

CHALMERS



Excel-baserad beräkning och dokumentation av distansskyddsinställningar

Examensarbete inom Elteknik

JOHAN STENFELDT

Institutionen för energi och miljö
Avdelningen för elteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2007

Titel

Excel-baserad beräkning och dokumentation av distansskyddsinställningar

Title in English

Excel based calculation and documentation of distance protection settings

Författare/Author

Johan Stenfeldt

Utgivare/Publisher

Chalmers tekniska högskola
Institutionen för energi och miljö
412 96 Göteborg

Ämne/Subject

Electric Power Engineering

Handledare/Supervisor

Daniel Karlsson

Examinator/Examiner

Robert Carlsson

Datum/Date

5 mars 2007

Tryckt av/Printed by

Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg, Sverige

Förord

Följande rapport är ett examensarbete omfattande 20 poäng inom civilingenjörsutbildningen Elektroteknik, motsvarande 20 veckor utfört på Chalmers tekniska högskola på Institutionen för energi och miljö på Avdelningen för elteknik.

Läsarna av detta arbete förutsätts ha grundläggande kunskaper i elteknik och elkraftsystem.

I mitt arbete har jag valt att endast behandla teorin för impedansskydd i maskade distributionsnät på 130 kV spänningsnivå, således berörs inte skydd som underspänningskydd eller överströmsskydd.

Tack till

Daniel Karlsson, Gothia Power som har antagit rollen som min handledare och som varit en inspirationskälla och hjälp i alla mina frågor.

Tomas Johannesson med medarbetare, som gav mig goda synpunkter och tips under mitt besök på E.ON Elnät i Malmö den 24 januari 2007.

Lovisa Persson som har varit ett underbart stöd och som manat på mig när det har behövts.

Sammanfattning

Detta examensarbete beskriver grundläggande teori för distansskydd i maskade distributionsnät på 130 kV spänningsnivå samt presenterar en Excel-baserad applikation för beräkning och dokumentation av inställningsvärden för distansskydd. Applikationen använder sig av generella metoder för att beräkna inställningsvärden för distansskyddets olika steg samt presenterar inställningsvärdena i en enkel grafik av kvadratisk karakteristik.

Tillverkarna av dagens distansskydd kan tillhandahålla program för dokumentation av distansskydd, men dessa är ofta avsedda för tillverkarens egna skydd och är inte generella. För nätbolag som ansvarar för större nät där många olika typer och märken av distansskydd är i drift, finns ett behov av att kunna dokumentera inställningsvärdena för varje distansskydd på ett enhetligt vis. Excel som idag är ett kraftfullt program för beräkning, dokumentation och grafik och som är en välkänd miljö för de flesta, skulle kunna fungera som en god plattform för beräkning och dokumentation av distansskydd.

Vidare ges i rapporten några förslag på hur programmet skulle kunna vidareutvecklas. Innan programmet kan användas för att ställa in distansskydd i verkliga nät behöver programmet testas vidare, förslagsvis parallellt med att man gör inställningar av distansskydd på traditionellt vis.

Abstract

This is a master thesis work carried out at the Department of Energy and Environment at the Division of Electric Power Engineering. The master thesis work describes the theory of distance protection relaying in 130 kV meshed distribution networks. The main aim of the thesis was to construct an Excel application for calculation and documentation of the settings for distance protection relays. The program is based on general methods for calculating settings of the different zones for the distance relay and presents the settings in simple graphics using quadrilateral characteristics.

The reason for building an Excel based application is the great variety of distance protection relays in live networks. The manufacturers of distance protection relays make program for documentation available, however, they are based on the typical settings for the specific relays. Excel is in its later releases a powerful program for calculation, documentation and also graphics, and therefore Excel would be suitable as a platform for the intended application.

Some suggestions for future work are also presented in this report.

Innehåll

Förord.....	iv
Sammanfattning.....	v
Abstract.....	vi
Innehåll	vii
1 Inledning.....	1
1.1 Målbeskrivning av examensarbetet.....	1
1.2 Metod och utförande.....	1
2 Feltyper och påverkande faktorer vid impedansmätningar.....	2
2.1 Ljusbågsresistans	2
2.2 Ömsesidig koppling vid jordfel	2
2.3 Sidoinmatning.....	6
2.4 Semaforeffekt.....	8
2.5 Polarisationsspänning – bestämning av felets riktning.....	9
2.6 Enfasfel	12
2.7 Tvåfasfel	14
2.8 Trefasfel.....	15
3 Inställningsprinciper för distansskydd	17
3.1 Steg 1	19
3.1.1 Fall 101	19
3.1.2 Fall 102	20
3.1.3 Fall 103	20
3.1.4 Fall 104	21
3.1.5 Val av inställningsvärden steg 1	22
3.1.6 Fall 100 kontroll 1 och kontroll 2	23
3.2 Steg 2	23
3.2.1 Fall 201	24
3.2.2 Fall 202	25
3.2.3 Fall 203	25
3.2.4 Fall 204	26
3.2.5 Fall 205	26
3.2.6 Fall 206	27
3.2.7 Fall 207	27
3.2.8 Fall 208	28
3.2.9 Fall 209	29
3.2.10 Fall 210	30
3.2.11 Fall 211	30
3.2.12 Val av inställningsvärden steg 2	31
3.3 Steg 3	32
3.3.1 Fall 301	32
3.3.2 Fall 302	33
3.3.3 Fall 303	34
3.3.4 Fall 304	34

3.3.5	Fall 305	35
3.3.6	Fall 306	35
3.3.7	Fall längsta ledning	36
3.3.8	Fall kortaste ledning.....	36
3.3.9	Val av inställningsvärden steg 3	37
3.4	Startsteg.....	37
3.5	Felkällor	38
3.6	Stegkaraktistik	39
3.6.1	MHO karaktistik	39
3.6.2	Kvadratisk karaktistik	40
3.7	Avgränsningar	41
4	Beräkningar i PSS/E	42
5	Applikationsutveckling i Excel.....	44
5.1	Beräknings- och inställningsapplikation.....	45
5.1.1	PSSE	48
5.1.2	Sammanställning.....	50
5.1.3	Steg 1	51
5.1.4	Steg 2	53
5.1.5	Steg 3	56
5.1.6	Startsteg.....	57
5.1.7	Grafik	58
5.1.8	Manual	61
6	Utveckling.....	62
7	Diskussion.....	64
8	Slutsatser	65
	Referenser	66
	Appendix A: Utskrift av Excelapplikation	I

1 Inledning

Kravet på tillförlitlig elförsörjning ökar hela tiden hos elkunderna i takt med att samhället blir mer känsligt för störningar i eldistributionen. Elbolagen tvingas därför ägna stora resurser åt att tillgodose detta behov genom drift och underhåll samt modernisering av kontroll- och skyddsutrustning, samtidigt som personalen minskar i antal i samband med effektiviseringar. Kontrollutrustningen blir hela tiden mer komplex och med det förkortas ofta dess livslängd.

Sammantaget gör det att behovet av enkla, allmänt tillgängliga hjälpmedel för inställning och dokumentation ökar. Excel är idag ett kraftfullt program avseende dokumentation, beräkningsmöjligheter samt grafiska illustrationer. Excel är också allmänt förekommande och skulle därför kunna vara lämpligt som plattform för ett hjälpmedel för inställning och dokumentation av distansskydd.

1.1 Målbeskrivning av examensarbetet

Examensarbetet syftar till att undersöka om det är möjligt att med hjälp av Excel ta fram ett programpaket för beräkning och dokumentation av inställningar för olika typer av distansskydd. Examensarbetet kan delas in i olika delar.

- Studium av hur distansskyddsinställningar beräknas och dokumenteras i dagsläget.
- Studium av hur olika typer av distansskydd låter sig beskrivas för dokumentation av funktionsområden i impedansplanet.
- Studium av Excels förutsättningar att utnyttjas för beräkning och dokumentation av distansskyddsinställningar, under förutsättning att resultat från felströmsberäkningar föreligger i väldefinierat PSS/E-format.
- Design av kalkylblad för distansskyddsinställningar, uppbyggt i moduler.
- Testning och dokumentation av programpaketet.

1.2 Metod och utförande

Examensarbetet baseras främst på självstudier avseende teori för distansskydd och dess funktion och principer. Studier ägnas också åt Excel och Visual Basic for Applications (VBA) för att kunna konstruera det Excel-baserade inställningshjälpmedlet för distansskydd. Ett mindre maskat distributionsnät byggs i PSS/E som skall ge indata åt det Excel-baserade beräkningserktyget. Studier ägnas också därför åt PSS/E.

Arbetet utförs på Institutionen för energi och miljö på Avdelningen för elteknik.

2 Feltyper och påverkande faktorer vid impedansmätningar

Vid mätningar av felimpedanser för olika typer av fel kommer flera olika faktorer att påverka den impedans distansskyddet ser. Då inställningar görs måste man känna till dessa faktorer för att kunna göra en korrekt bedömning av vilka felfall och felresistanser som skall analyseras i det nät och på den ledning distansskyddet befinner sig. Faktorer som spelar in är övergångsmotstånd såsom ljusbågsresistans och jordtagsresistans, ömsesidig nollföljdkoppling vid parallellgående ledningar, påverkan av sidoinmatning och lastöverföring samt semaforeffekt.

2.1 Ljusbågsresistans

Vid kortslutning mellan två faser eller fas till jord kommer en ljusbåge att uppträda, som leder till ett spenningsfall över ljusbågen. Ljusbågen kan ses som rent resistiv, eftersom ström och spänning är i fas i bågen, där resistansen beror av strömmen som flyter genom bågen. Resistansen kan uppskattas med hjälp av Van Warringtons ekvation (*ekvation 1*).

$$R_{arc} = \frac{28700 * l_{arc}}{I_{arc}^{1.4}} [\Omega] \quad \text{ekvation 1}$$

Där l_{arc} = ursprunglig båglängd och I_{arc} = ström genom ljusbågen.

Med tiden så breder ljusbågen ut sig i luften och ökar i längd. Med *ekvation 2* kan resistansen i ljusbågen uppskattas som funktion av tiden.

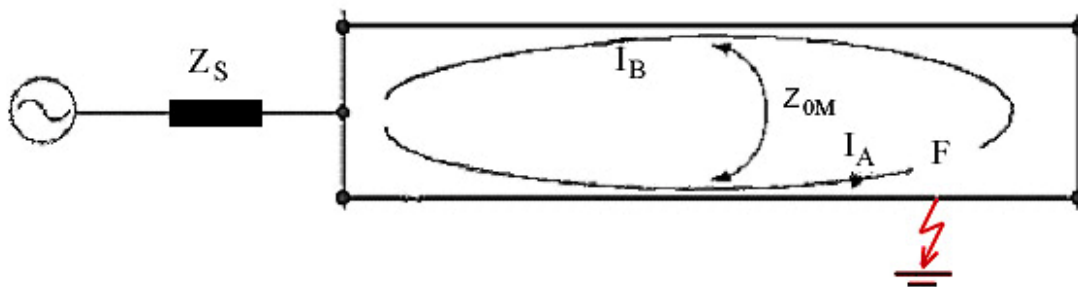
$$R_{arc}^* = \left(1 + \frac{5 * v * t_b}{l_{arc}}\right) * R_{arc} \quad \text{ekvation 2}$$

Där l_{arc} =ursprunglig båglängd, v =vindhastighet och t_b =bågens livslängd i s.

[1]

2.2 Ömsesidig koppling vid jordfel

Vid parallellgående ledningar, *Figur 1*, uppträder en ömsesidig induktiv koppling i strömslingan. Effekten är dock liten under normala förhållanden då jordslutning inte föreligger och i plus- och minusföljdsnätet kan effekten försummas om ledningarna är transponerade (skruvade).



Figur 1. Ömsesidig nollföljdskoppling vid parallella ledningar.

I händelse av jordfel kan inte inverkan av ömsesidig koppling försummas i nollföljdsnätet. De båda ledningarna kommer då att vara sammankopplade i nollföljdsnätet genom den ömsesidiga impedansen Z_{0M} . Mellan två parallellgående ledningar utan jordledning ges den ömsesidiga impedansen av Z_{0M} enligt *ekvation 3*. [1]

$$Z_{0M} = R_{0M} + X_{0M} = (3 * R_E + j\omega * 6 * \ln \frac{\delta}{A_l}) * 10^{-4} \text{ } [\Omega/\text{km}] \quad \text{ekvation 3}$$

$$\text{Där } R_E = \frac{\pi}{2} * \omega * 10^{-4} = \text{jordresistans i } \Omega/\text{km} \quad \text{ekvation 4}$$

$$\omega = 2\pi f = \text{vinkelfrekvens i rad/s}$$

$$\delta = 1650 \sqrt{\frac{\rho}{\omega}} = \text{penetrationsdjup i m}$$

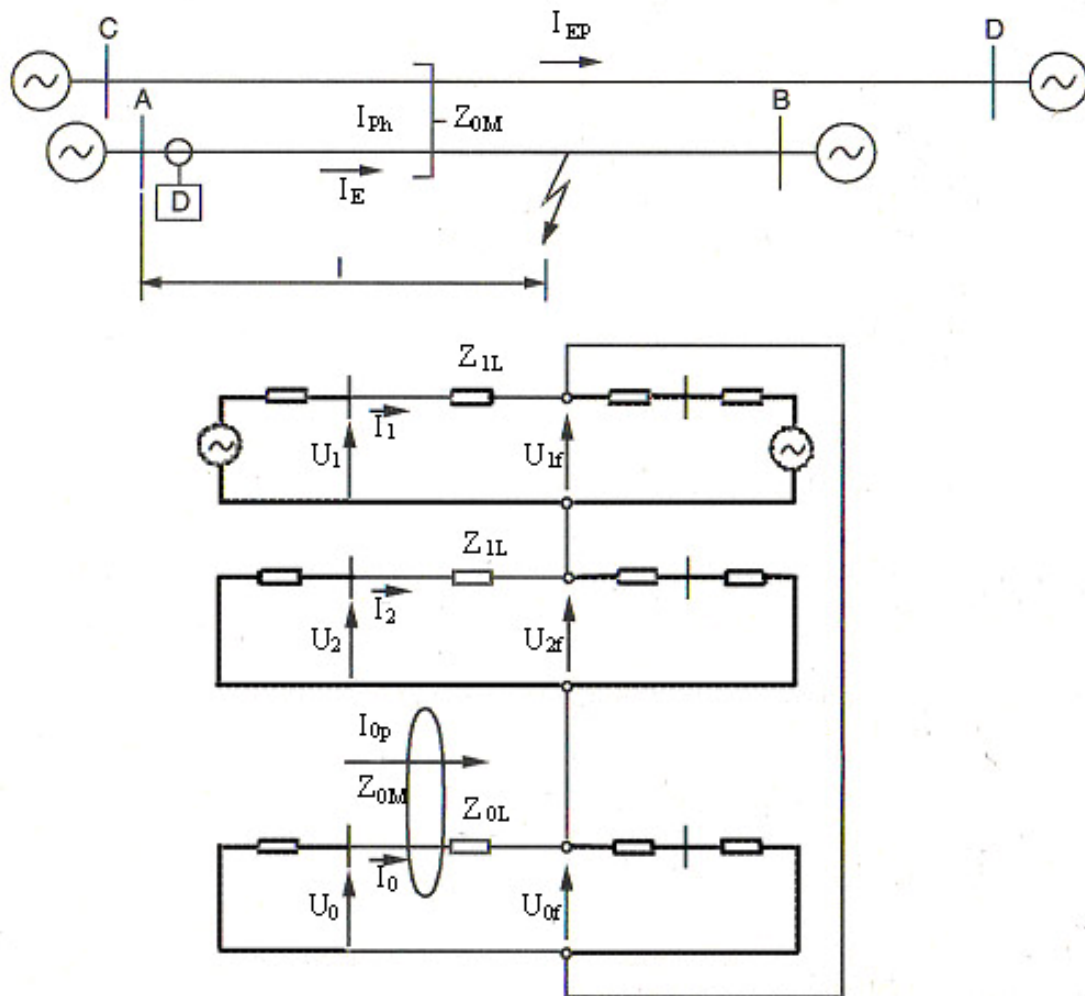
$$\rho = \text{markresistiviteten i } \Omega\text{m}$$

A_l = medelavståndet mellan ledare i de båda trefassystemen. Motsvarar avståndet mellan de båda ledningsstolparna.

Den ömsesidiga reaktansen mellan två ledningars nollföljdsnät med nätfrekvensen 50 Hz och markresistiviteten $\rho = 100 \text{ } \Omega\text{m}$ ges av *ekvation 5* med användning av *ekvation 3*.

$$X_{0M} = 0.1884 * \ln \frac{931}{A_l} \text{ } [\Omega/\text{km}] \quad \text{ekvation 5}$$

Vid jordfel på parallellgående ledningar kommer felströmmen till jord att orsaka en inducerad spänning i strömslingan för felet, vilket resulterar i en förändrad kortslutnings-spänning i reläpunkten. Detta ger upphov till ett mätfel, som behöver kompenseras för att bibehålla selektivitet.



Figur2. Nollföljdsnät för felbehäftad ledning vid inverkan av parallellgående ledning.

Nedanstående ekvationer kan härledas från komponentnätet i Figur 2, där $Z_{1L} = Z_{2L}$.

$$U_1 = Z_{1L} * I_1 + U_{1F} \quad \text{ekvation 6}$$

$$U_2 = Z_{1L} * I_2 + U_{2F} \quad \text{ekvation 7}$$

$$U_0 = Z_{0L} * I_0 + U_{0F} + Z_{0M} * I_{0p} \quad \text{ekvation 8}$$

$$U_1 + U_2 + U_0 = U_a \quad \text{ekvation 9}$$

$$U_{1F} + U_{2F} + U_{0F} = 0 \quad \text{ekvation 10}$$

\Rightarrow

$$U_a = Z_{1L} * (I_1 + I_2) + Z_{0L} * I_0 + Z_{0M} * I_{0p} \quad \text{ekvation 11}$$

$$U_a = Z_{1L} * (I_1 + I_2 + I_0) + (Z_{0L} - Z_{1L}) * I_0 + Z_{0M} * I_{0p} \quad \text{ekvation 12}$$

$$U_a = Z_{1L} * I_{ph} - \frac{Z_{0L} - Z_{1L}}{3} * I_E - \frac{Z_{0M}}{3} * I_{EP} \quad \text{ekvation 13}$$

där jordslutningsströmmen på egen ledning är $I_E = -3I_0$ och jordslutningsströmmen på den parallellgående ledningen är $I_{EP} = -3I_{0p}$. $I_{ph} = I_1 + I_2 + I_0$.

Kortslutningsspänningen i reläpunkten kan skrivas som *ekvation 14* med följande

beteckning, $\frac{(Z_0 - Z_1)}{3} = Z_E$.

$$U_a = Z_{1L} * (I_{ph} - \frac{Z_E}{Z_L} I_E - \frac{Z_{0M}}{3Z_{1L}} I_{EP}) \quad \text{ekvation 14}$$

För att mäta impedansen i reläpunkten korrekt måste en kompensationsfaktor för parallellledningen införas. Kompensationsfaktorn för parallellledningen betecknas

$$K_E = \frac{Z_E}{Z_{1L}}. \text{ Genom att införa kompensationsfaktorn kancelleras parallellledningens}$$

inverkan på mätningarna i reläpunkten. Vid enfasiga jordslutningar används uttrycket som ges av *ekvation 15* för att beräkna impedansen i reläpunkten, då fas *a* utgör den felbehäftade fasen. [1]

$$Z_a = \frac{U_a}{I_a + K_E * 3I_0} \quad \text{ekvation 15}$$

Enligt *Figur 2* fås då rätt impedans i reläpunkten enligt *ekvation 16*.

$$Z_a = \frac{U_a}{I_{ph} + K_E * 3I_0} = \frac{Z_{1L} (I_{ph} - \frac{Z_E}{Z_L} I_E - \frac{Z_{0M}}{3Z_{1L}} I_{EP})}{I_{ph} - K_E I_E} \quad \text{ekvation 16}$$

Vid jordfel när de parallellgående ledningarna slutar i samma station måste dessutom jordströmmen från parallellledningen införas i beräkningarna för att kunna kancellera dess effekt vid mätningar i reläpunkten. Detta görs med $K_{EM} = \frac{Z_{0M}}{3Z_{1L}}$ vilket ger:

$$Z_{ph} = \frac{U_{ph}}{I_{ph} - K_E * I_E - K_{EM} * I_{EP}} \quad \text{ekvation 17}$$

Vid jordfel på angränsande samlingsskena fås rätt mätningar i reläpunkten om

$$K_n = K_E + K_{EM} = \frac{Z_0 + Z_{0m} - Z_1}{3Z_1}. \quad \text{ekvation 18}$$

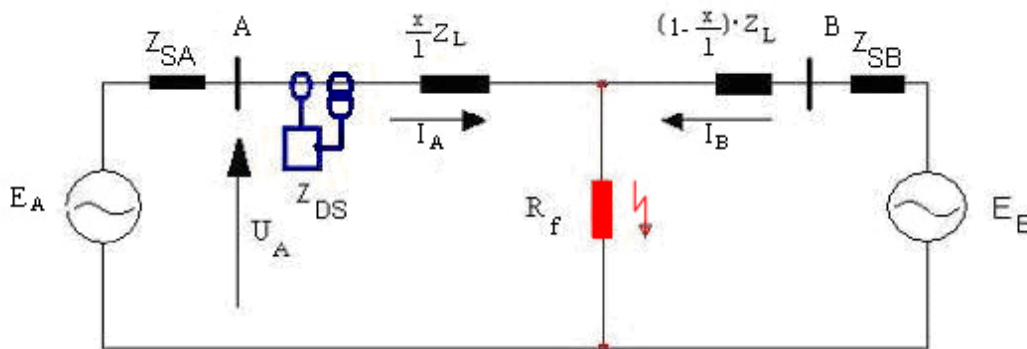
Impedansen i reläpunkten ges då av:

$$Z_{ph} = \frac{U_{ph}}{I_{ph} + K_n * 3I_0} \quad \text{ekvation 19}$$

Det är inte alltid den parallella ledningen utgår eller slutar på samma samlingsskena som ledningen för det studerade distansskyddet. Det kan då vara svårt att beräkna kompensationsfaktorn och för att undvika att det valda värdet på K_n ger oselektivitet eller för stor underräkning kan kontrollberäkningar göras. [1]

2.3 Sidoinmatning

Vid sidoinmatning, det vill säga när all felström inte passerar reläpunkten, kommer felresistansen som distansskyddet ser att bli annorlunda gentemot fallet då matning endast sker från ett håll. Kortslutningsströmmen till följd av matningen från motsatta sidan av ledningen bidrar till ytterligare ett spänningsfall och leder till att distansskyddet ser en ökad felresistans vilket visas nedan där härledning utförs utifrån *Figur 3* som visar kortslutning på ledning med sidoinmatning från borte ledningsända.



Figur 3. Sidoinmatning, dvs. felströmsinmatning från flera håll

Från *Figur 3* kan följande samband härledas:

$$U_A = I_A * \frac{x}{l} Z_L + (I_A + I_B) R_f \quad \text{ekvation 19}$$

⇒

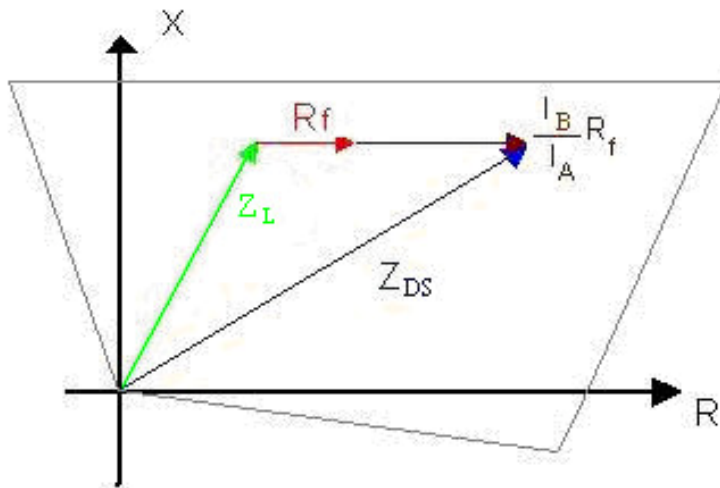
$$U_A = I_A (R_f + \frac{x}{l} Z_L) + I_B R_f \quad \text{ekvation 20}$$

⇒

$$Z_{DS} = \frac{U_A}{I_A} = \frac{x}{l} Z_L + R_f + \frac{I_B}{I_A} R_f \quad \text{ekvation 21}$$

Där x är avståndet från station A till felpunkten och l är ledningslängden.

Utifrån *ekvation 21* kan man enkelt se hur resistansen i mätpunkten förstoras på grund av kortslutningsströmmen från den bortre sidoinmatningen. Speciellt kommer resistansen att förstoras då sidoinmatningen från bortre stationen är stark alltså $Z_{SB} \ll Z_{SA} + Z_L$ och för långa ledningar.



Figur 4. Impedansförstoring till följd av sidoinmatning.

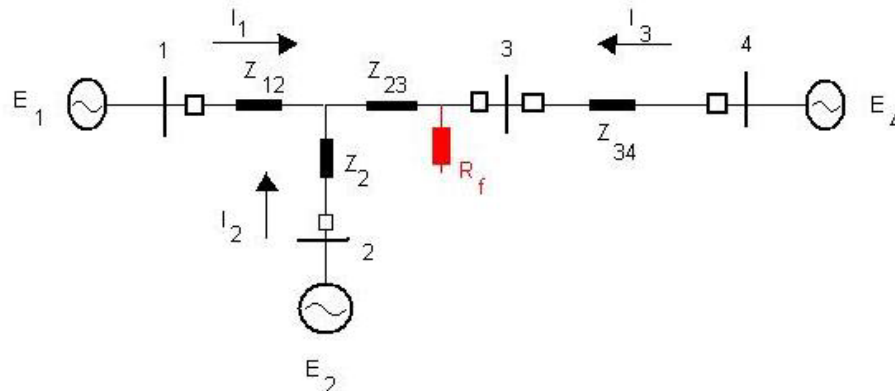
Under antagandet att vi inte har någon lastöverföring i nätet symboliserat av *Figur 3* och att E_A och E_B då är i fas och att I_A och I_B har samma fasvinkel kan vi med spänningsdelning säga att förhållandet enligt *ekvation 22* gäller.

$$\frac{I_B}{I_A} = \frac{Z_{SA} + x/l Z_L}{Z_{SB} + (1 - x/l) Z_L} \quad \text{ekvation 22}$$

Ekvation 25 visar att då felet förflyttas närmare den bortre sidoinmatningen kommer förhållandet mellan kortslutningsströmmarna att öka vilket i sin tur leder till att den av distansskyddet uppfattade felresistansen förstoras vilket är illustrerat i *Figur 4*.

Distansskydd med kvadratisk karakteristik lämpar sig väl för att ta hänsyn till sidoinmatning eftersom stegens resistiva räckvidd kan ställas oberoende av den reaktiva. Därmed kan tillräcklig räckvidd uppnås med hänsyn till sidoinmatningseffekter.

I vissa fall kan det förekomma påstick på ledningarna. Precis som i det tidigare undersökta fallet kommer distansskydden att se en impedans skild från den verkliga impedansen mellan felet och själva skyddet på grund av sidoinmatningen. *Figur 5* visar ett fall då kortslutning inträffar på ledning med påstick.



Figur 5. Kortslutning på ledning med påstick

Från Figur 5 kan följande ekvationer härledas:

$$E_1 = I_1 Z_{12} + (I_1 + I_2) Z_{23} + (I_1 + I_2 + I_3) R_f \quad \text{ekvation 23}$$

\Rightarrow

$$E_1 = I_1 (Z_{12} + Z_{23} + R_f) + I_2 Z_{23} + (I_2 + I_3) R_f \quad \text{ekvation 24}$$

\Rightarrow

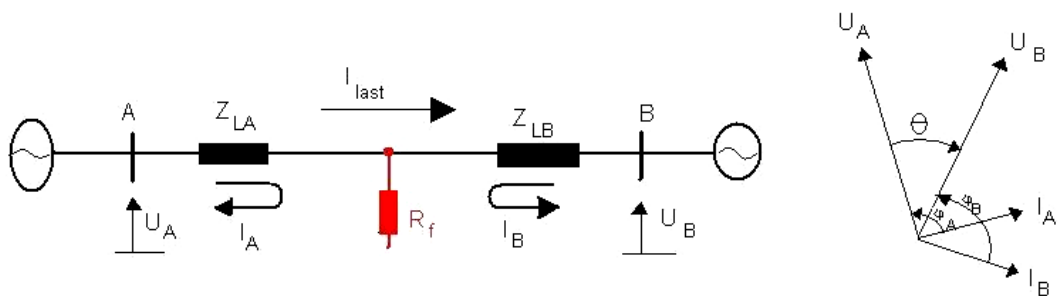
Distansskyddet i station 1 ser då impedansen Z_{D1} .

$$Z_{D1} = \frac{E_1}{I_1} = Z_{12} + Z_{23} + R_f + \frac{I_2}{I_1} Z_{23} + \frac{I_2 + I_3}{I_1} R_f \quad \text{ekvation 25}$$

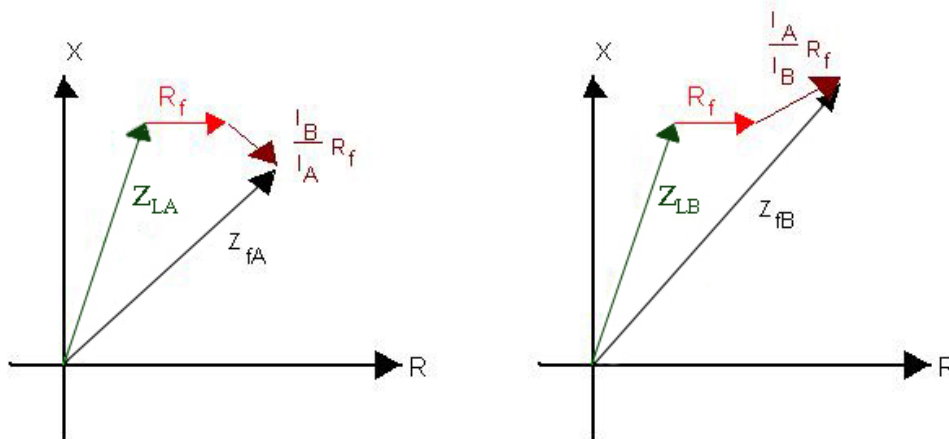
[1,2]

2.4 Semaforeffekt

Inför vi nu laster i nätet kommer påverkan att bli annorlunda. Effektöverföringen kommer att leda till ett fasskifte. Då en kortslutning inträffar enligt Figur 6 kommer de båda sidoinmatningarna att vara fasskiftade med överföringsvinkeln θ och generatorsidan (A) kommer att ligga före lastsidan (B).



Figur 6. Kortslutning vid lastat nät



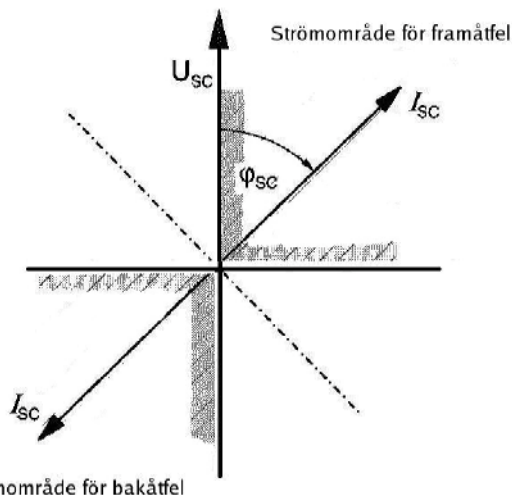
Figur 7. Förändrad impedans sedd av distansskydd till följd av felströmsinmatning från båda håll vid lastat nät.

Effektöverföringen på grund av det lastade nätet medför att distansskydden i vardera änden ser en förändrad impedans, *Figur 7*. I station A medför förhållandet mellan kortslutningsströmmarna $\frac{I_B}{I_A} R_f$, att den av distansskyddet uppfattade impedansen verkar mindre än vad den i verkligheten är och riskerar därför att överrätta steginställningen. I station B å andra sidan medför förhållandet $\frac{I_A}{I_B} R_f$ mellan kortslutningsströmmarna att den av distansskyddet uppfattade impedansen ser större ut än vad den i verkligheten är och distansskyddet riskerar därför att underrätta. [1]

2.5 Polarisationspänning – bestämning av felets riktning

Polarisationspänning är en funktion hos distansskyddet som används för att bedöma felets riktning (bakåtfel eller framåtfel). Distansskyddets förmåga att bedöma i vilken riktning felet är beläget är viktig för att inte felaktig utlösning av distansskyddet skall inträffa när ströminmatning sker från mer än ett håll. Beroende på vilken typ av polarisationspänning, distansskyddet använder sig av, är möjligheten att bedöma i vilken riktning felet inträffar olika vid olika typer av felförhållanden. De två teorier för polarisationspänning som används är självpolarisation och korpolarisation.

Vid självpolarisation utgår man från de felbehäftade faserna. Polarisationspänningen U_p är då lika med spänningen för den felaktiga fasen/faserna U_{SC} . För att avgöra riktning jämförs kvantiteterna $(ZI-U_{SC})$ och U_p . Vid framåtfel flyter kortslutningsströmmen i en slinga med induktans och resistans. Kortslutningsspänningen U_{SC} leder då strömmen I_{SC} som ligger i första kvadranten. Vid ett bakåtfel ändrar strömmen riktning och därför roteras strömvisaren 180° gentemot motsvarande fel i framriktningen, *Figur 8*. Motsvarande bestämning kan göras i impedansplanet baserad på vinkeln φ_{SC} mellan ström och spänning.



Figur 8. Bestämning av felets riktning vid självpolarisation.

Ett problem med självpolarisationsmetoden är då fel inträffar mycket nära distansskyddsreläet. Eftersom metoden använder sig av spänningen hos de felbehäftade faserna kan spänningen vid ett fel mycket nära distansskyddet i teorin avta till noll. Distansskydd som använder sig av självpolarisationsspänning har därför en så kallad "död zon" där riktningen på felet inte kan bedömas. Gränsen för "döda zonen" beror på typen av distansskydd, men ligger generellt vid en mycket låg kortslutningsspänning, nära noll.

Vid korspolarisation bedöms felets riktning istället utifrån de icke felbehäftade faserna. Principen beskrivs här utifrån ett enfasigt jordfel, med förenklingen att ledningen är olastad för att inte behöva ta hänsyn till lastströmmar. Felet beskrivs i Figur 9 där felet placeras mellan jord och fas L1. Kortslutningsströmmen I_{SC} drivs av spänningen E_{L1} som leder kortslutningsströmmen med vinkeln φ . Kortslutningsspänningen U_{SC} 's storlek och fasvinkel är beroende av förhållandet mellan impedanserna Z_S och Z_{SC} . Då båda impedanserna har samma fasvinkel är U_{SC} i fas med E_{L1} och kortslutningsvinkeln φ_{SC} motsvarar vinkeln φ .

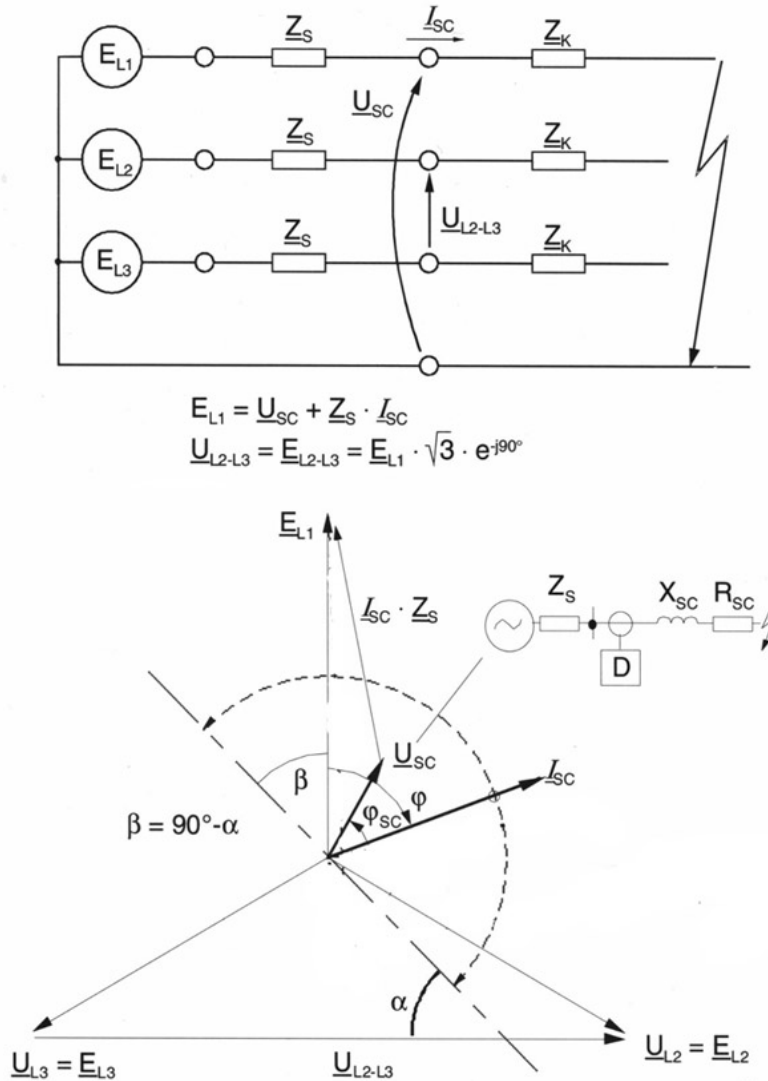
Vid fel nära distansskyddet med ljusbågsresistans blir vinkeln för kortslutningsimpedansen däremot mycket mindre än vinkeln för källimpedansen. Detta gäller framförallt då källimpedansen huvudsakligen består av generator- och transformatorreaktans. För fel nära distansskyddet där $Z_S \gg Z_{SC}$ innebär det att vinkeln φ knappt förändras. På grund av dessa förhållanden lämpar sig inte spänningen i den felbehäftade fasen som polarisationsspänning för bestämning av felets riktning.

Istället kan huvudspänningen U_{L2-L3} mellan faserna L2 och L3 väljas som polarisationsspänning. Vinkeln mellan den friska spänningen U_{L2-L3} och kortslutningsströmmen I_{SC} ger en god möjlighet för bestämning av felets riktning. För att mätningar med den friska spänningen ska ge samma riktningsskarakteristik som mätningar utifrån kortslutningsspänningen måste fasvinkeln för den friska spänningen justeras. Spänningen U_{L2-L3}

roteras därför 90° för att fasvinkeln ska bli ungefär lika med fasvinkeln för spänningen U_{L1} i den felbehäftade slingan.

Numeriska distansskydd beräknar en polariserad impedans med hjälp av den friska huvudspänningen och kortslutningsströmmen. Impedansen jämförs därefter med riktningsskarakteristiken i impedansplanet.

Riktningsskarakteristiken i *Figur 9* utgörs av en rak linje med lutningen $\alpha = 45^\circ$.



Figur 9. Bestämning av felets riktning med korspolarisation.

[1, 9]

2.6 Enfasfel

Enfasfel inträffar vanligtvis på grund av överslag över ledningsisolatorerna. Felresistansen består då förutom ljusbågsresistansen också av resistansen till jord. Denna resistans kan begränsas om ledningen är försedd med topplina och normalstorlek på resistansen är cirka 10 Ω. Om topplina inte finns kan resistansen till jord uppgå till 100 Ω. Vid överslag till träd kan motståndet till jord uppgå till mycket stora värden, flera hundra ohm. Med distansskydd tillåts endast inställningsvärden i R-led upp till några tiotals ohm eftersom det annars finns risk för att inkräkta på området där lasten förväntas ligga i impedansplanet. För högresistiva fel måste ett separat jordfelsskydd installeras.

Vid enfasig jordslutning beräknas impedansen i reläpunkten enligt *ekvation 26*.

$$Z_{mät} = \frac{U_a}{I_a + K_n \cdot 3I_0} \quad [\Omega] \quad \text{ekvation 26}$$

Där U_a är spänning på felbehäftad fas, I_a är ström på felbehäftad fas och $3I_0$ är summaström på ledningen.

För enkelledning utan ömsesidig koppling är $K_n = \frac{Z_0 - Z_1}{3 \cdot Z_1}$. Vid parallellledning kan inte

K_n väljas så att ett korrekt mätvärde erhålls vid alla felpunkter på ledningen. K_n skall då så långt som möjligt väljas så att selektivitet fortfarande föreligger.

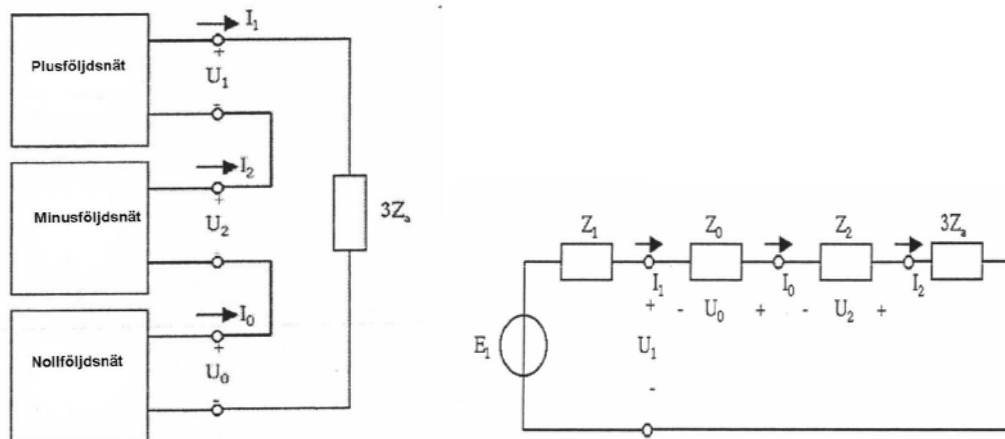
Vid enfasfel är strömmen i de båda icke felbehäftade faserna noll. Enligt teorin för symmetriska komponenter kan ett enfasfel uttryckas enligt nedan utgående från grundekvationerna för nät uttryckta på symmetrisk form, *ekvation 27* och *ekvation 28*.

$$\begin{aligned} U_a &= U_0 + U_1 + U_2 \\ U_b &= U_0 + a^2 U_1 + a U_2 \\ U_c &= U_0 + a U_1 + a^2 U_2 \end{aligned} \quad \text{ekvation 27}$$

$$\begin{aligned} I_a &= I_0 + I_1 + I_2 \\ I_b &= I_0 + a^2 I_1 + a I_2 \\ I_c &= I_0 + a I_1 + a^2 I_2 \end{aligned} \quad \text{ekvation 28}$$

$$\text{Där } a = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} j\sqrt{3} = e^{j120^\circ} \quad \text{ekvation 29}$$

För enfasfel, då fas a utgör felbehäftad fas, gäller:



Figur 10. Komponentnät vid enfasfel.

$$U_a = U_0 + U_1 + U_2 = Z_a I_a$$

ekvation 30

För fasspänningar:

$$U_a = E_a - \frac{Z_0 + Z_1 + Z_2}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_a} E_a$$

$$U_b = E_b - \frac{Z_0 E_a + Z_1 E_b + Z_2 E_c}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_a} E_a$$

ekvation 31

$$U_b = E_b - \frac{Z_0 E_a + Z_1 E_c + Z_2 E_b}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_a} E_a$$

Och för fasströmmar:

$$I_a = \frac{E_a}{Z_a + \frac{1}{3}(Z_0 + Z_1 + Z_2)}$$

ekvation 32

$$I_b = I_c = 0$$

På symmetrisk form:

$$U_0 = -E_1 \frac{Z_0}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_a}$$

$$U_1 = -E_1 \left(1 - \frac{Z_1}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_a} \right)$$

$$U_2 = -E_1 \frac{Z_2}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_a}$$

ekvation 33

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{E_1}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_a}$$

ekvation 34

[1,4,5]

2.7 Tvåfasfel

Tvåfasfel inträffar exempelvis till följd av ledningsoscillationer på grund av t ex vindpåverkan. En vanlig orsak är också elektriskt ledande föremål som på något sätt hamnat mellan ledarna till exempel grenar, andra ledningar eller trådar. Vid ledningsoscillationer närmar sig två ledningar varandra och överslag inträffar när avståndet är kortare än det som motsvaras för aktuell överslagsspänning. Tvåfasfel kan också inträffa till följd av enfasfel som utvecklas till tvåfasfel.

Vid tvåfasig kortslutning utan jordberöring beräknas impedansen i reläpunkten enligt *ekvation 35*.

$$Z_{mät} = \frac{U_b - U_c}{I_b - I_c} [\Omega]$$

ekvation 35

Där U_b och U_c är spänningar på felbehäftade faser och I_b och I_c är strömmar på felbehäftade faser.

För tvåfasfel gäller att eftersom ingen jordberöring finns kommer strömmen genom nollföljdsnätet att vara noll och kommer därför att vara skiljt från plus- och minusföljdsnätet. Plus- och minusföljdsnätet kopplas i sin tur samman vid fel och skapar slingan för kortslutningsströmmen. Vid tvåfasfel följer nedanstående ekvationer genom att använda *ekvation 27* och *ekvation 28*:

$$I_a = 0$$

$$I_b + I_c = 0$$

ekvation 36

$$U_b - U_c = Z_{bc} I_b$$

$$\Rightarrow$$

$$I_0 + I_1 + I_2 = 0$$

ekvation 37

$$(I_0 + a^2 I_1 + a I_2) + (I_0 + a I_1 + a^2 I_2) = 0$$

ekvation 38

$$(U_0 + a^2 U_1 + a U_2) + (U_0 + a U_1 + a^2 U_2) = Z_{bc} (I_0 + a^2 I_1 + a I_2)$$

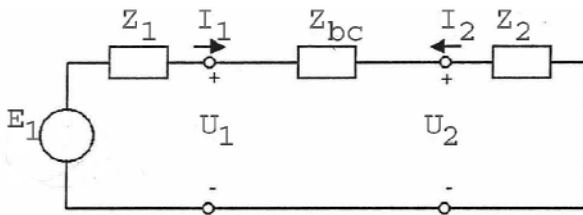
ekvation 39

Ekvation 37, 38 och 39 medför:

$$I_0 = 0$$

$$I_1 + I_2 = 0$$

$$U_1 - U_2 = Z_{bc} I_1$$



Figur 11. Komponentnät vid tvåfasfel.

[4,5]

2.8 Trefasfel

Orsaken till trefasfel är ofta densamma som orsaken för tvåfasfel som beskrivs i föregående stycke.

Vid trefasig kortslutning utan jordberöring beräknas impedansen i reläpunkten enligt ekvation 40.

$$Z_{mät} = \frac{U_{fas}}{I_{fas}} [\Omega]$$

ekvation 40

Där U_{fas} är spänning i felbehäftad fas och I_{fas} är ström i felbehäftad fas.

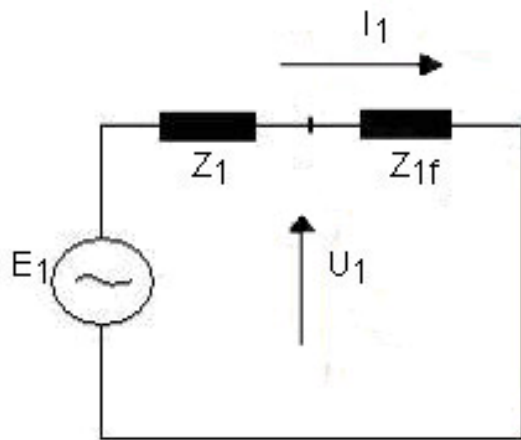
Ett trefasfel är symmetriskt vilket för symmetriska komponenter betyder att:

$$U_1 = U_a = Z_{1f} I_a$$

$$U_2 = U_0 = 0$$

$$I_2 = I_0 = 0$$

Symmetrin består i att alla tre faser är felbehäftade och har därmed fortfarande samma spänning och ström på alla faser.



Figur 12. Komponentnät vid trefasfel

[2,4]

3 Inställningsprinciper för distansskydd

Begreppet distansskydd sammanfattar en teori och en viss typ av kortslutningsskydd. Distansskydd utgör själva basen för skyddssystem i maskade transmissions- och distributionsnät. Distansskydden skyddar primärt kraftledningar och kablar och fungerar dessutom som reservskydd för transformatorer, samlingsskenor och ytterligare fördelningsledningar. I ett maskat nät varierar bakomliggande och framförvarande kortslutningseffekt för varje ledning beroende på hur stor den infasade produktionen är samt på driftläggningar i det aktuella nätet och överliggande nät. Det impedansmätande skyddet har i detta fall en fördel gentemot det överströmsmätande, eftersom det med en större känslighet kan täcka de nätavsnitt som krävs för att få god selektivitet. De allra flesta distansskydd klarar idag av att mäta jordfel med hjälp av nollföljdsimpedansmätning.

Distansskydd mäter impedansen i reläpunkten vid kortslutning genom att beräkna kvoten mellan kortslutningsspänning och kortslutningsström. Den uppmätta felimpedansen jämförs därefter med den kända ledningsimpedansen. Om felimpedansen är mindre än ledningsimpedansen tyder detta på ett fel någonstans på ledningen och den till distansskyddsreläet kopplade brytaren kan lösa ut för att koppla bort felet.

Distansskyddet matas med ström och spänning från ledningen som skall skyddas via ström- och spänningstransformatorer. Reläet mäter därav en sekundär impedans, Z_{sek} enligt *ekvation 41* som är i förhållande till nedtransformeringen.

$$Z_{sek} = \frac{I_{prim} / I_{sek}}{U_{prim} / U_{sek}} Z_{prim} \quad \text{ekvation 41}$$

Där I_{prim} och U_{prim} är ström och spänning för aktuell ledning och I_{sek} och U_{sek} är nertransformerade värden för ström och spänning. Skyddet är inställt med en karakteristik representerad av olika steg i impedansplanet. Normalt ställs tre steg och eventuellt ett startsteg in.

Vid inställning av distansskydd dimensioneras räckvidden efter ledningsimpedansens reaktiva del. Den resistiva delen är avsedd att täcka in ledningens resistiva del samt felresistansen, exempelvis ljusbågsresistans samt jordtagsresistans.

Enligt Vattenfalls principer för inställningar av distansskydd i nät på 130 kV nivå är lämpliga resistanser i ljusbågen vid felströmsberäkningar följande: [7]

- Steg 1 5 Ω
- Steg 2 10 Ω
- Steg 3 20 Ω

- Startsteg 40Ω

För den jordfelsmätande delen av distansskyddet kan dock felresistansen ökas till 15, 35, 50 och 70 ohm för respektive steg. Om det är möjligt att högre resistanser kan uppträda vid fel måste noggrannare studier genomföras.

Vid felströmsberäkningar måste hänsyn tas till vilket fel som ger störst respektive minst kortslutningsströmmar och därav minst respektive störst impedans i mätpunkten. Enfasfel och trefasfel bidrar till störst kortslutningsströmmar och därför minst felresistans. Kortslutningsströmmen för ett enfasfel är större än kortslutningsströmmen för ett trefasfel i de fall då nollföljdsimpedansen är mindre än plusföljdsimpedansen i felslingan. Vid felströmsberäkningar för inställning av distansskydd används därför enfasfel och trefasfel då man vill försäkra sig om tillräcklig räckvidd för att erhålla fullgod selektivitet, exempelvis för att inte nå underliggande system.

Tvåfasfel ger i regel lägst kortslutningsströmmar och därmed högst felresistans, och tillsammans med enfasfel används dessa oftast vid felströmsberäkningar för att erhålla tillräcklig räckvidd.

För inställning av respektive steg måste vissa hänsynstaganden göras samt felfallsberäkningar utföras på det nät och den ledning där distansskyddet skall verka. De felfallsberäkningar som behöver göras baseras på E.ON's inställningsprinciper för distansskydd. Ytterligare har jag utgått från riktlinjer gjorda av ABB. Felfallen namnges med tre siffror där första siffran betecknar vilket steg som felfallet skall beräknas för. Andra och tredje siffran är numret på själva felfallet. Exempelvis kan felfall nummer 3 för steg 2 betecknas 203.

I 130 kV system kan den minimala felströmmen approximeras till att vara 1000 A. Med det typiska fasavståndet $l = 3$ m blir då den maximala resistansen i ljusbågen $R = 5 \Omega$ enligt Van Warrington, *ekvation 1*. Vid kommande felfall för de olika stegen hänvisas till denna resistans. För Steg 2 nämns för vissa felfall att resistansen i felstället skall sättas till $3R = 15 \Omega$. Det beror på att ljusbågen förlängs då tiden ökar innan felbortkoppling sker. Resistansen kan då approximeras med att öka med en faktor 3. För steg 3 hänvisas till resistansen $4R = 20 \Omega$ på grund av att ljusbågen förlängs ytterligare med ökad bortkopplingstid.

Vid inställning av distansskydd är det mycket viktigt att skydden inte löser ut vid fel där ett annat distansskydd eller annan typ av skydd kan lösa ut och på så sätt medverka till att så liten del av nätet som möjligt kopplas bort. Därför talar man i distansskyddssammanhang om selektivitet och selektivplaner. Med selektivitet menas valet av vilket distansskydd som skall lösa ut vid ett fel. [1,7]

3.1 Steg 1

Det första steget, steg 1, är inställt till att vid kortslutning med felimpedans inom stegområdet ge momentan utlösning av brytaren. Steg 1 täcker normalt 80 % till 90 % av den skyddade ledningen. På grund av osäkerheter i mätningar och i parametervärden kan inte ledningen helt skyddas av steg 1. För att upprätthålla selektivitet mellan reläskydd på ledningen och framförvarande ledning väljs därför gränsen för steg 1 inte till hela ledningsimpedansen utan en säkerhetsmarginal byggs in.

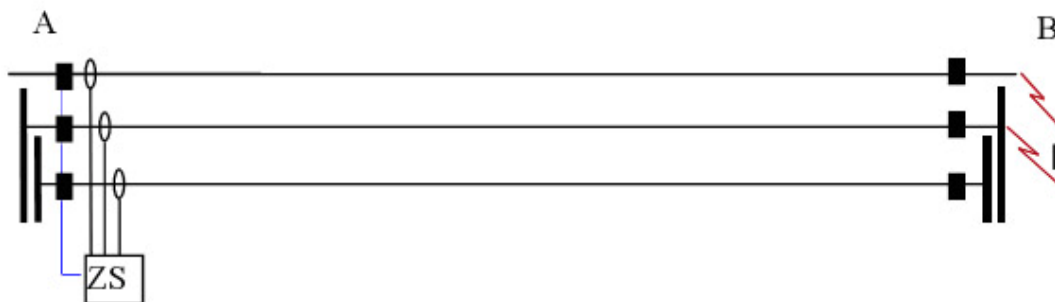
Inställningsvärden för steg 1 som endast verkar på egen ledning kan man finna genom att göra särskilda felfallsberäkningar på det nät och den ledning där distansskyddet skall verka. Inställningsproceduren för steg 1 kan anses förhållandevis generell i och med att steg 1 skall täcka så stor del av den egna ledningen som möjligt men får inte överrätta den egna ledningen. För steg 1 görs därför fyra felfallsberäkningar respektive två kontrollberäkningar. De fyra fallen, fall 101-104, är placerade i gränspunkten där steg 1 inte får överrätta. De två kontrollfallen är placerade där steg 1 skall lösa ut, från åtminstone en ledningsända. Dessa fyra fall är riktlinjer och det är möjligt att de i vissa fall inte är fullt tillräckliga för att erhålla tillräcklig selektivitet och räckvidd. Om så är fallet måste ytterligare beräkningar göras.

3.1.1 Fall 101

Första felfallet är en tvåfasig kortslutning på den mötande samlingskenan (station B) till vilken den bortre ledningsändan är ansluten. Resistansen i felstället fås med felströmsberäkning och användning av van Warringtons ekvation (*ekvation 1*). Vid felströmsberäkningen används den maximala resistans som uppstår i ljusbågen i felet. Resistansen i felstället sätts till $R = 5 \Omega$

Felet genomförs eftersom den induktiva delen av den uppmätta impedansen kan minska vid ej försumbar resistans i felstället, jämfört med fallet med stum kortslutning. Resultatet kan bli oönskad överräkning.

Den uppmätta impedansen i punkten där distansskyddet placeras betecknas som Z101.

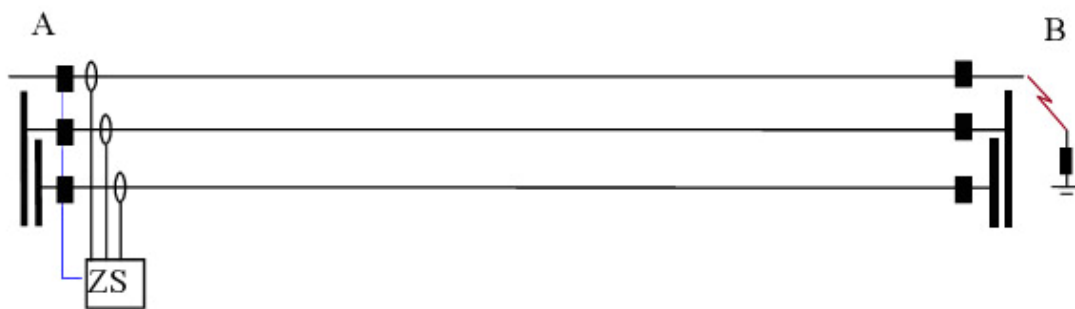


Figur 13. Fall 101

3.1.2 Fall 102

Fall 102 är ett enfasigt jordfel på den mötande samlingsskenan, station B, till vilken den bortre ledningsändan är ansluten. Resistansen i felstället antas endast utgöras av ljusbågsresistansen som uppskattas genom felströmsberäkning och van Warringtons ekvation (*ekvation 1*). Jordtagsresistansen i station B antas vara försumbar. Resistansen i felstället sätts till $R = 5 \Omega$. Denna beräkning görs endast för distansskydd som kan upptäcka och koppla bort enfasiga jordfel. Felet undersöks för att inte få oönskad överräckning vid kortslutning i mötande station.

Den uppmätta impedansen i punkten där distansskyddet placeras betecknas som Z_{102} .

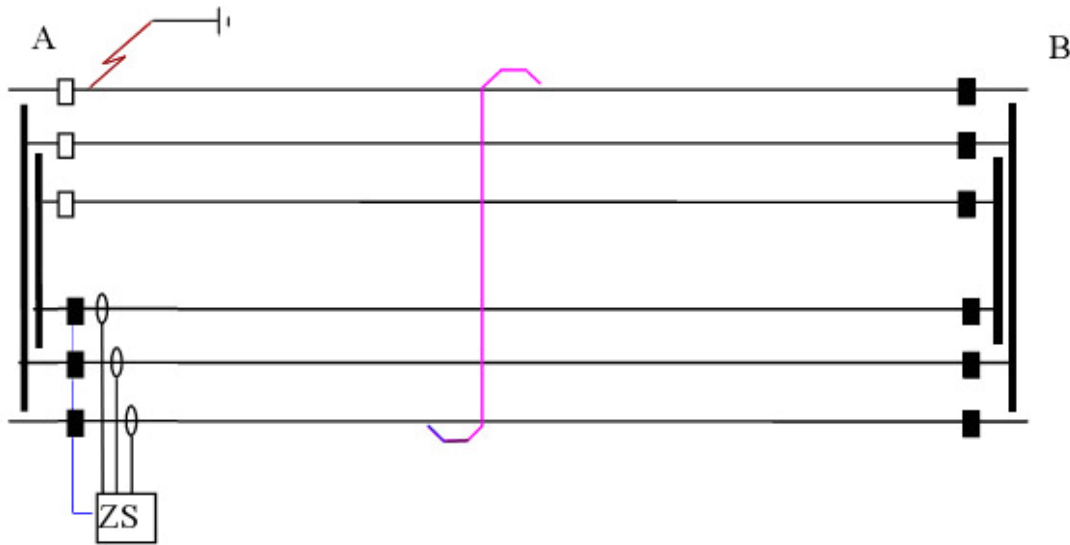


Figur 14. Fall 102

3.1.3 Fall 103

Fall 103 gäller för parallellgående ledningar. Felet som är enfasigt stumt jordfel placeras 100 % ut på den parallellgående ledningen samt på ytterligare punkter där ömsesidig nollföljtkoppling börjar eller upphör. Fjärrändan på den parallellgående ledningen hålls öppen. Resistansen i felstället sätts till $R = 0 \Omega$. Beräkningen görs enbart för distansskydd som kan upptäcka och koppla bort enfasiga jordfel. Felet undersöks för att inte få oselektiv steg 1-funktion vid kortslutningar på parallellgående ledningar.

Den uppmätta impedansen i punkten där distansskyddet placeras betecknas som Z_{103} .



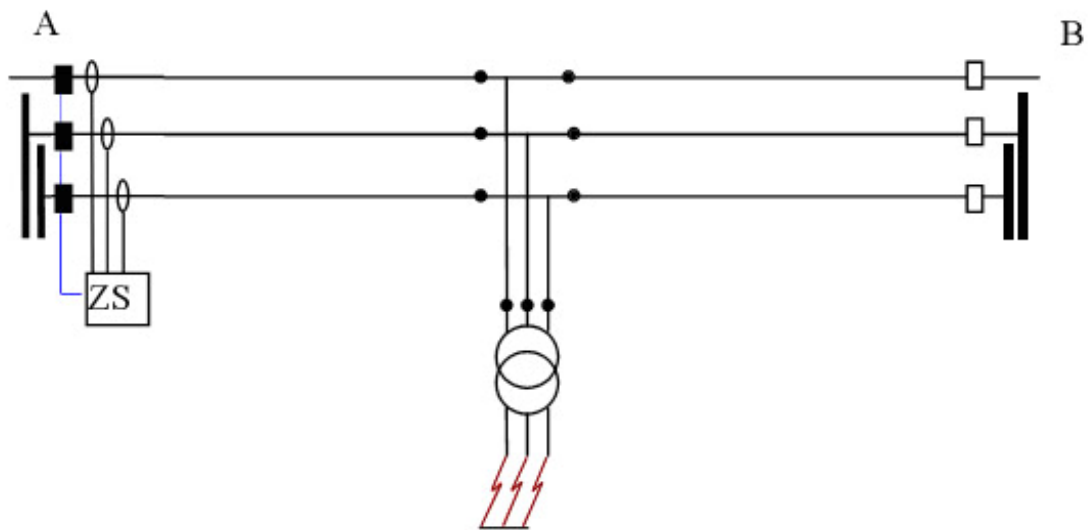
Figur 15. Fall 103

3.1.4 Fall 104

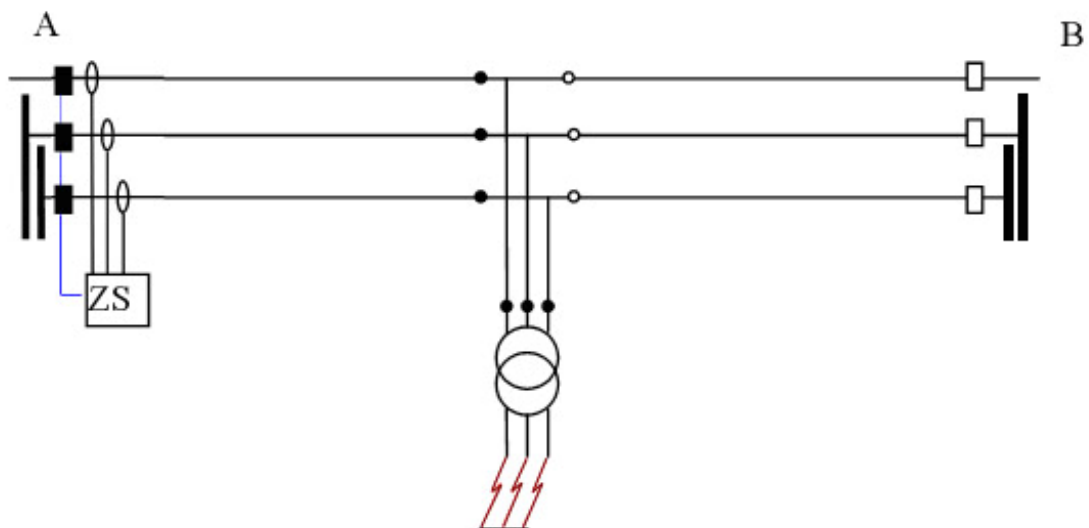
Fall 104 delas upp i Fall 104a och Fall 104b. Beräkningen genomförs med trefasig, stum kortslutning på nedsidan av transformator ansluten till påstick på ledningen. Felresistans fås med hjälp av felströmsberäkning och användning av van Warringtons ekvation (ekvation 1). Felet undersöks för att inte få oselektiv steg 1-funktion vid kortslutningar på ledningar i underliggande system.

Fall 104a genomförs med hela den skyddade ledningen i drift. I vissa fall kan dock någon delsträcka av den skyddade ledningen tas ur drift, vilket medför att sidoinmatningen från den bortre ledningsändan försvinner, vilket kan ge ökad räckvidd för distansskyddet. Fall 104b studeras för detta fall.

Den uppmätta impedansen i punkten där distansskyddet placeras betecknas som Z_{104a} samt Z_{104b} .



Figur 16. Fall 104a



Figur 17. Fall 104b

3.1.5 Val av inställningsvärden steg 1

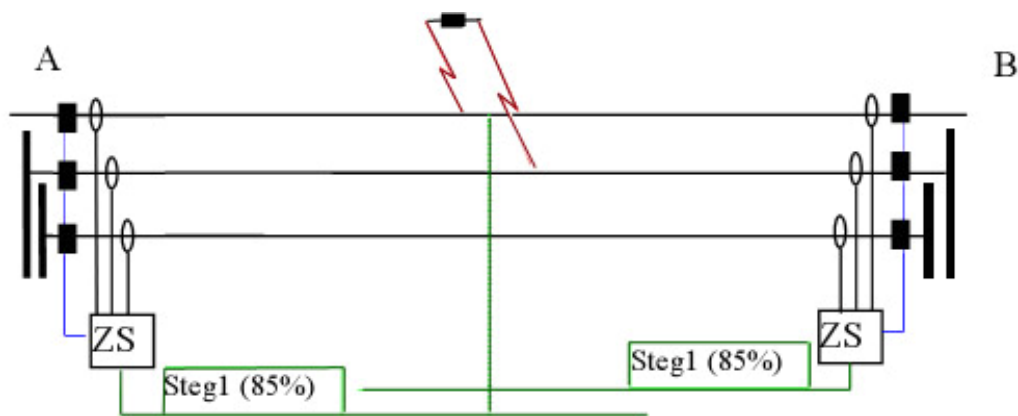
Inställningsvärdet för steg 1, Z_{1inst} skall vara mindre än den minsta av de fyra beräknade impedanserna.

Alltså, $Z_{1inst} < \min(Z_{101}, Z_{102}, Z_{103}, Z_{104})$.

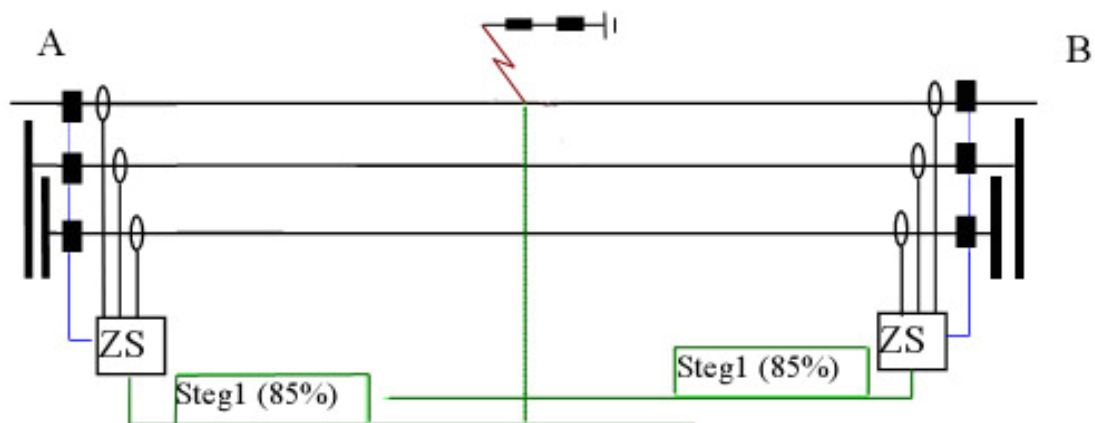
3.1.6 Fall 100 kontroll 1 och kontroll 2

För att säkerställa funktionen hos steg 1 görs två kontrollberäkningar. Då man önskar att steg 1 skall lösa vid alla felpunkter på ledningen med resistans i felstället, från åtminstone en ledningsände, kontrolleras detta med tvåfasig samt enfasig kortslutning mitt på ledningen. Vid behov kan kontroll även ske på andra felpunkter. Fall 100 kontroll 1 är en tvåfasig kortslutning där resistansen i felstället uppskattas med felströmsberäkning och van Warringtons ekvation (ekvation 1).

Fall 100 kontroll 2 är en enfasig jordslutning där den beräknade felresistansen adderas med uppskattad jordtagsresistans hos ledningsstolparna. Med topplina på ledningen kan jordtagsresistansen antas vara max 10 Ω .



Figur 18. Fall 100 kontroll 1



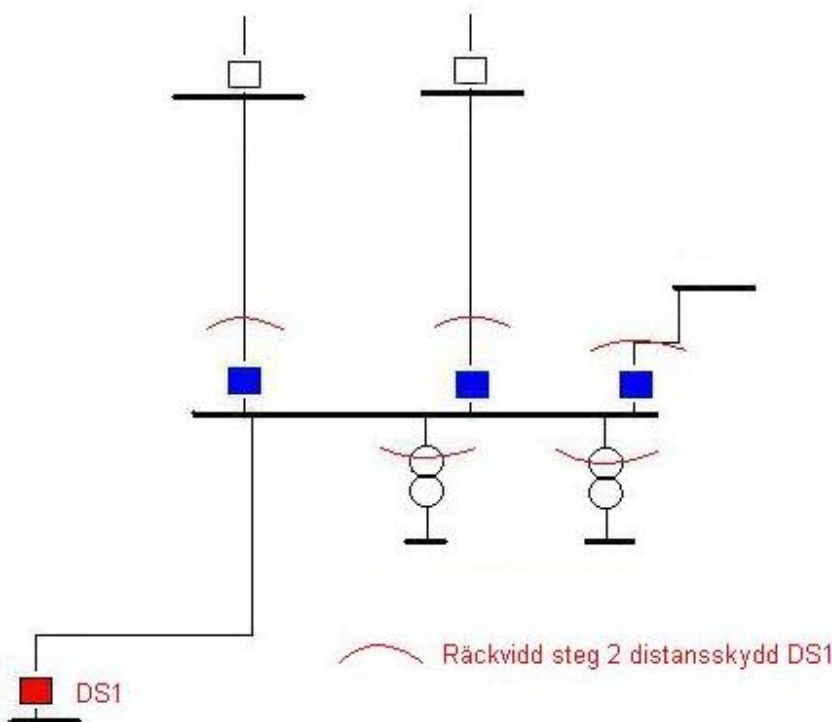
Figur 19. Fall 100 kontroll 2

3.2 Steg 2

Steg 2 är inställd med en tidsfördröjning vanligtvis 300ms till 400ms och täcker den resterande delen av den skyddade ledningen samt ända upp till 50 % av nästkommande

fördelningsledningar. Steg 2 skall om möjligt vara selektiv mot andra reläskydd. Inställningsvärdet för steg 2 skall dessutom i regel aldrig överskrida 80 % av någon av följande impedanser:

- Impedansen av den skyddade ledningen samt inställningsvärdet för steg 1 på den kortaste angränsande ledningen.
- Impedansen av den skyddade ledningen plus den sammanlagda impedansen av maximalt antal parallellkopplade transformatorer på samlingssskenan i den andra ledningsänden.



Figur 20. Exempel nät för steg 2 funktion

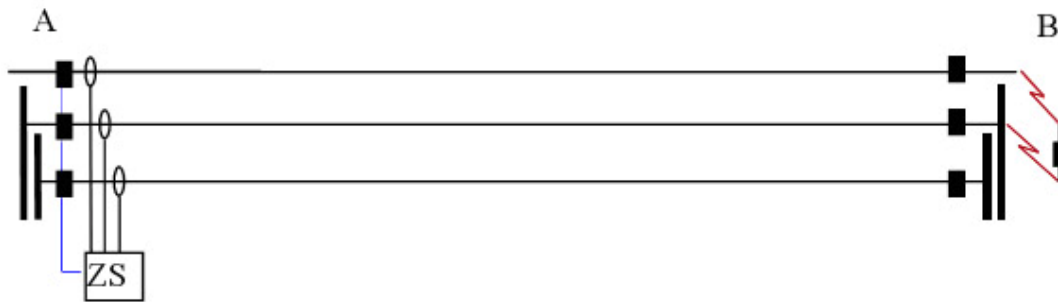
För steg 2 behöver fler felfallsberäkningar göras än för steg 1. Steg 2 är mer komplicerat att ställa in då det överräcker den egna ledningen och räcker ända in på nästkommande ledningar. Sammanlagt görs elva kontrollberäkningar där fall 201-206 görs för att erhålla tillräcklig räckvidd medan fall 207-211 görs för att erhålla god selektivitet. Precis som för steg 1 är dessa felfall allmänt generaliserade och därför kan ytterligare felfallsberäkningar behöva göras i särskilda nätkonfigurationer. [3, 4]

3.2.1 Fall 201

Fall 201 är en tvåfasig kortslutning på samlingssskenan i den bortre ledningsänden (station B). Resistansen i felstället sätts till $R_f = 3 \cdot R$ där R uppskattas genom felströmsberäkning och användning av van Warrington (ekvation 1). Faktorn 3 som den beräknade

felresistansen multipliceras med kommer av att vid fördröjd felbortkoppling förlängs normalt ljusbågen och därmed ökar den maximala felresistansen i ljusbågen. Felfallsberäkningen genomförs med maximal sidoinmatning för att den resistiva delen av impedansen som distansskyddet ser skall bli så stor som möjligt.

Den uppmätta impedansen i punkten där distansskyddet placeras betecknas som Z201.

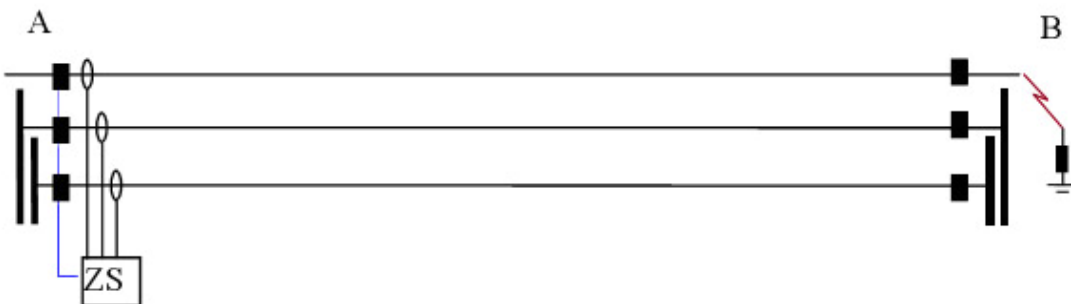


Figur 21. Fall 201

3.2.2 Fall 202

Fall 202 är ett enfasigt jordfel på samlingsknanen i den borte ledningsändan (station B). Resistansen i felstället sätts till $R_f = 3 \cdot R$ där R uppskattas genom felströmsberäkning och användning av van Warrington (ekvation 1). Beräkningen görs enbart för distansskydd som kan upptäcka och koppla från enfasiga jordfel.

Den uppmätta impedansen i punkten där distansskyddet placeras betecknas som Z202.



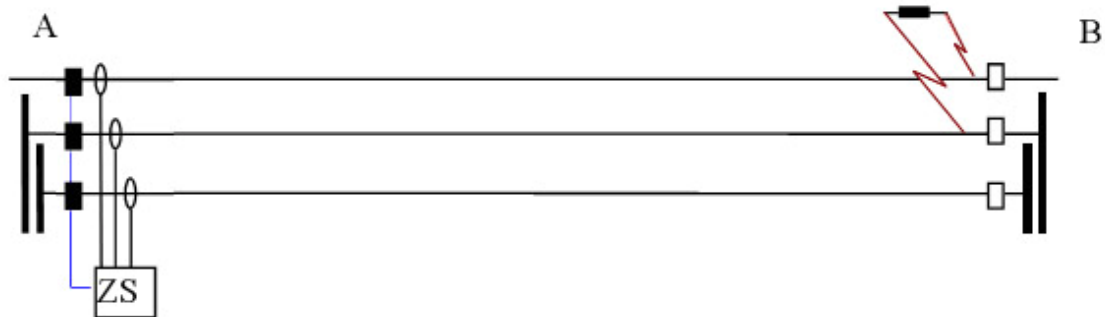
Figur 22. Fall 202

3.2.3 Fall 203

Fall 203 är en tvåfasig kortslutning som placeras längst bort på ledningen. Brytaren i den borte ledningsändan är öppen. Resistansen i felstället sätts till $R_f = 3 \cdot R$ där R uppskattas genom felströmsberäkning och användning av van Warrington (ekvation 1). Resistansen kan bli stor på grund av liten kortslutningsström.

Detta fall kontrolleras när nätet är som svagast, till exempel då den starkaste inmatningspunkten till samlingskenan som ledningen utgår ifrån är bortkopplad.

Den uppmätta impedansen i punkten där distansskyddet placeras betecknas som Z203.

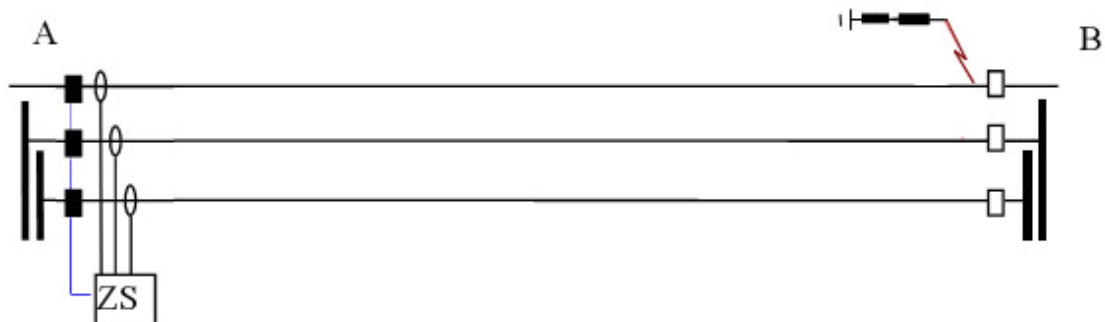


Figur 23. Fall 203

3.2.4 Fall 204

Fall 204 är ett enfasigt jordfel som placeras längst bort på ledningen. Brytaren i den bortre ledningsändan är öppen. Resistansen i felstället sätts till $R_f = 3 \cdot R + R_j$ där R uppskattas genom felströmsberäkning och användning av van Warrington (ekvation 1) och R_j utgör jordtagsresistansen.

Den uppmätta impedansen i punkten där distansskyddet placeras betecknas som Z204.



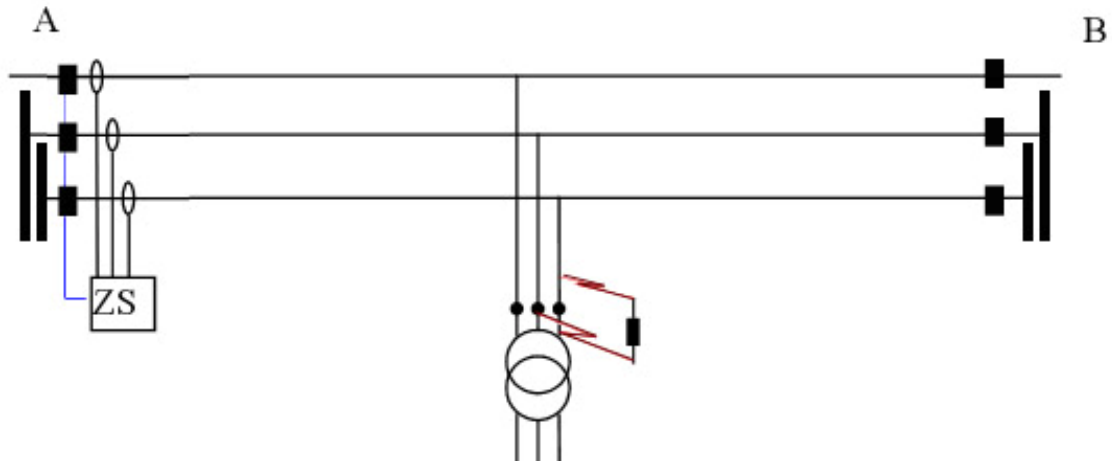
Figur 24. Fall 204

3.2.5 Fall 205

Fall 205 är en tvåfasig kortslutning längst ut på påstick på ledningen. Resistansen i felstället sätts till $R_f = 3 \cdot R$ där R uppskattas genom felströmsberäkning och användning av van Warrington (ekvation 1).

Detta fall kontrolleras när nätet är som svagast, till exempel då den starkaste inmatningspunkten till samlingskenan som ledningen utgår ifrån är bortkopplad.

Den uppmätta impedansen i punkten där distansskyddet placeras betecknas som Z205.

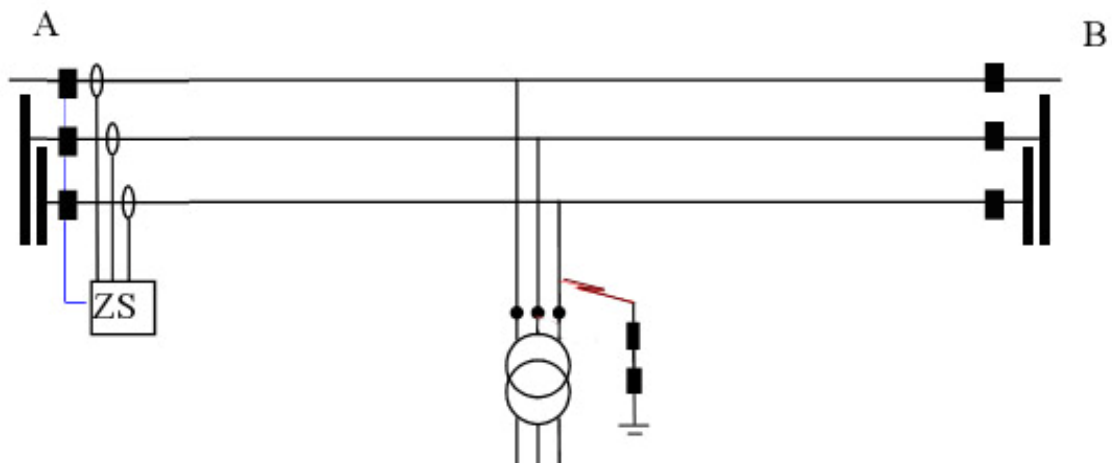


Figur 25. Fall 205

3.2.6 Fall 206

Fall 206 är ett enfasigt jordfel längst ut på påstick på ledningen. Resistansen i felstället sätts till $R_f = 3 \cdot R + R_j$ där R uppskattas genom felströmsberäkning och användning av van Warrington (ekvation 1) och R_j utgör jordtagsresistansen.

Den uppmätta impedansen i punkten där distansskyddet placeras betecknas som Z206.



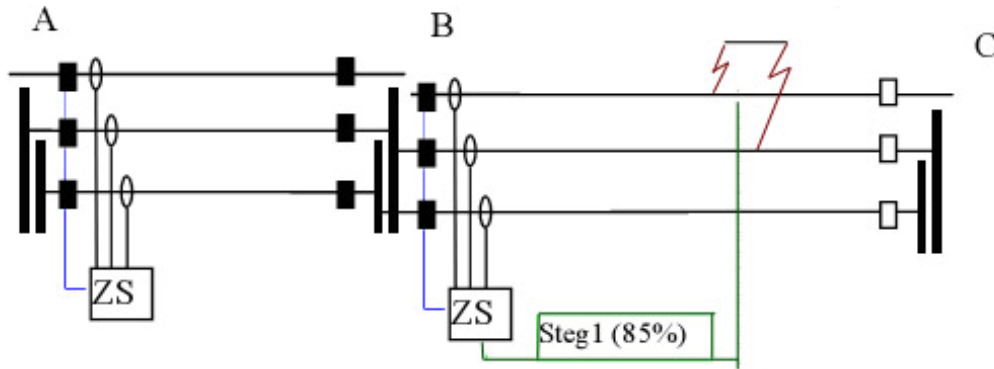
Figur 26. Fall 206

3.2.7 Fall 207

Fall 207 är en tvåfasig kortslutning 85 % ut på de övriga ledningarna utgående från den bortre samlingskenan (station B). Om räckvidden för steg 1 för någon av de från station

B utgående ledningarna inte är 85 % förflyttas felet så att det hamnar i gränspunkten för dess räckvidd. Ledningsbrytaren i den borte ledningsänden på den felbehäftade ledningen är öppen. Resistansen i felstället sätts till $R = 0 \Omega$.

Den uppmätta impedansen i punkten där distansskyddet placeras betecknas som Z207.



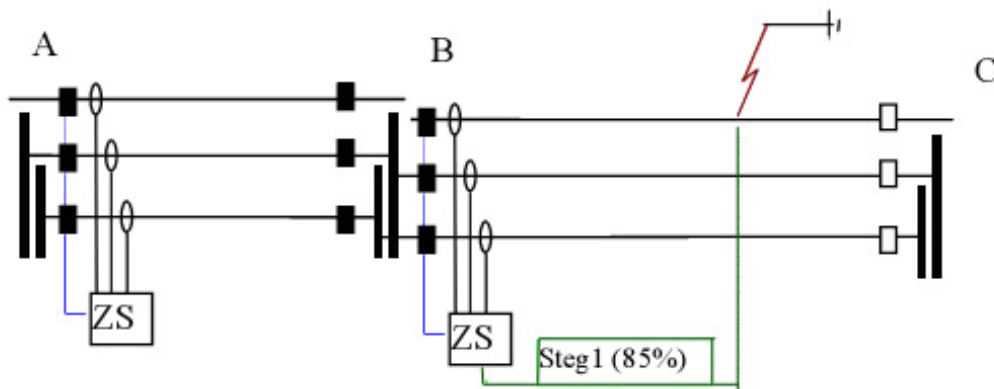
Figur 27. Fall 207

3.2.8 Fall 208

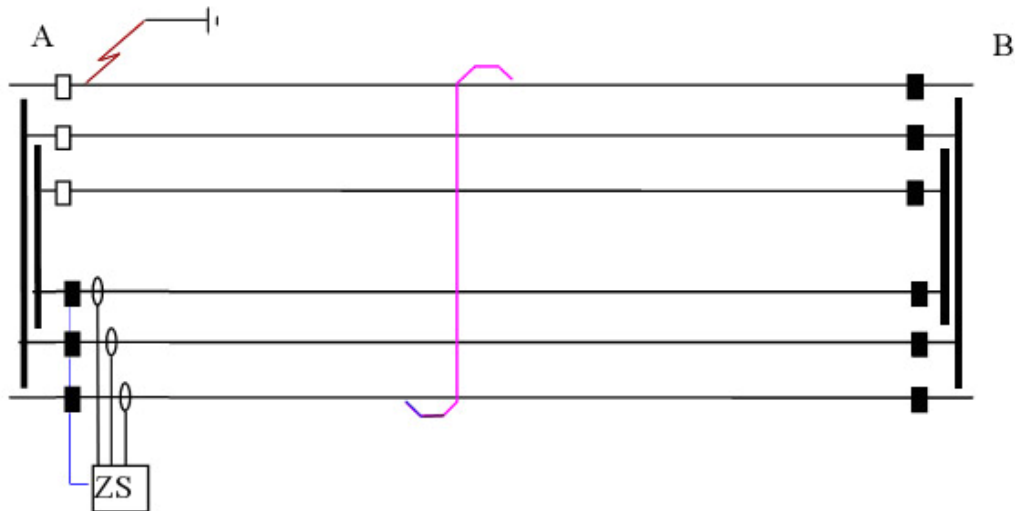
Fall 208 är ett enfasigt stumt jordfel som placeras 85 % ut på de övriga ledningarna utgående från den borte samlingsskenan (station B). Om räckvidden för steg 1 för någon av de från station B utgående ledningarna inte är 85 % förflyttas felet så att det hamnar i gränspunkten för dess räckvidd. Ledningsbrytaren i den borte ledningsänden på den felbehäftade ledningen är öppen. Resistansen i felstället sätts till $R = 0 \Omega$.

Då ledningen löper parallellt med annan ledning kontrolleras detta med ett enfasigt stumt jordfel längst ut på den parallellgående ledningen sett från samlingsskenan till vilken den borte ledningsänden är ansluten (station B). Ledningsbrytaren i borte ledningsänden på den felbehäftade ledningen är öppen. Resistansen i felstället sätts till $R = 0 \Omega$.

Den uppmätta impedansen i punkten där distansskyddet placeras betecknas som Z208.



Figur 28. Fall 208



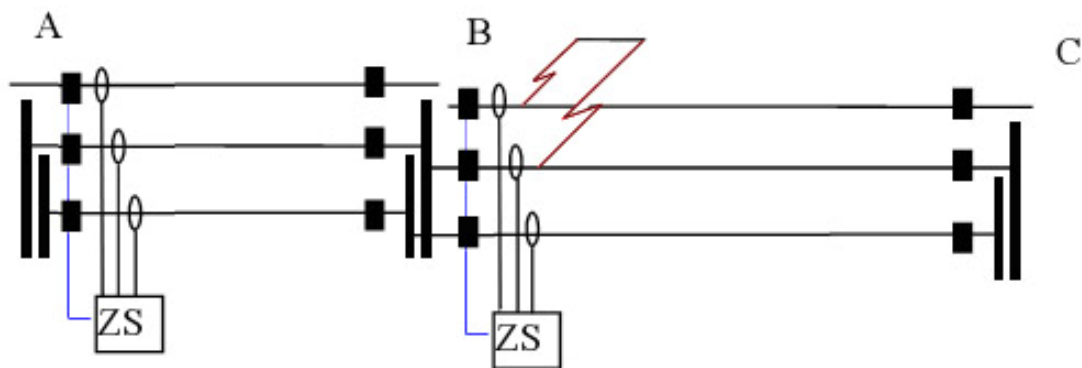
Figur 29. Fall 208 vid parallellledning

3.2.9 Fall 209

Fall 209 är en tvåfasig kortslutning placerad precis utanför ledningsbrytaren på de utgående ledningarna som lämnar den bortre samlingskenan (station B). Resistansen i felstället motsvarar den resistiva räckvidden för Steg 1 för distansskyddet för den felbehäftade ledningen, vid fel precis utanför ledningsbrytaren. Felet undersöks eftersom det finns risk för oselektivitet hos steg 2 mellan distansskyddet för den egna ledningen och distansskyddet för den mötande ledningen, *Figur 66*. Vid bestämning av denna resistans måste hänsyn tas till vilken polarisationsspänning som skyddet använder (korspolarisation eller självpolarisation).

Om felresistansen uppskattas till större än 10Ω kan man bortse från denna felfallsberäkning.

Den uppmätta impedansen i punkten där distansskyddet placeras betecknas som Z209.



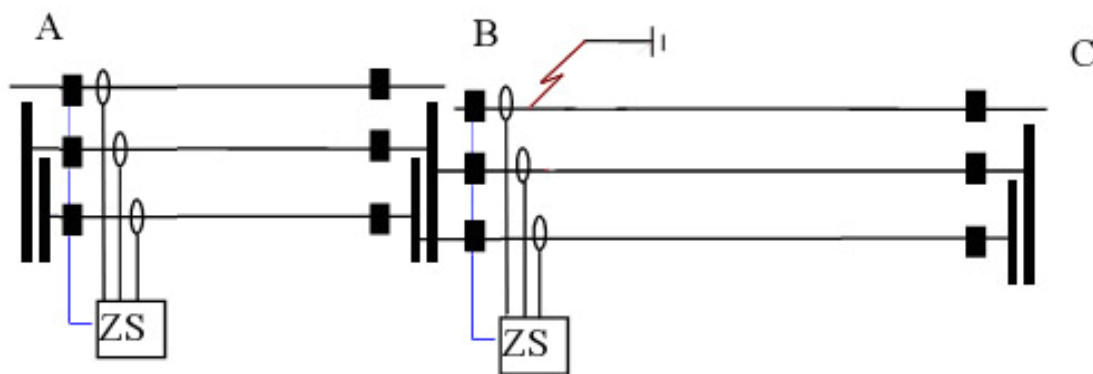
Figur 30. Fall 209

3.2.10 Fall 210

Fall 210 är ett enfasigt jordfel placerat direkt utanför ledningsbrytaren på de utgående ledningarna som lämnar den bortre samlingsskenan (station B). Resistansen i felstället motsvarar den resistiva räckvidden för steg 1 för distansskyddet för den felbehäftade ledningen, vid fel precis utanför ledningsbrytaren. Felet undersöks eftersom det finns risk för oselektivitet hos steg 2 mellan distansskyddet för den egna ledningen och distansskyddet för den mötande ledningen, *Figur 66*. Vid bestämning av denna resistans måste hänsyn tas till vilken polarisationsspänning som skyddet använder (korspolarisation eller självpolarisation).

Om felresistansen uppskattas till större än 10Ω kan man bortse från denna felfallsberäkning. Denna beräkning görs endast för distansskydd som kan upptäcka och koppla från enfasiga jordfel.

Den uppmätta impedansen i punkten där distansskyddet placeras betecknas som Z210.



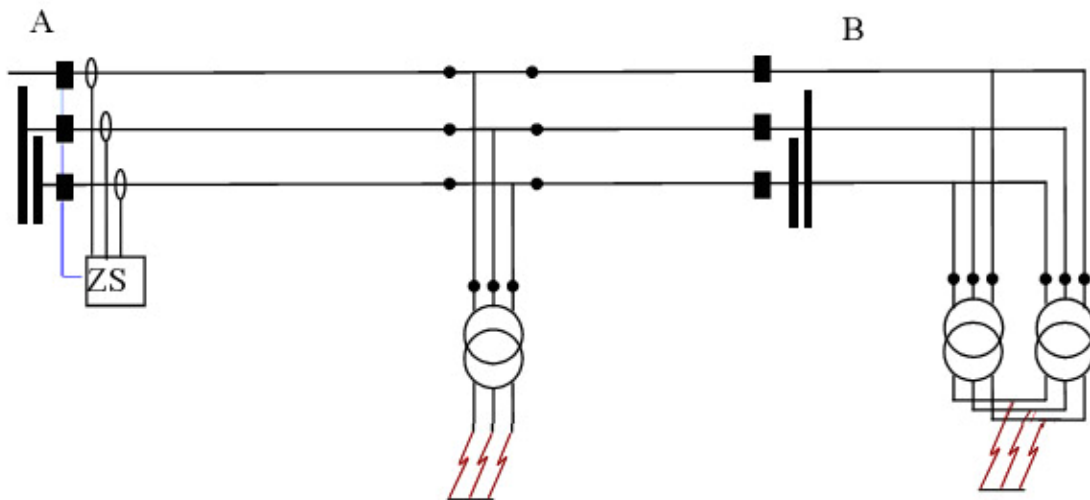
Figur 31. Fall 210

3.2.11 Fall 211

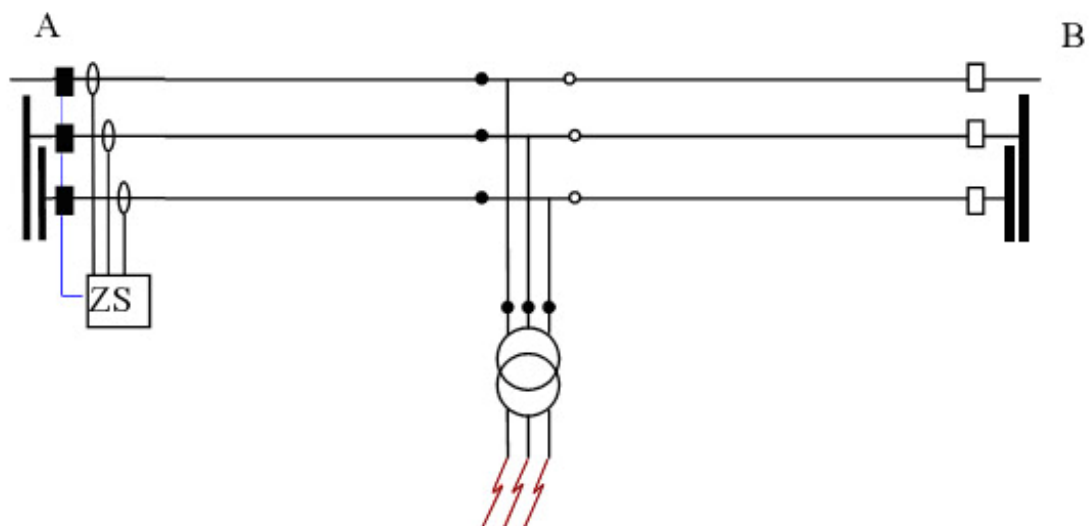
Fall 211 är en trefasig stum kortslutning på nedspänningssidan av transformator ansluten till påstick på ledningen samt trefasig kortslutning på nedspänningssidan av transformatorer anslutna till den bortre samlingsskenan (station B). Om transformatorerna kan parallellkopplas skall dessa vara parallellkopplade. Resistansen i felstället sätts till $R=0 \Omega$. Fallet studeras för att kortslutningar på nedsidan av transformatorn inte ska ge oselektivitet för steg 2.

Fall 211 genomförs med hela den skyddade ledningen i drift. I vissa fall kan dock någon delsträcka av ledningen tas ur drift, enligt *Figur 33* vilket medför att sidoinmatningen från den bortre ledningsänden försvinner. Detta kan ge ökad räckvidd för distansskyddet och fall 211 skall därför testas med denna koppling.

Den uppmätta impedansen i punkten där distansskyddet placeras betecknas som Z211.



Figur 32. Fall 211



Figur 33. Fall 211 där en delsträcka av ledningen är urkopplad.

3.2.12 Val av inställningsvärden steg 2

Inställningsvärdet för steg 2 skall om möjligt väljas inom nedanstående intervall.

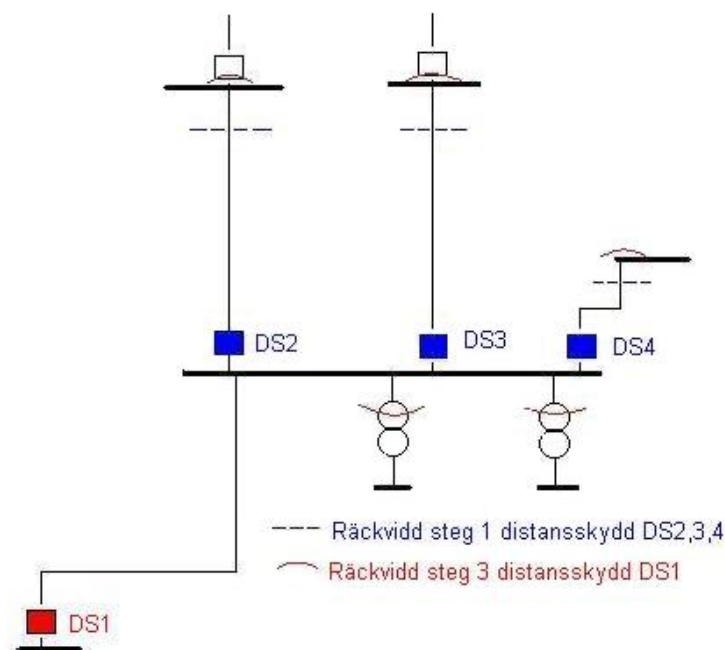
$$\text{Max}(Z201, Z202, Z203, Z204, Z205, Z206) < Z2_{\text{inst}} < \text{Min}(Z207, Z208, Z209, Z210, Z211)$$

Om det inte är möjligt att ge ett inställningsvärde inom intervallet prioriteras att fel inom skyddets skyddszon skall bortkopplas inom 0.5 s, som är en normal tid för bortkoppling av steg 2. Detta skall göras även om det innebär en risk för oselektivitet.

3.3 Steg 3

Steg 3 ställs med ytterligare tidsfördröjning, normalt 1.2 s och skall fungera som reservskydd för andra reläskydd. Steg 3 skall ställas selektivt mot transformatorskydd och ledningsskydd i underliggande system. Däremot behöver steg 3 inte ställas selektivt mot andra distansskydd i 130 kV systemet, då det är meningen att alla fel skall bortkopplas av steg 1 eller steg 2 inom normalt 0.5 s.

Att finna allmänt tillämpbara felströmsberäkningar att göra vid inställning av steg 3 är svårt då distansskyddet skall verka på ett så stort område som för olika nät kan se mycket olika ut. Inställningsvärdet för steg 3 skall inte överskrida 90 % av inställningsvärdet för steg 2 för den kortaste angränsande ledningen i mötande station adderat med impedansen för den egna ledningen. Inställningsvärdet skall dessutom vara minst två gånger inställningsvärdet för steg 1 och bör om möjligt täcka den längsta ledningen i mötande station. I undantagsfall kan oselektivitet inträffa då skyddet kan känna igenom större transformatorer eller överrätta kortare framförvarande ledningar. Huruvida det kan vara accepterbart eller inte är en bedömningsfråga för varje enskilt fall. [3, 4]

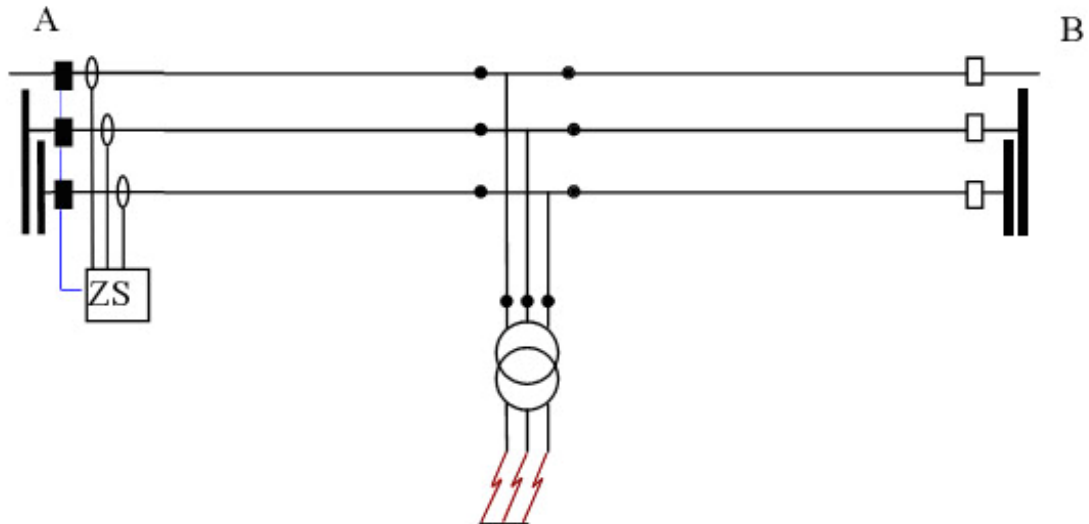


Figur 34. Exempel för steg 3 funktion.

3.3.1 Fall 301

Trefasig kortslutning på nedsidan av transformator ansluten till påstick på ledningen. Steg 3 skall inte överrätta underliggande system. Felresistansen sätts till $R = 0 \Omega$. Fallet undersöks för att inte få oönskad överrättning i underliggande system.

Den uppmätta impedansen i punkten där distansskyddet placeras betecknas som Z301.

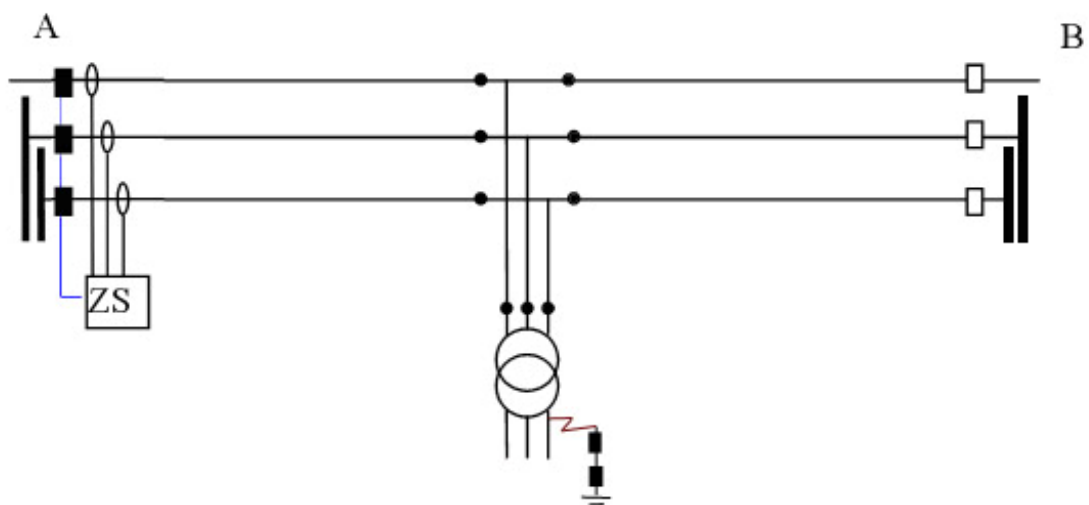


Figur 35, Fall 301

3.3.2 Fall 302

Enfasig jordslutning på nedsidan av transformator ansluten till påstick på ledningen. Steg 3 skall inte överrätta underliggande system. Felresistansen R_f utgörs av ljusbågsresistans samt jordtagsresistans. $R_f = 4 \cdot R + R_j$ där R uppskattas genom felströmsberäkning och användning av van Warrington (ekvation 1).

Den uppmätta impedansen i punkten där distansskyddet placeras betecknas som Z302.

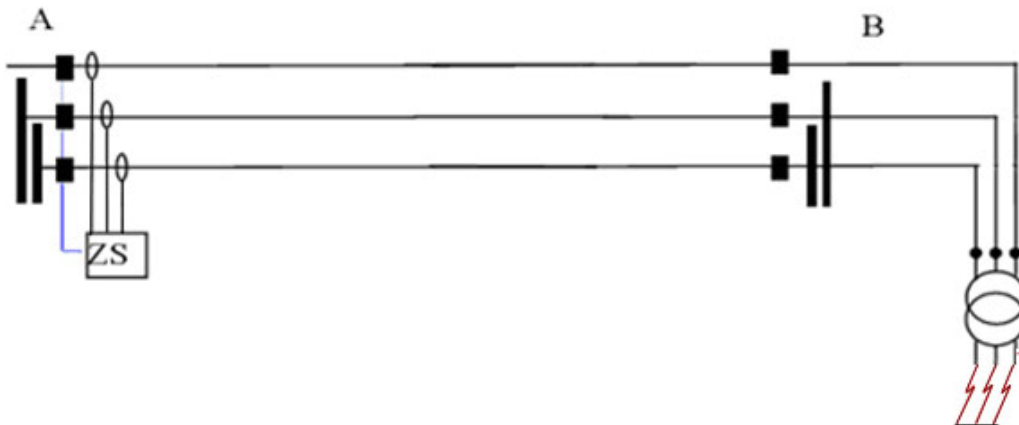


Figur 35, Fall 302

3.3.3 Fall 303

Trefasig stum kortslutning på nedsidan av transformator ansluten till mötande samlings-skena. Felresistansen sätts till $R = 0 \Omega$. Fallet undersöks för att inte få oönskad överräkning i underliggande system.

Den uppmätta impedansen i punkten där distansskyddet placeras betecknas som Z_{303} .

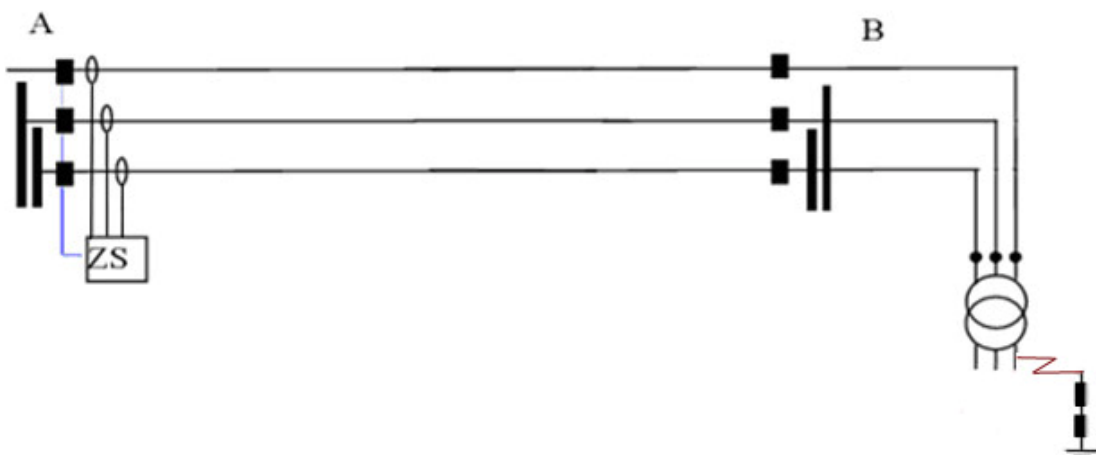


Figur 36, Fall 303

3.3.4 Fall 304

Enfasig jordslutning på nedsidan av transformator ansluten till mötande samlings-skena. Felresistansen R_f utgörs av ljusbågsresistans samt jordtagsresistans. $R_f = 4 \cdot R + R_j$ där R uppskattas genom felströmsberäkning och användning av van Warrington (ekvation 1).

Den uppmätta impedansen i punkten där distansskyddet placeras betecknas som Z_{304} .

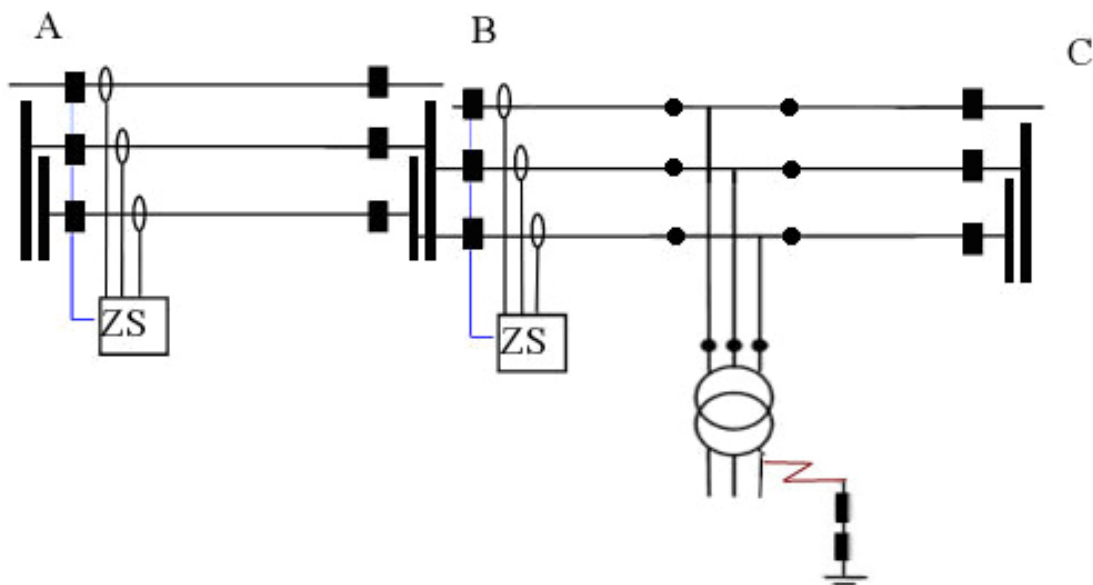


Figur 37, Fall 304

3.3.5 Fall 305

Enfasig jordslutning på nedsidan av transformator ansluten till påstick på ledningen utgående från mötande station. Felresistansen R_f utgörs av ljusbågsresistans samt jordtagsresistans. $R_f = 4 \cdot R + R_j$ där R uppskattas genom felströmsberäkning och användning av van Warrington (*ekvation 1*).

Den uppmätta impedansen i punkten där distansskyddet placeras betecknas som Z_{305} .

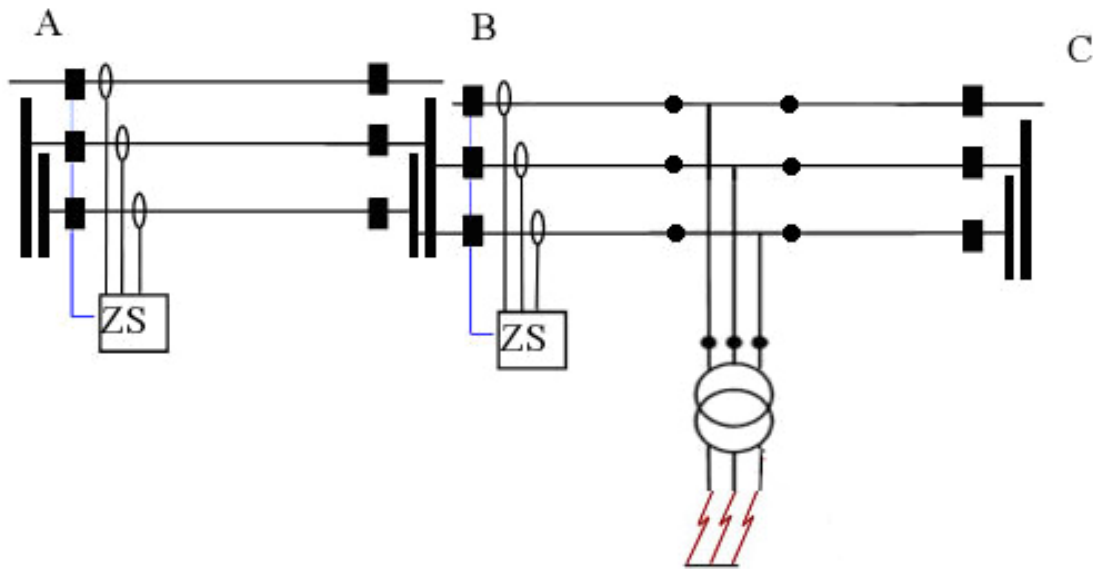


Figur 38, Fall 305

3.3.6 Fall 306

Trefasig stum kortslutning på nedsidan av transformator ansluten till påstick på ledningen utgående från mötande station. Felresistansen sätts till $R = 0 \Omega$. Fallet undersöks för att inte få oönskad överräkning i underliggande system.

Den uppmätta impedansen i punkten där distansskyddet placeras betecknas som Z_{306} .

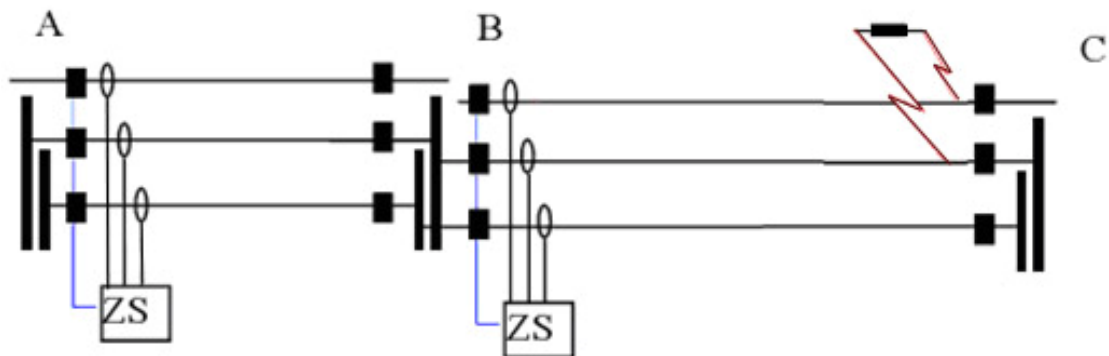


Figur 39, Fall 306

3.3.7 Fall längsta ledning

Inställningsvärdet för steg 3 skall om möjligt täcka den längsta ledningen i mötande station. Tvåfasig kortslutning i borte änden på längsta mötande ledning. Felresistansen väljs till $4R$ där R fås från felströmsberäkning och användning av van Warrington (ekvation 1).

Den uppmätta impedansen i punkten där distansskyddet placeras betecknas som Z_{307} .



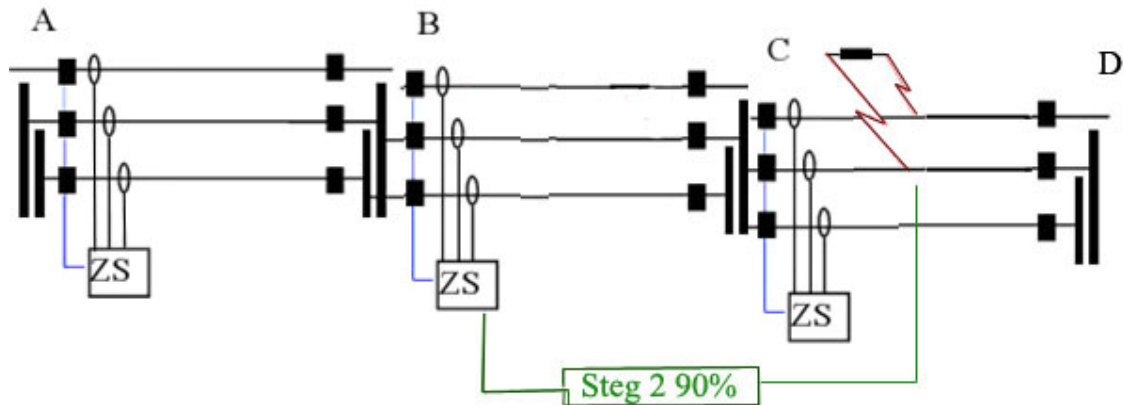
Figur 40, Fall 300 längsta ledning

3.3.8 Fall kortaste ledning

Inställningsvärdet för steg 3 skall inte överskrida 90 % av inställningsvärdet för steg 2 för den kortaste angränsande ledningen i mötande station adderat med impedansen för den

egna ledningen. Tvåfasig kortslutning placerad på 90 %-ig steg 2 räckvidd för kortaste mötande ledning. Resistansen väljs till $4R$ där R fås genom felströmsberäkning och användning av van Warrington (ekvation 1).

Den uppmätta impedansen i punkten där distansskyddet placeras betecknas som Z_{308} .



Figur 41, Fall 300 kortaste ledning

3.3.9 Val av inställningsvärden steg 3

Inställningsvärdet för steg 3 skall om möjligt väljas inom nedanstående intervall.

$$Z_{307} < Z_{3inst} < \min(Z_{301}, Z_{302}, Z_{303}, Z_{304}, Z_{305}, Z_{306}, Z_{308})$$

Om det inte är möjligt att ge ett inställningsvärde inom intervallet prioriteras att fel inom skyddets skyddszone skall bortkopplas inom 1,2 s, som är en normal tid för bortkoppling av steg 3. Detta skall göras även om det innebär en risk för oselektivitet.

3.4 Startsteg

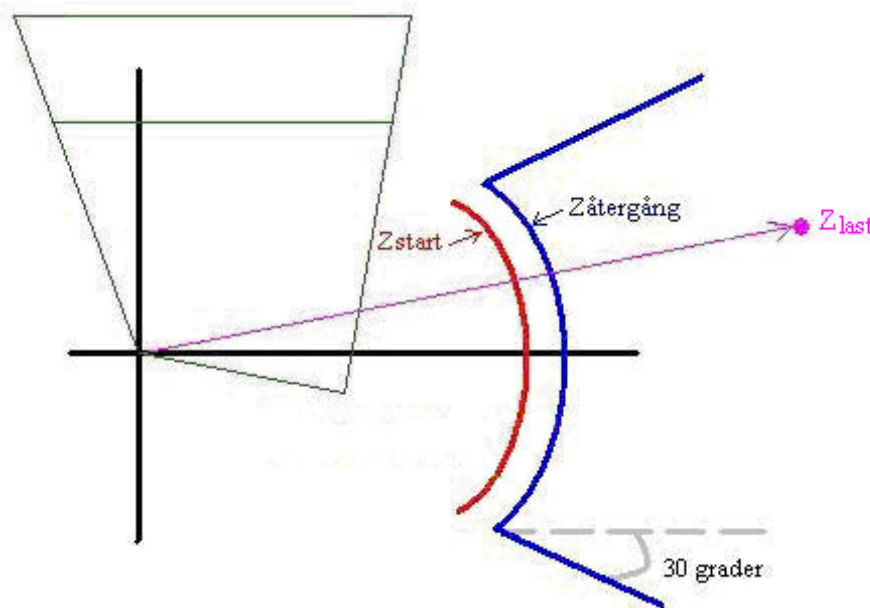
Startsteget skall täcka de delar av systemet där distansskyddet skall agera reservskydd. Startstegets fördröjning är normalt 3.5 s. Inställningsvärdet för startsteget motsvarar den genomgångseffekt S_g ledningen kan drivas med utan att skyddet löser ut. Skyddet skall ställas så att det inte riskerar att lösa ut vid störningar eller omkopplingar i nätet. Den maximala effekten kan fås med *ekvation 42*.

$$S_g = \frac{U_{\min}^2}{Z_{återgång}} \quad [\text{MVA}]$$

ekvation 42

Där U_{\min} är den lägsta förekommande huvudspänningen på ledningen i kV och $Z_{\text{återgång}}$ är startstegets maximala återgångsvärde inom fasvinkelområdet $\pm 30^\circ$. Fasvinkelområdet $\pm 30^\circ$ är ett standardområde som lasten förväntas ligga inom under normala förhållanden.

En effektförändring i systemet beroende på lastförändringar kommer att innebära en förändring i den impedans reläskyddet ser. Då impedansen sjunker så mycket så att effekten motsvarar den maximala genomgångseffekten skall skyddet lösa ut. Detta sker då impedansen motsvarar Z_{start} . Då impedansen reläskyddet ser åter når $Z_{\text{återgång}}$ skall reläskyddet återgå.



Figur 42. Funktion hos startsteg i impedansplan

Normalt sätts förhållandet $Z_{\text{återgång}} / Z_{\text{start}}$ till mellan 1.05 och 1.15.

3.5 Felkällor

Vid inställning av distansskydd bör man känna till de felkällor som kan medföra att beräknade impedanser skiljer sig från de impedanser som skyddsreläet ser i verkligheten.

Dessa fel kan bero på:

1. Fel introducerade av ström- och spänningstransformatorer i mätapparaturen, speciellt vid ström- och spänningstransienter.
2. Osäkerheter i nollföljdsimpedansvärdet, och dess effekt på det beräknade värdet av nollföljdsströmkompenseringsfaktorn.
3. Ömsesidig nollföljdskoppling mellan parallella ledningar.

4. Otransponerade ledningars fasimpedans är inte identisk för alla felslingor. Skillnaden mellan olika fas-till-jordslingors impedans kan uppgå till 5-10% av totala ledningsimpedansen.
5. Påverkan av lastöverföring.

Med punkt nummer 5 menas att ett lastat nät kommer att uppföra sig annorlunda gentemot det olastade nät där beräkningar för inställningar av distansskydd genomförts. Vid beräkningarna motsvarar källspänningen spänningen i den friska slingan, men vid införandet av en eller flera laster kommer detta förhållande att ändras då spänningen i reläpunkten kommer att avvika beroende på spänningsfallet i ledningen. Lastströmmen innebär att överföringsvinkeln δ uppträder vilken måste tas hänsyn till, speciellt för långa ledningar med stora laster där överföringsvinkeln kan vara stor, 60° .

3.6 Stegkaraktistik

Beroende på distansskyddens ålder skiljer ofta teknologin bakom distansskydden, olika länder och olika bolag använder dessutom ofta de teknologier som anses mest lämpade för deras nät. Beroende på typ av distansskydd ser karaktistiken för steginställningarna i impedansplanet olika ut. Flera olika former finns för användning men de vanligaste kan sammanfattas i kvadratisk- samt MHO karaktistik. Moderna numeriska distansskydd är idag helt digitala och mycket kraftfulla och erbjuder ofta möjlighet till olika inställningsmöjligheter avseende karaktistika.

3.6.1 MHO karaktistik

Formen ges av en cirkel som ger stegräckvidden. Cirkeln kallad MHO-cirkel också känd som admittanscirkel utgör grunden för hur distansskydd länge har ställts in. Moderna distansskydd med mer avancerade inbyggda funktioner erbjuder mer avancerade sätt att ställa in zonerna, exempelvis kvadratisk karaktistik.

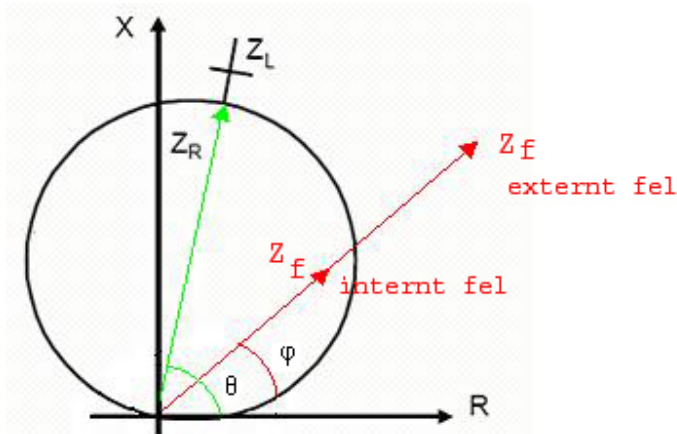
Trots tillgång till mer avancerad digital teknologi används skydd med MHO-karaktistik vanligtvis i USA bortsett från de fall då jordfelsmätande skydd behövs på korta ledningar där möjlighet att kunna täcka in stora felresistanser ges av skydd med kvadratisk karaktistik.

MHO-skyddets räckvidd ges av impedansen Z_R som motsvarar impedans för önskad längd av ledningsimpedansen. Vinkeln θ kallas RCA (Relay Characteristic Angle). Räckvidden beräknas beroende på felets kortslutningsvinkel ϕ med *ekvation 43*.

$$Z = Z_R \cdot \cos(\theta - \phi) \quad \text{ekvation 43}$$

Beroende på hur RCA väljs förändras skyddets räckvidd i resistiv och reaktiv riktning. För att åstadkomma en längre räckvidd i resistiv riktning och på så sätt öka kompensationen för ljusbågsresistans kan RCA väljas lägre än ledningsimpedansvinkeln.

Figur 43 illustrerar funktionen för MHO.

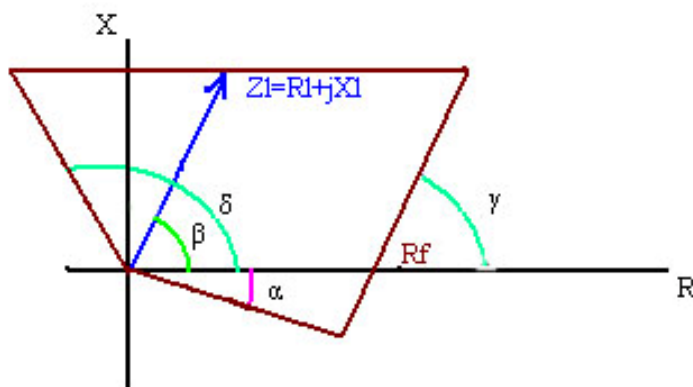


Figur 43. Typiskt utseende för MHO-cirkel

3.6.2 Kvadratisk karakteristik

Tack vare moderna digitala reläskydd förändras förutsättningarna för hur distansskyddsinställningar kan göras. Den kvadratiske karaktäristiken erbjuder många möjligheter till förfinade inställningar i olika riktningar i impedansplanet. Räckvidden i resistiv riktning kan ställas helt oberoende av räckvidden i reaktiv riktning. Därmed kan tillräcklig kompensation för felresistans på grund av ljusbåge och jordtagsresistans erhållas.

Begränsningen i R-led ställs vanligtvis parallell med ledningsimpedansen. Vinkeln γ är alltså normalt lika med ledningsvinkeln β , enligt Figur 44. I reaktiv X-led ställs räckvidden oftast parallell med R-axeln. Vinklarna δ och α ges normalt värden i närheten av $\delta = 115^\circ$ och $\alpha = -15^\circ$.



Figur 44. Typiskt utseende för inställning av Zon 1

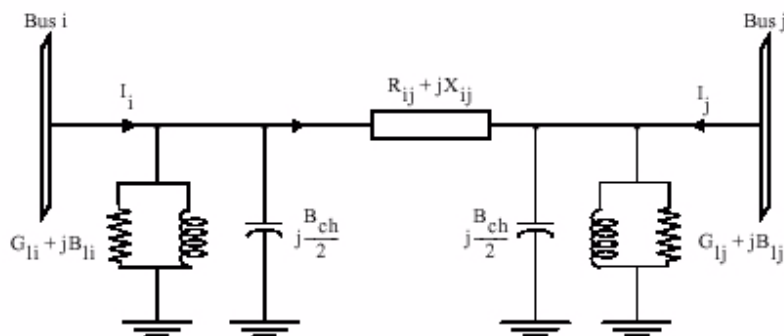
[3]

3.7 Avgränsningar

Detta arbete begränsas till att gälla för maskade direktjordade distributionsnät på 130 kV nivå.

Vid de felströmsberäkningar jag gör i PSS/E för att erhålla relevant indata till beräkningsverktyget i Excel för inställning av distansskydd tas ej hänsyn till lastströmmar i nätet. Denna förenkling görs med anledning av att det ej är nödvändigt vid test av funktion av programmet samt att lastströmmar i ett 130 kV nät med relativt korta överföringsavstånd inte bidrar till en stor påverkan av impedansen i reläpunkten, ty överföringsvinkeln är liten. Lastströmmarnas påverkan för den av distansskyddet uppfattade impedansen ökar med ökat överföringsavstånd då överföringsvinkeln mellan de båda ledningsändarna är stor. Vid mycket långa överföringsavstånd kan överföringsvinkeln uppgå till 60° .

Ledningar modelleras normalt med så kallade π -länkar enligt *Figur 45*. Vid felströmsberäkningar i direktjordade nät försummas ofta G och B.



Figur 45. Ledningsmodell i form av en π -länk.

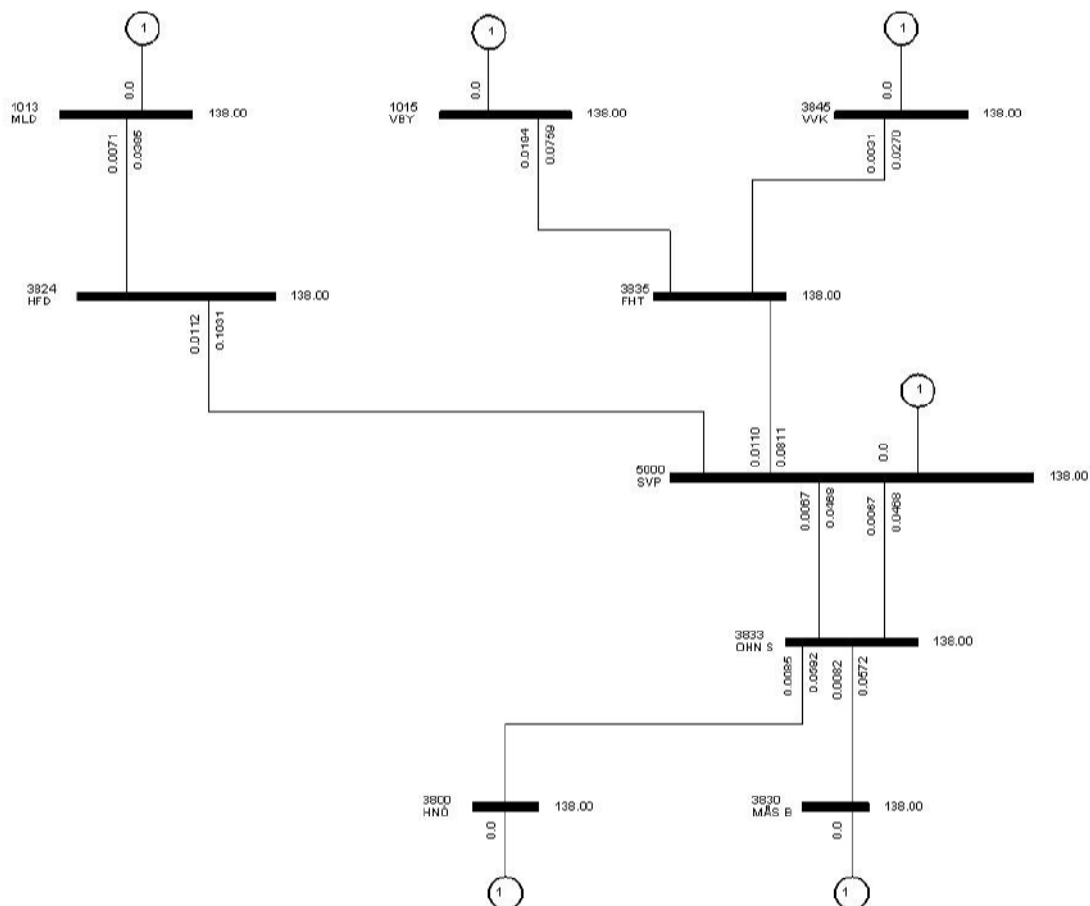
Inställningsprinciperna gäller för tvåpunktsledningar med eller utan påstick. Inställningsprinciperna täcker ej fallen med flerpunktsledningar med felströmsinmatning från fler än två ändpunkter.

Vid kortslutning med jordberöring kan felresistanserna uppgå till flera hundra ohm. Högresistiva jordfel tas inte hänsyn till vid inställning av distansskydd. Bortkoppling av högresistiva jordfel sköts av jordfelsskydd.

4 Beräkningar i PSS/E

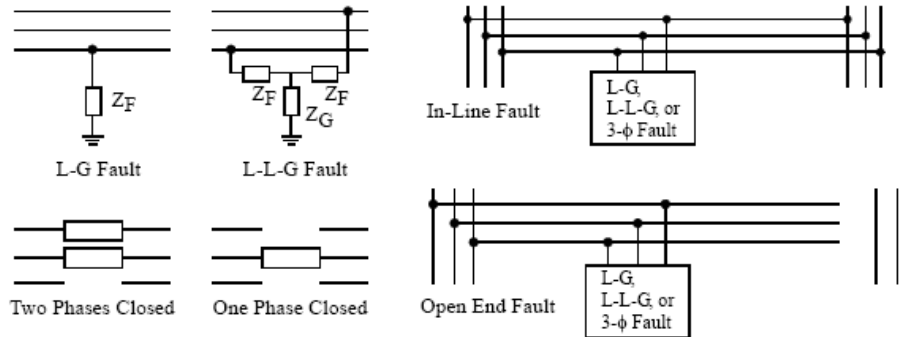
Som beräkningsprogram har jag använt PSS/E (Power System Simulator for Engineering), eftersom det är ett program som är mycket kraftfullt samt är ett av de mest förekommande beräkningsprogrammen för felströmsberäkningar hos kraftbolagen. [6]

Vid de beräkningar jag gjort i PSS/E har ett utdrag ur ett typiskt distributionssystem med 138 kV spänningsnivå använts. Nätet är konfigurerat enligt *Figur 46*. Generatorerna är skapade ur beräkningar av ekvivalenter av det större nät som förser mitt nät med effekt. Varje ekvivalent generators sekvensimpedanser beräknas utifrån felströmsberäkningar vid ett trefasfel samt ett enfasfel på samlingsskenan där den ekvivalenta generatoren skall placeras. Vid varje felströmsberäkning på respektive skena där en generator skall placeras försummas strömbidraget under den felbehäftade skenan (strömbidraget från mitt nät) och endast strömbidraget från ovanför den felbehäftade skenan tas i beaktande, alltså strömbidraget från övriga nätet. Eftersom trefasfelet inte har någon nollföljdskoppling fås enbart strömbidrag i plus- och minusföljdsnätet och med hjälp av dessa kan plus- och minusföljdsimpedanserna beräknas. Därefter kan nollföljdsimpedansen räknas ut med hjälp av strömbidragen från enfasfelet. En nollföljdsshunt togs bort på buss 3845, VVK.



Figur 46. Nätbild av typiskt distributionsnät

Fel representeras i PSS/E enligt Figur 47.



Figur 47. Felrepresentation enligt PSS/E

[6]

Enligt Figur 47 representeras tvåfasfel i PSS/E med en koppling till jord Z_G . De felfall där tvåfasfel skall beräknas har ingen koppling till jord och kräver därför att den resistiva delen R_G av Z_G sätts till maximalt värde i PSS/E. R_G väljs lämpligen till 999.

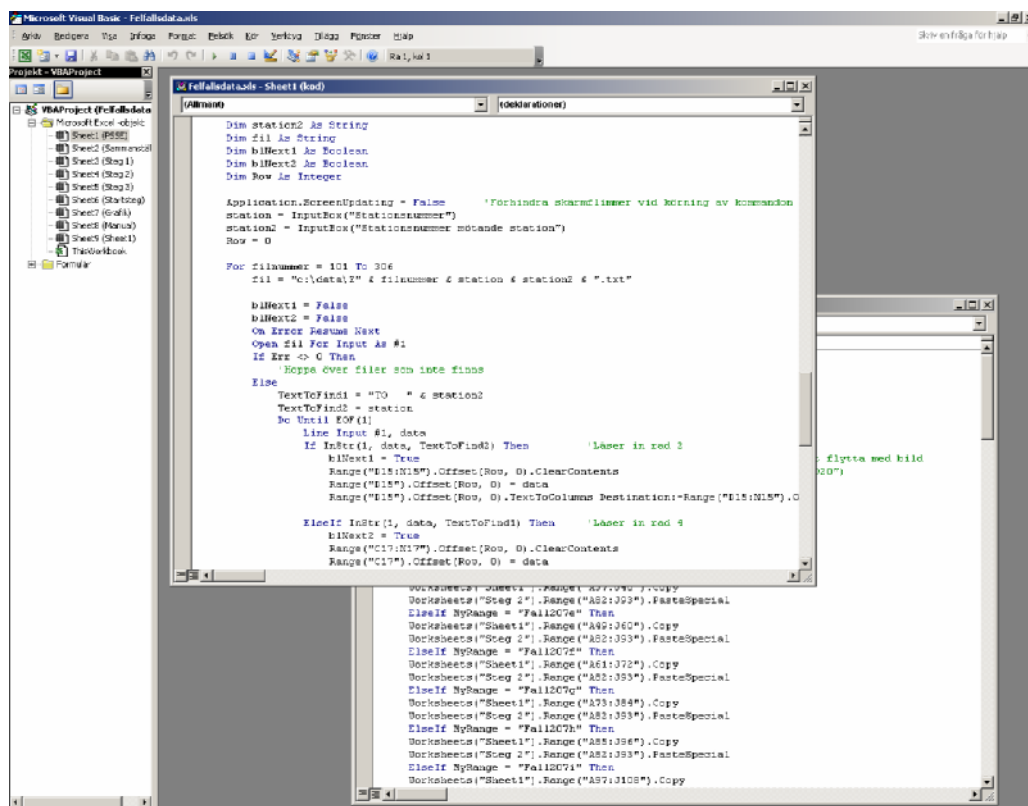
5 Applikationsutveckling i Excel

Huvuduppgiften med examensarbetet syftar till att ta fram en Excel-baserad applikation där data från felfallsberäkningar kan behandlas för att underlätta arbetet med inställningar av parametervärden för distansskydd.

Anledningen till att Excel väljs är att det idag är ett kraftfullt kalkylprogram med stora möjligheter till applikationsutveckling för specifik verksamhet. Genom att skraddarsy utseendet på kalkylbladet och använda en mängd olika kontroller kan man skapa avancerade beräkningsprogram.

Excel använder sig av VBA (Visual Basic for Applications) som är en del av Basic familjen och utvecklat som ett tillägg till Microsoft applikationer för främst Excel och Word där makron skrivs med VBA. Visual Basic är språket som används där Visual står för fönsterhanteringen. Språket är skapat för att vara lätt att använda och är byggt för att enkelt skapa enkla GUI applikationer.

Genom att placera ut kontroller till exempel listor, knappar etc. kan man designa sin applikation. Kontrollerna är från början givna standardvärden, men kan med kod styras för att uppnå önskad funktion. *Figur 48* visar miljön för editering av programkod i VBA där arbetet sker i olika fönster utifrån vilket arbetsblad eller form man vill arbeta med. [8]



Figur 48. Fönster för editering av Visual Basic kod.

5.1 Beräknings- och inställningsapplikation

Syftet är att göra ett generellt verktyg som skall kunna tillämpas vid inställningar av de flesta distansskydd. De beräkningar som görs i programmet syftar till att ta fram det i R- och X-led i impedansplanet som inställningsvärdet för respektive steg inte får under- eller överskrida.

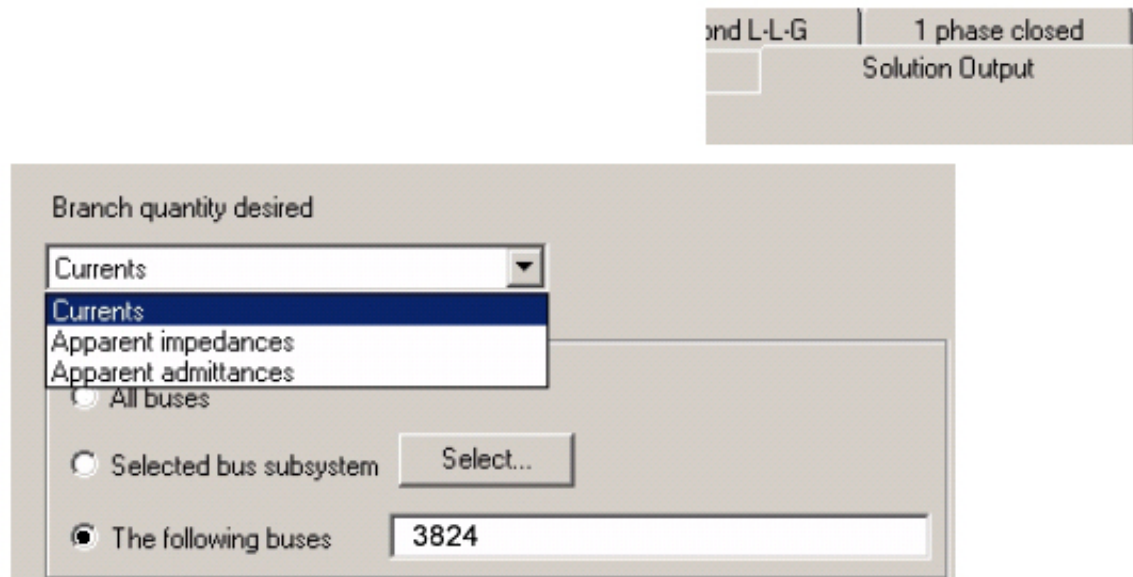
Applikationen utnyttjar kalkylbladssystemet som används i Excel där resultat i celler tillhörande ett specifikt arbetsblad kan refereras till andra celler. I varje cell kan önskad operation genomföras, till exempel olika matematiska operationer. En matematisk operation i given cell refererar till data i andra celler.

Min applikation bygger på att data från felfallsberäkningar i PSS/E lagrade i textfiler finns att tillgå. Med hjälp av en knapptryckning och genom att föra in vilken ledning som distansskyddet ska placeras på, hämtas den efterfrågade datan in för bearbetning i programmet.

I PSS/E utförs felströmsberäkningarna genom kommandona SEQD och därefter SCMU/SCOP. Kommandot SEQD förbereder nätet för att kunna genomföra felströmsberäkningar för obalanserade fel. Därefter körs kommandot SCMU/SCOP för att utföra den felströmsberäkning som önskas.

Efter att man valt vilket fel och vart felet skall placeras ges man möjlighet att välja på vilken form PSS/E skall lämna resultat. Detta görs under fliken ”solution output”. Här skall valet göras enligt *Figur 49*, där ”3824” står för stationsnumret för den station som distansskyddet skall placeras i. Meningen med att göra det här valet är att resultatfilen måste se ut på ett speciellt sätt för att kunna läsas in av applikationen i Excel.

Funktionen som läser in filerna till Excel söker efter vissa textsträngar. Dessa markeras med röd färg i *Figur 50*.



Figur 49. Val vid rapporteringsform i PSS/E

PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS/E FRI, FEB 09 2007 10:17

LINE TO GROUND FAULT AT BUS 5000 [SVP 138.00] PHASE 1
L-G Z = 0.2630E-02 0.000

SEQUENCE	/V0/	AN(V0)	/V+/	AN(V+)	/V-/	AN(V-)	/3V0/	AN(3V0)
PHASE	/VA/	AN(VA)	/VB/	AN(VB)	/VC/	AN(VC)		
3824 (KV L-G)	10.241	-167.29	60.129	-2.76	19.829	-171.59	30.722	-167.29
HFD 138.00	31.500	-14.81	74.733	-113.84	75.915	113.45		
SEQUENCE	/I0/	AN(I0)	/I+/	AN(I+)	/I-/	AN(I-)	/3I0/	AN(3I0)
PHASE	/IA/	AN(IA)	/IB/	AN(IB)	/IC/	AN(IC)		
TO 1013 CKT 1	72.9	110.26	545.7	109.07	545.7	109.07	218.8	110.26
MLD 138.00	1164.4	109.14	472.8	-71.11	472.8	-71.11		
TO 5000 CKT 1	72.9	-69.74	545.7	-70.93	545.7	-70.93	218.8	-69.74
SVP 138.00	1164.4	-70.86	472.8	108.89	472.8	108.89		
SUM OF CONTRIBUTIONS	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00

Figur 50. Önskat utseende på rapport skapad av PSS/E vid felströmsberäkning

Förutsatt att felströmsberäkningen utförts felfritt och att rapporten skrivits ut med önskad form skall rapporten sen sparas i en textfil. Textfilerna skall placeras i katalogen C:\data och vara namngivna enligt följande syntax:

ZFelfallsnummer_Stationsnummer_Mötande stationsnummer_Ledningsnummer.txt

Till exempel namnges filen till Z101_5000_3833_1.txt i det fall "Fall 101" beräknas för distansskydd i anslutning till station 5000 på ledningen med ledningsnummer 1 mellan stationerna 5000 och 3833.

För felfall 207-210 kan det behövas flera beräkningar eftersom den mötande stationen i borte ledningsändan kan vara kopplad till flera utgående ledningar. För dessa felfall sker namngivningen av textfilerna med ett tillägg. Textfilerna för felfall 207- 210 skall vara namngivna på följande sätt:

ZFelfallsnummer_Stationsnummer_Mötandestationsnummer_Ledningsnummer_bokstav.txt

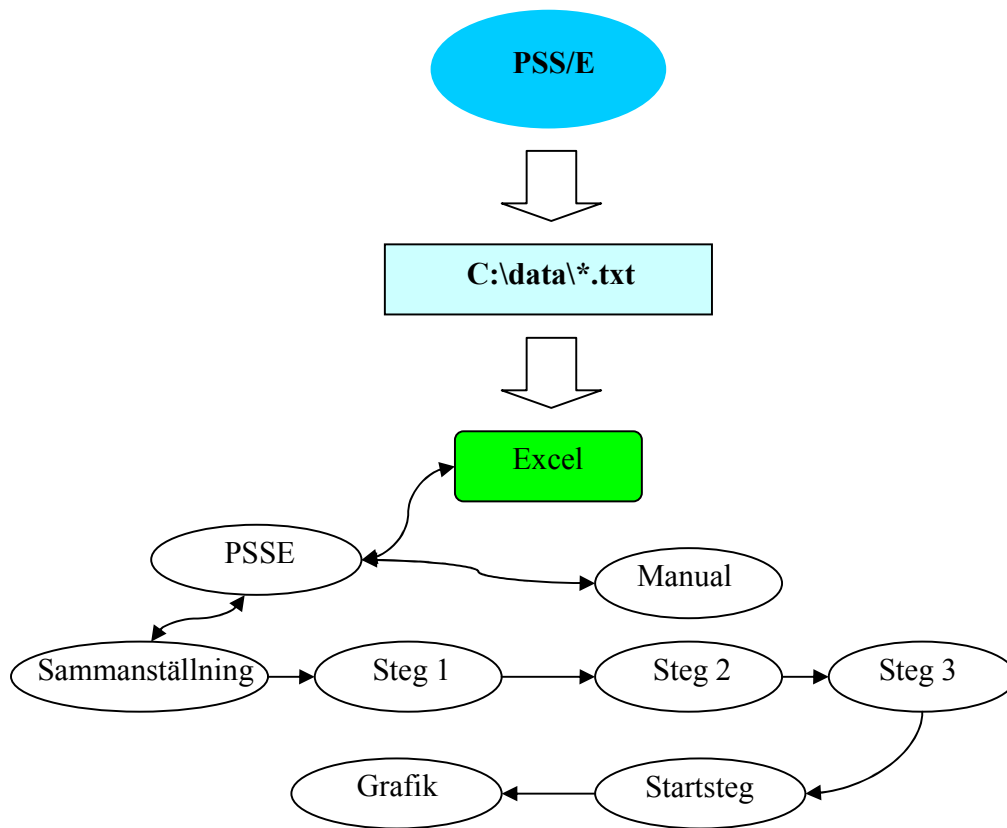
Där bokstav betecknas med bokstäverna a till och med i. Det finns alltså möjlighet att göra beräkningar för nio olika utgående ledningar för varje enskilt fall från 207 till 210.

Till exempel namnges filen till Z207_5000_3833_1_a.txt i det fall ”Fall 207” beräknas för distansskydd i anslutning till station 5000 på ledningen med ledningsnummer 1 mellan stationerna 5000 och 3833 för utgående ledning nummer ett.

Nackdelen med detta system av textfiler är behovet av att själv skapa textfiler med data. En smidigare lösning vore att kunna plocka informationen direkt från PSS/E. Huruvida det går att genomföra på ett smidigt sätt lämnas till framtiden och fortsatta studier. Ytterligare en nackdel är att reläskyddsingenjören själv måste genomföra felströmsberäkningar för varje felfall. Detta skulle eventuellt gå att lösa genom att göra ett IPLAN- eller Pythonprogram i vilket man får välja vilka felfall man vill beräkna, och därefter genomför programmet dem och lämnar resultat i textfiler med önskad namngivning.

I applikationen finns ett antal celler som är orangefärgade. I dessa celler är det meningen att användaren själv ska föra in information. I vissa fall refererar andra celler till orangefärgade celler, därför krävs det att den typ av data som efterfrågas förs in för att resultat skall kunna skrivas av Excel. Information som förs in av användaren själv markeras med grön färg. Resultat som kommer av information som användaren fört in själv markeras också med grön färg. Detta görs för att man enkelt ska kunna skilja på information som kommer från PSS/E respektive användaren av applikationen.

Informationsvägen och programmets struktur presenteras övergripande som en flödesmodell i *Figur 51*.



Figur 51, Beskrivning av applikationen med flödesschema

Härefter följer en beskrivning av respektive arbetsblad och deras funktioner.

5.1.1 PSSE

I arbetsbladet "PSSE", *Figur 52*, hanteras alla data som hämtas in från textfilerna som skapats i PSS/E. Med hjälp av fyra olika knappalternativ på bladets övre högra hörn kan programmet styras.

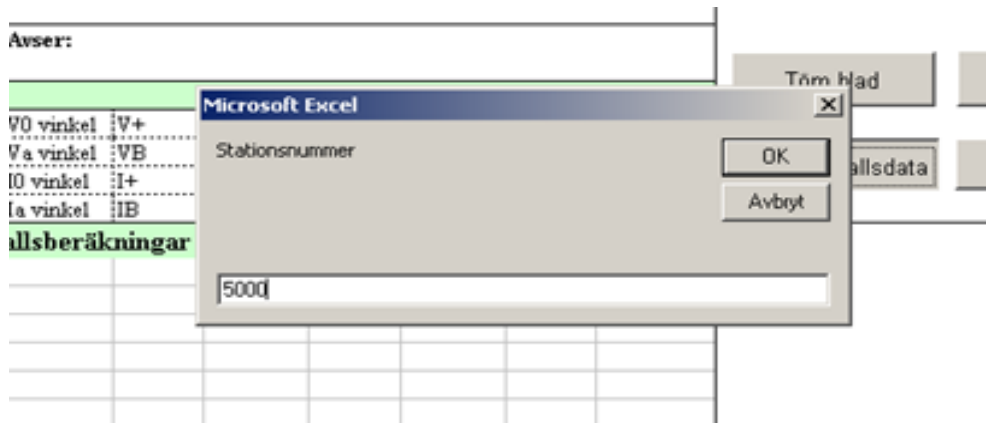
The screenshot shows an Excel spreadsheet titled "Felfallsdata". The interface includes the Microsoft Excel menu bar and a toolbar. The spreadsheet content is as follows:

Data från felfallsberäkningar i PSS/E									
Station:				Förkortning:	HFD				
Ersätter datum:	Sign:				Nummer:	3824			
Giltigt datum:	Sign:				Avser:				
Station:	Y0	Y0 vinkel	Y+	Y+ vinkel	Y-	Y- vinkel	Y0	Y0 vinkel	
Station:	00	00 vinkel	0+	0+ vinkel	0-	0- vinkel	00	00 vinkel	
Typ:	R	X	Tr	Z	R	X			
Felfallsdata för steg 1, steg 2 och steg 3 från felfallsberäkningar i PSS/E									
Fall 101	3824 (KV	0,00	0,00	54,73	-3,42	26,26	7,43	0,00	0,00
	HFD	79,67	0,00	52,21	-150,61	42,72	143,14		
	5000 CKT	0,00	0,00	896,10	-71,91	896,10	108,09	0,00	0,00
	SVP	0,00	0,00	1204,00	-181,91	1204,00	18,09		
	L-L =	2,63E-03	0,00	L-G	Z	=	999,00	0,00	
Fall 102	3824 (KV	10,24	-167,29	60,13	-2,76	19,63	-171,59	30,72	-167,29
	HFD	31,50	-14,81	74,73	-113,64	75,92	113,45		
	5000 CKT	72,90	-69,74	545,70	-70,93	545,70	-70,93	216,80	-69,74
	SVP	1164,40	-70,86	472,60	108,09	472,60	108,89		
	L-G =	2,63E-03	0,00						
Fall 103									
Fall 104a									
Fall 104b									
Fall100kr1	3824 (KV	0,00	63,19	48,67	-1,16	31,13	1,81	0,01	63,19
	HFD	79,67	0,00	44,20	-160,02	41,02	168,39		
	1E+06 CKT	0,00	0,00	856,90	-77,63	856,90	102,47	0,00	0,00
	DUM	0,00	0,00	1434,20	-167,63	1434,10	12,47		
	L-L =	0,00	0,00	L-G	Z	=	999,00	0,00	
Fall 100kr12	3824 (KV	38,78	179,72	63,19	0,14	11,49	179,17	116,35	179,72
	HFD	17,92	1,86	93,25	-134,22	96,28	134,20		

Figur 52. Arbetsblad "PSSE" för inhämtning och behandling av felfallsdata

Knappen "hämta felfallsdata" läser in filserien som genererats av PSS/E. Då man önskar läsa in data och "hämta felfallsdata" ges tre frågor i följd som är nödvändiga för att identifiera vilka filer som ska läsas in och vilken data i respektive fil som ska hämtas.

Första frågan frågar efter numret på den station där distansskyddet skall placeras, *Figur 53*. Fråga nummer två frågar efter numret på den mötande stationen, alltså stationen i den bortre ledningsändan. Tredje och sista frågan frågar efter ledningsnumret för att kunna skilja på parallellgående ledningar.



Figur 53, Inhämtning av felfallsdata

Med knappen "Töm blad" kan du tömma arbetsbladet PSSE från inläst felfallsdata.

Med knappen "Spara" kan filen med inläst data sparas till en ny fil med valfritt namn. Möjligheten att spara med namnet "felfallsdata" är borttagen, för att förhindra att ursprungsfilen förstörs.

Knappen "Beräkna" utför, förutsatt att resultat från felfallsberäkningar är inläst, impedansberäkningar för respektive felfall och ger resultatet på både polär och rektangulär form. Resultaten presenteras i olika arbetsblad för respektive steg, alltså i arbetsbladet "Steg 1" för steg 1, "Steg 2" för steg 2 och "Steg 3" för steg 3 samt "Startsteg" för startsteget.

5.1.2 Sammanställning

På arbetsbladet "Sammanställning", *Figur 54*, presenteras en mängd olika data för distansskyddet och den ledning som distansskyddet skall verka på.

För den aktuella ledningen efterfrågas längd och impedansdata samt basvärden för nätet. Nollföljdsströmkompenseringen K_n efterfrågas och beroende på om ledningen som distansskyddet skall skydda löper parallellt med en annan ledning med hela sin längd eller bitvis eller inte alls måste värdet väljas olika.

Distansskyddet mäter nertransformerade värden från kraftnätet via ström och spänningstransformatorer. På bladet finns därför ett avgränsat område för att kunna föra in de värden som behövs för att räkna ut omsättningen för mättransformatorerna.

Efter att alla efterfrågade parametrar för den skyddade ledningen och distansskyddet har angetts följer ett område där inställningsvärden för varje steg presenteras. För respektive steg skall tid för tidsfördröjning ges. För att inställningsvärden för respektive steg skall kunna presenteras på det aktuella arbetsbladet krävs att reläskyddsingenjören har analyserat den information som ges utifrån inläst felfallsdata i arbetsbladen för respektive steg och där tagit beslut om inställningsvärden.

Sammanställning av distansskyddsinställning						
Station:		Förkortning: HFD				
Ersätter datum:	Sign:	Nummer: 3824				
Giltigt datum:	Sign:	Avser:				
<table border="0"> <tr> <td rowspan="2"> Ledningsdata R0 = 9,8 Ω X0 = 84 Ω R1 = 2,13 Ω X1 = 19,64 Ω R0m = Ω X0m = Ω Längd = 53,20 km Max belastningsström = 1000 A </td> <td rowspan="2"> Nollföljdsströmkompensering för icke parallellgående ledning $K_N = \frac{Z_0 - Z_+}{3 \cdot Z_+} = \frac{R \quad X \quad : \quad \text{Arg} \quad /_{\circ}}{1,09 \quad +j \quad -0,01 \quad 1,09 \quad -0,01}$ Valt Kn för aktuellt fall = 1,09 -0,01 Arg, / ° </td> </tr> <tr> <td> Transformering av spänning och ström för mätning Uprim = 138,0 kV Utoms = Uprim/Usek = 1254,55 ggr Usek = 110,0 V Iprim = ##### A Itoms = Iprim/Isek = 200,00 ggr Isek = 5,0 A </td> </tr> </table>				Ledningsdata R0 = 9,8 Ω X0 = 84 Ω R1 = 2,13 Ω X1 = 19,64 Ω R0m = Ω X0m = Ω Längd = 53,20 km Max belastningsström = 1000 A	Nollföljdsströmkompensering för icke parallellgående ledning $K_N = \frac{Z_0 - Z_+}{3 \cdot Z_+} = \frac{R \quad X \quad : \quad \text{Arg} \quad /_{\circ}}{1,09 \quad +j \quad -0,01 \quad 1,09 \quad -0,01}$ Valt Kn för aktuellt fall = 1,09 -0,01 Arg, / °	Transformering av spänning och ström för mätning Uprim = 138,0 kV Utoms = Uprim/Usek = 1254,55 ggr Usek = 110,0 V Iprim = ##### A Itoms = Iprim/Isek = 200,00 ggr Isek = 5,0 A
Ledningsdata R0 = 9,8 Ω X0 = 84 Ω R1 = 2,13 Ω X1 = 19,64 Ω R0m = Ω X0m = Ω Längd = 53,20 km Max belastningsström = 1000 A	Nollföljdsströmkompensering för icke parallellgående ledning $K_N = \frac{Z_0 - Z_+}{3 \cdot Z_+} = \frac{R \quad X \quad : \quad \text{Arg} \quad /_{\circ}}{1,09 \quad +j \quad -0,01 \quad 1,09 \quad -0,01}$ Valt Kn för aktuellt fall = 1,09 -0,01 Arg, / °					
		Transformering av spänning och ström för mätning Uprim = 138,0 kV Utoms = Uprim/Usek = 1254,55 ggr Usek = 110,0 V Iprim = ##### A Itoms = Iprim/Isek = 200,00 ggr Isek = 5,0 A				
Basvärden Sb = 100 MVA Ub = 138 kV Zb = 190,44 Ω		=> mz = Utoms/Itoms = 6,27 ggr				
Inställningsvärden Steg 1 Tidsfördröjning = 0,00 s X1inst < 18,58 Ω R1inst < 11,08 Ω R1 = 10,00 Ω => R1sek = 62,73 Ω X1 = 17,00 Ω => X1sek = 106,64 Ω R1l = Ω => R1lsek = Ω i linjens riktningen (Ohm/fas) R1f = Ω => R1fsek = Ω i felet (Ohm/loop)						
Inställningsvärden Steg 2 Tidsfördröjning = 0,4 s 19,64 Ohm < X2inst < 18,66 Ohm 33,43 Ohm < R2inst < 2,90 Ohm R2 = 35,00 Ω => R2sek = 219,55 Ω X2 = 21,00 Ω => X2sek = 131,73 Ω R2l = Ω => R2lsek = Ω i linjens riktningen (Ohm/fas) R2f = Ω => R2fsek = Ω i felet (Ohm/loop)						
Inställningsvärden Steg 3 Tidsfördröjning = 1,2 s 259,36 < X3inst < 141,49 131,36 < R3inst < 86,03 R3 = 40,00 Ω => R3sek = 250,91 Ω X3 = 30,00 Ω => X3sek = 188,18 Ω R3l = Ω => R3lsek = Ω i linjens riktningen (Ohm/fas) R3f = Ω => R3fsek = Ω i felet (Ohm/loop)						

Figur 54, arbetsblad "Sammanställning"

5.1.3 Steg 1

För steg 1 som är det enklaste av de fyra stegen på grund av att det endast skall verka på den skyddade ledningen undersöks fyra felfall plus två kontrollberäkningar. Felfallen och kontrollberäkningarna som används är hämtade från E.ON's principer för beräkning av inställningar för distansskydd.

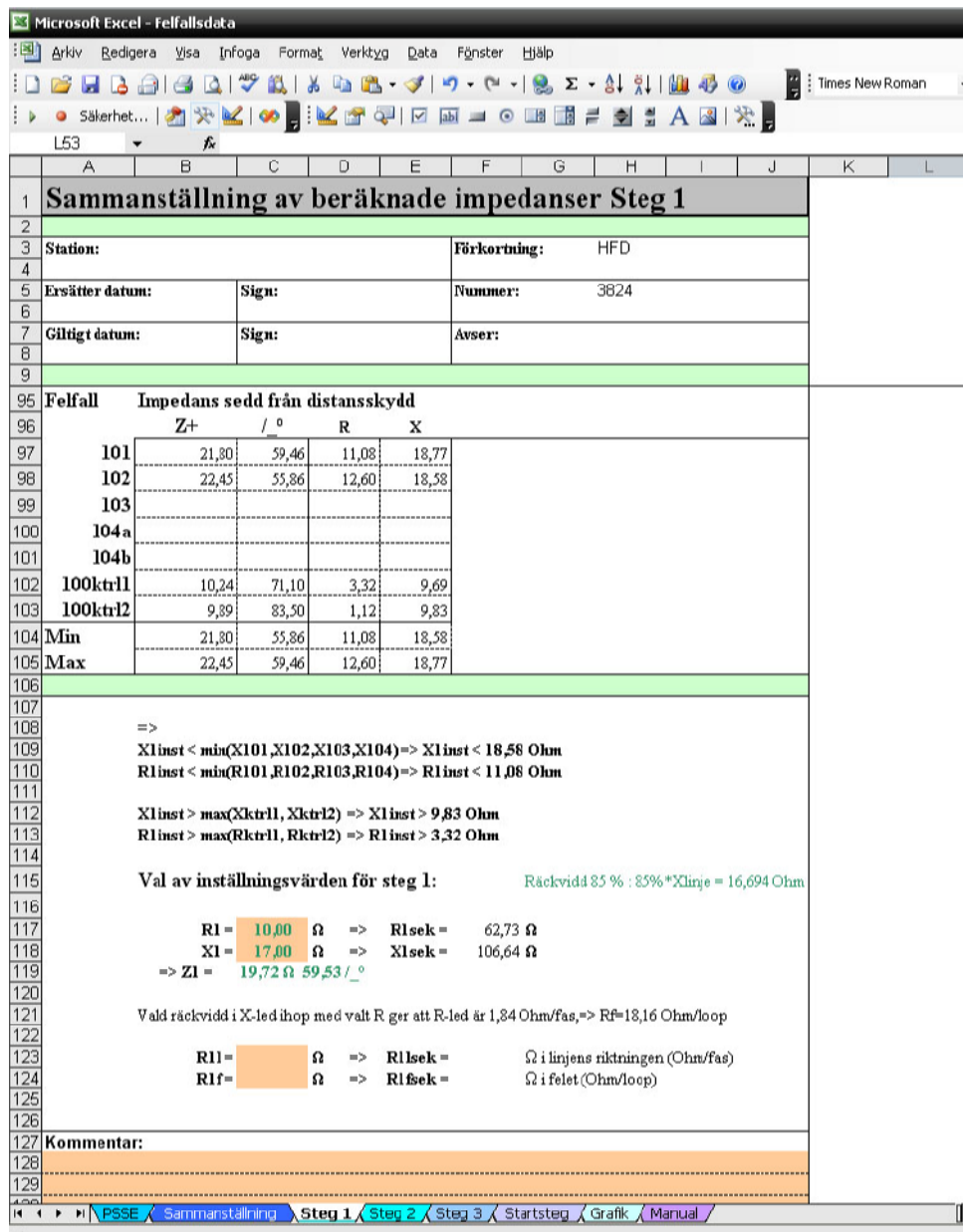
Varje felfall representeras i arbetsbladet av en innesluten rektangel där data för felfallet presenteras, *Figur 55*. När filerna lästs in till arbetsbladet "PSSE" och man tryckt på knappen "beräkna" hämtas och sorteras data för spänning och strömmar samt impedans i felstället, och placeras och presenteras på ett överskådligt sätt. Spänning och strömmar placeras efter rubriken "I reläpunkt" vilket menas att det är värden i punkten där distansskyddet skall placeras. Felimpedansen som använts när felet genererats och beräknats i PSS/E presenteras också och anges i fysisk form (Ω) och pu (per unit).

Microsoft Excel - Felfallsdata																																					
Arkiv Redigera Visa Infoga Format Verktyg Data Fönster Hjäl																																					
L53 fx																																					
Sammanställning av beräknade impedanser Steg 1																																					
Station: Fördelning: HFD																																					
Ersätter datum: Sign: Nummer: 3824																																					
Giltigt datum: Sign: Avser:																																					
Fall 101																																					
Felresistans vid PSS/E beräkning: Rfel = 0,026 Pu, Xfel = 0,00 Pu, =>																																					
Rfel = 5,009 Ω , Xfel = 0,00 Ω																																					
Ljusbåglängd = m => Ik = A																																					
I reläpunkt:																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>R</th> <th>/ °</th> <th>S</th> <th>/ °</th> <th>T</th> <th>/ °</th> <th>3I0</th> <th>/ °</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>U [kV]</td> <td>79,674</td> <td>0</td> <td>52,214</td> <td>-150,61</td> <td>42,716</td> <td>143,14</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>I [A]</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1204</td> <td>-161,91</td> <td>1204</td> <td>18,09</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>												R	/ °	S	/ °	T	/ °	3I0	/ °	U [kV]	79,674	0	52,214	-150,61	42,716	143,14			I [A]	0	0	1204	-161,91	1204	18,09	0	0
	R	/ °	S	/ °	T	/ °	3I0	/ °																													
U [kV]	79,674	0	52,214	-150,61	42,716	143,14																															
I [A]	0	0	1204	-161,91	1204	18,09	0	0																													
$Z_{101} = \frac{U_S \angle - U_T \angle}{I_S \angle - I_T \angle} = 21,80 \quad 59,46 \quad Z(\Omega), / \circ \quad R_{101} = 11,08 \quad \Omega$ $X_{101} = 18,77 \quad \Omega$																																					
Fall 102																																					
Felresistans vid PSS/E beräkning: Rfel = 0,026 Pu, Xfel = 0,00 Pu, =>																																					
Rfel = 5,009 Ω , Xfel = 0,00 Ω																																					
Ljusbåglängd = m => Ik = A																																					
I reläpunkt:																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>R</th> <th>/ °</th> <th>S</th> <th>/ °</th> <th>T</th> <th>/ °</th> <th>3I0</th> <th>/ °</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>U [kV]</td> <td>31,5</td> <td>-14,81</td> <td>74,733</td> <td>-113,84</td> <td>75,915</td> <td>113,45</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>I [A]</td> <td>1164,4</td> <td>-70,86</td> <td>472,8</td> <td>108,89</td> <td>472,8</td> <td>108,89</td> <td>218,8</td> <td>-69,74</td> </tr> </tbody> </table>												R	/ °	S	/ °	T	/ °	3I0	/ °	U [kV]	31,5	-14,81	74,733	-113,84	75,915	113,45			I [A]	1164,4	-70,86	472,8	108,89	472,8	108,89	218,8	-69,74
	R	/ °	S	/ °	T	/ °	3I0	/ °																													
U [kV]	31,5	-14,81	74,733	-113,84	75,915	113,45																															
I [A]	1164,4	-70,86	472,8	108,89	472,8	108,89	218,8	-69,74																													
Kn = 1,09 Z , -0,01 /																																					
$Z_{102} \angle = \frac{U_R \angle}{I_R \angle + K_n \angle \cdot 3I_0 \angle} = 22,45 \quad 55,86 \quad Z(\Omega), / \circ \quad R_{102} = 12,60 \quad \Omega$ $X_{102} = 18,58 \quad \Omega$																																					

Figur 55. Arbetsblad "Steg 1"

Genom beräkningar på de strömmar och spänningar som distansskyddet uppfattar presenteras impedansen i reläpunkten på både polär och rektangulär form.

Längst ner på arbetsbladet, *Figur 56*, jämförs de framräknade impedanserna med varandra för att bedöma vilket största värde Steg 1 kan anta.



Felfall	Impedans sedd från distanskydd	Z+	/ °	R	X
101		21,80	59,46	11,08	18,77
102		22,45	55,86	12,60	18,58
103					
104a					
104b					
100ktr11		10,24	71,10	3,32	9,69
100ktr12		9,89	83,50	1,12	9,83
Min		21,80	55,86	11,08	18,58
Max		22,45	59,46	12,60	18,77

$X_{Inst} < \min(X_{101}, X_{102}, X_{103}, X_{104}) \Rightarrow X_{Inst} < 18,58 \text{ Ohm}$
 $R_{Inst} < \min(R_{101}, R_{102}, R_{103}, R_{104}) \Rightarrow R_{Inst} < 11,08 \text{ Ohm}$

$X_{Inst} > \max(X_{ktr11}, X_{ktr12}) \Rightarrow X_{Inst} > 9,83 \text{ Ohm}$
 $R_{Inst} > \max(R_{ktr11}, R_{ktr12}) \Rightarrow R_{Inst} > 3,32 \text{ Ohm}$

Val av inställningsvärden för steg 1: Räckvidd 85 % : $85\% * X_{linje} = 16,694 \text{ Ohm}$

$R_1 = 10,00 \text{ } \Omega \Rightarrow R_{lsek} = 62,73 \text{ } \Omega$
 $X_1 = 17,00 \text{ } \Omega \Rightarrow X_{lsek} = 106,64 \text{ } \Omega$
 $\Rightarrow Z_1 = 19,72 \text{ } \Omega \text{ } 59,53 / \text{ } ^\circ$

Vald räckvidd i X-led ihop med valt R ger att R-led är 1,84 Ohm/fas, $\Rightarrow R_f = 18,16 \text{ Ohm/loop}$

$R_{l1} = \text{ } \Omega \Rightarrow R_{lsek} = \text{ } \Omega$ i linjens riktningen (Ohm/fas)
 $R_{lf} = \text{ } \Omega \Rightarrow R_{lfsek} = \text{ } \Omega$ i felet (Ohm/loop)

Kommentar:

Figur 56. Arbetsblad "Steg 1"

Slutligen görs en kontroll och bedömning av vilken resistiv räckvidd som krävs i linjens riktning och vilken resistans felet kan tillåtas ha. Till sist kan reläskyddsingenjören föra ner eventuella kommentarer i ett område avsatt för detta. Område för kommentarer ges också i samtliga andra arbetsblad förutom "PSSE", "Grafik" och "Manual".

5.1.4 Steg 2

Steg 2 fungerar i stort på samma sätt som steg 1 med skillnaden att kraven för steg 2's inställningsområde ser annorlunda ut. Steg 2 ser in i nästkommande ledning och därför

måste fler felfall tas hänsyn till. Dessutom kan det för felfall 207-210 förekomma flera beräkningar eftersom den mötande stationen i borte ledningsänden kan vara kopplad till flera utgående ledningar. Eftersom det inte är intressant att se samtliga fall för felfall 207 till 210 har fyra menyer lagts in där man kan välja vilken uträkning som skall visas, *Figur 57*.

Microsoft Excel - Felfalldata

Station: Förläsningsstation: HFD

Erställt datum: Sign: Nummer: 3924

Giltigt datum: Sign: Ansett:

Fall 207a
Felfallens status vid PSS/E-beräkning: Rfel= 0,000 Pu, Xfel= 0,00 Pu, =>
Rfel= 0,000 Ω, Xfel= 0,00 Ω

Irelt punkt:

	R	f °	S	f °	T	f °	310	f °
U [kV]	79,67	0,00	72,01	-123,93	71,62	123,46		
I [A]	0,00	0,00	254,80	-167,17	254,80	12,83	0,00	0,00

$$Z_{207} = \frac{U_g \angle - - U_T \angle -}{I_g \angle - - I_T \angle -} = 234,49 \quad 76,83 \quad |Z(\Omega)|, f_{\circ}$$

R207a = 53,42 Ω
X207a = 228,32 Ω

Fall 208a
Felfallens status vid PSS/E-beräkning: Rfel= 0,000 Pu, Xfel= 0,00 Pu, =>
Rfel= 0,000 Ω, Xfel= 0,00 Ω

Irelt punkt:

	R	f °	S	f °	T	f °	310	f °
U [kV]	74,838	-0,2	79,181	-119,35	79,145	119,35		
I [A]	114,4	-76,99	47,3	102,87	47,3	102,87	19,9	-76,3

$$Z_{208} = \frac{U_g \angle -}{I_g \angle - + K \cdot I_T \angle -} = 549,92 \quad 76,30 \quad |Z(\Omega)|, f_{\circ}$$

R208a = 130,28 Ω
X208a = 334,26 Ω

Fall 209b
Felfallens status vid PSS/E-beräkning: Rfel= 0,021 Pu, Xfel= 0,00 Pu, =>
Rfel= 3,999 Ω, Xfel= 0,00 Ω

Irelt punkt:

	R	f °	S	f °	T	f °	310	f °
U [kV]	79,674	0	50,894	-150,19	43,605	144,63		
I [A]	0	0	1208,6	-163,69	1208,6	16,31	0	0

$$Z_{209} = \frac{U_g \angle - - U_T \angle -}{I_g \angle - - I_T \angle -} = 21,24 \quad 63,59 \quad |Z(\Omega)|, f_{\circ}$$

R209b = 9,31 Ω
X209b = 19,09 Ω

Fall 210a
Felfallens status vid PSS/E-beräkning: Rfel= Pu, Xfel= Pu, =>

Meny: PSS/E Sammanställning Steg 1 Steg 2 Steg 3 Startsteg Grafik Manual

Figur 57, menysystem för felfall 207 till 210.

Längst ner på arbetsbladet, *Figur 58*, sammanfattas impedanserna för de beräknade felfallen tillsammans med ytterligare två kriterier. För dessa gäller som tidigare nämnts i avsnitt 2.2, att inställningsvärdet för steg 2 i regel aldrig skall överskrida 80 % av någon av följande impedanser:

- Impedansen av den skyddade ledningen samt inställningsvärdet för steg 1 på den kortaste angränsande ledningen.
- Impedansen av den skyddade ledningen plus den sammanlagda impedansen av maximalt antal parallellkopplade transformatorer på samlingsbussen i den andra ledningsänden.

5.1.5 Steg 3

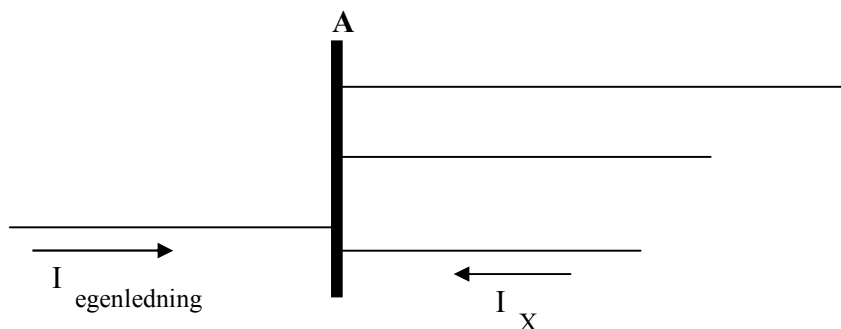
Steg 3 fungerar enligt samma principer som föregående steg. Förutom felfallen beräknade från PSS/E kan ytterligare ett antal kriterier tas hänsyn till där information måste föras in av användaren själv, *Figur 60*. För dessa kriterier gäller att steg 3 skall täcka den längsta ledningen i mötande station, samt att steg 3 inte skall överskrida 90 % av inställningsvärdet för steg 2 för kortaste mötande ledningen adderat med impedansen för den egna ledningen.

Vid analys av dessa kriterier tas hänsyn till förstöringsfaktorn som beror av sidoinmatning, *Figur 59*. Förstöringsfaktorn beräknas genom *ekvation 44*, som kräver tre ingångsvärden

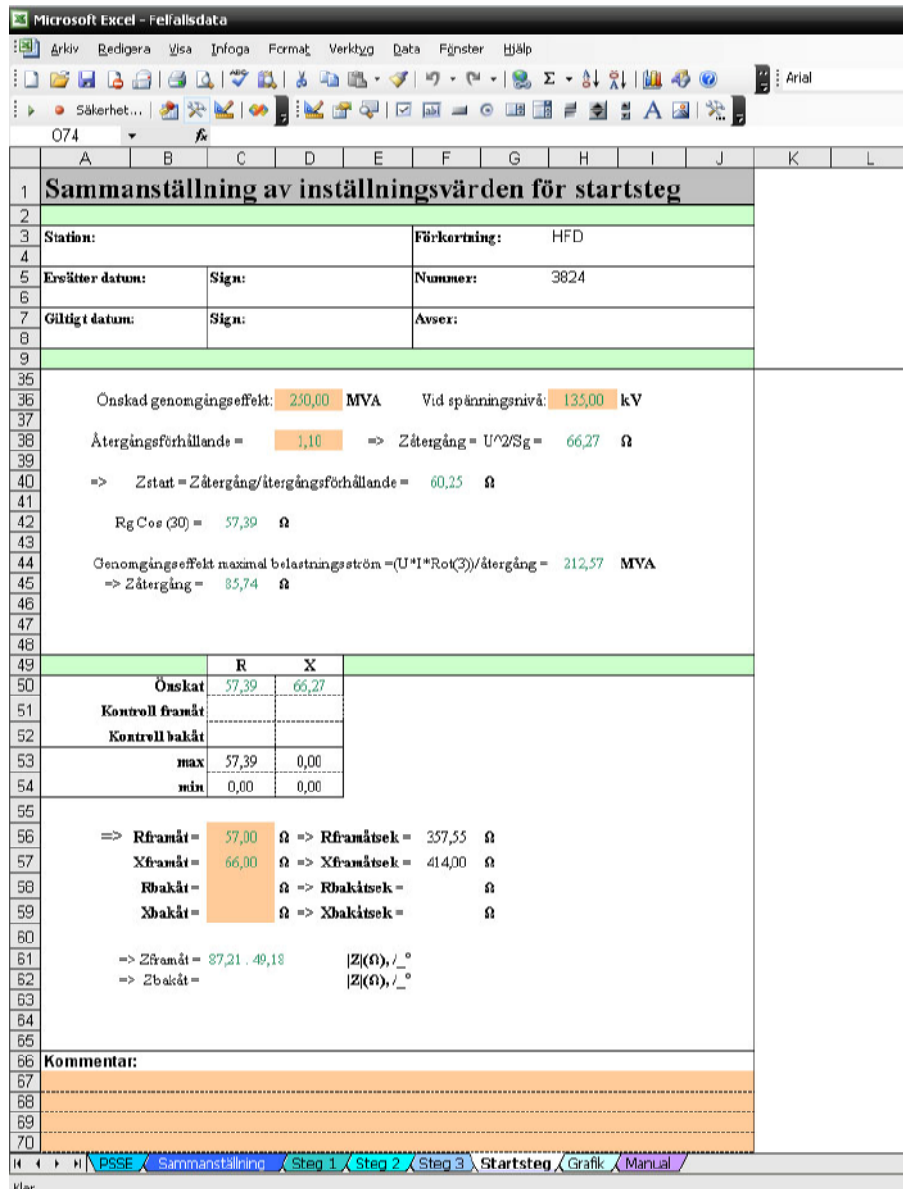
Då G utgör förstöringsfaktorn blir den på grund av strömbidraget från ledning X:

$$G(x) = \frac{I_A - I_{\text{ledningX}}}{I_{\text{egenledning}}} \quad \text{ekvation 44}$$

Där I_A är den totala strömmen i samlingskena A



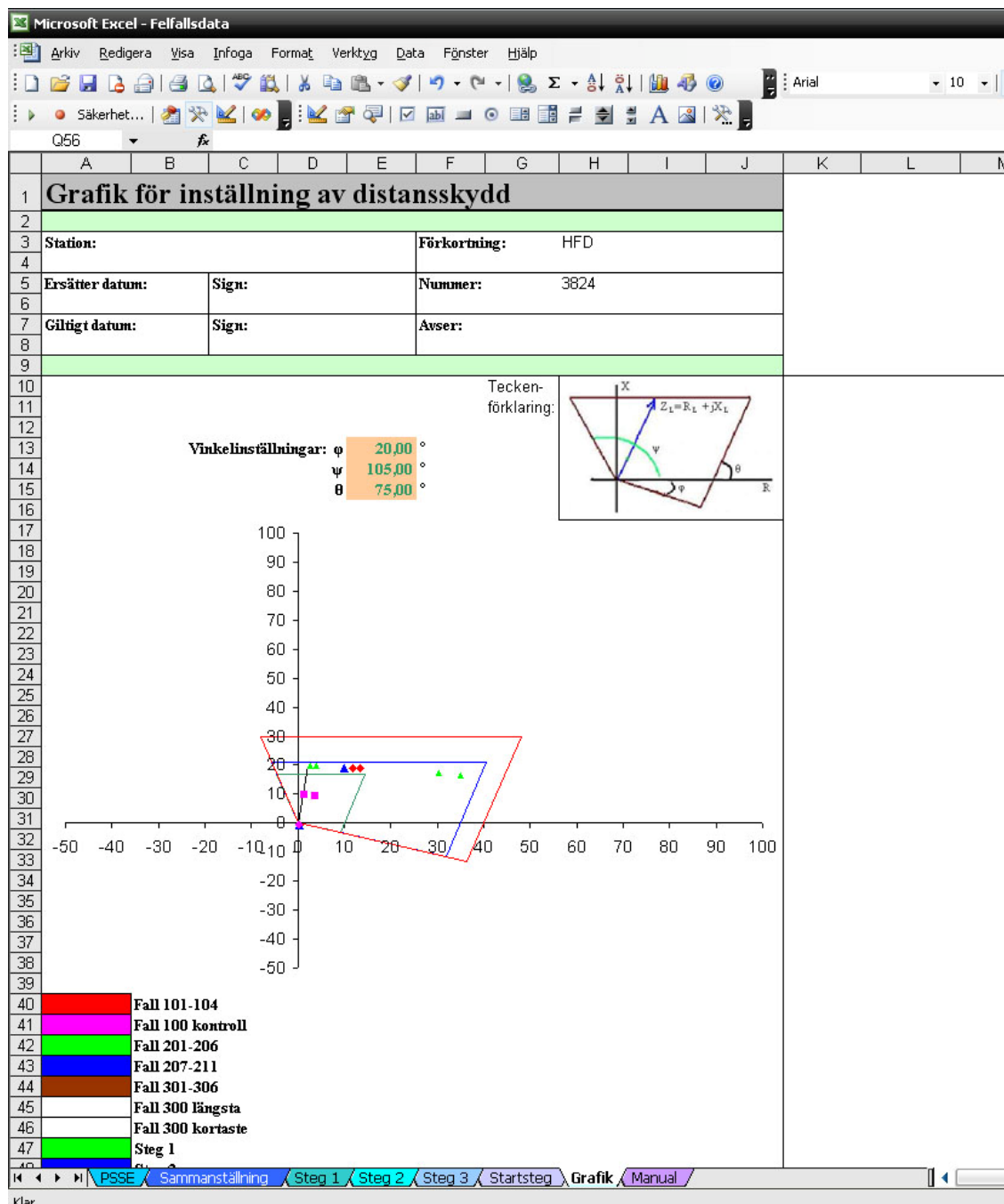
Figur 59. Figur motsvarande uppställningen i ekvation 42 för beräkning av förstöringsfaktorn G.



Figur 61, inställning av startsteg i arbetsblad "Startsteg".

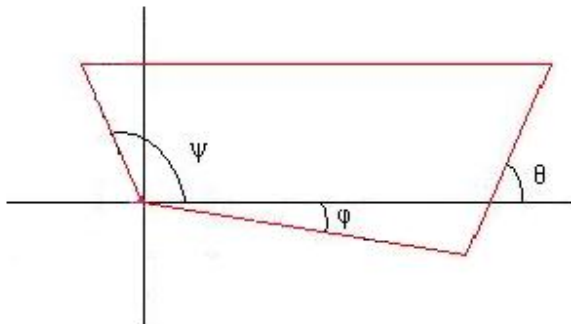
5.1.7 Grafik

Arbetsbladet "Grafik", Figur 62, presenterar de framräknade impedanserna för varje felfall samt steginställningarna i en och samma graf. På så sätt får man enkelt en god överblick om man tagit rätt beslut och placerat inställningsvärdena för stegen inom rätt områden med tillräcklig räckvidd. För att enkelt se skillnad på steg och felfall representeras dessa av egna färger. En färgkarta på arbetsbladet anger vilka färger som tillhör vilka felfall och steg.



Figur 62, grafisk presentation av felfall samt steginställningar i arbetsbladet "Grafik".

Grafiken presenterar stegen med kvadratisk karakteristik. Applikationen erbjuder möjligheten att förändra vinkelinställningarna för stegen. De tre vinklar som kan ställas in visas i *Figur 63*.



Figur 63, vinklar för inställning av stegkaraktär.

Inställningarna i R- och X-led för respektive steg ger oss endast en information som räcker för att rita en kvadrat med räta vinklar i varje hörn. När vi vill förändra vinklarna för kvadraten måste vi utifrån valda vinklar och räckvidd i R- och X-led räkna ut koordinaterna för varje hörn. Kvadraten utgår alltid med en punkt i origo.

Med hjälp av sinussatsen, *ekvation 45*, som ger oss ett förhållande mellan en triangels sidor och dess vinklar, *Figur 64*, kan vi beräkna hörnens koordinater.

$$\frac{\sin(\alpha)}{a} = \frac{\sin(\beta)}{b} = \frac{\sin(\gamma)}{c} \quad \text{ekvation 45}$$

Vi beräknar koordinaten för hörnet i fjärde kvadranten enligt följande där parametrarna följer *Figur 65*.

Parametrar som är kända är: R_{inst} , X_{inst} , samt φ och θ som är de kända vinklarna.

$$\begin{aligned} \delta &= \theta \\ \beta &= 180 - \varphi - \delta \end{aligned}$$

$$\frac{\sin(\beta)}{R_{inst}} = \frac{\sin(\delta)}{l_1} = \frac{\sin(\varphi)}{l_2} \quad \text{ekvation 46}$$

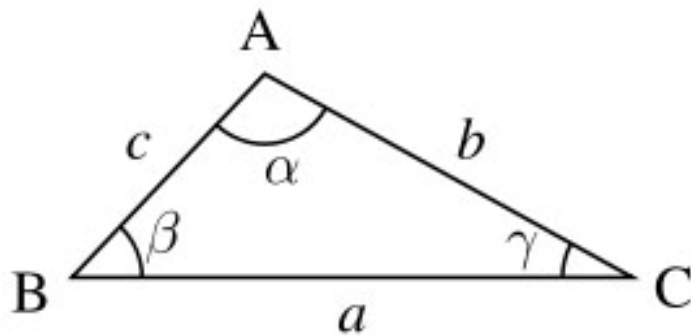
$$\Rightarrow l_1 = \frac{\sin \delta}{\sin \beta} R_{inst} \quad \text{ekvation 47}$$

$$l_2 = \frac{\sin(\varphi)}{\sin(\beta)} R_{inst} \quad \text{ekvation 48}$$

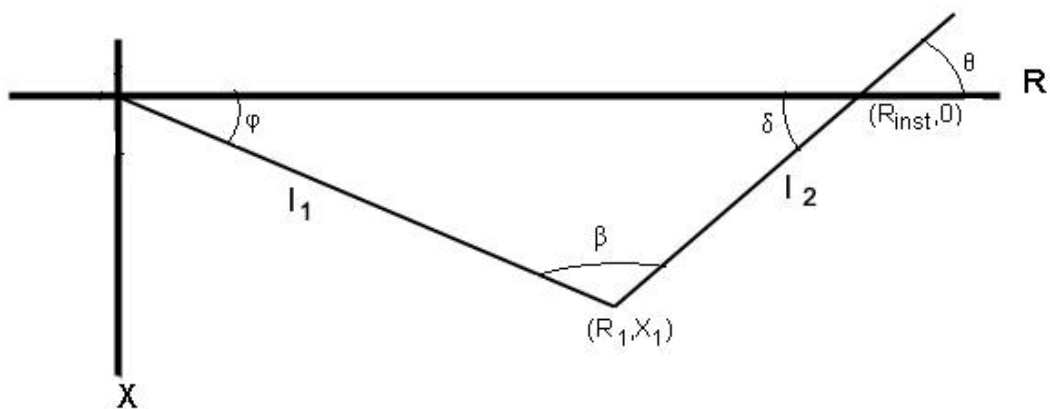
$$\Rightarrow R_1 = l_1 * \cos(\varphi) \quad \text{ekvation 49}$$

$$X_1 = l_2 * \sin(\delta) \quad \text{ekvation 50}$$

På motsvarande sätt beräknas även koordinaterna för de två andra hörnen i andra respektive tredje kvadranten.



Figur 64, icke rätvinklig triangel motsvarande ekvation 44.



Figur 65, grafik för koordinatberäkningar av hörn.

5.1.8 Manual

I arbetsbladet "Manual" ges en kortfattad beskrivning av programmet.

[8]

6 Utveckling

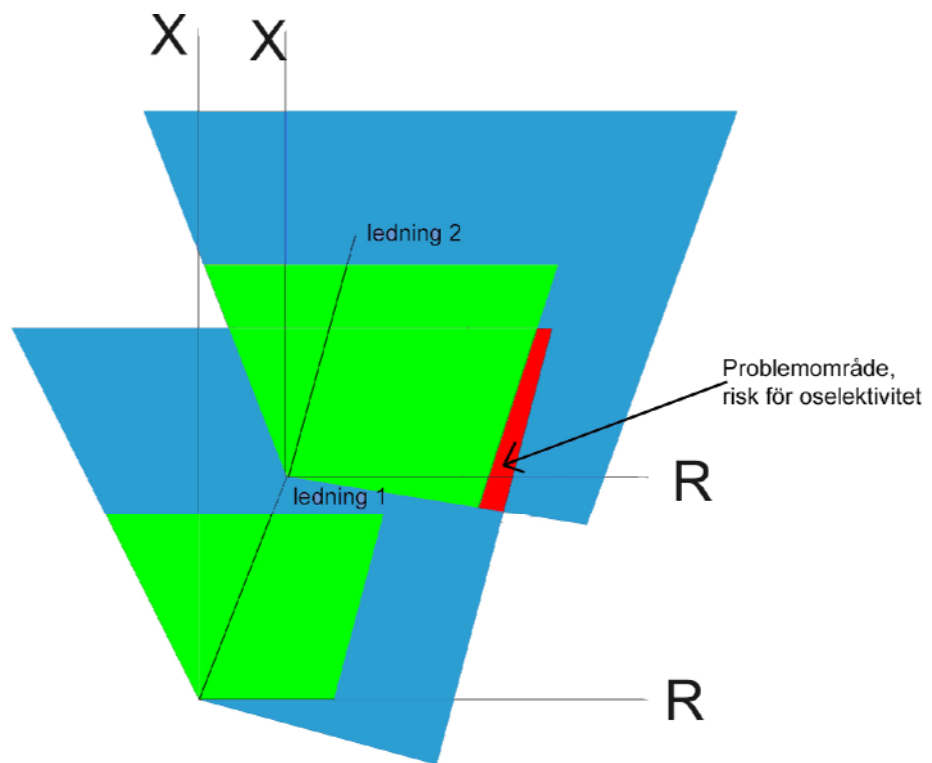
Det här arbetet kan ses som en början på ett program med stora möjligheter till vidare utveckling. Applikationen kan idag fungera som ett hjälpmedel för reläskyddsingenjören i hans/hennes arbete att fatta beslut om inställningsvärden för distansskydd. Det finns dock fortfarande många möjligheter att vidareutveckla applikationen. Nedan nämns några idéer på eventuellt fortsatt arbete.

Eftersom det fortfarande krävs en del arbete av reläskyddsingenjören när det gäller att genomföra lämpliga felfallsberäkningar i PSS/E, skulle det vara bra om man kunde underlätta detta arbete. En möjlighet är att skriva ett program i IPLAN eller Python som innefattar alla de uppsatta felfall som kan tänkas vara av intresse att genomföra. Vid körning av IPLAN/Python-programmet skulle användaren då få välja vilken reläpunkt som skall undersökas och vilka felfall och fellägen som skall köras. Därefter genomför programmet felfallsberäkningarna i PSS/E och sparar undan filerna på önskad form med önskad namngivning av filerna.

Som Excelapplikationen är konstruerad idag kan man i grafikbladet endast få formen för varje steg på rent kvadratisk form. Beroende på önskemål och behov kan man utveckla grafiken så att man kan förändra formen på steget i vissa områden i impedansplanet. Ett problem och en svaghet hos Excel är möjligheten att kunna ”zooma” i uppritade grafer. För att ”zooma” idag krävs att man manuellt går in och ändrar axlarnas gradering, något smidigt sätt finns inte.

Idag är applikationen i huvudsak avsedd för distansskydd som verkar i maskade distributionsnät på 130 kV nivå. Det skulle vara möjligt att antingen bygga ut applikationen eller konstruera en helt ny applikation för distansskydd i nät med andra spänningsnivåer och nät av annan typ, till exempel lokalnäten. Det finns också möjlighet att bygga liknande applikationer för andra sorters skyddssystem. Möjlighet att anpassa applikationen till skydd med andra skyddskaraktistiker är en annan utvecklingsmöjlighet.

Ett sista förslag till utveckling gäller möjligheten att bygga någon form av program där inställningsbladen samverkar för att lösa selektivplaneproblem. Ett exempel på ett sådant problem visas i *Figur 66*, där steg 2 för distansskydd för studerad ledning går in i steg 2 för mötande ledning och riskerar att hamna i ett läge med oselektivitet där båda löser för samma fel. För att lösa problemet behöver man då korrigera något av distansskyddens inställningar för steg 2 och så att de inte går in i varandra. Då det bara är en utgående ledning i mötande station är det lätt att se vart det finns risk för oselektivitet, men då det utgår flera ledningar blir det inte lika tydligt. En lösning på detta problem vore att lägga samtliga grafer över varandra i förhållande till varandra och därefter ta unionen av de olika områdena. På så sätt kan man se om det finns ett område som delas av de utgående ledningarna och ledningen för det studerade distansskyddet.



Figur 66, oselektivitet steg 2.

7 Diskussion

Det här examensarbetet presenterar en alternativ metod för att beräkna och dokumentera inställningsvärden för distansskydd. Ännu är den Excel-baserade applikationen i en utvecklingsfas och det finns en lång rad möjligheter till utveckling och förbättring. Mina möten på E.ON och ABB har visat att det finns ett intresse för den här typen av applikation. ABB känner till önskan om en enkel generell applikation från kraftnätsbolagen, men betonar svårigheten med att skapa en, då dagens distansskydd hela tiden blir mer och mer komplexa med allt fler inställningar. Dessutom kan inställningsmöjligheterna för distansskydd skilja sig mycket mellan olika tillverkare.

En applikation i Excel har den stora fördelen att Excel är välkänt och allmänt förekommande och dessutom väldigt konkurrenskraftigt kostnadsmässigt gentemot andra specialanpassade program för kraftnätsberäkningar. Huruvida Excel är den bästa mjukvaruplattformen för beräkning och dokumentation av inställningsvärden för distansskydd är inte fastslaget. ABB föreslår till exempel Ragtime, ett kalkylprogram som har flera likheter med Excel, som en alternativ plattform för applikationen. Användning av databaser, till exempel i Access, skulle kunna ge ökade och smidigare möjligheter till utveckling av applikationen, till exempel då man vill jämföra olika inställningsvärden för olika distansskydd.

8 Slutsatser

I det här examensarbetet har distansskyddsprinciper och principer för inställningar av distansskydd studerats. Det huvudsakliga målet med arbetet har varit att skapa en Excel-baserad applikation för beräkning och dokumentation av distansskyddsinställningar. Den sammanfattande slutsatsen är att applikationen som examensarbetet har resulterat i, kan med dagens utformning användas som ett hjälpmedel för inställningar av distansskydd. Dock är det viktigt att betona att de definierade felfallen för respektive steg inte alltid är tillräckliga för att fatta korrekta beslut om inställningsvärden. I vissa fall måste ytterligare undersökningar och hänsynstaganden göras. Applikationen kan också fungera som ett bra verktyg för dokumentation av inställningsvärden för distansskydd.

Referenser

- [1] Ziegler, Gerhard. (2006) Numerical Distance Protection, (2:a upplagan), Erlangen: Publicis Corporate Publishing. ISBN 3-89578-266-1
- [2] Horowitz, Stanley H., & Phadke, Arun G. (1995) Power System Relaying, (2:a upplagan), West Sussex: John Wiley & Sons Limited. ISBN 0-86380-185-4
- [3] ABB. (2006) Applikationsmanual för distansskydd REL 511*2.5, [http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/SCOT296.nsf/VerityDisplay/2224A4563391CFE7C125726E0037169E/\\$File/1MRK506168-UEN_B_en_Application_manual_Line_distance_protection_terminal_REL511_2.5.pdf](http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/SCOT296.nsf/VerityDisplay/2224A4563391CFE7C125726E0037169E/$File/1MRK506168-UEN_B_en_Application_manual_Line_distance_protection_terminal_REL511_2.5.pdf) (2007-02-08)
- [4] Utkast på distansskyddsprinciper, Personlig korrespondens, Tomas Johannesson, E.ON Elnät, Malmö.
- [5] Kompendium, Power System Analysis (2006) Chalmers tekniska högskola
- [6] Siemens. (2005) Manual PSS/E Version 30.2
- [7] Personlig korrespondens, Thomas Gustafsson, Vattenfall
- [8] John Walkenbach. (1999) Excel 2002 Power Programming with VBA, Foster City: IDG Books.
- [9] Price, Elmo (2006) Loss of ac Voltage Consideration For Line Protection, <http://www.pes-psrc.org/Reports/Loss%20of%20AC%20Voltage%20Considerations%20for%20Line%20Protection.pdf> (2007-02-08)

Appendix A: Utskrift av Excelapplikation

Data från felfallsberäkningar i PSS/E																																																					
Station:			Förkortning:																																																		
Ersätter datum:	Sign:		Nummer:																																																		
Giltigt datum:	Sign:		Avser:																																																		
<table border="1"> <tr> <td>Station</td> <td>V0</td> <td>V0 vinkel</td> <td>V+</td> <td>V+ vinkel</td> <td>V-</td> <td>V- vinkel</td> <td>3V0</td> <td>3V0 vinkel</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Va</td> <td>Va vinkel</td> <td>VB</td> <td>VB vinkel</td> <td>VC</td> <td>VC vinkel</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Station</td> <td>I0</td> <td>I0 vinkel</td> <td>I+</td> <td>I+ vinkel</td> <td>I-</td> <td>I- vinkel</td> <td>3I0</td> <td>3I0 vinkel</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Ia</td> <td>Ia vinkel</td> <td>IB</td> <td>IB vinkel</td> <td>IC</td> <td>IC vinkel</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Typ</td> <td>=</td> <td>R</td> <td>X</td> <td>Typ</td> <td>Z</td> <td>=</td> <td>R</td> <td>X</td> </tr> </table>									Station	V0	V0 vinkel	V+	V+ vinkel	V-	V- vinkel	3V0	3V0 vinkel		Va	Va vinkel	VB	VB vinkel	VC	VC vinkel			Station	I0	I0 vinkel	I+	I+ vinkel	I-	I- vinkel	3I0	3I0 vinkel		Ia	Ia vinkel	IB	IB vinkel	IC	IC vinkel			Typ	=	R	X	Typ	Z	=	R	X
Station	V0	V0 vinkel	V+	V+ vinkel	V-	V- vinkel	3V0	3V0 vinkel																																													
	Va	Va vinkel	VB	VB vinkel	VC	VC vinkel																																															
Station	I0	I0 vinkel	I+	I+ vinkel	I-	I- vinkel	3I0	3I0 vinkel																																													
	Ia	Ia vinkel	IB	IB vinkel	IC	IC vinkel																																															
Typ	=	R	X	Typ	Z	=	R	X																																													
Felfallsdata för steg 1, steg 2 och steg 3 från felfallsberäkningar i PSS/E																																																					
Fall 101																																																					
Fall 102																																																					
Fall 103																																																					
Fall 104a																																																					
Fall 104b																																																					
Fall100ktr1																																																					
Fall 100ktr2																																																					
Fall 201																																																					

Fall 303	
Fall 304	
Fall 305a	
Fall 305b	
Fall 306a	
Fall 306b	
Fall 300 längsta	
Fall 300 kortaste	
Fall 401	
Fall 402	
Fall 403	

Fall 404	
Fall 405	
Fall 406	

Sammanställning av distansskyddsinställning			
Station:		Förkortning:	
Ersätter datum:	Sign:	Nummer:	
Giltigt datum:	Sign:	Avser:	
Ledningsdata			
R0 =	<input type="text"/>	Ω	Nollföljdsströmkompensering för icke parallellgående ledning $K_N = \frac{Z_0 - Z_+}{3 \cdot Z_+} = \frac{R \quad X}{+j} : \text{Arg} \quad /_{-}^{\circ}$ V alt K_N för aktuellt fall = <input type="text"/> <input type="text"/> Arg, / $_{-}^{\circ}$
X0 =	<input type="text"/>	Ω	
R1 =	<input type="text"/>	Ω	
X1 =	<input type="text"/>	Ω	
R0m =	<input type="text"/>	Ω	
X0m =	<input type="text"/>	Ω	
Längd =	<input type="text"/>	km	
Max belastningsström =		<input type="text"/>	A
Basvärden			
Sb =	<input type="text"/>	MVA	=> $mz = U_{toms}/I_{toms} =$ <input type="text"/> ggr
Ub =	<input type="text"/>	kV	
Zb =	<input type="text"/>	Ω	
Inställningsvärden Steg 1			
		Tidsfördröjning =	<input type="text"/> 0,00 s
#	<input type="text"/>		
#	<input type="text"/>		
R1 =	<input type="text"/>	Ω	=> R1sek = <input type="text"/> Ω
X1 =	<input type="text"/>	Ω	=> X1sek = <input type="text"/> Ω
R1l =	<input type="text"/>	Ω	=> R1lsek = <input type="text"/> Ω i linjens riktningen (Ohm/fas)
R1f =	<input type="text"/>	Ω	=> R1fsek = <input type="text"/> Ω i felet (Ohm/loop)
Inställningsvärden Steg 2			
		Tidsfördröjning =	<input type="text"/> 0,4 s
Ohm < X2inst < 0,00 Ohm Ohm < R2inst < 0,00 Ohm			
R2 =	<input type="text"/>	Ω	=> R2sek = <input type="text"/> Ω
X2 =	<input type="text"/>	Ω	=> X2sek = <input type="text"/> Ω
R2l =	<input type="text"/>	Ω	=> R2lsek = <input type="text"/> Ω i linjens riktningen (Ohm/fas)
R2f =	<input type="text"/>	Ω	=> R2fsek = <input type="text"/> Ω i felet (Ohm/loop)
Inställningsvärden Steg 3			
		Tidsfördröjning =	<input type="text"/> 1,2 s
0,00 < X3inst < 0,00 0,00 < R3inst < 0,00			
R3 =	<input type="text"/>	Ω	=> R3sek = <input type="text"/> Ω
X3 =	<input type="text"/>	Ω	=> X3sek = <input type="text"/> Ω
R3l =	<input type="text"/>	Ω	=> R3lsek = <input type="text"/> Ω i linjens riktningen (Ohm/fas)
R3f =	<input type="text"/>	Ω	=> R3fsek = <input type="text"/> Ω i felet (Ohm/loop)

Sammanställning av beräknade impedanser Steg 1									
Station:					Förkortning:				
Ersätter datum:			Sign:		Nummer:				
Giltigt datum:			Sign:		Avser:				
Fall 101									
Fehresistans vid PSS/E beräkning: R _{fel} = Pu, X _{fel} = Pu, =>									
R _{fel} = Ω, X _{fel} = Ω									
Ljusbåglängd = m => Ik = A									
I reläpunkt:									
	R	/ °	S	/ °	T	/ °	3I0	/ °	
U [kV]									
I [A]									
$Z_{101} = \frac{U_S \angle - U_T \angle}{I_S \angle - I_T \angle} = Z(\Omega), / \text{ }^\circ \quad R_{101} = \Omega$ $X_{101} = \Omega$									
Fall 102									
Fehresistans vid PSS/E beräkning: R _{fel} = Pu, X _{fel} = Pu, =>									
R _{fel} = Ω, X _{fel} = Ω									
Ljusbåglängd = m => Ik = A									
I reläpunkt:									
	R	/ °	S	/ °	T	/ °	3I0	/ °	
U [kV]									
I [A]									
$K_n = Z , / \text{ }^\circ$ $Z_{102} \angle = \frac{U_R \angle}{I_R \angle + K_n \angle \cdot 3I_0 \angle} = Z(\Omega), / \text{ }^\circ \quad R_{102} = \Omega$ $X_{102} = \Omega$									
Fall 103									
Fehresistans vid PSS/E beräkning: R _{fel} = Pu, X _{fel} = Pu, =>									
R _{fel} = Ω, X _{fel} = Ω									
I reläpunkt:									
	R	/ °	S	/ °	T	/ °	3I0	/ °	
U [kV]									
I [A]									
$K_n = Z , / \text{ }^\circ$ $Z_{103} \angle = \frac{U_R \angle}{I_R \angle + K_n \angle \cdot 3I_0 \angle} = Z(\Omega), / \text{ }^\circ \quad R_{103} = \Omega$ $X_{103} = \Omega$									

Fall 104a								
Fehesistansvid PSS/E beräkning: Rfel = Pu, Xfel = Pu, =>								
Rfel = Ω, Xfel = Ω								
Ljusbågslängd = m => Ik = A								
I reläp unkt:	R	/ °	S	/ °	T	/ °	3I0	/ °
U [kV]								
I [A]								
$Z_{104a} \angle = \frac{U_R \angle}{I_R \angle} =$ $ Z(\Omega), / _ \circ \quad R_{104a} = \quad \Omega$ $X_{104a} = \quad \Omega$								
Fall 104b								
Fehesistansvid PSS/E beräkning: Rfel = Pu, Xfel = Pu, =>								
Rfel = Ω, Xfel = Ω								
Ljusbågslängd = m => Ik = A								
I reläp unkt:	R	/ °	S	/ °	T	/ °	3I0	/ °
U [kV]								
I [A]								
$Z_{104b} \angle = \frac{U_R \angle}{I_R \angle} =$ $ Z(\Omega), / _ \circ \quad R_{104b} = \quad \Omega$ $X_{104b} = \quad \Omega$								
Fall 100ktr1								
Fehesistansvid PSS/E beräkning: Rfel = Pu, Xfel = Pu, =>								
Rfel = Ω, Xfel = Ω								
Ljusbågslängd = m => Ik = A								
I reläp unkt:	R	/ °	S	/ °	T	/ °	3I0	/ °
U [kV]								
I [A]								
$Z_{100ktr1} = \frac{U_S \angle - U_T \angle}{I_S \angle - I_T \angle} =$ $ Z(\Omega), / _ \circ \quad R_{100ktr1} = \quad \Omega$ $X_{100ktr1} = \quad \Omega$								
Fall 100ktr2								
Fehesistansvid PSS/E beräkning: Rfel = Pu, Xfel = Pu, =>								
Rfel = Ω, Xfel = Ω								
Ljusbågslängd = m => Ik = A								
I reläp unkt:	R	/ °	S	/ °	T	/ °	3I0	/ °
U [kV]								
I [A]								
$K_n = Z , / _ \circ$ $Z_{100ktr2} \angle = \frac{U_R \angle}{I_R \angle + K_n \angle \cdot 3I_0 \angle} =$ $ Z(\Omega), / _ \circ \quad R_{100ktr2} = \quad \Omega$ $X_{100ktr2} = \quad \Omega$								

Felfall	Impedans sedd från distansskydd			
	Z+	$\frac{1}{\omega}$	R	X
101				
102				
103				
104a				
104b				
100ktr11				
100ktr12				
Min	0,00	#####	#####	#####
Max	0,00	0,00	0,00	0,00

Kontroll steg 1:

#OGILTIGT!
#OGILTIGT!

$X_{1inst} > \max(X_{ktr11}, X_{ktr12}) \Rightarrow X_{1inst} > 0,00 \text{ Ohm}$
 $R_{1inst} > \max(R_{ktr11}, R_{ktr12}) \Rightarrow R_{1inst} > 0,00 \text{ Ohm}$

Val av inställningsvärden för steg 1: Räckvidd 85 % : $85\% * X_{linje} = 0 \text{ Ohm}$

$R1 = \text{[orange box]} \Omega \Rightarrow R1_{sek} = \Omega$
 $X1 = \text{[orange box]} \Omega \Rightarrow X1_{sek} = \Omega$
 $\Rightarrow Z1 =$

#DIVISION/0!

$R1l = \text{[orange box]} \Omega \Rightarrow R1l_{sek} = \Omega \text{ i linjens riktningen (Ohm/fas)}$
 $R1f = \text{[orange box]} \Omega \Rightarrow R1f_{sek} = \Omega \text{ i felet (Ohm/loop)}$

Kommentar:

Fall 204								
Felresistans vid PSS/E beräkning:								
Rfel =			Pu, Xfel =			Pu, =>		
Rfel =			Ω, Xfel =			Ω		
Ljusbåglängd =			m => Ik =			A		
I reläp unkt:	R	/ °	S	/ °	T	/ °	3I0	/ °
U [kV]								
I [A]								
Kn = Z , / _								
$Z_{204} \angle = \frac{U_R \angle}{I_S \angle + Kn \angle \cdot 3I_0 \angle} =$								
$ Z (\Omega), / _ \quad R_{204} = \quad \Omega$								
$X_{204} = \quad \Omega$								
Fall 205								
Felresistans vid PSS/E beräkning:								
Rfel =			Pu, Xfel =			Pu, =>		
Rfel =			Ω, Xfel =			Ω		
Ljusbåglängd =			m => Ik =			A		
I reläp unkt:	R	/ °	S	/ °	T	/ °	3I0	/ °
U [kV]								
I [A]								
$Z_{205} \angle = \frac{U_S \angle - U_T \angle}{I_S \angle - I_T \angle} =$								
$ Z (\Omega), / _ \quad R_{205} = \quad \Omega$								
$X_{205} = \quad \Omega$								
Fall 206								
Felresistans vid PSS/E beräkning:								
Rfel =			Pu, Xfel =			Pu, =>		
Rfel =			Ω, Xfel =			Ω		
Ljusbåglängd =			m => Ik =			A		
I reläp unkt:	R	/ °	S	/ °	T	/ °	3I0	/ °
U [kV]								
I [A]								
Kn = Z , / _								
$Z_{206} \angle = \frac{U_R \angle}{I_S \angle + Kn \angle \cdot 3I_0 \angle} =$								
$ Z (\Omega), / _ \quad R_{206} = \quad \Omega$								
$X_{206} = \quad \Omega$								
Fall 207a								
Felresistans vid PSS/E beräkning:								
Rfel = 0,000			Pu, Xfel = 0,00			Pu, =>		
Rfel = #####			Ω, Xfel = #####			Ω		
I reläp unkt:	R	/ °	S	/ °	T	/ °	3I0	/ °
U [kV]								
I [A]								
$Z_{207} \angle = \frac{U_S \angle - U_T \angle}{I_S \angle - I_T \angle} =$								
$ Z (\Omega), / _ \quad R_{207a} = \quad \Omega$								
$X_{207a} = \quad \Omega$								

Fall 208a									
Fehesistans vid PSS/E beräkning: Rfel = 0,000 Pu, Xfel = 0,00 Pu, => Rfel = ##### Ω, Xfel = ##### Ω									
I reläp unkt:		R	/ °	S	/ °	T	/ °	3I0	/ °
U [kV]									
I [A]									
Kn = Z , / _									
$Z_{208} \angle = \frac{U_R \angle}{I_R \angle + Kn \angle \cdot 3I_0 \angle} =$									
Z (Ω), / _ R208a = Ω X208a = Ω									
Fall 209b									
Fehesistans vid PSS/E beräkning: Rfel = 0,021 Pu, Xfel = 0,00 Pu, => Rfel = ##### Ω, Xfel = ##### Ω									
I reläp unkt:		R	/ °	S	/ °	T	/ °	3I0	/ °
U [kV]									
I [A]									
$Z_{209} \angle = \frac{U_S \angle - U_T \angle}{I_S \angle - I_T \angle} =$									
Z (Ω), / _ R209b = Ω X209b = Ω									
Fall 210a									
Fehesistans vid PSS/E beräkning: Rfel = Pu, Xfel = Pu, => Rfel = Ω, Xfel = Ω									
I reläp unkt:		R	/ °	S	/ °	T	/ °	3I0	/ °
U [kV]									
I [A]									
Kn = Z , / _									
$Z_{210} \angle = \frac{U_R \angle}{I_R \angle + Kn \angle \cdot 3I_0 \angle} =$									
Z (Ω), / _ R210a = Ω X210a = Ω									
Fall 211									
Fehesistans vid PSS/E beräkning: Rfel = Pu, Xfel = Pu, => Rfel = Ω, Xfel = Ω Ljusbågsängd = m => Ik = A									
I reläp unkt:		R	/ °	S	/ °	T	/ °	3I0	/ °
U [kV]									
I [A]									
$Z_{211} \angle = \frac{U_R \angle}{I_R \angle} =$									
Z (Ω), / _ R211 = Ω X211 = Ω									

Impedans sedd från distansskydd				
Felfall	Z+	/ °	R	X
201				
202				
203				
204				
205				
206				
207	0,00	#####	0,00	0,00
208	0,00	#####	0,00	0,00
209	0,00	#####	0,00	0,00
210	0,00	#####	0,00	0,00
211				
Min	0,00	#####	0,00	0,00
Max	0,00	#####	0,00	0,00

Kontroll steg 2:

Mötande station:

Kortaste ledning i mötande station: R_{inst} = Ω
X_{inst} = Ω

Antal parallellkopplade transformatorer: R = Ω
X = Ω

Inställning för steg 2 bör inte överskrida 80% av den sammanlagda impedansen för den skyddade ledningen och inställningsvärdet för steg 1 av kortaste ledning i mötande station.

$$X_{2inst} < 0.8(X_{linje} + X_{kortast}) =$$

$$R_{2inst} < 0.8(R_{linje} + R_{kortast}) =$$

Inställning för steg 2 bör inte överskrida 80% av sammanlagda impedansen av maximalt antal parallellkopplade transformatorer på mötande samlingsskena

$$X_{2inst} < 0.8 * X_{maxtrafo} = 0,00$$

$$R_{2inst} < 0.8 * R_{maxtrafo} = 0,00$$

$$\max(X_{201}, X_{202}, X_{203}, X_{204}, X_{205}, X_{206}) < X_{2inst} < \min(X_{207}, X_{208}, X_{209}, X_{210}, X_{211})$$

$$\Rightarrow 0 \text{ Ohm} < X_{2inst} < 0 \text{ Ohm}$$

$$\max(R_{201}, R_{202}, R_{203}, R_{204}, R_{205}, R_{206}) < R_{2inst} < \min(R_{207}, R_{208}, R_{209}, R_{210}, R_{211})$$

$$\Rightarrow 0 \text{ Ohm} < R_{2inst} < 0 \text{ Ohm}$$

=>

$$0 \text{ Ohm} < X_{2inst} < 0,00 \text{ Ohm}$$

$$0 \text{ Ohm} < R_{2inst} < 0,00 \text{ Ohm}$$

Val av inställningsvärden för steg 2: Räckvidd 125%: 125% * X_{linje} = 0 Ohm

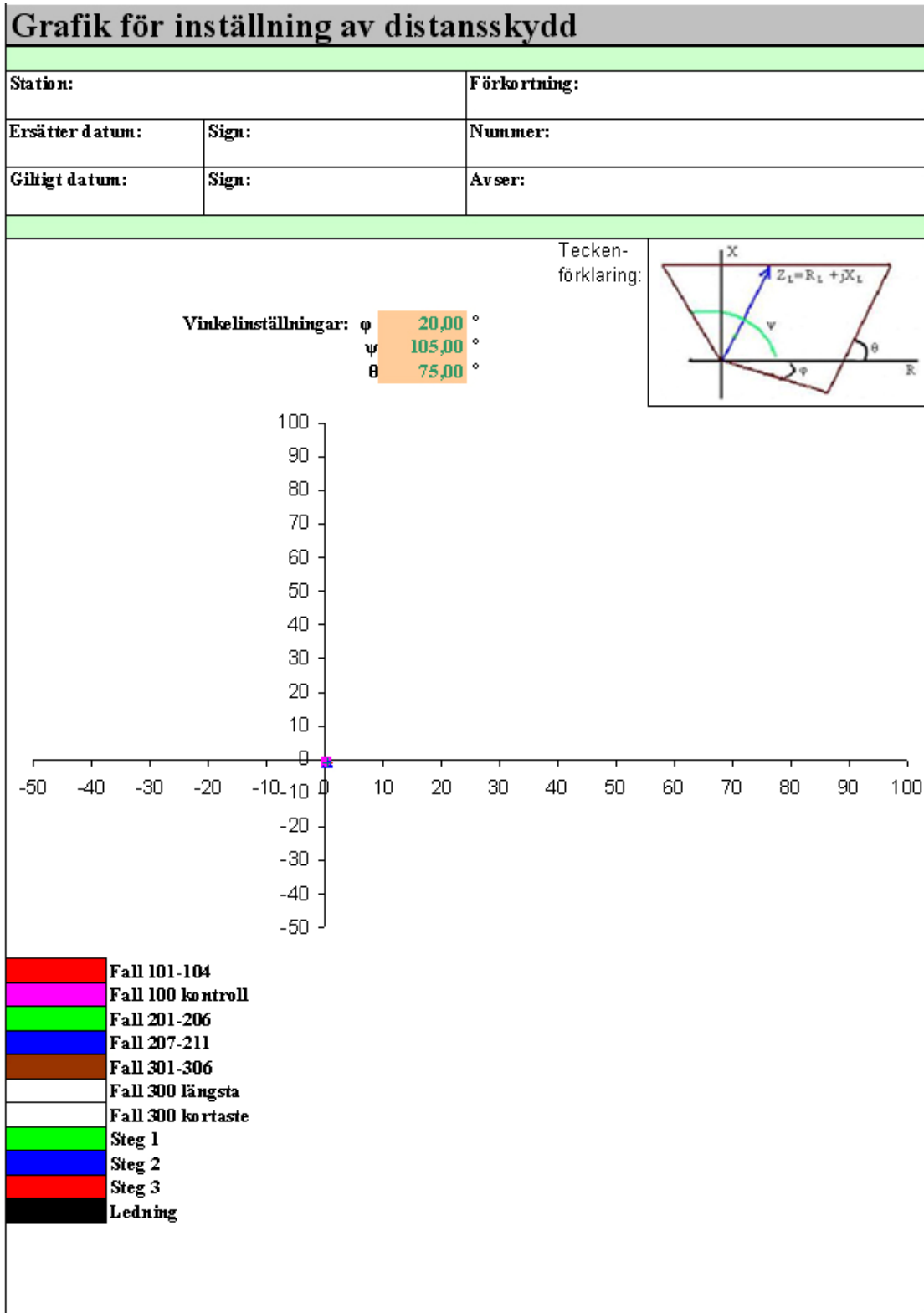
R₂ = Ω => R_{2sek} = Ω
X₂ = Ω => X_{2sek} = Ω
=> Z₁ =

Fall 304								
Fehesistans vid PSS/E beräkning:								
		Rfel =		Pu, Xfel =		Pu, =>		
		Rfel =		Ω, Xfel =		Ω		
		Ljusbåglängd =		m => Ik =		A		
I reläp unkt:		R	/ °	S	/ °	T	/ °	310 / °
U [kV]								
I [A]								
Kn = Z , / _								
$Z_{304} \angle = \frac{U_R \angle}{I_R \angle + Kn \angle \cdot 3I_0 \angle} =$								
$ Z(\Omega), / \text{ }^\circ$								
R304 = Ω								
X304 = Ω								
Fall 305a								
Fehesistans vid PSS/E beräkning:								
		Rfel =		Pu, Xfel =		Pu, =>		
		Rfel =		Ω, Xfel =		Ω		
		Ljusbåglängd =		m => Ik =		A		
I reläp unkt:		R	/ °	S	/ °	T	/ °	310 / °
U [kV]								
I [A]								
Kn = Z , / _								
$Z_{305a} \angle = \frac{U_R \angle}{I_R \angle + Kn \angle \cdot 3I_0 \angle} =$								
$ Z(\Omega), / \text{ }^\circ$								
R305a = Ω								
X305a = Ω								
Fall 305b								
Fehesistans vid PSS/E beräkning:								
		Rfel =		Pu, Xfel =		Pu, =>		
		Rfel =		Ω, Xfel =		Ω		
		Ljusbåglängd =		m => Ik =		A		
I reläp unkt:		R	/ °	S	/ °	T	/ °	310 / °
U [kV]								
I [A]								
Kn = Z , / _								
$Z_{305b} \angle = \frac{U_R \angle}{I_R \angle + Kn \angle \cdot 3I_0 \angle} =$								
$ Z(\Omega), / \text{ }^\circ$								
R305b = Ω								
X305b = Ω								
Fall 306a								
Fehesistans vid PSS/E beräkning:								
		Rfel =		Pu, Xfel =		Pu, =>		
		Rfel =		Ω, Xfel =		Ω		
		Ljusbåglängd =		m => Ik =		A		
I reläp unkt:		R	/ °	S	/ °	T	/ °	310 / °
U [kV]								
I [A]								
Kn = Z , / _								
$Z_{306a} \angle = \frac{U_R \angle}{I_R \angle} =$								
$ Z(\Omega), / \text{ }^\circ$								
R306a = Ω								
X306a = Ω								

Fall 306b										
Fehesistansvid PSS/E beräkning: Rfel = Pu, Xfel = Pu, =>										
Rfel = Ω, Xfel = Ω										
Ljusbåglängd = m => Ik = A										
I reläp unkt:	R	/ °	S	/ °	T	/ °	310	/ °		
U [kV]										
I [A]										
$Z_{306b} \angle = \frac{U_R \angle}{I_R \angle} =$ $ Z(\Omega), / \text{ }^\circ \text{ R306b} = \Omega$ $X306b = \Omega$										
Fall längsta ledning i mötande station										
Fehesistansvid PSS/E beräkning: Rfel = Pu, Xfel = Pu, =>										
Rfel = Ω, Xfel = Ω										
Ljusbåglängd = m => Ik = A										
I reläp unkt:	R	/ °	S	/ °	T	/ °	310	/ °		
U [kV]										
I [A]										
$Z_{längsta} = \frac{U_S \angle - U_T \angle}{I_S \angle - I_T \angle} =$ $ Z(\Omega), / \text{ }^\circ \text{ Rlängsta} = \Omega$ $Xlängsta = \Omega$										
Fall kortaste ledning i mötande station										
Fehesistansvid PSS/E beräkning: Rfel = Pu, Xfel = Pu, =>										
Rfel = Ω, Xfel = Ω										
Ljusbåglängd = m => Ik = A										
I reläp unkt:	R	/ °	S	/ °	T	/ °	310	/ °		
U [kV]										
I [A]										
$Z_{kortaste} = \frac{U_S \angle - U_T \angle}{I_S \angle - I_T \angle} =$ $ Z(\Omega), / \text{ }^\circ \text{ Rkortaste} = \Omega$ $Xkortaste = \Omega$										
Felfall Impedans sedd från distansskydd										
	Z+	/ °	R	X						
301										
302										
303										
304										
305a										
305b										
306a										
306b										
Kortaste ledn.										
Längsta ledn.										
Min	0,00	#####	0,00	0,00						
Max	0,00	#####	0,00	0,00						


Sammanställning av inställningsvärden för startsteg									
Station:					Förkortning:				
Ersätter datum:			Sign:		Nummer:				
Giltigt datum:			Sign:		Avser:				
Fall 401									
Fehesistans vid PSS/E beräkning: Rfel = Pu, Xfel = Pu, =>									
Rfel = Ω, Xfel = Ω									
Ljusbågsängd = m => Ik = A									
I reläp unkt:									
	R	/°	S	/°	T	/°	310	/°	
U [kV]									
I [A]									
$Z_{401} \angle = \frac{U_R \angle}{I_R \angle} = \quad Z (\Omega), /_{\circ} \begin{array}{l} R_{framåt} = \\ X_{framåt} = \end{array} \quad \begin{array}{l} \Omega \\ \Omega \end{array}$									
Fall 402									
Fehesistans vid PSS/E beräkning: Rfel = Pu, Xfel = Pu, =>									
Rfel = Ω, Xfel = Ω									
Ljusbågsängd = m => Ik = A									
I reläp unkt:									
	R	/°	S	/°	T	/°	310	/°	
U [kV]									
I [A]									
$Z_{402} \angle = \frac{U_R \angle}{I_R \angle} = \quad Z (\Omega), /_{\circ} \begin{array}{l} R_{bakåt} = \\ X_{bakåt} = \end{array} \quad \begin{array}{l} \Omega \\ \Omega \end{array}$									
Fall 405									
Fehesistans vid PSS/E beräkning: Rfel = Pu, Xfel = Pu, =>									
Rfel = Ω, Xfel = Ω									
Ljusbågsängd = m => Ik = A									
I reläp unkt:									
	R	/°	S	/°	T	/°	310	/°	
U [kV]									
I [A]									
$Z_{101} = \frac{U_S \angle - U_T \angle}{I_S \angle - I_T \angle} = \quad Z (\Omega), /_{\circ} \begin{array}{l} R_{101} = \\ X_{101} = \end{array} \quad \begin{array}{l} \Omega \\ \Omega \end{array}$									

Fall 404									
Fehresistans vid PSS/E beräkning: Rfel = Pu, Xfel = Pu, =>									
Rfel = Ω, Xfel = Ω									
Ljusbågs längd = m => Ik = A									
I reläp unkt:		R	/ °	S	/ °	T	/ °	310	/ °
U [kV]									
I [A]									
$Z_{101} = \frac{U_S \angle - U_T \angle}{I_S \angle - I_T \angle} = Z (\Omega), / \text{ }^\circ \quad R_{101} = \Omega$ $X_{101} = \Omega$									
Fall 406									
Fehresistans vid PSS/E beräkning: Rfel = Pu, Xfel = Pu, =>									
Rfel = Ω, Xfel = Ω									
Ljusbågs längd = m => Ik = A									
I reläp unkt:		R	/ °	S	/ °	T	/ °	310	/ °
U [kV]									
I [A]									
$K_n = 1,09 Z , -0,01 / \text{ }^\circ$ $Z_{102} \angle = \frac{U_R \angle}{I_R \angle + K_n \angle \cdot 3 I_0 \angle} = Z (\Omega), / \text{ }^\circ \quad R_{102} = \Omega$ $X_{102} = \Omega$									
Fall 406									
Fehresistans vid PSS/E beräkning: Rfel = Pu, Xfel = Pu, =>									
Rfel = Ω, Xfel = Ω									
Ljusbågs längd = m => Ik = A									
I reläp unkt:		R	/ °	S	/ °	T	/ °	310	/ °
U [kV]									
I [A]									
$K_n = 1,09 Z , -0,01 / \text{ }^\circ$ $Z_{102} \angle = \frac{U_R \angle}{I_R \angle + K_n \angle \cdot 3 I_0 \angle} = Z (\Omega), / \text{ }^\circ \quad R_{102} = \Omega$ $X_{102} = \Omega$									
<p>Önskad genomgångseffekt: MVA Vid spänningsnivå: kV</p> <p>Återgångsförhållande = => Zåtergång = U²/Sg = Ω</p> <p>=> Zstart = Zåtergång/återgångsförhållande = Ω</p> <p>Rg Cos(30) = Ω</p> <p>Genomgångseffekt maximal belastningsström =(U*I*Rot(3))/återgång= MVA</p> <p>=> Zåtergång = Ω</p>									



Manual och beskrivning av program

Design av program:

- Färgade fält av typen  symboliserar att användaren själv skall föra in den efterfrågas.
- Svart text symboliserar "automatiserad" data som är framräknad av programmet.
- Grön text symboliserar uppgifter införda av användaren själv.
- Lösenord för att låsa/låsa upp arbetsblad/celler: admin

Sammanställning : här presenteras data för den skyddade ledningen, data för distansskyddet, basvärden för systemet samt en sammanställning av de valda inställningarna för respektive steg.

PSSE : Hit hämtas data från beräknade felfall i PSS/E för att därefter kunna bearbetas av programmet.

Knappar

1. **Hämta Felfalls data** : Med hjälp av knappen läses datan in. Förutsättningen är att datan är placerad i enskilda textfiler för respektive felfallsberäkning. Filerna skall namnges enligt följande syntax och placeras i C:/data/
ZFelfallsnummer_Stationsnummer_Mötande stationsnummer_ledningsnummer.txt
Ex: Z101_5000_3833_1.txt i det fall Fall 101 beräknas för distansskydd i anslutning till station 5000 på ledningen med ledningsnummer 1 mellan stationerna 5000 och 3833.

Filer för kontrollberäkning 1 och 2 för steg 1 döps till Z105...txt och Z106...txt.

Filer för beräkning av längsta respektive kortaste ledning för steg 3 namnges Z307...txt respektive Z308...txt.

För de felfall där delfall kan föreligga skall filerna namnges enligt följande:

ZFelfallsnummer_Stationsnummer_Mötande stationsnummer_ledningsnummer_bokstav.txt

Ex: Z207_5000_3833_1_c.txt i det fall Fall 207 beräknas för distansskydd i anslutning till station 5000 på ledningen mellan stationerna 5000 och 3833.

Om bortre ledningsända skall vara öppen skall "Dummybus" i PSS/E ta nummret 999999. Detta gäller speciellt felfall 203 och 204.

2. **Spara** : Möjliggör sparande av fil. Det är inte möjligt att spara med namnet Felfallsdata.xls för att förhindra att ursprungsfilen förstörs.

3. **Beräkna** : Förutsatt att data från PSS/E hämtats in kan beräkningar utföras. Knappen förflyttar felfallsdata till respektive felfallsområde och den av distansskyddet sedda impedansen beräknas och presenteras.

4. **Töm Blad** : Tömmer bladet från inläst felfallsdata.

Steg 1, Steg 2 och Steg 3 : här beräknas varje felfall för sig och de uträknade impedanserna sammaställs i botten av arbetsbladet. För varje felfall ges möjlighet att ange värden för resistansen i felstället och parametrar för ljusbåge i felet. För steg 2 och steg 3 förväntas viss information föras in i gulmarkerade fält för att ett intervall för möjlig impedansinställning skall kunna presenteras.

Startsteg: För startsteget kan 6 felfall beräknas, varav två tvåfasfel, två trefasfel och två enfasfel. Felfallen är odefinierade och bestäms enskilt för varje distansskyddsinställning. Startsteget ställs också efter maximal genomgångseffekt.

Grafik : De erhållna resultaten från felfallsberäkningarna presenteras grafiskt tillsammans med de zoninställningar som gjorts. Zoninställningarna presenteras med kvadratisk karakteristik. Genom att föra in olika värden i de gulmarkerade områdena kan vinkelinställningarna ändras.

För att enkelt se skillnad på steg och felfall representeras dessa av egna färger. En färgkarta på arbetsbladet anger vilka färger som tillhör vilka felfall och steg.

Ledningen representeras i grafiken av en svart linje.

Lista för namngivning av filer:

Felfall nr:	Filnamn:
101	Z101_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.txt
102	Z102_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.txt
103	Z103_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.txt
104	Z104_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.a.txt
	Z104_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.b.txt
100 kontroll 1	Z105_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.txt
100 kontroll 2	Z106_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.txt
201	Z201_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.txt
202	Z202_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.txt
203	Z203_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.txt
204	Z204_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.txt
205	Z205_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.txt
206	Z206_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.txt
207	Z207_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr(a..i).txt
208	Z208_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr(a..i).txt
209	Z209_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr(a..i).txt
210	Z210_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr(a..i).txt
211	Z211_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.txt
301	Z301_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.txt
302	Z302_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.txt
303	Z303_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.txt
304	Z304_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.txt
305	Z305_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.a.txt
	Z305_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.b.txt
306	Z306_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.a.txt
	Z306_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.b.txt
300 längsta ledning	Z307_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.txt
300 kortaste ledning	Z308_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.txt
401	Z401_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.txt
402	Z402_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.txt
403	Z403_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.txt
404	Z404_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.txt
405	Z405_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.txt
406	Z406_Stationsnr_Mötandestationsnr_ledningsnr.txt