

Examensarbete, Högskolan på Åland, Utbildningsprogrammet för Elektroteknik

KORTSLUTNINGSBERÄKNINGAR FÖR LANDNÄT

Philip Jansson
Roy Wikholm



09:2018

Datum för godkännande: 07.05.2018
Handledare: Marcus Karlsson

EXAMENSARBETE

Högskolan på Åland

Utbildningsprogram:	Elektroteknik
Författare:	Philip Jansson, Roy Wikholm
Arbetets namn:	Kortslutningsberäkningar för landnät
Handledare:	Marcus Karlsson
Uppdragsgivare:	Mariehamns Elnät

Abstrakt
<p>Bakgrunden till arbetet är att Mariehamns Elnät planerar att byta ut transformatorn vid Järsö skola från 1980-talet och ersätta den med en Netcontrol Intelligent Station.</p> <p>Syftet med vårt arbete är att räkna på nätet för att få denna station att fungera enligt normer. Vi ger ett förslag utgående från manuella beräkningar och normer hur man kan ställa in parametrarna för en "intelligent station" för distributionsautomation.</p>

Nyckelord (sökord)
Intelligent station, distributionsautomation, skydd, kortslutning

Högskolans serienummer:	ISSN:	Språk:	Sidantal:
09:2018	1458-1531	Svenska	46 sidor

Inlämningsdatum:	Presentationsdatum:	Datum för godkännande:
08.03.2018	15.05.2018	07.05.2018

DEGREE THESIS

Åland University of Applied Sciences

Study program:	Electrical Engineering
Author:	Philip Jansson, Roy Wikholm
Title:	Short-Circuit Calculations for Distribution Network
Academic Supervisor:	Marcus Karlsson
Technical Supervisor:	Mikael Nordlund

Abstract
<p>The electricity distributor company in Mariehamn in Finland plans to replace the transformer at Järsö with an intelligent station from Netcontrol. Our main task is to perform calculations based on data from the grid to make this station work according to electrical standards. We have made a proposal based on manual calculations and norms how to set the parameters for an intelligent station for distribution automation.</p>

Keywords
Intelligent station, Distribution Automation, Protection, Short-circuit

Serial number:	ISSN:	Language:	Number of pages:
09:2018	1458-1531	Swedish	46 pages

Handed in:	Date of presentation:	Approved on:
08.03.2018	15.5.2018	07.05.2018

Förord

Vi vill börja med att tacka Mariehamns Elnät för att vi har fått göra ingenjörsarbetet för er då det har varit ett givande arbete som givit mer förståelse för kortslutningsberäkningar för landnät och distribution.

Vi tackar även elnätschef Christer Nordberg på Krafnät Åland för studiebesöket samt informationen vi fick för ställverket i Lervik.

Slutligen tack till vår handledare Marcus Karlsson från Harrys El som ställt upp med expertis under arbetets gång.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING	9
1.1 Syfte	9
1.2 Metod	9
1.3 Avgränsningar	10
1.4. Bakgrundsinformation	10
1.4.1 Distributionsnät	10
1.4.2 Mariehamns Elnät	11
1.4.3 Nätstationer	11
1.4.4 Transformatorerna	11
1.4.5 Lervik ställverk	12
2. STANDARDS & DIREKTIV	14
2.1 IEC International Electrotechnical Commission	14
2.2 CENELEC Europeiska kommittén för elektroteknisk standard	14
2.2.1 Standardiseringsprocessen	15
2.3 EC-direktiv för elektrisk utrustning	15
3. NETCON 100	16
3.1 Moduler	17
3.2 Spänningsmatning	18
3.3 Datakommunikation	18
3.4 Sensorer för mellanspänningsmätningar	18
3.4.1 Allmänna krav på spänningsmätning	19
3.5 Lågspänningsmätningar	19
3.6 Transformatorns temperaturmätning	19
3.7 Strömförsörjning & batteribackup	20
3.8 Parametrar för återinkoppling	20

3.9 WebGUI	21
4. TRANSFORMATOR	22
5. SKYDD	24
5.1 Reläskydd	24
5.1.1 Statiska reläskydd	24
5.1.2 Elektromagnetiska reläskydd	24
5.2 Överströmsskydd	24
5.2.1 Överströmsskydd med konstanttid	25
5.2.2 Överströmsskydd med inverstid	25
5.3 Selektivitet	26
5.3.1 Tidsinställningar	28
6. BERÄKNINGAR	29
6.1 Kortslutningsberäkningar	29
6.2 Excelkalkyl	32
6.3 ABB E-design	33
6.3.1 Docwin	33
6.3.2 Curves	34
6.4 Skyddsinställningar	34
6.5 Resultat	35
7. SLUTSATS	37
REFERENSER	38
BILAGOR	40
Bilaga 1 Myndighetskrav på jordslutning	40
Bilaga 2 Excelkalkyl För Kortslutningsberäkningar	41
Bilaga 3 ABB Docwin Utdrag Ur Ritning	45

Förkortningar

APN	Access Point Name
AR	Auto Reclosing
c	Spänningsfaktor
GPRS	General Packet Radio Service
HMI	Human Machine Interface
IP	Internet Protocol
I_{knet}	Nätets kortslutningsström för 45kV
I_{2n}	Sekundärström
I_{k3F}	3-fasig symmetrisk kortslutningsström
I_{k2F}	2-fasig symmetrisk kortslutningsström
K	Förhållande
LV	Low Voltage
MV	Medium Voltage
P_{PTR}	Potentiella transformatorförluster
R_{knet}	Nätets kortslutningsresistans
R_{TK}	Total kortslutningsresistans i punkten
R_{TR}	Transformatorns resistans
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
V_{net}	Nätspänning 45kV
VPN	Virtual Private Network
WebGUI	Graphical User Interface (Ett grafiskt webbaserat användargränssnitt för Netcon 100)
X_{knet}	Nätets kortslutningsreaktans
X_{TK}	Total kortslutningsreaktans i punkten

X_{TR}	Transformatorns reaktans
Z_{knet}	Nätets kortslutningsimpedans
Z_{Tk}	Total kortslutningsimpedans i punkten
Z_{TR}	Transformatorns impedans

1. INLEDNING

Hösten 2017 började vi fundera på vad man skulle kunna göra för ingenjörarbete. Vi fick kontakt med Mariehamns Elnät och diskuterade ett antal projekt för att slutligen bestämma oss för projektet angående deras inskaffade intelligenta station för distributionsautomation.

1.1 Syfte

Ett intresse finns från Mariehamns Elnät att i framtiden ersätta transformatorn vid Järsö skola och installera deras Netcon 100 från Netcontrol. Behovet finns att kunna ha en realtidsövervakning och skydd med återinkoppling på utgående luftlinjen mot Häggsudden och skärgårdsöarna. Vårt ingenjörarbete är att ge ett förslag på hur deras Netcon 100 ska ställas in på basen av våra manuella beräkningar från nuvarande data från elnätet.

1.2 Metod

Innan problemlösning och beräkningar kan påbörjas har information och data införskaffats över nätet i helhet. Data över distributionsnätet för 10kV-nätet erhåller vi från Mariehamns Elnät. Då vi utgick från 45kV-ställverket i Lervik som distribueras av Kraftnät Åland har vi även varit på studiebesök med elnätschef Christer Nordberg från Kraftnät Åland för att få data över skydden från ställverket i Lervik Ytternäs.

Vi har sedan undersökt normer för symmetrisk kortslutningsberäkning av distributionsnät där vi har börjat med att utgående från I_{knet} (nätets kortslutningsström) och Z_{knet} (nätets kortslutningsimpedans) för 45 kV inkommande linjen på primärsidan på Lerviks transformator tillsammans med kabeltypen direkt efter transformatorn beräkna fram I_{k3F} (3-fasig symmetrisk kortslutningsström) samt Z_{Tk} (totala kortslutningsimpedansen) för punkten i utgången för skärgården.

Därefter har vi beräknat $Z_{knet10kV}$ för utgången och använt denna för att kunna beräkna ner till alla stationer, både primärsida och omedelbart på sekundärsidan, 400V. Genom att strukturera upp våra beräkningar och kunna redovisa ett resultat har vi byggt upp ett beräkningsprogram i Microsoft Excel som vi också har levererat till Mariehamns Elnät

1.4.2 Mariehamns Elnät

Mariehamns Elnät verksamhet är underhåll och utveckling av elnätet. De har också hand om inköp och försäljning av elenergi samt granskning av elarbeten. Mariehamns Elnät gör på beställning utbyggnad av fibernätet samt utveckling och service av stadens gatubelysning och trafikljus. (Mariehamns Elnät, 2017)

Samhället blir allt mer beroende av en avbrottsfri elleverans och Mariehamns Elnät försöker därför åstadkomma en säker strömförsörjning till kunderna. Man åstadkommer säkerhet genom en effektiv organisation och fortlöpande planlagt underhåll av elnätet.

1.4.3 Nätstationer

Ställverket från Lervik i Ytternäs distribuerar skärgårdens nätstationer söder om Mariehamn. Nätstationerna distribueras med 10kV in på mellanspänningångar för att sedan transformeras med stationens transformator ner till 400/230V till konsumenter, antingen via kabelskåp eller direkt till förbrukaren. Angående skydden i stationerna, är endast transformatorerna skyddade med säkringar enligt (Intervju med Nordlund Mikael, Driftledare på Mariehamns Elnät, 2018):

- 50kVA - 10A
- 100kVA - 16A
- 200kVA - 25A

1.4.4 Transformatorerna

Man delar in transformatorer oftast i två grupper, torrisolerade och oljeisolerade. Distribution för stationer utomhus har vanligen oljeisolerade transformatorer. Varför man skulle välja en torrisolerad transformator är främst bättre brandsäkerhet då dessa inte självantänder och släcks normalt av sig själva vid extern brand. Under miljösynpunkt är de också fria från vätskor, gaser eller gifter, vilket passar bra vid användningsområden som vattentäkter. Transformatorernas storlek för skärgården varierar från 200kVA till 50kVA. (Lindberg, 2013)

1.4.5 Lervik ställverk

Skärgårdens utgång utgår från ställverket i Lervik Ytternäs med en transformering 45/10kV som visas i figur 2 nedan.



Figur 2 Ställverket i Lervik Ytternäs

I Lerviks station finns det en inkommande linje som är kopplad till en YNd11-kopplad transformator som transformerar ner spänningen från 45 kV till 10kV. Transformatorn, som har märkdata $47 \pm 6 \times 1,67\%$ / 10,5kV och 10MVA, har en lindningskopplare på 16 steg som gör att spänningen kan varieras mellan ca 38 och 52 kV. Som överspänningsskydd för transformatorn fungerar ventilavledare på uppspänningssidan, i uppspänningssidans stjärnpunkt samt en ventilavledare på transformatorns nedspänningssida.

Inkommande linjen har följande skydd (Nordberg, Kraftnät Åland, 2017 (Intervju med Christer Nordberg, Elnätschef på Kraftnät Åland, 2017):

- Strömberg SPAJ 3C5 J3 Överströmsskydd
- Strömberg SPAD 3A5 J6 Differentialskydd
- Strömberg SPAJ 1B1 J3 Tankskydd
- Strömberg SPAU 3220C1 Spänningsskydd.

En del av dem visas i figur 3 nedan.



Figur 3 Inkommande linjens skydd

Nedanför visar vi en SF6-brytare som sitter i ställverket för skärgårdens utgång.



Figur 4 SF6 brytare

2. STANDARDSER & DIREKTIV

2.1 IEC International Electrotechnical Commission

Den internationella elektrotekniska kommissionen (IEC) grundades år 1906 i syfte att säkra det internationella samarbetet när det gäller standardisering och certifiering inom el och elektronisk teknik. Denna förening bildas av de internationella utskotten i över 40 länder över hela världen.

IEC publicerar internationella standarder, tekniska handböcker och rapporter som är basen eller, i vilket fall som helst, en hänvisning av yttersta vikt för en nationell och europeisk standardiseringsverksamhet.

År 1991 IEC ratificerade samarbetsavtal med CENELEC (europeiskt standardiseringsorgan), för gemensam planering av nya standardiseringsaktiviteter och för parallell omröstning på standardutkast (CENELEC, 2018).

2.2 CENELEC Europeiska kommittén för elektroteknisk standard

CENELEC är den Europeiska kommittén för elektroteknisk standardisering och ansvarar för standardisering inom elektroteknikområdet. CENELEC förbereder frivilliga standarder som hjälper till att underlätta handeln mellan länder samt skapa nya marknader och minska efterlevnadskostnaderna och stödja utvecklingen av en gemensam europeisk marknad

CENELEC har som uppgift att (CENELEC, 2018):

- Tillfredsställa behoven hos den europeiska industrin och andra intressenter på marknaden inom områdena standardisering och bedömning av överensstämmelse inom el, elektronik och tillhörande teknik.
- Leda förbättringen av alla aspekter av produktkvalitet, produktsäkerhet, servicekvalitet och servicesäkerhet inom el, elektronik och tillhörande teknik, inklusive skydd av miljö, tillgänglighet och innovation, och för att bidra till samhällets välfärd.
- Stödja IEC: s internationella elektrotekniska kommission för att uppnå sitt uppdrag: "Att globalt erkännas som leverantör av standarder och bedömning av

överensstämmelse och relaterade tjänster som behövs för att underlätta internationell handel inom el, elektronik och tillhörande teknik.

2.2.1 Standardiseringsprocessen

Europastandarderna (EN) grundar sig på en enighet som speglar de ekonomiska och sociala intressena för 34 CENELEC-medlemsländer som kanaliseras genom sina nationella elektrotekniska kommittéer. De flesta standarder initieras av industrin. Andra standardiseringsprojekt kan komma från konsumenter, små och medelstora företag eller föreningar, eller till och med europeiska lagstiftare.

Förutom europeiska standarder producerar CENELEC andra referensdokument, som snabbt och enkelt kan utvecklas: Tekniska specifikationer, tekniska rapporter och workshopsavtal. (CENELEC, 2018)

2.3 EC-direktiv för elektrisk utrustning

Europeiska kommissionen säkerställer en europeisk harmonisering av en uppsättning väsentliga hälso- och säkerhetsfrågor och andra krav på allmänintresse för utrustning som släpps ut på marknaden. Så direktiv om elektrisk och elektronisk utrustning. Det finns huvuddirektiv som gäller för elektriska och elektroniska apparater, lågspänningsdirektiv (LVD) och elektromagnetisk kompatibilitet direktivet (EMC) (European Commission, 2018).

De juridiska instrumenten i detta sammanhang är (European Commission, 2018):

- LVD-direktivet 2014/35 / EU.
- Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) direktivet 2014/30 / EU.

Kommissionen arbetar för att säkerställa att de tillämpas korrekt och enhetligt av att (European Commission, 2018):

- Hålla regelbundna möten med EU-länder
- Ge vägledning
- Begära och utvärdera harmoniserade standarder till stöd för lagstiftning
- Hantera "skyddsklausulprocedurer"

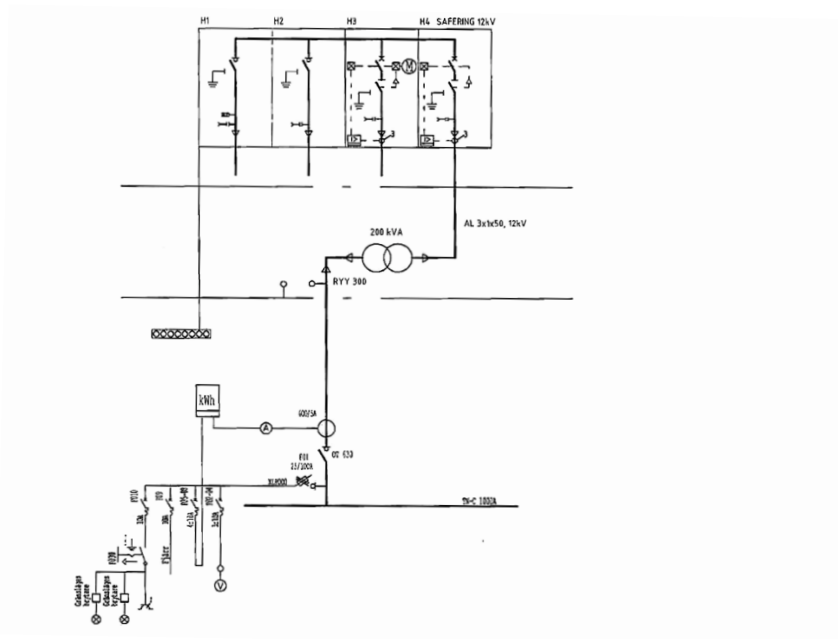
3. NETCON 100

I detta kapitel beskrivs Netcon 100:s teknik, uppbyggnad och funktion som är uppbyggt på basen av utdrag ur datablad för stationen.

Netcon 100 är en intelligent enhet för distributionsautomation, vilket innebär övervakning och styrning av mellan- och lågspänningsnätet. Med hjälp av fjärrstyrning och avancerad felavkänning kan störningar och avbrott på nät minskas. Här nedan visas figur 5 som är en överblick på Netcon 100.

Nätstations- och nätförbättringsinvesteringar görs på basen av analyser som gjorda med beräkningsprogram på basen av typkurvor. Det förekommer dock rätt stora fel i många fall, pga. att typkurvorna baseras på statistiska värden. Genom att uppnå mätresultat och trendkurvor som fås från Netcon 100 kan man minska uppkomsten av transformatorhaveri eller förminskad livslängd genom att upptäcka situationer som har för liten toppbelastning som orsakar tidvis överbelastning via realtidsmätning.

Felområdet och felen kan minskas med Netcon 100:s teknik för indikering och fellokalisering. Lokalisering av fel fås genom mätning av felreaktans, fel och riktning. Belastningar på nätet och nätstationerna kan styras och övervakas m.h.a. realtidsmätningar (Netcontrol 2014).



Figur 5 Linjeschema för Netcon 100 (Mariehamns elnät, Holtab, 2017)

3.1 Moduler

Här listas modulerna (Netcontrol 2014):

- HMI127 som visas i Figur.6 är en lokal manöverpanel för styrning av omkopplingsutrustning, display för mätdata och behandling av larm.



Figur 6 Netcon 100 panel (Netcon 100 -järjestelmän suojaustoimintojen vaikutus toimitusketjussa s.28)

- GW102 är huvudprocessormodul som innehåller systemkontrollfunktioner, datakommunikationstjänster, mätfunktioner, datainsamlingsfunktioner och larmfunktioner samt en programmerbar logisk styrenhet (PLC).
- PSU152 är ett nätaggregat med matningsspänning 90-264VAC, 45–65 Hz. PSU152 ger förbättrad batteriladdningsfunktion för övervakning och larm.
- COM103 är en kommunikationsmodul som används för SCADA övervakning.
- RCM130 är en fjärrenhet för fyra fränksiljare
- FDM112 är en nätverksfelsdetekteringsmodul. Det inkluderar fel-detektering, felreaktansberäkning och loggning av störningar inklusive teknisk mätning på MV-sidan för fyra matningsenheter.
- LVM111 lågspänningsövervakningsmodul, inklusive teknisk elkvalitetsmätning, lågspänningsfelsdetektering i form av en säkring och störningsloggning.

3.2 Spänningsmatning

Netcon 100 och tillhörande enheter kan matas antingen från en utgående matare (dvs. LV, eller MV transformator) eller genom matningskabel från LV-distributionsnätet. Kablarna måste alltid vara överströmsskyddade, vilket innebär att både kortslutning och överbelastningsskydd måste vara på plats. Vanligtvis används en enda 230/400 V ~ strömförsörjning för att mata ett PSU152-kort och som en mätningssingång till en LVM111. Överströmsskydd för 230/400 V ~ matningen måste alltid vara installerat i ett ställverk, men ytterligare skydd enheter kan om nödvändigt placeras i Netcon 100-skåpet. 24 V spänning matas från batteriladdarna på PSU152 kortet och batterierna. En extern batteriladdare eller nättaggregat kan användas i stället om det skulle behövas (Netcontrol group 2014, sid 63-64).

3.3 Datakommunikation

Netcon 100 kommunicerar med "SCADA" genom seriell port eller IP nätverk, men kan också använda båda parallellt. Det finns även möjlighet för inställning av "GPRS/3G". Ifall "GPRS/3G" används sätter man in ett sim kort på COM103-kortet. Utöver det behövs ett minneskort med brandvägg, "APN"- och "VPN"-inställningar måste ställas in samt säkerhetsidentifieringsinformation för enheten. Konfiguration av "Gateway" server kan behövas då enheten ansluts första gången (Netcontrol group 2014, sid 78).

3.4 Sensorer för mellanspänningsmätningar

Spänning och ström mäts för mellanspänningsnätet för att detektera linjefel och för att erhålla mätdata, effektkvalitet samt information om störningar. För detta ändamål ger FDM112-kortet breda mätområden när den används med lämpliga ström- och spänningssensorer.

Moderna brytare har vanligtvis inbyggda kapacitiva spänningssensorer (dvs. sensorer baserade på kapacitiv spänningsdelning med eller ansluten till spännings-närvaroindikatorer). Sådana sensorer kan ofta kopplas direkt till Netcon 100 mellanspänningsmätningsskortet. FDM112. FDM112 är främst avsedda för användning med Rogowski strömsensorer ("Rogowskispolar").

Emellertid kan befintliga "instrument" spännings- och strömtransformatorer i kopplingsenheten ofta utnyttjas av FDM112. Deras höga sekundära spänningar och strömmar

måste dock transformeras ner och omvandlas till spänning för FDM112-kortet (Netcontrol group 2014, sid 31).

3.4.1 Allmänna krav på spänningsmätning

Fasspänningar bör mätas på skenan. Mätning av transformatormatningen är emellertid också acceptabelt eftersom brytaren normalt är stängd så att matningen har samma spänning som skenan. Det är i alla fall viktigt att mäta spänningen från skenan för att säkerställa att den uppmätta spänningen är korrekt för riktningsfelindikationen och för effektberäkning (Netcontrol group 2014, sid 33).

3.5 Lågspänningsmätningar

Spänning och ström mäts vanligen från transformatorernas lågspänningssida för att erhålla mätdata, effektkvalitetsdata och information om störningar.

LVM111-kortet kan direkt mäta trefas- och neutralspänningar med nominella nivåer upp till 230/400 V ~. För högre spänningar måste lämpliga spänningstransformatorer användas för att minska spänningen.

Med lämpliga strömtransformatorer kan LVM111-kortet mäta trefasströmmar. De nuvarande transformatorerna ska ha en 1A eller 5A sekundärt och noggrannhetsklass som krävs av mätändamålet. De nuvarande transformatorerna är vanligtvis monterade på skenan i huvudbrytarutrymmet i en lågspänningscentral (Netcontrol group 2014, sid 54).

3.6 Transformatorns temperaturmätning

Transformatorns temperaturer mäts för att erhålla mätdata och göra det möjligt att få ett larm för en hög temperatur.

Temperaturen mäts normalt från övre kåpan i oljefyllda krafttransformatorer. Med torrtypen av transformatorer mäts de tre lindningarna alltid via inbyggda temperatursensorer och en fjärde temperatur mäts eventuellt från järnkärnan i krafttransformatorerna.

LVM111-kortet kan hantera signaler från upp till fyra Pt100-temperatursensorer. Sensorns nominella resistans kan ställas in mellan 100 Ω och 1000 Ω , och Pt1000 stöds också.

Kabelmotståndet kan kompenseras med hjälp av mjukvara, individuellt för varje sensor (Netcontrol group 2014, sid 54).

3.7 Strömförsörjning & batteribackup

230 V ~ nätaggregat kan vara utrustade med externa överspänningsskydd för att förhindra eventuella fel på enheten. Ett överspänningsskydd som har en larmkontakt kan anslutas till en digital ingång (t.ex. DI1) på PSU152-kortet.

Temperaturkompensationen för laddningsspänningen är en användbar egenskap hos den inbyggda batteriladdaren på PSU152 när bly-syra batterier används. Varje PSU152-kort har en extern batteritemperaturgivare (NTC-motstånd), som måste placeras nära batterierna. Det är praktiskt att binda temperatursensorer ihop i ett krymprör, men de måste vara galvaniskt isolerade från varandra.

Vid beräkning av backuptid antas 80% av den nominella batterikapaciteten vara tillgänglig genom batterilivslängden. Vid låga temperaturer kan den tillgängliga kapaciteten endast vara 50% jämfört med den tillgängliga vid 25°C (Netcontrol group 2014, sid 54).

3.8 Parametrar för återinkoppling

Oavsett om systemet ska utföra automatisk återanslutning beror det på konfigurationen av den aktiverade sekvensen, varje återanslutningssekvens har sina egna parametrar, som består av antalet försök före en spärrning sker samt olika tidsfördröjningar, startfördröjning, dödtid och diskrimineringstid. Alla dessa kan konfigureras till att vara noll (vilket är standard för startfördröjningen och diskrimineringstiden). Den fjärde tidsparametern, återvinningstid, är gemensam för alla sekvenser för en given strömbrytare.

Antalet automatiska återanslutnings försök som sker före spärrning av brytaren finns. Den kan konfigureras att vara mellan 0-3 där noll betyder att "auto-reclosing" är inaktiverad.

Startfördröjning är en fördröjning vid öppning av brytaren. Den sträcker sig från uppkomsten av en fel signal till det ögonblick då ett öppningskommando skickas till strömbrytaren, förutsatt att felsignalerna fortfarande är aktiva.

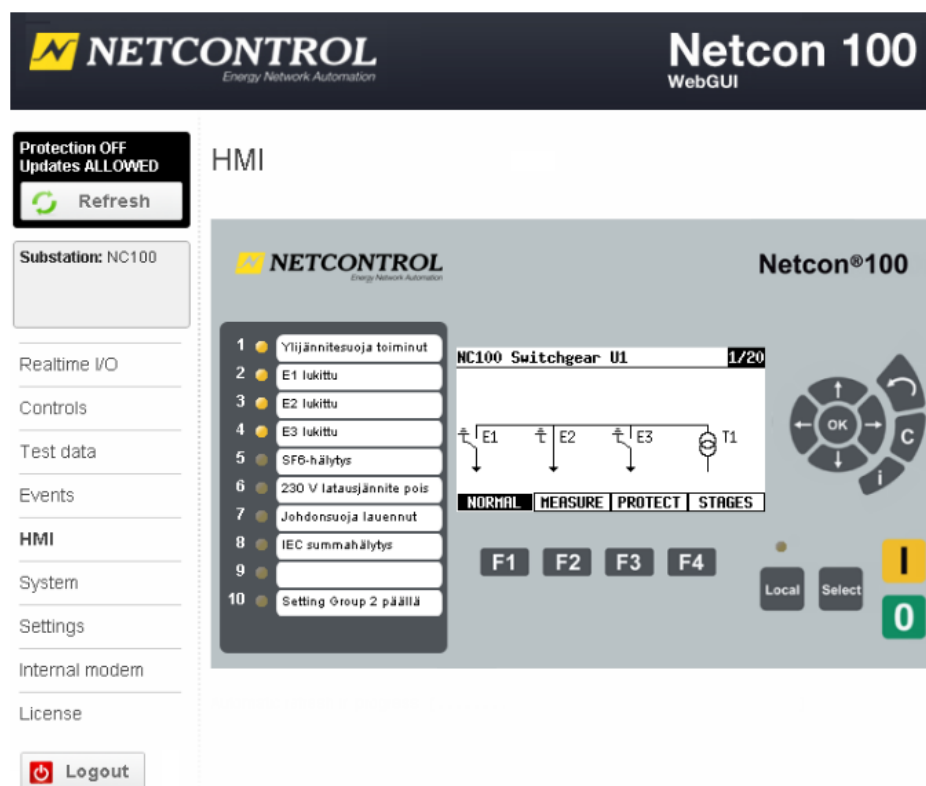
Dödtid är det intervall för vilken strömbrytaren är öppen före en automatisk återanslutning.

Diskriminerings-tid är ett speciellt intervall efter en automatisk återanslutning under vilket ett fel som anses vara kritiskt kommer att leda till att brytaren går till spärrläget – dvs. trippa och förbli öppen tills den återställs och stängs manuellt.

Reclaim time är en period efter en automatisk återanslutning och diskriminerings-tid som AR-logiken använder för att testa om felet fortfarande är kvar (om inte logiken återgår till "AR ready" status). Konfigurerade utlösningssignaler kommer alltid att leda till att brytaren öppnas. De triggers som anländer inom *Reclaim time*, ökar dock försöksräknaren och ökar sannolikheten för att AR-logiken går till spärrat tillstånd (Netcontrol group 2014, sid 179)

3.9 WebGUI

Konfigurering samt ändring av inställningar av Netcon 100 sker i användargränssnittet WebGUI som visas i figur 6 nedan där även olika signaler kan visas. Man kan köra WebGUI antingen lokalt eller via ethernet. Användaren kan se IO-signaler och loggar. En administratör kan man se både signaler och loggar samt styra brytare. Netcon-konfigurationen kan endast ändras som administratör. HMI127-panelen konfigureras även i WebGUI (Netcontrol u.d. sid 6).



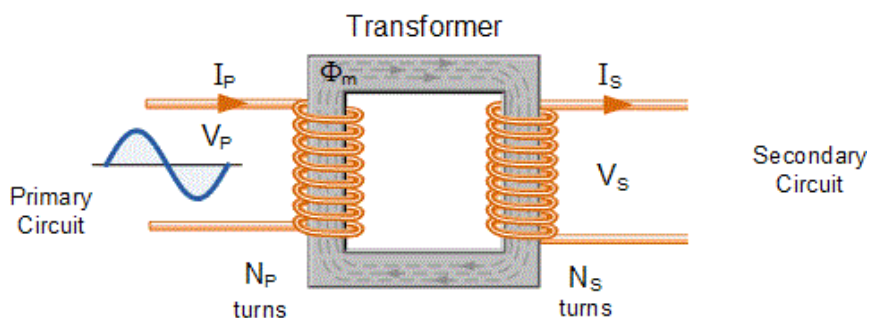
Figur 7 WebGUI (Ari Sahila sid.. 31)

4. TRANSFORMATOR

Transformatorn är en elektromagnetisk apparat bestående av två eller flera oberoende elektriska kretsar (lindningar) kopplade genom elektromagnetisk induktion. Transformatorn omvandlar en eller flera växelströmmar till ett eller flera växelströmssystem utan användning av roterande delar.

Transformatorers grundläggande funktion är i synnerhet att omvandla elektrisk kraft vid en spänning till någon annan spänning utan att kraftigt påverka den elektriska ström som den är avsedd för. För sin funktion beror transformatorn på fenomenet elektromagnetisk induktion som alstrar elektromotorisk kraft i en sluten ledande krets genom en förändring i magnetflödesförbindelse i den kretsen.

Fig. 7 visar en schematisk bild över en enfastransformator. Kärnan består av tunna isolerade lameller av elektriskt stålplåt som bär två lindningar som är isolerade från varandra. Om en av lindningarna t.ex. lindning 1 levereras med en växelspanning V_p , kommer strömmen I_p att flöda i den, vilket ger ett magnetiskt flöde, som varierar i samma frekvens som spänning V_p gör. Eftersom stålets permeabilitet är ca 800 till 1000 gånger luften, har en stor del av magnetflödet Φ_m även kallat huvudflödet sin väg genom kärnan. Den andra delen av flödet, det s.k. läckflödet Φ_L , som är mycket mindre i storleksordningen än huvudflödet, kopplas inte samman magnetiskt med lindning 2 och har sin väg genom luften. Läckageflödet spelar ingen roll i spänningsomvandling.



Figur 8 Transformator (Tranformer u.d.)

- | | |
|-----------------------------|--------------------------|
| N_p : Primärlindning | N_s : Sekundärlindning |
| V_p : Primärspänning | V_s : Sekundärspänning |
| I_p : Primärström | I_s : Sekundärström |
| Φ_m : Magnetiskt flöde | |

Om lindningen 2 är ansluten över en viss belastning kommer detta att ge upphov till strömflöde genom belastningen och denna ström kommer att orsaka en ökning av strömmen som strömmar i lindning 1. Således transformeras den elektriska energin som matas till lindningen först till elektromagnetisk energi och blir sålunda elektrisk energi igen förbrukad av lasten ansluten över lindningen 2 (Dasgupta, 2009).

5. SKYDD

5.1 Reläskydd

Reläskydd kan delas in grupper, statiska och elektromagnetiska skydd. Utgående från statiska skydd kan man därefter dela in dessa skydd i analoga, digitala och numeriska skydd (STF, 2006, Kapitel 4 sid 4-6).

5.1.1 Statiska reläskydd

För att sluta reläet i ett statiskt reläskydd tas energin från hjälpspänningen. Själva reläet fungerar som en halvledare där mätstorheten används för att styra elektroniska kopplingen skyddet har. Statiske reläskydd har högre känslighet än elektromagnetiska och har även mindre underhålls krav. De är dock känsliga mot elektriska störningar och för att behålla sin funktion kräver de hjälpspanning (STF, 2006, Kapitel sid 4-6).

5.1.2 Elektromagnetiska reläskydd

Jämfört med statiska skydd sluter elektromagnetiska skyddet med mätstorheter som omvandlas till mekaniska krafter som efter sekvens sluter utgångskontakter. Kraften som sluter kontakten motverkas av en fjäder som i sin tur bestämmer funktionsvärdet.

Mätstorhetens omvandling kan ske enligt följande principer (STF, 2006, Kapitel 4 sid 4-6):

- Elektrodynamisk kraft verkande på en spole i ett magnetfält
- Magnetisk kraftpåverkan på ett järnankare

Omvandlingen till kraft från mätstorheten är alltid proportionell mot strömmens effektivvärde. Därför påverkas även spänningsreläer av en ström som styr handlingen av reläkontakten. Elektromagnetiska reläskydd har en hög effektförbrukning på grund av energin som sluter kontakten, 1-10VA per fas. Detta gör att det ställs högre krav på strömtransformatorer som i sin tur resulterar till att man inte kan åstadkomma tillräckligt känsliga jordfelsskydd med elektromekaniska mätreläer (STF 2006 Kapitel 4 Sid 4-6).

5.2 Överströmsskydd

Ett överströmsskydd skyddar ledningarna och övrig kringutrustning mot för stora strömmar. Överströmmarna kan förekomma i form av överbelastningsströmmar eller

kortslutningsströmmar. Överbelastning en längre tid kan orsaka att ledningarna eller annan utrustning blir för varma och kan i värsta fall smälta. Överströmsskydd används därför och skyddar mot sådana strömmar. Med överbelastningsströmmar anses sådana strömmar som är ökande större än vid normal drift. Strömmen bryts då inte innan en vis tid har fortskridit, då strömmen är för stor. Om en kortslutningsström normalt är mycket större än en överbelastningsström, så behöver överströmsskyddet klara av att bryta strömmen snabbare, ifall strömmen når upp till en högre punkt. (Kanckos 2011, sid 20)

Överströmsskydd mäter oavbrutet belastningsströmmen. Belastningsströmmen kommer att begränsa inställningsmöjligheterna för att skyddet inte får fungera för den här strömmen. Det räcker inte att ta i beaktande startvärde och funktionsvärde, utan återgångsvärdet måste överstiga maximala belastningsströmmen för att säkerställa att skyddet inte löser ut pga. En kortvarig överström (STF, 2006, Kapitel 4 Sid. 12).

5.2.1 Överströmsskydd med konstanttid

Reläskydd med konstanttid innebär att skyddet för det aktuella skyddsobjektet har en förinställd konstanttid. Från tiden skyddet detekterar ett fel, skall en förbestämd tid gå ut innan utlösning sker. Påverkan på objektet förblir minimal då skyddet närmast felet kommer bryta innan nästa skydd på linjen hinner reagera. (STF, 2006)

Tidfördröjningen för utlösningen ställs vanligtvis på ett strömvärde en bit över normala märkströmmen. Det momentana utlösningsteget kan dock vara flera gånger större än vad anses vara normalt för linjen (STF, 2006).

5.2.2 Överströmsskydd med inverstid

Reläskydd med inverstid är en modernare typ av skydd. Denna funktion innebär att desto högre överström, desto kortare utlösningstid har vi. Inverstiden består av normalt av tre karakteristiker, normal invers, kraftig invers och extrem invers. Vad man väljer för tider beror helt på hur nätets resterande skydd enligt selektivitetsplan beter sig, se figur. Enligt följande formler kan man räkna ut de tre olika karakteristikerna (Sonnemann, 1950):

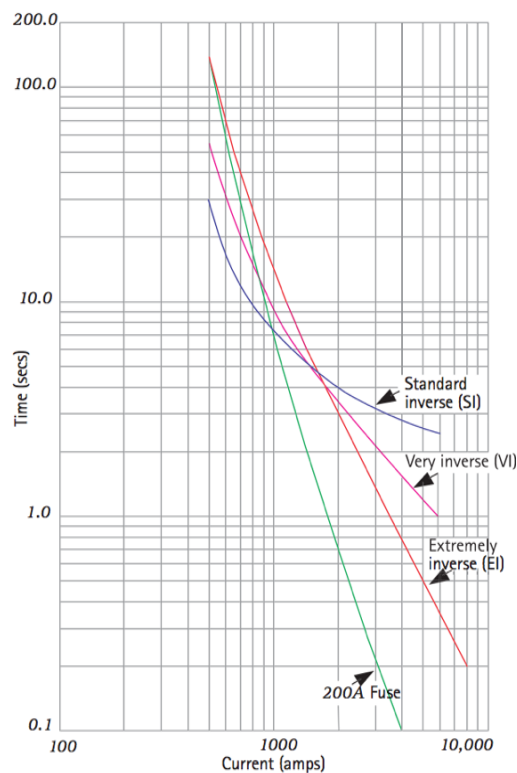
- Standard invers: $t = TMS \times \frac{0,14}{I_r^{0,02-1}}$
- Kraftig invers: $t = TMS \times \frac{13,5}{I_r - 1}$

- Extrem invers: $t = TMS \times \frac{80}{I r^2 - 1}$

TMS = tidmultipeln vanligen = 1

$I_r = I/I_s$ där I_s = inställd ström för relä, I = inkommande ström till relä.

Figur 10 visar skillnaden mellan en 200 A säkring och tre överströmsskydd med olika tider. Enligt IEC 255-4 klassar man SI invers bäst i distributionsnät med varierande kortslutningseffekt och då bakomliggande impedans är lägre en linje impedansen. VI invers passar bättre för nät med en mer konstant kortslutningseffekt. EI invers går bättre ur selektivitetssynpunkt när man pratar om säkringar och i elnät där större startströmmar förekommer. (Sonnemann, 1950)

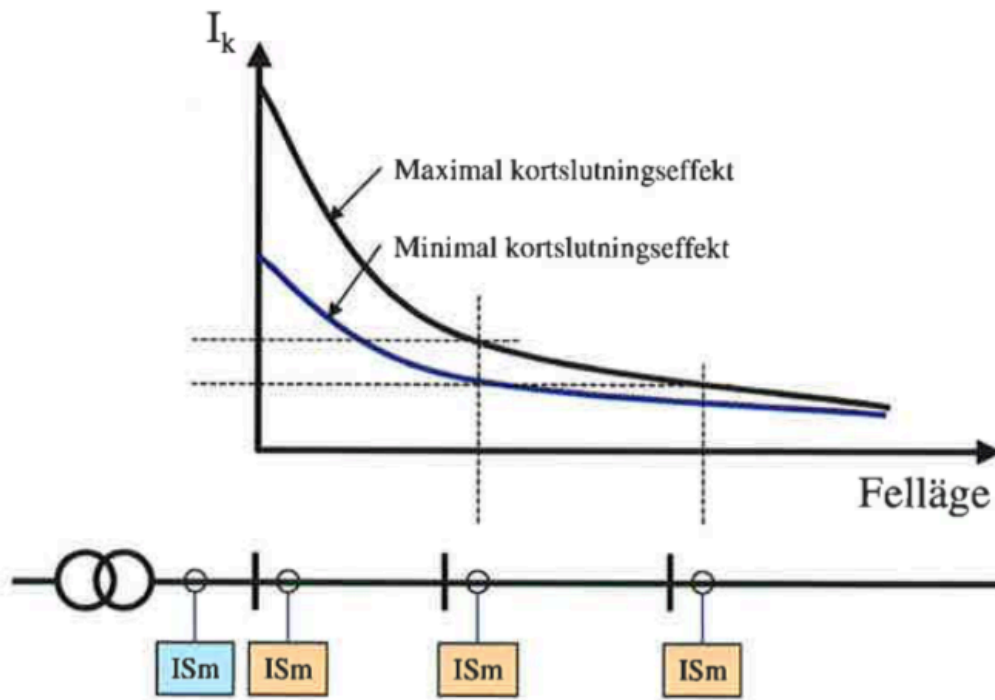


Figur 10 Utlösningsskärningskurvor för överströmsskydd med inverstid (Sonnemann, 1950)

5.3 Selektivitet

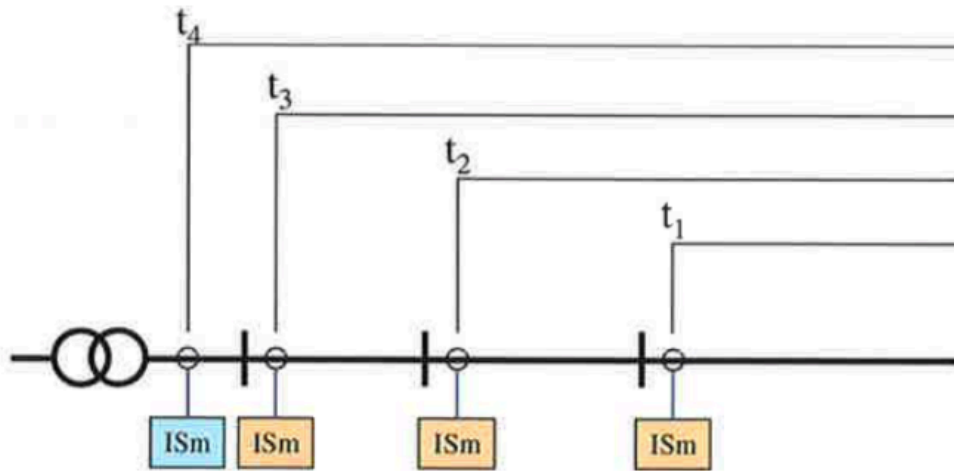
För att koppla bort fel på nätet från kortslutningar bör skydd koordineras enligt utlösningstider som går enligt en selektivitetsplan. Skydden löser ut i ordningen längst från inmatningspunkten för att sedan låta följande skydd i ordningen agera. För att åstadkomma detta kombinerar man tid och strömselektivitet eller enskild tidsselektivitet. (STF 2006)

Strömselektivitet baserar sig på att kortslutningar är störst närmast punkten vid fel stället och avtar ju längre ut i nätet man kommer, se figur 11. Med enbart fokus på tidselektivitet kan man ha samma ström för översiktliga skydd men skilda tidsinställningar, se figur 12. Dock faller denna metod rätt snabbt eftersom man då förlorar strömselektiviteten för nätet. (STF 2006)



Figur 11 Funktionalitet (STF Reläskydd 1, 2006)

$$t_1 < t_2 < t_3 < t_4$$



Figur 12 Funktionalitet för tidsselektivitet (STF Reläskydd 1, 2006)

5.3.1 Tidsinställningar

Ifall inverttidsreläer används bör avståndet mellan inverttidskurvorna inte understiga 0,4 s vid max kortslutningseffekt. Utrymme för många tidsintervall blir lätt för trångt om man har många brytare i serie. Även om snabba statiska reläskydd med hög noggrannhet och snabb återgång används bör konstanttidsreläer med snabbare intervall än 0,3 s ej användas.

För flera överströmsskydd i serie sätts $\Delta t = 0,3$ s mellan varje skydd. För jordfelsskydd i icke direkt jordat nät sätts $\Delta t = 0,5$ s mellan varje skydd (ABB 1991 sid. 13).

6. BERÄKNINGAR

6.1 Kortslutningsberäkningar

Den huvudsakliga uppgiften i detta ingenjörarbete har varit att till slut få fram data för att veta vilka skyddsinställningar för Netcon100 som ska göras. Vi har utgått från att räkna symmetriska kortslutningar för respektive station med transformator i utgående led, med start från utgången vid Lervik, till Järsö skola som slutstation med bakomliggande stationer, så som Häggsudden och Björkö Södra, Östra och Norra.

För att beräkna allt detta har vi behövt börja vid ingången till Lervik ställverket på 45kV-sidan. Vi har enligt data en potentiell I_{knet} på 1,4kA på ingången vilket resulterar till en Z_{knet} på 21,34 Ω för ingången 45kV. Följande formel har använts (ABB, 2008):

$$Z_{knet45kV} = \frac{c \times V_{net}}{\sqrt{3} \times I_{knet}} = \frac{1,15 \times 45kV}{\sqrt{3} \times 1,4 kA} = 21,34 \Omega$$

$Z_{knet45kV}$: kortslutningsimpedans 45kV

V_{net} : Inkommande spänning till ställverk

I_{knet} : Kortslutningsström vid ingången till ställverk

c : Spänningsfaktor, för simulering av effekter av fenomen så som

- Spänningsvariation över tid
- Transformatorförluster
- Transienta fenomen från roterande maskiner (motorer & generatorer)

Genom att ha räknat ut Z_{knet} kan vi räkna ut vad följande I_{k3F} blir för skärgårdens utgång. Transarkablageret AHXLMK-W 3x1x300mm² som är 20m, kommer efter Transformatorn 45/10kV och behöver beaktas för att få ut totala kortslutningsimpedansen Z_{Tk} . Eftersom ”felet” ligger på 10kV-sidan när vi räknar I_{k3F} för skärgårdens utgång behövs alla parametrar som är beräknade från 45 kV sektorn relateras till alla framåtliggande punkter i skärgårdens nät enligt 45/10kV för att få

rätt beräknad Z_{Tk} . Samtliga skenor som ingår i ställverket försummas då deras impedans på grund av deras längd inte kommer påverka slutresultatet nämnvärt.

$$K = \frac{45kV}{10kV} = 4,5$$

K : Förhållande för 45/10kV

$$Z_{knet10kV} = \frac{Z_{knet45kV}}{K_{45/10}^2} = \frac{21,34\Omega}{4,5^2} = 1,0538\Omega$$

$Z_{knet10kV}$: Kortslutningsimpedansen för 10kV för skärgårdens utgång

$$X_{knet10kV} = 0,995 \times Z_{knet10kV} = 1,0486 \Omega$$

$X_{knet10kV}$: Kortslutningsreaktansen för skärgårdens utgång

$$R_{knet10kV} = 0,1 \times X_{knet10kV} = 0,10486 \Omega$$

$R_{knet10kV}$: Kortslutningsresistansen för skärgårdens utgång

När vi har räknat ut $R_{knet10kV}$ och $X_{knet10kV}$ skilt för utgången kan vi sedan gå vidare och beräkna totala R_{TK} (total kortslutningsresistans i punkt) och X_{TK} (total kortslutningsreaktans i punkt) för bakomliggande parametrar så som kabel och Lerviks transformators R_{TR} och X_{TR} vilket sammanställs till ett Z_{Tk} , för att vi slutligen ska kunna räkna ut vårt I_{k3F} för utgången.

För bakomliggande kabel har vi följande data:

- Kabel: 10MA300Y
- Längd: 0,02km
- Resistans (Ω/km) : 0,1
- Reaktans (Ω/km) : 0,1
- R total: $0,1 \times 0,02\text{km} = 0,002 \Omega$
- X total: $0,1 \times 0,02\text{km} = 0,002 \Omega$

R och X för kabeln kallar vi för RCMV och XCMV. Dessa kommer inte skilja något mot varandra för denna kabel, men när vi sedan beräknar ner från utgången till stationerna kommer kablarnas RCMV och XCMV skilja mer naturligt varandra åt på grund av längden.

När vi har data för bakomliggande kabel behöver vi sedan räkna parametrar för bakomliggande transformator, Lervik detta fall.

$$Z_{TR} = \frac{V_{2n}^2 \times u_{k\%}}{100 \times S_{nTR}} = \frac{10kV^2 \times 5,57}{100 \times 10000 \times 10^3} = 0,575\Omega$$

Z_{TR} : Transformatorns impedans

V_{2n} : Sekundärspänning

$U_{k\%}$: Kortslutningsspänning i procent

S_{nTR} : Märkeffekt

$$P_{PTR} = \frac{p_{k\%} \times S_{nTR}}{100} = \frac{4,5}{100} \times 10000 \times 10^3 = 450kW$$

P_{PTR} : Potentiella transformatorförluster

$p_{k\%}$: Korslutningseffekt i procent

$$I_{2n} = \frac{S_{nTR}}{\sqrt{3} \times V_{2n}} = \frac{10000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 10kV} = 577,4 A$$

I_{2n} : Ström sekundärsida

$$R_{TR} = \frac{P_{PTR}}{3 \times I_{2n}^2} = \frac{450000W}{3 \times 577,4A^2} = 0,45\Omega$$

R_{TR} : Transformatorns resistans

$$X_{TR} = \sqrt{(Z_{TR}^2 - R_{TR}^2)} = \sqrt{0,575^2 - 0,45^2} = 0,358\Omega$$

X_{TR} : Transformatorns reaktans

$$R_{TK} = R_{knet10kV} + R_{CMV} + R_{TR} = 0,555\Omega$$

R_{TK} : Total kortslutningsresistans i punkten

$$X_{TK} = X_{knet10kV} + X_{CMV} + R_{TR} = 1,407\Omega$$

X_{TK} : Total kortslutningsreaktans i punkten

$$Z_{TK} = \sqrt{R_{TK}^2 + X_{TK}^2} = 1,512\Omega$$

Z_{TK} : Total kortslutningsimpedans i punkten

$$I_{k3F} = \frac{c \times V_{2n}}{\sqrt{3} \times Z_{TK}} = 4390,7 A$$

I_{k3F} : 3-fasig symmetrisk kortslutningsström

Vi har nu beräknat fram I_{k3F} för utgången för skärgården. Samtliga steg återskapas när man räknar ner i nätet. Från att ha räknat ner från förhållande 45/10kV beräknar vi ner till lågspänningssidan för samtliga stationer i nätet för resterande beräkningar och behöver därför räkna om bakomliggande impedans för 10/0,4kV.

6.2 Excelkalkyl

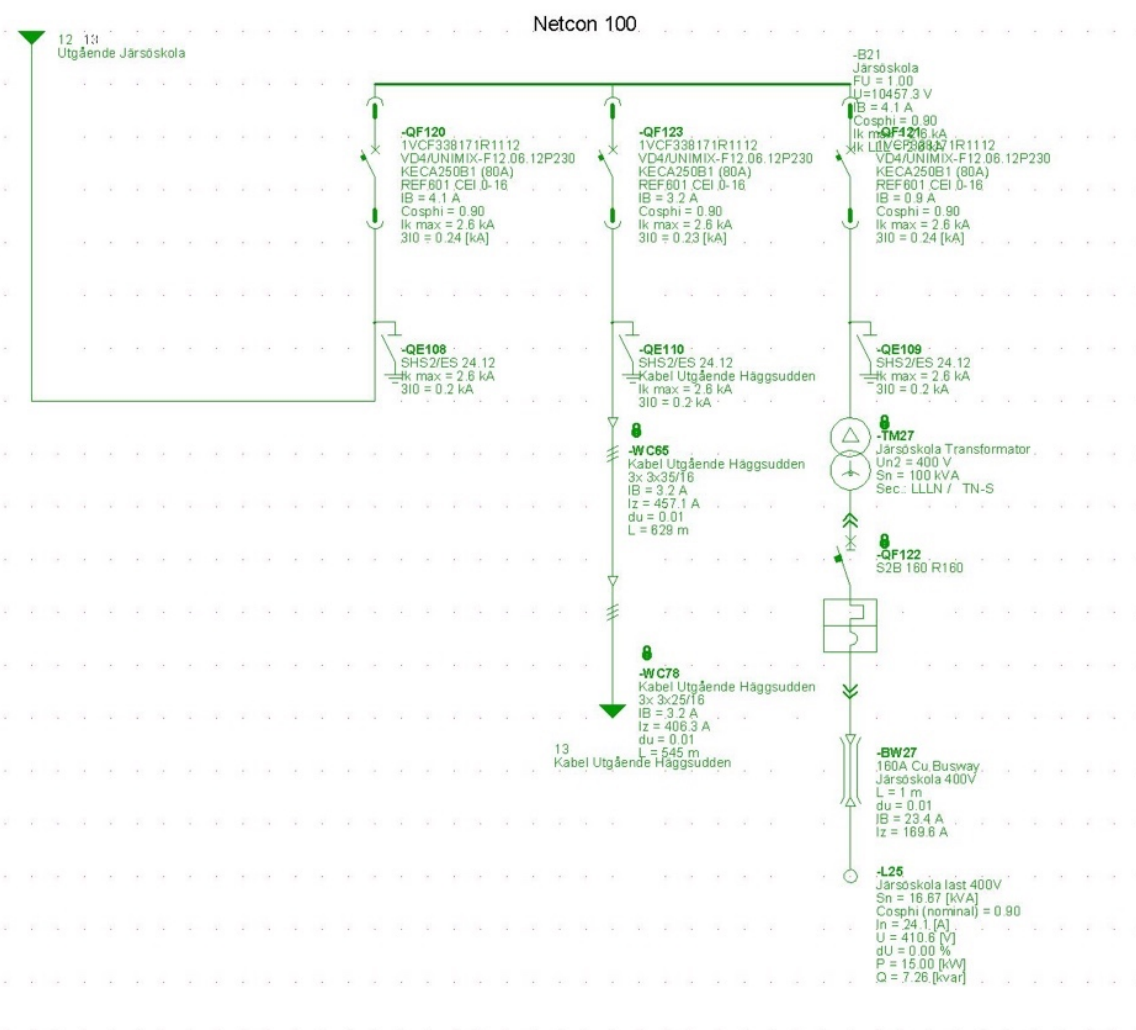
För att få struktur för alla våra beräkningar och enklare överblick vid ändringar av data, som kan komma att ändras i framtiden så har vi byggt upp en Excelkalkyl. Kalkylen är det vi slutligen levererar till Mariehamns Elnät som resultat. Excelkalkylen finns bifogad i bilaga 2.

6.3 ABB E-design

6.3.1 Docwin

E-design DOC är ett ABB-program för att rita och beräkna enlinjeschema av låg och mellanspannings elanläggningar, för val av skyddsanordningar. Det är möjligt att dra enlinjeschema av en komplett installation för att dimensionera transformatorer och kablar samt att välja och samordna kopplings- och skyddsanordningar och erhålla en beräkning av allt material (Fortbildningskurs med Lindström Thomas, Sales manager på ABB, 2017).

Men det är också möjligt att använda DOC som en elektrisk kalkylator för kabeldimensionering, spänningsfallsberäkning, kortslutningsberäkningar, enhetsval, brytares utlösningsinställningar, kabelskydd, motorurval mm. Figur 13 nedan visar ett exempel på enlinjeschema från vår ritning i Docwin för Netcon 100 stationen.



Figur 13 Överblick Docwin Järsö station

De viktigaste funktionerna i programmet är (Fortbildningskurs med Lindström Thomas, Sales manager på ABB, 2017):

- Rita enlinjeschema
- Rita diagram över hjälpkretsar
- Beräkning av linjeströmmen och spänningsfall
- Beräkning av kortslutningsströmmar
- Dimensionering låg- och mellanspänningskablar
- Dimensionering skyddsanordningar
- Inställning och samordning av enheter
- Skriva ut enlinjeschema och projektdokumentation.

6.3.2 Curves

E-design Curves är till för att studera utlösningstider och de viktigaste skyddsfunktionerna:

- Studera skydd mot överbelastning
- kortslutning och indirekta kontakter,
- Selektivitet och back-up mellan ABB skyddsanordningar.

Curves är en programvara för inställning av utlösningens egenskapers skyddsanordningar och för att verifiera selektivitet mellan ABB-brytare i låg och mellanspänningsanläggningar.

Curves tillåter visualisering av tidsströmmen, genomsläpp av energi och toppbegränsande egenskaper hos ABB:s låg- och mellanspänningsenheter samt kablar och transformatorer (Fortbildningskurs med Lindström Thomas, Sales manager, ABB, 2017).

6.4 Skyddsinställningar

Skyddsinställningar för linjens överströmsskydd består av två funktionssteg, ett tidsfördröjt steg ($I>$) och ett momentansteg ($I>>$). Det finns också skydd med flera än två funktionssteg.

Tidsfördröjda steget beräknas utgående ifrån den tvåfasiga kortslutningen (I_{k2F}) på linjen. För att uppnå en ändamålsenlig funktion används faktorn 1,2 respektive 0,75 som kompensering för osäkerheter i data och verkliga förhållanden (Westman, 2017, sid 16).

Momantansteg beräknas utgående ifrån den trefasiga kortslutningen (I_{k3F}) som skyddet skall bryta för. För att kompensera osäkerheter används en säkerhetsfaktor på 1,2. Man tar även hänsyn till skyddets känslighet mot den likströmskomponent som uppstår vid en trefasig

kortslutning, pga. att strömmens toppvärde kan bli dubbelt så stort. Då används en faktor Kt $kt > 1$ som tar i beaktande strömreläernas transienta översräkning (Westman, 2017, sid 16).

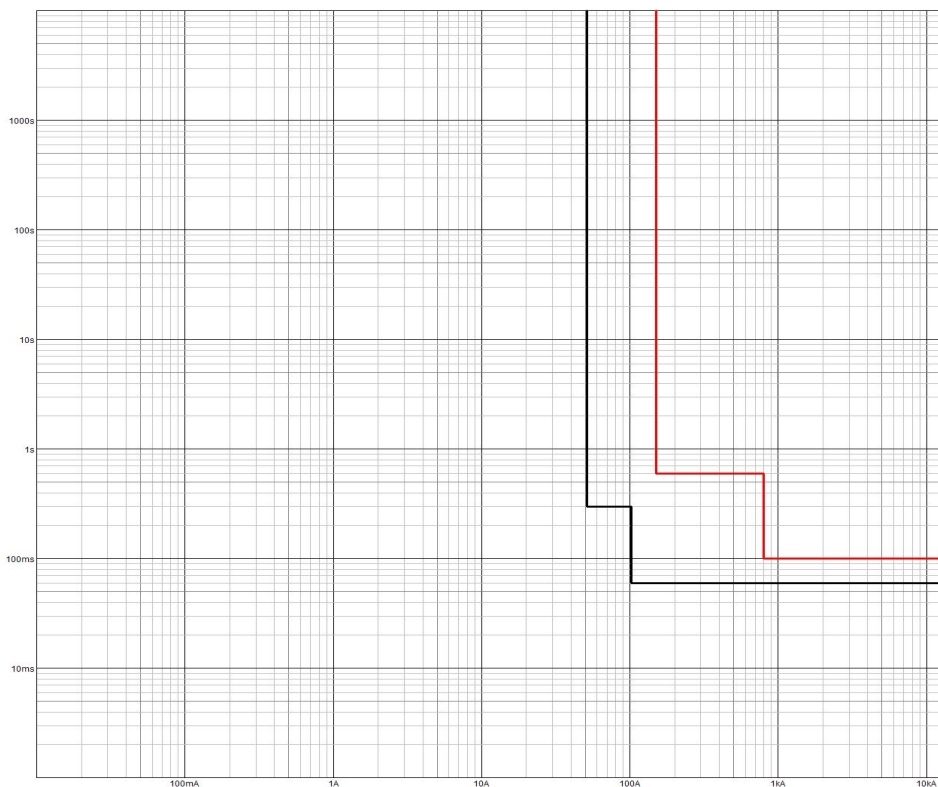
Dessa har vi beräknat m.h.a. STF:s normer för inställning av överströmsskydd (STF, 2006, Kapitel 5 sid.17).

$$I \geq 0,75 * Ik_{2Fmin}$$

$$I \gg \geq 1,2 * Kt * Ik_{3Fmax}$$

6.5 Resultat

Slutligen har vi kommit till ett resultat och ett förslag för hur Netcon 100 ska ställas in för att fungera selektivt i nätet. På basen av vår Excelkalkyl som skett enligt symmetrisk kortslutningsberäkning, har vi beräknat fram inställningarna för hur överströmsskyddet skall ställas in. Vi har använt oss av ABB E-design Curves för att få fram brytningskurvor för Netcon 100 som vi sedan har jämfört med överströmsskyddet på ställverket i Lervik Ytternäs som är SPAJ 3C5 J3. Figur 14 ger överblick för selektivitetskurvor då man jämför och ställer in vilket skydd som skall bryta först.



Figur 14 Tidskurva $I > / I >>$ Lervik (röd) - Järsö (svart)

Enligt figur 15 är röd kurva Lerviks inställda skydd och följande svarta kurva är för Järsö station. Om man avläser från höger till vänster i bild ser man tydligt att Järsö med högsta symmetriska kortslutningsström I_{k3F} 3,9kA bryter från höger till vänster i alla lägen före Lerviks skydd för $I >$ och $I \gg$.

$$R_{TK} = R_{knet400V} + R_{CMV...+...} + R_{TR} = 0,0508\Omega$$

$$X_{TK} = X_{knet400V} + X_{CMV...+...} + R_{TR} = 0,0453\Omega$$

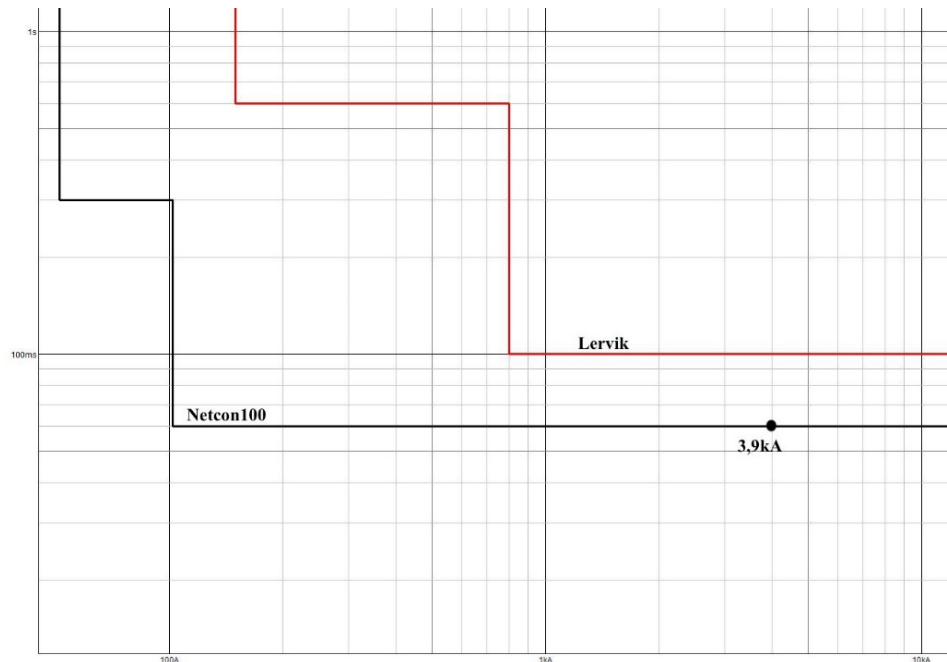
$$Z_{TK} = \sqrt{R_{TK}^2 + X_{TK}^2} = 0,068\Omega$$

$$I_{k3F} = \frac{c \times V_{2n}}{\sqrt{3} \times Z_{TK}} = 3,9kA$$

$$I_{k2F} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{k3F} = 3,3kA$$

$$I > = 0,75 * I_{k2} = 49,5 A$$

$$I \gg \geq 1,2 * Kt * I_{k3} = 103A$$



Figur 15 Järsö 3.91kA

7. SLUTSATS

För att på ett korrekt sätt bestämma skyddsinställningar i ett distributionssystem krävs information om de felstorheter som kan uppstå i de olika delarna av elnätet. För att få en överblick över selektiviteten mellan reläskydd och annan skyddsutrustning som sitter i serie med varandra rekommenderas att man gör en grafisk överblick där all skyddsutrustning visas. Det är viktigt att poängtera att beräkningar och framställningen av Excelkalkylen enbart är gjorda på teoretiskt framtagna värden. Den slutgiltiga Excelkalkylen tar inte hänsyn till att flera laster av olika typer, exempelvis resistiva laster. Samtliga kablar är beräknade enligt temperatur 20°C vilket påverkar förluster och strömmar i verkligheten. Övergångsreaktanser samt spänningsvariationer beroende på plats och tid tas i beaktande genom spänningsfaktorn c .

Praktiska tester har inte utförts för att kontrollera att de teoretiskt beräknade värden överensstämmer med praktiskt framtagna värden. Simuleringar har dock utförts i E-design ABB Docwin där vi har ritat upp nätet och beräknat enligt normen IEC 60909–1 för kortslutningsberäkning samt IEC 60364 för kabeldimensionering som programmet använder sig av. Vi har genom dessa simuleringar kommit till ett jämförbart resultat då vi jämfört vår Excelkalkyl med ABB Docwins beräkningar. För skyddsinställningarna för Järsö och Lervik har vi simulerat selektiva tidskurvan utgående från våra manuella beräkningar i programmet Curves med skydd motsvarande de skydden som är i Lervik samt Netcon för att få den selektivitet Mariehamns Elnät önskar. Därmed anser vi att vi har fullgjort vårt ingenjörsarbete till uppdragsgivaren och levererat kortslutningsberäkningar för att kunna ge ett förslag på hur $I>$ samt $I>>$ ska ställas in för Netcon 100.

REFERENSER

ABB. (1991). *Reläskydd för distributionsnät*.

ABB. (2008). *MV/LV transformer substation*. Hämtad från

[http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/7b44883d7fae1d23c125761f004e1194/\\$file/vol.2.pdf](http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/7b44883d7fae1d23c125761f004e1194/$file/vol.2.pdf)

CENELEC. (2018). *Who we are*. Hämtad från

<https://www.cenelec.eu/aboutcenelec/whoweare/index.html>

CENELEC. (2018). *What we stand for*. Hämtad från

<https://www.cenelec.eu/aboutcenelec/whatwestandfor/index.html>

CENELEC. (2018). *What we do*. Hämtad från

<https://www.cenelec.eu/aboutcenelec/whatwedo/index.html>

Dasgupta, I. (2009). *Power transformers quality assurance*. Hämtad från

<https://ebookcentral.proquest.com/lib/aland-ebooks/detail.action?docID=442137> , New Age

International Pvt. Ltd.

European Commission. (2018). *What the Commission is doing*. Hämtad från

http://ec.europa.eu/growth/sectors/electrical-engineering/ec-support_en

Electronics tutorial. (u.d.). *Transformer*. Hämtad från

<http://www.electronics-tutorials.ws/transformer/trans65.gif>

International Electro Technical Commission. (2018). *Profile*. Hämtad från

<http://www.iec.ch/about/profile/>

Mariehamns Elnät. (2017). *Om oss*. Hämtad från

<https://www.elnat.ax/om-oss>

Nationalencyklopedin. (2018). *Distributionsnät*. Hämtad från

<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/starkstromsnat/distributionsnat>

Netcontrol. (2014). *Teknisk Data*. Hämtad från

<https://www.netcontrol.com/swe/produkter/stationsautomation/natstationer/netcon-100/teknisk-data/>

Netcontrol group. (2014). *Engineering and configuration manual Netcon 100*

Netcontrol. (u.d.). *WebGUI*. Hämtad från

https://www.netcontrol.com/files/3515/1999/2581/M00104-BR-EN-9_Netcon-100-brochure.pdf

Kanckos, S. (2011). *Planeringsarbete för byte av skyddsrelä*. (Examensarbete

Yrkeshögskolan Novia Vasa) Hämtad från <http://www.theseus.fi/handle/10024/33036>

Paju, R. (2015). *Netcon 100 -järjestelmän suojaustoimintojen vaikutus toimitusketjussa*.

(Metropolia Ammattikorkeakoulu, Helsinki) Hämtad från

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/91437/Paju_Rene.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sahila, A. (2016). *Vikaindikaattorit elenian jakeluverkossa* (Temperen ammattikorkeakoulu, Tampere) hämtad från

<http://docplayer.fi/47708506-Vikaindikaattorit-elenian-jakeluverkossa.html>

STF Ingenjörutbildning AB. (2006). *Reläskydd 1 Grundkurs*.

Sonnemann, W.K. (1950). *Overcurrent Protection for Phase and Earth Faults*. Hämtad från

<http://www.fecime.org/referencias/npag/chap9-122-151.pdf>

BILAGOR

Bilaga 1 Myndighetskrav på jordslutning

- Enpolig jordslutning
Anläggningen i vilken ingår luftledning skall vara så anordnad, att enpolig jordslutning automatiskt fränkopplas. Annan anläggning skall vara så beskaffad, att enpolig jordslutning automatiskt antingen fränkopplas eller signaleras.
- Fränkopplingstiden vid enpolig jordslutning bör ej vara längre än som erfordras för selektivitet mellan jordfelsskydden och den bör normalt icke överstiga 5 s. .
- I anläggningen med luftledning (ej förstärkt utförande, plastbelagda ledare eller hängspiralkabelledning) bör fränkoppling kunna ske vid en övergångsresistans i felstället upp till 3000 ohm eller högre.
- Enpolig jordslutning i kabelnät får antingen signaleras eller fränkopplas.
- I anläggning i vilken ingår friledning i förstärkt utförande, friledning med plastbelagda ledare eller hängspiralkabelledning skall jordfelsskydd
 - ha högsta möjliga känslighet vid detektering av jordslutning
 - vara så anordnat att reläfunktionen för fränkoppling är säkerställd för resistansvärden upp till 5000 ohm eller högre om detta är möjligt med hänsyn till risken för obefogade funktioner.

https://library.e.abb.com/public/3137ea3e24d59789c125754d00499c09/1MDA07017-SV_sv_Relaskydd_for_distributionsnat.pdf

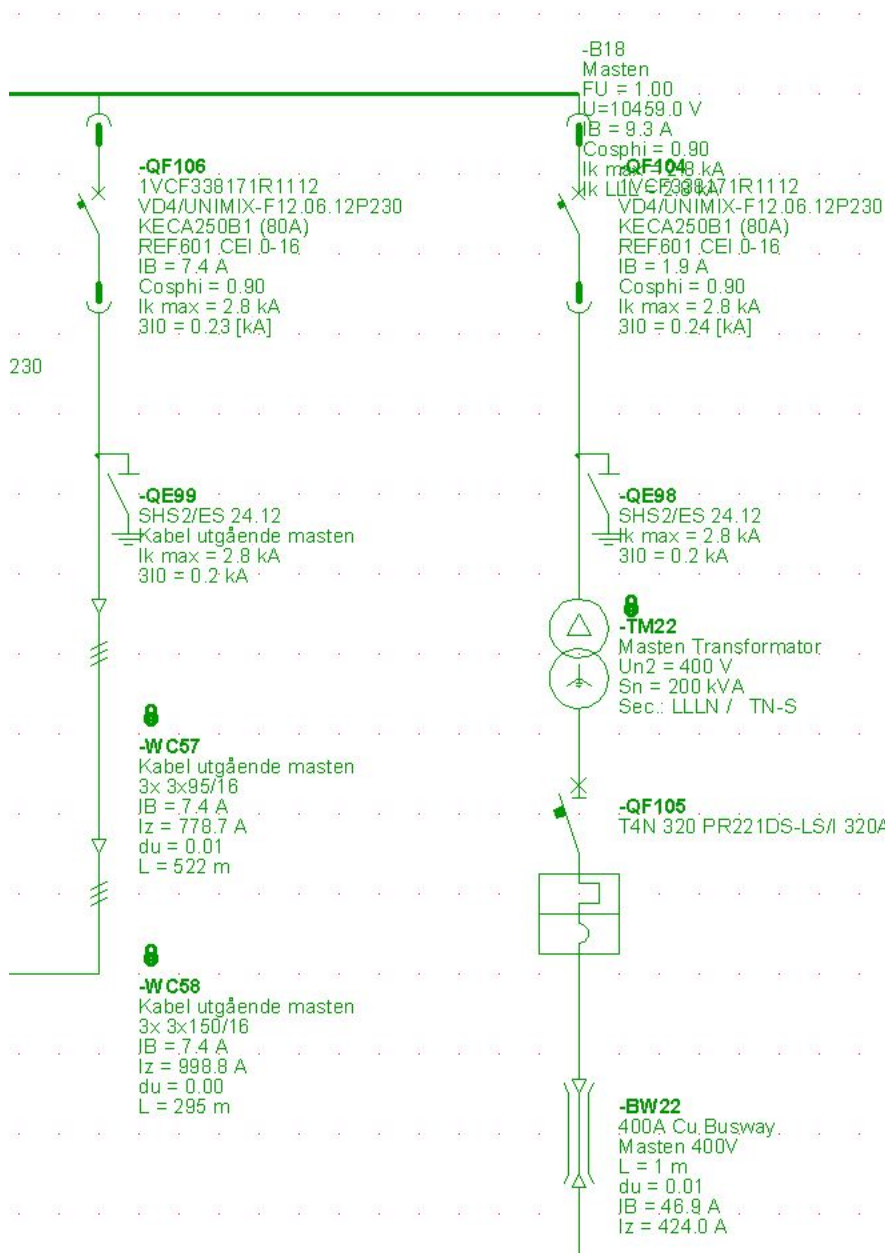
Bilaga 2 Excelkalkyl För Kortslutningsberäkningar

SAMTLIGA TRANSFORMATORER I NÄTET										
Transformatorer	Sn (kVA)	Un (kV)	Uk %	Pk %	ZTR (ohm)	PPTR (W)	I2n(A)	RTR (ohm)	XTR (ohm)	
Lervik 45/10	10000	10,5	10,5	5,75	4,5	0,575	450000	577,4	0,450	0,358
Sleipner	100	0,4	0,4	4	3,0	0,064	3000	144,3	0,048	0,042
Espholm	200	0,4	0,4	4	3,0	0,032	6000	288,7	0,024	0,021
Skobholm	100	0,4	0,4	4	3,0	0,064	3000	144,3	0,048	0,042
Granhalm	200	0,4	0,4	4	3,0	0,032	6000	288,7	0,024	0,021
Slätholm	200	0,4	0,4	4	3,0	0,032	6000	288,7	0,024	0,021
Styrö	100	0,4	0,4	4	3,0	0,064	3000	144,3	0,048	0,042
Korsö	100	0,4	0,4	4	3,0	0,064	3000	144,3	0,048	0,042
Nätö	200	0,4	0,4	4	3,0	0,032	6000	288,7	0,024	0,021
Lastklubb	50	0,4	0,4	4	2,5	0,128	1250	72,2	0,08	0,100
Styrströms	100	0,4	0,4	4	3,0	0,064	3000	144,3	0,048	0,042
Nätösund	100	0,4	0,4	4	3,0	0,064	3000	144,3	0,048	0,042
Bergö	100	0,4	0,4	4	3,0	0,064	3000	144,3	0,048	0,042
Innerstunas	200	0,4	0,4	4	3,0	0,032	6000	288,7	0,024	0,021
Sipinens	100	0,4	0,4	4	3,0	0,064	3000	144,3	0,048	0,042
Skedholm	200	0,4	0,4	4	3,0	0,032	6000	288,7	0,024	0,021
Granö	100	0,4	0,4	4	3,0	0,064	3000	144,3	0,048	0,042
Masten	200	0,4	0,4	4	3,0	0,032	6000	288,7	0,024	0,021
Dragsvik	200	0,4	0,4	4	3,0	0,032	6000	288,7	0,024	0,021
Hästkär	100	0,4	0,4	4	3,0	0,064	3000	144,3	0,048	0,042
Langnäs	100	0,4	0,4	4	3,0	0,064	3000	144,3	0,048	0,042
Båtmansholmen	100	0,4	0,4	4	3,0	0,064	3000	144,3	0,048	0,042
Järsökola	100	0,4	0,4	4	3,0	0,064	3000	144,3	0,048	0,042
Häggsudden	50	0,4	0,4	4	2,5	0,128	1250	72,2	0,08	0,100
Björkö N	50	0,4	0,4	4	2,5	0,128	1250	72,2	0,08	0,100
Björkö Ö	50	0,4	0,4	4	2,5	0,128	1250	72,2	0,08	0,100
Björkö S	50	0,4	0,4	4	2,5	0,128	1250	72,2	0,08	0,100

SAMTLIGA KABLAGE I SKÄRGÅRDENS NÄT											
Kabel	Längd (km)	r (ohm/km)	x (ohm/km)	r total	x total	RCMV 10kV (ohm)	XCMV 10kV (ohm)				
10MA300XY	0,02	0,1		0,1	0,002	0,002	0,002	0,002			
Lervik-Sleipner											
Startpunkt	Kabel	Längd (km)	r (ohm/km)	x (ohm/km)	r (ohm-kabellängd)	x (ohm-kabellängd)	r total	x total	RCLV 400V (ohm)	XCLV 400V (ohm)	
A2-A3	10MA185XC	0,25291	0,164		0,0879	0,041	0,022	0,243	0,130	0,000388	0,000208225
A3-A4	10MA185XC	0,47599	0,164		0,0879	0,078	0,042				
A4-A5	10MA185XC	0,53112	0,164		0,0879	0,087	0,047				
A5-A6	10MA185XC	0,22053	0,164		0,0879	0,036	0,019				
Total:		1,48055									
Sleipner-Espholm											
Kabelföjd	Kabel	Längd (km)	r (ohm/km)	x (ohm/km)	r (ohm-kabellängd)	x (ohm-kabellängd)	r total	x total	RCLV 400V (ohm)	XCLV 400V (ohm)	
A6-A60	10MA50XC	0,51723	0,64		0,106	0,331	0,055	0,450	0,075	0,000720077	0,000119263
A60-A61	10MA50XC	0,06882	0,64		0,106	0,044	0,007				
A61-A62	10MA50XC	0,11715	0,64		0,106	0,075	0,012				
Total:		0,7032									
Sleipner-Skobbholm											
Kabelföjd	Kabel	Längd (km)	r (ohm/km)	x (ohm/km)	r (ohm-kabellängd)	x (ohm-kabellängd)	r total	x total	RCLV 400V (ohm)	XCLV 400V (ohm)	
A6-A7	10MA185XC	0,06025	0,164		0,0879	0,010	0,0053	0,2466	0,1322	0,0003945	0,000211442
A7-A8	10MA185XC	0,24218	0,164		0,0879	0,040	0,0213				
A8-A9	10MA185XC	1,201	0,164		0,0879	0,197	0,1056				
Total:		1,50343									
Skobbholm-Granholm											
Kabelföjd	Kabel	Längd (km)	r (ohm/km)	x (ohm/km)	r (ohm-kabellängd)	x (ohm-kabellängd)	r total	x total	RCLV 400V (ohm)	XCLV 400V (ohm)	
A9-A57	10MA70XC	0,50694	0,44		0,09	0,223	0,046	0,223	0,046	0,000356886	7,29994E-05
Total:		0,50694									
Granholm-Slättholm											
Kabelföjd	Kabel	Längd (km)	r (ohm/km)	x (ohm/km)	r (ohm-kabellängd)	x (ohm-kabellängd)	r total	x total	RCLV 400V (ohm)	XCLV 400V (ohm)	
A57-A58	10MA50XC	0,06706	0,64		0,106	0,043	0,007	0,677	0,112	0,001082911	0,000179357
A58-A59	10MA50XC	0,99047	0,64		0,106	0,634	0,105				
Total:		1,05753									
Skobbholm-Styrö											
Kabelföjd	Kabel	Längd (km)	r (ohm/km)	x (ohm/km)	r (ohm-kabellängd)	x (ohm-kabellängd)	r total	x total	RCLV 400V (ohm)	XCLV 400V (ohm)	
A9-A55	10MA185XC	0,57112	0,164		0,0879	0,094	0,050	0,094	0,050	0,000149862	8,03223E-05
Total:		0,57112									
Styrö-Korsö											
Kabelföjd	Kabel	Längd (km)	r (ohm/km)	x (ohm/km)	r (ohm-kabellängd)	x (ohm-kabellängd)	r total	x total	RCLV 400V (ohm)	XCLV 400V (ohm)	
A55-A56	10VA50AX	4,39843	0,64		0,106	2,815	0,466	2,815	0,466	0,004503992	0,000745974
Total:		4,39843									
Skobbholm-Nätö											
Kabelföjd	Kabel	Längd (km)	r (ohm/km)	x (ohm/km)	r (ohm-kabellängd)	x (ohm-kabellängd)	r total	x total	RCLV 400V (ohm)	XCLV 400V (ohm)	
A9-A10	10MA185XC	0,56756	0,164		0,0879	0,093	0,050	0,236	0,127	0,000378376	0,0002028
A10-A11	10MA185XC	0,87442	0,164		0,0879	0,143	0,077				
Total:		1,44198									
Nätö-korsning före styrström											
Kabelföjd	Kabel	Längd (km)	r (ohm/km)	x (ohm/km)	r (ohm-kabellängd)	x (ohm-kabellängd)	r total	x total	RCLV 400V (ohm)	XCLV 400V (ohm)	
A11-A12	10MA185XC	0,13642	0,164		0,0879	0,022	0,012	0,022	0,012	3,57966E-05	1,91861E-05
Total:		0,13642									
Korsning-Lastklubb											
Kabelföjd	Kabel	Längd (km)	r (ohm/km)	x (ohm/km)	r (ohm-kabellängd)	x (ohm-kabellängd)	r total	x total	RCLV 400V (ohm)	XCLV 400V (ohm)	
A12-A52	10MA150XC	0,1193	0,206		0,091	0,025	0,011	0,280	0,124	0,000448668	0,000198198
A52-A53	10MA150XC	0,19842	0,206		0,091	0,041	0,018				
A53-A54	10MA150XC	1,04353	0,206		0,091	0,215	0,095				
Total:		1,36125									
Korsning-Styrströms											
Kabelföjd	Kabel	Längd (km)	r (ohm/km)	x (ohm/km)	r (ohm-kabellängd)	x (ohm-kabellängd)	r total	x total	RCLV 400V (ohm)	XCLV 400V (ohm)	
A12-A13	10MA150XC	0,3571	0,206		0,091	0,074	0,032	0,074	0,032	0,0001177	5,19938E-05
Total:		0,3571									
Styrströms-Nätösund											
Kabelföjd	Kabel	Längd (km)	r (ohm/km)	x (ohm/km)	r (ohm-kabellängd)	x (ohm-kabellängd)	r total	x total	RCLV 400V (ohm)	XCLV 400V (ohm)	
A13-A14	10MA150XC	0,55116	0,206		0,091	0,114	0,0502	0,114	0,0502	0,000181662	8,02489E-05
Total:		0,55116									
Nätösund-Bro											
Kabelföjd	Kabel	Längd (km)	r (ohm/km)	x (ohm/km)	r (ohm-kabellängd)	x (ohm-kabellängd)	r total	x total	RCLV 400V (ohm)	XCLV 400V (ohm)	
A14-A15	10MA150XC	0,23151	0,206		0,091	0,048	0,021	0,119	0,059	0,00019066	9,49988E-05
A15-A16	10MA185XC	0,4358	0,164		0,0879	0,071	0,038				
Total:		0,66731									
Bro-Bergö											
Kabelföjd	Kabel	Längd (km)	r (ohm/km)	x (ohm/km)	r (ohm-kabellängd)	x (ohm-kabellängd)	r total	x total	RCLV 400V (ohm)	XCLV 400V (ohm)	
A16-A49	10MC10XC	0,05417	1,83		0,131	0,099	0,007	0,560	0,040	0,000896056	6,41439E-05
A49-A50	10RC10XC	0,22762	1,83		0,131	0,417	0,030				
A50-A51	10MC10XC	0,02424	1,83		0,131	0,044	0,003				
Total:		0,30603									

Bro-Innerstunas											
Kabelföjd	Kabel	Längd (km)	r (ohm/km)	x (ohm/km)	r (ohm-kabellängd)	x (ohm-kabellängd)	r total	x total	RCLV 400V (ohm)	XCLV 400V (ohm)	
A16-A17	10MA185XC	0,5028	0,164		0,0879	0,082	0,044	0,082	0,044	0,000131935	7,07138E-05
Total:		0,5028									
Innerstunas-Sipinens											
A17-A18	10MA185XC	0,43208	0,164		0,0879	0,071	0,038	0,089	0,047	0,000141722	7,59597E-05
A18-A19	10MA185XC	0,10802	0,164		0,0879	0,018	0,009				
Total:		0,5401									
Sipinen-KS Skedholm											
A19-A20	10MA150XC	0,39625	0,206		0,091	0,082	0,036	0,082	0,036	0,000130604	0,00057694
Total:		0,39625									
KS-Skedholm											
A20-A45	10MA95XC	0,49426	0,31		0,097	0,153	0,048	0,215	0,067	0,000343465	0,000107471
A45-A46	10MA95XC	0,19821	0,31		0,097	0,061	0,019				
Total:		0,69247									
Skedholm-Granö											
A46-A47	10MC10XC	0,17356	1,83		0,131	0,318	0,023	1,083	0,077	0,001732029	0,000123987
A47-A48	10MC10XC	0,41798	1,83		0,131	0,765	0,055				
Total:		0,59154									
KS Skedholm-Masten											
A20-A21	10MA150XC	0,79429	0,206		0,091	0,164	0,072	0,164	0,072	0,000261798	0,000115649
Total:		0,79429									
Masten-Dragsvik											
A21-A22	10MA95XC	0,49534	0,31		0,097	0,154	0,048	0,223	0,077	0,00035618	0,000123996
A22-A23	10MA95XC	0,02644	0,31		0,097	0,008	0,003				
A23-A24	10MA150XC	0,29544	0,206		0,091	0,061	0,027				
Total:		0,81722									
Dragsvik-Hästskär											
A24-A25	10MA95XC	0,27945	0,31		1,9	0,087	0,531	0,622	0,569	0,000995252	0,000910851
A25-A26	10RC10XC	0,29257	1,83		0,131	0,535	0,038				
Total:		0,57202									
Dragsvik-Langnäs											
A24-A27	10MA95XC	0,27945	0,31		0,097	0,087	0,027	0,212	0,066	0,000339547	0,000106245
Total:		0,68457									
Langnäs-Båtmanholmen											
A27-A28	10MA50XC	0,22343	0,64		0,106	0,143	0,024	1,150	0,191	0,001840558	0,000304842
A28-A29	10VA50XC	0,10078	0,64		0,106	0,064	0,011				
A29-A30	10VA50XC	1,37492	0,64		0,106	0,880	0,146				
A30-A31	10VA50XC	0,09829	0,64		0,106	0,063	0,010				
Total:		1,79742									
Masten-Järsöskola											
A21-A33	10MA95XC	0,46751	0,31		0,097	0,145	0,045	0,170	0,050	0,000272282	7,92483E-05
A33-A44	10MA50XC	0,03945	0,64		0,106	0,025	0,004				
Total:		0,50696									
Järsöskola-Häggsudden											
A33-A34	10AF63	0,62957	0,575		0,38	0,362	0,239	1,109	0,457	0,001774721	0,000730962
A34-A35	10AF25	0,5454	1,37		0,399	0,747	0,218				
Total:		1,17497									
Häggsudden-Björkökorsning											
A35-A36	10AF25	0,12663	1,37		0,399	0,173	0,051	1,088	0,287	0,001740433	0,000458828
A36-A37	10AF25	0,26198	1,37		0,399	0,359	0,105				
A37-A38	10VA50XC	0,37361	0,64		0,106	0,239	0,040				
A38-A39	10AF25	0,23085	1,37		0,399	0,316	0,092				
Total:		0,99307									
Björkökorsning-Björkö N											
A39-A42	10RC10XC	0,2887	1,83		0,131	0,528	0,038	0,528	0,038	0,000845314	6,05115E-05
Total:		0,2887									
Björkökorsning-Björkö Ö											
A39-A43	10RC10XC	0,59586	1,83		0,131	1,090	0,078	1,090	0,078	0,001744678	0,000124892
Total:		0,59586									
Björkökorsning-Björkö S											
A39-A40	10AF25	0,25949	1,37		0,399	0,356	0,104	0,526	0,153	0,000842232	0,000245292
A40-A41	10AF25	0,12474	1,37		0,399	0,171	0,050				
Total:		0,38423									

Bilaga 3 ABB Docwin Utdrag Ur Ritning



Circuit-breaker (-QF105)

Circuit-breaker

Description Masten 400V

I_B 46.9 [A] I_n 288.7

I_z 424.0 [A]

Ik Max 7.19 [kA]

Ik Min 5.41 [kA] **Details**

Type Overload and Short Circuit protection

Version <All possibilities>

Family <All possibilities>

Release <All possibilities>

T4N 320 PR221DS-LS/I 320A

Feeder properties

MV Earth-Disconnecter (-QE98) MV circuit-breaker (-QF105)

Description Masten 10kV

I_B 1.9 [A] I_n 11.5

I_z [A]

Isc max 2.78 [kA]

Isc to ground [A] **Details**

Circuit-breaker (-QF122)

Circuit-breaker

Description Netcon 400V

I_B 23.4 [A] I_n 144.3

I_z 169.6 [A]

Ik Max 3.71 [kA]

Ik Min 2.94 [kA] **Details**

Type Overload and Short Circuit protection

Version <All possibilities>

Family <All possibilities>

Release <All possibilities>

Feeder properties

MV Earth-Disconnecter (-QE109) MV circuit-breaker (-QF122)

Description Netcon 10kV

I_B 0.9 [A] I_n 5.8

I_z [A]

Isc max 2.60 [kA]

Isc to ground [A] **Details**