

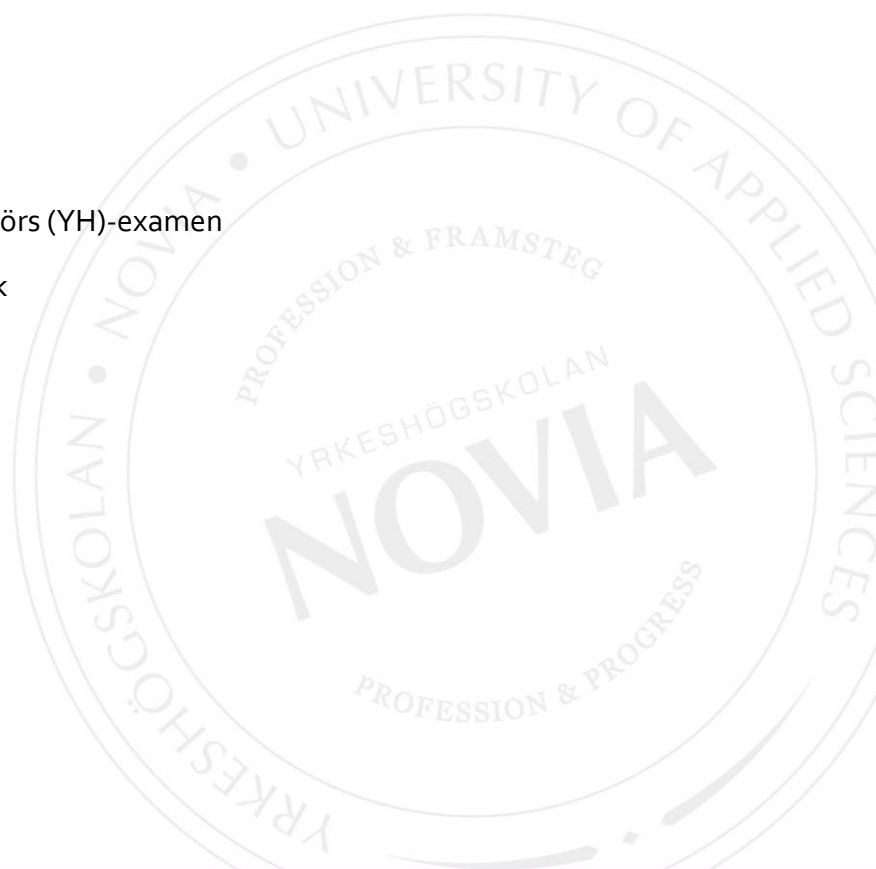
# Utredning av jordslutning i ett industriellt lågspänningsnät

Ville Korkea-aho

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

El- och automationsteknik

Vasa 2021



## EXAMENSARBETE

Författare: Ville Korkea-aho  
Utbildning och ort: El- och automationsteknik, Vasa  
Inriktningsalternativ: Elkraftteknik  
Handledare: Ronnie Sundsten  
Johannes Östman (Oy Alholmens Kraft Ab)

Titel: Utredning av jordslutning i ett industriellt lågspänningsnät

---

Datum 8.3.2021

Sidantal 27

Bilagor 1

---

### Abstrakt

Examensarbetet berör problem med jordslutning i ett lågspänningsnät vid ett biobränslekraftverk. Syftet med examensarbetet var att utreda varför det förekommit jordslutning i ett industriellt lågspänningsnät vid kraftverket AK2, samt att förnya det gamla övervakningsreläet för jordslutning i detta elnät. Examensarbetet genomfördes med hjälp av min examensarbetshandledare och andra personer med erfarenhet inom området samt litteraturstudier.

I industriella elnät kan det vara viktigt att elförsörjningen inte avbryts även om en matande fas kommer i kontakt med jord, eftersom ett relativt litet isolationsfel kan betyda stora stagnationskostnader. Vid Alholmens Kraft Ab:s kraftverk AK2 används ojordade distributionsnät, vilket betyder att det saknas förbindelse mellan nätens matande transformatorers nollpunkt och jord. Detta innebär att en enfas jordslutning inte orsakar stora jordslutningsströmmar i nätet och att matning till nätet inte bortkopplas i första hand.

Det tidigare i bruk varande övervakningsreläet för jordslutning var föråldrat och dess funktion var inte fullständigt pålitlig. På grund av detta sågs det vara aktuellt att förnya övervakningsreläet till en nyare modell i samband med utredning av jordslutning i lågspänningsnätet. Genom att undersöka lågspänningsnätets elritningar och litteraturstudier inom elkraft, erhöles en uppfattning om vad som kunnat orsaka jordslutning i nätet.

Resultatet blev en utredning samt åtgärd av problem med jordslutning som förekommit i ett av kraftverkets lågspänningsnät. Även ett förnyat övervakningsrelä för jordslutning som innehåller fler funktioner än det tidigare i bruk varande reläet har monterats till elnätet.

---

Språk: svenska

Nyckelord: jordslutning, övervakningsrelä, IT-nät

---

## OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Ville Korkea-aho  
Koulutus ja paikkakunta: Sähkö- ja automaatiotekniikka, Vaasa  
Suuntautumisvaihtoehto: Sähkövoimatekniikka  
Ohjaajat: Ronnie Sundsten  
Johannes Östman (Oy Alholmens Kraft Ab)

Nimike: Teollisuuden pienjänniteverkon maasulkuselvitys

---

Päivämäärä 8.3.2021

Sivumäärä 27

Liitteet 1

---

### Tiivistelmä

Opinnäytetyö käsittelee biovoimalaitoksen pienjänniteverkossa esiintyviä maasulkuongelmia. Työn tarkoituksena oli selvittää ilmestyneitä maasulkuhälytyksiä teollisuuden pienjänniteverkossa, sekä uudistaa verkon maasulkuvalvontaa. Opinnäytetyö suoritettiin kirjallisuustutkimusten avulla sekä opinnäytetyövalvojan ja alan ammattilaisten avustuksella.

Teollisuuden pienjänniteverkoissa saattaa olla tärkeää, ettei sähkökatkoksia synny, vaikka yksi verkon syöttävistä vaiheista olisi yhteydessä maahan, sillä suhteellisen pienet eristysviat voisivat aiheuttaa isojakin seisokkikuluja. Alholmens Kraft Oy:llä on käytössä eristettyjä sähköverkkoja (IT-järjestelmiä), mikä tarkoittaa, että järjestelmien tähtipiste on eristetty maasta. Tämän maadoitustavan hyötynä on, ettei järjestelmien tehonsyöttöä tarvitse katkaista yhden vaiheen maasulun takia.

Aiemmin käytössä ollut maasulun valvontarele oli vanhentunut, eikä sen toimintaan voitu täysin luottaa. Tämän takia nähtiin ajankohtaisena vaihtaa rele uudempaan malliin maasulkuselvityksen yhteydessä. Tutkimalla pienjänniteverkon sähköpiirustuksia sekä tekemällä kirjallisuustutkimuksia, saatiin käsitys vikahälytyksien syistä.

Työn lopputuloksena ovat maasulkuongelmien selvitys sekä korjaustoimenpiteet voimalaitoksen pienjänniteverkossa. Myös uusi maasulun valvontarele, joka sisältää enemmän toimintoja kuin aiemmin käytössä oleva valvontarele, on asennettu sähköverkkoon.

---

Kieli: ruotsi

Avainsanat: maasulku, valvontarele, IT-järjestelmä

---

## BACHELOR'S THESIS

Author: Ville Korkea-aho  
Degree Programme: Electrical Engineering, Vasa  
Specialization: Electrical power engineering  
Supervisors: Ronnie Sundsten  
Johannes Östman (Oy Alholmens Kraft Ab)

Title: Investigation of Earth Fault Issues in an Industrial Low-voltage Network

---

Date 8.3.2021

Number of pages 27

Appendices 1

---

### Abstract

This thesis deals with issues regarding earth faults in a low-voltage network at a biofuel power plant. The purpose with the thesis was to investigate the reasons behind occurring earth faults in an industrial low-voltage network, and to replace the old earth fault monitoring relay in this network. The work was carried out by means of literature reviews and through contact with my supervisor and other persons with experience in the field.

It is often important that the power supply in industrial low voltage systems are not interrupted, even in situations where single-phase earth faults occurs, since relatively small insulation failures can result in large stoppage costs. Alholmens Kraft Oy uses IT systems, which means that all active parts of the network are insulated from earth. This means, that in the event of a single-phase earth fault, the IT systems will not generate high current short circuits, and the power supply will not be disconnected as an automatic result.

The old earth fault monitoring device was outdated, and its reliability was questionable. Because of this, it seemed up to date to renew the earth fault monitoring device in connection with this investigation. By studying the low-voltage network schematic diagrams and electrical power literature, an understanding behind these occurring earth faults was gained.

The result of this work is an investigation and action for the occurred earth faults in a low-voltage network at the power plant. Also, a new earth fault monitoring relay which contains more functions than the earlier system, has been mounted to the network.

---

Language: Swedish

Key words: Earth fault, Monitoring system, IT-system

---

# Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Syfte .....	1
1.2	Oy Alholmens Kraft Ab .....	1
2	Teori .....	3
2.1	Jordningssystem .....	3
2.1.1	TN-S.....	4
2.1.2	TN-C .....	4
2.1.3	TN-C-S .....	5
2.1.4	TT .....	6
2.1.5	IT .....	6
2.2	Jordslutning.....	8
3	Bakgrund .....	10
3.1	Interna distributionsnätet .....	10
3.1.1	Turbinsalen.....	11
3.1.2	Östra bränslemottagnings- och hanteringsanläggningen.....	11
3.1.3	Västra bränslemottagnings- och hanteringsanläggningen.....	12
3.2	Övervakning av jordslutning .....	12
3.2.1	Bender IRDH365 Övervakningsrelä.....	12
4	Arbete och tillvägagångssätt.....	14
4.1	Val av nytt övervakningsrelä .....	14
4.2	Ersättande övervakningsrelä Bender ISO685-S.....	15
4.3	Utredning av alarm .....	18
5	Resultat .....	25
6	Diskussion .....	25
7	Källförteckning.....	27
	Bilagor	

## **Bilageförteckning**

Bilaga 1. Huvudschema över AK2:s interna distributionsnät.

## **Figurförteckning**

Figur 1. Bild av kraftverksanläggningen AK2. s. 2

Figur 2. TN-S jordningssystem. s. 4

Figur 3. TN-C jordningssystem. s. 5

Figur 4. TN-C-S jordningssystem. s. 5

Figur 5. TT jordningssystem. s. 6

Figur 6. IT jordningssystem. s. 7

Figur 7. Visardiagram över hur ett trefasnät påverkas av en enfas jordslutning. s. 9

Figur 8. Övervakningsreläet Bender IRDH365. s. 13

Figur 9. Aktivt alarm från övervakningsreläet IRDH365, vilket syns i programmet Valmet DNA. s. 13

Figur 10. Övervakningsreläet Bender ISO685-S samt HMI:n FP200. s. 16

Figur 11. Kopplingsschema för ISO685-S. s. 17

Figur 12. Reläet ISO685-S i huvudcentralen 2BFM. s. 18

Figur 13. Alarm av övervakningsreläet ISO685-S vid jordslutning. s. 19

Figur 14. Lågspänningsnätets fasspänningar vid jordslutning. s. 20

Figur 15. Skarven på kabeln till sållets drivmotor 2. s. 23

Figur 16. Fel stället på kabeln till sållets drivmotor 2. s. 24

# 1 Inledning

Detta examensarbete gjordes på uppdrag av Oy Alholmens Kraft Ab i Jakobstad. Uppgiften var att utreda orsaken till förekomna alarm av jordslutning i ett lågspänningsnät vid kraftverket AK2. I arbetet behandlas bland annat Alholmens Kraft Oy som företag, kraftverket AK2:s interna elnät, vilka problem som uppstått i samband med jordslutning och dess övervakning samt på vilket sätt man åtgärdat dessa problem.

## 1.1 Syfte

Syftet med arbetet var att utreda orsaken till förekomna alarm av jordslutning i ett lågspänningsnät vid en bränslemottagnings- och hanteringsanläggning vid kraftverket AK2. Till lågspänningsnätet finns kopplat ett övervakningsrelä för jordslutning, vars uppgift är att kontinuerligt mäta isolationsresistansen mellan nätets faser och jord. Detta relä har under en längre tid indikerat lågt värde på isolationsresistansen i nätets när bränslemottagnings- och hanteringsanläggningen varit i drift, men eftersom reläet inte ansågs vara helt pålitligt, var man tvungen att byta ut det mot en nyare modell samt att undersöka nätets för ytterligare orsaker till dessa alarm.

Det tidigare i bruk varande övervakningsreläet av märket och modellen Bender IRDH365, byts ut till den nyare modellen Bender ISO685-S. Båda relän har samma funktionsprincip men reläet ISO685-S har flera funktioner och ger en bättre översikt på nätets skick.

Ett syfte med examensarbetet är också att öka kunskaperna om isolerade nät (IT-nät), samt övervakningsrelän för jordslutning, dels för att i framtiden bättre förstå vilka säkerhetsaspekter en jordslutning påverkar och hur en jordslutning påverkar symmetrin i ett IT-nät.

## 1.2 Oy Alholmens Kraft Ab

Alholmens Kraft är beläget i Jakobstad, på UPM-Kymmene fabriksområde. Företaget producerar elektricitet, fjärrvärme och processånga åt aktieägare som bland annat Pohjolan Voima Oy, Skellefteå Kraft Ab, Perhunjoki Oy och Oulun Seudun Sähkö, vilka i sin tur

säljer detta åt slutkonsumenterna. Kraftverket producerar 260 MW eleffekt, och denna produktion säljs via den nordiska elmarknaden NordPool. Fjärrvärmens som produceras har en maxeffekt på 60 MW och går åt staden Jakobstads uppvärmning samt fabrikerna på fabriksområdet. Processångens maxeffekt är 100 MW och ångan distribueras åt UPM-Kymmene, som i sin tur använder ångan i deras produktion av cellulosa.

Alholmens Kraft värnar om en hållbar utveckling och strävar därför för att använda så stor andel bibränslen i relation till fossila bränslen som möjligt. Alholmens Kraft är efter 19 års drift ännu en förebild för nya kraftverksprojekt runtom i världen där målsättningen är att öka användningen av förnybar energi.

AK2:s CFB panna förbrukar 800 kubikmeter bränsle i timmen vid fulleffekt, och som bränsle används i huvudsak träbaserade bibränslen såsom bark, trä, returträ och kross, vilka utgör 40–60 % av den totala förbränningen. Torv utgör också en stor del av bränslet med en andel på 15–45 %. Sedan 2008 har AK2 också använt REF-avfall som bränsle, vilket är energiavfall från olika avfallsbolag och har en andel på 5–10 %. Stenkol används i huvudsak som stöd- och reservbränsle, och utgör 5–25 % av den hela förbränningen. Företaget äger dessutom kraftverket AK1, även kallad barkpannan, som tidigare ägts av UPM. Barkpannan används oftast under AK2:s stagnation, som toppkraftsanläggning eller när prognoserna för elpriserna är svaga. (Alholmens Kraft, u.d.)



**Figur 1. Kraftverket AK2 (Alholmens Kraft, u.d.)**



## 2 Teori

I detta kapitel behandlas fakta som är relevanta för examensarbetet. I kapitlet förklaras vad som menas med jordningssystem och jordslutning. Teori som behandlar jordslutning beskriver delvis allmänt om jordslutningar, men i kapitlet fokuseras på beteendet av jordslutningar i IT-system. Allt som kommer att behandlas behövs för att få en förståelse om vilka teoretiska utgångspunkter som hafts för examensarbetet.

### 2.1 Jordningssystem

Lågspänningsnät utformas på flera olika sätt. Jordningssystemet för växelspanningssystem tecknas med hjälp av en bokstavskombination av två bokstäver. Den första bokstaven i bokstavskombinationen antyder hur nollpunkten på den matande transformatorns sekundärsida är ansluten till jord, med andra ord, hur nätet är jordat. Den andra bokstaven antyder hur utsatta delar i nätet är anslutna till jordpotential. Möjliga övriga bokstäver bestämmer nolledarens- och skyddsledarens ömsesidiga arrangemang. (Jacobsson, 2016, ss. 12-14)

Första bokstaven:

**T** = direktjordad neutralpunkt (T från terra – jord).

**I** = isolerad eller delvist isolerad neutralpunkt.

Andra bokstaven:

**T** = direktjordade oberoende av nätets jordning.

**N** = jordade direkt till nätets jord.

Övriga bokstäver:

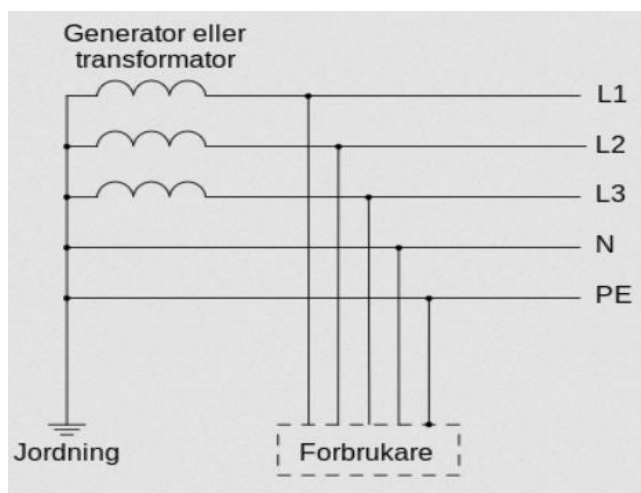
**S** = N-ledare och PE-ledare är separerade (S som i separate).

**C** = N-ledare och PE-ledare bildar en gemensam PEN-ledare (C som i common). (Jacobsson, 2016, ss. 12-14)

TN-system används i allmänhet för distributionsnät och byggnads installationer medan IT-system används i bland annat processindustrier och sjukhus. Mest uppmärksamhet kommer att fästas vid IT-system eftersom arbetet berör denna typ av jordningssystem.

### 2.1.1 TN-S

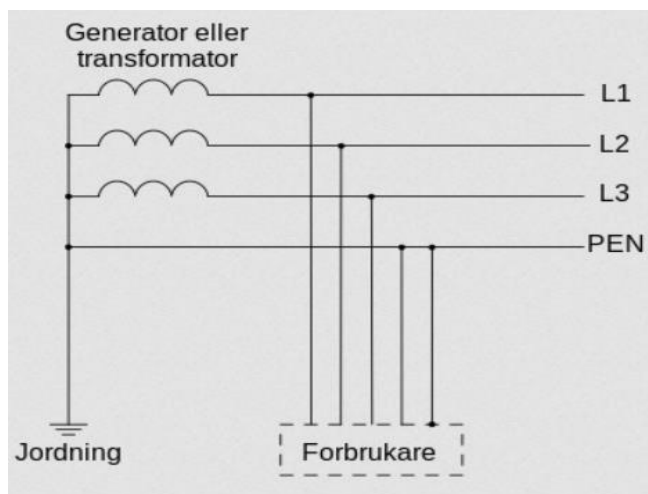
TN-S-system är ett femledarsystem, där utöver de tre fasledarna, också finns en separat skyddsledare (PE) och nolledare (N). (Voltimum, u.d.)



Figur 2. TN-S jordningssystem.

### 2.1.2 TN-C

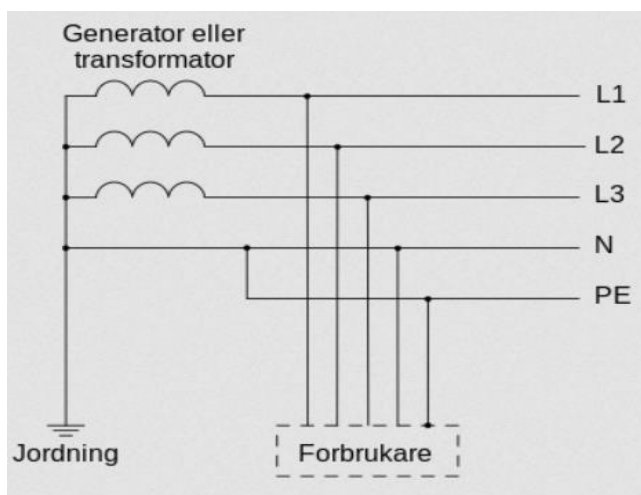
I TN-C-system används en kombinerad Skyddsledare och nolledare (PEN). Vanligen används detta system som distributionssystem, till exempel i anslutningar mellan en transformator och central. (Voltimum, u.d.)



**Figur 3. TN-C jordningssystem.**

### 2.1.3 TN-C-S

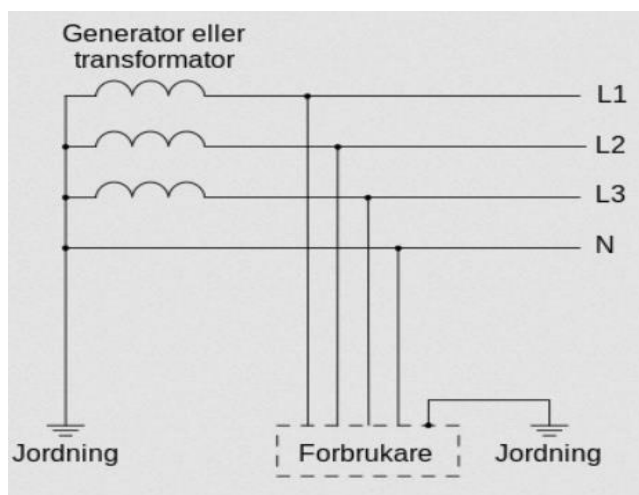
TN-C-S-system är en kombination av TN-C och TN-S-systemen. I detta kombinationssystem måste TN-C-systemet ligga före TN-S-systemet från transformatorns synpunkt. Detta på grund av att man inte får koppla ihop nolledaren och skyddsledaren tillbaka till en PEN ledare, vilket redan tidigare separerats till respektive N- och PE ledare. (Tiainen, 2018)



**Figur 4. TN-C-S jordningssystem.**

### 2.1.4 TT

TT-system har en viss likhet med TN-system, eftersom nätet är jordat. Det som skiljer TT- och TN-systemen är jordningen av förbrukningsobjekten. I TT-system jordas förbrukningsobjekt direkt till lokal jord, medan förbrukningsobjekt i TN-system jordas till nätets jord. (Tiainen, 2018)



Figur 5. TT jordningssystem.

### 2.1.5 IT

Den största skillnaden mellan direktjordade nät (TN- och TT-system) och isolerade nät (IT-system) är att nollpunkten för nätets matande strömkälla är förbunden till jord i direktjordade nät och därmed är samtliga ledares potential låst relativt till jord, medan i ett isolerat nät saknas det förbindelse mellan nollpunkt och jord. Detta betyder att fasledares potential är flytande relativt till jord. Alternativt kan en hög-impedans förbindelse mellan nollpunkt och jord finnas för skydds- och mätningssyfte. I IT-system jordas förbrukningsobjekt endera via separata jordelektroder, eller via en skyddsledare till en gemensam jordelektrod avsett för förbrukningsobjekt. (AB, Beving Elektronik, u.d.)

Isolerade IT-system används särskilt då man vill undvika driftavbrott som orsakats av jordslutning. IT-system används bland annat i följande objekt:

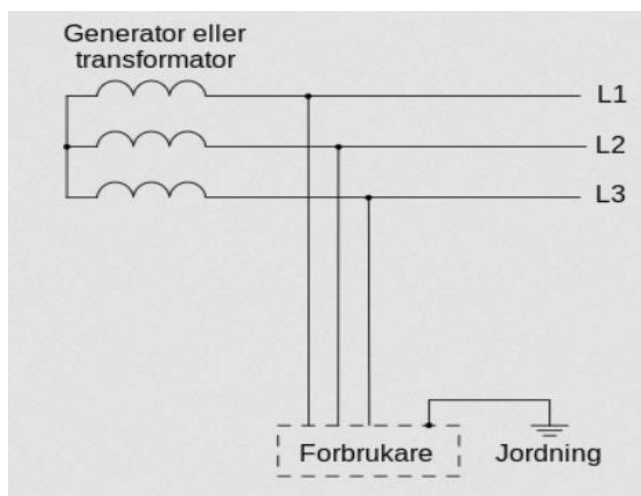
- Mellanspänningsnät
- Processindustri
- Operationssalar i sjukhus
- Styrkretsar

(Lyytikäinen, 2011)

Inom processindustrins IT-system används det sällan nolledare, eftersom nätet oftast är avsett för trefas växelströmsmotorer och därmed används inte denna ledare. I sjukhusanläggningar, mera bestämt operationssalar används också IT-system. I dessa nät används ofta enfas förbrukningsobjekt och därmed används också nolledaren.

De största funktionsskillnaderna mellan direktjordade och isolerade nät, ur användarperspektiv:

- I ett isolerat nät leder ett första fel inte till någon bortkoppling av strömförsörjningen, medan det i direktjordade nät leder till säkringsutlösning och/eller bortkoppling med driftstopp för drabbad utrustning.
- Jordfelsströmmens storlek vid ett första jordfel/isolationsfel är betydligt högre i ett direktjordat nät än i ett isolerat nät. (AB, Beving Elektronik, u.d.)



**Figur 6. IT jordningssystem.**

## 2.2 Jordslutning

Med jordslutning menas en felsituation, då en eller flera fasledare i nätet kommer i kontakt med jordpotential, antingen direkt eller via en felresistans  $R_f$ . Jordslutning i lågspänningsnät uppstår vanligtvis genom försämring eller skada av isolationen på en kabel, och en typisk jordslutning uppstår då isoleringen på en kabel försämras på grund av partiella urladdningar. På grund av detta uppstår det ett höghmigt fel mellan fasledare och jord, vilket i efterhand kan utvecklas och orsaka större jordslutningsströmmar.

Jordslutningsströmmens storlek beror på nätets systemjordning, felresistansen storlek samt jordkapacitansen mellan fas och jord. I direktjordade nät är jordslutningsströmmarna störst, eftersom dessa inte begränsas på något sätt. Generellt blir jordslutningsströmmen som störst när felresistansen är noll, med andra ord, när en fullständig kontakt mellan fas och jord uppstår. (Kuusinen, 2014) (Lehtonen & Hakala, 1995)

I IT-system, alltså nät med isolerad nollpunkt, innebär det att enda förbindelsen mellan nollpunkten och jord sker via nätets jordkapacitanser, alltså läckströmmar eller urladdningar mellan strömförande ledningar och jord. Normalt i ett symmetriskt nät är alla fasers jordkapacitanser lika stora, vilket innebär att nätet är symmetriskt i förhållandet till jord, och därmed är också fasernas spänning symmetriska i förhållandet till jord. (Kinnunen, 2007)

När en enfas jordslutning inträffar i ett ojordat nät, och felresistansen  $R_f = 0$ , kan jordslutningsströmmen som flyter genom fel stället räknas enligt:

$$I_e = 3\omega C_e U_f \quad (1)$$

där  $\omega$  är vinkelfrekvensen  $= 2\pi f$ ,  $f$  är nätfrekvensen,  $C_e$  är den totala jordkapacitansen mellan varje fas och jord och  $U_f$  är fasspänningen.

Vid en jordslutning där felresistansen  $R_f > 0$ , räknas jordslutningsströmmen enligt:

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

Där  $I_e$  fås från ekvation 1.

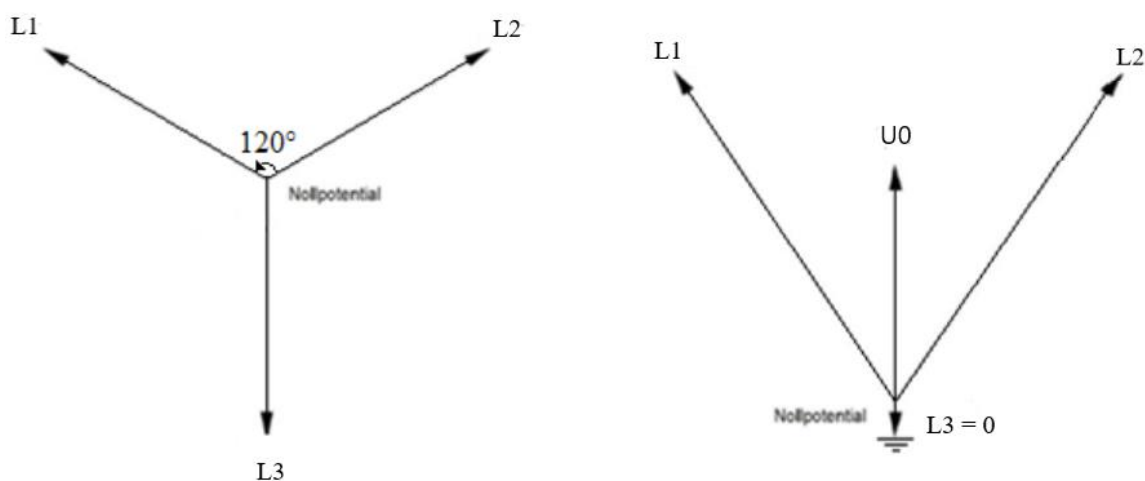
Vid en fullständig jordslutning blir potentialskillnaden mellan den utsatta fasen och jord lika med noll, medan de friska fasernas potential stiger till samma nivå som nätets huvudspänningar. På grund av att nätet blir osymmetriskt bildas även en så kallad nollföljdsspänning  $U_0$  i den matande transformatorns nollpunkt. Nollföljdsspänningen som bildas är relativ till osymmetrin i nätet, vilket påverkas av felresistansen vid jordslutningen. Detta betyder att nollföljdsspänningen som bildas i nollpunkten vid en jordslutning är relativ till felresistansen vid fel stället.

Nollföljdsspänningen fås enligt:

$$\frac{U_0}{U_f} = \frac{1}{\sqrt{1+(3\omega C_0 R_f)^2}} \quad (3)$$

Där  $C_0$  är nollföljdskapacitansen och kan antas vara samma som  $C_e$ .

Enligt ekvation 3 kan nollföljdsspänningen  $U_0$  som högst uppta samma potentialnivå som fasspänningen  $U_f$ . (Lehtonen & Hakala, 1995)



Figur 7. Visardiagram över ett symmetriskt kontra osymmetriskt nät.

I figur 7 visas ett symmetriskt kontra osymmetriskt nät. Till vänster ses ett symmetriskt nät, vars faser L1, L2 och L3 är  $120^\circ$  fasförskjutna från varandra och har således samma storlek på fasspänningarna. Till höger ses ett osymmetriskt nät där faser L1 och L2 är jordslutna och felresistansen  $R_f = 0$ . På grund av jordslutningen förflyttas nollpunkten, och fasspänningarna L1 och L2 stiger medan fasspänningen L3 sjunker till 0V. En nollföljdsspänning  $U_0$  bildas, vars potential blir lika stor som den ursprungliga fasspänningen L3.

Jordslutningar i IT-nät kan orsaka allvarliga personskador, eftersom jordningsnätet som är avsett för förbrukningsobjektens jordningar, blir spänningssatt. Detta betyder att i en situation där en person samtidigt kommer i kontakt med det spänningssatta jordningsnätet, och till exempel ett friskt jordningsnät från ett annat distributionsnät, blir personen utsatt av en el stöt. Detta kan i praktiken ses som en situation där personen samtidigt rör metalhöljet på en elmotor som är jordat till det spänningssatta jordningsnätet, och en kabelhylla som är jordat till ett annat jordningsnät där potentialen är 0V.

### 3 Bakgrund

I detta kapitel behandlas AK2:s interna distributionsnät och övervakningen av jordslutning. Kapitlet ger läsaren en översikt om hur det interna distributionsnätet vid AK2 ser ut, samt hur man tidigare implementerat övervakning av jordslutning vid kraftverket. Huvudschemat på kraftverket AK2:s interna distributionsnät ses i bilaga 1.

#### 3.1 Interna distributionsnätet

AK2:s inkommande matning kommer via huvudtransformatorn 2BAT10, och har märkeffekten- och spänningen 290 MVA, 110/15,75 kV. Efter huvudtransformatorn fördelar sig linjen till AK2:s generator, som ligger på våning 6 i turbinsalen, samt egenförbruks transformatorn 2BBT10, som är placerad utomhus på västra sidan av kraftverksanläggningen. Egenförbruks transformatorn har en märkeffekt- och spänning på 30 MVA, 15,75/10 kV. Från egenförbruks transformatorn fortsätter matningen till två 10 kV ställverk, 2BBA och 2BBB, som finns i ett eget 10 kV el-utrymme på våning 3 i turbinsalen. Från dessa ställverk kommer matningen direkt till bland annat kraftverkets



matarvattenpumpar, primärluftfläktar, sekundärluftfläktar och rökgasfläktar. Från ställverken 2BBA och 2BBB fördelas matningen till totalt fyra el-utrymmen. Dessa el-utrymmen har en eller flera huvudcentraler vars huvudspänning är 690 VAC. Två el-utrymmen finns i kraftverksanläggningen och två vid bränslemottagnings- och hanteringsanläggningar utanför kraftverksanläggningen. De två el-utrymmen i kraftverksanläggningen finns i turbinsalen, på våning tre och sex. De två andra el-utrymmen finns vid bränslemottagnings- och hanteringsanläggningarna på västra och östra plan. I alla dessa el-utrymmen finns en eller flera transformatorer, vilka är alla av samma typ, Dyn11 kopplade med märkeffekten- och spänningen 3,15 MVA, 10/0,69 ± 6,23 % kV.

Lågspänningsnätet där den praktiska delen av arbetet utförs, matas av en sådan här transformator, vilket betyder att huvudcentralen har huvudspänningen 690 VAC.

### **3.1.1 Turbinsalen**

I turbinsalen finns två el-utrymmen, på våning tre och våning sex.

I el-utrymmet på våning tre finns två transformatorer, 2BFT10 och 2BFT20. Dessa transformatorer matar huvudcentralerna; 2BFA, 2BFB och 2BGA. Matningarna från dessa centraler går främst till vatten- och oljepumpar, värmemotstånd samt olika motordrivna ventiler.

I el-utrymmet på våning sex finns transformatorerna 2BFU10 och 2BFU20. Dessa matar huvudcentralerna; 2BFE, 2BFF, 2BGJ, 2BGE, 2BGL och 2BGK. Matningarna från dessa centraler går till bland annat bränsletransportörer, slussmatare, rövarskruvar, bränsleinmatningsskruvar och hydraulpumpar.

### **3.1.2 Östra bränslemottagnings- och hanteringsanläggningen**

Vid östra bränslemottagnings- och hanteringsanläggningen, eller östra planen, som det också kallas, finns ett el-utrymme. I detta el-utrymme finns transformatorn 2BFW20, som matar huvudcentralen 2BFM. Matningen från denna central går till bland annat bränsletransportörer, magneter, såll och kross för bark. Centralen matar även en ris- och stubbkross som drivs av två 500 kW motorer.

### 3.1.3 Västra bränslemottagnings- och hanteringsanläggningen

Till västra bränslemottagnings- och hanteringsanläggningen, eller västra planen, som det också kallas, finns ett el-utrymme. Detta el-utrymme är beläget längst bort från kraftverksanläggningen, ca. 300 meter. I el-utrymmet finns transformatorn 2BFW10, som matar huvudcentralerna; 2BFL, 2BCM, 2BCN, 2BGC och 2BCD. Från dessa centraler matas bland annat lyftdörrar, kylningsfläktar, bränsletransportörer, magneter, såll, krossar och hydraulpumpar för trä, torv, REF samt kolmottagning- och hantering.

## 3.2 Övervakning av jordslutning

Isolationsresistansen är speciellt viktig för att undvika materiell samt personlig skada, och för pålitligheten av el-utrustning- och nät. På ett vis är det en basis för person- och systemskydd, och på ett annat vis betjänar det som en indikator på konditionen av el installationer. Enligt standarden SFS-EN 61557-8 krävs det övervakning av isolationsresistans i ojordade nät (IT-nät) upp till 1000 V växelspänning eller 1500 V likspänning. Eftersom det vid enfasiga jordslutningar inte sker någon bortkoppling av nätets matande strömkälla, måste det finnas kontinuerlig övervakning av isolationsresistansen i nätet för att veta i vilket skick nätet, samt el-utrustningen kopplat till nätet är.

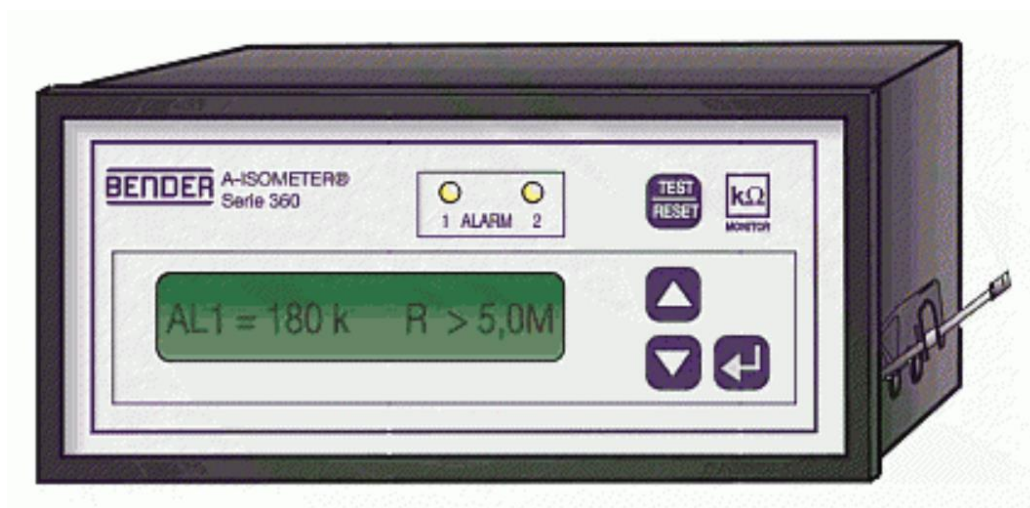
### 3.2.1 Bender IRDH365 Övervakningsrelä

Vid kraftverket AK2 har man använt reläet IRDH365, av tillverkaren Bender, för att uppfylla kriterierna som SFS standarderna kräver för övervakning av jordslutning i IT-nät. Denna modell av Bender, kom ut på marknaden år 2000 och var således en ny modell när kraftverket AK2 togs i bruk år 2001.

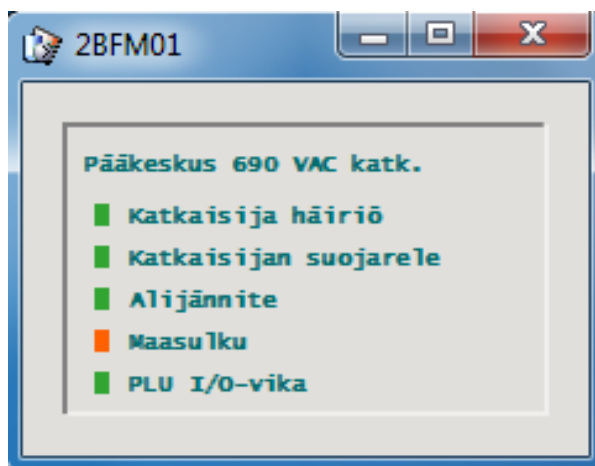
Övervakningsreläet IRDH365 är kopplat till nätets alla tre faser och jord. Reläet skickar en spänningssignal via fasledarna till nätet, och i en situation där ett isolationsfel mellan en fas och jord uppstår, sluts mätningsskretsen. Då mätningsskretsen sluts genereras en strömsignal, som är proportionell till isolationsfelets resistans. Ström signalen genererar ett motsvarande spänningsfall över isolationsfelets resistans, vilket utvärderas av reläets elektronik. Om spänningsfallet över resistansen överstiger det värde som är ekvivalent till det inställda alarmvärdet för resistansen i kretsen, kommer reläet att alarmera isolationsfel. Reläet har två

alarmgränser, ALARM 1 och ALARM 2. Detta betyder att man kan ställa in en övre gräns för isolationsresistansen för att indikera när isolationen i nätet börjar försämrans, och en nedre gräns, när isolationsresistansen i nätet är så lågt att det kräver åtgärder. Vid en fullständig enfass jordslutning blir isolationsresistansen i nätet  $0\Omega$ , detta betyder att båda alarmgränserna alarmerar och att en åtgärd måste göras så snabbt som möjligt. (Bender GmbH & Co. KG, u.d.)

Alarmer från övervakningsreläet kommer direkt till automationsprogrammet Valmet DNA, vilket används till kraftverkets styrning.



Figur 8. Övervakningsreläet Bender IRDH365.



Figur 9. Aktivt alarm från övervakningsreläet IRDH365, vilket syns i programmet Valmet DNA.

## **4 Arbete och tillvägagångssätt**

Till den praktiska delen av examensarbetet tillhörde egentligen två uppgifter: den första var att hitta ett ersättande övervakningsrelä för jordslutning till huvudcentralen 2BFM, och den andra var att utreda orsaken till förekomna alarm av jordslutning i lågspänningsnätet samt att åtgärda dessa.

Arbetet inleddes genom att studera el ritningarna av huvudcentralen 2BFM, för att få en uppfattning av vilka utgående matningar centralen har, varefter en fysisk granskning gjordes för att se var förbrukningsobjekten till matningarna fanns. Matningarna från huvudcentralen 2BFM går huvudsakligen till den östra bränslemottagning- och hanteringsanläggningen av bark, där förbrukningsobjekten i största del består av trefas asynkronmotorer av varierande storlekar. Efter att en uppfattning erhållits av lågspänningsnätets fysiska storlek samt dess egenskaper, fortsattes arbetet med att studera instruktionsmanualerna för det existerande övervakningsreläet Bender IRDH365.

### **4.1 Val av nytt övervakningsrelä**

Vid ett tidigt skede under arbetets gång hade jag ett möte med min handledare från Alholmens Kraft, Johannes Östman, där det diskuterades om att förnya det existerande övervakningsreläet för jordslutning. Vid kraftverket AK2 fanns det flera stycken likadana övervakningsrelä i bruk i andra lågspänningsnät, och en del av dessa relän hade slutat fungera. En överenskommelse gjordes med Östman om att införskaffa ett nytt övervakningsrelä till huvudcentralen 2BFM för att försäkra att alarmen som uppkommit inte berodde på ett felaktigt relä.

Efter mötet med Östman fortsattes arbetet med att undersöka olika alternativ av övervakningsrelän som skulle förnya det existerande reläet. Övervakningsrelän av olika tillverkare utforskades, men mycket snabbt kom man fram till att tillverkaren Bender GmbH & Co. KG, som levererat de existerande relän, hade modernare övervakningsrelän i sitt sortiment än vad de andra tillverkarna hade. Tillsammans med Östman gjordes beslutet för att införskaffa ett nytt övervakningsrelä av tillverkaren Bender.

Övervakningsreläet som valdes för att ersätta det existerande reläet vid huvudcentralen 2BFM var Bender ISO685-S. Utöver detta införskaffades också en extern HMI (Human-Machine Interface), Bender FP200, eftersom övervakningsreläet inte hade någon integrerad HMI. Beslutsunderlagen för att implementera den nya övervakningen av jordslutning med hjälp av reläet Bender ISO685-S samt den externa HMI:n Bender FP200 var:

- Användarvänlighet
- Dimension

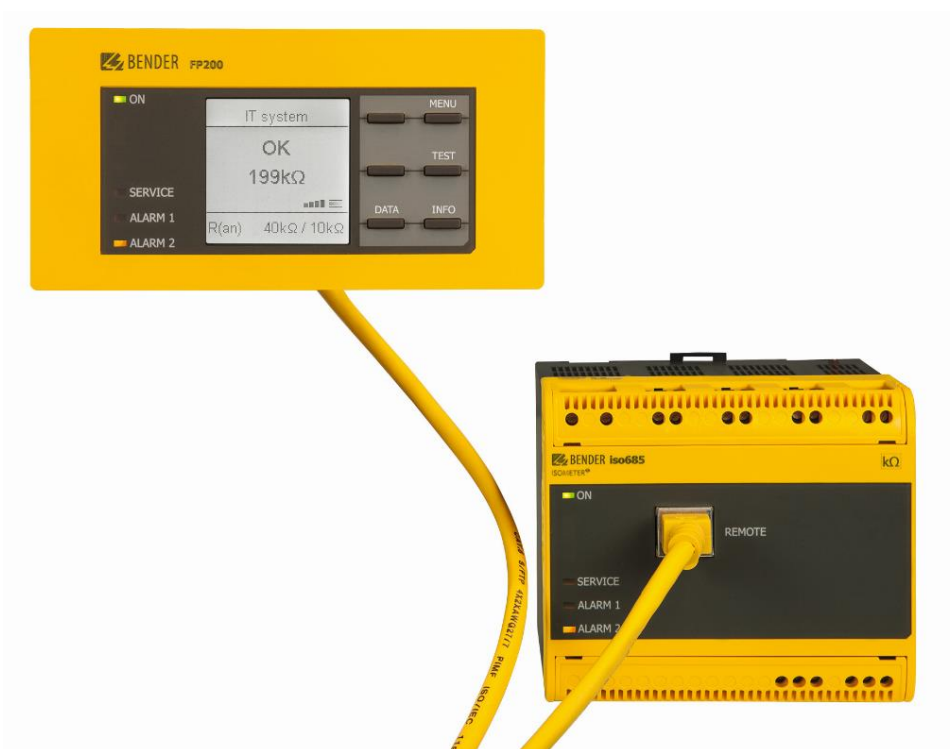
Ett krav på det nya övervakningsreläet var att det skulle vara användarvänligt och därmed skulle reläet ha en HMI varifrån man kan överse lågspänningsnätets skick samt varifrån man kan ändra inställningar för olika mätningsbehov. Ett annat krav var att de fysiska dimensionerna för reläet samt den externa HMI:n skulle kunna anpassas till huvudcentralen utan större åtgärder.

## **4.2 Ersättande övervakningsrelä Bender ISO685-S**

Övervakningsreläet Bender ISO685-S tillhör tillverkarens nyaste sortiment av isolationsresistans mätande reläer. Modellen ISO685-S har samma funktionsprincip som det gamla reläet IRDH365 vilket beskrivs i kapitel 3.2.1, och utöver detta har reläet många egenskaper och funktioner som kan utnyttjas för olika mätningsbehov samt för att kunna få så noggranna mätvärden som möjligt. I arbetet kommer inte reläets alla funktioner att tas upp eftersom en stor del av dessa funktioner inte kommer användas i den vardagliga driften, men de egenskaper och funktioner som kan anses vara viktiga att nämna är:

- Avsett för nät med spänningar mellan 0-690 VAC eller 0-1000 VDC.
- Kontinuerlig isolationsresistansmätning av nätet.
- Har två separata alarmgränser för isolationsresistansen vilket kan justeras mellan 1 k $\Omega$  - 10 M $\Omega$ .
- Kontinuerlig huvud- samt fasspänningsmätning i nätet.
- Filtrering av kapacitiva läckströmmar som uppstår i nätet kan justeras mellan 0-1000 $\mu$ F.

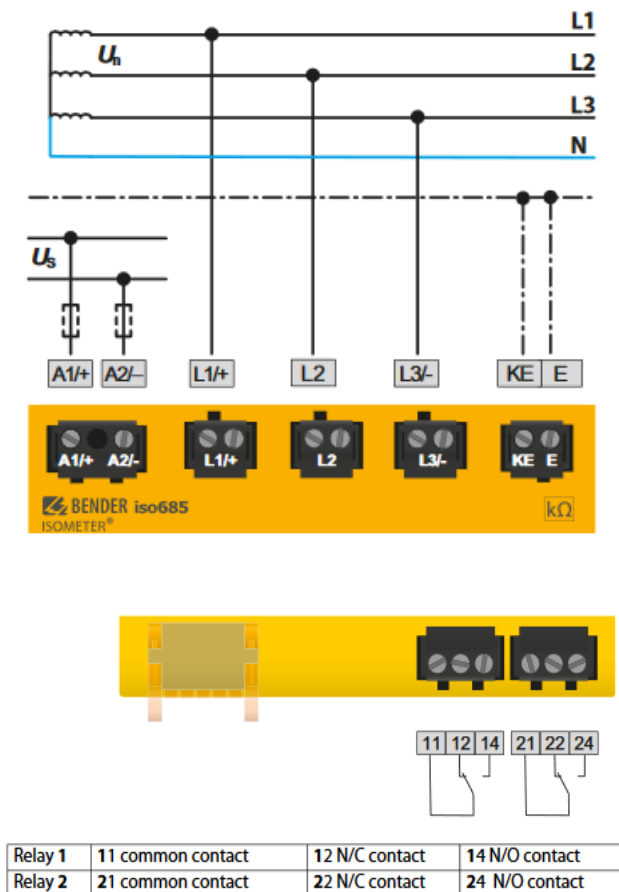
- Grafisk framställning av isolationsresistansen över tid.
  - Reläet utför automatiska självtest.
  - Historikminne med realtid, minnesplatser för 1023 alarm meddelanden.
  - Har tre konfigurera in- och utgångar
  - Reläet kan konfigureras via webserver.
  - Till reläet kan inkopplas Benders felsökningsenheter för lokalisering av jordslutning.
- (KG, Bender GmbH & Co., 2019)



Figur 10. Övervakningsreläet Bender ISO685-S samt HMI:n FP200. (PresseBox, 2006)

Det tidigare i bruk varande reläet IRDH365 hade integrerad HMI och var således monterad direkt i dörren av ett elskåp vid huvudcentralen 2BFM, däremot har reläet ISO658-S ingen integrerad HMI och monterades därför på en DIN skena in i centralen. HMI:n FP200 är konstruerad för att passa in i samma hål i dörren av elskåpet där reläet IRDH365 tidigare varit monterat, vilket underlättade arbetet av implementering av det nya övervakningssystemet. Till kommunikationen mellan reläet och HMI:n används en Ethernet kabel som med kom HMI:n vid inköp.

Det nya reläet kopplades till nätet på samma sätt som det tidigare i bruk varande reläet, vilket betydde att ledningarna som använts tidigare för inkoppling av reläet återanvändes för det nya reläet. Reläet kopplades till nätet enligt Benders anvisningar:



Figur 11. Kopplingschema för ISO685-S. ([www.bender.de](http://www.bender.de))

Till kopplingsplintarna A1/+ och A2/- kopplades 24 VDC hjälpspanning, till plintarna L1/+, L2 och L3/- kopplades respektive fas och till plintarna KE och E kopplades jord. Reläkontakterna 11 och 14 användes som N/O funktion, och kontakten sluts när en eller flera alarmgränser för isolationsresistansen aktiveras, varpå ett alarm kommer till automationsprogrammet Valmet DNA.

När det nya övervakningssystemet var färdigt monterat och togs i bruk, gjordes några konfigurationer till reläet. Alarmgränserna ALARM1 och ALARM2 valdes till 40 k $\Omega$  respektive 10k $\Omega$ , samma gränsvärden som det tidigare reläet IRDH365 hade. Efter detta valdes mätprofilen för filtrering av kapacitiva läckströmmar och alternativerna som finns att välja mellan är power circuits, control circuits, generator, high capacitance, inverter < 10

Hz, inverter > 10 Hz och customer-specific. Alternativet power circuits valdes eftersom enligt instruktionsmanualen passar detta alternativ för de flesta isolerade nät. Till sist valdes systemtypen av nätet vilket reläet skall övervaka, där alternativen är DC-system, single-phase AC-system och 3AC-system. Alternativet 3AC-system valdes eftersom nätet är ett trefas växelspänningsnät där alla faser skall övervakas.



**Figur 12. Reläet ISO685-S i huvudcentralen 2BFM.**

### 4.3 Utredning av alarm

Då det nya övervakningsreläet ISO685-S togs i bruk för första gången var inte kraftverket AK2 i produktion och således var inte den östra bränslemottagnings- och hanteringsanläggningen i drift. Under den tid då östra bränslemottagnings- och hanteringsanläggningen inte var i drift alarmerade heller inte övervakningsreläet för jordslutning. Vid detta tillfälle mätte reläet isolationsresistansen i nätet till 225 kΩ och både fas- samt huvudspänningarna i nätet var symmetriska.

En diskussion fördes med Östman om när de tidigare alarmen inträffat och enligt honom hade övervakningsreläet alarmerat under en längre tid men han visste inte specifikt när alarmen först uppstått. Enligt Östman alarmerade det tidigare övervakningsreläet IRDH365



bara då den östra bränslemottagnings- och hanteringsanläggningen var i drift, och utöver detta hade företagets elmontörer mätt och konstaterat att potentialskillnaden mellan fas och jord för ena fasen i lågspänningsnätet sjunkit ner till 0V vid drift.

När den östra bränslemottagnings- och hanteringsanläggningen inte var i drift, blev mätkretsen för isolationsresistansen mycket kort eftersom den begränsades till ledningssträckan mellan lågspänningsnätets matande transformator och de utgående matningarnas huvudkontakter. Eftersom övervakningsreläet inte hade alarmerat kunde det konstateras att ingen jordslutning skedde i denna del av lågspänningsnätet.

När kraftverket AK2 var i produktion och den östra bränslemottagnings- och hanteringsanläggningen var i drift hade reläet alarmerat att isolationsresistansen i nätet underskridit båda alarmgränserna och värdet låg på 0,5 k $\Omega$ . Eftersom övervakningsreläet även kontinuerligt mäter nätets fasspänningar gick det att granska hur jordslutningen påverkade dessa spänningar. Fassungarna  $U_{L1-E}$  och  $U_{L3-E}$  visades ha stigit till ca. 690 V, medan fassungarna  $U_{L2-E}$  hade sjunkit ner till 2 V. Detta betydde att fasen L2 orsakade jordslutning i nätet medan faserna L1 och L3 verkade vara friska.



Figur 13. Alarm vid jordslutning.



**Figur 14. Fasspänningarna vid jordslutning.**

Lokalisering av fel stället där jordslutningen inträffat gjordes när kraftverket AK2 inte var i produktion eftersom ett längre driftstopp på bränslemottagnings- och hanteringsanläggningen skulle i värsta fall kunna betyda att bränslet till kraftverket skulle ta slut. För att lokalisera fel stället fick jag hjälp av företagets elmontörer samt kontrollrumsskötaren. Som första steg till att utreda var i nätet jordslutningen hände, bestämdes det tillsammans med elmontörerna och kontrollrumsskötaren att starta bränslelinjen mellan kraftverket och den östra bränslemottagnings- och hanteringsanläggningen. Till bränslelinjen tillhör ett flertal bränsletransportörer av både rullbandtransportörer och kedjetransportörer, ett såll, en kross samt två bränsleskruvar. Bränslelinjen måste startas så, att möjliga bränslerester som lämnat på de olika transportörerna transporteras till bränslesilon vid kraftverket och inte orsakar stock på vägen. På grund av detta startas bränslelinjen från kraftverkets ända, mot den östra bränslemottagnings- och hanteringsanläggningen, en i taget tills hela linjen är i gång. När bränslelinjen startas, drar huvudkontaktorn för varje enskilt förbrukningsobjekt i ordning, och därmed utökas mät kretsen för isolationsresistansen. När man startar den del av

bränslelinjen där en jordslutning inträffar kommer reläet att alarmera och då vet man vilken matning från huvudcentralen som orsakar felet.

När det var överenskommet att kontrollrumsskötaren skulle starta bränslelinjen befann jag mig i el utrymmet vid den östra bränslemottagnings- och hanteringsanläggningen där jag granskade övervakningsreläets mätvärden. När ca. hälften av bränslelinjen var i drift, och kontrollrumsskötaren startade sållet, alarmerade övervakningsreläet för jordslutning. Övervakningsreläet mätte isolationsresistansen vid fel stället till  $0,5 \text{ k}\Omega$  och fasspänningen  $U_{L2-E}$  hade sjunkit till under 10 V. Bränslelinjen fortsattes att startas upp ända tills hela linjen var i drift för att försäkra att inga flera jordslutningar inträffade i nätet. När vi försäkrat oss om att det bara var en matning från huvudcentralen 2BFM som orsakade jordslutning i nätet stannades bränslelinjen. I detta skede gick det att konstatera, att det var sållet som orsakade jordslutningen i nätet.

Sållet drivs av tre olika trefas asynkronmotorer vilka allihop har skild matning från huvudcentralen 2BFM. Vid start av sållet drivs alla tre motorer igång samtidigt, vilket betydde att man inte kunde vara säker på vilken matning som orsakade jordslutningen utan vidare forskning. Det bestämdes att göras isolationsprov på alla tre matningar till sållets drivmotorer för att få reda på vilken matning som orsakade jordslutningen. Först utfördes ett skilt isolationsprov på sållets drivmotorer genom att mäta isolationsresistansen mellan motorlindningarna och höljet på motorn. Alla tre motorer gav ett isolationsresistans värde på ca.  $15 \text{ M}\Omega$ , vilket betydde att själva motorerna inte var orsaken till jordslutningen. Till följande gjordes isolationsprov på matningarna till sållets drivmotorer, med andra ord på kabeln mellan huvudkontaktorn och säkerhetsbrytaren för drivmotorerna, vilket visades vara orsaken till jordslutningen. Matningarna till drivmotor 1 & 3 visades vara friska, medan värdet på isolationsresistansen mellan fasen L2 och jord för matningen till drivmotor 2 låg bara på några  $\Omega$ . Detta betydde att kabeln mellan huvudkontaktorn och säkerhetsbrytaren för sållets drivmotor 2 var orsaken till jordslutningen i nätet.

I detta skede hade fel stället där jordslutningen inträffat begränsats till själva matningen mellan huvudcentralen och säkerhetsbrytaren för sållets drivmotor 2. Ledningssträckan för kabeln är uppskattningsvis ca. 130 meter lång och går från huvudcentralen längs efter en kabelhylla genom den östra bränslemottagnings- och hanteringsanläggningen vid takgränsen på varierande höjd mellan 2 – 5 meter, varefter den svänger ut genom väggen och fortsätter efter kabelhyllan ovanom en kedjetransportör till sållet. Eftersom kabeln var svår att åtkomma i stort sett på hela dess sträcka från huvudcentralen till sållet, bestämdes det att

utföra en resistansmätning mellan fasledaren L2 och jordledaren på kabeln för att granska om ett mätvärde skulle kunna fås.

Idéen med att utföra en resistansmätning mellan den jordslutna fasledaren och jordledaren var att se om de två ledarna var i direkt kontakt med varandra. Om de två ledarna vore i direkt kontakt med varandra skulle det bildas en mätbar krets, vilket skulle ge ett resistansvärde för själva kopparledningen. Ett resistansvärde på den jordslutna kretsen skulle då ge en referens på hur lång kretsen är, och på detta vis skulle man få en uppfattning om var på kabeln felet ligger.

Resistansmätningen på kabeln mellan den jordslutna fasledaren och jordledaren utfördes till att börja med från huvudcentralens enda, där mätningen resulterade i ett mätvärde på  $0,6 \Omega$ . Detta betydde att en direkt kontakt fanns mellan de två ledarna. Till följande utfördes samma mätning från sållets ända, vid säkerhetsbrytaren. Detta resulterade i ett mätvärde på  $0,7 \Omega$ . Dessa värden fungerade nu som en referens för att lokalisera fel stället på kabeln. Eftersom de två mätvärden var mycket nära varandra, betydde det att fel stället befanns ungefär halvvägs på kabeln. Kabeln till sållet var uppskattningsvis ca. 130 meter lång, vilket betydde att fel stället befann sig ca 60 meter från kabeländan vid huvudcentralen. Med hjälp av elmontörerna börjades fel stället sökas genom att följa kabeln efter kabelhyllan in i den östra bränslemottagnings- och hanteringsanläggningen. En observation som gjordes, var att nästan alla kablar som gick längs efter kabelhyllan hade skarvats, inklusive kabeln till sållets drivmotor 2. Dessutom hade kablarna skarvats på samma ställe där vi beräknat att fel stället skulle befinna sig.



**Figur 15. Skarven på kabeln till sållets drivmotor 2.**

Eftersom kabeln hade förlängts av någon anledning, fanns det två skarvar ca. tio meter ifrån varandra. Det bestämdes att öppna båda skarven på kabeln för att granska om fel stället låg i någondera av dessa. När de yttre skarven på kabeln öppnades, noterades det i ett av skarven att en tråd från jordledaren pekade ut genom den inre skarven och hade tryckt sig in i isoleringen på fasledaren L2.



**Figur 16.** Tråden som pekade ut ur jordledaren och var intryckt i isoleringen på fasledaren L2.

Detta ansågs vara orsaken till jordslutningen i nätet och därmed förnyades skarven med särskild aktsamhet för att inte upprepa felet. Efter att skarven förnyats gjordes en ny resistansmätning mellan kabelns fasledare L2 och jordledaren, vilket detta gång inte gav något mätvärde. Orsaken till att inget mätvärde uppkom var att det inte längre fanns någon kontakt mellan de två ledarna och således fanns det ingen mätbar krets för resistansen. Till följande startades bränslelinjen upp på nytt för att försäkra oss om att det inte mera förekom jordslutning i nätet. Kontrollrumsskötaren startade bränslelinjen på samma sätt som tidigare, och denna gång alarmerade inte övervakningsreläet för jordslutning. När den östra bränslemottagnings- och hanteringsanläggningen var i drift, mätte övervakningsreläet isolationsresistansen i nätet till 225 k $\Omega$ . Detta betydde att fel stället hade lokaliserats och åtgärdats.

## 5 Resultat

Resultatet av examensarbetet är en utredning och åtgärd av jordslutning, samt ett förnyat övervakningssystem för jordslutning i ett av kraftverket AK2:s lågspänningsnät. Vid detta läge finns det ingen påliggande jordslutning i lågspänningsnätet vid den östra bränslemottagnings- och hanteringsanläggningen och därmed finns inga risker för spänningar i jordningsnätet, vilket i värsta fall skulle kunna orsaka personskador. Det nya övervakningsreläet Bender ISO685-S mäter kontinuerligt isolationsresistansen i lågspänningsnätet och ger alarm till automationsprogrammet Valmet DNA ifall värdet sjunker under de inställda gränsvärden.

## 6 Diskussion

Ursprungligen var examensarbetets uppgift att byta ut övervakningsrelän i kraftverket AK2:s alla IT-nät, samt att utreda skicket på de IT-nät där övervakningsrelän slutat fungera. En bit in i examensarbetes arbetsgång bestämdes det tillsammans med min handledare från Alholmens Kraft, Johannes Östman, att istället fokusera på ett IT-nät och byta ut dess opålitliga övervakningsrelä samt att utreda orsaken varför reläet alarmerat om jordslutning. Flera personer inom företagets el-avdelning hade idéer eller minnen till när, och i vilka sammanhang, dessa alarm för första gången uppstått. Denna information var något varierande från person till person, men detta utformade ändå utgångsläget till utredningen av övervakningsreläets givna alarm.

Den största utmaningen med examensarbetet var att hitta tidsutrymme för de praktiska åtgärder som krävdes för arbetets framskridande, med andra ord, bytet av övervakningsreläet samt lokalisering av fel stället. Detta på grund av att det inte gavs tillåtelse att göra den östra bränslemottagnings- och hanteringsanläggningen spänningslös under längre tidsperioder, då kraftverket var i produktion, vilket utgjorde största delen av den tid jag utförde den praktiska delen av examensarbetet. Samtidigt krävdes det också att någon från el-avdelningens personal var närvarande då lågspänningsnätet kopplades från- och till nätet, vilket personalen inte alltid hade tid med.

Om en jordslutning skulle upprepa sig i det ifrågavarande IT-nätet, hamnar man i nuvarande situation fortfarande att felsöka nätet för att hitta både rätt matning samt den fysiska platsen

där fel stället ligger, för att kunna åtgärda problemet. Därför skulle det finnas möjlighet att vidareutveckla övervakningen i nätet, till exempel med hjälp av Benders felsökningsutrustning. Denna utrustning ger möjligheten att kontinuerligt mäta isolationsresistansen i varje matning som går ut från centralen, och vid en jordslutning, anger utrustningen vilken matning samt hur långt borta från centralen fel stället ligger. Denna utrustning är dock dyr, men den skulle spara mycket tid vid felsökning om man hamnar i en dylik situation i framtiden. Det nya övervakningsreläet fungerar också som ett förslag till framtida uppdateringsprojekt i de andra IT-nät som finns vid kraftverket AK2.

Examensarbetet har varit intressant och gett bra insikt i IT-nät, både i dess användningssyfte samt beteende vid felsituationer. Arbetet har också varit roligt att utföra på grund av att kraftverket AK2 samt personalen vid företaget är bekant från tidigare. Slutligen vill jag tacka el-avdelningens personal vid Alholmens Kraft Ab, som hjälpt mig under examensarbetets gång.



## 7 Källförteckning

- AB, Beving Elektronik. (u.d.). *Direktjordat kontra isolerat nät, en jämförelse*. Hämtat från <https://beving.se/en-j%C3%A4mf%C3%B6relse-mellan-direktjordat-och-isolerat-n%C3%A4t> den 17 Mars 2020
- Alholmens Kraft. (u.d.). *Alholmens Kraft*. Hämtat från [https://www.alholmenskraft.com/sv/company/bio-fuelled\\_power\\_plan](https://www.alholmenskraft.com/sv/company/bio-fuelled_power_plan) den 4 Februari 2020
- Bender GmbH & Co. KG. (u.d.). *Operating principle of an insulation monitoring device*. Hämtat från <https://www.bender.de/en/know-how/technology/it-system/insulation-monitoring> den 12 Februari 2020
- Guldbrand, A. (2006). *System earthing*. Lund: Lund Universitet.
- Jacobsson, K. A. (2016). *Olika spänningssystem* (3 uppl.). Stockholm: Libra AB. Hämtat den 17 Mars 2020
- KG, Bender GmbH & Co. (2019). *Bender Isometer*. Tyskland: Bender Group. Hämtat från [https://www.bender.de/fileadmin/content/Products/m/e/iso685-x\\_D00022\\_M\\_XXEN.pdf](https://www.bender.de/fileadmin/content/Products/m/e/iso685-x_D00022_M_XXEN.pdf)
- Kinnunen, P. M. (2007). *Suunnattu Maasulkusuojaus ja Valokaarisuojaus Teollisuusverkossa*. Keski-pohjanmaan ammattikorkeakoulu, Ylivieska. Hämtat den 13 Februari 2020
- Kuusinen, J. (2014). *Maasulkuvirtojen tutkiminen kaivosteollisuuden sähkökäytössä*. Tammefors: Tampereen Teknillinen Yliopisto. Hämtat den 18 Mars 2020
- Lehtonen, M., & Hakala, T. (1995). *Neutral Earthing and Power System Protection*. Vasa, Esbo: ABB Transmit Oy. Hämtat den 18 Mars 2020
- Lyytikäinen, H. (2011). *Teollisuuden sähkönjakeluverkon mallintaminen*. Kuopio: Savonia-Ammattikorkeakoulu. Hämtat den 17 Mars 2020
- PresseBox. (den 18 9 2006). *The right solution for each application*. Grünberg, Tyskland. Hämtat från <https://www.pressebox.com/pressrelease/bender-gmbh-co-kg-gruenberg/The-right-solution-for-each-application/boxid/920653>
- Tiainen, E. (2018). *D1-2017 Handbok om byggnaders elinstallationer*. Esbo: STUL ry.
- Voltimum. (u.d.). *Fördelningssystem*. Hämtat från <https://www.voltimum.se/glossary/fordelningssystem> den 17 03 2020

