas av ett fel, men också för att det i felsökningen ska vara lättare att hitta vad som var orsaken till felet. Ett helt selektivt skydd

kan ibland vara svårt att uppnå, men då är det bättre att skyddet är komplett och skyddar hela nätet i stället för att en del blir lidande när man försöker få det helt selektivt.

Det finns två typer av selektivitet. Det ena är tidsselektivitet och går ut på att de olika reläskydden ställs in att bryta vid olika tider. Så att det skydd som är närmast felet har den kortaste tiden och det skydd som överlappar hela nätet har den längsta tiden. Den andra typen av selektivitet är absolut selektivitet. Det betyder att skyddet kan avgöra i vilken del av nätet som ett fel inträffar och utifrån det bryta på rätt plats. (Kenjar & Olsson, 2003, s. 26).

Normalt upprättas också en selektivplan som har till syfte att samordna reläskyddens strömnivåer och tidsinställningar. I planen ska det också ingå att ett reservskydd ska bryta strömmen om de andra reläskydden misslyckas med det. Reläskyddens inställningar ska också vara möjliga att överblicka i ett eller flera tid-ström diagram för att kunna göra eventuella feldiagnoser. (Kenjar & Olsson, 2003, s. 26).

### **3.4 Oy Strömberg Ab:s reläskydd**

Strömbergs reläskydd som behandlas i detta examensarbete är av typen statiska eller elektroniska reläskydd ämnade för 3- eller 1-fas. De är uppbyggda av flera moduler som tillsammans bildar ett reläskydd med flera skyddsmetoder. En modul är för 3-fasig överström med två skyddssteg och en konstant tidsfördröjning. En annan modul är för skyddande av isolerade eller spoljordade högspänningsnät, från riktade jordslutningsströmmar. Detta sker i ett steg och med konstant tidsfördröjning. En tredje modul är en återinkopplingsmodul med möjlighet till en snabbåterinkoppling och en eller två tidsåterinkopplingar. Dessutom har reläskydden en modul som fungerar som räknare och räknar antalet återinkopplingar. En annan typ av modul som i Kojola station används som ett skilt reläskydd är en spänningsmodul. Detta spänningsrelä mäter nollpunktsspänningen över en spänningstransformator med öppen deltalindning som placerats i mätningfacket i stationen, mätningen sker alltså på huvudtransformatorns nedsida. Detta skydd har ett steg och konstant tidsfördröjning. (Manual SPAJ, Manual SPAS, Manual SPAT, Manual SPAU).

#### **3.4.1 SPAJ 3C5 J3**

Modulen för överströmmar har två överströmssteg. Det första överströmssteget I> har också en tidsfördröjning. Medan det andra överströmssteget I>> fungerar momentant.

Programmeringen av inställningarna till detta reläskydd görs på framsidan av reläet med stift och vridknappar. Det lägre överströmssteget kan ställas in mellan 0,5 och  $4 \cdot I_N$ , där  $I_N$  är reläets nominella ström. Det övre överströmssteget kan ställas in mellan 3 och  $20 \cdot I_N$ . Det går också att låsa den momentana utlösningen genom att ställa in det övre överströmssteget på  $\infty$ . Det lägre överströmsstegets tidsfördröjning kan ställas in i tre olika nivåer genom att ändra ett stifts position 0,2 till 1,2 s och 1 till 6 s samt 5 till 30 s.

Reläets nominella ström är 5 A. Men det tål 15 A kontinuerligt och 500 A under 1 s. Reläets noggrannhet är  $\pm 2 \%$  och dess återgångsförhållande är 0,96. Dess funktionstid är 25 ms eller  $< 40$  ms och återhämtningstiden varierar mellan 40 och 60 ms.

(Manual SPAJ)

### 3.4.2 SPAS 1B1 J3

Denna modul, som kallas riktat jordfelsrelä har till uppgift att uttrycka den skyddande ledningens summaström och spänningen mellan nätets nollpunkt och jord genom att definiera den reaktiva eller aktiva effektens riktning. Bestämningen av effektens riktning grundar sig på mätningen av fasskillnaden mellan spänningen och strömmen. Reläet startar om följande tre villkor uppfylls. Spänningen överstiger reläets inställningsvärde, som kan ställas in steglöst mellan 5 och 30 V. Strömmen överstiger inställningsvärdet, som kan ställas in i sex steg mellan 20 och 640 mA. Fasskillnaden mellan spänningen och strömmen är i området  $\varphi \pm 80^\circ$ , där det går att välja om  $\varphi = 0^\circ$  eller  $\varphi = 90^\circ$  beroende av om det är ett spoljordat eller isolerat nät.

Både i spännings- och strömkretsen finns det bandfilter som filtrerar bort tredje övertonens (150 Hz) störningar. Dessa filter släpper helt igenom grundvågen (50 Hz), men dämpar tredje övertonens komponent till ungefär 1–2 % av dess ursprungsvärde.

I reläet finns också en tidsfördröjning, som kan ställas in på två steglösa områden. Endera kan man välja 0,2 till 1,2 s eller så 1 till 6 s. Inställningen av reläet sker med stift och vridknappar. Ifall stiften saknas så är reläet inställt på så att säga grundinställningar.

Reläets nominella ström är 1 A. Men det tål en kontinuerlig ström på 15 A. Medan den termiska belastbarheten är 200 A under 1 s. Noggrannheten på reläets detektering av strömmen är  $\pm 5 \%$ . Dess återgångsförhållande är 0,96. Den nominella spänningen är 100 V, medan reläet tål en kontinuerlig spänning på 120 V. Avvikelsen från inställningsvärdet

är  $\pm 2\%$ . Även spänningens återgångsförhållande är 0,96. Reläets funktionstid är ca 250 ms samt dess återhämtningstid maximalt 60 ms.

(Manual SPAS)

### 3.4.3 SPAT 2D200 J3

Denna modul sköter om nätets återinkoppling. Reläet är menat för brytare som är återinkopplingsbara. Reläet har både snabbåterinkoppling och tidsåterinkoppling. Det går att ställa in så att reläet utför endast snabbåterinkoppling, endast tidsåterinkoppling, snabb- och tidsåterinkoppling eller snabb- och två tidsåterinkopplingar. Dessutom kan man ställa in reläet på att inte försöka återkoppla nätet. Då ges bara en signal att brytaren är öppen, reläet ger också alarm för ”brytare öppen” när alla återkopplingar misslyckats.

Reläet programmeras genom att på panelen ändra på stiftens placering och vrida på vridknapparna. När brytaren är öppen och nätet är bortkopplat så startar återinkopplingen med en viss tidsfördröjning. Denna tidsfördröjning innan snabbåterinkopplingen startar går att ställa in på 0,1 till 1 s eller 1 till 10 s. Tidfördröjningen innan tidsåterinkopplingen startar kan ställas in mellan 10 och 200 s. Dessutom finns det en så kallad ”bränntid” när brytaren är stängd. Bränntiden är så länge strömmen är på mellan återkopplingsförsöken om felet inte har försvunnit och kan varieras mellan 0,1 och 1 s. Den kallas bränntid på grund av att strömmen under denna tid försöker bränna bort felet, t.ex. en kvist på ledningen.

(Manual SPAT)

## 3.5 Ersättande reläskydd - Vamp 40

VAMP Ltd: s Vamp 40 reläskydd, se figur 3, är ett komplett lednings- och motorskyddsrelä. Vamp 40 har många olika skyddsfunktioner, men det är endast några av dem som kommer att användas och behandlas här. Dessa funktioner är skydd mot överström, skydd mot riktade jordfel och automatisk återinkoppling. Andra funktioner som reläet har och som antagligen kommer att användas, men som det inte behöver beräknas några inställningar till och därför inte behandlas djupare i detta examensarbete, är reläets logg med alla händelser och störningsskrivare.



Figur 3. Vamp 40 reläskydd. Källa: Vamp, 21.3.2011.

Reläet är programmerbart lokalt genom att använda panelens tryckknappar och display eller genom att koppla en dator till serieporten på panelen. Fjärrstyrning av reläet går genom att koppla in reläets fjärrstyrningsport på baksidan av reläet. När en dator är kopplad till reläet programmeras det genom att använda datorprogrammet Vampset. Reläet kommunicerar med andra system genom att använda allmänna protokoll, som t.ex. ModBus RTU, ModBus TCP, Profibus DP, IEC 60870-5-103 SPA bus och DNP 3.0.

(Vaasa Electronics Group VAMP, v.VM40.EN004a, s. 5–27).

Reläet är ett digitalt skyddsrelä och kan programmeras om så att endast de önskade skyddsfunktionerna är aktiverade. Det har också flexibla kontroll- och blockeringsmöjligheter tack vare digitala in- och utgångar. Reläet har två olika tillämpningslägen, mellan vilka det går att ändra i datorprogrammet Vampset. Dessa två lägen är ledningsskydd och motorskydd. Skyddsfunktionerna varierar lite mellan dessa två lägen. Men i läget för ledningsskydd, som används i detta arbete, finns alla för det ändamålet nödvändiga skyddsfunktioner. I läget ledningsskydd är alla skyddsfunktioner som påverkas av strömmen beroende av den nominella strömmen,  $I_N$  som härrörs från strömtransformatorns förhållande. (Vaasa Electronics Group VAMP, v.VM40.EN004b, s. 4–8).

Överströmsskyddet har i Vamp 40 tre steg,  $I>$ ,  $I>>$  och  $I>>>$ . Det lägsta steget,  $I>$ , kan ställas in för konstant tidsfördröjning och invert tidsfördröjning, med många olika val av inverttidkurva. För de två övre stegen kan endast konstant tidsfördröjning väljas.  $I>$  kan



ställas in mellan  $0,10$  och  $5,0 \cdot I_N$ , medan  $I \gg$  kan varieras mellan  $0,10$  och  $20,0 \cdot I_N$  samt  $I \gg \gg$  varieras mellan  $0,1$  och  $40,0 \cdot I_N$ . De konstanta tiderna är följande  $t > 0,08 - 300,0$  s,  $t > > 0,04 - 300,0$  s,  $t > > > 0,04 - 300,0$  s. Den nominella strömmen,  $I_N$  för reläet är  $5$  A men det klarar en kontinuerlig ström på  $20$  A. (Vaasa Electronics Group VAMP, v.VM40.EN004b, s. 8–19, 90).

Det riktade jordfelskyddet mäter även i detta relä jordfelsströmmen,  $I_0$  och nollpunktsspänningen,  $U_0$  samt fasvinkeln,  $\phi$  mellan dessa. När jordfelsströmmen och nollpunktsspänningen mäts är det viktigt med stor noggrannhet. Därför har även detta jordfelskydd filter som dämpar den tredje övertonen med minst  $60$  dB. Skyddet har två steg,  $I_{0\phi} >$  och  $I_{0\phi} > >$ , som var och en har både konstant och invert tidsfördröjning.  $I_{0\phi} >$  och  $I_{0\phi} > >$  kan ställas in mellan  $0,01$  och  $20,0 \cdot I_{0n}$ .  $I_{0n}$ , som är jordfelsströmtransformatorns nominella ström, är i Kojola station  $1$  A medan reläet tål en kontinuerlig ström på  $4 \cdot I_{0n}$ , vilket betyder en ström på  $4$  A. De konstanta tiderna kan varieras mellan  $0,1$  och  $300,0$  s. Nollpunktsspänningen mäts i procent av fasspänningen och kan varieras mellan  $1$  och  $20$  %. Inställningarna för fasvinkeln mellan jordfelsströmmen och nollpunktsspänningen kan väljas mellan tre olika sätt, ResCap, Sector och Undir. I ResCap läget finns dessutom två underlägen, Res = resistiv och Cap = kapacitiv. Res- läget används vid spoljordade nät och nät som är jordade med en stor jordningsresistans. Cap- läget används vid isolerade nät. Sector läget är främst menat för nät som är jordade med en liten jordningsresistans. Medan Undir- läget betyder att det riktade jordfelskyddet blir lika som det oriktade, alltså endast  $I_0$  mäts. (Vaasa Electronics Group VAMP, v.VM40.EN004b, s. 26–30 och Vaasa Electronics Group VAMP, v.VM40.EN006b, s. 27–28, 90).

Kriterierna som behöver uppnås innan jordfelskyddet startar är att de inställda värdena för jordfelsströmmen och nollpunktsspänningen överskrids. Detta behöver ske samtidigt som vinkeln mellan dessa två storheter befinner sig i den inställda sektorn, dvs. Res, Cap eller Sector. (TTT, 2000, s. 16).

Eftersom Kojola nätverk kan vara både ett isolerat nät och ett spoljordat nät, så behövs både lägena Res och Cap användas. Med hjälp av de digitala ingångarna går det att kontrollera inställningen av ResCap lägen dynamiskt, t.ex. via fjärrmanöver. (Vaasa Electronics Group VAMP, v.VM40.EN004b, s. 26).

De automatiska återinkopplingarna ställs lätt in med hjälp av en matris, där olika skyddsfunktioners start- och trippsignaler går att para ihop med önskad återinkoppling. Det

finns fem återkopplingssteg där det går att ställa in ”död tid” för att få önskad snabbåterkoppling eller tidsåterkoppling. Stegen har också separata inställningar för bränntiden, som i Vamp 40 kallas diskriminerings-tid. Dessutom finns det en återhämtningstid som bestämmer om återkopplingen lyckades eller inte. Ifall ett fel uppstår så länge återhämtningstiden rullar, så startar nästa steg i återkopplingssekvensen. Samtliga tider kan ställas in mellan 0,02 och 300,0 s. (Vaasa Electronics Group VAMP, v.VM40.EN004b, s. 41–45, 96).

I Vamps reläskydd är funktionstiden inräknad i tidsfördröjningen, vilket gör att man inte kan ställa in tidsfördröjnings-tiden till mindre än ca 60 ms, vilket Vamp kallar starttid. För det övre överströmsskyddet, även kallat momentant överströmsskydd, går det att ställa in den kortaste tiden till 40 ms. Överströmsskyddets återgångsförhållande är 0,97 och riktade jordfels-skyddets återgångsförhållande är 0,95. Återhämtningstiden för det lägre överströmssteget, I> är mindre än 95 ms, det samma som för det riktade jordfels-skyddet. De övre överströmsstegen, I>> och I>>>, återhämtningstid är mindre än 80 ms. (Vaasa Electronics Group VAMP, v.VM40.EN004b, s. 93, 96).

### 3.6 Uppdraget

Det ursprungliga uppdraget var att planera och förbereda för ett byte av reläskydd vid Kojola station. De gamla reläskydden på de utgående linjerna skulle bytas ut till införskaffade Vamp 40 reläskydd, medan på den inkommande linjen skulle det sättas ett Vamp 230 eller 255 reläskydd. Uppdraget omfattade bl.a. att göra upp ritningar som krävs för bytet av skyddsrelän, rita eller beställa plåtar för anpassning till stationen, beställa och koppla kabelhärvorna till befintliga plintar, se över larmhanteringen i stationen och kontrollera inställningar samt ta i drift skyddsfunktionen för intermittenta jordfel. Dessutom skulle också inställningarna programmeras in i reläskydden och dessa skulle prövas för att veta om de var korrekt inställda.

Arbetet börjades med att läsa ritningarna för att bättre veta hur det var kopplat och hur det fungerade samt hur detta såg ut på ritningarna. Efter att ha försökt få kunskap om ritningarna funderades det på hur de nya reläskydden skulle ritas, för att på bästa sätt passa in i de gamla ritningarna. Eftersom ritningarna var så gamla fanns inga elektroniska ritningar att tillgå. Det betydde att på en sida där någon förändring skulle behöva göras måste hela sidan ritas om, samt även andra sidor som var länkade ihop med ifrågasvarande sida. Möjligheten undersöktes att rita de nya sidorna med hjälp av ett ritprogram som

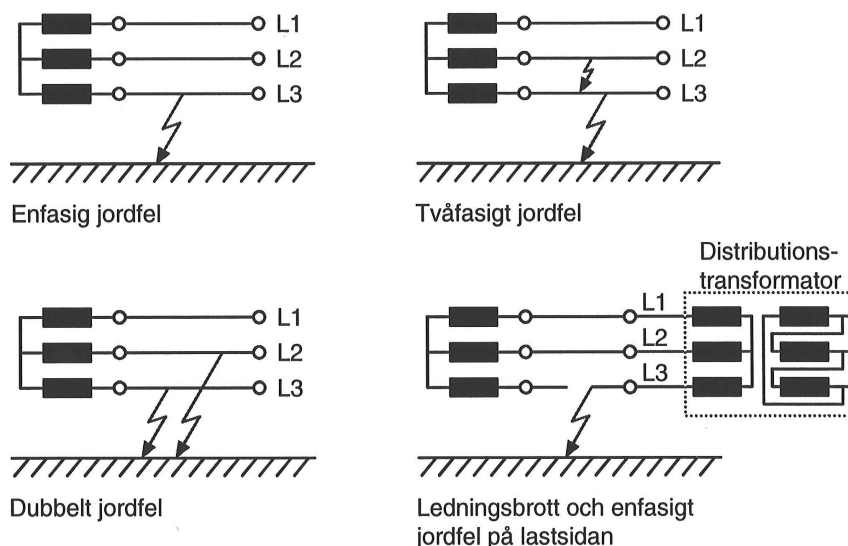
använts i skolan, nämligen AutoCAD. Uppdragsgivaren ansåg att de förändringar som skulle göras endast skulle göras förhand i nuläget. De nya förändringarna skulle bara fyllas i på de gamla ritningarna. Detta förfaringssätt prövades, men det var rätt så svårt att få in ett nytt reläskydds alla kontakter i gamla ritningar. Denna punkt i uppdragslistan sattes på is en stund.

Efterhand så har vissa saker i uppdragslistan lämnats bort, för att ge mer tid åt andra. Nuvarande innehåll i uppdragslistan är att byta reläskydden på de fyra utgående linjerna, vilket betyder att beräkna inställningar till nätet i Kojola, både vid normal drift och vid reservmatning av Korteshjärvi stations område. Inställningarna bör beräknas både med isolerat nät och med spoljordat nät. Dessa inställningar ska också jämföras med inställningarna som finns på de gamla reläskydden. Dessutom ska reläskydden programmeras och prövas.

Det resterande på den ursprungliga listan över det som skulle göras inom examensarbetet sköts upp till sommaren. Resten av arbetet kunde göras klart i form av sommararbete, innan själva bytet av reläskydden gjordes.

## **4 Teoretisk bakgrund**

De nya reläskydden behöver ställas in så att de skyddar de olika utgående linjerna vid eventuella fel. Olika fel som kan uppstå är tvåfasiga- och trefasiga kortslutningar, enfasiga- och tvåfasiga jordfel samt dubbelt jordfel och enfasigt jordfel på lastsidan, då en ledning gått av. Tvåfasiga jordfel är en kombination av kortslutning och jordslutning eftersom ett tvåfasigt jordfel uppstår då två ledningar kortsluts, samtidigt som de har kontakt med jord. Olika jordfel kan ses i figur 4. Så kan förstås också mera vanliga överbelastningssituationer uppstå med överströmmar som resultat.



Figur 4. Olika typ av jordfel i trefassystem.

Stationens fyra utgående linjer har varsitt reläskydd och dessa behöver ha separata inställningar. De separata inställningarna, främst brytningstiderna, ska sedan passa ihop med den inkommande linjens reläskydd. Detta för att erhålla tidsselektivitet.

Varje relä behöver ha flera olika inställningsgrupper, vilket betyder att de har olika grupper med kompletta inställningar, som lätt kan växlas mellan när nätet byter uppbyggnad. Som till exempel vid olika reservmatningar, då stationen kan behöva mata ett större område än normalt. Vamp 40 reläskydden kan ha två stycken inställningsgrupper för de flesta skyddsfunktionerna samtidigt. Det går att växla mellan dessa inställningsgrupper genom att fjärrmanövrera de digitala ingångarna i reläet, som då behöver vara inställda på att ändra inställningsgrupper. Inställningsgrupperna kan också ändras manuellt genom att använda panelen i lokalläge.

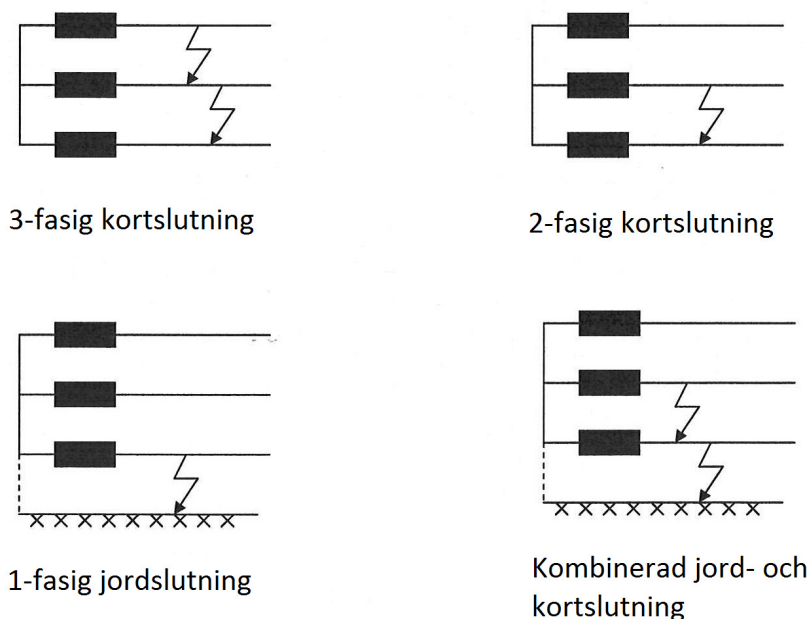
(Vaasa Electronics Group VAMP, v.VM40.EN004a, s. 14)

En reservmatning som kommer att behövas är matning av Kortesjärvi station från Kojola station. Detta görs i två steg. Genom att sluta den normalt öppna frånskiljaren Q-127 matas Kortesjärvi stationen genom Kortesjärvi stations "Centrumlinje". I Kortesjärvi station är då brytaren till den matande 110 kV linjen öppen och strömmen kommer då in "bakvägen" genom Centrumlinjen. I Kortesjärvi station är även "Porkholmlinjens" brytare öppen. Matningen till denna linje kommer direkt från Kojola nätet. Detta sker genom att sluta den också normalt öppna frånskiljaren Q-16.

## 4.1 Överströmsskydd

Ett överströmsskydd skyddar ledningarna och övrig kringutrustning mot för stora strömmar. Överströmmarna kan uppstå i form av överbelastningsströmmar eller kortslutningsströmmar. När nätet är överbelastat en längre tid blir ledningarna eller annan utrustning för varm och kan i värsta fall smälta. Därför behövs ett överströmsskydd som skyddar mot sådana strömmar. Vid överbelastningsströmmar är det fråga om strömmar som endast är lite större än vid normal drift. Då behöver överströmsskyddet inte bryta strömmen förrän en vis tid har förflutit, under vilken strömmen hela tiden är för stor.

Ifall det är fråga om en kortslutningsström, som normalt är mycket större än en överbelastningsström, så bör överströmsskyddet klara av att bryta strömmen snabbare, men endast ifall strömmen kommer upp till en högre nivå. Kortslutningsströmmens storlek beror på det matande 110 kV nätets kortslutningsström, men också på hur stor den matande transformatorn (110/20 kV) är (Lakervi & Partanen, 2009, s. 30) samt på ledningarnas typ och längd. En kortslutning innebär att strömförande delar har kontakt på annat sätt än genom strömkällan eller lasten och detta illustreras i figur 5. Saker som kan orsaka kortslutning är t.ex. atmosfäriska överspänningar, funktionsstörningar i utrustningen, eller överbelastning. Detta kan medföra att olika komponenter värms upp samt att ljusbågar och farliga spänningar uppstår. En kortslutningsström är ungefär 10 till 40 gånger större än belastningsströmmen i normala fall. (Väistö, 2009, s.17).



Figur 5. Olika typ av kortslutningar i trefassystem.

Eftersom ett överströmsskydd behöver klara av att bryta strömmen både vid en normal överbelastning och vid en större kortslutning, så har överströmsskydden ofta två eller flera skyddssteg. Ett lägre steg är för överbelastningsströmmar och ett högre för kortslutningsströmmar. Enligt Blomqvist (1997, s. 351) benämns de här stegen I> och I>> som specificerats i IEC-standarden IEC 617.

## 4.2 Jordfelsskydd

En jordslutning orsakas då någon av en lednings faserna kommer i kontakt med jord eller delar som är i kontakt med jord. I isolerade och spoljordade nät har jordslutningsströmmen inget lågimpedansigt motstånd att gå igenom till huvudtransformatorns nollpunkt, så att kretsen skulle bli kortsluten. Därför blir jordfelsströmmarna så låga att de inte går att detektera som överströmmar, p.g.a. att de är mindre än den normala belastningsströmmen. Jordfelsskyddet observerar därför osymmetrin i strömmarna och kan även mäta nollpunktsspänningen. (Tella, 2007, s.16).

Jordslutningsströmmarna, som nätet ger upphov till, gör att nätet blir snedbelastat och detta orsakar en spänning mellan transformatorns nollpunkt och jord. Denna spänning, som kallas nollpunktsspänningen, får inte vara för hög. Jordfelsskydden kan vara av typen oriktat,  $I_0$  eller riktat,  $I_{0\phi}$  skydd. Ifall det är ett oriktat jordfelsskydd mäter och övervakar skyddet endast osymmetrin i strömmarna, om det är ett riktat jordfelsskydd så behöver skyddet även mäta nollpunktsspänningen. Dessutom behöver skyddet veta vinkeln mellan jordfelsströmmen och nollpunktsspänningen som det mäter.

Vid ett jordfel så ändrar också nätets tre faser, så att den felande fasens fasspänning blir mindre och de två andra fasernas fasspänningar blir högre. Ifall det är en enfasig direkt jordslutning, vilket betyder att jordfelsresistansen,  $R_f = 0$ , så blir den felande fasens fasspänning också lika med noll. Medan de två andra fasernas fasspänningar blir  $\sqrt{3}$  gånger högre, vilket betyder att de blir lika stora som huvudspänningen. Ifall jordfelsresistansen är liten blir jordfelsströmmen större, vilket gör att nätet borde kopplas ifrån snabbare. Därför har även jordfelsskyddet flera skyddssteg, som kan ha olika utlösningstider.

## 4.3 Tillåtna spänningar

Enligt SFS (2005, s.70) ger ström som går genom människans kropp upphov till fara. Det finns standarder som ger en vägledning angående hur strömmar som går genom kroppen



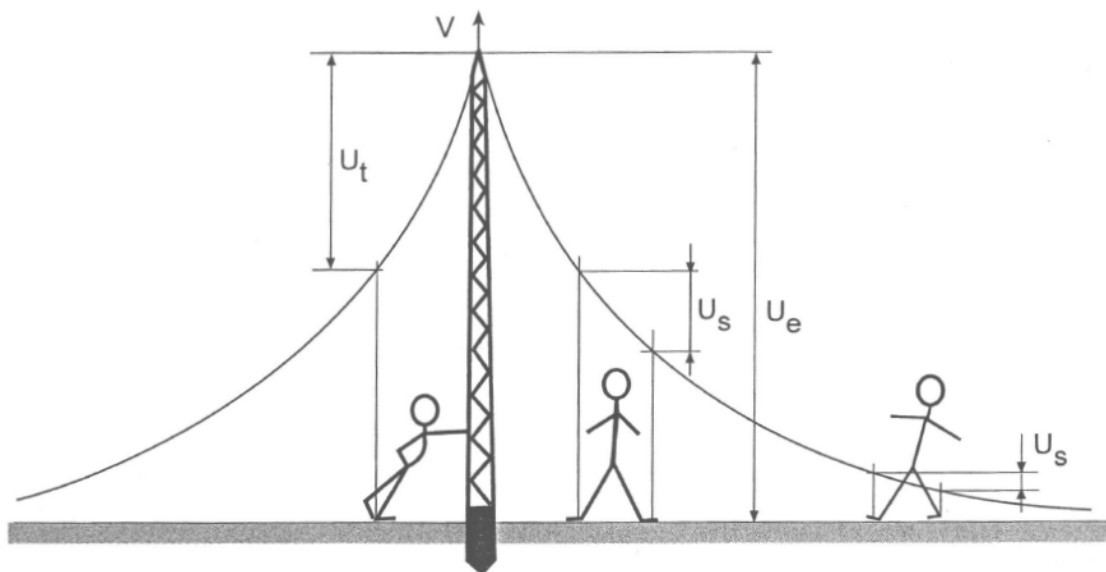
påverkar en människa, baserat på strömmens storlek och hur länge en människa utsätts för denna ström. I praktiken är det lättare och mer lämpligt att använda sig av beröringsspänningar. Definitionen av en beröringsspänning är enligt SFS (2005, s.14): ”del av jordpotentialstegringen som uppstår vid jordfel och kan påverka en person, vid antagandet att strömmen går genom kroppen från hand till fot (horisontalt avstånd 1 m från oskyddad del)”. I SFS (2005, s. 76) finns en graf som visar den tillåtna beröringsspänningen som funktion av strömmens varaktighet i jordfelssammanhang. I denna graf kan man läsa den maximala spänning som får uppträda över kroppen, från bar hand till bara fötter, som funktion av bortkopplingstiden för en jordslutning. Enligt SFS (2005, s.70) får man också ta hänsyn till olika tilläggsresistanser vid beräkning av denna beröringsspänning, t.ex. skor. Följande tabell visar en del värden över tillåtna beröringsspänningar och deras motsvarande bortkopplingstider, utan några tilläggsresistanser.

Tabell 1. Tillåten beröringsspänning  $U_{Tp}$  och felets bortkopplingstid  $t_F$ , vid högspänningselinstallationer.

| Felets bortkopplingstid<br>$t_F$ [s] | Tillåten beröringsspänning<br>$U_{Tp}$ [V] |
|--------------------------------------|--|
| 10,00                                | 80   |
| 1,10                                 | 100  |
| 0,72                                 | 125  |
| 0,64                                 | 150  |
| 0,49                                 | 220  |
| 0,39                                 | 300  |
| 0,29                                 | 400  |
| 0,20                                 | 500  |
| 0,14                                 | 600  |
| 0,08                                 | 700  |
| 0,04                                 | 800  |

Källa: SFS, 2005, s. 85.

En annan typ av beröringsspänning är stegspänningen. Detta visas på ett överskådligt sätt i figur 6. I figuren är  $U_e$  jordpotentialstegring även kallad jordningsspänning,  $U_t$  beröringsspänningen och  $U_s$  stegspänningen. SFS:s (2005, s. 15) definition på en stegspänning är följande: ”den del av jordpotentialstegringen som uppstår vid jordfel och kan påverka en person med en steglängd av 1 m, antagande att strömmen går genom människokroppen från fot till fot”. Enligt Lehtonen och Hakola (1996, s. 58) så är stegspänningen i de flesta fall betydligt lägre än beröringsspänningen, vilket också syns i figur 6. Detta medför att det endast är beröringsspänningen som man kontrollerar. Lehtonen och Hakola (1996, s. 58) säger också att den maximala beröringsspänningen antas vara 50 % av den totala jordningsspänningen. Detta kan man också se i figur 6.



Figur 6. Jordningsspänningen,  $U_e$ , beröringsspänningen,  $U_t$  och stegspänningar,  $U_s$ . Källa: Lehtonen & Hakola, 1996.

I vissa fall får jordningsspänningen vara högre än två gånger tillåtna beröringsspänning, så länge den är mindre än fyra gånger större. Detta är när vissa tilläggsåtgärder har blivit utförda. (SFS, 2005, s.74)

#### 4.4 Återinkoppling

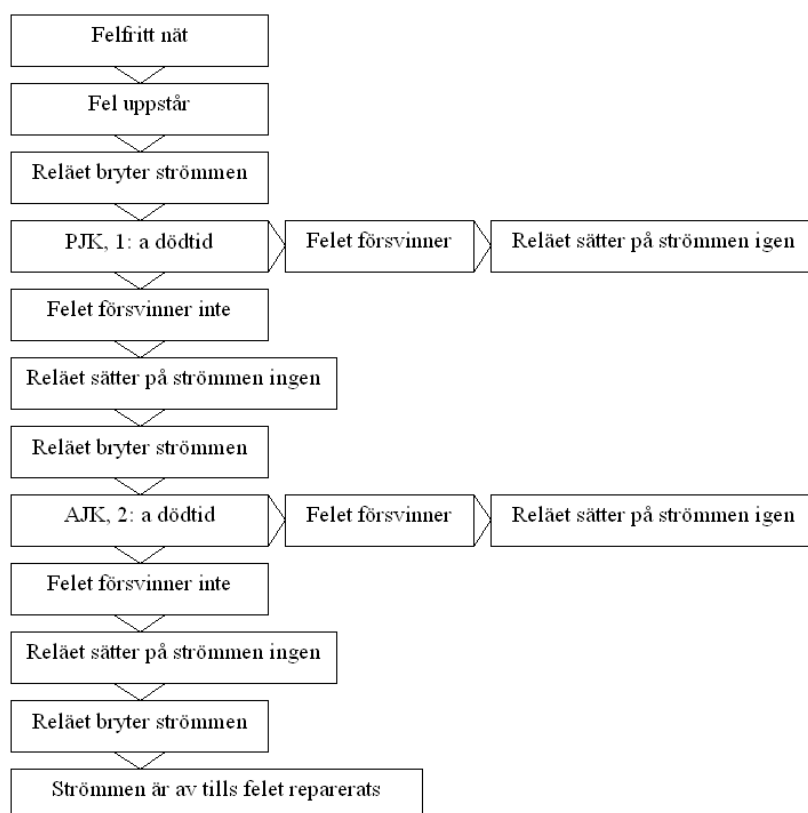
De flesta fel i ett luftledningssystem är fel som går över av sig själva. Kortslutningar och jordslutningar av denna typ är t.ex. en fågel som kortsluter två faser med vingarna, eller träd och kvistar som orsakar en jordslutning genom att falla över en ledning. Felen går över av sig själva genom att det som orsakat felet bränns bort av strömmen som går igenom dem eller genom att det ramlar ner från linjen av sig självt. Därför behöver nätet ha en automatisk återinkoppling som sköter om att koppla på nätet igen när felet antagligen har försvunnit.

Eftersom träd och fåglar brinner av när en tillräckligt stor ström går igenom dem så kunde man tycka att felen borde försvinna utan att bryta strömmen. Men så är det inte, eftersom det vid ett fel ofta uppstår ljusbågar mellan strömförande delar, där strömmen börjar gå, så försvinner inte felet förrän strömmen brutits.

I mellanspänningsnät (20 kV) tar det 0,07 s för felvägen att bli dejoniserad. Det betyder att dödtiden, innan återinkopplingen startar eller mellan återinkopplingarna, skulle kunna vara

så liten. Ifall det finns synkronmaskiner på lastsidan så måste dödtiden vara så lång att maskinernas underspänningsskydd löser ut, annars upprätthåller maskinerna ljusbågen så länge nätet är bortkopplat. Det här gör att dödtiden minst behöver vara mellan 0,2 till 0,4 sekunder. (Lehtonen & Hakola, 1996, s. 63).

En återinkopplingssekvens består oftast av en snabbåterinkoppling, PJK och en eller två tidsåterinkopplingar, AJK, men de kan variera lite i innehåll från nät till nät. En återinkopplingssekvens kan se ut som figur 7 visar.



Figur 7. Funktionsschema över en återinkopplingssekvens. Källa: Monni, 1989, s. 99.

## 5 Tidigare forskning

Tidigare VD för Esse Elektro-Kraft under åren 1968 till 2008, Holger Hemming, har med hjälp av nätbyggnadschef Dage Stenman gjort beräkningar angående kortslutningsströmmar vid Kojola station tidigare. Senast de har blivit gjorda var i oktober 2000. I dessa beräkningar har det matande 110 kV nätets resistans och reaktans antagits vara lika med noll, vilket är fel. Dessutom är huvudtransformatorns resistans och reaktans inte rätt, enligt tabeller på transformatorer. Både nätets och transformatorns resistanser och reaktanser påverkar kortslutningsströmmen på så vis att den minskar. Dessutom har nätets

ledningarna bytts ut på många håll sedan dessa beräkningar gjordes och det gör också att kortslutningsströmmarna inte stämmer överens med de som erhållits genom detta arbete.

Stationen har också ändrat en del sedan Hemming och Stenman gjort dessa beräkningar. Stationen utökades nämligen 2003 med ytterligare ett utgående fack och 2004 installerades faskompenseringsutrustning. 2006 fick stationen egen jordfelskompenseringsutrustning. Förut hade elnätet som hör till Kojola station varit ett isolerat nät som ibland varit ihopkopplat med en närliggande station (Kortesjärvi station), som haft jordfelskompensering och då blivit ett spoljordat nät.

Beräkningar angående jordfelsströmmar har Hemming gjort senast i februari 2002, men dessa är endast beräknade för Kortesjärvi station med beaktande av att också Kojola station är inkopplad. Dessa beräkningar tar dessutom inte i beaktande ifall nätet är spoljordat eller isolerat, utan de är endast riktgivande om hur stor jordfelsström som kan uppstå i nätet.

## **6 Metoder och tillvägagångssätt**

Genom att söka efter Holger Hemmings tidigare beräkningar och försöka förstå dem och samtidigt söka information i böcker eller andra arbeten, som berör planering av distributionsnätverk, åstadkoms ett tillvägagångssätt. De teoretiska och Hemmings tillvägagångssätt har små olikheter. Så genom att utgå från Hemmings modeller och använda den inlärd teorin, så skapas en modell som stämmer i dagens läge. Detta för att få det på ett överskådligt sätt som liknar det som finns från förut, men samtidigt räkna och tänka som dagens material säger i form av böcker och avhandlingar.

### **6.1 Beräkning av kortslutningsströmmar**

För att kunna beräkna strömmarna som uppstår vid en kortslutning behöver man känna till nätet där kortslutningen tar plats. Därför behöver man börja med att undersöka nätet. Det görs genom att gå igenom de utgående linjerna var och en med hjälp av ett kartprogram som företaget använder.

Vid beräkning av kortslutningsströmmar används formler och tabeller från flera olika källor, som alla presenterar liknande fakta. Källorna ger formler för beräkning av en trefasig kortslutning. Ingenjörorganisationernas Skolningscentral ry (IoSc) (1974, s. 6) säger att en trefasig kortslutning i ett mellanspänningsnät ska räknas enligt följande formel.

$$I_{k3} = \frac{U}{\sqrt{3} * \sqrt{(R_o + R_M + l * R_j)^2 + (X_o + X_M + l * X_j)^2}}$$

Där,

U = huvudspänningen i mellanspänningsnätet (20 kV)

R<sub>o</sub> = det matande nätets (110 kV) kortslutningsresistans

X<sub>o</sub> = det matande nätets (110 kV) kortslutningsreaktans

R<sub>M</sub> = den matande transformatorns (110/20 kV) resistans

X<sub>M</sub> = den matande transformatorns (110/20 kV) reaktans

l = mellanspänningsledningens längd från matningsstationen till kortslutningen

R<sub>j</sub> = mellanspänningsledningens resistans per längdenhet

X<sub>j</sub> = mellanspänningsledningens reaktans per längdenhet

Det matande nätets kortslutningsresistans och kortslutningsreaktans är från Herrfors 110 kV stationer år 2008, men det är troligen endast marginella ändringar från år till år (personlig kommunikation med Bjarne Sandstedt, 9.12.2009). Enligt Sandstedt så är kortslutningsresistansen och kortslutningsreaktansen för det matande nätet vid Kojola station 4,3 Ω respektive 15,2 Ω. Men detta är värden på 110 kV: s sidan. De behöver räknas om till 20 kV: s sidan, enligt formlerna.

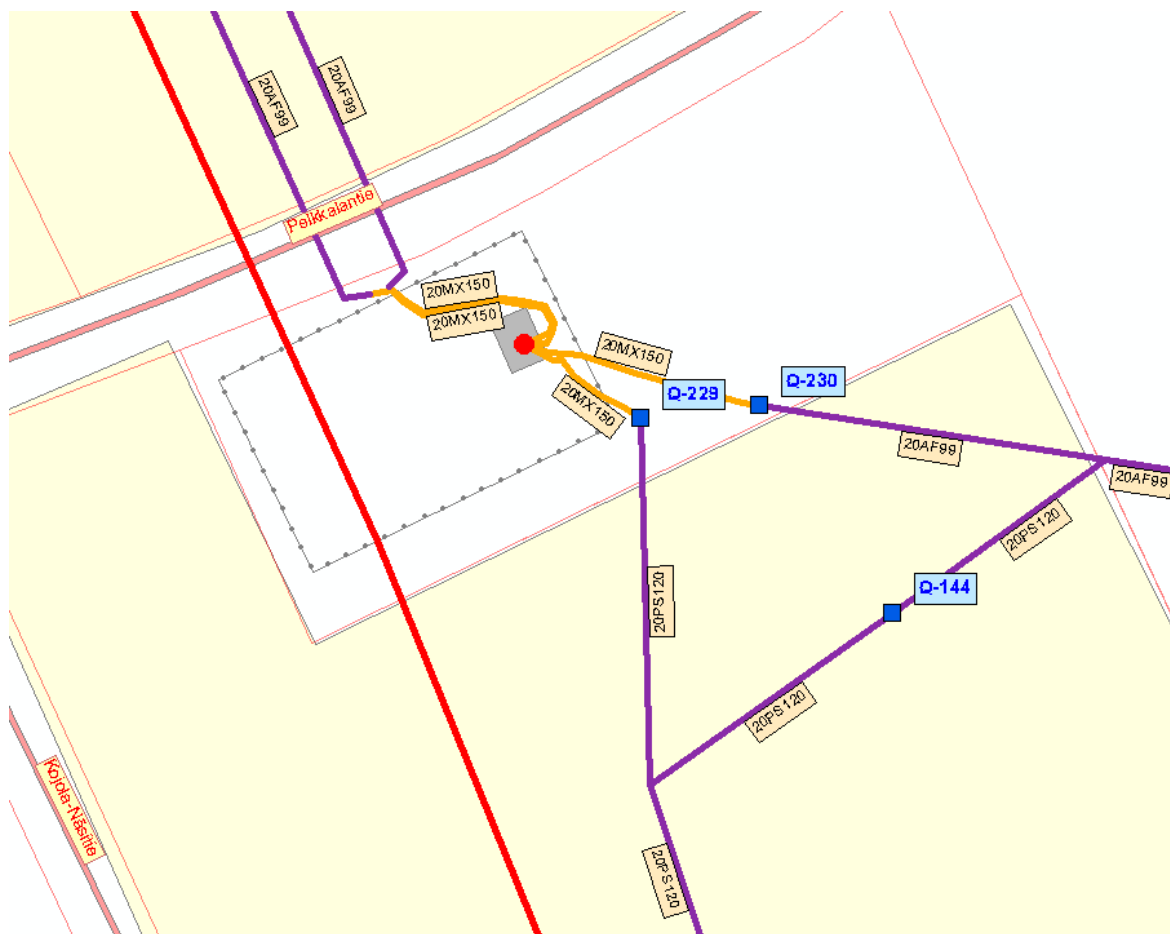
$$R_{o,20kV} = \left(\frac{U_{ned}}{U_{upp}}\right)^2 * R_{o,110kV}$$

$$X_{o,20kV} = \left(\frac{U_{ned}}{U_{upp}}\right)^2 * X_{o,110kV}$$

Den matande transformatorns resistans och reaktans hittas i tabeller. Där är det transformatorns effekt som är avgörande. Transformatorn vid Kojola station är 10 MVA och detta ger en kortslutningsresistans på 0,287 Ω och kortslutningsreaktans på 4,41 Ω. (IoSc, 1974, s. 8)

Ledningarnas längd tas från kartprogrammet, där finns också information om vilka typer av ledningar det är. I figur 8 ser man hur kartprogrammet ser ut. I de utgående linjerna finns både kabel och luftledning av olika typer. Därför delas en linje in i kortare stumpar

som var och en är av samma typ av ledning eller kabel. Ledningarnas resistans och reaktans per längdenhet erhålls från tabeller över olika typ av luftledningar och kablar.



Figur 8. Kojola station med dess utgående linjer i kartprogrammet.

I en Excel- tabell matas längden på de olika luftledningarna och kablarna in, och därifrån kan ledningens totala resistans och reaktans räknas ut till en valfri punkt på den utgående linjen. Eftersom resistansvärdena för ledningarna vid en kortslutningsberäkning bör vara vid 40 °C och de flesta tabeller med luftledningar och kablars resistans ger värdena vid 20 °C, så behöver de räknas om (Lakervi, 1996, s. 45). Det görs genom att multiplicera de ur tabellen erhållna värdena med 1,08 (Lakervi & Partanen, 2009, s. 30). Sedan är det bara att sätta in allting i formeln ovan för att få den trefasiga kortslutningsströmmen.

Enligt Lakervi (1996, s.44) så bör ett reläskydd vara inställt så att strömmen som överströmsskyddet reagerar på är ungefär två gånger den nominella belastningsströmmen, men det behöver också reagera på en tvåfasig kortslutning som sker i linjens mest avlägsna punkt. Den strömmen får man genom att ta den uträknade kortslutningsströmmen i den mest avlägsna punkten på den utgående linjen som ifrågavarande relä skyddar, alltså den



lägsta trefasiga kortslutningsströmmen i Excel-tabellen, och räkna om den till en tvåfasig kortslutning. Det kan göras enligt följande formel:

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3}}{2} * I_{k3}$$

Det nedersta överströmssteget,  $I_{>}$  ställs enligt följande villkor,  $2 * I_{bel} < I_{>} < 0,7 * I_{k2min}$ . Där  $I_{bel}$  är den utgående linjens största belastningsström och  $I_{k2min}$  är linjens minsta tvåfasiga kortslutningsström. Linjens största belastningsström bestämmer man genom att använda formeln nedan. Där  $S_{topp}$  är den utgående linjens toppeffekt som fås genom att summera ihop alla transformatorers effekt på den linjen.

$$I_{bel} = \frac{S_{topp}}{\sqrt{3} * U_n}$$

(ABB kursmaterial, 1996, s. 5)

För de högre överströmsstegen finns inget givet värde eller villkor hur högt det ska vara ställt. Men det är förstås givet att ifall strömmen är större så ska tiden vara kortare. Enligt Tero Virtala (personlig kommunikation, 11.6.2010) ska det andra överströmssteget,  $I_{>>}$  vara strax under den minsta tvåfasiga kortslutningsströmmen. Medan det tredje,  $I_{>>>}$ , ifall man vill ha ett sådant, kan sättas för att ta bort de största kortslutningarna närmare den matande stationen.

## 6.2 Beräkning av jordfelsströmmar och beröringsspänningen, $U_{tp}$

Eftersom elnätet som Kojola station matar kan vara både ett isolerat nät och ett spoljordat, så kallat släckt nät, så behöver man göra beräkningar med jordfelsströmmarna i båda kopplingssituationerna. Man börjar med att beräkna jordfelsströmmarna för ett isolerat nät, eftersom det spoljordade nätets jordfelskompenseringsutrustning har dimensionerats utgående från det isolerade nätet.

Vid uträkningar av jordfelsskyddet behöver man först räkna ut de kapacitiva strömmar som alla galvaniskt sammankopplade ledningar ger upphov till. En viss längd luftledning ger upphov till mycket mindre kapacitiva strömmar än motsvarande längd kabel. Allmänt kan

följande formler användas när man räknar ut de kapacitiva strömmarna för respektive luftledning och kabel.

$$I_{C,luftledn.} = \frac{U * l_{luftledn.}}{300}, [A]$$

$$I_{C,kabel} = \frac{U * l_{kabel}}{a}, [A]$$

Där  $a = 10$  ifall kabelns isolationsmaterial är papper och  $a = 5$  ifall kablarna är PEX-isolerade. I detta examensarbete är de flesta jordkablar PEX-isolerade, vilket betyder att en kabel ger upphov till 60 gånger mer kapacitiv ström än en lika lång luftledning. Men för att få ett mer exakt värde så bör man ta i beaktande en kabels ledningsarea, form, isolationsmaterial och antal ledare. (Persson, J. 2005, s. 7). Med hjälp av tabeller i TTT, (2000, s. 3) över olika kablars jordslutningsströmmar kan man beräkna de kapacitiva strömmarna mer exakt.

De kapacitiva strömmarna,  $I_C$  beräknas skilt för varje utgående linje och den kapacitiva ström som varje utgående linje ger upphov till benämns  $I_{e,feeder}$ . Summerar man ihop de utgående linjernas kapacitiva ström för samtliga utgående fack i stationen, får man den totala kapacitiva strömmen som kan uppstå vid ett jordfel, den benämns  $I_e$ . När man räknat ut den totala kapacitiva strömmen bör man räkna vad själva jordfelsströmmen är. För att kunna göra det behöver man veta jordfelsresistansen,  $R_f$ . Enligt följande formel räknar man sedan ut jordfelsströmmen,  $I_{ef}$ .

$$I_{ef} = \frac{I_C}{\sqrt{1 + \left(\frac{I_e}{U_f} * R_f\right)^2}}$$

Jordfelsresistansen varierar från fall till fall beroende på vilket typ av jordfel det är. Ifall det är ett direkt jordfel där den strömförande ledningen kommer i direkt kontakt med jord är jordfelsresistansen lika med noll. Om det är frågan om ett träd som ligger på linjen och strömmen måste gå igenom trädet för att ta sig till jord, så är jordfelsresistansen rätt stor. Med andra ord kan man säga att med vilken jordfelsresistans man räknar med avgör hur känsligt jordfelsskyddet ska vara. Enligt uppdragsgivaren för detta arbete och VD för Esse Elektro-Kraft, Ingvar Kulla, så antas ett typiskt resistansvärde för ett träd vara ca 2000  $\Omega$ . Persson (2005, s. 36) hänvisar till den svenska standarden ELSÄK-FS 2004:1 där 5 kap 5§ säger att en högspänningsanläggning där det ingår en friledning bör kunna detektera och

bryta jordfel med jordfelsresistanser upp till 5000  $\Omega$  och eftersom de tidigare reläskydden har varit inställda på en 5500  $\Omega$ : s känslighet så har jordfelsresistansen antagits till 5500  $\Omega$ .

Eftersom jordfelsskyddet också ska mäta och övervaka nollpunktsspänningen, behöver man också beräkna vad den är vid ett jordfel. Nollpunktsspänningen anges oftast i procent av fasspänningen, som i detta fall är ca 12 kV. Följande formel används för att beräkna nollpunktsspänningen i procent av fasspänningen:

$$\frac{U_0}{U_f} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{I_e}{U_f} * R_f\right)^2}} * 100$$

När man vet jordfelsströmmen och nollpunktsspänningen vid en viss känslighet (5500  $\Omega$ ), så bör man också beakta vad de respektive utgående fackens reläskydd mäter för strömmar. Eftersom det är de strömmar som reläskyddet mäter som är grunden till ifall reläskyddet bryter strömmen eller inte. Strömmarna som de enskilda facken mäter går att beräkna enligt följande formel:

$$\sum I_{ef} = \frac{I_e - I_{e,feeder}}{I_e} * I_{ef}$$

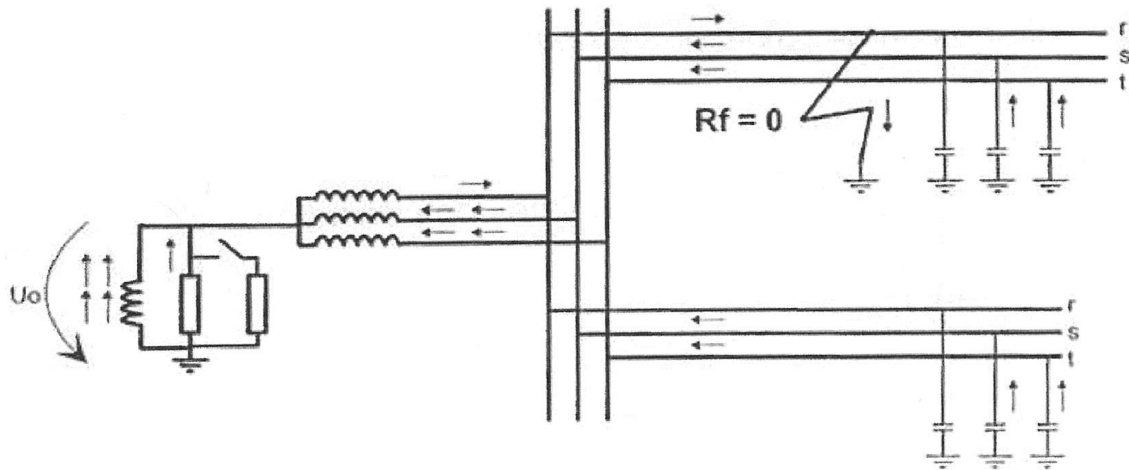
När man sedan har beräknat dessa strömmar för de enskilda facken och nollpunktsspänningen har man fått jordfelsskyddets inställningsvärden.

Ifall det är ett spoljordat nät så finns det en spole mellan nätets nollpunkt och jord. Dessutom finns det tilläggsresistanser parallellkopplade med släckspolen som kopplas in ifall inte jordfelet försvinner av sig självt. Tilläggsresistansen kopplas då in en liten stund för att under den stunden höja jordfelsströmmen, så att jordfelsskyddet klarar av att detektera strömmen och kan lösa ut den utgående linjen (ABB testprotokoll, 2007, s. 7). Enligt Juha Lummi (personlig kommunikation 4.6.2010) strävar man inte till att ”släcka” nätet helt när man planerar jordfelskompenseringsutrustningen. Eftersom det då skulle kunna uppstå resonans i nätet. Samtidigt vill man också att det ska gå att mäta strömmarna vid ett jordfel, annars kan felet ligga på utan att man vet om det.

Kojola stations jordfelskompenseringsutrustning är planerad för att kompensera nätet till -5 %. Eftersom nätets totala kapacitiva ström,  $I_e$  är lika med 12 A betyder en -5 %: ig kompensering att den induktiva strömmen,  $I_L$  som spolen gör upphov till är lika med 11,4 A. För att nu kunna beräkna jordfelsströmmen,  $I_{ef}$  vid ett jordfel med felresistansen,  $R_f = 5500 \Omega$ , använder man följande formel:

$$I_{ef} = \frac{U_f * \sqrt{1 + R_0^2 * (\frac{I_e}{U_f} - \frac{I_L}{U_f})^2}}{\sqrt{(R_f + R_0)^2 + R_f^2 * R_0^2 * (\frac{I_e}{U_f} - \frac{I_L}{U_f})^2}}$$

Där  $R_0$  är tilläggsresistansen parallellkopplad med nätets och reaktorns förlustresistanser.  $R_0$  blir alltså mindre när tilläggsresistansen kopplas in, vilket betyder att strömmen blir större. (ABB kursmaterial, 2005) Det spoljordade nätet kan man se i figur 9.



Figur 9. Spoljordat nät. Källa: ABB kursmaterial, 2005.

Även här är man intresserad av vad nollpunktsspänningen,  $U_0$  är i procent, och den beräknas enligt formeln nedan:

$$\frac{U_0}{U_f} = \frac{I_{ef}}{U_f * \sqrt{(\frac{1}{R_0})^2 + (\frac{I_e}{U_f} - \frac{I_L}{U_f})^2}} * 100$$

Sedan får man på motsvarande vis, som vid det isolerade nätet, reda på vilken ström som reläskydden mäter. Enligt Virtala (personlig kommunikation, 11.6.2010) så ska man ställa in reläskyddet på 90 % av de uträknade värden, eftersom reläskydden inte mäter så exakt och då är man på den säkra sidan.

Vid jordfel uppstår en jordfelsström som går igenom jorden. När den här strömmen går genom nätets system- och skyddsjordningar uppstår en spänning över motståndet i jordningarna. Denna spänning kallas jordningsspänning och beräknas med följande formel:

$$U_e = R_e * I_{ef}$$

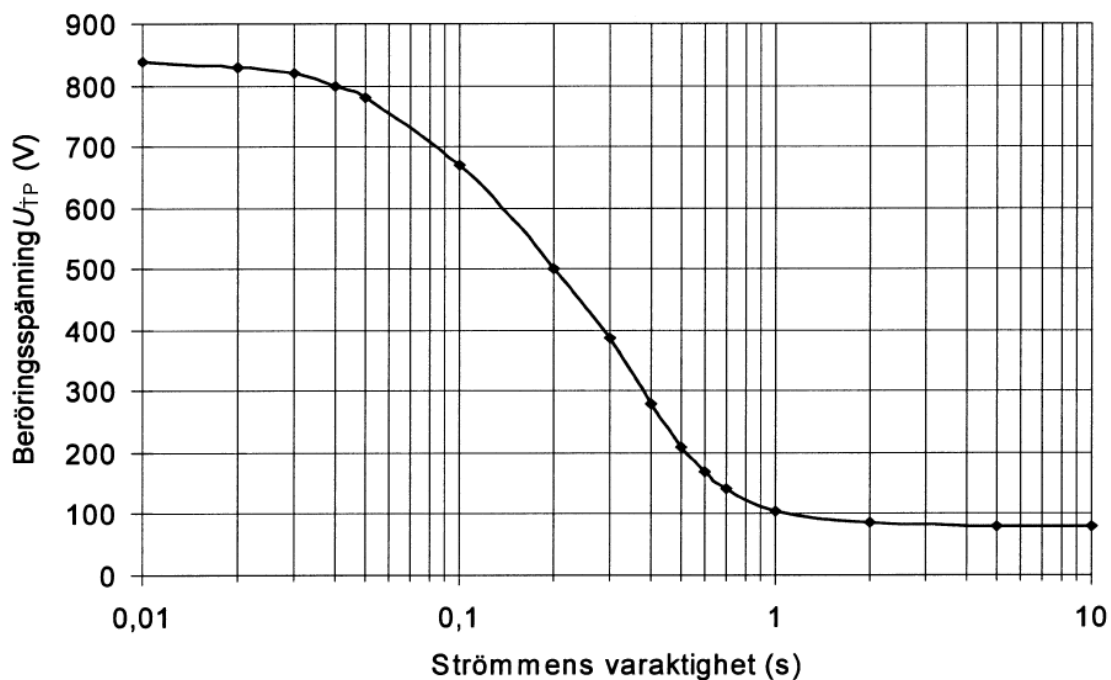
Där  $R_e$  är jordningsmotståndet och  $I_{ef}$  är jordfelsströmmen. Jordningsmotståndet är beroende av markens resistivitet och jordelektrodens dimensioner, mått och utförande (SFS, 2005, s. 99). I Kojola stations nät borde jordningsmotståndet vara högst  $100 \Omega$  vid systemjordningar och högst  $27 \Omega$  vid skyddsjordningar, t.ex. vid en transformator. För att vara på den säkra sidan behöver man räkna med den största möjliga jordningsspänningen. Den uppstår då jordfelsströmmen,  $I_{ef}$  är som störst, vilket sker när jordfelsresistansen är väldigt låg eller ingen alls, dvs. vid direkt jordslutning.

I lag har det angivits hur stor beröringsspänningen,  $U_{tp}$  får vara och därför räknar man om jordningsspänningen till beröringsspänning. Enligt SFS (2005, s. 74) är beröringsspänningen större eller lika med en fjärdedel av jordningsspänningen ifall vissa villkor är uppfyllda. Dessa villkor är uppfyllda i Kojola elnät.

### 6.3 Bestämning av utlösningstider

Bestämningen av utlösningstider sker genom att de enligt lag gällande tiderna eftersträvas. Ifall det inte finns lagstadgade tider så kan det som är bäst för nätet användas. När man beräknar utlösningstider, alltså tiden det tar från att det blir ett fel på nätet tills den felande delen av nätet skils från resten av nätet, bör man ta i beaktande reläets funktionstid, den inställda tidsfördröjningen och brytarens funktionstid. I Vamp reläskydd är reläets funktionstid inräknad i tidsfördröjningen, vilket gör att endast bryttiden behöver beaktas utöver den inställda utlösningstiden. I Kojola elstation är bryttiderna ungefär 60 ms.

Enlig lag så får ett jordfel fortgå upptill två timmar, om inte jordfelet orsakar direkt fara för människor eller egendom, inte heller får det orsaka orimlig störning på apparaturer eller anläggningar (SFS, 2005, s. 70). Enligt ovan nämnda begränsning av beröringsspänningar, så bestämmer nivån på beröringsspänningarna hur snabbt ett jordfel ska få brytaren att lösa ut. Den beräknade beröringsspänningen  $U_{tp} = U_e/4$  jämför man sedan i tabellen i kapitel 4.3 eller från följande graf, hur snabbt jordfelet ska brytas.



Figur 10. Beröringsspänningen som funktion av strömmens varaktighet. Källa: SFS, 2005, s. 76.

Enfasiga jordslutningar orsakas oftast av fenomen som lätt försvinner av sig själva, t.ex. en gren som fallit på elledningen. Så därför är en så lång utlösningstid som möjligt att föredra, för att inte få onödiga störningar i nätet.

Utlösningstiderna för en kortslutning bestäms genom att ta i beaktande ledarnas strömtålighet. Ledningstillverkarna anger oftast hur stor ström som kabeln eller luftledningen tål genom att ge ett tal för största tillåtna belastningsström och största kortslutningsströmmen under en sekund (Lassila, 2000, s. 23). Transformatorernas överströmstålighet behöver man inte ta i beaktande när man planerar en utgående linjes skydd, eftersom huvudtransformatorn skyddas av det inkommande skyddet både på primär och på sekundär sidan. Distributionstransformatorena 20/0,4 kV skyddas av säkringarna på sin nedspänningssida.

Genom att jämföra den största kortslutningsström som räknas ut enligt kapitel 6.1 med den av tillverkarna erhållna största tillåtna kortslutningsström under en sekund, får man reda på hur länge den största beräknade kortslutningsströmmen får fortgå. Detta gör man med följande formel: (ABB kursmaterial, 2005)

$$I_{k1s}^2 * 1s = I_{kmax}^2 * t_{max}$$

Ifall nätet man skyddar kan återinkopplas automatiskt behöver man ta i beaktande ledningarnas uppvärmning under hela återkopplingssekvensen. Man behöver räkna med hela återkopplingssekvensen eftersom det representerar det värsta scenariot med ett fel som inte försvinner (Lassila, 2000, s. 24). Eftersom den första spänningslösa tiden, PJK oftast är så kort, under en sekund, så hinner ledningen inte kylas nämnvärt mellan kortslutningarna före och efter PJK. Enligt IoSc (1974, s. 11) kan man därför räkna ihop dessa tider till en. Den totala uppvärmningstiden under en kortslutning med en snabbåterkoppling och en tidsåterkoppling kan man räkna med denna formel:

$$t = (t_1 + t_2) * e^{-t_0/\tau} + t_3$$

Där  $t_1$  är tiden kortslutningen ligger på före PJK,  $t_2$  är tiden kortslutningen ligger på efter PJK och  $t_3$  är tiden kortslutningen ligger på efter den andra spänningslösa tiden, AJK. Vidare är  $e$  den matematiska konstanten Eulers tal och är ungefär lika med 2,718 och  $t_0$  är den andra spänningslösa tiden, AJK som normalt brukar vara längre, angiven i minuter. Den grekiska bokstaven tau,  $\tau$  står för ledningarnas specifika kylningskonstant också angiven i minuter. (ABB kursmaterial, 2005)

Den totala uppvärmningstiden,  $t$  behöver vara mindre än ovan uträknade  $t_{\max}$  för hela nätet. Men eftersom klena ledningsareor har den minsta tillåtna en sekunders kortslutningsström och nätets maximala kortslutningsström är störst närmast den matande elstationen, kan man kontrollera ifall  $t$  är mindre än  $t_{\max}$  endast där, med den ledning som har minst tillåtna en sekunders kortslutningsström.

Enligt ABB kursmaterial (1996) bör man vid planering av reläskyddens funktionstid försöka minimera de faror och skador som kortslutningsströmmarna ger upphov till. Det gör man genom att ta i beaktande följande tumregel:

- Vid 35 ms uppstår ingen nämnvärd skada på varken människor eller apparater.
- Vid 100 ms uppstår små skador och före idrifttagning krävs små reparationer.
- Vid 500 ms uppstår stora skador både på människor och på apparater.

#### 6.4 Inställning av Vamp reläskydd

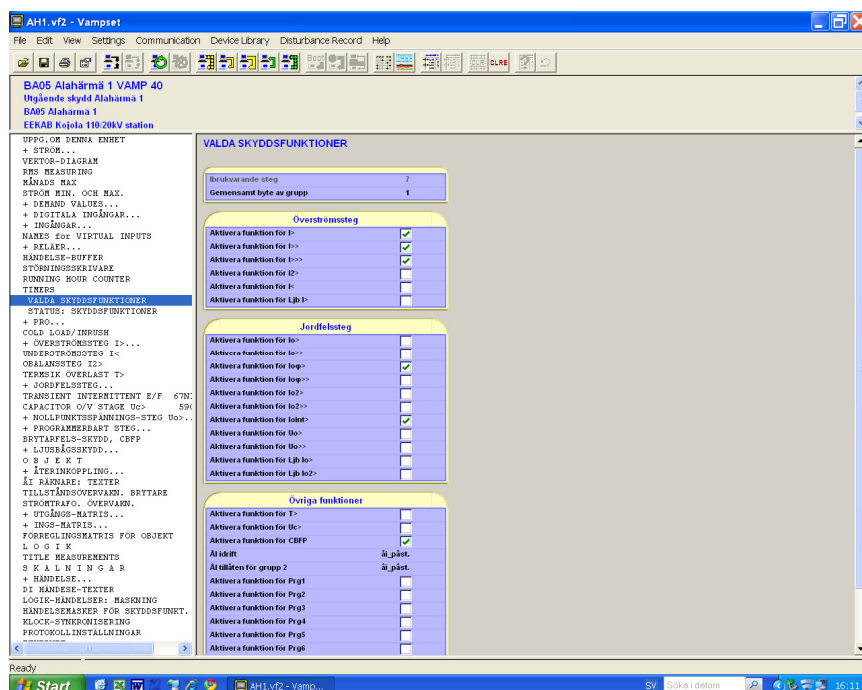
Inställning av Vamp 40 reläskydden kan ske genom att mata in alla parametrar via reläets lokala panel eller genom att använda programvaran Vampset. När man använder den

lokala panelen på reläet behöver man först ge ett lösenord för att kunna ändra parametrar. Det finns tre olika användarnivåer där användaren har åtkomst till olika mycket. Den första nivån är alltid öppen och i den kan man läsa parametrar och mätvärden. I den andra nivån kan man styra objekt och ändra parametrarna i de olika skyddsinställningarna, medan man behöver använda den sista nivån för att kunna ställa in sådant som behövs vid ibruktagnig av reläet. (Vaasa Electronics Group VAMP, v.VM40.EN004.a, s. 15)

Genom att använda lokalpanelen kommer man inte åt att ändra alla parametrar. För att komma åt dessa måste man använda sig av Vampset (Vaasa Electronics Group VAMP, v.VM40.EN004.a, s. 10). Vampset kan man använda genom att koppla in en dator med Vampset installerad på till reläets serieport på framsidan eller genom att reläets fjärrport är kopplad till fjärrstyrning där man har en dator med Vampset.

#### 6.4.1 Vampset

För att ansluta till reläet genom Vampset behöver man endera ange vilken serieport som ska användas eller en nätverksadress som man tilldelat reläet. Även i Vampset behöver man ange samma lösenord som ovan för att få fullständiga ändringsrättigheter. Därefter läser programmet ur reläskyddet alla menyer och parametrar. I figur 11 syns ett exempel på hur det kan se ut. Menyerna och dess innehåll varierar beroende på vilken typ av relä man har.



Figur 11. Vamps inställningsprogram Vampset.



Efter att reläskyddet lästs ur kan man koppla ifrån reläet. All data som fanns i reläskyddet, förutom störningsskrivarfiler, är kvar i Vampset fast man inte längre har kontakt med reläet. Man kan spara alla inställningar till en fil och ändra dem när man vill. Efteråt är det bara att ansluta till reläskyddet igen och ladda upp all data på nytt. Det går också att endast ladda upp det som blivit ändrat eller en aktuell sida. Med Vampset är det också möjligt att jämföra filen med inställningar med inställningarna som finns på reläskyddet. Störningsskrivarfilerna kommer man åt endast genom att skilt läsa ur dessa när man är ansluten till reläskyddet. De kan också sparas som separata filer för att kunna analyseras noggrannare.

Med hjälp av Vampset kan programvaran i reläskydden uppdateras och i vissa fall är ett språkbyte också möjligt. I Vampset kan man organisera flera reläskydd till ett och samma projekt, för att lättare komma åt alla reläskyddsinställningar och samtidigt få en bra överblick. Det går också lätt att ändra om i menyn så att endast det man är intresserad av syns.

## **7 Resultat och tolkning**

De beräknade inställningsvärdena justeras för att passa ihop med det inkommande reläskyddets inställningar, så att tidsselektivitet i hela elnätet uppkommer. Samtidigt önskar uppdragsgivaren att inställningarna är rätt så lik de som varit på de gamla reläskydden, ifall inte några stora skillnader upptäckts i beräkningarna. Eftersom dessa inställningar har använts länge och konstaterats fungera tillfredsställande.

Resultatet av lärdomsprovet är uppdaterade reläinställningar för överströmskydd, kortslutningsskydd och riktat jordfelsskydd. Dessutom har utlösningstider och ledarnas uppvärmning samt nedkylning vid återinkoppling blivit beräknade och kontrollerade. Programvaran i de nya reläskydden är uppgraderad och språket utbytt. Reläskydden är färdigt inställda i enlighet med de uppdaterade inställningarna. Reläskyddens funktion är också till viss mån testad före installation i Kojola elstation.

Resultatet av detta arbete är också en bra grund i hur man beräknar skydd i elnätet. Arbetet har varit lärorikt i alla skeden och har gett en ypperlig insikt i Esse Elektro-Krafts elnät. Många saker i arbetet har också varit svåra att förstå till först, men efter en tids forskning har en förklaring på problemet hittats. Till exempel jordfelsskompenseringsutrustningen var

till en början svårbegriplig, men efter att dess planerare, Juha Lummi, förklarat funktionen och ritningarna blev det begripligare (personlig kommunikation med Juha Lummi, 4.6.2010)

Planeringen av bytet av skyddsrelän pågick fram till sommaren 2010. Sommararbetet 2010 gick ut på att utföra bytet av reläskydden, genom att rita ändringarna i de gamla ritningarna och beställa nya plåtar till stationsfacken. Ett arbetsschema skulle också göras och så klart själva bytet av skyddsrelän. Det här var egentligen en del av examensarbetets innehåll, men det konstaterades redan i ett tidigt skede att det inte skulle rymmas med i lärdomsprovet. Att lämna bort detta från uppdragslistan var ett bra drag, eftersom vissa delar i arbetet annars hade kunnat bli lidande.

## **8 Kritisk granskning och diskussion**

De nya reläskydden är kanske säkrare än de gamla med tanke på funktionalitet, men de gamla reläskydden har fler in- och utgångsrelä för att förmedla viss information mellan reläskydden och fjärrkontrollen. Deras övervakning av brytaren är också bättre än de nya reläskydden.

I början av lärdomsprovet konstaterades att larmhanteringen blir bättre med de nya reläskydden, men det har ännu inte förverkligats. Eftersom Vamp 40 reläskydden inte har tillräckligt många in- och utgående portar för att få signaler om händelser till övervakningssystemet, har larmen från Kojola elstation inte förbättrats.

Händelselistan och störningskrivarfiler kan visserligen hämtas manuellt genom att koppla in en dator med Vampset till reläskyddens serieport. På så vis blir det lättare att undersöka vad som hänt efter ett fel i nätet, men när ett fel uppstår är det lika dåligt med larmen som tidigare.

Larmhanteringen kommer nog att bli bättre. Just nu planeras nya reläskydd till de andra facken i stationen och utrustning som samlar in data från alla nya reläskydd och sänder det till övervakningssystemet. Tack vare examensarbetet har kunskapen om Vamps reläskydd ökat och de nya bytena av skyddsrelän blir lättare att genomföra.

## Källförteckning

ABB kursmaterial. (1996). *Reläinställningskurs för linjeskydd*.

ABB kursmaterial. (2005). *Reläskydd*.

ABB testprotokoll. (2007). *Kompensoinnin käyttöönotto*.

Blomqvist, H. (red.). (1997). *Elkraftshandboken. Elkraftsystem 1*. Stockholm: Liber

EEKAB Företagspresentation. (u.å.).

<http://www.eekab.fi/web/index.php?F%F6retagspresentation> (hämtat: 20.5.2010)

Ingenjörorganisationernas Skolningscentral ry. (1974). *Sähkölaitosten Sähköverkkojen Suunnittelu. Oikosulkuvirtojen vaikutukset johtojen mitoituseseen*. Helsingfors

Kenjar, I. & Olsson, M. (2003). *Spänningsdippar – Spänningsdippskaraktäristik i en knutpunkt till följd av omgivande nät*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för elteknik

Lakervi, E. (1982). *Sähkölaitosten sähköjakeluverkkojen suunnittelu*. (u.o.). Insinööritieto

Lakervi, E. (1996). *Sähköjakeluverkkojen Suunnittelu*. Helsingfors: Otatiето

Lakervi, E. & Partanen, J. (2009). *Sähköjakeluteknikka*. Helsingfors: Otatiето

Lassila, J. (2000). *Keravan Energia Oy:n ja Etelä-Suomen Energia Oy:n sähköverkkojen yleissuunnitelma*. Opublicerad avhandling för diplomingenjörsexamen. Lappeenranta University of Technology. Institutionen för Energiteknik. Villmanstrand

Lehtonen, M. & Hakola, T. (1996). *Neutral Earthing and Power System Protection. Earthing Solutions and Protective Relaying in Medium Voltage Distribution Networks*. Vasa: ABB Transmit Oy

Manual SPAJ 3C5 J3

Manual SPAS 1B1 J3

Manual SPAT 2D200 J3

Manual SPAU 1K100 J3

Monni, M. (1989). *Elverksteknik del 1. Elstationsarbeten. Driftarbeten i eldistributionsnät*. Helsingfors: Statens tryckericentral

Persson, J. (2005). *Jordfelsproblematik i icke direktjordade system*. Lund: Lund University

SFS, Suomen Standardisoimisliitto. (2005). *SFS 6001 + A1:sv*.

Tella, M. (2007). *Sähköverkkoyhtiön keskijänniteverkon kehittämissuunnitelma*. Opublicerad avhandling för diplomingenjörsexamen. Lappeenranta University of Technology. Institutionen för elektroteknik. Villmanstrand

TTT. (2000). *Maasulkusuojaus kapitel 8*.

[http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/bf177942f19f4a98c1257148003b7a0a/c46d5509d325d21ac225695b002fb07b/\\$FILE/080\\_0007.pdf](http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/bf177942f19f4a98c1257148003b7a0a/c46d5509d325d21ac225695b002fb07b/$FILE/080_0007.pdf) (hämtat: 5.5.2010)

Undervisningsmaterial. (u.å.). *Elanläggningar 2: Elstationernas uppbyggnad*.

Vaasa Electronics Group VAMP. (v.VM40.EN004a). *VAMP 40 Feeder and motor protection relay. Operation and configuration instructions*. Vasa: VAMP Ltd.

Vaasa Electronics Group VAMP. (v.VM40.EN004b). *VAMP 40 Feeder and motor protection relay. Technical description*. Vasa: VAMP Ltd.

Vaasa Electronics Group VAMP. (v.VM40.EN006b). *VAMP 40 Feeder and motor protection relay. Technical description*. Vasa: VAMP Ltd.

Vamp. (u.å.).

<http://www.vamp.fi/Product%20Images/Relays/VAMP%2040.jpg> (hämtat: 21.3.2011)

Väistö, A. (2009). *Nikkilän ja Savion sähkönjakeluverkkojen kunnossapito- ja saneeraussuunnitelma*. Opublicerad avhandling för diplomingenjörsexamen. Lappeenranta University of Technology. Tekniska fakulteten. Villmanstrand