

Releplanlegging på lange distribusjonsavganger

Andreas Simonsen

Master of Science in Electric Power Engineering

Innlevert: juli 2015

Hovedveileder: Hans Kristian Høidalen, ELKRAFT

Medveileder: Sidsel Trætteberg, Eidsiva Nett

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for elkraftteknikk

Reléplanlegging på lange distribusjonsavganger

- Masteroppgave i samarbeid med Eidsiva Nett, våren 2015.

Andreas Rosendahl Simonsen

Master of Science in Electric Power Engineering

Innlevert: Juli 2015

Hovedveileder: Hans Kristian Høidalen, Elkraft

Medveileder: Sidsel Trætteberg, Eidsiva Nett

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Institutt for elkraftteknikk

Problembeskrivelse

Selektivitet i distribusjonsnettet er en utfordring, da nettet er i kontinuerlig utbygging og endring. Selektivitet er oppnådd når bare den delen av systemet med feil blir koblet ut. Som følger av mangel på selektivitet blir flere strømkunder enn nødvendig rammet ved visse feil på radialen.

Reléplanlegging av 2 distribusjonsradialer i Eidsiva netts konsesjonsområde utføres, hvor det ene kan driftes i ring og har distribuert generering. Utskifting av konstanttidsinnstillinger til invers utløserkarakteristikk undersøkes. Videre undersøkes relévern med A- og B- innstillinger for bruk ved endring i nettkonfigurasjonen. Releplanlegging for utskifting til distansevern på en radial utføres.

Under reléplanleggingen brukes Netbas, som er hovedprogrammet til Eidsiva Nett. Det blir undersøkt muligheter og funksjoner i Netbas som vil være til hjelp under reléplanlegging.

Ved hjelp av spørreundersøkelse undersøkes det hvordan nettselskaper i Norge løser vernproblematikken rundt tilknytting av distribuert produksjon på distribusjonsradialer, bl.a. hvilken type beregningsverktøy selskapene bruker ved reléplanlegging, og om det er funksjoner i disse verktøyene som selskapene savner.

Av simuleringsprogram blir det brukt Netbas og Power Factory.

Oppstartdato: 8. Januar 2015

Hovedveileder: Hans Kristian Høidalen

Ekstern veileder: Sidsel Trætteberg

Forord

Denne rapporten er utarbeidet i forbindelse med masteroppgave våren 2015 ved NTNU Trondheim, under prof. Hans Kristian Høidalen. Samarbeidsbedrift har vært Eidsiva Nett. Masteroppgaven er rettet seg mot selektivitet og reléplanlegging på lange distribusjonsradialer.

Jeg vil rette en takk til professor Hans Kristian Høidalen for god veiledning. Videre ønsker jeg å takke Sidsel Trætteberg, Espen Andresen og Anders Hagehaugen ved Eidsiva Nett for en interessant oppgave og hjelp underveis. Norsklektor Erik Hanssveen takkes for hjelp med korrektur, uten han hadde oppgaven blitt dårlig lesning. Trond Toftevåg og Abbas Lotfi takkes for hjelp med modeller av generatorer i Power Factory. Ønsker videre å takke Jorun I. Marvik ved Sintef og Konstantin Pandakov, som tok seg tid til å besvare mine spørsmål. Til slutt vil jeg takke mine gode kammerater på lesesalen. Uten dere hadde jeg aldri kommet så langt.

Andreas Rosendahl Simonsen

Trondheim, 11. juli 2015

Sammendrag

Det er blitt utført reléplanlegging på to distribusjonsradialer i Eidsiva nett sitt konsesjonsområde. Radial 1 har hatt betydelige problemer med selektiviteten. Nye reléinnstillinger for reléene på radial 1 er blitt utarbeidet og implementert i de faktiske reléene i nettet. Grunnet feil på en effektbryter har det ikke vært mulig med noen bekreftelse på at reléene nå er selektive. Radial 2 er en radial med distribuert produksjon og mulighet for ringdrift. Den distribuerte produksjonen kan forårsaker problemer med sympatiutkobling av flere vern. Dette problemet løses ved å innføre retningsbestemmelse på relé 2-2. På radial 2 er det ikke funnet behov for store endringer i dagens reléplaner for kortslutningsstrømmer. I feilsituasjoner og ved vedlikehold vil det ofte være ønskelig å endre på nettkonfigurasjonen. Ved endring i nettkonfigurasjonen på radial 2, er det avdekt behov for endringer i reléinnstillingen. Totalt er det behov for tre forskjellige reléinnstillinger, for de totalt fem forskjellige nettkonfigurasjonene som blir brukt av driftsingeniører hos Eidsiva. Disse tre forskjellige reléinnstillingene har blitt utarbeidet, og blir presentert i rapporten.

Hvordan reléplanlegging ved overstrømsvern med konstant- eller inverstidskarakteristikk skal utføres, blir forklart. Det vises at inverstidskarakteristikk gir lavere gjennomsnittlig og maksimal utkoblingstid sammenlignet med konstanttidskarakteristikk. Utkoblingstiden ved vernsvikt er den samme eller noe høyere for inverstidskarakteristikk. Reléplanlegging av distansevern blir forklart og utført på radial 2. Påvirkningen fra distribuert produksjon på distansevern blir presentert sammen med påvirkningen av lysbueresistans.

Eidsiva har i dag Netbas som sitt hovedverktøy og bruker dette innen dokumentasjon, prosjektering og drift, men ikke ved reléplanlegging. Ved å undersøke mange funksjoner i Netbas er det funnet flere gode funksjoner som er godt egnet til å redusere arbeidstiden og mengden ved reléplanlegging. Disse funksjonene blir forklart. Noen små feil er blitt funnet i enkelte funksjoner.

Det har blitt utsendt en spørreundersøkelse til 12 av landets nettselskap med spørsmål rettet mot bruk av simuleringsverktøy under reléplanlegging og reléproblematikken ved tilknytting av distribuert produksjon i distribusjonsnettet. Svarene fra spørreundersøkelsen viser at nettselskapene bruker overstrømsvern som hovedtype på distribusjonsradialer. Ved tilknytting av DG-enheter er hovedtypen retningsbestemt overstrømsvern. Ved endring til annen type vern, må det påregnes behov for kurs for å heve kompetansen på den nye løsningen. Videre savner selskapene en funksjon for å tegne utløserkarakteristikker for å kontrollere selektivitet mellom reléene. Totalt sett sier nettselskapene seg litt over middels fornøyd med dagens verktøy for bruk under reléplanlegging.

Abstract

In this thesis, relay planning for two distribution feeders in Eidsiva nett's license area has been performed. Radial feeder 1 is a simple radial with five overcurrent relays in series. New settings for the relays on radial feeder 1, has been developed and implemented for the actual relays in the network. Due to failure of a circuit breaker, it has not been possible with any confirmation that the relays is now selective. Radial feeder 2 has distributed generation units and possibility of ring operation. It has been identified, that there is no requirement to apply major changes, to the existing relay settings. However, during fault and maintenance situations, it is often desirable to modify the network configuration. Therefore, when structure of the distribution grid on feeder 2 is rearranged, it is necessary to change relay settings, in order to avoid their misoperations. Overall, there is a need for three different relay settings, applied for the five versions of network configuration used by operations engineers in Eidsiva. These three diverse relay settings have been developed and presented in the report.

The procedures of relay planning with overcurrent protection with constant or inverse time characteristic have been explained. It is shown that inverse time characteristic has lower average and maximum tripping time compared with constant time characteristic. Tripping time, in a situation with failure on a relay, is the same or slightly higher for inverse time characteristic. Distance protection schemes have been also included. The impact of distributed generation, along with the influence of an electric arc at the fault location, on their operations, has been investigated.

Nowadays the network operator "Eidsiva", uses the software called "NetBas", as the main tool for creating working documentations, designing and operation processes. Though this program is not used in the relay planning procedures, examination of many features in this program, has indicated several good possibilities enabling reduction of working hours for relay planning. These features have been explained, and some insignificant errors of their application have been found.

A survey has been sent to 12 of the country's grid operators, with questions aimed at the use of simulation tools during relay planning and relay problems concerning connection of energy sources to distribution feeders. The answers show that, utility companies use overcurrent protection as the main type of protection for distribution feeders. When distributed generation units are connected to the grid, the main type of protection used is directional overcurrent. In case of changing to another type of protection, there will be a need for retraining to increase the competence of the new solutions. Furthermore, the companies miss a function to draw release characteristics to verify selectivity between relays. Overall, for the DSOs, the level of satisfaction with the existing tools for relay planning is slightly above average.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
1.1	Forutsetninger og begrensinger	2
2	Teori.....	3
2.1	Overstrømsrelé.....	3
2.1.1	Konstanttidskarakteristikk.....	3
2.1.2	Inverstidskarakteristikk	4
2.1.3	Koordineringstid	7
2.1.4	Påvirkningen fra distribuert generering	7
2.1.5	Retningsbestemt overstrømsvern.....	9
2.2	A- og B-innstillinger	10
2.3	Distansevern.....	10
2.3.1	Generelt.....	10
2.3.2	Beskyttelsessoner	12
2.3.3	Feilsituasjoner	13
2.3.4	Resistans i feilpunktet / Lysbueresistans.....	15
2.3.5	Påvirkningen distribuert generering har på distansevern.....	16
2.4	Reléplanlegging på distribusjonsradialer	18
2.4.1	Overstrømsrelé.....	19
2.4.2	Distansevern	21
2.5	Simuleringsprogram	24
2.5.1	Netbas V 11.0.3	24
2.5.2	Power Factory.....	26
2.5.3	ProDoc	29
2.6	Krav ved nett-tilknytting av distribuert produksjon.....	30
3	Simuleringer	33
3.1	Beskrivelse av distribusjonsradialene	33
3.1.1	Radial 1, enkel radial	33
3.1.2	Radial 2, ringdrift og distribuerte kilder	36
3.2	Forutsetninger og forenklinger utført før simuleringen.....	40

3.3	Simulering og resultater, radial 1	41
3.3.1	Nye reléplaninnstillinger	41
3.3.2	Utførelse av omstilling til nye reléinnstillinger.....	43
3.3.3	Feilsituasjoner etter omstilling av reléinnstillinger	43
3.3.4	Sammenligning av inverstidskarakteristikk kontra konstanttidskarakteristikk.....	44
3.4	Simulering, radial 2.....	46
3.4.1	Kortslutningsstrømmer ved normalsituasjon og eventuelle problemer.....	46
3.4.2	Ny reléplan med retningsstyrte overstrømsvern	51
3.4.3	A- og B- innstillinger	52
3.4.4	Overgang til inverskarakteristikk og sammenligning av utkoblingstider	58
3.4.5	Overgang fra overstrømsvern til distansevern ved normaldele	63
4	Reléplanlegging med Netbas.....	70
4.1	Fordeler ved å implementere relévern med innstillinger inn i Netbas	70
4.1.1	Selektivetsanalyse	70
4.1.2	Selektivitet mellom relé og feilstrøm målt av relé	72
4.2	Impedans mellom 2 punkter i nettet	74
4.3	Kortslutningsprofil/ finn feilstrøm.....	75
4.4	Mangler og savnede funksjoner	76
4.4.1	Utløserkarakteristikker	76
4.4.2	Inverstidskarakteristikk	77
4.4.3	Feil utløsertid ved utfall av flere relé på samme feil.....	79
4.4.4	Skrivefeil ved valg av parametere for selektivetsberegninger.....	80
4.4.5	Fremstilling av vern på en radial	81
5	Spørreundersøkelse.....	82
5.1	Stilte spørsmål.....	82
5.2	Oppsummering av svar på spørreundersøkelsen.....	83
6	Diskusjon	85
7	Konklusjon	89
8	Videre arbeid.....	90
9	Referanser	91

Figurliste

Figur 2-1: Konstanttidskarakteristikk med momentanutkobling ved 900 A. (x-akse: strøm, y-akse: tid)	4
Figur 2-2: Inverskarakteristikk (x-akse: strøm, y-akse: tid)	5
Figur 2-3: Veldig inverskarakteristikk (x-akse: strøm, y-akse: tid)	6
Figur 2-4: Ekstrem inverskarakteristikk (x-akse: strøm, y-akse: tid)	6
Figur 2-5: Utløserkarakteristikk for momentan overstrømsrelé med tidsforsinkelse.	7
Figur 2-6: Typisk distribusjonsnett med 2 radialer, med innslag av distribuert produksjon på den ene.	8
Figur 2-7: Typisk distribusjonsradial med distribuert generering (DG), feilpunkt (F1) og relé A og B. ...	9
Figur 2-8: R-X diagram for distanserelé: a) impedansrelé, b) reaktans relé, c) firkantrelé, d) mho-relé. [5]	11
Figur 2-9: Impedansdiagram med 2 utløseroner og lastområde[3].	12
Figur 2-10: Distanserelé med flere soner.	12
Figur 2-11: Distribusjonsradial med distribuert generering(DG), feilpunkt (F) og distansevern (R)	16
Figur 2-12: Eksempel på korrekt koordinering mellom to reléer.	20
Figur 2-13: Fremvisning av beskyttelsessoner ved bruk av distansevern.	22
Figur 2-14: Radial med distribuert produksjon.	23
Figur 2-15: Utklipp fra Netbas 11 med fremvist font	25
Figur 2-16: Utklipp fra Netbas 11 med fremvisning av tverrsnitt med hjelp av farger og tall	25
Figur 2-17: Fremvisning av grafisk oppbygging av kraftsystemet i Power Factory	27
Figur 2-18: Oversiktsbilde av hvordan et relé er bygget opp med logiske funksjoner	27
Figur 2-19: Tid-strøm diagram fra Power Factory som viser flere relé-karakteristikker med mer.	28
Figur 2-20: Grafisk fremstilling av nettet i ProDoc.[25].....	29
Figur 2-21: Eksempel på grafisk forklaring av kortslutningsstrømmer i ProDoc.[25]	30
Figur 3-1: Distribusjonsradial vist grafisk med plassering av reléer og svingmaskin på Bus 1, 132 kV.	33
Figur 3-2: Oversiktsbilde av radial 1, med plassering av relé 4 og 5.	35
Figur 3-3: Model av radial 1, laget i Power Factory.....	36
Figur 3-4: Enkelt enlinjeskjema av radial 2 med merkede relévern, strømtransformatorer, normaldele og distribuert produksjon (DG).	37
Figur 3-5: Grafisk modell laget i Power Factory.	38
Figur 3-6: Nettmodell i Netbas for radial 2. Fremvist relé-, DG- og normaldele-plassering.	39
Figur 3-7: Bilde av relé 4.....	43
Figur 3-8: Invers- og konstanttidskarakteristikk på relé i radial 2.	45

Figur 3-9: Reléinnstillinger for nedre avgang ut fra koblingsstasjon.....	48
Figur 3-10: Reléinnstillinger for øvre avgang fra koblingsstasjon.	48
Figur 3-11: Feilstrømmer ved feil i avgreningspunktet mot relé 10.....	50
Figur 3-12: Utløserkarakteristikk og feilstrømmer for relé 2-2 og 2-10 ved feil nedstrøms relé 2-10..	51
Figur 3-13: Enlinjeskjema av radial 2 med fremvisning av mulige oppdelingspunkter.....	53
Figur 3-14: Utløserkarakteristikker for reléinnstillinger ved dele 1-5.....	58
Figur 3-15: R-X diagram med målt impedans av relé 1-3 (firkanter), 2-1 (sirkler) og 2-2 (trekanter), med DG-enheter innkoblet(rød) og uten DG-enheter(Blå), for feilpunkter utover radialen. Laget i MATLAB.....	65
Figur 3-16: R-X diagram med utløseroner for relé 2-2. 3-polt kortslutning med lysbueresistans rett før relé 2-3.....	67
Figur 3-17: R-X diagram med utløseroner for relé 2-2. 3-polt kortslutning uten lysbueresistans rett før relé 2-3.....	68
Figur 3-18: R-X diagram med utløseroner for relé 2-2 medberegnet lysbue motstand. 3-polt kortslutning med lysbueresistans rett før relé 2-3.....	69
Figur 4-1: Resultater gitt i Netbas for selektivitetsberegninger for relé 1-4 og underliggende nett....	71
Figur 4-2: Vindu for valg ved grafisk presentasjon av kortslutning.....	72
Figur 4-3: Resultater fra kortslutningsberegning, selektiv utkobling.....	73
Figur 4-4: Resultat fra kortslutningsberegning, ikke selektiv utkobling.....	73
Figur 4-5: Grafisk fremstilling av resultater fra kontroll av selektivitet.	74
Figur 4-6: Resultat fra uthenting av elektrisk kortslutningsimpedans mellom to punkter i Netbas.....	75
Figur 4-7: Resultat fra uthenting av linjeimpedans mellom to knutepunkt i Netbas.....	75
Figur 4-8: Fane for reléinnstillinger av ett enkelt relé.....	77
Figur 4-9: Utløserkarakteristikk fremvist i diagram i Netbas.	77
Figur 4-10: Utløserkarakteristikk for relé 2-2, med inverstidskarakteristikk, fra Netbas.....	78
Figur 4-11: Utløserkarakteristikk for relé 2-2 med inverstidskarakteristikk og ved normaldele, fra Power Factory.....	79
Figur 4-12: Resultater fra Netbas som eksempel.....	79
Figur 4-13: Resultater fra Netbas ved eksempel, med endring i utkoblingstid for relé 2-1.....	80
Figur 4-14: Utklipp fra valg av parametere for selektivitetsberegninger.....	80

Tabelliste

Tabell 2-1: Konstanter for operasjon og reset karakteristikk	5
Tabell 2-2: Krav for automatisk utkobling ved over- eller underspenning	31
Tabell 2-3: Frekvensgrenser for automatisk utkobling	32
Tabell 3-1: Fysisk avstand mellom reléer på radial 1	34
Tabell 3-2: Gamle utløsertider og strøminnstillinger for relévern på radial 1	34
Tabell 3-3: Utløsertider for relévern på radial 2	38
Tabell 3-4: Fysisk avstand mellom reléene på radial 2, hentet fra Netbas	40
Tabell 3-5: Kortslutningsstrømmer til kalkulering av nye reléinnstillinger	42
Tabell 3-6: Nye innstillinger for momentan utkobling på radial 1	43
Tabell 3-7: Reléinnstillinger for inverstidskarakteristikk, radial 1	44
Tabell 3-8: Tider for konstanttidsinnstillinger, radial 1	44
Tabell 3-9: Tider for inverstidsinnstillinger, radial 1	45
Tabell 3-10: Kortslutningsstrømmer ved forskjellige feilpunkt på radial 2, med og uten DG-enheter tilknyttet	47
Tabell 3-11: Gamle momentangrenser, grove anslag på nye grenser og maksimalt oppnådd kortslutningsstrøm i enden av primærområdet til forskjellige relé, på radial 2	52
Tabell 3-12: Maksimal laststrøm, relégrenser for forsinket utkobling, minste kortslutningsstrøm og anbefalte nye grenser for relé på radial 2	52
Tabell 3-13: Simuleringsresultater fra Netbas og Power Factory ved dele 2-2. Tall i parentes er fra overliggende nett	54
Tabell 3-14: Maksimal laststrømmer i tunglastperiode uten DG-enheter tilknyttet	54
Tabell 3-15: Nye utarbeidede reléinnstillinger for nett med dele 2-2	56
Tabell 3-16: Simuleringsresultater ved dele 2-2. Tall i parentes er bidrag fra overliggende nett	57
Tabell 3-17: Maksimal laststrøm ved forskjellige relé, nettet delt ved dele 1-5 og uten DG-enheter	57
Tabell 3-18: Presentasjon av utløsertider ved løsning 2	58
Tabell 3-19: Reléinnstillinger for inverskarakteristikk, radial 2, normaldele	59
Tabell 3-20: Utløsertider ved konstanttidskarakteristikk, radial 2, normaldele	60
Tabell 3-21: Utløsertider ved inverstidskarakteristikk, radial 2, normaldele	60
Tabell 3-22: Reléinnstillinger for inverskarakteristikk, radial 2, dele 2-2, øvre avgang	61
Tabell 3-23: Utløsertider ved konstanttidskarakteristikk, radial 2, dele 2-2, øvre avgang	62
Tabell 3-24: Utløsertider ved inverstidskarakteristikk, radial 2, dele 2-2, øvre avgang	62
Tabell 3-25: Linjeimpedans mellom utvalgte punkter på radial 2	63
Tabell 3-26: Beregnede lysbueresistanser for områder på radial 2	64

Tabell 3-27: Målt impedans av reléer, med og uten DG-enheter tilknyttet, normaldele.....	64
Tabell 3-28: Soneinnstillinger ved distansevern, uten lysbueresistans medberegnet.....	66
Tabell 3-29: Soneinnstillinger for radial 2, med lysbueresistans medberegnet.....	68

Alle figurer og tabeller som ikke har kildehenvisning, er hovedsakelig laget i AutoCAD og Excel.

Figurer og tabeller med kildehenvisning kan være nylagede eller kopier. I tilfeller hvor figuren er nylaget, er det hentet inspirasjon, elementer eller deler fra den oppgitte kilden som må krediteres kilden.

1 Innledning

Selektivitet i distribusjonsnettet er en utfordring som alle nettselskaper står ovenfor. Eidsiva Nett har ved feil på flere distribusjonsradialer opplevd at selektivitet ikke er oppnådd mellom relévernene. Dette fører til at et større omfang av kunder blir strømløse enn nødvendig ved forskjellige feil. Dette fører ikke bare til ulemper slik som mangel på lys og varme i hus. Bedrifter taper penger grunnet produksjonsstans, tap av salg og tap av dataarbeid som ikke har blitt lagret. Det er blitt undersøkt to forskjellige radialer i Eidsiva Nett sitt konsesjonsområde, og det er utarbeidet nye reléplaner for disse.

Per dags dato er det ikke-retningsbestemte overstrømsvern med konstanttidskarakteristikk som brukes mest som kortslutningsvern i Eidsiva sitt distribusjonsnett. Ved å utarbeide reléinnstillinger med inverstidskarakteristikk på en radial undersøkes det om antall reléer i serie kan økes i forhold til konstanttidskarakteristikk.

Ved feil eller planlagt vedlikehold i strømmettet vil det ofte være nødvendig med omleggelser i nettet. Slike omleggelser kan endre nettets oppbygging vesentlig og i mange tilfeller forårsake manglende selektivitet mellom relévern. I slike tilfeller må nettselskapet enten ta den risikoen det er å ha nettet slikt uten selektivitet, eller sende ut mannskap til relévernene og stille dem om manuelt. Dagens relé har derimot enda et alternativ, hvor man har forhåndsprogrammert inn mer enn ett sett med reléinnstillinger. Disse kalles ofte for A- og B-innstillinger. Slike forhåndsberregnede innstillinger letter arbeidet for driftsingeniøren på jobb ved at nye og gjerne arbeidskrevende kalkuleringer av nye innstillinger kan unngås. Ny kalkulering kan likevel fortsatt være nødvendig i mange situasjoner. Hvordan dette kan gjøres lettere ved hjelp av Netbas, blir derfor undersøkt.

På dagens marked fins det mange forskjellige verktøy og simuleringsprogram til bruk under reléplanlegging. Som et ledd i denne besvarelsen er det utført en spørreundersøkelse opp mot 12 nettselskaper i Norge, som tar for seg hvor fornøyde de er med dagens verktøy og om det er noen funksjoner som er savnet. Dette er utført for å finne ut om dagens verktøy tilfredsstiller dagens behov. I samme undersøkelse spørres det om hvilken type vern som er hovedvernet på distribusjonsradialer, samt hvilke vernløsninger nettselskapene bruker ved distribuerte produksjonsenheter (DG-enheter) på distribusjonsavganger.

Maskede distribusjonsnett er ofte bruk for å øke nettets redundans. I slike nett vil det være mulig å endre strukturen i nettet raskt ved feil eller vedlikehold. Dette kan i mange tilfeller skape behov for endringer i reléplanene. Implementering av distribuert produksjon (DG) i slike nett vil ha både positiv og negativ innvirkning på nettet. En av de negative innvirkningene DG-enheter kan ha er å forårsake

endringer i både størrelse og retning, både for lastflyt og kortslutningsstrømmer [1]. Dette vil igjen ha stor innvirkning på innstillingene til overstrømsreléene og om de i det hele tatt kan benyttes for å oppnå sikre utkobling og selektivitet i nettet. En av distribusjonsradialene til Eidsiva kan driftes i ring og under normal drift er det normalt å kunne dele nettet ved fem forskjellige steder. Ved flytting av dele blir to DG-enheter flyttet fra en radial til en annen og skaper utfordringer. Det blir undersøkt hvordan DG-enhetene påvirker reléplanene og det utarbeides nye reléplaner for alle fem delingsmulighetene.

1.1 Forutsetninger og begrensinger

Denne rapporten vil ikke gå i dybden på hvordan beregninger av kortslutningsstrømmer blir utført, men omhandler mer betydningen og bruken av dem ved reléplanlegging. Beskrivelse av hvordan kortslutningsberegninger blir utført kan finnes i [2], [3] og [4].

Rapporten vil ikke ta for seg hvordan alle de forskjellige relévernene er bygget opp, men mer om de forskjellige funksjonene de inneholder. Oppbyggingen og virkemåten til effektbrytere, strøm- og spenningstranformatorer blir heller ikke gjennomgått. Informasjon på disse områdene finnes i f.eks. [5].

Vedlegg A, B og C er unntatt offentligheten som følge av beredskapsforskriften - § 6-2. Sensitiv informasjon. For ønske om innblikk i disse vedlegg må Eidsiva Nett kontaktes. Sensitiv informasjon hentet fra Netbas er anonymisert i oppgaven.

2 Teori

Dette kapittelet gir en teoretisk bakgrunn i reléplanlegging, -koordinering og beskyttelse av distribusjonsnett. Tre simuleringsverktøy til bruk under reléplanlegging blir gjennomgått. Det må presiseres at det forventes noe forkunnskap innen elkraftteknikk før lesning av denne rapporten.

Deler av dette kapittelet er hentet fra spesialiseringsprosjektet [6] som ble utført av samme student høsten 2014. Dette gjelder spesielt delkapittel 2.1 og 2.5.

2.1 Overstrømsrelé

Overstrømsreléer er beskyttelsesreléer med forskjellig oppbygging og utløserkarakteristikk. Felles for dem alle er inngangssignalets sammenheng med strømmen i systemet som blir beskyttet. Ligger strømmen over en fastsatt grense over en gitt tidsperiode, sender reléet utkoblingssignal til tilhørende effektbryter, og feilen legges ut.

2.1.1 Konstanttidskarakteristikk

Med et overstrømsvern som er stilt inn med konstanttidskarakteristikk, vil det være en fastsatt startstrøm og tidsforsinkelse. Blir grensen til startstrømmen nådd, vil vernet løse ut etter den gitte tidsforsinkelsen. Går strømmen tilbake under grensen i løpet av tidsforsinkelsen, vil vernet ikke løse ut. Denne tidsforsinkelsen gjør det mulig å ha flere vern i serie, hvor tidsforsinkelsen da blir økende jo nærmere kilden man kommer. Dette forårsaker derimot at reléet som skal detektere og koble bort feil nærme kilden, vil ha lang utløsertid. Dette forårsaker igjen et høyt termisk stress for linjer, kabler og annet utstyr.

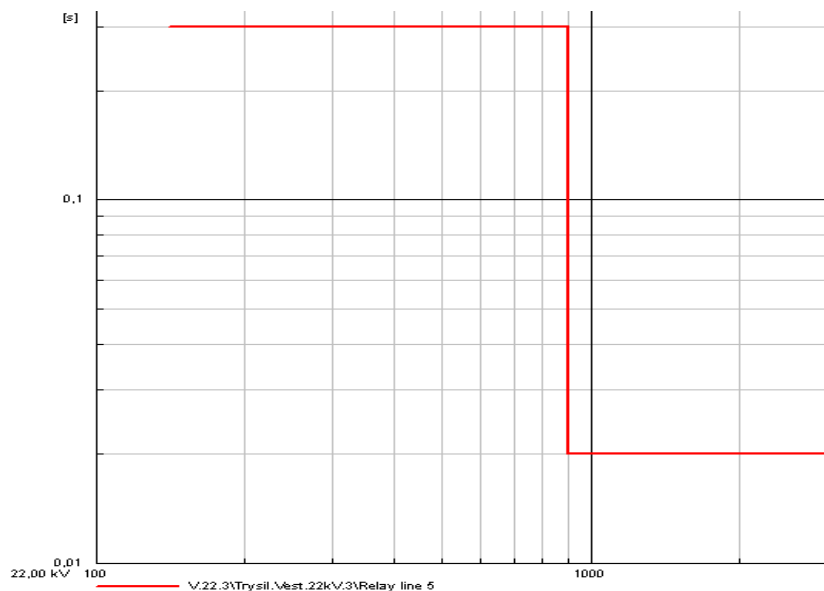
Fastsettingen av utløserstrømmen til reléet er viktig. Ved for lav grense vil reléet kunne koble ut i en tunglastperiode. Ved for høy vil man kunne risikere stående feil i nettet. En tommelfingerregel for det minste anbefalte forholdet mellom maksimal laststrøm ($I_{last,maks}$), startstrøm (I_{start}) og minste kortslutningsstrøm ($I_{k,min}$) er:

$$1,5 * I_{last,maks} < I_{start} < 0,8 * I_{k,min} \quad 2-1$$

I FIKS 2012 [7] stilles følgende krav ved feil i transmisjonsnett: «alle kortslutninger og vindingsfeil skal kunne frakobles av to uavhengige vernsystem, så fremt ikke annet er spesifisert for de enkelte enheter». Lignende konkrete krav for distribusjonsnett er ikke funnet, men praksisen er den samme som kravet i FIKS 2012.

Den primære beskyttelsessonen til overstrømsrelé på distribusjonsradialer er frem til neste relé lengre ut på radialen. I backup-sonen tas primærsonene til det neste reléet med. Dette gir god redundans og sikkerhet i nettet. Det første reléet på avgangen kan derimot bli satt til å skulle fungere som backup for alle reléene ute på radialen og skal kunne koble ut uansett hvor feilen er på radialen.

Momentanutkobling er mye brukt i tillegg til konstanttidskarakteristikk. Denne funksjonen setter reléet til å koble ut ved alle feilstrømmer som har en gitt størrelse. I Figur 2-1 blir utløserkarakteristikken for et overstrømsrelé med momentanutkobling og konstanttidskarakteristikk presentert. Reléet har en tidsforsinkelse på 0,3 sekunder for strømmer over 50 A. Momentanutkoblingen skjer ved feilstrømmer over 900 A.



Figur 2-1: Konstanttidskarakteristikk med momentanutkobling ved 900 A. (x-akse: strøm, y-akse: tid)

2.1.2 Inverstidskarakteristikk

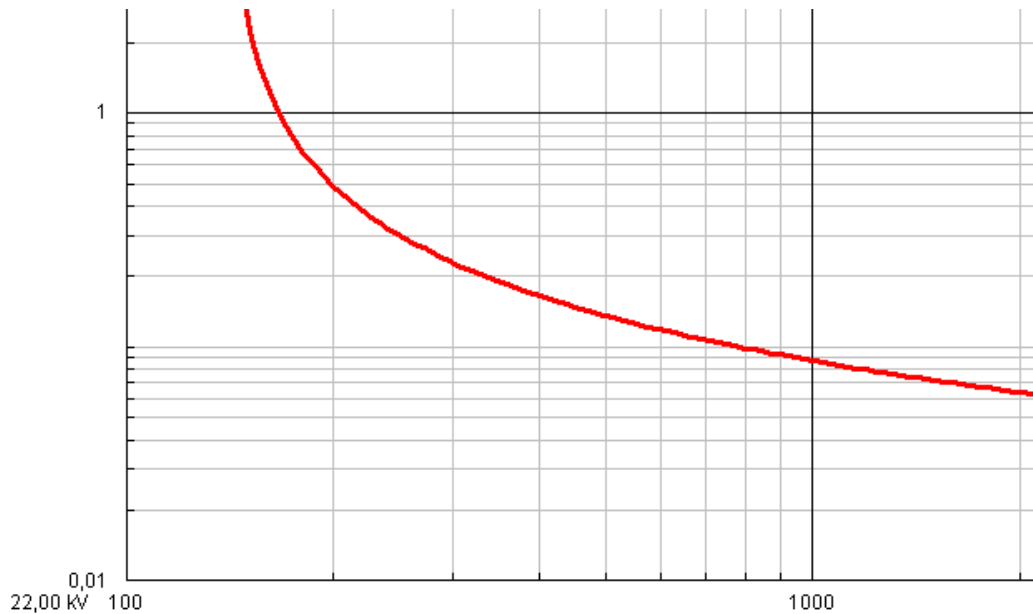
Når et overstrømsrelé er programmert med inverstidskarakteristikk, vil tidsforsinkelsen være invers av strømmen. Jo høyere strøm, jo lavere utløsertid. Dette sikrer en raskere utkobling av feil med høye strømmer som normalt opptrer nærme kilden, og det termiske stresset blir betraktelig redusert. Den gjennomsnittlige og den maksimale utkoblingstiden kan derimot øke i forhold til ved konstanttidsforsinkelse[8]. Dette da tidsforsinkelsen på feil lengre ut i nettet kan få en lengre tidsforsinkelse enn ved konstanttidsforsinkelse. Tabell 2-1 er hentet fra IEC 60255-151 og viser formelen for operasjonstiden og resettiden med tilhørende konstanter for seks standard inverstidskarakteristikker.

Tabell 2-1: Konstanter for operasjon og reset karakteristikker

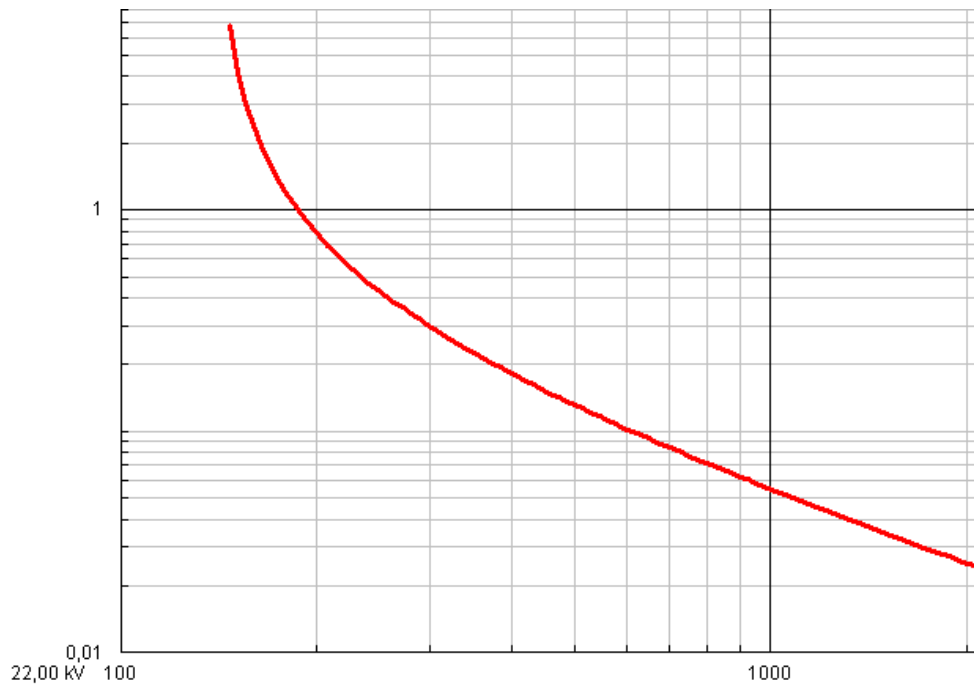
Curve type	Operating time			Reset time		Commonly used name
	$t(G) = TMS \left[\frac{k}{\left(\frac{G}{G_S}\right)^\alpha} + c \right]$			$t_r(G) = TMS \left(\frac{t_r}{1 - \left(\frac{G}{G_S}\right)^\alpha} \right)$		
	k s	c s	α	t_r s	α	
A	0,14	0	0,02	*	*	Inverse
B	13,5	0	1	*	*	Very inverse
C	80	0	2	*	*	Extremely inverse
D	0,0515	0,1140	0,02	4,85	2	IEEE Moderately inverse
E	19,61	0,491	2	21,6	2	IEEE Very inverse
F	28,2	0,1217	2	29,1	2	IEEE Extremely inverse

* For curves A, B and C, the manufacturer shall declare if dependent time reset characteristic is implemented and provide the appropriate information.

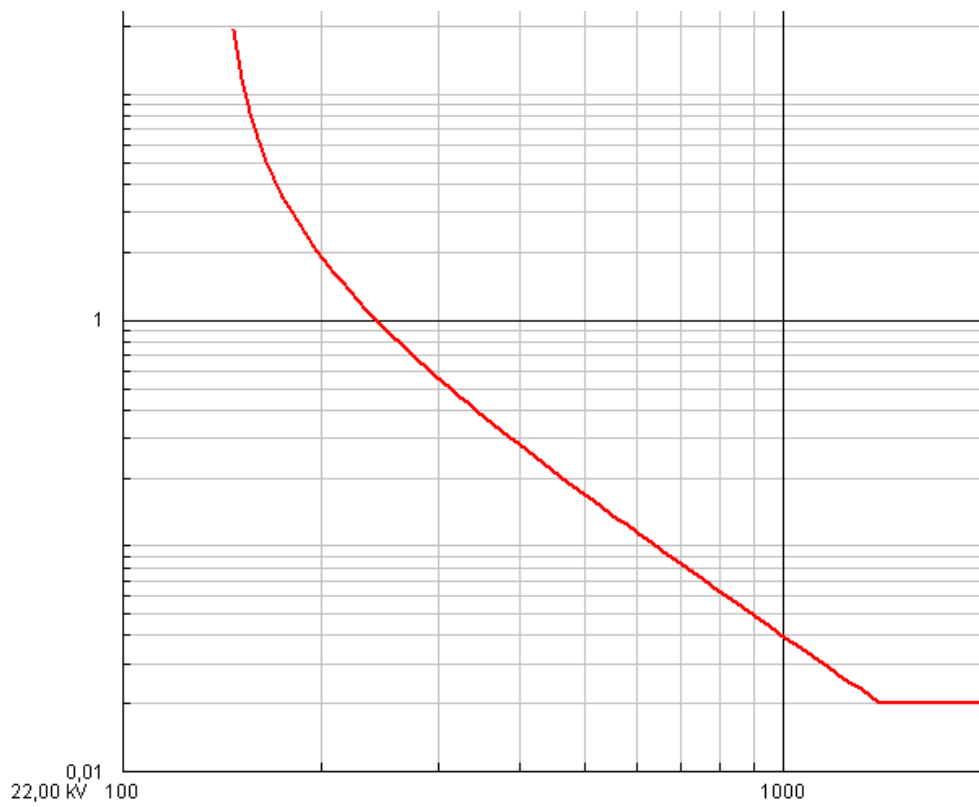
TMS eller time multiplier setting sitt formål er å tillate justeringer i reléets operasjonstid. I Figur 2-2, Figur 2-3 og Figur 2-4 vises de tre mest vanlige inverterkarakteristikkene, invers-, veldig invers- og ekstrem inverstidskarakteristikk.



Figur 2-2: Inverskarakteristikk (x-akse: strøm, y-akse: tid)



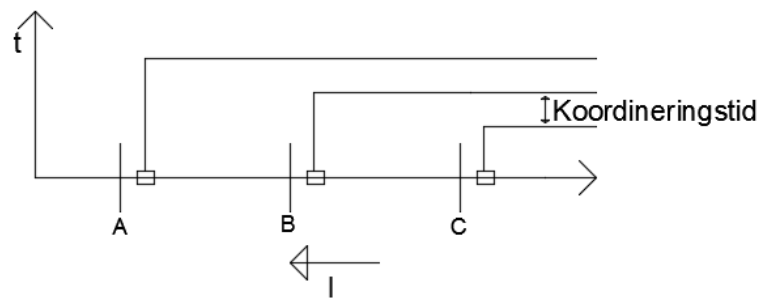
Figur 2-3: Veldig inverskarakteristikk (x-akse: strøm, y-akse: tid)



Figur 2-4: Ekstrem inverskarakteristikk (x-akse: strøm, y-akse: tid)

2.1.3 Koordineringstid

En feil rett foran eller rett etter relé C i Figur 2-5 vil ha tilnærmet lik feilstrøm, men feilene vil ligge i forskjellige beskyttelsesområder. For å sikre selektivitet og korrekt koordinering mellom reléene, blir det som regel brukt tidsforsinkelse. Alternativet er kommunikasjon mellom reléene, slik som differensialvern. Tidsforsinkelsen skal sørge for at ved feil nedstrøms relé C, skal relé C ha nok tid til å koble ut feilen før relé B legger den ut. Tidsforsinkelsen som da blir for relé B er ofte satt til 0,2 -0,3 sekunder. Innbakt i denne tiden er reléets reaksjonstid (ca. 40 ms), brytertiden (ca. 70 ms) og tilbakefallstid (40 ms). Dette utgjør totalt 150 ms, og man legger gjerne på en sikkerhetsmargin på 100 % [9]. Nøyaktige verdier kan finnes i datablader til det enkelte relé og effektbryter, og vil variere noe fra type til type.



Figur 2-5: Utløserkarakteristikk for momentan overstrømsrelé med tidsforsinkelse.

2.1.4 Påvirkningen fra distribuert generering

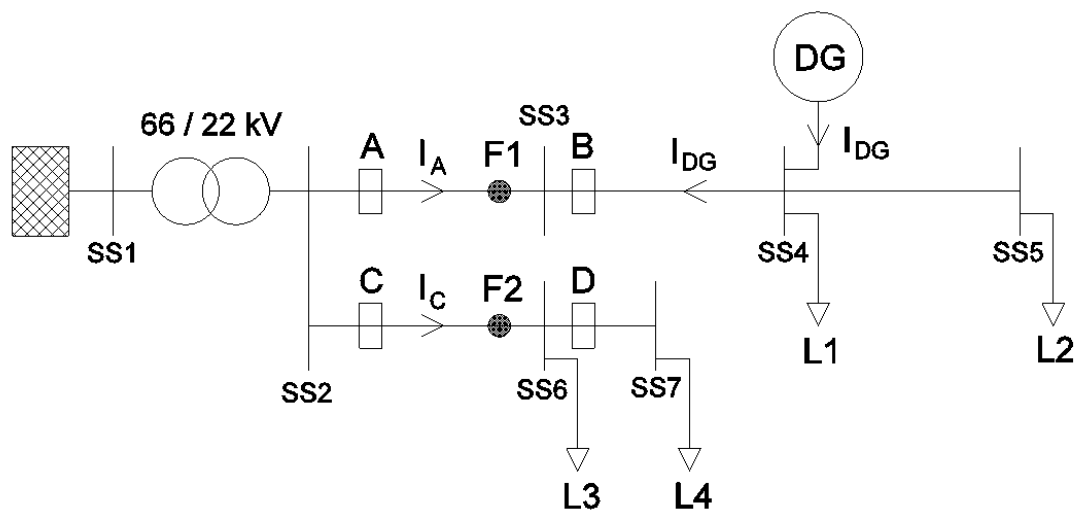
IEEE definerer distribuert generering (DG) som generering av elektrisitet av enheter som er tilstrekkelig små, slik at de kan tilknyttes ved nesten ethvert punkt i kraftsystemet [10]. De senere årene har det vært en økning i antall DG-enheter som blir tilknyttet distribusjonsnettene, og tallet fortsetter å øke. I Norge dreier dette seg hovedsakelig om små vannkraftverk, solceller på hustak og små vindmøller.

Generelt kan det sies at i et system med kilder ved mer enn en av linjeendene, kan last- og feilstrømmer flyte i begge retninger [11]. Dette skaper utfordringer for selektivitet mellom reléer, deteksjon av feilstrømmer og overlaststrømmer. Hvilken påvirkning DG-enheter har på kraftnettet, har det blitt forsket mye på over lang tid. Videre i dette delkapittelet blir de mest aktuelle påvirkningene fra DG-enheter for denne rapporten gjennomgått. For dypere forklaringer av alle påvirkninger fra DG-enheter, vennligst se [1], [10], [12].

2.1.4.1 Sympatiutkobling

Situasjoner hvor mer enn ett relé løser ut, kan inntreffe i nett med DG-enheter og kalles ofte for sympatiutkobling/tripping. Dette kan oppstå med DG-enheter i nettet pga. uventet bidrar under feil [13]. Under er ett slikt tilfelle presentert.

Et typisk distribusjonsnett med to radialer og to mulige feilpunkt (F1 og F2) er vist i Figur 2-6. Ved en feil i punkt F1 vil både relé A og B kunne risikere å løse ut. Feilstrømmen igjennom relé A (I_A) vil være uavhengig I_{DG} og relé A vil løse ut. Om relé B løser ut avhenger av feilstrømmen I_{DG} og innstillingene på relé B. Feilen vil bli fjernet og ingen kunder blir unødvendig strømløse, men ved utfall av både relé A og B, vil feilrettingstiden i de fleste tilfeller øke som følge av større usikkerhet/størrelse på feilområdet. Samme situasjon kan oppstå ved feil i punkt F2 på naboavgangene, da med utfall av relé A og C. Her vil da kunder tilknyttet utenfor relé A bli unødvendig strømløse. For å unngå feilutløsning i begge disse situasjonene kan relé A og B settes til å være retningsbestemte. Reléene vil med det ikke løse ut når kortslutningsstrømmen flyter i motsatt retning av det normale, slik som i disse situasjonene. Annen løsning på problemet kan være å stille utkoblingsinnstillingene for relé A og B høyere enn I_{DG} . Dette forutsetter en høy nok minste kortslutningsstrøm ($I_{k,min}$) i reléenes beskyttelsessoner, slik at formel 2-1 blir opprettholdt.

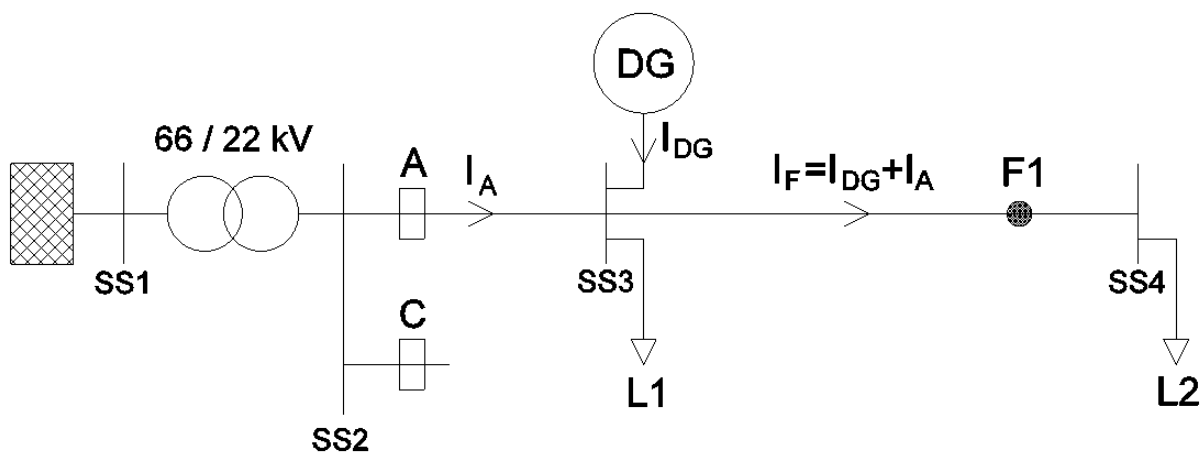


Figur 2-6: Typisk distribusjonsnett med 2 radialer, med innslag av distribuert produksjon på den ene.

2.1.4.2 Blinding -reduksjon i målt feilstrøm igjennom relé.

Ved feil på en radial hvor det blir tilknyttet en eller flere distribuerte kilder, vil det være en økning i kortslutningsstrømmen på feilstedet, men feilstrømmen målt av vernet kan bli redusert. Dette kan føre til at reléet ikke ser feilen og den blir ikke koblet ut [13].

I tilfeller med innmating fra distribuert produksjon mellom relé og feilpunktet som vist i Figur 2-7, vil feilstrømmen som måles av relé A (I_A) være mindre enn feilstrømmen i feilpunktet ($I_F = I_{DG} + I_A$). Som følge av I_{DG} vil spenningen på SS3 være høyere og I_A blir redusert i forhold til om DG-enheten ikke hadde vært tilstede. Denne reduksjonen kan være så stor at relé A ikke kobler ut og kalles blinding. Kortslutningsstrømmen i feilpunktet vil være høyere enn uten DG-enheten tilstede. Den vil dermed kunne forårsake mer skade både i feilpunktet og på utstyr som ikke er dimensjonert for så høye feilstrømmer (brytere, gjennomføringer, strømtransformatorer og annet utstyr).



Figur 2-7: Typisk distribusjonsradial med distribuert generering (DG), feilpunkt (F1) og relé A og B.

Ved en situasjon med feilpunktet på enden av en radial vil den største reduksjonen i feilstrøm gjennom reléet skje om DG-enheten er plassert midt på radialen. Minst reduksjon er tilfelle ved DG-enheten plassert på enden av radialen. [14]

2.1.5 Retningsbestemt overstrømsvern.

Retningsbestemmelsen er en tilleggsfunksjon i reléene som motvirker utkobling ved feilstrømmer i motsatt retning av hva som er bestemt. Denne funksjonen er til stor hjelp ved systemer/nett med flere produksjonskilder, eller nett med parallelle linjer, hvor det er viktig å begrense reléet til å koble ut ved feilstrøm i bare en retning [5]. Et retningsbestemt relé krever to innsignaler. Dette er strøm og en referanse eller polariseringssignal (spenning eller strøm). I kraftelektronikk- og digitale relé blir selve blokkeringen for feil retning gjort med en logisk krets eller en algoritme. Elektromekaniske vern har gjerne en spole i serie med utløseren og forhindrer utkobling ved feil retning [5].

Selv om det er lenge siden retningsbestemt overstrømsrelé ble oppfunnet, drives det fortsatt forskning på området og da spesielt innen koordinering, slik som i [15], [16] og [17]. Mer informasjon om retningsbestemte overstrømsvern kan bli funnet i [5] og [18].

2.2 A- og B-innstillinger

Under vedlikehold av en radial som går i ring, vil det ofte være ønskelig å flytte normaldele. Dette for å redusere ekstrakostnaden for ikke levert energi eller bruken av aggregat. Ved en slik flytting av normaldele kan topologien i systemet endres så mye at selektivitet på radialen ikke lenger er oppnådd. Som en løsning på dette problemet, er det mulig å lage nye reléplaner for det nye delet og oppdatere relévernene som blir påvirket av endringen. Dette gjøres da hver gang, og montører må i de fleste tilfeller fysisk ut til alle vernene og stille dem om. En annen metode er å ha alternative innstillinger programmert inn i relévernene på forhånd. Stort sett er det to gruppeinnstillinger, og disse kalles A- og B-innstilling. Endringen mellom de to innstillingene kan foregå ved en lokal vrider, en vrider i stasjonene eller ved fjernstyring fra driftssentralen. Nesten alle nyere vern har denne muligheten, men det er ennå ikke noen utbrakt bruk av denne løsningen. Dette kan være som følge av:

- Nettselskapene er ukjent med hvilke løsninger som er på markedet.
- Nettselskapet anser ikke nytteverdien av denne løsningen som stor nok, i forhold til ekstrakostnaden den medfører.
- Nettselskapene tar den ekstra risikoen det å ikke oppdatere vernene fører med seg, for den korte tiden normaldelet er flyttet. «Normalt sett går det bra».

[19]

2.3 Distansevern

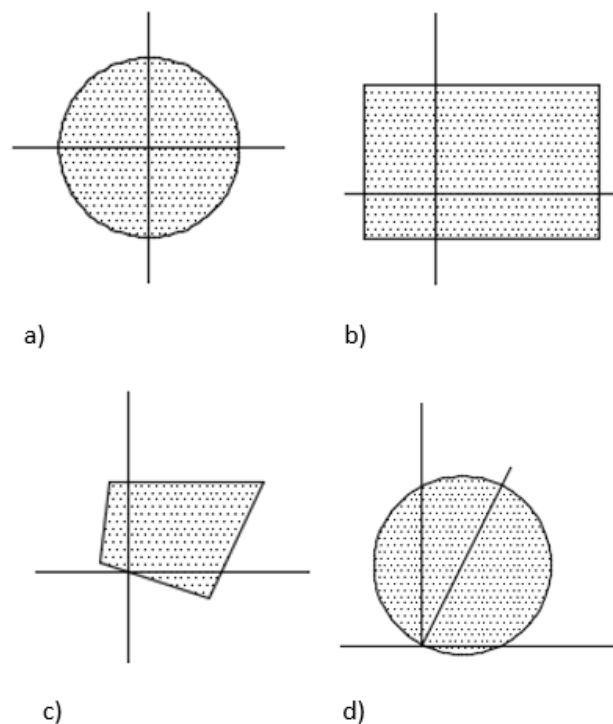
Distansevern er et samlebegrep for vern som utfører sin handling basert på funksjoner av strøm og spenning. Ved at impedansen i ei linje er ganske konstant, vil impedansen derimot endres betraktelig ved en feil. Distanserelé er normalt brukt til å beskytte overføringslinjer. God informasjon om distansevern i distribusjonsnett utover det som er gitt her, kan bli funnet i [3] og [5].

2.3.1 Generelt

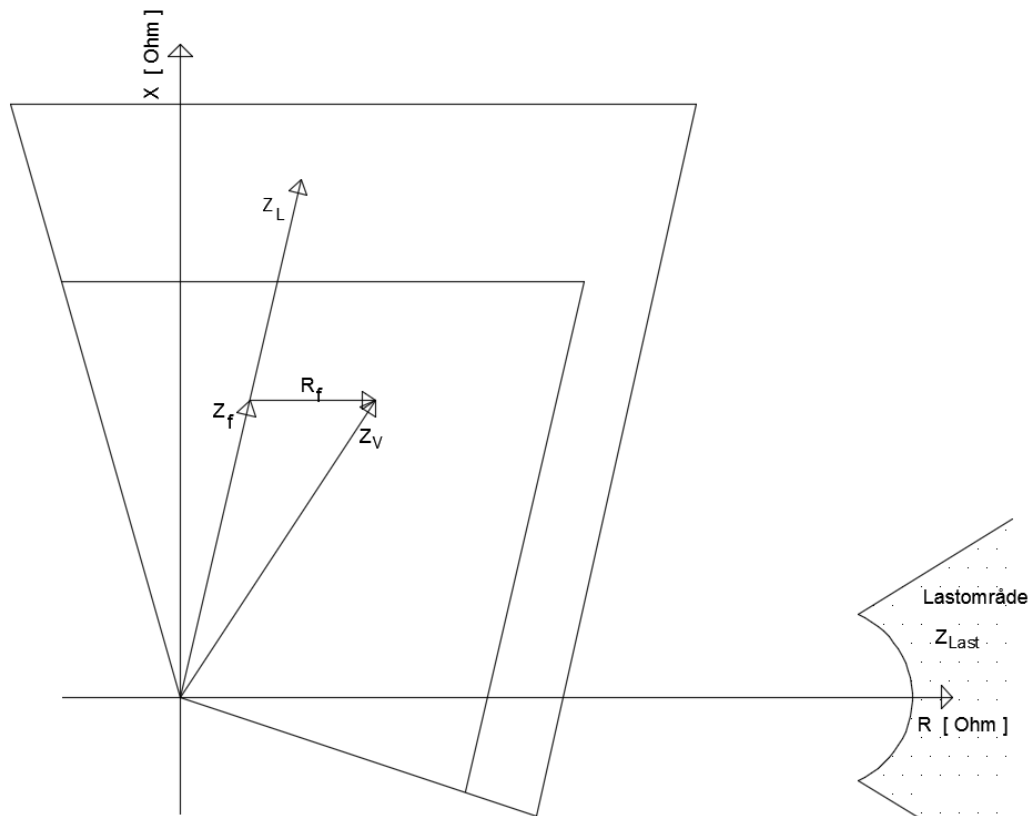
Distansevern har strøm og spenning som inn-signaler, og disse sammen med fasevinkelen mellom dem blir brukt for å kalkulere impedansen sett av reléet. Impedansen vil være proporsjonal med avstanden til feilen. For fremvisning av impedanskarakteristikken til reléet blir det brukt et impedansdiagram, som fremviser det komplekse planet R-X. Utløserområdet i diagrammet vil ha stor

variasjon i geometri og plassering etter hvilken type relé som blir brukt og innstillinger. I Figur 2-8 blir 4 slike geometriske variasjoner fremvist. Dagens numeriske relé har en trapesforming lik c) og Figur 2-9. Som fremvist i Figur 2-9 vil impedansen i nettet i en normal driftsituasjon ligge ute på høyre siden i diagrammet. Ved en feilsituasjon vil impedansen målt av reléet (Z_v) reduseres og bli flyttet inn i utløseronen til reléet. Resterende impedansvektorer vist i Figur 2-9 er kortslutningsimpedans (Z_f), linjeimpedans (Z_L) og lysbueresistans (R_f).

Distanseverns fordel fremfor overstrømsvern er at de ikke blir så påvirket av endringer i størrelsen på kortslutningsstrømmen som overstrømsvern. Med dette er de mye mindre påvirket av endringer i tilknyttet generatorkapasitet og nettkonfigurasjon.[20]



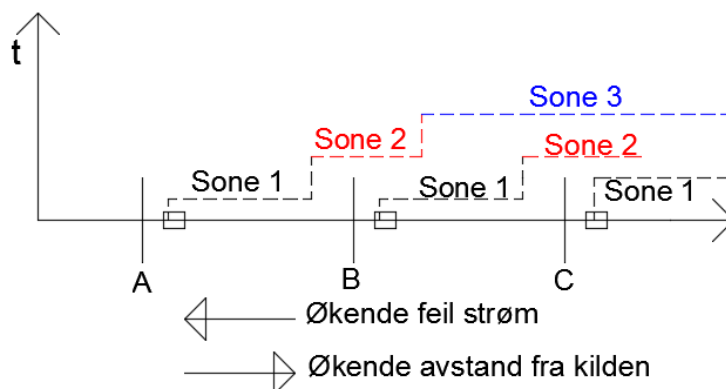
Figur 2-8: R-X diagram for distanserelé: a) impedanserelé, b) reaktans relé, c) firkantrelé, d) mho-relé. [5]



Figur 2-9: Impedansdiagram med 2 utløssoner og lastområde[3].

2.3.2 Beskyttelsessoner

Distanserelé kan ha flere beskyttelsessoner med forskjellige tidsforsinkelser. Med utgangspunkt i relé i punkt A på Figur 2-10 kan dette forklares. Sone 1 har gjerne momentan utløsning og dekker normalt sett 80-90 % av linja. Feil lengre ut blir tatt av sone 2, som har en tidsforsinkelse. Sett fra punkt A dekker sone 2 fra 80-90% og opp til punkt B, pluss cirka 50 % av den korteste tilstøtende linje. Sone 3 beskytter fra der sone 2 slutter og til neste punkt (C) pluss cirka 25 % av den korteste tilstøtende linje [18]. Sone 3 vil da sørge for at reléet fungerer som et reserverelé for reléet i punkt B, skulle dette av en grunn feile i å koble ut en feil i dets sone 1 eller 2.



Figur 2-10: Distanserelé med flere soner.

Rekkevidden til et distanserelé er den maksimale avstanden ut til en feil som vil trigge reléet ved at impedansen i nettet går innenfor en av de bestemte impedans-/beskyttelsessone. Denne rekkevidden korresponderer til både den maksimale kortslutningsimpedansen eller den minste kortslutningsstrømmen som blir detektert.

2.3.3 Feilsituasjoner

For at distansevernet skal legge ut korrekt i en feilsituasjon, må vernet først klassifisere situasjonen som oppstår. For alle forskjellige typer feil vil likningene som tar for seg forholdet mellom strøm og spenning sett fra vernets plassering være forskjellige. For eksempel vil det kun være ved en trefase kortslutning at alle fase-reléene måler korrekt impedans [5]. For full dekning mot alle feil er det totalt behov for 6 distanseverneheter.

Alle forskjellige feiltyper blir presentert i dette delkapittelet, i tillegg til kalkulering av lastimpedansen. Alle feil vil være i et trefase kraftsystem, feilpunktet vil hete punkt F og feilstrømmer,-spenninger og -impedanser vil ha prefiks lik: «f». Ved feil som innebefatter bare en eller to faser vil henholdsvis fase A, eller fase A og B bli brukt. Det som her blir omtalt som impedansen vernet ser, vil i virkeligheten være impedansen inn på primærsiden til m letransformatorene. For å oppnå den virkelige impedansen vernet ser, må omsetningsforholdet og måleusikkerheten til m letransformatorene tas med. Det er heller ikke tatt hensyn til lysbueresistans i feilpunktet. Store deler av teorien i dette delkapittelet er hentet fra boken «Power System Relaying»[5].

2.3.3.1 Fase – fase kortslutning

Ved en tofase kortslutning vil feilen ikke inneholde en nullsekvenskomponent. Samtidig vil den positive- og negative-sekvensspenningen være lik, slik som vist i formel 2-2, hvor $U_{fa}^1, U_{fa}^2, I_a^1$ og I_a^2 er symmetriske komponenter sett av vernet.

$$U_{fa}^1 = U_{fa}^2 = U_a^1 - Z_f^1 * I_a^1 = U_a^2 - Z_a^2 * I_a^2 \quad 2-2$$

Ved å sette $U_a = U_a^1$, $U_b = \alpha^2 \cdot U_b^1$ og $U_c = \alpha \cdot U_c^1$ og det samme for fasestr mmene, vil impedansen sett av vernet bli gitt av formel 3-3

$$\frac{U_a - U_b}{I_a - I_b} = \frac{U_a^1 - U_a^2}{I_a^1 - I_a^2} = Z_f^1 = Z_v \quad 2-3$$

Formel 2-3 vil være gjeldende for to polt kortslutning mellom de andre respektive fasene ved å skifte ut prefiksene. Vernet måler bare den positive sekvensimpedansen, som vil være impedansen i

systemet mellom kortslutningen og vernets plassering. Den positive sekvensspenningen vil være minst ved kortslutningen og økende mot kilden. [21]

For en fase – fase – jord kortslutning vil samme formler være gjeldende som for en fase – fase feil.

2.3.3.2 Trefase kortslutning

Ved en trefase kortslutning uten overgangsmotstand i feilpunktet F, vil spenningen i punkt F være lik null. Ved å dividere spenningen ved vernets plassering (U_v) på strømmen blir impedansen funnet (formel 2-4). Spenningen ved vernets plassering vil være gitt av spenningsfallet i systemet mellom feilpunktet og vernet.

$$\frac{U_v}{I} = Z_f^1 = Z_v \quad 2-4$$

Det vil kun eksistere positiv sekvenskomponent ved trefase kortslutning, og dette gir:

$$U_a^1 = U_a = Z_f^1 \cdot I_1 = Z_f^1 \cdot I_a \quad 2-5$$

Ved å bruke samme fremgangsmåte som ved formel 2-3, vil impedansen sett fra vernets posisjon ved en trefasekortslutning være gitt av formel 2-6.

$$\frac{U_a - U_b}{I_a - I_b} = \frac{U_b - U_c}{I_b - I_c} = \frac{U_c - U_a}{I_c - I_a} = Z_f^1 = Z_v \quad 2-6$$

2.3.3.3 Fase – jord feil

Ved en feil mellom den ene fasen og jord vil nullsekvensspenningen være størst ved feilpunktet og null ved det nærmeste systemnullpunktet, som normalt sett er transformatoren mellom regionalnettet og distribusjonsnettet, og dets nullpunkt. Ved en feil mellom fase a og jord vil den positive sekvensimpedansen ved feil som vernet måler være lik:

$$Z_f^1 = \frac{U_a}{I_a''} \quad 2-7$$

I_a'' er definert som vist i formel 2-8. Full utledning kan sees i[21].

$$I_a'' = I_a + \frac{Z_f^0 - Z_f^1}{Z_f^1} \cdot I_0 = I_a + \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} \cdot I_0 = I_a + m \cdot I_0 \quad 2-8$$

Z_1 og Z_0 er positive- og nullsekvensimpedansen for hele linja. m er en kompensasjonsfaktor som kompenserer fasestrømmen for den gjensidige koblingen mellom feilfasen og de to andre friske fasene. For de fleste luftlinjer i transmisjonsnettet vil m være et reelt tall og variere mellom 1,5 og 2. $m = 2$ vil korrespondere til $Z_0 = 3 \cdot Z_1$ ved luftlinjer i transmisjonsnett.

2.3.3.4 Lastimpedansen

Under normale driftsforhold vil den målte impedansen av reléet være lik lastimpedansen i nettet.

$$Z_{Last} = \frac{U_{Last}^2}{P_{Last}} \quad 2-9$$

Vinkel mellom strøm og spenning under normal drift vil som gitt i formel 2-10 være avhengig av forholdet mellom reaktiv og aktiv effekt.

$$\varphi_L = \tan^{-1} \cdot \frac{Q_L}{P_L} \quad 2-10$$

Som fremvist i Figur 2-9 vil lastimpedansvektoren ligge langt ute til høyre i R-X diagrammet under normal drift.

2.3.4 Resistans i feilpunktet / Lysbueresistans

Lysbuespenningen og -strømmen vil være i fase og med det rent resistiv [3]. Denne resistansen kan plusses direkte på linjeimpedansen mellom vernet og kortslutningen.

Van Warrington-formelen[22] benyttes for å beregne forskjellen på impedansen, med og uten lysbueresistansen:

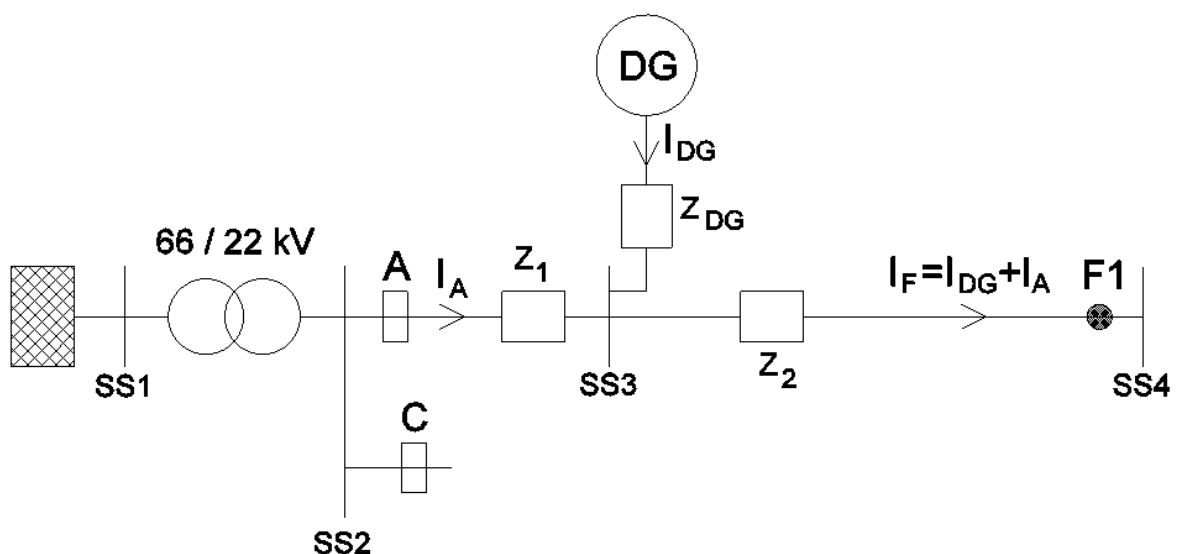
$$R_{lysbue} = \frac{U}{I} = \frac{28700 \cdot l_{lysbue}}{I_{lysbue}^{1,4}} \quad 2-11, [3]$$

L_{lysbue} står for lengden på lysbuen og vil være faseavstanden ved starten av feilen. I_{lysbue} vil være feilstrømmen som går i lysbuen. Lysbueresistansen vil med dette variere etter hvor i nettet feilen oppstår. Ved tilknytning av DG-enheter vil kortslutningsstrømmene øke og føre til en reduksjon i lysbueresistansen [22]. Lysbuen vil derimot utvide seg som følge av vind og med tiden kortslutningen pågår. Korreksjonsfaktor for dette er fremvist i formel 2-12.

$$k_{lysbue} = 1 + \frac{5 \cdot v \cdot t}{l_{lysbue}} \quad 2-12, [3]$$

2.3.5 Påvirkningen distribuert generering har på distansevern

Distribuert genererings påvirkning vil variere avhengig av plasseringen og størrelsene/ytelsen til DG-enheten, samt eventuelt antall enheter plassert i samme nett. Dette delkapittelet bygger på teori gitt i [4], [15], [23] og [24].



Figur 2-11: Distribusjonsradial med distribuert generering(DG), feilpunkt (F) og distansevern (R)

Ved innføring av distribuert produksjon i nett med distansevern vil man kunne oppleve en økning i kortslutningsimpedansen som vernet ser, og med dette redusert rekkevidde til vernet[3]. Økningen i kortslutningsimpedansen som oppstår, blir her forklart med utgangspunkt i Figur 2-11 og de kommende formler. Formlene er hentet fra [3], [23].

Ved en feil i punkt F vil reléet se kortslutningsstrømmen I_R . Uten tilknyttet DG-enhet vil I_R være lik feilstrømmen i feilpunktet slik vist i formel 2-13. Z_{SYS} er kortslutningsimpedansen til det overliggende nettet, og transformatoren. Z_1 og Z_2 er linjeimpedanser. Z_{DG} består av den transiente reaktansen til generatoren, DG-transformatorens kortslutningsimpedans og eventuelle linjeimpedanser frem til samleskinne 3.

$$I_R = I_f = \frac{U_{SYS}}{Z_{SYS} + Z_1 + Z_2} \quad 2-13$$

Ved tilknytting av DG-enheten endres dette og gir følgende feilstrøm i feilpunktet (I_{fDG}):

$$I_{fDG} = I_{RDG} + I_{DG} = \frac{U_{SYS}}{Z_2 + \frac{Z_{DG} \cdot (Z_{SYS} + Z_1)}{Z_{DG} + Z_{SYS} + Z_1}} \quad 2-14$$

Strømmen fra det overliggende nettet ved feilen med DG-enhet tilknyttet blir som følger:

$$I_{RDG} = I_{fDG} \cdot \frac{Z_{DG}}{Z_{DG} + Z_{SYS} + Z_1} \quad 2-15$$

Feilstrømbidraget fra DG-enheten blir:

$$I_{DG} = I_{fDG} \cdot \frac{(Z_{SYS} + Z_1)}{Z_{DG} + Z_{SYS} + Z_1} \quad 2-16$$

Spenningen som vernet R måler under feil i punkt F (U_R), vil kunne kalkuleres som i formel 2-17.

$$U_R = I_{RDG} \cdot Z_1 + (I_{RDG} + I_{DG}) \cdot Z_2 \quad 2-17$$

Ut fra formel 2-18 kan det leses at spenningen U_R vil øke som følge av innmatingen fra DG-enheten på SS3 under feilsituasjonen. Denne økningen i U_R fører til en økning i kortslutningsimpedansen som relé R vil måle. I formel 2-18 blir denne økningen fremstilt i det siste leddet.

$$Z_V = \frac{U_R}{I_{RDG}} = Z_1 + Z_2 \cdot \left(1 + \frac{I_{DG}}{I_{RDG}}\right) \quad 2-18$$

Denne økningen i målt kortslutningsimpedans for relé R, som følge av DG-enheten, tilsvarer det samme som å flytte feilpunktet lengre ut på radialen. Dette kan føre til at feilen blir oppfattet som om den ligger i en annen beskyttelsessone enn i virkeligheten og får en lengere utkoblingstid eller i verste tilfellet ikke blir koblet ut. Som nevnt i kapittel 2.1.4.2 vil den største reduksjonen i feilstrømmen skje når DG-enheten plasseres midt mellom feilen og reléet.

Om en feil oppstår mellom vernet og en DG-enhet, vil feilstrømmene fra det overliggende nettet og DG-enheten først møtes i feilpunktet og gå sammen igjennom feilresistansen. Kortslutningsstrømmen i feilpunktet vil med dette være større når en DG-enhet er tilknyttet. Dette forårsaker et ekstra spenningsfall ved kortslutningen, noe som igjen påvirker impedansen sett av vernet. Effekten av dette på impedansen sett av vernet, er liten sammenlignet med påvirkningen fra feil nedstrøms både reléet og DG-enheten.[3]

En annen utfordring som kan måtte tas hensyn til ved soneinndelingen til distansevernene, er presentert i [3]. Her blir det presentert et tilfelle hvor transiente spenninger i strømmen like etter at en kortslutning har inntruffet, påvirker impedansen målt av vernet. For å sikre deteksjon av feilen umiddelbart, må sonerekkevidden dekke impedansvektorens pendlinger.

2.4 Reléplanlegging på distribusjonsradialer

Reléplanlegging er en viktig del under prosjektering og vedlikehold av nettet. Uten korrekt reléplanlegging kan det oppstå situasjoner som:

- Unødvendig utfall av kunder og med det økt kostnad for ikke levert energi (KILE).
- Mangelfull utkobling av feil og med det store materielle skader og, i verste tilfeller, fare for liv og helse.

I dette delkapittelet blir det presentert hvordan reléplanlegging ved forskjellige vern burde utføres og hva som må tas hensyn til. Generelt sett kan det sies at det er lettere å kontrollere koordineringen mellom reléene ved tegning av utløserkarakteristikkene i et tid-strøm diagram.

Det er utført mye forskning på optimale reléinnstillinger den senere tiden ved hjelp av f.eks. linear programmeringsteknikk [11] eller genetisk algoritme [16]. Slike metoder blir ikke fremstilt eller gjennomgått i denne rapporten.

2.4.1 Overstrømsrelé

Ved reléplanlegging med overstrømsrelé, vil det være noen forskjeller som følge av om det brukes konstant- eller inverstidskarakteristikk. Hva som må tenkes på ved begge tilfeller blir tatt opp i dette delkapittelet. Ved begge tilfeller, er muligheten for å fremvise utløserkarakteristikkene grafisk for å kontrollere selektiviteten mellom reléene, en stor fordel.

2.4.1.1 Konstanttidskarakteristikk:

Reléplanlegging for overstrømsvern med konstanttidskarakteristikk på distribusjonsradial, ytterste relé på radial:

1. Finn minste kortslutningsstrøm ($I_{k,min}$) for både den primære- og backup-beskyttelsessonen.
2. Finn største laststrøm ($I_{last,maks}$) igjennom vernet.
3. Bruk formel 2-1 til å velge I_{start} på vernet: $1,5 \cdot I_{last,maks} < I_{start} < 0,8 \cdot I_{k,min}$
4. Sett tidsforsinkelsen til typisk 0,1-0,2 sekunder.
5. Sjekk I_{start} opp mot strømføringsevnen til kabler, linjer og andre komponenter for å forsikre at komponentene tåler den gjennomslupne energien i løpet av tidsforsinkelsen.
6. Sjekk så koordinering opp mot smeltekarakteristikk til høyspentsikringer på fordelingstransformatorene i nettet.

Det neste relé oppstrøms det første reléet må koordinere utkoblingstiden med det ytterste reléet. Dette utføres ved å legge på 0,2-0,3 sekunder på tidsforsinkelsen til reléet, i forhold til reléet nedstrøms (se kapittel 2.1.3).

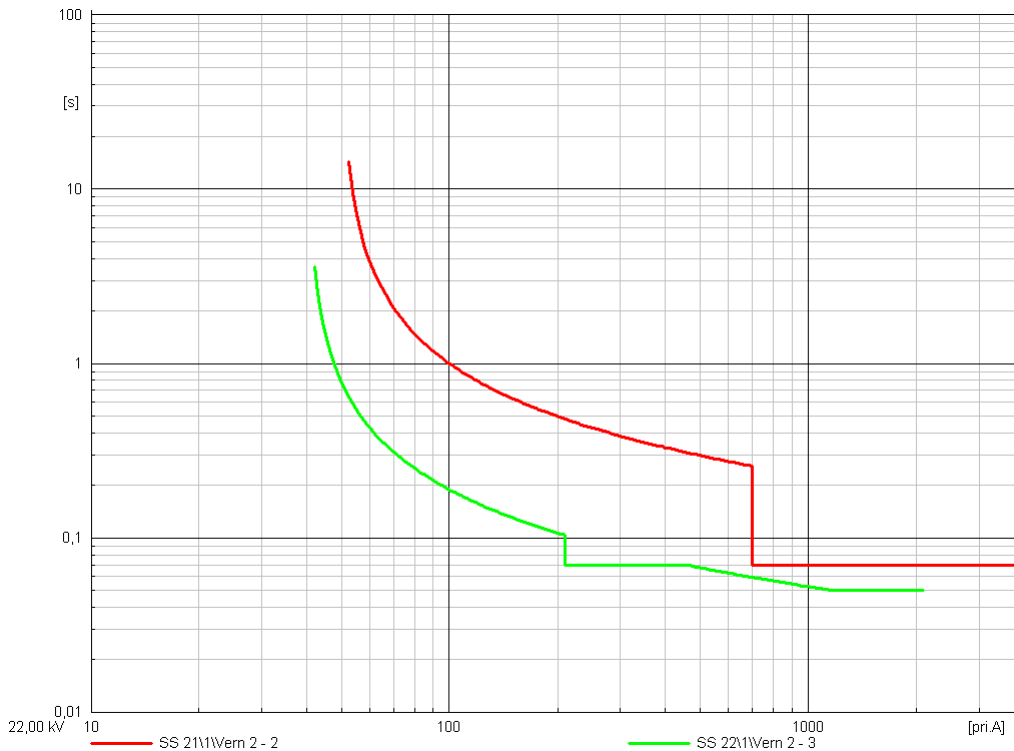
2.4.1.2 Inverstidskarakteristikk

Reléplanlegging av overstrømsvern med inverskarakteristikk utføres tilnærmet likt som ved konstanttidskarakteristikk. Forskjellen ligger i utkoblingstidene og koordineringen mellom vernene. Til dette arbeidet er grafisk fremstilling av utløserkarakteristikkene et veldig godt hjelpemiddel. I simuleringsprogrammet Power Factory kan dette gjøres slik vist i Figur 2-12.

Reléplanlegging med distansevern:

1. I_{start} finnes på samme måte som med konstanttidskarakteristikk
2. Verdien av «TMS» burde settes så lavt som mulig, men fortsatt tilfredsstillende koordineringsbegrensningene. For det ytterste vernet vil begrensningene være smeltekarakteristikk for smeltesikringer nedstrøms reléet og begrensinger på gjennomsluppet energi i kabler og annet utstyr.
3. For neste relé oppstrøms må koordineringen mot det ytterste reléet tas med. Koordineringstiden mellom utløserkarakteristikkene til disse to reléene må sikre selektivitet

langs hele utløserkarakteristikken. I Figur 2-12 blir et eksempel på korrekt koordinering mellom to reléer fremvist. Relé med utløserkarakteristikk fremvist i grønt er plassert ytterst på radialen.



Figur 2-12: Eksempel på korrekt koordinering mellom to reléer.

2.4.1.3 Innstilling for momentanutkobling:

Momentan utkobling er viktig for å redusere den gjennomslupne energien ved feil nærme reléet. Spesielt viktig er dette ved konstanttidskarakteristikk.

Innstillingen for den momentane utkoblingen begrenses av den maksimale feilstrømmen ved 3-polt kortslutning ($I_{k3p,Maks}$) i enden av den primære beskyttelsessonen (ved neste relé nedstrøms på radialen). Momentanutkoblingsinnstillingen kan ikke være høyere enn denne strømmen, men burde ligge opp mot den. Dette sikrer rask utkobling for mange feil plassert i reléets primærområde. Netbas kommer med advarsel når momentanutkoblingen er lavere enn 20 ganger merkestrøm til største smeltesikring i nettet.

2.4.1.4 Ved distribuert produksjon på radialen

Ved distribuert produksjon på en distribusjonsradial vil problemer som sympatiutkobling og blinding kunne forekomme (se kapittel 2.1.4) både ved invers- og konstanttidskarakteristikk. Dette må tas hensyn til og undersøkes under reléplanleggingen.

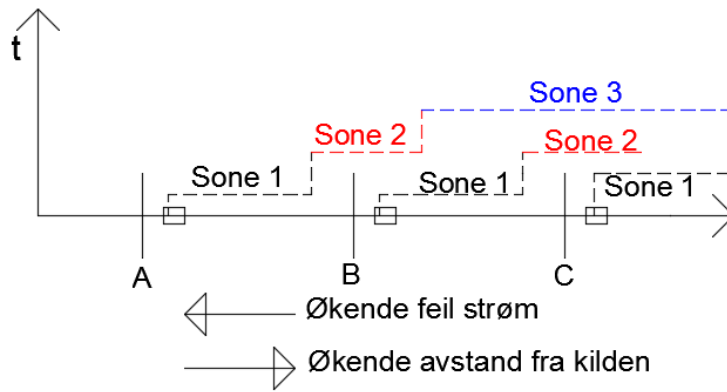
2.4.2 Distansevern

Distansevern bruker spenningen, strømmen og vinkelen imellom som vernet måler til å kalkulere impedansen i nettet. Beskyttelsessone 1 blir som regel satt til å dekke 80-90 % av linjestykket mot neste relé (se kapittel 2.3.2). Dette er som følge av usikkerhet i strøm- og spenningstransformatorer, simuleringsmodellene og variasjon i impedansen i linjene som følge av: temperatur, luftfuktighet og årstid. Ved distansevern er det også viktig å ta med lysbueresistansen i betraktning.

Reléplanlegging av distansevern på distribusjonsradialer uten DG-enheter er generelt sett mye enklere og vil bli forklart først. Til forklaringen brukes systemet vist i Figur 2-13. Per dags dato finnes det mange forskjellige utforminger på utløseroner til distansevern. På nye relé kan de også nesten fritt formes etter ønske. Denne forklaringen tar ikke utgangspunkt i noen utforming av utløseronene, men prøver heller å gi en enkel forklaring på fremgangsmåten

Reléplanlegging med distansevern uten DG-enheter:

1. Finn impedansen mellom reléene på den valgte radialen.
2. Start med relé A og sett impedansen for sone 1 lik 80-90 % av linjeimpedansen mellom relé A og B. Sone 2 settes til å dekke fra 80-90 % og opp til 120 % av linjeimpedansen, eller til og med 50 % av korteste tilstøtende linje nedstrøms relé B.
3. Sone 3 bestemmes ut fra hvor stor reservedekning reléet skal stå for. Skal det kunne detektere feil på hele radialen, må innstillingen av sonen gjenspeile dette.
4. Kontroller at lysbueresistansen ikke vil dra impedansvektoren ut av tiltenkt utløserone (se Figur 2-9). Om dette skjer må sonene justeres.
5. Samme fremgangsmåte er gjeldende for de neste reléene nedstrøms.

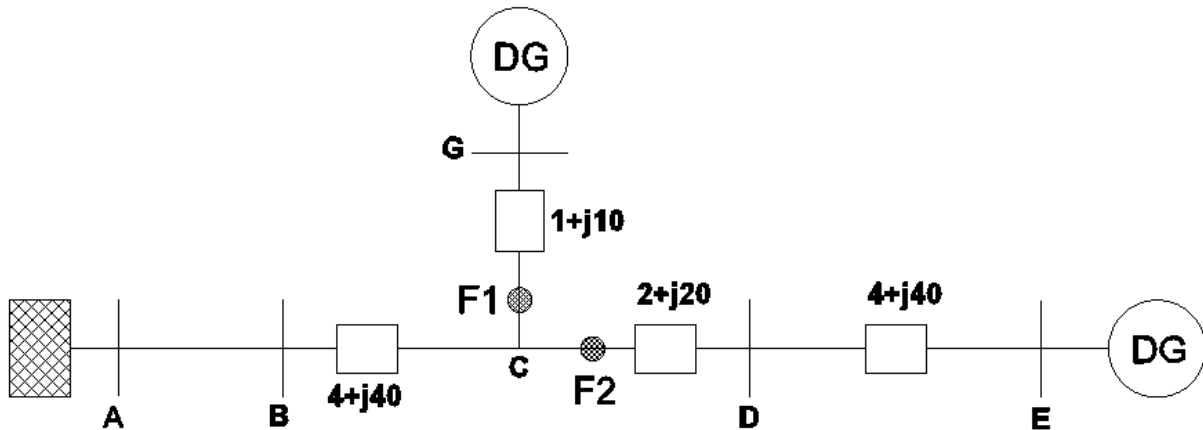


Figur 2-13: Fremvisning av beskyttelsessoner ved bruk av distansevern.

Som forklart i kapittel 2.3.5, har DG-enheter stor innvirkning på hvordan distansevernet ser impedansen i nettet. DG-enhetene vil ha perioder hvor de er tilknyttet nettet og der de ikke er det. Under begge situasjonene må distansevernet kunne sørge for korrekt og rask utkobling. Ved innkoblet DG-enhet vil feilimpedansen målt av vernet være høyere (ved DG-enhet mellom vernet og feilpunktet). Dette medfører at feil som ligger i beskyttelsessone 1, da kan bli flyttet ut i beskyttelsessone 2. Å avdekke hvor stor påvirkning DG-enheter vil ha på et vern, kan gjøres som forklart i kapittel 2.3.5, eller ved hjelp av simuleringprogram.

Reléplanlegging med distansevern og DG-enheter tilknyttet utføres altså nokså likt som om det ikke skulle vært DG-enheter tilknyttet, men sonene må ta hensyn til en økning i den tilsynelatende impedansen målt av vernet. Det må undersøkes veldig nøye om alle feil blir koblet ut og at ingen feil får uholdbar lang utkoblingstid.

Nedenfor blir det gjennomgått et eksempel med reléplanlegging med distansevern på en distribusjonsradial. Eksempelet er hentet fra [21]. I Figur 2-14 blir distribusjonsradialen som eksemplet bygger på presentert. Eksemplet tar ikke hensyn til lysbueresistansen.



Figur 2-14: Radial med distribuert produksjon.

Det blir antatt at feilstrømmene I_1 , I_2 og I_3 forholder seg uforandret ved alle typer feil og at $\frac{I_2}{I_1} = 0,5$ (se formel 2-18).

Sone 1:

Det blir sett bort fra bidrag fra DG-enhetene ved innstillinga av denne sonen. Sonen skal bli satt til å dekke 85 % av den minste av impedansene mellom samleskinnene B og D, og B og G. Den minste impedansen vil her være mellom B og G og vil være $(4+j40) + (1+j10) = 5+j50$. Innstillingen for sone 1 vil da være $0,85 \cdot (5+j50) = 4,25+j42,5$.

Sone 2:

Sone 2 skal settes lik 120 % av den lengste av de to impedansene mellom samleskinnene B og D, og B og G. Her vil det være impedansen mellom B og D. DG-enhetene må regnes som innkoblet og vil påvirke impedansen i linjesegmentet mellom C og D. Settingen for sone 2 blir lik:

$$1,2 \cdot [4 + j40 + 1,5 \cdot (2 + j20)] = 8,4 + j84$$

Sone 3:

Det antas at Linje D-E er den eneste som trenger backup-utkobling av relé R_b . DG-enhetene må være tilknyttet her. Den tilsynelatende impedansen for linje B-D vil i dette tilfelle være lik:

$$(4 + j40) + 1,5 \cdot (2 + j20) = 7 + j70$$

I tillegg til dette må det legges på 150 % av linje D-E pga. DG-enheten og 150 % av linje D-E som sikkerhetsmargin. Innstillingen for sone 3 blir da lik:

$$7 + j70 + 1,5 \cdot 1,5 \cdot (4 + j40) = 16 + j160$$

2.5 Simuleringsprogram

Resultatene i denne oppgaven kommer fra simuleringer og litteraturstudie/-søk. Simuleringsprogram som er blitt brukt er Netbas og Power Factory. System- og nettdata til simuleringene er hentet fra databasen i Netbas, hvor Eidsiva har hele sitt nett dokumentert. Under uthenting av nettdata til oppbygging av simuleringsmodell i Power Factory, er alle data gjennomgått for å kvalitetssikre disse og fange opp tydelige feil. Andre feilkilder kan være tilstede.

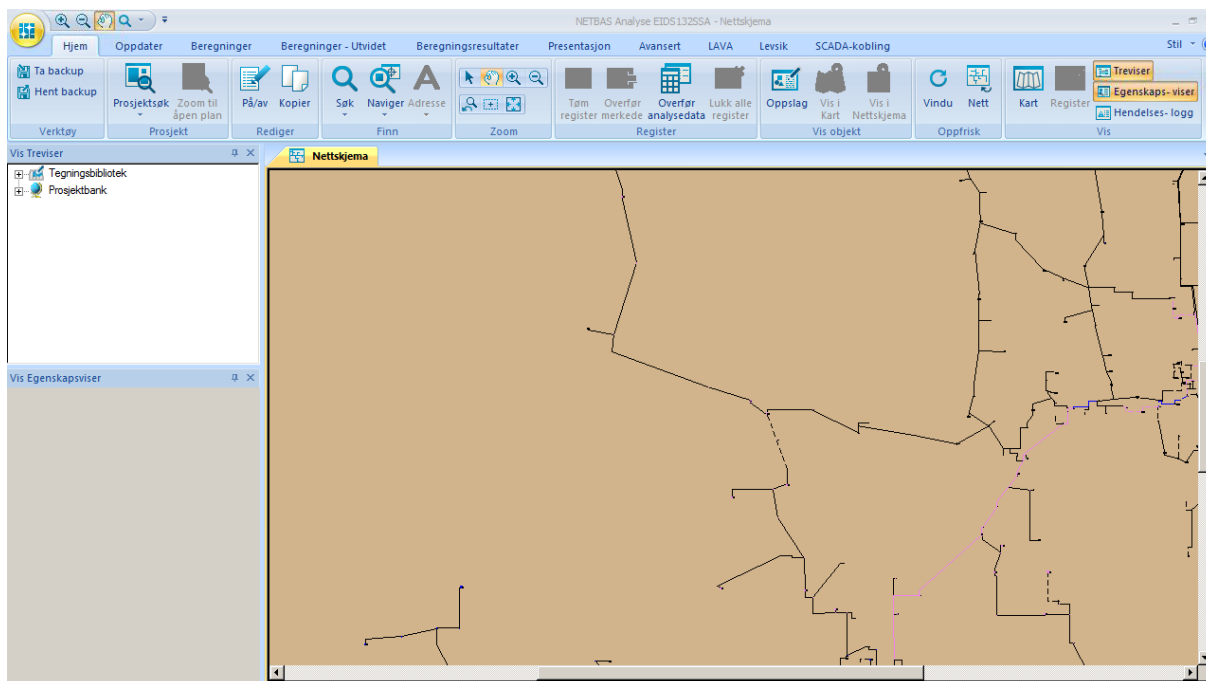
Utover de programmene som blir gjennomgått her, er det mange andre programmer ute på markedet, bl.a. Paladin Designbase og PSS SinCal.

De kommende delkapitlene er nesten i sin helhet hentet fra spesialiseringsprosjekt[6].

2.5.1 Netbas V 11.0.3

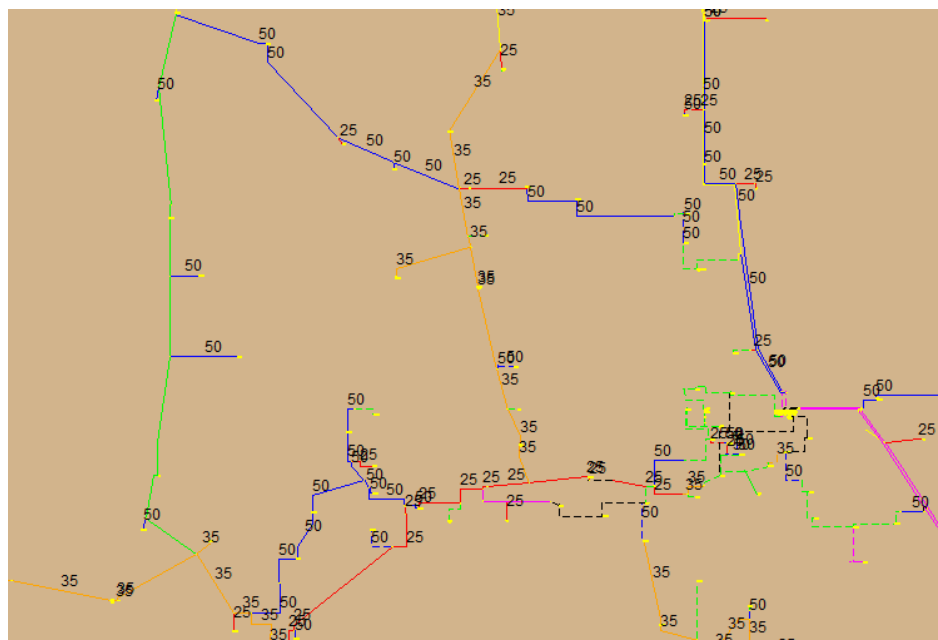
Netbas leveres av Powel og brukes per i dag av flere av de store nettselskapene i Norge (f.eks. Eidsiva, Trønder energi og Agder Energi) [24]. Netbas er bygget opp rundt behovet til brukerne som leverer tjenester til infrastrukturen i Norge. Av slike tjenester kan det nevnes; strøm, vann, fjernvarme og telekommunikasjon. Netbas er en plattform hvor man kan samle både dokumentasjon, planlegging, design, driftsstøtte, vedlikehold og fornying, på ett sted. I Netbas lagres/tegnes informasjonen på en overflate med et kart i bakgrunn, slik at alle enheter som blir lagt inn kan settes på rett grafisk sted. Noe som igjen skaper en enkel og intuitiv grafisk fremvisning. Kartet kan fjernes eller ligge i bakgrunnen, alt etter behov. I Netbas lagres ikke bare informasjonen, men det bygges samtidig opp en simuleringsmodell som kan brukes til kalkulasjoner og analyser. Eksempler på dette innen kraftsystemer vil være kortslutningsberegninger, lastflytanalyser, selektivitetsanalyser, spenningsfallkalkulasjoner og stabilitetsanalyser. Som grunnlag for kalkulasjoner bruker Netbas standarden IEC 60909. Dette vil si at som grunnlag for kortslutningsberegninger brukes merkespenninger, og laster i nettet er ikke tatt med under kortslutningsberegningene. Alle Netbas sine kalkuleringer utføres uten hensyn på tid. Så ved ønske om kalkulering av transienter og pendlinger, må annet program benyttes.

Figur 2-15 viser hvordan Netbas bruker samme oppsett som typiske kjente Windows programmer. Dette velkjente oppsettet senker begynnertersekelen for programmet, og man finner lett frem.



Figur 2-15: Utklipp fra Netbas 11 med fremvist font

Figur 2-16 viser hvordan man lett kan få fremvist hvilke typer tverrsnitt som linjene i radialen man jobber med har. Lignende kan også gjøres for fremvisning av hvordan lastflyten er, men da med piler.



Figur 2-16: Utklipp fra Netbas 11 med fremvisning av tverrsnitt med hjelp av farger og tall

Typisk feilkilde ved kortslutningsberegninger i Netbas er ved endring i nettet. Ved hver gang topologien i nettet endres, som ved kobling av bryter, må det utføres en lastflytberegning før

kortslutningsberegninger kan utføres. Uten dette blir ikke nettet oppdatert med de endringene som ble utført og fører til feil i resultatene.

Eidsiva har i dag lagret hele sitt nett i databasene til Netbas. Dette gjør det veldig lett å utføre simuleringer, da modellen allerede er bygget med alle tilhørende komponenter og egenskaper. Eidsiva bruker også Netbas aktivt under prosjektering av nye anlegg og linjer. Netbas er et noe mer praktisk rettet program, sammenlignet med Power Factory.

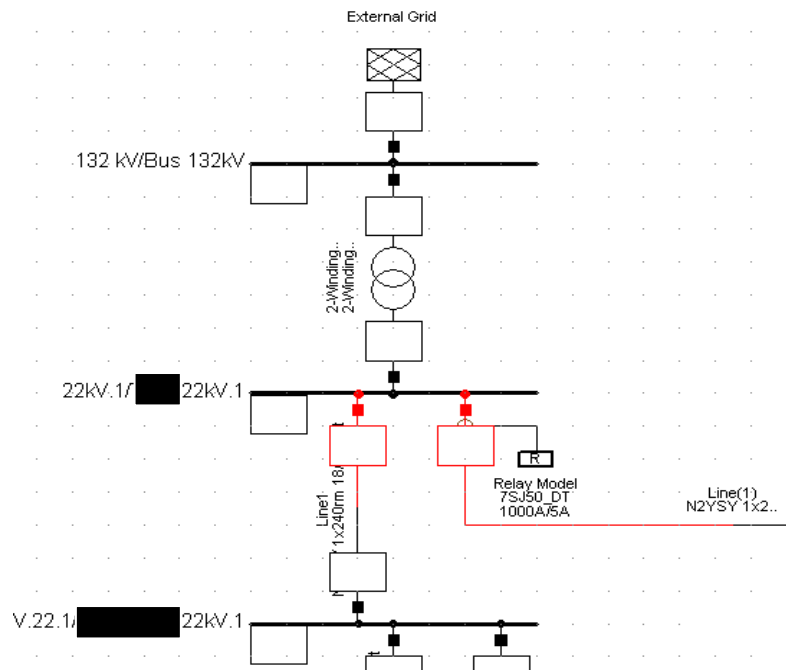
Hvordan Netbas kan brukes under reléplanlegging og gode funksjoner i programmet for dette blir gjennomgått i kapittel 4.

2.5.2 Power Factory

Power Factory er et stort simuleringsprogram hvor man kan utføre de fleste slags beregninger, eksempelvis kortslutningsberegninger, lastflytanalyser, stabilitetsanalyser, elektromekaniske og elektromagnetiske transient-simuleringer.

I Power Factory bygges systemet som ønskes simulert opp grafisk (se Figur 2-17). For å få nøyaktige simuleringsresultater har hver komponent i modellen mange verdier som må settes. Disse verdiene kan i enkelte tilfeller være vanskelig å få tak i, samtidig som det kan være tidkrevende å starte en enkel simulering. Et eksempel på dette er strøm og spenningstransformatorer som må settes inn i modellen og sammenkobles med reléene for å få et fungerende relé. Disse inneholder innstillinger som f.eks. primær- og sekundærstrøm/spenning, metningsspenning og -strøm, pluss byrdens resistans. Denne vanskelighetsgraden kompenseres noe med at Power Factory har et innebygget øvingsopplegg hvor det blir gått igjennom det mest grunnleggende i programmet, slik at nye brukere løftes opp på et nivå som tillater dem å utføre enkle beregninger. For videre hjelp ligger det ved en brukermanual som er tilgjengelig ved å trykke «F1».

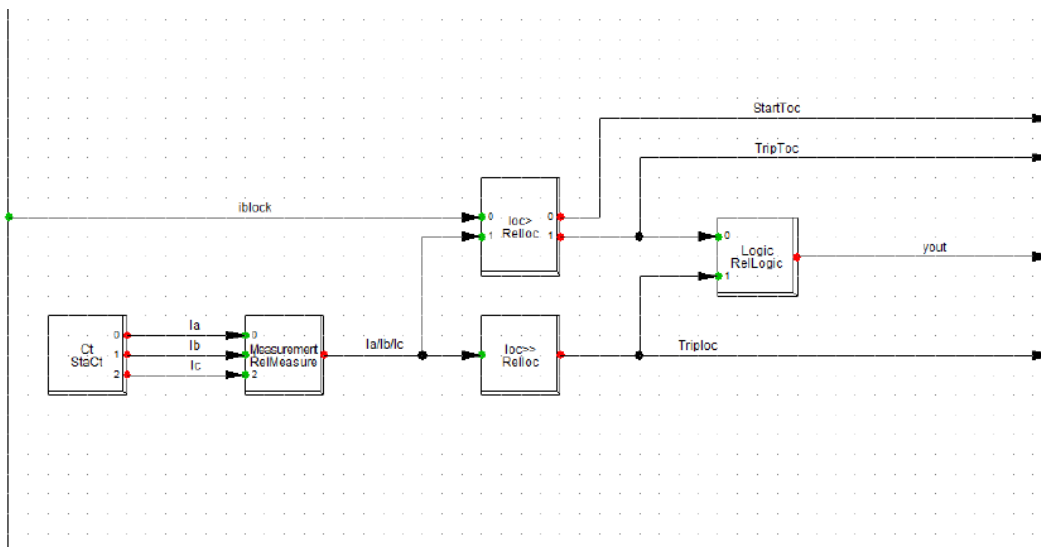
Det at Power Factory byr på så mange innstillinger, gir mulighet for stor nøyaktighet i alle de forskjellige simuleringene og ikke minst et mangfold av simuleringsmuligheter. Sammenlignet med Netbas, har Power Factory mange større muligheter for simuleringer, men mindre muligheter vedrørende prosjektering av nye anlegg. Generelt sett kan det sies at Power Factory egner seg mer for høyere spenningsnivåer og innen forskning.



Figur 2-17: Fremvisning av grafisk oppbygging av kraftsystemet i Power Factory

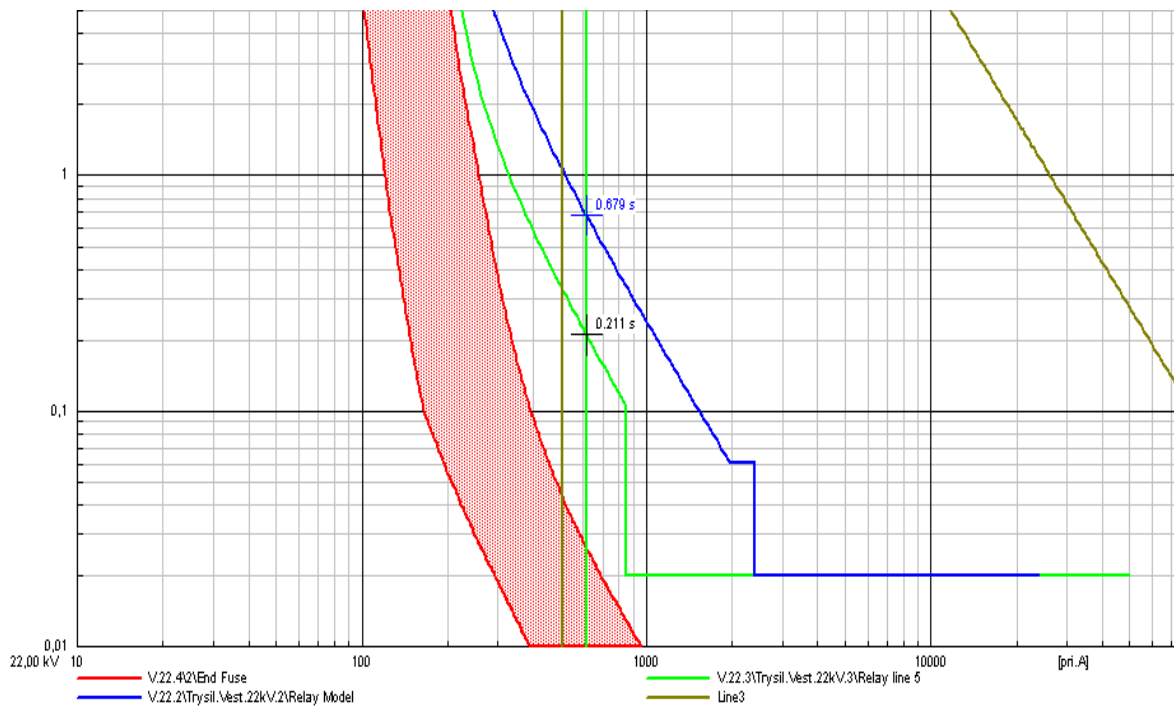
Til bruk under reléplanlegging kan det trekkes frem at Power Factory har en medfølgende database med noen forskjellige reléer fra forskjellige leverandører. For eksempel overstrømsrelé, retningsbestemt overstrømsrelé og distanserelé.

Ved behov for spesifikke relé som ikke følger med i databasen, kan veldig mange finnes på nedlastningssiden til Digsilent. Skulle ønsket relé heller ikke være å oppdrive her, er det fullt mulig for ekspertbrukere å lage egne reléer ved å sette sammen logiske funksjoner slik som vist i Figur 2-18.



Figur 2-18: Oversiktsbilde av hvordan et relé er bygget opp med logiske funksjoner

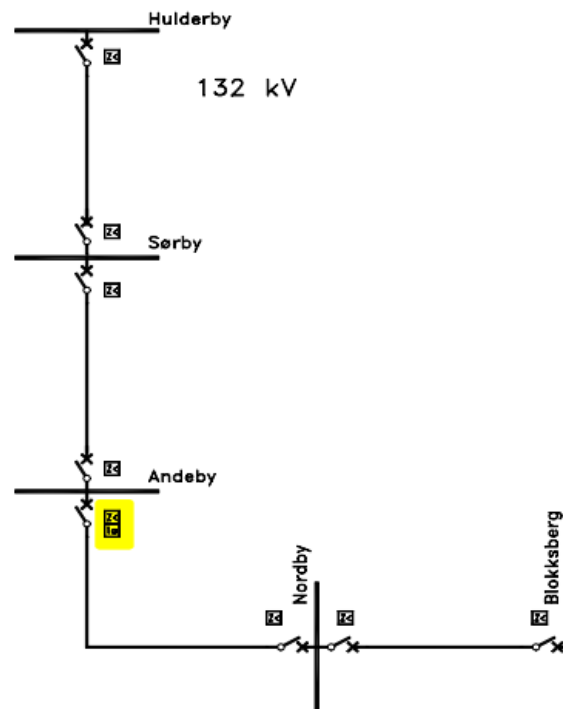
Power Factory tilbyr fremvisning av tid-strøms diagram, tid-distanse diagram og R-X diagram. Tid-strøm diagrammet kan ikke bare vise frem utløserkarakteristikken til et eller flere reléer. Det kan også vise kortslutningsstrømmer og når de forskjellige reléene vil få effektbryteren til å koble ut feilen. Maksimal belastningsstrøm-kurve på transformatorer og linjer, smeltesikringskarakteristikker, samt maksimal gjennomsluppet energikurve kan også vises. Denne samlingen av grafer i samme diagram gjør det mye lettere å stille inn reléene selektivt og riktig. Figur 2-18 viser diagram med noen av de overnevnte kurvene.



Figur 2-19: Tid-strøm diagram fra Power Factory som viser flere relé-karakteristikker med mer.

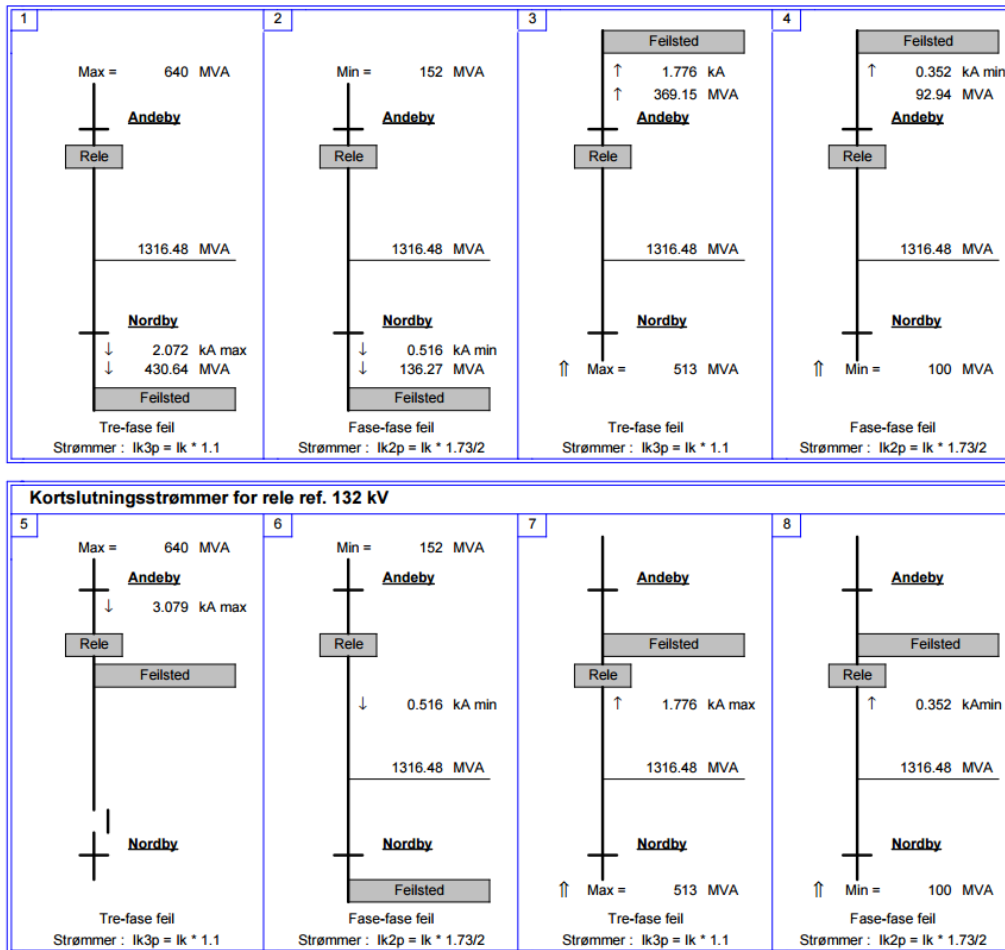
2.5.3 ProDoc

ProDoc er utviklet av Jacobsen elektro og er et verktøy for bruk under reléplanlegging. Frem til nylig har ProDoc vært bygget på Lotus programmering, men er nå blitt konvertert til Excel. ProDoc er ikke et eget simuleringsprogram, men et verktøy til bruk under reléplanlegging hvor noen kalkuleringer kan bli utført. Mange av dagens reléer med deres spesifikasjoner er lagret i ProDoc, slik at man lett kan hente disse frem under reléplanleggingen. Grafisk fremstilling av nettet er mulig slik som vist i Figur 2-20.



Figur 2-20: Grafisk fremstilling av nettet i ProDoc.[25]

Under reléplanleggingen trengs det å legges inn parametere for linjer, strøm og spenningstransformatorer samt kortslutningsdata for nettet og dets komponenter. Ut fra dette kan det bygges opp en grafisk fremstilling av nettet rundt reléet og kortslutningsstrømmene under forskjellige feilsituasjoner ved forskjellige kortslutningsytelser i nettet. Eksempel på dette er fremvist i Figur 2-21.



Figur 2-21: Eksempel på grafisk forklaring av kortslutningsstrømmer i ProDoc.[25]

Eidsiva bruker ProDoc per i dag kun til dokumentasjon av reléinnstillinger som de mottar etter bestilling fra Jacobsen Elektro.

2.6 Krav ved nett-tilknytting av distribuert produksjon

Ved tilknytting av elektrisk produksjon opp mot distribusjonsnettet vil netteier/konsesjonsinnehaver ha mange retningslinjer og krav for anlegget. Dette for å sikre korrekt drift og sikkerhet. Eidsiva Nett har sin egen avtale ved slik tilknytting, som kan bli funnet i [26]. Eidsiva har som mange andre nettselskaper valgt å bruke Sintef sin forskningsrapport «Sintef Energiforskning TR A6343[27]» som grunnlag for de tekniske kravene i sin avtale. Sintef sin forskningsrapport ble utarbeidet som en del av prosjektet «Distribusjonsnett 2020» i samarbeid med flere store nettselskaper og leverandører i Norge. Utover dette har Statnett gitt ut en viktig rapport: «Funksjonskrav i kraftsystemet (FIKS 2012)» [9], som kan bli funnet på Statnett sin hjemmeside. Her blir funksjonskrav for sentral- og regionalnettet gitt, og disse må tas hensyn til ved distribusjonsnett som leverer kortslutningsytelse til regional- og sentralnettet.

Et utdrag fra Sintef's rapport [27] vedrørende tekniske krav mot vern og utkobling av DG-enheter blir presentert nedenfor.

Frakobling skal skje i tilfelle:

- A. feil internt i DG-enheten inkludert kontrollanlegg, vern, bryterutspoler og likestrømsforsyning.
- B. DG-enheten forårsaker forstyrrelse i tilknyttet avgang som f.eks. effektpendlinger og spenningsavvik (frakobles hurtigst mulig)
- C. der en frakobling er nødvendig for å unngå at en feil i overliggende nett eller på en naboavgang fører til utkobling av tilknyttet avgang fra hovedtransformatorstasjonen
- D. utilsiktet øydrift i distribusjonsnettet (frakobling skal skje innen 1 sekund etter at øydrift oppstår)

Ved over- eller underspenning i målepunktet skal generatoren(e) automatisk frakobles i henhold til krav gitt i Tabell 2-2.

Alle DG-enheter som ikke er transient stabile skal kobles fra innen 0,2 sek ved alle spenninger under 85 % (tilsvarer U_{nedre} lik 85 %).

For DG-enheter med maksimum aktiv effektproduksjon over 30 kW skal spenningsgrenser og frakoblingstider være justerbare.

Tabell 2-2: Krav for automatisk utkobling ved over- eller underspenning

Spenningsområde i % av Merkespenning (U_n):	Maksimum frakoblingstid [s]
$U > 115$	0,2
$U > 110$	1,5
$U > 85$	1,5
$U > U_{nedre}^*$	0,2

* U_{nedre} settes av nettselskapet.

Ved unormal frekvens i målepunktet skal generatoren(e) automatisk frakobles i henhold til krav gitt i Tabell 2-3.

For DG-enheter med maksimum aktiv effektproduksjon over 30 kW skal frekvensgrenser og frakoblingstider være justerbare.

Tabell 2-3: Frekvensgrenser for automatisk utkobling.

Frekvensområde [Hz]:	Maksimum frakoblingstid [s]
$f > 51^*$	0,2
$f < 48$	0,2

* Frekvensgrense kan settes lavere, hvis dette er nødvendig for å sikre at krav gitt i dette dokumentet overholdes.

Frakobling skal skje automatisk ved feil internt i DG-enheten. Ved detektering av feil som ikke har resultert i en unormal driftssituasjon ref. DG-enhetens målepunkt, skal den frakobles automatisk ved en nødstop-prosedyre.

Ved intern kortslutning skal den feilbefengte anleggsdelen frakobles raskest mulig (for eksempel innen 0,2 sek).

Alle DG-enheter skal kunne frakobles ved over- og kortslutningsstrøm. Strømgrenser og maksimum frakoblingstider bestemmes av nettselskapet.

For alle DG-enheter som ikke er transient stabile skal frakobling skje raskest mulig ved over- og kortslutningsstrøm.

I visse feilsituasjoner hvor det er klart at DG-enheten er transient stabil, er det ønskelig at DG-enheten ikke frakobles. I slike situasjoner skal overstrøms-/kortslutningsvernet kunne blokkeres.

Eventuell automatisk innkobling tillates normalt ikke og må kun aktiveres etter spesiell tillatelse fra nettselskapet.

Måleverdier for bruk til vernformål skal overføres direkte fra måletransformator til vernenhet.

Utkommando fra vernet skal gå direkte fra vernenheten til effektbryter, ikke gjennom andre kontrollenheter.

Nettselskapet kan kreve frakobling av hele DG-enheten ved jordfeil (usymmetri i spenning), med grenseverdi for U_0 og frakoblingstid (normalt 1,3 – 2 s) bestemt av nettselskapet. Dette er først og fremst aktuelt for selvmagnetiserende generatorer med maksimum aktiv effektproduksjon større en 50 % av tilknyttet avgangs minimum last.

3 Simuleringer

Resultatene fra simuleringer blir presentert i dette kapitlet.

3.1 Beskrivelse av distribusjonsradialene

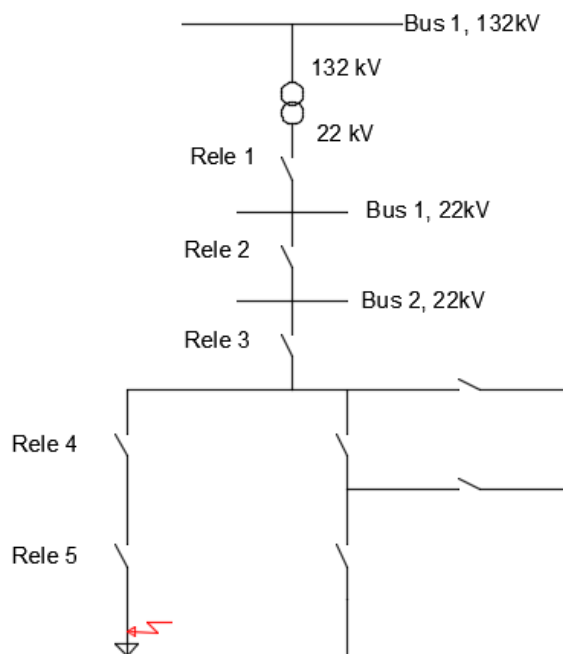
Simuleringene er utført med data fra to distribusjonsradialer i Eidsiva nett sitt distribusjonsnett. Navn og kjennemerker av betydning har blitt endret på, slik at oppgaven ikke røper sensitive opplysninger om kraftsystemet.

Alle utløserkarakteristikker som fremvises i dette kapitelet er laget i Power Factory, med mindre annet er spesifisert.

Ved forskjellige verdier oppgitt fra simuleringer utført i Power Factory og Netbas, er den verst tenkelig verdien brukt i videre beregninger og reléplanlegging.

3.1.1 Radial 1, enkel radial

I Figur 3-1 fremvises hovedstrukturen av radial 1 veldig forenklet med plasseringene av reléene og feilsted 1 (Utløsertider for relé se Tabell 3-2.). Feilsted 1 er en kjent plassering i nettet fra en tidligere feil som fikk både relé 4 og 5 til å løse ut. Fysiske avstander mellom enheter på radialen er presentert i Tabell 3-1. For full beskrivelse av nettet vennligst se vedlegg A.



Figur 3-1: Distribusjonsradial vist grafisk med plassering av reléer og svingmaskin på Bus 1, 132 kV

Svingmaskinen som brukes ligger på 132 kV- samleskinna før 132/22 kV- transformatoren. Verdiene på svingmaskinen har blitt kalkulert fra det overliggende nett i Netbas for å få reelle verdier. Verdiene sees i vedlegg A. En ting som må bemerkes er at Netbas bruker merkespenningen ved kortslutningsberegninger og ikke den reelle verdien.

Tabell 3-1: Fysisk avstand mellom reléer på radial 1.

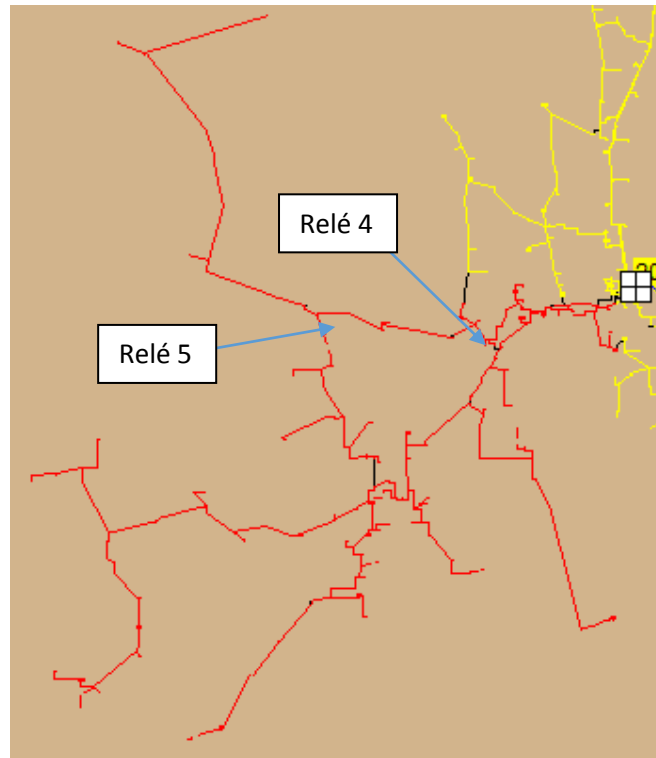
Fra	Til	Avstand [km]
T1/relé 1	Relé 3	2,36
Relé 3	Relé 4	7,39
Relé 4	Relé 5	5,39
Relé 5	Feilsted	10,33
Feilsted	Radial ende	3,84

Utløsertidene for reléene i radial 1 er fremvist i Tabell 3-2. Som det kommer frem her, har reléene to innstillinger, momentan og tidsforsinket utløsning. Videre i simuleringene vil det være relé 3, 4 og 5 som vil være i hovedfokus. Relé 4 og 5 har en innstilt HGIK på 0,5 sek. I tillegg har relé 4 LGIK med pausetid på 30 sekunder. Effektbryterne nummereres etter tilknyttet relé. Eksempel: Relé 1 er tilknyttet effektbryter 1.

Tabell 3-2: Gamle utløsertider og strøminnstillinger for relévern på radial 1

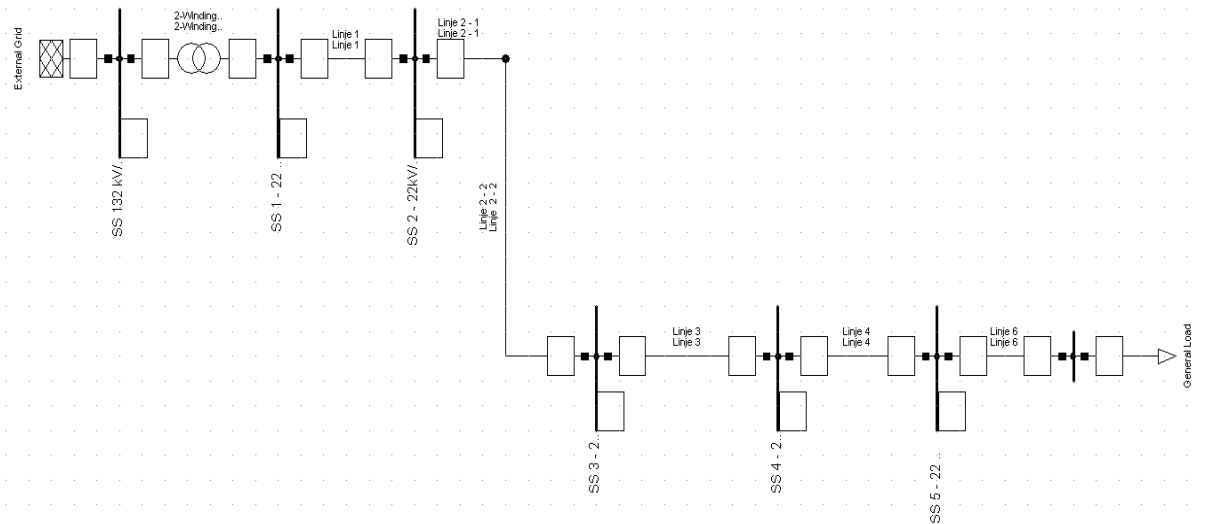
Relé 1	I>	1040 A
	T>	1,2 Sek
	I>>	∞ A
Relé 2	I>	400 A
	T>	0,9 Sek
	I>>	8000 A
Relé 3	I>	200 A
	T>	0,6 Sek
	I>>	1600 A
Relé 4	I>	100 A
	T>	0,3 Sek
	I>>	500 A
Relé 5	I>	100 A
	T>	0,1 Sek
	I>>	400 A

Figur 3-2 viser radial 1 (merket i rødt) i hele sin utstrekning med plasseringen til relé 4 og 5. Avgreininger merket gult er andre radialer ut fra 22 kV samleskinne. De svarte avgreiningene er linjer eller kabler som kan brukes ved omlegging av nettet, grunnet feil eller vedlikehold. Som man ser her består radial 1 av mange flere avgreininger og har høyere kompleksitet enn det kommer frem av Figur 3-1.



Figur 3-2: Oversiktsbilde av radial 1, med plassering av relé 4 og 5.

Figur 3-3 viser modellen bygget i Power Factory. Denne modellen har vært nødvendig for å se og undersøke forskjellen mellom invers- og konstanttidskarakteristikk, og i arbeidet å utarbeide innstillinger for inverstidskarakteristikk. Modellen ble først laget som en del av spesialiseringsprosjektet [6] og har blitt videreutviklet i denne rapporten. Sammenligning av simuleringsresultater fra modellen i Netbas, og modellen i Power Factory viser at resultatene ikke er helt identiske, men det har vært en forbedring etter videreutviklingen.

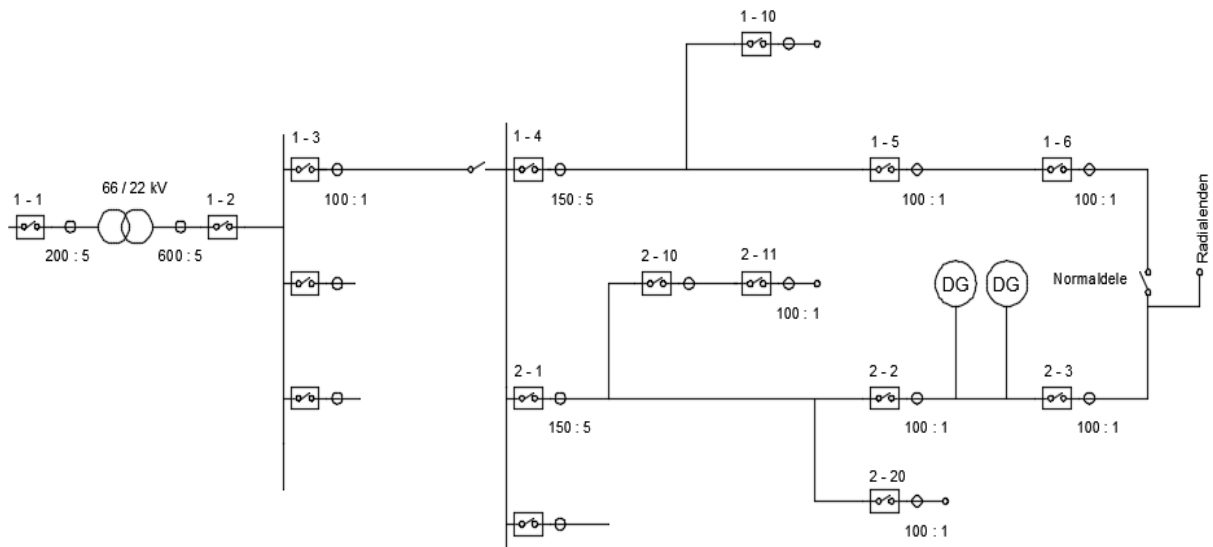


Figur 3-3: Model av radial 1, laget i Power Factory

3.1.2 Radial 2, ringdrift og distribuerte kilder

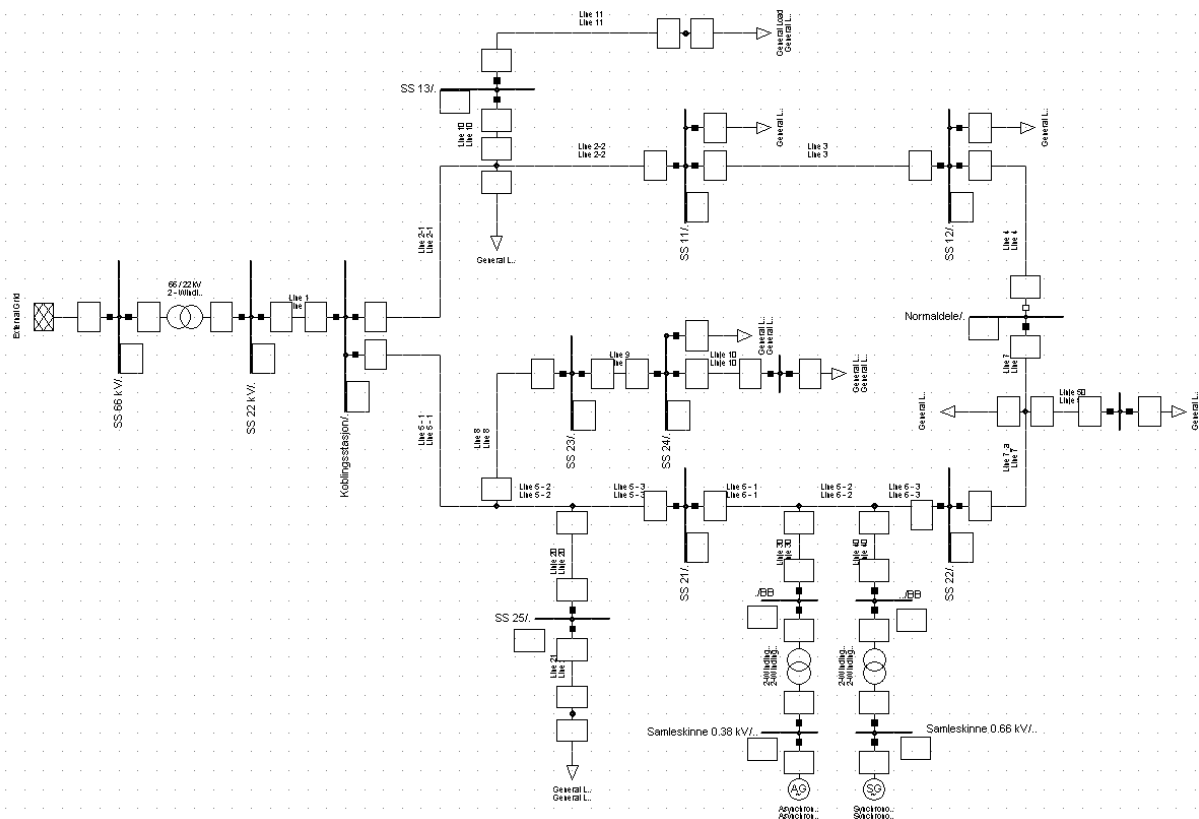
Nedenfor i Figur 3-4 er radial 2 fremvist i et enkelt enlinjeskjema som inneholder plasseringen til relévernene og den distribuerte produksjonen. Det virkelige nettsystemet/ radialen er mye mer komplekst, men på grunn av utstrekningen er dette vanskelig å fremvise. For full beskrivelse av nettet som er nødvendig til simuleringene, vennligst se Vedlegg B.

Den distribuerte produksjonen består av 2 små vannkraftaggregat. I Figur 3-4 er det fremstilt som en enhet, da avstanden mellom disse er veldig liten. I Netbas og Power Factory er det modellert to enheter for å oppnå mest korrekte verdier. Produksjonen blir gjort av en asynkron generator og en synkrongenerator med henholdsvis merkeytelser på 0,623 og 1,395 MVA. Disse generatorene har det vært problematisk å innhente korrekte elektriske parametere for. Som en følge av dette er det tatt utgangspunkt i de kjente data, og med hjelp fra førstelektor Trond Toftvevag og PhD-stipendiat Abbas Lotfi, er de parametere som manglet valgt. Støtte i litteratur for valg av disse parametere finnes i [28]. Reléinnstillingene for vernene som sitter ved DG-enhetene har ikke vært å oppdrive. Erfaringsmessig sier driftsingeniørene hos Eidsiva at DG-enhetene faller ut ved hver feil ustabilitet eller feilsituasjon på radialen. Om de blir koblet fra så raskt at de ikke er med og bidrar under feilen, er vanskelig å bestemme. Det er derfor valgt å inkludere DG-enhetene og deres bidrag under alle feil som blir simulert. En total oversikt over data for generatorene er å finne i vedlegg B.



Figur 3-4: Enkelt enlinjeskjema av radial 2 med merkede relévern, strømtransformatorer, normaldele og distribuert produksjon (DG).

Svingmaskinen som brukes ligger på 66 kV samleskinna før 66/22 kV transformatoren. Verdiene på svingmaskinen har blitt kalkulert fra det overliggende nett i Netbas for å få reelle verdier. Verdiene sees i vedlegg B. En ting som må bemerkes, er at Netbas bruker merkespenningen ved kortslutningsberegninger og ikke den reelle verdien. Dette er et resultat av at standarden IEC 60909 blir brukt ved kortslutningsberegninger i Netbas. Power Factory benytter samme standard. Dette vil gi noe lavere kortslutningsstrømmer i simuleringene i forhold til virkeligheten, da merkespenningen er høyere enn den faktiske spenningen. Modellen av radial 2 bygget i Power Factory er presentert i Figur 3-5. I modellen laget i Power Factory er lastene samlet på strategiske punkter slik at hvert relé måler samme laststrøm som i Netbas. Det finnes noen forskjeller mellom resultatene fra Netbas modellen og modellen i Power Factory. Disse er gått nærmere inn på i kapittel 3.4.1.



Figur 3-5: Grafisk modell laget i Power Factory.

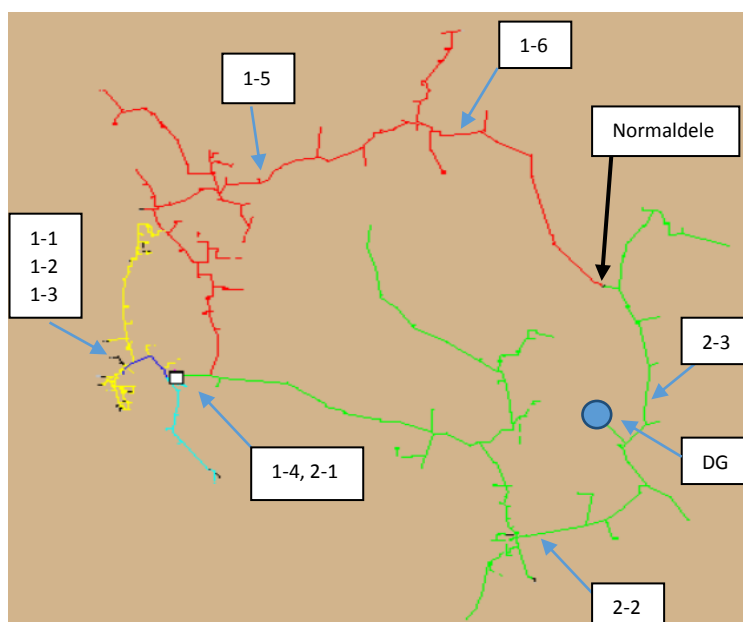
Totalt inneholder radialen 11 relévern, men hovedfokuset vil være på de 6 relévern som er å finne på ringen/masken som radialen lager (relé: 1-4, 1-5, 1-6, 2-1, 2-2 og 2-3). Ved problemer hvor de andre reléene blir berørt, blir disse tatt med i betraktning. Utløsertidene for reléene i radial 2 er fremvist i Tabell 3-3. Innstillingene til relé 1-10 har ikke blitt funnet, og det er usikkerhet om det er i drift. Det hersker litt tvil om relé 2-2 er retningsbestemt. Av denne årsak er alle reléene satt til å være ikke-retningsbestemte for de første simuleringene.

Alle reléene har to innstillinger, momentan og tidsforsinket utløsning, som er i fokus i denne oppgaven. Utover dette inneholder de fleste reléene innstillinger for jordfeil, men jordfeil blir ikke gjennomgått i denne rapporten.

Tabell 3-3: Utløsertider for relévern på radial 2.

Relé 1 - 1	I>	240 A	Relé 2 - 1	I>	180 A
	T>	1,6 Sek		T>	0,7 Sek
	I>>	733 A		I>>	1050 A
Relé 1 - 2	I>	720 A	Relé 2 - 2	I>	160 A
	T>	1,3 Sek		T>	0,4 Sek
	I>>	2000 A		I>>	640 A
Relé 1 - 3	I>	400 A	Relé 2 - 3	I>	140 A
	T>	1,0Sek		T>	0,1 Sek
	I>>	2000 A		I>>	210 A
Relé 1 - 4	I>	180 A	Relé 2 - 10	I>	120 A
	T>	0,6 Sek		T>	0,4 Sek
	I>>	900 A		I>>	950 A
Relé 1 - 5	I>	160 A	Relé 2 - 11	I>	60 A
	T>	0,3 Sek		T>	0,1 Sek
	I>>	640 A		I>>	360 A
Relé 1 - 6	I>	140 A	Relé 2 - 20	I>	80 A
	T>	0,1 Sek		T>	0,4 Sek
	I>>	250 A		I>>	320 A
Relé 1 - 10	I>	?			
	T>	?			
	I>>	?			

Fremstilt i Figur 3-6 er nettmodellen som ligger lagret i Netbas. Linjer merket i rødt er fra relé 1-4 og ut til normaldelet. Linjer i grønt er fra 2-1 og ut til normaldelet. Linjer merket i mørkeblått er fra relévern 1-1 og ut til 1-4 og 2-1.



Figur 3-6: Nettmodell i Netbas for radial 2. Fremvist relé-, DG- og normaldele-plassering.

De fysiske avstandene mellom relévernene er oppgitt i Tabell 3-4, i km. Ved «ubetydelig» avstand, sitter reléene i samme transformator/koblingsstasjon. Relé 1 - 4 og 2 - 1 sitter i samme koblingsstasjon, men på hver sin avgang, slik som vist i Figur 3-4.

Tabell 3-4: Fysisk avstand mellom reléene på radial 2, hentet fra Netbas.

Fra Relé	Til Relé	Avstand [km]
1 - 1	1 - 2	Ubetydelig
1 - 2	1 - 3	Ubetydelig
1 - 3	1 - 4	3,47
1 - 4	1 - 5	16,38
1 - 5	1 - 6	10,08
1 - 6	Normaldelet	11,76
2 - 1	2 - 2	20,48
2 - 2	2 - 3	10,74
2 - 3	Normaldelet	8,06

3.2 Forutsetninger og forenklinger utført før simuleringen

På radialene det er utført kortslutningsberegninger på, er nettet gjennomgått for å kontrollere at riktige nettdata ligger inne. Det som er sjekket er lengde, tverrsnitt og impedansen på kabler og linjer. Utover dette er det vanskelig å forsikre seg mer mot dokumentasjonsfeil som fører til feil i simuleringene. Feil i selve simuleringprogrammene anses som lite sannsynlig.

Det har ikke vært mulighet til å teste reléene i virkeligheten, og det antas at disse fungerer slik innstillinger er satt, og at tilhørende effektbrytere fungerer slik tiltenkt. I modellen laget i Power Factory er det ikke brukt reléer av samme fabrikat som i virkeligheten, men relé som har tilsvarende funksjoner og er å finne i Power Factory sin tilhørende database. Linjene som ligger i simuleringen består i virkeligheten av mange forskjellige linjer med forskjellig tverrsnitt. Verdiene for de forskjellige linjene er hentet fra Netbas og har blitt lagt sammen for å kunne utføre simuleringen. Det er valgt å bruke standarden IEC 60909 til kortslutningsberegninger i Power Factory for å ha samme grunnlag som Netbas. I modellen bygget i Power Factory er ikke forbruket/lastene fordelt slik som i Netbas og i det virkelige nettet. Det er istedenfor plassert laster på strategiske punkter i modellen, slik at hvert relé måler samme laststrøm som i Netbas.

Det antas at strømtransformatorene fungerer optimalt og leverer korrekte verdier til reléene. Strøm- og spenningstransformatorene i Power Factory er satt til å være ideelle under simulering. Korrekt størrelse på strøms-transformatorene har blitt brukt der data for dette har vært tilgjengelig. Metning av strøm- og spenningstransformatorene er ikke analysert.

Som nevnt i kapittel 3.1.2, har det ikke vært mulig å oppdrive reléinnstillingen for DG-enhetene. Det er dermed tatt utgangspunkt i at DG-enhetene vil være tilknyttet og bidra under hele feilforløpet. Det er ikke sett på noen andre påvirkninger som DG-enheter har på et distribusjonsnett, slik som spenningsøkning, flicker eller øydrift.

Det er ikke tatt hensyn til eventuelle selektivetsproblemer mot høyspenningssikringer på distribusjonstransformatorene ved utarbeidelse av reléplanene.

Ved kalkulering av feilstrømmer i Power Factory er det valgt å ikke ta hensyn til lysbuemotstanden i feilpunktet. Ved simuleringer av impedansen sett av distansevernet i Power Factory er det derimot valgt å ta med lysbuemotstanden, da den vil påvirke resultatene betraktelig. Eksempel på dette blir presentert. Funksjon for innsetting impedans i feilpunktet, er ikke funnet i Netbas.

3.3 Simulering og resultater, radial 1

Ved flere feilsituasjoner som har oppstått utenfor relévern 5 på radial 1, har både relévern 4 og 5 løst ut momentant. Dette er ikke i henhold til reléplanen, og det har ført til at langt flere kunder har blitt strømløse ved slike feil enn det som er nødvendig. I dette kapittelet blir nye reléinnstillinger utarbeidet. For nøyere gjennomgang og eksempler på spesifikke feil, vennligst se [6]. Videre sammenlignes utkoblingstider ved skifte fra konstanttidskarakteristikk til inverstidskarakteristikk.

Utarbeidelse av nye konstant tidsinnstillinger er utført med tall fra Netbas. Utarbeidelsen av innstillinger for inverstidskarakteristikker og sammenligningen av disse opp mot konstante tidsinnstillinger, er utført i Power Factory.

3.3.1 Nye reléplaninnstillinger

Kortslutningsstrømmer til bestemmelse av nye reléinnstillinger er hentet i Netbas og er fremvist i Tabell 3-5. Det er under beregningene lagt vekt på at relé 3 og 4 skal kunne fungere som back-up for henholdsvis relé 4 + 5 og for relé 5. Den bakenforliggende årsaken til en lavere $I_{k,2}$ -polt min for relé 3, er at den parallelle avgreiningen som går fra relé 3 har en lavere kortslutningsstrøm.

Tabell 3-5: Kortslutningsstrømmer til kalkulering av nye reléinnstillinger.

Relé	Ik, maks [A]	Ik, 2-polt min [A]	Maksimal laststrøm [A]
3	3818	361	127
4	2069	498	10
5	1431	498	1

Tidsforsinket utkobling:

Ved å bruke last- og kortslutningsstrømmene i Tabell 3-5 og dagens reléinnstillinger med konstant tidsforsinkelse fra Tabell 3-2 i formel 2-1 blir resultatet:

$$\text{Relé 5: } 1,5 A \leq 100 A \leq 398 A$$

$$\text{Relé 4: } 15 A \leq 100 A \leq 398 A$$

$$\text{Relé 3: } 191 A \leq 200 A \leq 288 A$$

Relé 3 er det reléet som er nærmest å bryte tommelfingerregelen i formel 2-1, men holder seg innenfor. Dette betyr at dagens reléinnstillinger for konstant tidsforsinkelse ikke har behov for endring.

Momentan utkobling:

Reléinnstillingene for momentan utkobling gitt i Tabell 3-2 viser at relé 5 kobler momentant ut ved strømmer over 400 A. Laveste 2-polt kortslutningsstrøm er funnet til å være 498 A. Alle kortslutningsstrømmene vil da forårsake momentan utkobling. Ved overgangsmotstand i feilpunktet vil man kunne oppleve lavere strømmer. Innstillingen blir dermed holdt uendret.

Relé 4 kobler i dag momentant ut ved strømmer over 500 A. Dette er et problem, da selektivitet ikke blir oppnådd på radialen. Ved relé 5 er den høyeste simulerte kortslutningsstrømmen funnet til å være 1431 A. Ved å øke momentanutkoblingen på relé 4, til rundt 1450 - 1500 A, vil selektivitet mellom vernene være oppnådd.

Relé 3 kobler i dag momentant ut ved strømmer over 1600 A. Med dette oppnås ikke selektivitet for feil mellom relé 4 og 3. Største kortslutningsstrøm ved relé 4 er på 2069 A. Momentanutkoblingen på relé 3 burde ligge over dette. Ved å endre momentaninnstillingene til 2100 A vil selektivitet være oppnådd.

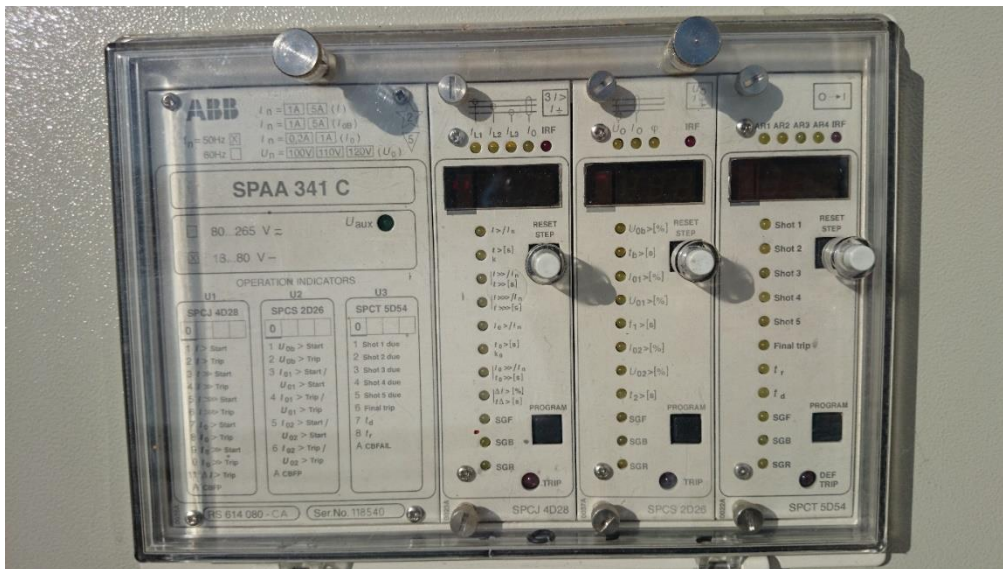
Anbefalte endringer av innstillingene for momentan utkobling blir presentert i Tabell 3-6.

Tabell 3-6: Nye innstillinger for momentanutkobling på radial 1.

Relé	Gammel innstilling [A]	Ny innstilling [A]
3	1600	2100
4	500	1450
5	400	400

3.3.2 Utførelse av omstilling til nye reléinnstillinger

Som en følge av resultatene utarbeidet i delkapittel 3.3.1, ble det sammen med Eidsivas nett sin kontaktperson Sidsel Trætteberg bestemt å endre på innstillingene på de aktuelle reléene. De aktuelle endringene var momentaninnstillingene på relé 3 og 4. Endringene ble utførte den 3. mars 2015. Relé 4 er vist i Figur 3-7.



Figur 3-7: Bilde av relé 4.

3.3.3 Feilsituasjoner etter omstilling av reléinnstillinger

Etter at endringene ble utført på de nevnte innstillingene, har det oppstått en feil på kabelskoene inn på effektbryteren ved relé 5. Dette førte til at denne effektbryteren etter denne hendelsen har vært forbikoblet. Dette er ikke en ønsket situasjon da det blir relé 4, med tilhørende effektbryter, som må koble ut ved eventuelle feil utenfor relé 5 også. Det har dermed ikke vært mulig å se om endringen som ble utført kan ha ført til bedre selektivitet på radialen. Det har etter denne forbikoblingen vært feil på radialen som kunne vært begrenset av de nye innstillingene på relé 5 og kunne vært en bekreftelse på at disse fungerte. Hvor lenge denne effektbryteren vil være forbikoblet, er i skrivende stund ukjent. Det foreligger dermed ingen bekreftelse på at disse innstillingene har løst selektivetsproblemet per dags dato.

3.3.4 Sammenligning av inverstidskarakteristikk kontra konstanttidskarakteristikk

Til å sammenligne utløsertidene for de forskjellige karakteristikkene er det tatt utgangspunkt i en modell i Power Factory som ble laget under fordypningsoppgaven høsten 2014, for så å videreutvikle og forbedre denne. Til sammenligning mellom utløserkarakteristikkene er det brukt reléinnstillingene som ble funnet i kapittel 3.3.1 for konstant. Som reléinnstillinger for inverstidskarakteristikk er det blitt utarbeidet innstillinger for tidsforsinket utkobling med Power Factory, og disse er fremvist i Tabell 3-7. De momentane innstillingene er satt lik konstantinnstillingene. Inverskarakteristikk som er blitt brukt er av typen «standard invers», typebetegnelse i Power Factory: No. 1 SI30xDT (standard invers). Det er ikke tatt hensyn til eventuelle selektivetsproblemer mot høyspenningssikringer på distribusjonstransformatorene.

Tabell 3-7: Reléinnstillinger for inverstidskarakteristikk, radial 1

Relé 2	I>	400 A
	Time Dial	0,150
Relé 3	I>	200 A
	Time Dial	0,100
Relé 4	I>	100 A
	Time Dial	0,075
Relé 5	I>	100 A
	Time Dial	0,025

De forskjellige utkoblingstidene er fremvist i Tabell 3-8 og Tabell 3-9, for henholdsvis konstant- og inverstidskarakteristikk. Tidene er hentet fra simulering i Power Factory. Til utregning av gjennomsnittlig utkoblingstid for inverstidskarakteristikk er det brukt funksjon for utkoblingstid gitt i Tabell 2-1, sammen med $I_{k\ 3p,maxs}$ og $I_{k\ 2p,min}$ som ligger i reléets primære beskyttelsessone. Med «momentan» menes det at det ikke er noen tidsforsinkelse. Under «gjennomsnittlig utløsertid» er ikke den momentane utkoblingsperioden tatt med, da denne perioden er lik for begge innstillingene.

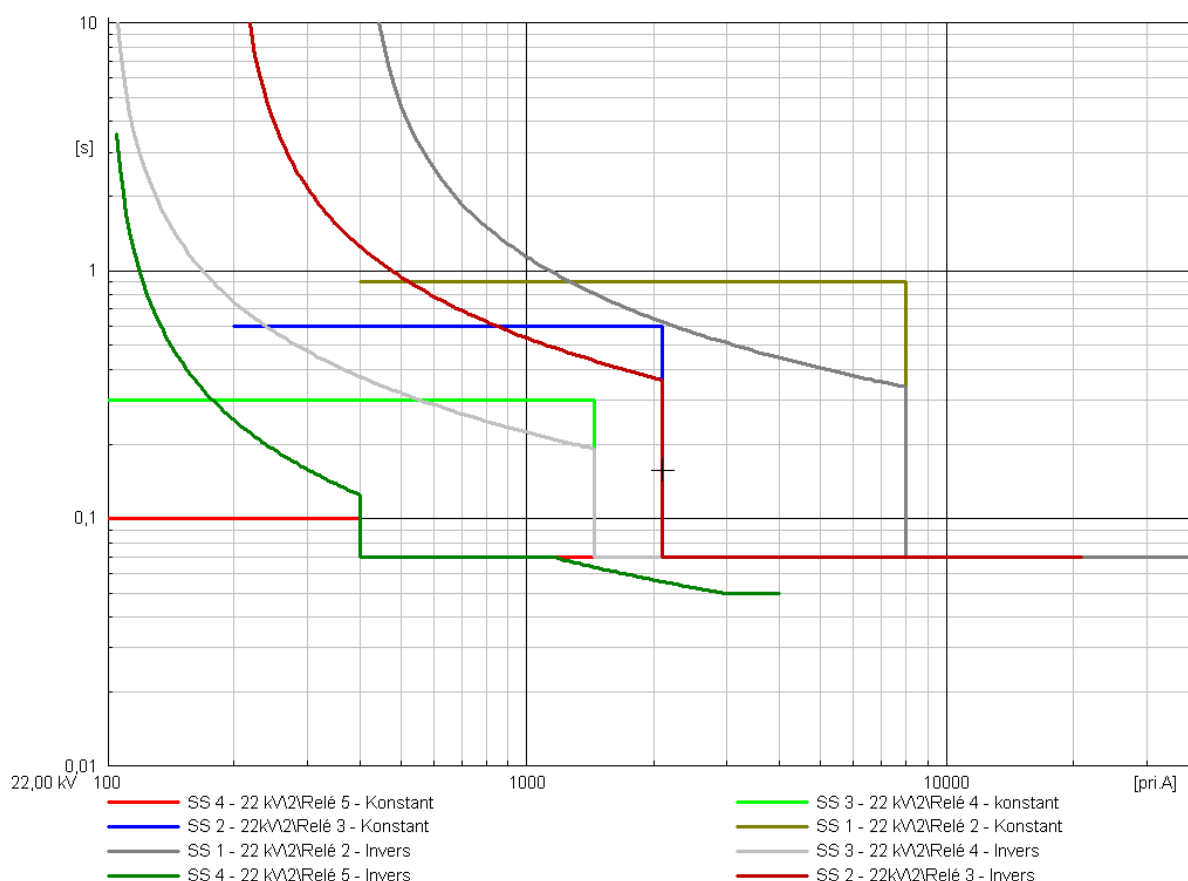
Tabell 3-8: Tider for konstanttidsinnstillinger, radial 1

	Maksimal utløsertid [s]	Maksimal utløsertid ved svikt på dette reléet [s]	Gjennomsnittlig utløsertid [s]
Relé 5	Momentan	0,3	Momentan
Relé 4	0,3	0,6	0,3
Relé 3	0,6	0,9	0,6
Relé 2	0,9		0,9

Tabell 3-9: Tider for inverstidsinnstillinger, radial 1

	Maksimal utløsertid [s]	Maksimal utløsertid ved svikt på dette reléet [s]	Gjennomsnittlig utløsertid [s]
Relé 5	Momentan	0,345	Momentan
Relé 4	0,215	0,408	0,203
Relé 3	0,329	0,745	0,308
Relé 2	0,508		0,400

Som det kommer frem i Tabell 3-8 og Tabell 3-9, vil relé 5 koble ut i momentanperioden uansett feil. Ved sammenligning av resultatene kommer det tydelig frem at ved inverstidskarakteristikk oppnås det en betydelig reduksjon i den maksimale og den gjennomsnittlige utkoblingstiden, sammenlignet med konstanttidskarakteristikk. Ved relésvikt vil utkoblingstidene være tilnærmet like eller reduserte ved bruk av inverstidskarakteristikk.



Figur 3-8: Invers- og konstanttidskarakteristikk på relé i radial 2.

3.4 Simulering, radial 2

Radial 2 er som beskrevet tidligere en radial som består av en øvre og en nedre avgang som kan kobles sammen langt ute og danner med det en ring. Dette sammenkoblingspunktet kalles i oppgaven for normaldele. På radial 2 er det to DG-enheter tilknyttet på nedre avgang.

I dette delkapittelet blir dagens reléinnstillinger undersøkt. Videre blir reléinnstillinger for 4 koblingssenarioer som endrer nettet på radial 2, utarbeidet. Utarbeidelse av reléinnstillinger for inverstidskarakteristikk ved normalkoblet nett utarbeides. Utløsertider ved bruk av inverstidskarakteristikk blir så sammenlignet med utløsertidene ved konstanttidskarakteristikk. Tilslutt blir innstillinger for distansevern utarbeidet for normalkoblet radial 2. samtidig vises hvordan lysbueresistansen spiller inn ved distansevern vises.

Netbas er brukt så mye som mulig under utarbeideselen av nye reléinnstillinger, men ved overgang til inverstidskarakteristikk og distansevern, er det blitt brukt Power Factory. Dette da Netbas ikke har mulighet til å tegne flere utløserkarakteristikker i samme tid-strøm-diagram, samt at det ikke er funnet noen funksjon for distansevern i Netbas.

3.4.1 Kortslutningsstrømmer ved normalsituasjon og eventuelle problemer

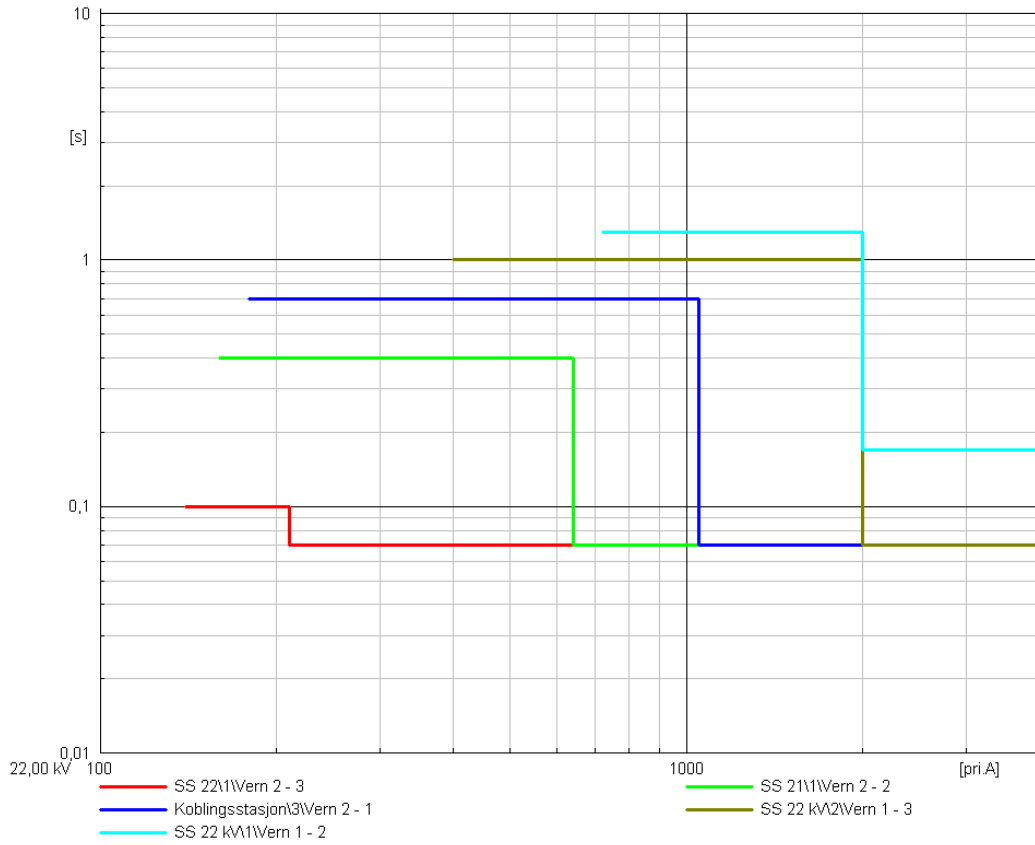
Dagens reléinnstillinger på radial 2, som ble fremstilt i Tabell 3-3, har blitt undersøkt ved simulering i Power Factory (PF) og Netbas. I Tabell 3-10 blir kortslutningsstrømmer ved hvert enkelt relé fra simulering i Power Factory og Netbas vist. Som man ser i tabellen, spesielt ved relé 2-2 og 2-3, vil de to DG-enhetene bidra med kortslutningsstrømmer som ikke kan oversees.

Fra resultatene i Tabell 3-10 kan modellene i Netbas og Power Factory sies å gi tilnærmet like resultater. Noen variasjoner kan derimot sees og har blitt undersøkt nærmere. Av disse kan det nevnes at simuleringsresultatene i Power Factory er lavere enn / ligger under resultatene fra Netbas for den øvre avgangen, men ligger over for den nedre avgangen. Dette gjelder både med og uten DG-enhetene innkoblet. Modellen har blitt undersøkt for feil flere ganger uten å finne noen direkte bakenforliggende grunn for dette i modellen i Power Factory.

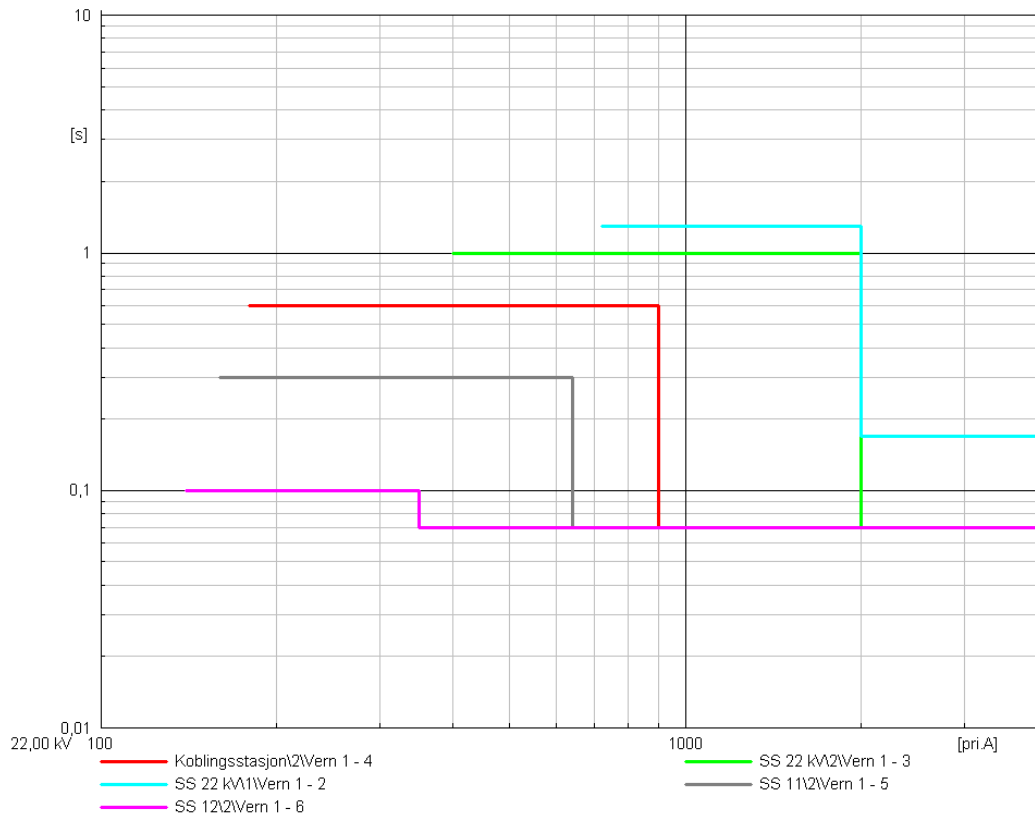
I Figur 3-9 og Figur 3-10 blir utløserkarakteristikkene som er en grafisk fremstilling av reléinnstillingene for henholdsvis nedre og øvre avgang fra Tabell 3-3 vist (bare reléene som ligger på radialringen).

Tabell 3-10: Kortslutningsstrømmer ved forskjellige feilpunkt på radial 2, med og uten DG-enheter tilknyttet.

Feilpunktets plassering	Type kortslutningsstrøm	PF uten DG [kA]	PF med DG [kA]	Netbas uten DG [kA]	Netbas med DG [kA]
Relé 1 – 2 og 1 - 3	3-p maks	3,152	3,339	3,130	3,289
	2-p min	2,593	2,736	2,575	2,706
Relé 1 – 4 og 2 - 1	3-p maks	2,387	2,580	2,370	2,532
	2-p min	1,914	2,063	1,895	2,030
Relé 1 - 5	3-p maks	0,964	0,992	1,002	1,029
	2-p min	0,707	0,725	0,737	0,756
Relé 1 - 6	3-p maks	0,675	0,688	0,696	0,709
	2-p min	0,483	0,491	0,495	0,503
Relé 1 - 10	3-p maks	1,015	1,046	1,056	1,086
	2-p min	0,746	0,766	0,779	0,800
Normaldele ved øvre avgang	3-p maks	0,476	0,482	0,488	0,494
	2-p min	0,333	0,336	0,337	0,340
Relé 2 - 2	3-p maks	0,876	1,079	0,873	1,034
	2-p min	0,646	0,795	0,635	0,766
Relé 2 - 3	3-p maks	0,618	0,803	0,616	0,761
	2-p min	0,444	0,577	0,436	0,550
Relé 2 - 10	3-p maks	1,044	1,235	1,039	1,194
	2-p min	0,776	0,919	0,764	0,889
Relé 2 - 11	3-p maks	0,839	0,963	0,836	0,938
	2-p min	0,610	0,699	0,599	0,678
Relé 2 - 20	3-p maks	0,852	1,034	0,849	0,994
	2-p min	0,626	0,760	0,616	0,733
Normaldele ved nedre avgang	3-p maks	0,490	0,605	0,483	0,573
	2-p min	0,345	0,427	0,333	0,403
Lengste linje	3-p maks	0,400	0,476	0,395	0,455
	2-p min	0,278	0,331	0,269	0,314



Figur 3-9: Reléinnstillinger for nedre avgang ut fra koblingsstasjon.

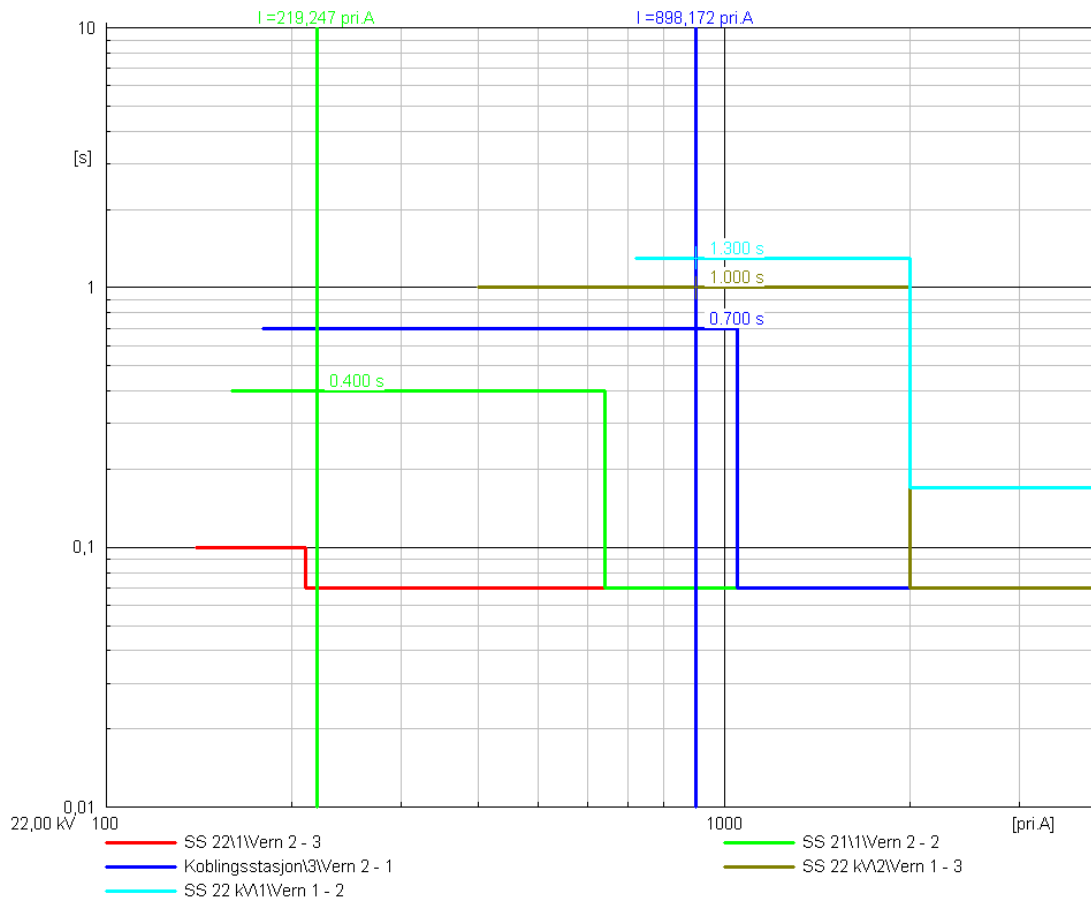


Figur 3-10: Reléinnstillinger for øvre avgang fra koblingsstasjon.

Ved undersøkelse av utløserkarakteristikkene i Figur 3-9, uten å se på påvirkningen av DG-enhetene, kan man se at momentanutkoblingsområdet til relé 1-2 og 1-3 starter ved samme strøm og har veldig liten koordineringstid, 0,1 sekund ved feilstrømmer over 2000 A. En slik kort koordineringstid kan føre til utkobling av begge reléene. Slike feilstrømmer (>2000 A) kan, ifølge simuleringer utført i Power Factory, oppstå ved 3 polt kortslutning nedstrøms relé 2-1 og kan plasseres så langt ut som 16,5 % ut på det simulerte linjesegmentet mot relé 2-2. Eller så langt som 16 % nedstrøms relé 1-4 på linjesegmentet mot 1-5. Feil rett nedstrøms relé 1-4 eller 2-1 kan dermed få både relé 1-2 og 1-3, sammen med 1-4 eller 2-1, til å løse ut samtidig på momentanutkobling. Tilnærmet samme resultat er oppnådd i Netbas med utkobling av de 3 nevnte reléene ved feil ut til 3 km nedstrøms relé 1-4 og 2-1.

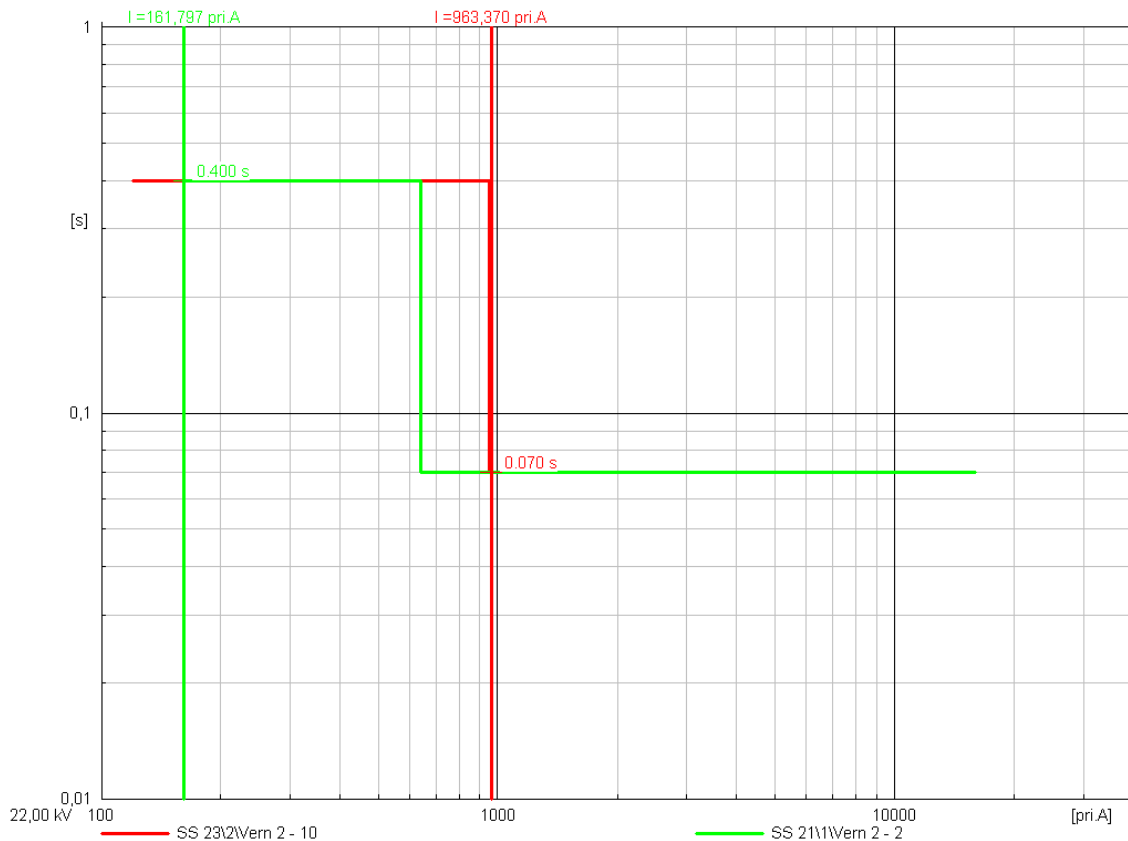
I det tidsforsinkede området av reléinnstillingene er koordineringstiden lik 0,3 sekund mellom hvert relé for den nedre avgangen (Figur 3-9). Den minste koordineringstiden mellom reléene I det tidsforsinkede området av reléinnstillingene vil være 0,2 sekunder og er å finne mellom relé 1-5 og 1-6 på den øverste avgangen, se Figur 3-10.

Hvordan DG-enhetene påvirker kortslutningsstrømmene og eventuelt selektiviteten på radial 2, er blitt undersøkt ved simulering. Figur 3-11 viser simuleringsresultatet fra Power Factory av en 3-polt kortslutning ved feilpunkt i T-koblingen ved avgreiningen til relé 20. Som presentert i Figur 3-11 vil både relé 2-2 og 2-1 koble ut ved en slik feil, med feilstrømmer på henholdsvis 219 A (0,4 Sek) og 898 A (0,7 Sek). Simuleringsresultater fra Netbas gir for samme situasjon feilstrømmer lik 180 A og 894 A. I begge programmene gir dette utkobling av både relé 2-1 og 2-2 (sympatiutkobling). Dette vil som omtalt i kapittel Sympatiutkobling 2.1.4.1, ikke føre til unødvendig utfall av strømkunder, men kan forlenge utetiden.



Figur 3-11: Feilstrømmer ved feil i avgreningspunktet mot relé 10.

Annen problematikk er ved feil mellom relé 2-10 og 2-11. Ved en slik feilsituasjon vil relé 2-10 og 2-2 kunne falle ut samtidig på 0,4 sekunder. Relé 2-2 faller som følge av DG-enhetenes bidrag til feilstrømmen og vil forårsake unødvendig utfall av strømkunder og økt usikkerhet rundt feilpunktet. Denne situasjonen vil bare oppstå hvis DG-enhetene ikke frakobles innen 0,4 sekunder (se antagelser og forutsetninger gjort om DG-enheter, kapittel 3.2). Feilstrømmer og utløserkarakteristikker for relé 2-2 og 2-10 med feil rett før relé 2-11 er presentert i Figur 3-12. Som man ser av figuren vil relé 2-10 i denne situasjonen koble ut i momentanområde med en feilstrøm på 963 A (momentangrense på 950 A). Relé 2-2 måler 161,8 A og faller ut ved 0,4 sek. Ved små endringer i kortslutningsytelsen i det overliggende nettet (som ved vedlikehold av linjer) vil denne situasjonen kunne forårsake uønsket utkobling (forårsaker lavere feilstrøm ved relé 2-10, og relé 2-10 kobler ikke ut før relé 2-2). Nøye undersøkelser og eventuelt målinger burde derfor gjøres ved slike situasjoner.



Figur 3-12: Utløserkarakteristikk og feilstrømmer for relé 2-2 og 2-10 ved feil nedstrøms relé 2-10.

3.4.2 Ny reléplan med retningsstyrte overstrømsvern

Det har blitt utført beregninger på radial 2 for å undersøke om selektivitet kan bli oppnådd med å legge til retningsbestemmelse på ett eller flere relévern. Det blir her kun fremvist resultater fra simuleringer utført med nettet delt ved normaldelet. Beregningsresultater og plasseringen for de 4 andre mulige delepunktene blir presentert i kapittel 3.4.3.

I forrige delkapittel (3.4.1) ble kortslutningsstrømmer for feil på mange strategiske punkter på radial 2 presentert. En feilsituasjon som førte til utkobling av relé 2-1 og 2-2 ble også fremvist og gjennomgått. Lignende feilsituasjon er beskrevet i teorikapittelet 0. Ved å utvide relé 2-2 til å være retningsbestemt vil dette problemet, og problematikken rundt utløsning av relé 2-2 og 2-10, kunne løses. Videre i rapporten vil de overnevnte feilene være antatt fjernet ved hjelp av retningsbestemmelse i relé 2-2

Andre endringer i reléplanene på radial 2 som anbefales som følge av simuleringresultatene, er fremvist i Tabell 3-11 og Tabell 3-12. Ved bestemmelse av grenser gitt i Tabell 3-12 blir formel 2-1 brukt. Utover en økning i strømgrensen til relé 1-2, er det ikke anbefalt noen store endringer i innstillingene. De små økningene i momentaninnstillingene er mest sannsynlig en følge av en økning i kortslutningsytelsen i det overliggende nettet.

Tabell 3-11: Gamle momentangrener, grove anslag på nye grenser og maksimalt oppnådd kortslutningsstrøm i enden av primærområdet til forskjellige relé, på radial 2.

Relé	Momentangrense [A]	3-polt kortslutning i enden av primær beskyttelsessone [A]	Anbefalte nye grenser [A]
1 – 2	2000	2387	2400
1 – 3	2000	2387	2400
1 – 4	900	1002	1000
1 – 5	640	696	700
1 – 6	350	488	Ingen endring
2 – 1	1050	1044	Ingen endring
2 – 2	640	616	Ingen endring
2 – 3	210	395	Ingen endring
2 – 10	950	963	1000
2 – 11	360	604	Ingen endring
2 – 20	320	721	Ingen endring

Tabell 3-12: Maksimal laststrøm, relégrenser for forsinket utkobling, minste kortslutningsstrøm og anbefalte nye grenser for relé på radial 2.

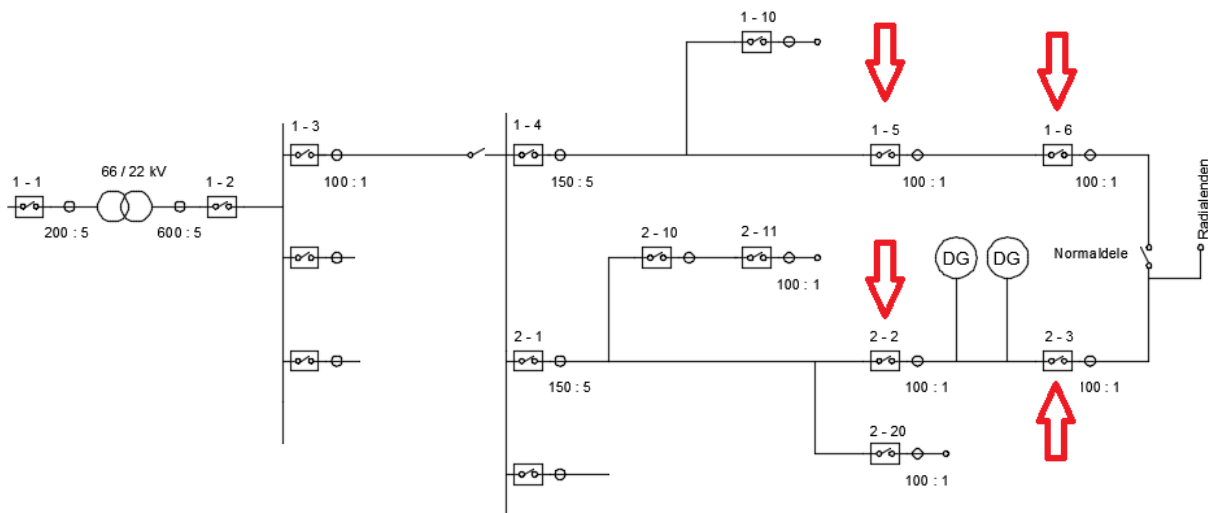
Relé	Maksimal laststrøm [A]	Grense i relé [A]	Ik 2-polt min, primær/backup-området. [A]	Anbefalte nye grenser [A]
1 – 2	572	720	1895 /	860
1 – 3	214	400	1895 / 635	Ingen endring
1 – 4	105	180	707 / 483	Ingen endring
1 – 5	27	160	483 / 333	Ingen endring
1 – 6	6	140	333 / 333	Ingen endring
2 – 1	84	180	635 / 436	Ingen endring
2 – 2	16	160	436 / 269	Ingen endring
2 – 3	7	140	269 / 269	Ingen endring
2 – 10	14	120	599 / 418	Ingen endring
2 – 11	2	60	418 / 418	Ingen endring
2 – 20	7	80	615 / 615	Ingen endring

Strømgrensen for den forsinkede utkoblingen av relé 1-2 er anbefalt høynet noe, da avstanden mellom maksimale laststrøm og den tidligere grensen ikke oppfyller tommelfingerregel fra formel 2-1. Relé 1-2 sitter mellom transformatoren og samleskinnen, og skal koble ut ved feil på samleskinnen. Videre i rapporten vil disse nye reléinnstillingene bli benyttet.

3.4.3 A- og B- innstillinger

Som presentertog forklart i kapittel 3.1.2, kan betydelige endringer i topologien til radial 2 utføres ved behov (feilsituasjon, vedlikehold eller nybygging) ved hjelp av seksjonering. Slike endringer i topologien kan skape et behov for å gjøre endringer i reléplanen for å sikre utkobling av alle feil og

opprettholde selektivitet mellom reléverne. Per dags dato er det normalt for personell ved driftssentralen til Eidsiva å flytte delet til totalt 4 andre steder på radialen, i tillegg til normaldelets originale posisjon. Stedene er fremvist i Figur 3-13, hvor normaldelet er vist med horisontal pil på høyre side. Alle de 4 stedene sammenfaller med der det sitter et relé i nettet. Videre i rapporten vil delene ha samme navn som reléet på samme plassering. Delet ved relé 2-2 blir kalt dele 2-2. Videre i delkapittelet blir det utført simuleringer for alle de 4 nettkonfigurasjonene og utarbeidelse av reléplaner ved hvert enkelt tilfelle.



Figur 3-13: Enlinjeskjema av radial 2 med fremvisning av mulige oppdelingspunkter.

3.4.3.1 Dele 2-2:

Ved å flytte delet fra normaldelet og til dele 2-2 vil to spesifikke ting skje. Det er at DG-enhetene og relé 2-3 blir flyttet fra den nedre avgangen og til den øvre. Dette vil kreve endringer i koordineringstidene mellom reléene og en nøye undersøkelse av kortslutningsstrømmene, spesielt for feil rundt og nedstrøms DG-enhetene. Feilstrømmer fra simuleringer utført i Netbas og Power Factory for denne nettkonfigurasjonen er presentert i Tabell 3-13. Maksimale laststrømmer ved samme nettkonfigurasjon er fremvist i Tabell 3-14, da uten DG-enheter tilknyttet.

Tabell 3-13: Simuleringsresultater fra Netbas og Power Factory ved dele 2-2. Tall i parentes er fra overliggende nett.

Feilpunktets plassering	Type kortslutningsstrøm	PF uten DG [kA]	PF med DG [kA]	Netbas uten DG [kA]	Netbas med DG [kA]
Relé 2-2	3-p maks	0,330	0,468 (0,312)	0,333	0,441 (0,319)
	2-p min	0,227	0,328 (0,215)	0,226	0,313 (0,215)
Relé 2-3	3-p maks	0,394	0,584 (0,394)	0,399	0,546
	2-p min	0,273	0,411 (0,273)	0,271	0,391
Normaldelet	3-p maks	0,476	0,664 (0,476)	0,488	0,638
	2-p min	0,333	0,472 (0,333)	0,337	0,459
Relé 1-6	3-p maks	0,675	0,859 (0,675)	0,696	0,848
	2-p min	0,483	0,620 (0,483)	0,495	0,619
Relé 1-5	3-p maks	0,964	1,142 (0,964)	1,002	1,152
	2-p min	0,707	0,840 (0,707)	0,737	0,859

Tabell 3-14: Maksimale laststrømmer i tunglastperiode uten DG-enheter tilknyttet.

Målt ved:	Maksimal laststrøm
Relé 2 - 3	9 A
Normaldelet	16 A
Relé 1 - 6	22 A
Relé 1 - 5	44 A

Fra simuleringer utført i Netbas med data for lettlastperiode, men med full produksjon fra DG-enhetene, viser resultatene en motsatt rettet strøm igjennom relé 2-3 på 31 A. DG-enhetene vil i en slik situasjon kunne drifte hele radialen. Om en slik situasjon er mulig med tanke på spenningen og andre faktorer, er ikke undersøkt.

Tabell 3-14 viser at den maksimale laststrømmen vil fortsette å være lav og ikke vil havne i konflikt med de minste kortslutningsstrømmene fremvist i Tabell 3-13. Fra Tabell 3-13 kommer det også frem at den minste kortslutningsstrømmen ved dele 2-2 (laveste $I_{k,min}$ ved dette delet) vil ha en andel på 215 A kortslutningsstrøm fra det overliggende nettet. Dette betyr at utkobling av alle feil er mulig for foranliggende relé, selv med DG-enhetene innkoblet.

Om reléinnstillingene holdes uforandret ved flytting av delet fra normaldelet til dele 2-2, vil relé 2-3 og 1-6 falle ut samtidig ved feil nedstrøms relé 1-6. For nesten alle feil mellom relé 2-3 og 1-6 vil dette være tilfelle. For feil nedstrøms relé 2-3 faller begge reléene samtidig, da begge har samme tidsforsinkelse. Ved feil mellom relé 2-3 og 1-6 vil relé 2-3 falle ut som et resultat av kortslutningsstrømmen fra DG-enhetene, mens relé 1-6 faller ut som følge av kortslutningsstrøm fra det overliggende nettet. Samme situasjon, men med forskjellige relé vil kunne finne sted helt tilbake til mellom relé 1-5 og 1-6. Disse feilutkoblingene kan unngås ved å sette relé 1-6 og 2-3 til å være retningsbestemt ved denne nettkonfigurasjonen.

Ved å dele nettet ved dele 2-2 økes antall relé i serie og med det kreves en endring i reléplanen, da hovedsakelig i koordineringstiden mellom reléene. Skal koordineringstiden holdes lik 0,3 sekunder mellom reléene, vil man få en lengere tidsforsinkelse på reléer tidlig på radialen, enn hva som er i dag. Det blir foreslått to løsninger på dette problemet. Løsning 1 vil være å skifte ut reléenes utløserkarakteristikk fra konstanttidskarakteristikk til inverstidskarakteristikk. Dette blir utført i kapittel 3.4.4, og resultatene kan sees der. Løsning 2 består i å redusere koordineringstiden mellom enkelte reléer til 0,2 sekunder. Om denne løsningen er mulig må undersøkes nærmere ved å innhente data for de gjeldende relé og effektbrytere, før den blir tatt i bruk.

Løsning 2 med nye reléinnstillinger er å finne i Tabell 3-15. Sammen med å sette relé 1-6 og 2-3 til å være retningsbestemt vil dette være tilstrekkelig til å sikre utkobling ved alle feil og selektivitet mellom reléene.

Tabell 3-15: Nye utarbeidede reléinnstillinger for nett med dele 2-2.

Relé	Tidsforsinkelse [s]	Grense I>	Momentanutkobling I>>
2 - 3	0,1	120 A	120 A
1 - 6	0,3	140 A	400 A
1 - 5	0,5	160 A	700 A
1 - 4	0,7	180 A	1000 A
1 - 3	1,0	400 A	2400 A

For relé 2-1, 2-10, 2-11 og 2-20 er ingen endringer nødvendige, men tidsforsinkelsen kan med fordel reduseres.

3.4.3.2 Dele 2-3:

Ved å flytte delet til dele 2-3, vil ingen av reléene bli flyttet til en annen avgang i forhold til ved normaldelet. Dermed skapes det ikke behov for noen endringer av koordineringen mellom reléene i forhold til normaldelet, så lenge alle feil blir koblet ut. Ved denne koblingssituasjonen vil minste kortslutningsstrøm være på 262 A ved enden av den lengste linja. Dette vil være tilstrekkelig til å sikre utkobling av relé 1-6 ved feil. Den nye maksimale laststrømmen ved relé 1-4, 1-5 og 1-6, vil henholdsvis være 112 A, 35 A og 13 A. Denne lille økningen i maksimal laststrøm er ubetydelig, og det vil ikke være behov for endringer i reléinnstillingene ved flytting av delet fra normaldelet og til dele 2-3.

3.4.3.3 Dele 1-6

For flytting av delet fra normaldelet og til dele 1-6 gjelder det samme som for 2-3. Den minste kortslutningsstrømmen simulert ved det nye delet er 260 A. Dette er tilstrekkelig til å sikre utkobling ved alle kortslutninger. Den nye maksimale laststrømmen ved relé 2-1, 2-2 og 2-3, vil henholdsvis være 91 A, 22 A og 13 A. Denne lille økningen i maksimal laststrøm er ubetydelig, og det vil ikke være behov for endringer i reléinnstillingene ved flytting av delet fra normaldelet og til dele 1-6.

3.4.3.4 Dele 1-5

Delepunkt 1-5 møter de samme utfordringene rundt flytting av relé og koordineringstid som ved depunkt 2-2. Relé 1-6 blir flyttet til nedre avgang, og koordineringstiden for reléene der må justeres. En nøyere undersøkelse av kortslutningsstrømmene er også påkrevd for å sikre utkobling av alle feil. I Tabell 3-16 er resultater fra simulering av kortslutningsstrømmer ved en slik nettkonfigurasjon presentert. Det er kun tatt med resultater fra ytterste del av nedre avgangen, da det er kun her det vil være endringer i kortslutningsstrømmene.

Tabell 3-16: Simuleringsresultater ved dele 2-2. Tall i parentes er bidrag fra overliggende nett.

Feilpunktets plassering	Type kortslutningsstrøm	PF uten DG [kA]	PF med DG [kA]	Netbas uten DG [kA]	Netbas med DG [kA]
Normaldelet	3-p maks	0,490	0,605 (0,461)	0,483	0,573
	2-p min	0,345	0,427 (0,325)	0,333	0,403
Relé 1 - 6	3-p maks	0,375	0,441 (0,336)	0,371	0,424
	2-p min	0,260	0,306 (0,233)	0,252	0,292
Relé 1 – 5	3-p maks	0,320	0,368 (0,280)	0,317	0,355
	2-p min	0,222	0,254 (0,193)	0,215	0,243

Maksimal laststrøm ved slik nettkonfigurasjon er hentet fra historiske lastdata i Netbas og er presentert i Tabell 3-17.

Tabell 3-17: Maksimal laststrøm ved forskjellige relé, nettet delt ved dele 1-5 og uten DG-enheter.

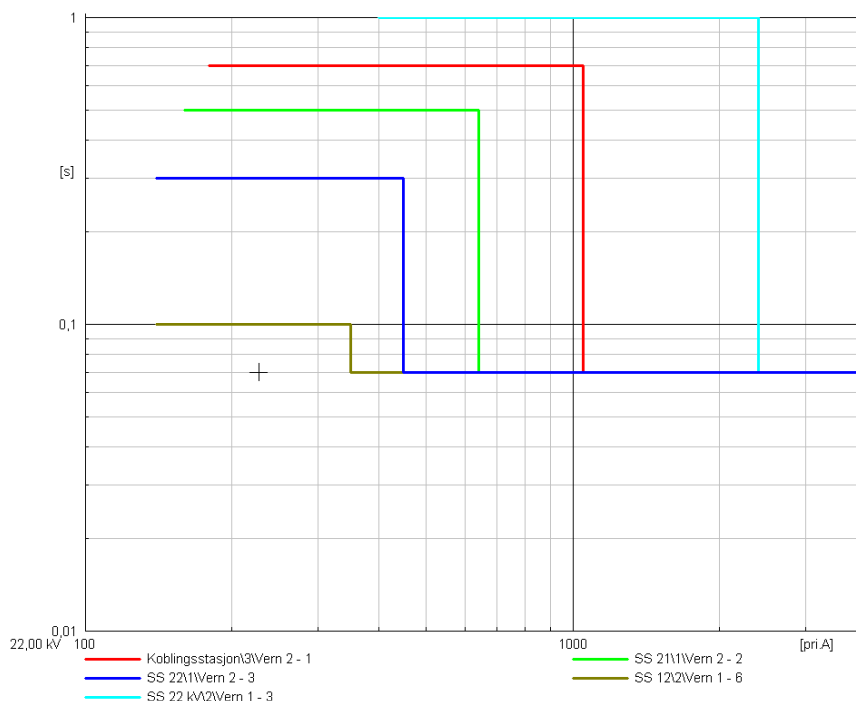
Målt ved	Maksimal laststrøm
Relé 2 - 1	117 A
Relé 2 - 2	47 A
Relé 2 - 3	38 A
Normaldelet	30 A
Relé 1 - 6	24 A

Ved å bruke resultatene gitt i Tabell 3-16 og Tabell 3-17 sammen med formel 2-1 vises det at maksimal laststrøm, reléinnstillingene og minste kortslutningsstrøm tilfredsstiller ønskede krav. Det som vil være problemet, er koordineringstiden mellom reléene, slik som med dele 2-2. Koordineringstidene for løsning 2, slik som forklart under dele 2-2, er fremvist i Tabell 3-18, og utløserkarakteristikkene er grafisk fremstilt i Figur 3-14. Strømgrensene for tidsforsinket utkobling

holdes uforandret. Innstillingene for relé 1-4 er ikke blitt endret, da det ved en slik situasjon vil kunne utføre sin oppgave, men utløserforsinkelsen kan med fordel reduseres.

Tabell 3-18: Presentasjon av utløsertider ved løsning 2.

Relé	Utløsertider [s]	Momentanutløsning [A]
2 – 1	0,7	1050
2 – 2	0,5	640
2 – 3	0,3	450
1 – 6	0,1	140



Figur 3-14: Utløserkarakteristikker for reléinnstillinger ved dele 1-5.

3.4.4 Overgang til inverskarakteristikk og sammenligning av utkoblingstider

Simuleringer for utarbeidelse av nye reléinnstillinger med inverskarakteristikk er utført i Power Factory, og alle grafiske fremstillinger av utløserkarakteristikker er hentet derfra.

For konstanttidskarakteristikk vil ikke strømgrensene påvirke tidsforsinkelsen ved en bestemt feilstrøm. Ved inverskarakteristikk vil strømgrensene derimot i en større grad påvirke utløserkarakteristikken og tidsforsinkelsen for en bestemt feilstrøm. For å redusere utkoblingstiden maksimalt, er strømgrensene for tidsforsinket utkobling redusert for inverskarakteristikken i forhold til konstantgrensene. Tommelfingerregel fra formel 2-1 blir overholdt for de nye grensene. Grensene

for momentanutkobling ved inverskarakteristikk er de samme som ved konstanttidskarakteristikk, og momentanutkoblingsperiodene vil bli holdt utenfor sammenligningstidene. Grensene for konstanttidskarakteristikk som sammenlignes, er de nye grensene funnet i kapittel 3.4.2.

For å sammenligne utkoblingstidene til inverskarakteristikk mot konstanttidskarakteristikk, blir det utført sammenligning ved to forskjellige oppdelinger av radial 2. Sammenligning 1 vil skje med dele plassert på normaldelet. Sammenligning 2 vil skje med delet plassert ved dele 2-2, ettersom dele 2-2 vil gi et relé til i serie. Ved begge sammenligningene vil det være reléene som ligger på «ringen» som vil være i fokus, og reléene på avgreiningene er ikke tatt med.

3.4.4.1 Sammenligning 1: Distribusjonsradial 2, delt ved normaldele.

I Tabell 3-19 er de nye reléinnstillingene for relé med inverskarakteristikk presentert. I forhold til reléinnstillingene med konstanttidskarakteristikk (Tabell 3-12), er det gjort endringer i strømgrensen ved alle relé utenom relé 1-3 og 1-4.

Tabell 3-19: Reléinnstillinger for inverskarakteristikk, radial 2, normaldele.

Relé	Type grense	Satt verdi
1-3	I>	400 A
	Time Dial	0,1
1-4	I>	180 A
	Time Dial	0,1
1-5	I>	80 A
	Time Dial	0,075
1-6	I>	40 A
	Time Dial	0,025
2-1	I>	150 A
	Time Dial	0,125
2-2	I>	50 A
	Time Dial	0,1
2-3	I>	40 A
	Time Dial	0,025

Tabell 3-20 og Tabell 3-21 presenterer forskjellige utløsertider for henholdsvis relé med konstant- og inverstidskarakteristikk. Maksimal utløsertid er hvor lang tid reléet vil bruke på å legge ut den minste kortslutningsstrømmen i reléets primære beskyttelsessone. Ved svikt i et relé under en feil, må

backup-reléet koble ut feilen. Tiden det tar for de forskjellige backup-reléene å koble ut den minste kortslutningsstrømmen i backup-sonen, er å finne i midterste kolonne. Gjennomsnittlig utkoblingstid er her den gjennomsnittlige tiden for utkobling av feil i primær beskyttelsessone, men sett bort i fra feilstrømmer som forårsaker momentan utkobling.

Tabell 3-20: Utløsertider ved konstanttidskarakteristikk, radial 2, normaldele.

Konstanttidskarakteristikk			
Relé	Maksimal utløsertid [s]	Maksimal utløsertid ved svikt på dette reléet [s]	Gjennomsnittlig utløsertid [s]
1 – 3	1,0		1,0
1 – 4	0,6	1,0	0,6
1 – 5	0,4	0,6	0,4
1 – 6	Momentant	0,4	Momentant
2 – 1	0,7	1,0	0,7
2 – 2	0,4	0,7	0,4
2 – 3	Momentant	0,4	Momentant

Tabell 3-21: Utløsertider ved inverstidskarakteristikk, radial 2, normaldele.

Inverstidskarakteristikk			
Relé	Maksimal utløsertid [s]	Maksimal utløsertid ved svikt på dette reléet [s]	Gjennomsnittlig utløsertid [s]
1 – 3	0,44		0,410
1 – 4	0,496	1,341	0,446
1 – 5	0,284	0,691	0,265
1 – 6	Momentant	0,360	Momentant
2 – 1	0,591	1,455	0,507
2 – 2	0,315	0,806	0,282
2 – 3	Momentant	0,426	Momentant

Ved sammenligning av resultatene presentert i Tabell 3-20 og Tabell 3-21 kan det sees flere forskjeller. Den maksimale utkoblingstiden er lavere med inverstidskarakteristikk i forhold til konstanttidskarakteristikk. Det samme kommer frem ved sammenligning av gjennomsnittlig utkoblingstid. De største forskjellene for begge tilfellene er å finne ved relé plassert tidlig på

avgangen (opp mot 56 og 59 % redusert utkoblingstid). Ved relévikt er resultatet derimot motsatt, og inverstidskarakteristikk fører til tilnærmet lik eller noe lengre utkoblingstid, sammenlignet med konstanttidskarakteristikk. Den største forskjellen er også her å finne ved relé plassert tidlig på avgangen (34,1 og 45,5 % økt utkoblingstid).

3.4.4.2 Sammenligning 2: Distribusjonsradial 2, dele 2-2.

Under denne sammenligningen er det fokusert på den øvre avgangen fra koblingsstasjonen. De største forskjellene fra sammenligning 1 (kapittel 3.4.4.1) vil være ett ekstra relé i serie på den øvre avgangen og to DG-enheter tilknyttet utenfor siste relé. Reléinnstillingene som er brukt under simuleringen er fremvist i Tabell 3-21. Relé 1-6 og 2-3 ansees som retningsbestemt, og ingen sympatiutkobling vil skje.

Tabell 3-22: Reléinnstillinger for inverskarakteristikk, radial 2, dele 2-2, øvre avgang.

Relé	Type grense	Satt verdi
1-3	I>	400 A
	Time Dial	0,1
1-4	I>	180
	Time Dial	0,125
1-5	I>	160
	Time Dial	0,075
1-6	I>	50
	Time Dial	0,075
2-3	I>	40
	Time Dial	0,025

Utkoblingstidene ved de to forskjellige tidskarakteristikkene fra simuleringen er fremvist i Tabell 3-23 og Tabell 3-24.

Tabell 3-23: Utløsertider ved konstanttidskarakteristikk, radial 2, dele 2-2, øvre avgang.

Konstanttidskarakteristikk			
Relé	Maksimal utløsertid [s]	Maksimal utløsertid ved svikt på dette reléet [s]	Gjennomsnittlig utløsertid [s]
1 – 3	1,0	-	1,0
1 – 4	0,7	1,0	0,7
1 – 5	0,5	0,7	0,5
1 – 6	0,3	0,5	0,3
2 – 3	Momentant	0,3	Momentant

Tabell 3-24: Utløsertider ved inverstidskarakteristikk, radial 2, dele 2-2, øvre avgang.

Inverstidskarakteristikk			
Relé	Maksimal utløsertid [s]	Maksimal utløsertid ved svikt på dette reléet [s]	Gjennomsnittlig utløsertid [s]
1 – 3	0,440	-	0,410
1 – 4	0,631	1,224	0,558
1 – 5	0,470	0,878	0,401
1 – 6	0,325	1,061	0,279
2 – 3	Momentant	0,354	Momentant

Sammenligning av utløsertidene for de to forskjellige karakteristikkene i Tabell 3-23 og Tabell 3-24 viser samme tendens som i kapittel 3.4.4.1, men ikke så store forskjeller som der. Den maksimale og den gjennomsnittlige utkoblingstiden er generelt lavere ved inverstidskarakteristikk, men ved relésvikt oppnås laveste utkoblingstid ved konstanttidskarakteristikk. De største forskjellene er å finne på reléer nærme det overliggende nettet. Noe som skiller seg litt ut i resultatene, er relé 1-6 og dens lange utkoblingstid ved relésvikt. Resultatene for relé 1-3 er de samme for begge sammenligningene, da relé 1-3 opplever noen endringer og innstillingene kunne være de samme.

3.4.5 Overgang fra overstrømsvern til distansevern ved normaldele

Alle resultater presentert i dette delkapittelet er resultater fra simuleringer utført i Power Factory. Det er kun fokusert på kortslutningsstrømmer og ikke jordfeilsstrømmer. Av reléene er det fokusert på de som er plassert på radialringen. Nettet er delt ved normaldelet. Hvordan transienter i kortslutningsstrømmen skaper pendlinger i impedansvektoren, er det ikke tatt hensyn til.

I Tabell 3-25 blir impedansen for viktige linjestykker for reléplanlegging av distansevern-innstillinger presentert.

Tabell 3-25: Linjeimpedans mellom utvalgte punkter på radial 2.

Fra	Til	Resistans [Ω]	Reaktans [Ω]	Impedans [Ω , $^\circ$]
Relé 1-3	Relé 1-4 og 2-1	1,1891	1,2344	1,71. 46,07°
Relé 1-4	Relé 1-5	6,9674	6,1062	9,26. 41,23°
Relé 1-5	Relé 1-6	5,1134	3,8658	6,41. 37,09°
Relé 1-6	Normaldelet	7,6772	4,6018	8,94. 30,97°
Relé 2-1	Relé 2-2	7,4453	7,5481	10,60. 45,39°
Relé 2-2	Avgreining til DG-1	4,57	3,4296	5,71. 36,89°
Avgreining til DG-1	Avgreining til DG-2	0,193	0,0989	0,22. 27,13°
Avgreining til DG-2	Relé 2-3	0,8799	0,6244	1,08. 35,36°
Relé 2-3	Normaldelet	5,5113	3,0194	6,28. 28,72°
Relé 2-3	Enden av radialen	11,3228	6,2037	12,91. 28,72°

3.4.5.1 Lysbueresistans

Lysbueresistansen vil variere over radialen som følge av kortslutningsstrømmen slik forklart i kapittel 2.3.4. Som en følge av dette blir det brukt forskjellig feilresistans ved forskjellige feilområder under simuleringer i Power Factory (se Tabell 3-26). Disse feilresistansene er utarbeidet med formel 2-11, hvor det er brukt 3-polt kortslutningsstrøm lengst ute på valgte linjesegment og en faseavstand lik 1,5 meter. Kortslutningsstrømmene er hentet fra Tabell 3-10, med DG-enheter tilkoblet. Korreksjon pga. utvidelse av lysbuen er ikke medberegnet.

Tabell 3-26: Beregnede lysbueresistanser for områder på radial 2.

Område		3-polt feilstrøm [kA]	Beregnet feilresistans [Ω]
Fra	Til		
Relé 1-3	Relé 1-4 / 2-1	2,580	0,72
Relé 1-4	Relé 1-5	0,992	2,75
Relé 1-5	Relé 1-6	0,668	4,78
Relé 1-6	Normaldele	0,482	7,55
Relé 2-1	Relé 2-2	1,079	2,44
Relé 2-2	Relé 2-3	0,803	3,69
Relé 2-3	Normaldele	0,605	5,49

3.4.5.2 Påvirkning fra DG-enhetene på målt impedansen.

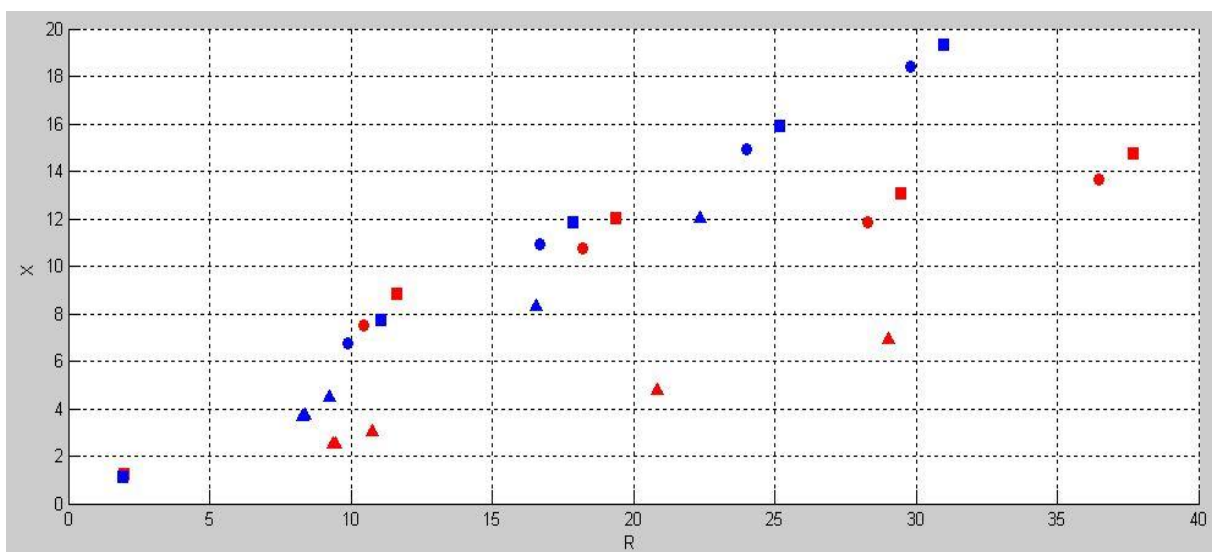
Påvirkningen som DG-enhetene har kan manuelt kalkuleres ved hjelp av formlene 2-13 til 2-18, presentert i kapittel 2.3.5. Representert i Tabell 3-27 vises påvirkningen fra DG-enhetene ved hjelp av simuleringer utført i Power Factory ved 3-polt kortslutning med lysbueresistans og nettet delt ved normaldele. Disse resultatene blir fremvist grafisk i Figur 3-15. Kun kalkuleringer på nedre avgang blir vist, da det er disse som blir betydelig påvirket av DG-enhetene.

Tabell 3-27: Målt impedans av reléer, med og uten DG-enheter tilknyttet, normaldele.

Målt av relé:	Feilpunkt	Impedans med DG [Ω og °]	Impedans uten DG [Ω og °]
2-2	Avstikker til DG-1	9,726. 15,95°	8,994. 22,55°
2-2	Avstikker til DG-2	9,856. 16,15°	9,064. 22,74°
2-2	Rett før relé 2-3	11,254. 17,42°	10,119. 24,08°
2-2	Normaldele	21,628. 15,48°	18,028. 23,36°
2-2	Enden av radialen	30,31. 16,68°	24,631. 24,8°
2-1	Rett før relé 2-2	12,72. 34,86°	12,432. 37,33°
2-1	Rett før relé 2-3	21,204. 30,96°	20,359. 34,97°
2-1	Normaldele	31,264. 25,2°	28,133. 31,47°
2-1	Enden av radialen	39,931. 23,99°	34,751. 30,94°
1-3	Rett før relé 2-1	2,322. 32,07°	2,273. 32,89°
1-3	Rett før relé 2-2	14,405. 36,19°	14,129. 38,39°
1-3	Rett før relé 2-3	22,863. 32,08°	22,043. 35,82°
1-3	Normaldele	32,871. 26,26°	29,795. 32,3°
1-3	Enden av radialen	41,524. 24,88°	36,409. 31,65°

Fra resultatene i Tabell 3-27 kan det trekkes frem den største endringen i målt impedans for reléer skjer ved kortslutning på enden av radialen. Dette er ikke uventet, da størst største reduksjon i målt kortslutningsstrøm for vernet vil skje om DG-enheten er plassert midt mellom vernet og feilen (se kapittel 2.1.4.2 og 2.3.5). Den lille økningen i målt impedans for feil mellom reléet og DG-enheten er som forventet fra teorien (se kapittel 2.3.5). Denne lille økningen tas ikke hensyn til videre under reléplanleggingen.

I Figur 3-15 presenteres resultatene gitt i Tabell 3-27 grafisk. Feil lengere bort fra det aktuelle reléet vil ha en større impedans og trekkes ut til høyre i figuren. De største forskjellene ved inn og utkobling er som nevnt over ved feil lengst ute på radialen og kommer tydelig frem i Figur 3-15.



Figur 3-15: R-X diagram med målt impedans av relé 1-3 (firkanter), 2-1 (sirkler) og 2-2 (trekanter), med DG-enheter innkoblet(rød) og uten DG-enheter(Blå), for feilpunkter utover radialen. Laget i MATLAB.

3.4.5.3 Soneinnstillinger for distansevern, uten lysbueresistans medberegnet.

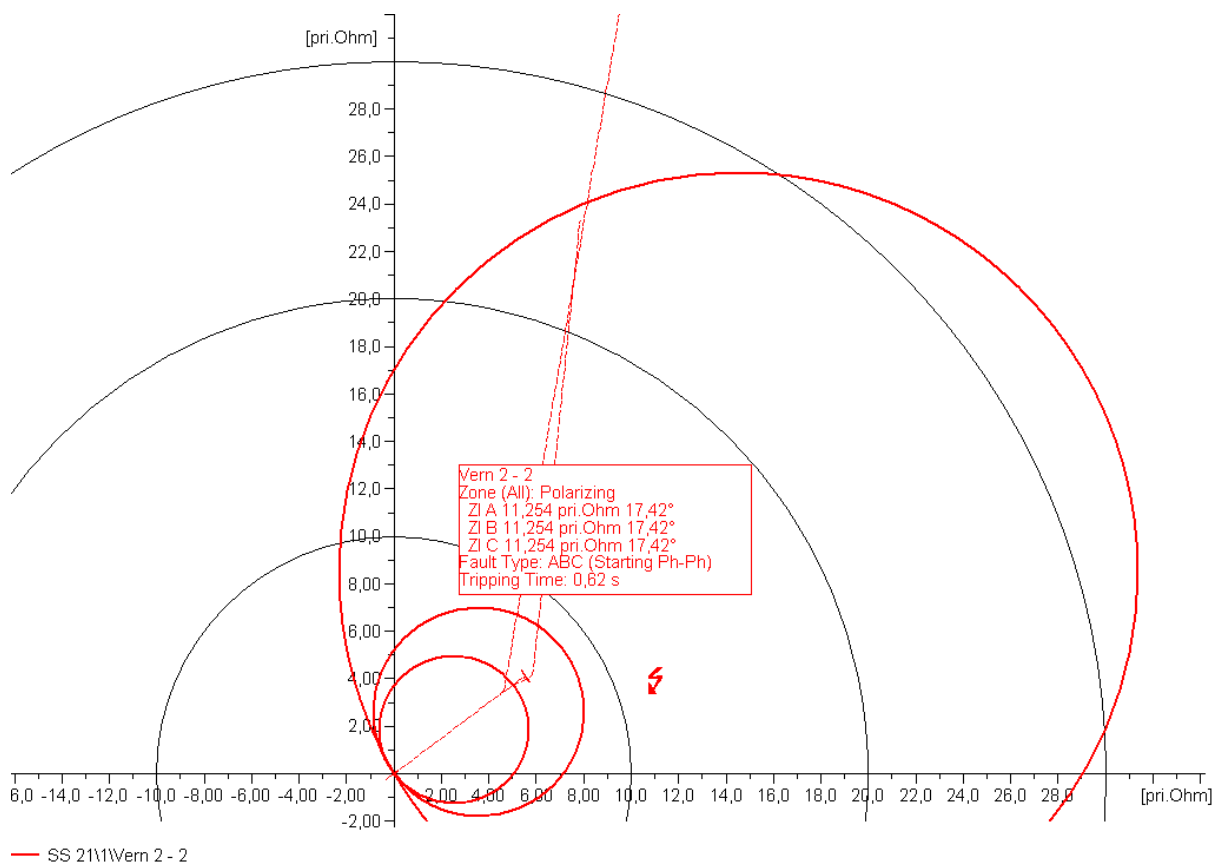
Det er ikke laget reléplan med distansevern-innstillinger for relé 1-1 og relé 1-2, da disse vernene står før distribusjonsradialen og beskytter transformatoren og samleskinnen. Ved kalkulering av soneinnstillingene er det brukt samme fremgangsmåte og soneinndelinger som i eksempel gitt i kapittel 2.4.2. For DG-1 er forholdet mellom kortslutningsstrømmen fra DG-enheten og det overliggende nettet funnet til å være tilnærmet konstant lik: $\frac{I_{DG-1}}{I_1} \approx 0,11$. For DG-2 er samme forhold funnet til å være tilnærmet konstant lik: $\frac{I_{DG-1}}{I_1} \approx 0,25$. Strømmene er fra simuleringer utført i Power Factory.

Tabell 3-28: Soneinnstillinger ved distansevern, uten lysbueresistans medberegnet.

Relé	Sone 1	Sone 2	Sone 3
1-3	1,45. 46,04°	2,05. 46,04°	17,61. 45,46°
1-4	7,87. 41,23°	11,11. 41,23	18,86. 39,12°
1-5	5,45. 37,09°	7,69. 37,09°	19,80. 32,95°
1-6	13,41. 30,97°		
2-1	9,01. 45,39°	12,72. 45,39°	21,04. 40,89°
2-2	6,30. 36,27°	8,89. 36,27°	33,69. 30,38°
2-3	19,36. 28,72°		

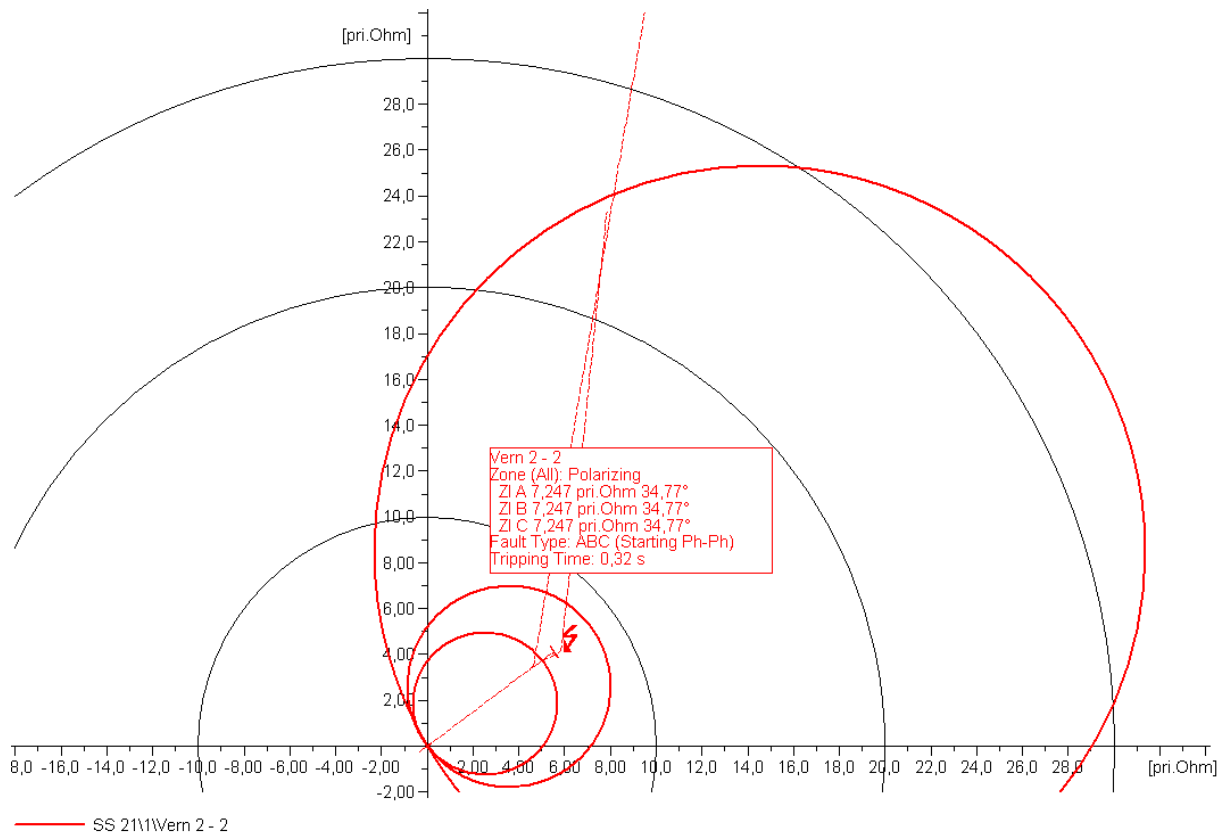
For å undersøke om reléinnstillingen vil fungere slik tiltenkt, er det utført flere simuleringer i Power Factory. I disse simuleringene er soneinnstillinger fra Tabell 3-28 brukt. Sone 1 er satt til utkoblingstid på 0,1 sekund, sone 2 lik 0,3 sekund og sone 3 lik 0,6 sekund. I databasen til Power Factory ved NTNU ligger det kun ved distanserelé med beskyttelsessoner med Mho-karakteristikk. Dette er dermed brukt i simuleringene.

Ved å se på relé 2 og resultatene fra simuleringen med lysbueresistans, gir en feil ved relé 2-3 en feilimpedans målt av relé 2-2 på 11,254 Ω 17,42°, ved DG-enhetene innkoblet. Denne feilen skal ligge i sone 2. Sone 2- innstilling for relé 2-2 er 8,89 Ω 36,27°. Fremvist i R-X diagram i Power Factory vil denne situasjonen se ut som presentert i Figur 3-16. Feilimpedansen er merket med et rødt lyn i diagrammet. Soneinndelingene er vist med røde sirkler, og impedansen utover tilknyttede linjer er fremvist med stiplede linjer. De stiplede linjene som går nesten loddrett skal ikke tas med, da disse tar med motstanden i transformatorene ut mot DG-enhetene. Feil i transformatoren skal tas av høyspenningssikringer på transformatoren.



Figur 3-16: R-X diagram med utlørsersoner for relé 2-2. 3-polt kortslutning med lysbueresistans rett før relé 2-3.

Som det kommer frem i Figur 3-16, vil en feil nærme relé 2-3 havne i sone 3 og vil bli koblet ut etter 0,62 sekunder. Denne feilen skulle ligget i sone 2, men blir flyttet ut til høyre som følge av lysbueresistansen. I Figur 3-17 blir samme situasjon vist, men uten lysbueresistansen. Da ligger feilen i sone 2 og blir koblet ut etter 0,32 sekunder slik tiltenkt.



Figur 3-17: R-X diagram med utlørsersoner for relé 2-2. 3-polt kortslutning uten lysbueresistans rett før relé 2-3.

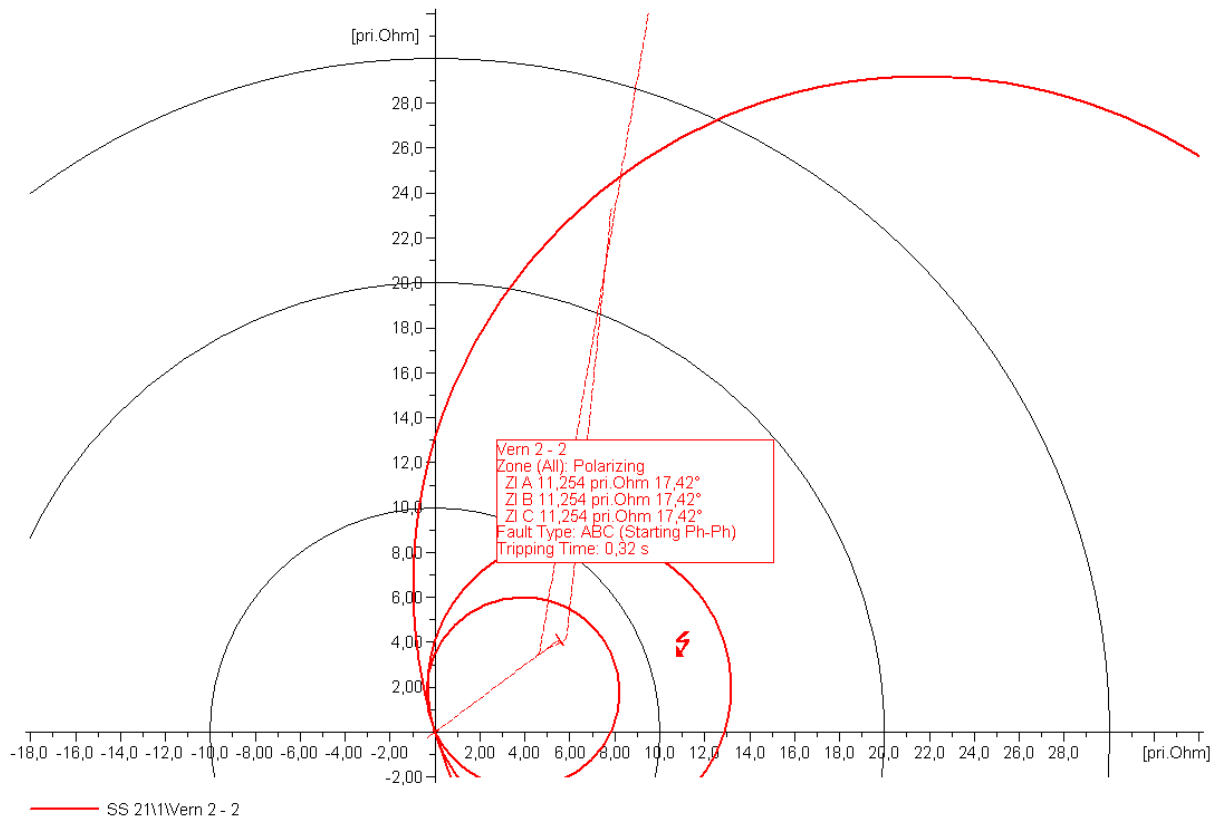
Denne simuleringen viser hvor stor betydning lysbueresistansen har ved setting av beskyttelsessonene, og det må tas hensyn til.

3.4.5.4 Nye reléinnstillinger for distansevern, med lysbueresistans medberegnet

I Tabell 3-29 blir nye soneinnstillinger, med lysbueresistansen medberegnet, presentert. Figur 3-18 viser så samme eksempel som tidligere, men med de nye soneinnstillingene. Her ligger feilimpedansen innenfor sone 2, og utkoblingen skjer etter 0,32 sekunder. Simuleringer uten DG-enhetene tilknyttet resulterer også i at feilimpedans ligger innenfor sone 2.

Tabell 3-29: Soneinnstillinger for radial 2, med lysbueresistans medberegnet.

Relé	Sone 1	Sone 2	Sone 3
1-3	1,93. 32,86°	2,72. 32,86°	19,40. 40,31°
1-4	9,75. 32,14°	13,77. 32,14°	27,33. 31,51°
1-5	9,03. 21,34°	12,75. 21,34°	26,45. 24,02°
1-6	23,84. 16,82°		
2-1	10,57. 37,36°	14,92. 37,36°	31,8. 30,96°
2-2	8,60. 24,08°	13,50. 17,42	45,47. 16,68°
2-3	26,88. 20,25°		



Figur 3-18: R-X diagram med utlørszoner for relé 2-2 med beregnet lysbue motstand. 3-polt kortslutning med lysbueresistans rett før relé 2-3.

4 Reléplanlegging med Netbas

Netbas er Eidsivas hovedprogram, og benyttes i alt fra dokumentasjon til prosjektering og drift. Videre i delkapittelet er det undersøkt hvordan Netbas kan bli brukt ved reléplanlegging i distribusjonsnett. Det blir fremhevet gode funksjoner som kan være tidsbesparende i flere situasjoner, og eventuelle savnede funksjoner og feil som har blitt funnet.

Når det ble gitt tillatelse for fjernpålogging til Eidsiva sin database i Netbas, ble det kun gitt lesertilgang. Dette har forårsaket noen begrensinger, men de fleste er omgått ved å lagre en egen fil av nettet og oppdatere denne filen, men eksempelvis reléinnstillinger.

4.1 Fordeler ved å implementere relévern med innstillinger inn i Netbas

Ved å implementere innstillingene til reléer i Netbas åpnes det muligheter for å bruke mange funksjoner i Netbas som vil redusere tidsbruken ved reléplanlegging. Flere av disse funksjonene blir forklart i dette delkapittelet. Selve prosessen med å legge inn reléinnstillingene på det forskjellige vernene gjøres lett ved å dobbeltklikke på ønsket vern, for så å legge inn innstillingene.

4.1.1 Selektivitetsanalyse

Ved hjelp av funksjonen «selektivitetsanalyse» foretar Netbas en analyse av reléinnstillingene for avganger/radialer fra en kobling- eller transformatorstasjon. Beregningen forutsetter at det er foretatt last- og kortslutningsberegninger for alle knutepunkt i nettet før start. Beregningen starter ved effektbryteren, med dens data og tilhørende nett. Beregningen omfatter alt som er tilknyttet nettet under effektbryteren. Dette gjelder da alle linjer og kabler, samt alle transformatorer. Under selve selektivitetsanalysen sjekker Netbas:

- Reléets innstillinger opp mot belastningsstrøm og minste kortslutning.
- Maksimal tillatt kortslutningsstrøm for linjer/kabler ved aktuell kortslutningsstrøm og utløsertid.
- Maksimal tillatt kortslutningsstrøm for kablers skjerm ved to-polt kortslutning.
- Kritiske feilstrømmer og utløsertider for linjer/kabler.
- Høyspenningssikringers størrelse i transformatorseksjoner.
- Kortslutningsstrøm på transformatorens sekundærside.
- Kortslutningsytelse i angitte knutepunkt.

For å oppnå best resultat med selektivitetsanalysen må datagrunnlaget være så godt som mulig. Dette gjelder spesielt innenfor nettdata, innstillinger for relé og maksimal tillatt kortslutningsstrøm

for linjer og kabler (1 sek). I tillegg kommer høyspenningssikringer i nettstasjoner, skjermtverrsnitt og maksimal tillatt kortslutningsytelse i et knutepunkt. Alle disse data er ikke påkrevd for å kjøre en selektivetsanalyse, men mangler i datagrunnlaget fører til et begrenset resultat fra analysen.

Funksjonene selektivetsanalysen finnes ved å klikke med høyre museknapp på en effektbryter med vern, for så å velge selektivitet i høyre museknappmeny. Bruken og fremgangsmåten av funksjonen er godt forklart i hjelpefunksjonen til Netbas.

I Figur 4-1 blir resultater fra selektivetsanalysen for relé 1-4 gjengitt.

UTLØSERBEREGNING				
SELEKTIVETSBEREGNING FOR [REDAKERT]				
Med hensyn til kablenes skjerm.				

Merkesstrøm In	:	150 A	Grunntid	: 0.070 s
Relekarakteristikk	:	KONSTANTTIDSRELE		

ANBEFALTE VERDIRER		Beregnet		
		Nåværende	Nedre	Øvre grense
Normalutløsning	xIn	1.20	1.04	1.28
Momentantutløsning	xIn	6.00	3.33	6.06
Uløsertid	sek	0.60		7.19
Gjenninnkobling		INGEN		

Figur 4-1: Resultater gitt i Netbas for selektivetsberegninger for relé 1-4 og underliggende nett.

I resultatene fra selektivetsanalysen vist i Figur 4-1, anbefaler Netbas en øvre og en nedre strømgrense for normal- og momentantutløsning. Nedre grense for normalutløsning settes av Netbas til $1,5 \cdot I_b$ for inverstidskarakteristikk og $2,5 \cdot I_b$ for konstanttidskarakteristikk (I_b = Maksimal laststrøm). Øvre grense settes med hensyn på minste 2-polt kortslutningsstrøm og settes lik $0,5 \cdot I_{k2,min}$. Disse faktorene er noe høyere enn de gitt i kapittel 2.1.1. Faktorene for de nedre grensene kan endres ved ønske, men det er ikke funnet mulighet for å endre den øvre grensen.

Den nedre grensen for momentantutkobling settes til den største av følgende to forhold: 20 ganger største høyspentsikring i nettet eller $I_b + I_{klavmax}$, hvor $I_{klavmax}$ er den største kortslutningsstrømmen på lavspentsiden av fordelingstransformatorene. Den øvre grensen vil være avhengig av relétype og beregningsvariant, og har en mer komplisert utregning. For mer informasjon om anbefalinger for øvre grense til momentantutkobling, vennligst se i Netbas sin hjelpefunksjon.

Nytteverdien av denne funksjonen vil være reduksjon i tidsbruk ved reléplanlegging av nye nett og store endringer i nettkonfigurasjonen ved feilsituasjoner eller planlagt arbeid. En rask kontroll av reléinnstillingene ved en stor omkobling i nettet vil også kunne avdekke om det vil kunne oppstå feil som ikke vil bli detektert og koblet ifra.

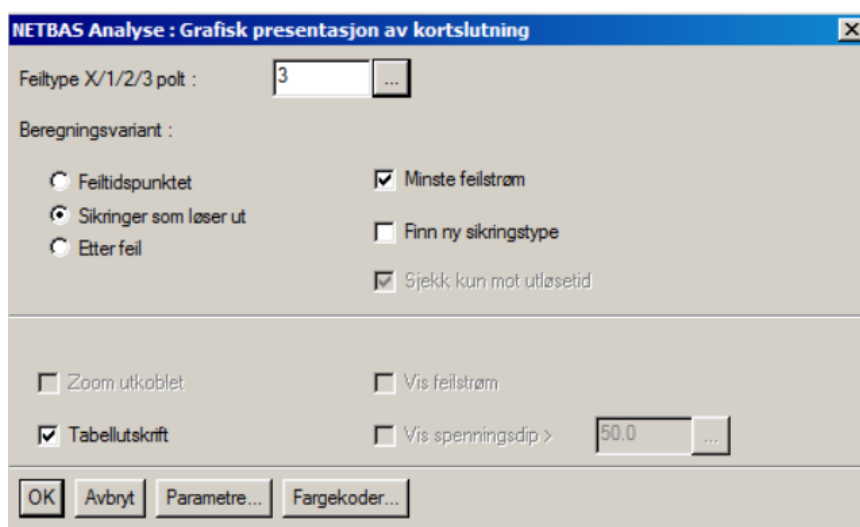
Det finnes noen begrensinger i funksjonen «selektivitetsanalyse» som blir presentert nedenfor:

- Analysen kommer ikke med noen anbefalinger på grenser, men kommer med to verdier som grensen må ligge mellom.
- Funksjonen tar bare utgangspunkt i det reléet som det utføres selektivitetsanalyse på og ser ikke andre vern på samme radial nedstrøms eller oppstrøms. Dette betyr at koordinering av utløsertid og utløsergrenser mellom vernene må gjøres manuelt.
- Funksjonen tar for seg hele nettet som er tilknyttet under det valgte reléet. Dette betyr at ønskes anbefalinger for reléinnstillinger ett visst stykke ut på radialen, må den delen som ikke ønskes dekt, kobles bort før bruk av funksjonen. Dette kan være ønskelig der det er mange relé i serie og det ikke er ønskelig eller praktisk mulig at noen av de første reléene på avgangen skal kunne koble ut feil ytterst på radialen.

4.1.2 Selektivitet mellom relé og feilstrøm målt av relé

Å kontrollere om korrekt relé kobler ut ved feil på et gitt punkt, er mulig i Netbas. En forutsetning for dette er at reléinnstillingene for de forskjellige reléene ligger lagret i Netbas.

Selve kontrollen utføres lett ved å klikke med høyre museknapp på det ønskede feilknutepunktet. Fra høyre museknappmeny velges -> kortslutning -> Grafisk. Bestem så type kortslutning som skal utføres i det nye vinduet (se Figur 4-2). Huk også av for «tabellutskrift» og «sikringer som løser ut». Trykk «OK» og resultatet blir fremvist slik som i Figur 4-3. Samtidig blir reléet som er koblet ut fremhevet i den grafiske modellen med målt feilstrøm og utkoblingstid (se Figur 4-5). Feilpunktet blir også markert med feilstrøm i punktet.



Figur 4-2: Vindu for valg ved grafisk presentasjon av kortslutning.

Beregning for måned 1 (Virkedag) - time 17							
Feilforløp ved 3 polt kortslutning i [REDACTED] : 953 A							
Tid.	Bryter	Driftsmerking	Kn timer 1	Kn timer 2	Strøm	Mrk.	Løser ut Status
0.12 BE	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	793	630	JA OK

Figur 4-3: Resultater fra kortslutningsberegning, selektiv utkobling.

Som fremvist i Figur 4-3 vil effektbryter H01E ha lagt ut feilen etter 0,12 sekunder. Feilstrømmen igjennom reléet ble kalkulert til 793 A.

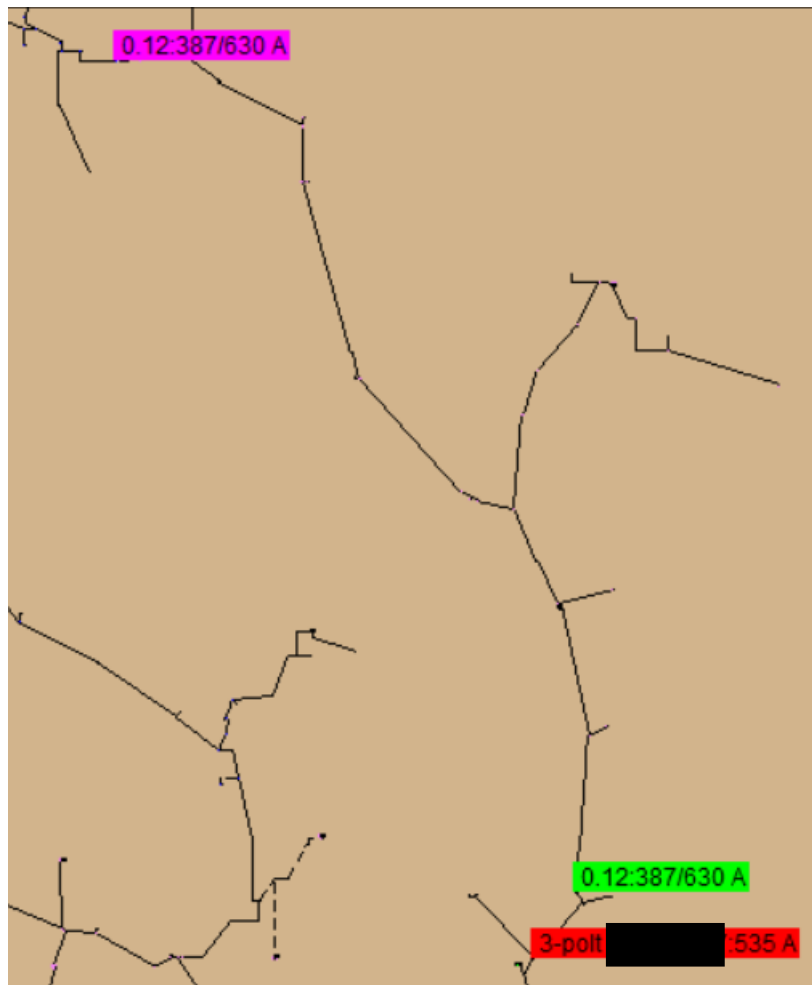
Ved tilfeller hvor det ikke er selektivitet mellom reléene, vil dette synes i resultatene på samme måte som vist i Figur 4-4. Dette resultatet er fra radial 2 med dele plassert ved dele 2-2, uten endring av reléinnstillinger. Feilpunktet er nedstrøms relé 2-3.

Beregning for måned 1 (Virkedag) - time 17							
Feilforløp ved 3 polt kortslutning i [REDACTED] : 535 A							
Tid.	Bryter	Driftsmerking	Kn timer 1	Kn timer 2	Strøm	Mrk.	Løser ut Status
0.12 BE	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	387	630	JA IKKE SELEKT
0.12 BE	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	387	630	JA OK

Figur 4-4: Resultat fra kortslutningsberegning, ikke selektiv utkobling.

Som forklart i kapittel 3.4.3.1 vil en feil nedstrøms relé 2-3 ved nevnt nettkonfigurasjon føre til utkobling av både relé 2-3 og 1-6, da disse har samme tidsforsinkelse. I resultatene vist i Figur 4-4, vises hvilken bryter som faller selektivt og hvilken som ikke faller selektivt. Det kan bemerkes at begge reléene i dette tilfellet kobler ut ved 0,12 sekunder, altså momentan utkobling. I den grafiske modellen vil reléet som kobler og ikke er selektivt, bli fremhevet med lilla bakgrunn. Feilpunktet og reléet som kobler korrekt ut, får henholdsvis rød og grønn bakgrunn, se Figur 4-5.

Ved tilfeller av masket nett eller DG-enheter i nettet, vil kortslutningsstrømmen kunne være annerledes igjennom vernet enn hva som er i feilpunktet. Ved å bruke samme fremgangsmåte som for å sjekke selektiviteten kan feilstrømmen igjennom reléet bli funnet. I Figur 4-4 sier resultatene at kortslutningsstrømmen igjennom begge reléene var på 387 A. Ser man på kortslutningsstrømmen i kortslutningspunktet som er presentert på den grafiske fremstillingen av modellen i Figur 4-5, vises det at feilstrømmen i feilpunktet var 535 A.



Figur 4-5: Grafisk fremstilling av resultater fra kontroll av selektivitet.

4.2 Impedans mellom 2 punkter i nettet

Under utarbeidelse av relèplaner for distansevern, vil det være behov for å hente ut impedansen mellom spesifikke punkter i nettet. Dette kan gjøres ved å gå inn på hvert enkelt linjestykke og kopiere ut linjedata. En slik prosess er veldig tidkrevende, og slikt manuelt arbeid vil kunne være en stor feilkilde. Det har derfor blitt undersøkt muligheten for å utføre dette ved hjelp av en funksjon i Netbas. En slik funksjon ligger ikke inne i standard brukergrensesnittet, men kan kjøres via Netbas – kommando. Med denne funksjonen er det mulig å velge mellom å hente ut: 1. Elektrisk kortslutningsimpedans, 2. Linjeimpedans mellom knutepunkt. Alternativ 1, Elektrisk kortslutningsimpedans, gir en oppsummering av impedansen uten å oppgi hvordan denne fordeler seg på linjene mellom punktene. Eksempel på resultat fra alternativ en er fremvist i Figur 4-6.

```

***** Filnavn : stud1-tabell.lis          2015-
*****

Differanse impedanse [redacted] :
-----
Impedanse  R : 4.672 Ohm X : 3.504 Ohm
           Z : 5.840 Ohm C : 0.800

```

Figur 4-6: Resultat fra uthenting av elektrisk kortslutningsimpedans mellom to punkter i Netbas

Ved alternativ 2, som fremvist i Figur 4-7, vil man få ut hvordan verdiene øker for hver enkel linje, samt en oppsummert verdi. I tillegg får man ved alternativ 2 oppgitt hvordan den totale lengden øker for hver linjestykke og den totale lengden. Eksempelet fremvist i Figur 4-7, er med samme to punkter som i Figur 4-6.

```

***** Filnavn : stud1-tabell.lis          2015-
*****

Impedans mellom [redacted]
-----
Knutepunkt  Avst. (km)  R(Ohm)  X(Ohm)  Z(Ohm)
-----
[redacted]   2.646      1.355   1.016   1.694
[redacted]   3.531      1.808   1.356   2.260
[redacted]   3.552      1.819   1.364   2.273
[redacted]   4.657      2.385   1.788   2.981
[redacted]   5.686      2.911   2.183   3.639
[redacted]   6.213      3.181   2.386   3.977
[redacted]   7.939      4.065   3.049   5.081
[redacted]   8.931      4.573   3.430   5.716
[redacted]   9.124      4.672   3.504   5.840
-----
Impedanse Z : 5.840 Ohm Cos(FI) : 0.800

```

Figur 4-7: Resultat fra uthenting av linjeimpedans mellom to knutepunkt i Netbas

Fullstendig forklaring på fremgangsmetode for å bruke disse funksjonene er å finne i vedlegg C

4.3 Kortslutningsprofil/ finn feilstrøm

Funksjonen som heter kortslutningsprofil i Netbas henter frem hvordan kortslutningsstrømmen mellom 2 knutepunkter endrer seg som funksjon av avstanden. Dette funksjonen er nyttig dersom man leter etter hvor langt ut på en radial at kortslutningsstrømmen vil ha stor nok størrelse til å løse ut reléet. Det er også mulig å få ut en liste over alle knutepunkt mellom de to valgte og da med kortslutningsstrømmen ved alle disse. Hvordan denne funksjonen kjøres, finner man ved å søke på «kortslutningsprofil» i hjelpefunksjonen i Netbas.

Er man kun på jakt etter hvor i nettet kortslutningsstrømmen har en bestemt størrelse, kan dette gjøres ved å bruke funksjonen «Finn kortslutningsstrøm». Denne finnes under menyen: beregningsresultater → lavspenningsnett → Finn kortslutningsstrøm. Ved å velge krav til knutepunktene lik «HO – høyspenningspunkter over 2 kV», blir bare høyspentknutepunkt tatt med. Velg så aktuell størrelse på feilstrømmen og ved hvilken feilsituasjon den skal oppstå. Trykk OK. Da blir alle linjeseksjoner hvor denne feilstrømmen vil oppstå og oppfyller begrensingene, vist grafisk i modellen.

4.4 Mangler og savnede funksjoner

I dette delkapittelet blir feil som har blitt oppdaget under arbeid i Netbas presentert. Videre tas det opp funksjoner som har vært savnet under arbeidet.

Utover de feil og mangler som nevnes videre i dette kapittelet må det nevnes at Netbas til tider virker ustabil. Ved bruk av Netbas en hel dag, har det ikke vært uvanlig at Netbas har sluttet å virke minst en gang i løpet av dagen. Netbas er kjørt på en ny pc og internett-tilkoblingen har vært uproblematisk, slik at problemet skal ikke ligge hos brukeren. Om dette er et problem hos Eidsiva som følge av servere eller annet, eller om problemet ligger i selve Netbas, er ikke undersøkt.

En liten ting som er savnet, er mulighetene for å sette overstrømsrelé til å være retningsbestemt.

4.4.1 Utløserkarakteristikker

Presentasjon av utløserkarakteristikk til et bestemt relé skjer ved å trykke på «presenter kurve» under fanen for reléet, se Figur 4-8. Utløserkarakteristikken blir så presentert i et diagram i en fane som ligger under fanen for reléet (se Figur 4-9). For å se denne karakteristikken, må enten fanen for reléet lukkes eller flyttes. Ved lukking av denne fanen er det ved flere anledninger opplevd at fanen med utløserkarakteristikken også er blitt lukket. Dette skjer ikke hver gang, så det antas at dette er en feil i programmet.

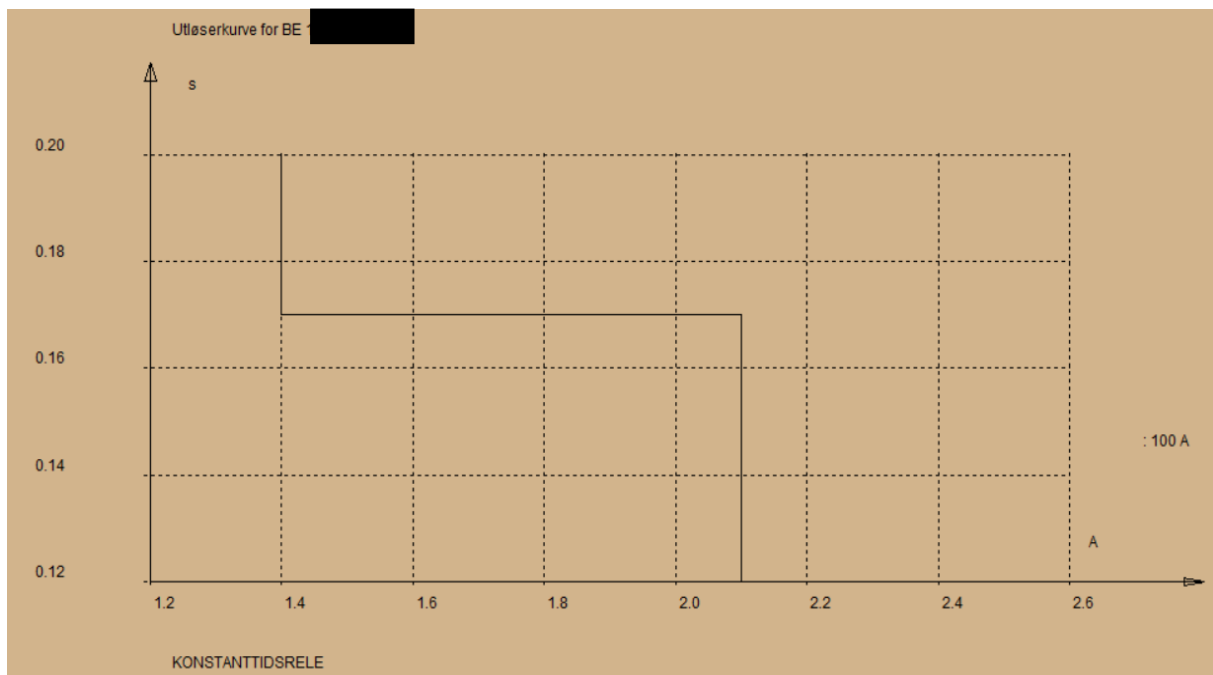
Merkestrøm bryter	<input type="text" value="630"/>	A	Basisspenning kV	<input type="text" value="22.000"/>	...
Grunntid bryter	<input type="text" value="0.070"/>	s	Merkespenning kV	<input type="text" value="24.000"/>	...
Normalutløsning I_r	<input type="text" value="1.60"/>	xIn	Koblingstid	<input type="text"/>	min.
Momentan utløsning	<input type="text" value="6.40"/>	xIn	Merkestrøm rele In	<input type="text" value="100"/>	A
Tidforsinkelse utløser	<input type="text" value="0.050"/>	s	Gjeninnkobling	<input type="text" value="INGEN"/>	...
Betjening	<input type="text" value="FJST"/>	...	Releets strøm karakteristikk	<input type="text" value="KONSTANTTIDSRELE"/>	...

Normal utløsetid	<input type="text" value="0.40"/>	s
------------------	-----------------------------------	---

<input type="button" value="Lukk"/>	<input type="button" value="Slett"/>	<input type="button" value="Presenter kurve"/>	<input type="button" value="Redusert bilde"/>	<input type="button" value="Feilhyppighet..."/>
-------------------------------------	--------------------------------------	--	---	---

Figur 4-8: Fane for reléinnstillinger av ett enkelt relé.

Alle utløserkarakteristikker i Netbas viser tid på y-aksen og strøm på x-aksen slik som vist i Figur 4-9. Strømmene det vises til i diagrammet, er produktet av tallet på aksens ganger med I_N til reléet (reléets strømtransformator). Dette gjør det vanskelig å sammenligne grafene fra forskjellige vern, med forskjellige strømtransformatorer, med hensyn på selektivitet. Muligheten for å se flere utløserkarakteristikker fra forskjellige vern i samme diagram er også savnet. En slik funksjon ville gjort det lettere å kontrollere selektiviteten mellom reléene.



Figur 4-9: Utløserkarakteristikk fremvist i diagram i Netbas.

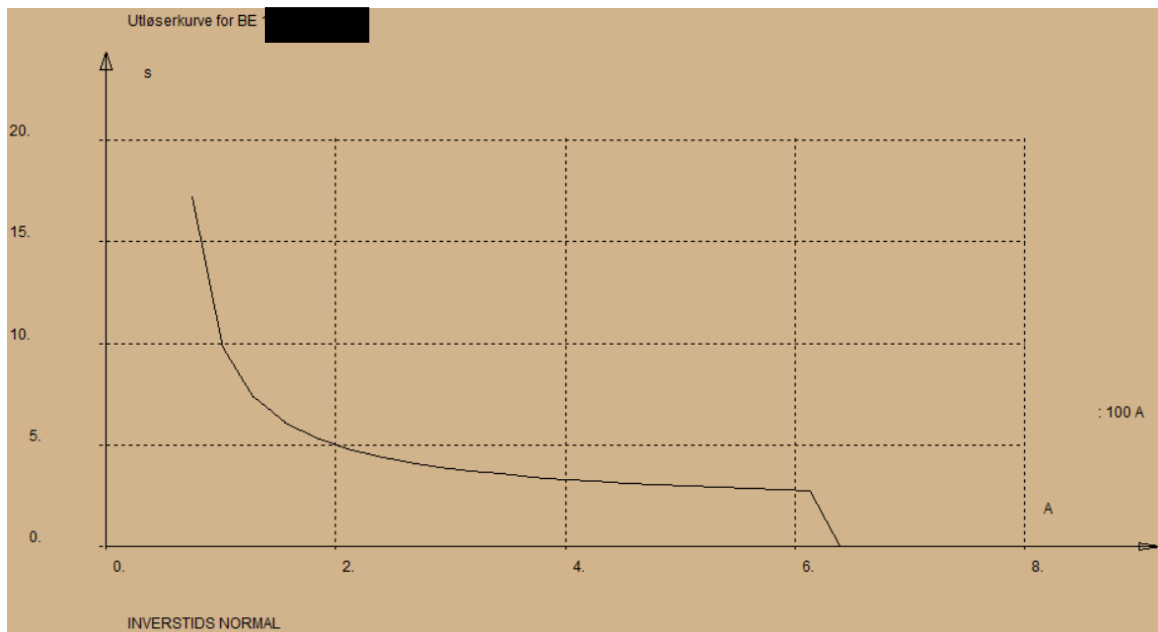
4.4.2 Inverstidskarakteristikk

I stedet for innstilling av faktoren «TMS» kaller Netbas denne faktoren for «K». Ved innstilling av denne faktoren under 1, blir ikke denne verdien lagret i reléinnstillingene i Netbas. Dette betyr at

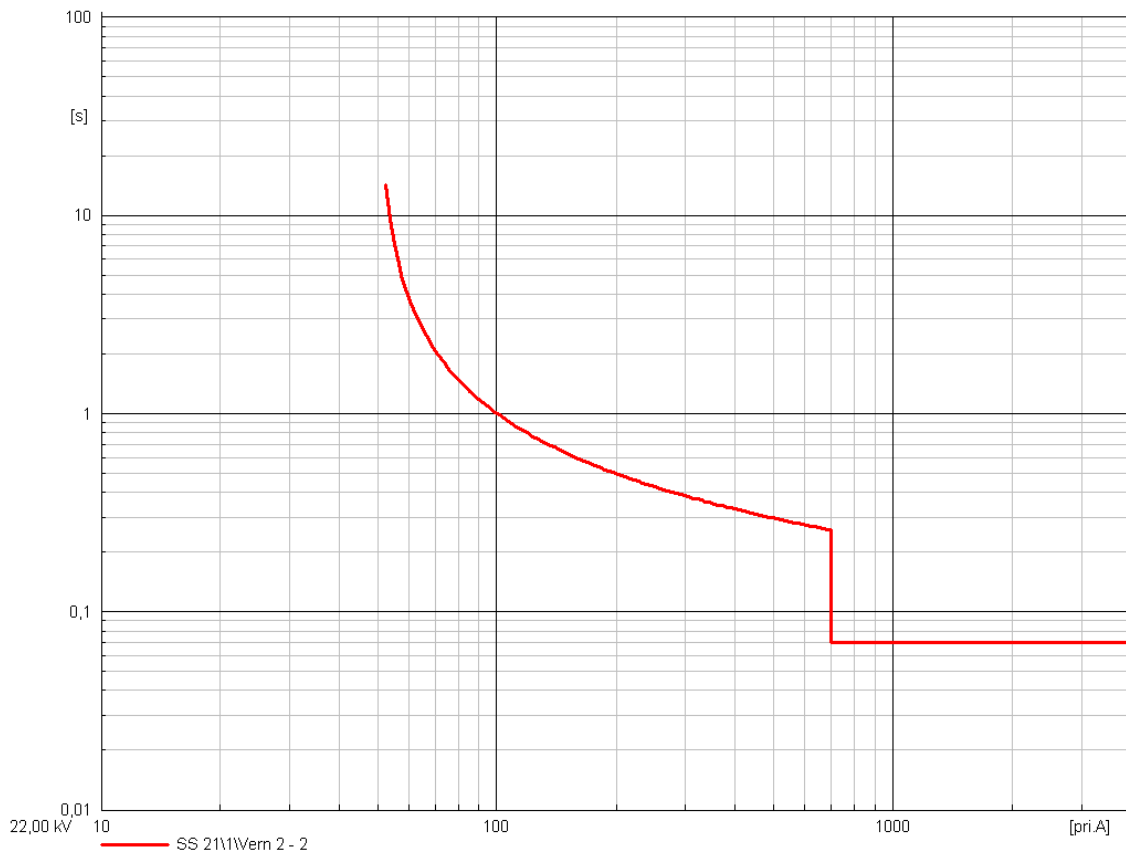
man kan taste inn 0,1 og få presentert utløserkurven, men når reléinnstillingsfanen lukkes er «k» - verdien borte. Alle reléinnstillinger utarbeidet i kapittel 3.4.4 har «k-verdi» under 1.

En annen feil som inntreffer ved inverstidskarakteristikk, er feil på tallene på y-aksen (tidsaksen). Et eksempel på dette er presentert i Figur 4-10, hvor det blir fremvist utløserkarakteristikken for relé 2-2 med inverstidskarakteristikk ved normaldele. Ved å bruke samme reléinnstillinger som i Power Factory får utløserkarakteristikken i Netbas samme form sammenlignet med resultatet i Power Factory, presentert i Figur 4-11. Feilen ligger i tallene på y-aksen. Der det står 5, skulle det vært 0,5. Det samme med at 10 skulle vært 1,0 og så videre.

Ved å sammenligne Figur 4-10 og Figur 4-11 kommer forskjellene mellom presentasjonene av resultater i Netbas og Power Factory godt frem. Ved å ha mange hjelpelinjer og logaritmisk skala blir resultatene fra Power Factory mye enklere å lese av nøyaktig. Dette er spesielt viktig ved inverstidskarakteristikk.



Figur 4-10: Utløserkarakteristikk for relé 2-2, med inverstidskarakteristikk, fra Netbas.



Figur 4-11: Utløserkarakteristikk for relé 2-2 med inverstidskarakteristikk og ved normaldele, fra Power Factory.

4.4.3 Feil utløsertid ved utfall av flere relé på samme feil.

Til å forklare denne feilen blir det brukt et eksempel. I eksempelet tas det utgangspunkt i feil på radial 2, normaldele og feilpunkt mellom relé 2-1 og 2-2. Reléinnstillingene gitt i Tabell 3-3 blir brukt, og simuleringene utføres med 3-polt kortslutning i feilpunktet med Netbas. Til fremvisning av kortslutningsstrømmer og utkoblingstider blir det benyttet funksjon for dette som er forklart i kapittel 4.1.2.

Ved simulering av eksempelet blir resultatet slik, fremvist i Figur 4-12.

Tid.	Bryter	Driftsmerking	Knp 1	Knp 2	Strøm	Mrk.	Løser ut	Status
0.12 BE					1179	630	JA	OK
0.59 BE					173	630	JA	OK

Figur 4-12: Resultater fra Netbas som eksempel.

Relé 2-1, som er det øverste presentert i Figur 4-12, har koblet fra ved 0,12 sekunder, som er momentan utkobling. Disse 0,12 sekundene består av grunntid bryter (0,07 sekunder) og

tidsforsinkelse utløser (0,05 sekunder). Relé 2-2 med tilhørende effektbryter har så lagt ut etter 0,59 sekunder ifølge simuleringsresultatene. Utkoblingen skjer som følge av kortslutningsstrøm fra DG-enhetene. Denne tiden er derimot feil. Relé 2-2 skal legge ut med normal utløsertid på 0,4 sekunder pluss grunntid bryter (0,07 sekunder), noe som blir 0,47 sekunder. Ved å utføre samme feil, men sette «grunntid bryter» og «tidsforsinkelse utløser» til 0,00 sekunder på relé 2-1, oppnås resultatene vist i Figur 4-13. Her sees det at endringer i utkoblingstiden på relé 2-1 endrer utkoblingstiden til relé 2-2 til 0,48 sekunder. Helt korrekt utkoblingstid ville vært 0,47 sekunder, men det blir plusset på 0,01 sekund fra relé 2-1. Relé 2-2, som kobler ut pga. kortslutningsstrøm fra DG-enhetene, skal i denne situasjonen ikke bli påvirket av relé 2-1, som kobler ut pga. kortslutningsstrøm fra overliggende nett.

Tid.	Bryter	Driftsmerking	Kn timer 1	Kn timer 2	Strøm	Mrk.	Løser ut	Status
0.01	BE				1179	630	JA	OK
0.48	BE				173	630	JA	OK

Figur 4-13: Resultater fra Netbas ved eksempel, med endring i utkoblingstid for relé 2-1.

Samme påvirkning blir også registrert ved feil på radial 2, dele 2-2 og feilpunkt ved tilknyttingspunktet til DG-2. Ved situasjoner hvor kortslutningsstrømmer fra DG-enhetene ikke forårsaker utkobling av vern, er ikke denne påvirkningen mellom vernene å se.

4.4.4 Skrivefeil ved valg av parametere for selektivitetsberegninger

Som forklart i kapittel 4.1.1, kan faktorene som brukes til å nedre anbefalte grense for reléene endres ved behov. Vinduet der dette gjøres vises i Figur 4-14. For de to nederste faktorene er det skrevet at dette er faktorer for øvre grense for normal utløsning for henholdsvis konstanttidsrelé og inverstidsrelé. Dette er derimot faktorene for nedre grense.

Figur 4-14: Utklipp fra valg av parametere for selektivitetsberegninger.

4.4.5 Fremstilling av vern på en radial

I Netbas er det mulig å søke etter vern ved å bruke søkefunksjonen og skrive inn «OV-OVERSTRØMSRELE». Begrensningen med denne funksjonen er at plasseringen må være kjent. Er ikke dette kjent, hentes alle vern som ligger i Netbas sin database.

En funksjon for å hente frem alle vern og deres innstillinger, på en bestemt radial er ikke funnet. En slik funksjon trengs for å hente ut dokumentasjon på reléene for de forskjellige radialene. Uten en slik funksjon må reléinnstillingene hentes fra hvert enkelt relé. Dette kan gjøres enten ved å velge reléet grafisk i modellen eller søke på hvert enkelt relé, så fremst plasseringen er kjent. Ingen av disse metodene er holdbare, da begge løsningene krever mye lokalkunnskap og tar lang tid.

5 Spørreundersøkelse

For å få svar på hvordan nettselskapene i Norge løser utfordringene med distribuert produksjon i distribusjonsnettene, ble det laget en spørreundersøkelse som ble sendt ut til 12 nettselskaper i Norge. I denne undersøkelsen ble det også spurt om hvilke beregningsprogram selskapet brukte og om de var tilfreds med dette, eller savnet noen funksjoner. Det ble mottatt svar fra 4 av de 12 nettselskapene, noe som gir en svarprosent på 33 %.

Spørreundersøkelsen ble utarbeidet i fellesskap mellom 2 masterstudenter, Andreas Rosendahl Simonsen og Kristian Vassbotten, og svarene er med dette benyttet i to forskjellige masteroppgaver, men med noe forskjellig fokus.

5.1 Stilte spørsmål

Stilte spørsmål:

1. Forklar kort hvordan reléplanlegging på en typisk distribusjonsradial blir utført i nettselskapet i dag:
2. Hva er hovedtypen vern i distribusjonsnettene i dag?
3. Hva er hovedtypen vern i distribusjonsnettene, dersom det er distribuert generering, i dag?
4. Hvilke beregningsverktøy bruker nettselskapet i dag til reléplanlegging i distribusjonsnettene?
5. Har nettselskapet tidligere skiftet eller har det nå planer om å skifte beregningsverktøy? I så fall, hva er/var den bakenforliggende årsaken?
6. Hvilke funksjoner i beregningsverktøyet/ene mener dere gjør reléplanleggingen vesentlig lettere og er tidsbesparende? Eventuelt er det noen særegne funksjoner dere verdsetter?
7. Er det funksjoner dere savner/mangler i beregningsverktøyet dere bruker, og fører eventuelt denne mangelen til at dere må bruke to eller flere verktøy for å komme frem til ønsket resultat?
8. Om dere kunne endret noe på dagens beregningsverktøy, hva ville dere endret og hvorfor?
9. Er nettselskapet fornøyd med tilgjengelige beregningsverktøy?
10. Er det behov dere ikke får dekket med dagens verktøy?
11. Når utfører dere reléplanlegging/revisjon av reléplanen?
12. Ved fremtidig utskifting eller ny installering av relévern i distribusjonsnettene, hvilken type vil bli valgt?

13. Hvorfor er dette foretrukket?
14. Ved fremtidig utskifting eller ny installering av relévern i distribusjonsnett med distribuert produksjon, hvilken type vil bli valgt?
15. Hvorfor er dette foretrukket?
16. Hvordan ser nettselskapet for seg å løse vernproblematikk relatert til økning i distribuert produksjon?
17. Er det andre ting dere tenker på når dere besvarer spørsmålene, som dere ikke føler har passa inn?

5.2 Oppsummering av svar på spørreundersøkelsen

Alle nettselskapene svarer at det per dags dato blir benyttet overstrømsvern, både med og uten retningsbestemmelse, som hovedtype vern i distribusjonsnett. Ved distribuert produksjon i distribusjonsnett svarer alle at hovedtypen vern er retningsbestemt overstrømsvern.

Ved fremtidig utskifting av relé svarer 3 selskap at overstrømsvern med konstanttidskarakteristikk er dagens filosofi, men inverstid vurderes av ett selskap. Ett av selskapene spesifiserer også at overstrømsvernet bestilles med synkronsjekk, slik at fremtidig tilknytting av DG-enheter blir taklet. Ett selskap nevner at distansevern vil bli vurdert ved nett med lav $I_{K,min}$.

Som svar på hvorfor disse vernene er foretrukket blir det svart:

- Vi vet hva vi har og har kompetansen på dette. Ved skifte av type vern må kompetanse skaffes.
- Vi bruker det vernet som passer best og binder oss ikke for mye opp mot en leverandør.

Tre av fire nettselskap benytter per dags dato Netbas, og det siste selskapet har benyttet Netbas tidligere, men benytter nå PSS Sincal og NIS-system (GeoNIS). ProDoc blir benyttet av 2 nettselskaper til å dokumentere reléinnstillinger for det enkelte relé.

Av funksjoner som er tidsbesparende, fremheves det av selskapene at beregningsprogrammet henter nettdata fra samme database, og at behovet for å bygge opp en egen modell i annet simuleringsverktøy faller bort. Brukeren av GeoNIS nevner at simulering i GeoNIS er tungvint i forhold til PSS Sincal, men på den andre siden må man lage nettmodeller i SinCal, mens i GeoNIS er dette ferdig. Brukeren savner bedre funksjonalitet i GeoNIS og muligheten til å konvertere data fra GeoNIS til PSS SinCal. NetBas-brukerne savner en enklere funksjon for å se selektivitet mellom vernene, da gjerne som utløserkarakteristikker fremstilt i tid-strøm diagram. Det kommer også frem et ønske om mer brukerfrihet til å sette opp nettbilde i NetBas, samt ferdigproduserte innstillinger for jordfeil i NetBas.

På spørsmålet om det er noen behov som ikke blir dekket med dagens verktøy, nevnes kun det at relékarakteristikk ikke blir tegnet opp med dagens verktøy, men dette nevnes av flere.

På spørsmålet om nettselskapene er fornøyd med simuleringsverktøyene de har, er gjennomsnittsvaret 6,5 poeng på en skala fra 1 til 10.

6 Diskusjon

Ved bruk av standarden IEC 60909, som grunnlag for simuleringer i Power Factory og Netbas, blir noen forenklinger gjort. Under beregning av kortslutningsstrømmer vil laster bli neglisjert, og det blir brukt merkespenning i beregningene. Neglisjering av lastene ved beregning av stasjonære kortslutningsstrømmer skaper ikke store endringer. Bruken av merkespenning fører til noe lavere kortslutningsstrømmer enn ved bruk av reelle spenninger.

Noen forskjeller mellom simuleringsprogrammene Netbas og Power Factory er forklart. Netbas retter seg mer mot drift, dokumentasjon og prosjektering. Mens Power Factory retter seg mer mot nøyaktige simuleringer som kreves ved høyere spenningsnivå og i forskningsøyemed.

Modellen for radial 1 er blitt forbedret fra spesialiseringsprosjektet, men fortsatt er kortslutningsstrømmene fra simuleringer utført i Netbas og i Power Factory ikke helt identiske. Dette gjelder også for radial 2. Undersøkelser av modellene er utført flere ganger for å kontrollere datagrunnlaget de er bygget på, uten å finne feil eller mangler. Bruk av en spesifikk type relévern i Power Factory i forhold til i Netbas burde ha minimal påvirkning, da reléene inneholder samme funksjoner. Det overliggende nettet er noe annerledes modellert i Netbas enn i Power Factory og noe av forskjellene kan komme herfra, men ikke alle. Kilden til forskjellene er med det ikke funnet, men forskjellene er så små at de ikke har noen vesentlig påvirkning. Ved videre kalkuleringer fra simuleringsresultatene er det tatt utgangspunkt i verst tenkelig verdi ved forskjell mellom simuleringsprogrammene. På grunn av manglende data på reléinnstillingen til DG-enhetene er det valgt å la dem bidra under hele kortslutningsforløpet. Dette er ikke slik det vil være i en reell situasjon, men man vil med dette få simulert de verst tenkelige situasjoner. Under utviklingen av reléplanene er ikke selektivitet mellom reléene og høyspentsikringene på fordelingstransformatorer analysert. Dette burde gjøres før reléinnstillingene tas i bruk.

Nye innstillinger for overstrømsvernene på radial 1 er laget og allerede implementert i de fysiske reléene i nettet. I følge simuleringer skal selektivitetsproblemet være løst. Men noen bekreftelse på dette ved en feilsituasjon er ikke mottatt, på grunn av en feil ved den ytterste effektbryteren. Effektbryteren er på grunn av dette per dags dato forbikoblet og hindrer en bekreftelse på at selektivitetsproblemet er løst.

Radialer med distribuert produksjon byr på mye mer utfordringer enn en radial uten DG-enheter. På radial 2 økes kompleksiteten videre ved mulighet for endring i normaldelet og faktisk flytting av DG-enheten fra den ene radialen til den andre. Ved å sette relé 2-2 til å være retningsbestemt vil problemene som følge av DG-enhetene forsvinne ved radial 2, når radialen er delt ved normaldele. Når radialen er delt ved dele 2-2, forsvinner problemene først ved å sette relé 2-3 og 1-6 til å være

retningsbestemte. Dette vil være en billig måte å løse problemet med sympatiutkobling på generelt. Det er ikke funnet noe problem med blinding på radial 2. Noen små endringer av reléinnstillingene på radial 2 er anbefalt i Tabell 3-11 og Tabell 3-12. Disse endringene antas å komme av en økt kortslutningsytelse i det overliggende nettet.

Ved undersøkelse av de forskjellige mulighetene for å dele opp radial 2 ble det utarbeidet tre forskjellige reléinnstillinger for henholdsvis tre forskjellige måter å dele radialen på. Ved innføring av A- og B-innstillinger på vernene, er det kommet frem at det er behov for disse tre reléinnstillingene, i hvert fall hvis dagens praksis blir videreført med 5 mulige måter å dele radialen på.

I starten av prosjektet hersket det noe tvil om relé 2-2 på radial 2 var retningsbestemt eller ikke. Ved å sammenligne hvilke problemer Eidsiva ville opplevd om relé 2-2 ikke er retningsbestemt, med de problemene de har i dag, kan man med sikkerhet si at relé 2-2 allerede er retningsbestemt.

Ved å sammenligne nye reléinnstillinger med inverstidskarakteristikk, både på radial 1 og 2, opp mot dagens reléinnstillinger med konstanttidskarakteristikk, blir flere trender funnet. Inverstidskarakteristikk fører til en reduksjon i utkoblingstiden ved å se på både gjennomsnittlig utkoblingstid og maksimal utkoblingstid. Utkoblingstiden ved relésvikt (backup-reléet må koble ut feilen), fører til tilnærmet lik eller noe lenger utkoblingstid sammenlignet med konstanttidskarakteristikk. De største forskjellene er å finne ved vern plassert tidlig på avgangen. Dette betyr at ved normaldrift vil det være mulig å ha flere relé i serie ved bruk av inverstidskarakteristikk, sammenlignet med konstanttidskarakteristikk, uten reduksjon i koordineringstiden, og uten å oppnå uholdbare utkoblingstider. Skal like mange relé med konstanttidskarakteristikk settes i serie, må koordineringstiden reduseres eller utkoblingstiden for det første vernet på radialen forlenges. En tid som skiller seg litt ut på radial 2, dele 2-2, er tiden ved vernsvikt på relé 1-6. Dette kommer av problemer med å sette en god innstilling på relé 1-6 som følge av nettkonfigurasjonen og kortslutningsstrømmen. Ved overveieelse om å gå over til inverstidskarakteristikk, må disse fordelene og ulempene sees opp den økte kompleksiteten og arbeidsmengden utarbeidelse av reléplaner med inverstidskarakteristikk har. Om nettselskapet har den trengte kompetansen, verktøyene og arbeidskraften, må også vurderes.

Ved overgang til distansevern kommer det frem i spørreundersøkelsen at nettselskapene vil trenge å øke sin kompetanse innen området. Distansevern blir som presentert, påvirket noe av DG-enheter i nettet, men i dette tilfellet mer av lysbueresistansen i feilpunktet. Hvordan lysbueresistansen er beregnet i rapporten gir ikke helt korrekte verdier, men tilnærmede verdier som viser hvor stor påvirkning resistansen kan ha. Fordelene med liten påvirkning ved endringer i nettet og tilknyttet generatorkapasitet, må sees opp mot den nødvendige kompetansehevingen i selskapene og

nødvendigheten for et mer komplekst vern for å sikre selektivitet. Den rent kostnadsmessige delen ved å velge distansevern fremfor overstrømsvern er ikke blitt analysert.

Ved å benytte flere funksjoner i Netbas er det vist at Netbas effektivt kan redusere arbeidstiden og -mengden brukt under reléplanlegging. Spesielt viktig er hvordan Netbas aktivt kan gi forslag på intervaller som grensene til overstrømsvern må holde seg innenfor. Denne funksjonen kan lett benyttes ved omkobling i nettet for å kontrollere at feil blir fanget opp og koblet ut. Annen funksjon sjekker selektiviteten mellom vernene ved forskjellige valgte feilpunkt. Det er ikke blitt funnet noen funksjon for å legge inn distansevern i Netbas, men funksjoner for å hente ut linjeimpedans mellom 2 punkt er presentert. Denne funksjonen reduserer arbeidstiden ved slik uthenting vesentlig. Alle disse funksjonene forutsetter en godt oppdatert nettmodell, men dette er ikke noe problem hos Eidsiva. Eidsiva har derimot ikke lagt inn reléinnstillingen i modellen, og dette hindrer bruken av flere funksjoner. For nettdata er det bestemt av Eidsiva-ledelsen at Netbas skal være databasen som skal være oppdatert. Reléinnstillinger blir holdt oppdatert i et annet system. Problemet med innlegging av reléinnstillinger i Netbas, blir da at det blir enda en plass som må oppdateres ved endringer i reléinnstillingene. Noen fordelene og ulempene med å bruke Netbas sin database til å lagre alle reléinnstillinger er presentert. Videre undersøkelse av dette, burde gjøres av personer med større kunnskap om hva som trengs av funksjoner i den daglige driften og for å sikre korrekt dokumentasjon av reléinnstillingene.

Netbas egner seg godt til utarbeidelse av reléinnstillinger med konstanttidskarakteristikk. Ved overgang til inverstidskarakteristikk savnes muligheten å presentere flere utløserkarakteristikker i samme diagram, og Netbas er dermed ikke så godt egnet til dette. Noen mulighet for å legge i distansevern i Netbas er ikke funnet.

Per dags dato blir det ikke utført endringer av reléinnstillinger ved flytting av dele på radial 2. Det er vist ved simuleringer at ved flytting av delet til 2-2 eller 1-5, vil det ikke være selektivitet mellom de to ytterste vernene ved feil nedstrøms det ytterste. Fremtidig endring av denne praksisen burde diskuteres innad i Eidsiva, og det må minimum tas med følgende punkter:

- Skal reléinnstillingen endres bare ved planlagt arbeid eller også ved langvarig feil?
- Har driftsingeniøren på driftssentralen nok tid til å legge inn nødvendige data på vern i Netbas, for så å utføre nødvendig simulering i en feilsituasjon?
- Vil data for vernene være tilgjengelig for driftsingeniøren i driftssentralen?
- Har driftsingeniøren nok kompetanse til å kalkulere nye reléinnstillinger, eller vil dette eventuelt skje så sjelden at prosedyren blir glemt?
- Har montørene ute i feltet nok kompetanse, og er de villig til å utføre endringer på vernene?

Ved gjennomgang av forskjellige funksjoner i Netbas ble det funnet flere små feil som burde utbedres. Den største feilen som virkelig burde rettes på, er hvordan utkoblingstidene for to relé påvirker hverandre ved situasjoner hvor DG-enheter forårsaker utfall av begge reléene. Muligheten for å endre faktoren som setter den øvre grensen ved normalutløsning av reléene i Netbas, burde implementeres.

ProDoc er kort nevnt i rapporten og har ikke blitt grundig undersøkt. Programmet brukes ikke aktivt av Eidsiva i dag under reléplanlegging, men brukes til å lagre dokumentasjon av reléinnstillingene for de enkelte vern. Om denne lagringen av dokumentasjon kan utføres i Netbas i fremtiden, burde undersøkes.

Spørreundersøkelsen har hatt en svarprosent på 33 % (4/12). Om dette er et for snevert grunnlag til å peke ut noen trender kan diskuteres, men det må påpekes at de fire svarene som ble mottatt ofte sammenfaller. Dagens foretrukket vern på distribusjonsradialer er hos selskapene overstrømsvern, og ved DG-enheter tilknyttet er vernet retningsbestemt. Bruk av distansevern på distribusjonsradial er kun nevnt av ett selskap. Behov for kompetanseheving ved bruk av nye vern og god kunnskap rundt vern som brukes i dag, blir trukket frem som bakenforliggende årsaker til dette. En funksjon som ikke blir tilfredsstillt med dagens verktøy, mener selskapene er fremstilling av utløserkarakteristikkene grafisk. Dette kan gjøres i Netbas, men ikke flere karakteristikk i samme diagram for å sjekke selektiviteten. En eventuell midlertidig løsning på dette burde vært mulig å lage i Matlab eller Excel. Selskapene svarer at de totalt sett er litt over middels tilfreds med dagens verktøy. Dette betyr at det finnes rom for forbedringer og endringer.

7 Konklusjon

Nye reléinnstillinger for reléene på radial 1 er blitt utarbeidet og implementert i de faktiske reléene i nettet. Grunnet feil på en effektbryter har det ikke vært mulig med noen bekreftelse på at reléene nå er selektive.

For radial 2 er det ikke funnet behov for store endringer i dagens reléplaner for kortslutningsstrømmer. De små endringer som blir anbefalt, antas å komme av en økning i kortslutningsytelsen i det overliggende nettet. Ved endring i nettkonfigurasjonen på radial 2, er det behov for endringer i reléinnstillingen. Totalt er det behov for tre forskjellige reléinnstillinger for de totalt fem forskjellige nettkonfigurasjonene.

Hvordan reléplanlegging ved overstrømsvern med konstant- eller inverstidskarakteristikk skal utføres, er blitt forklart. Videre er reléplanlegging av distansevern forklart.

Flere gode funksjoner i Netbas til bruk under reléplanlegging er blitt presentert. Noen små feil er blitt funnet i enkelte funksjoner.

Svarene fra spørreundersøkelsen viser at nettselskapene bruker overstrømsvern som hovedtype på distribusjonsradialer. Ved tilknytting av DG-enheter er hovedtypen retningsbestemt overstrømsvern. Ved endring til annen type vern, må det påregnes behov for kurs for å heve kompetansen vedrørende den nye verntypen. Videre savner selskapene en funksjon for å tegne utløserkarakteristikker for å kontrollere selektivitet mellom reléene. Totalt sett sier nettselskapene seg litt over middels fornøyd med dagens verktøy for bruk under reléplanlegging.

8 Videre arbeid

Undersøke muligheten for å gjøre endringer i Netbas slik at det blir mulig å tegne flere utløserkarakteristikker i samme tid-strøm diagram.

Utarbeide en funksjon i MATLAB, Excel eller annet program som på en lett måte kan representere utløserkarakteristikker visuelt til bruk under reléplanlegging.

Utføre reléplanlegging for jordfeilsrelé på radial 2.

Undersøke muligheten for bruk av Netbas under reléplanlegging for jordfeilsrelé.

Se nærmere på om noe kan gjøres for å sikre en mer stabil drift av Netbas.

9 Referanser

- [1] M. Maleknia and H. K. Karegar, "Optimal coordination of over-current relay with Distributed Generation consideration," in *2011 International Conference on Advanced Power System Automation and Protection (APAP)*, 2011, vol. 2, pp. 1354–1358.
- [2] P. P. Barker and R. W. de Mello, "Determining the impact of distributed generation on power systems. I. Radial distribution systems," in *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 2000*, 2000, vol. 3, pp. 1645–1656 vol. 3.
- [3] H. Saadat, *Power system Analysis*, THIRD EDITION edition. United States: PSA Publishing, 2010.
- [4] T. S. Lefstad, "Distansevern i distribusjonsnett," Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet Institutt for elkraftteknikk, Trondheim, Jan. 2012.
- [5] E. A. Dyrstad, "Relay Lab at NTNU," Norwegian University of Technology and Science NTNU, Trondheim, Master thesis, June.
- [6] S. H. Horowitz and A. G. Phadke, *Power System Relaying*, 3 edition. Chichester, England ; Hoboken, NJ: Wiley, 2008.
- [7] A. R. Simonsen, "Selektivitet på lange distribusjonsavganger," Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet Institutt for elkraftteknikk, NTNU - Trondheim, Spesialiseringsprosjekt, Desember 2014.
- [8] "Funksjonskrav i kraftsystemet (FIKS 2012) publisert," *Statnett*, 08-Nov-2014. [Online]. Available: <http://www.statnett.no/Media/Nyheter/Nyhetsarkiv-2012/Funksjonskrav-i-kraftsystemet-FIKS-2012-publisert-/>. [Accessed: 08-Nov-2014].
- [9] T. Keil and J. Jager, "Advanced Coordination Method for Overcurrent Protection Relays Using Nonstandard Tripping Characteristics," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 23, no. 1, pp. 52–57, Jan. 2008.
- [10] E. Lamo, "Relèvernkurs," presented at the Relèvernkurs, Siemens, Trondheim, 14 okt-2014.
- [11] Z. Bin, Y. Liming, Z. Yonggang, and H. Chao, "Impact of Distributed Generation on Relay Protections of Distribution Grid," *TELKOMNIKA Indones. J. Electr. Eng.*, vol. 11, no. 6, Jun. 2013.
- [12] P. P. Bedekar, S. R. Bhide, and V. S. Kale, "Coordination of overcurrent relays in distribution system using linear programming technique," in *2009 International Conference on Control, Automation, Communication and Energy Conservation, 2009. INCACEC 2009*, 2009, pp. 1–4.
- [13] A. Girgis and S. Brahma, "Effect of distributed generation on protective device coordination in distribution system," presented at the 2001 Large Engineering Systems Conference on Power Engineering, 2001. LESCOPE '01, 2001, pp. 115–119.

- [14] Y. Baghzouz, "Voltage Regulation and Overcurrent Protection Issues in Distribution Feeders with Distributed Generation - A Case Study," presented at the Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2005. HICSS '05, 2005, p. 66b–66b.
- [15] J. I. Marvik, A. Petterteig, and H. K. Hoidalen, "Analysis of Fault Detection and Location in Medium Voltage Radial Networks with Distributed Generation," presented at the Power Tech, 2007 IEEE Lausanne, 2007, pp. 1191–1196.
- [16] M. Ezzeddine and R. Kaczmarek, "A novel method for optimal coordination of directional overcurrent relays considering their available discrete settings and several operation characteristics," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 81, no. 7, pp. 1475–1481, Jul. 2011.
- [17] F. Kavehnia, H. Seifi, H. Keivani, and M. R. Askari, "Optimal Coordination of Directional Over Current Relays in Power System Using Genetic Algorithm," in *Universities Power Engineering Conference, 2006. UPEC '06. Proceedings of the 41st International*, 2006, vol. 3, pp. 824–827.
- [18] J. A. Sueiro, E. Diaz-Dorado, E. Míguez, and J. Cidrás, "Coordination of directional overcurrent relay using evolutionary algorithm and linear programming," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 42, no. 1, pp. 299–305, Nov. 2012.
- [19] W. A. Elmore, *Protective Relaying: Theory and Applications*, 2 edition. New Delhi: CRC Press, 2003.
- [20] "Per Morten Løvhøiden. Testingeniør hos Jacobsen Elektro," 26-Feb-2015.
- [21] General Electric, "Line Protection with Distance Relays."
- [22] S. H. Horowitz and A. G. Phadke, *Power System Relaying*, 3 edition. Chichester, England ; Hoboken, NJ: Wiley, 2008.
- [23] J. I. Marvik, "Fault Location in Medium Voltage Distribution Networks with Distributed Generation," Doctoral theses, NTNU - Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Institutt for elkraftteknikk, Trondheim, 2011.
- [24] A. Sinclair, D. Finney, D. Martin, and P. Sharma, "Distance Protection in Distribution Systems: How It Assists With Integrating Distributed Resources," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 50, no. 3, pp. 2186–2196, Mai 2014.
- [25] *Powel NETBAS 11 introduction video [online]*
<http://www.powel.com/no/about/kundehistorier/powel-netbas-11-introduction/>. 2014.
- [26] "Eksempel på reléplan i ProDoc." Jacobsen elektro, 01-Jan-2003.
- [27] Eidsiva Nett AS, "Avtale om teknisk nettilknytning i forbindelse med bygging og drifting av mikro-, mini- og småkraftverk i Eidsiva Nett AS (EN) sitt konsesjonsområde.," Eidsiva Nett AS, Avtale.
- [28] A. Petterteig, O. Mogstad, T. Henriksen, and Ø. Håland, "Sintef Energiforskning TR A6343 : Tekniske retningslinjer for tilknytning av produksjonsenheter, med maksimum aktiv

effektproduksjon mindre enn 10 MW, til distribusjonsnettet,” Sintef Energiforskning AS, Sintef Trondheim, TR A6343, Nov. 2006.

- [29] P. Kundur, *Power System Stability and Control*, 1st edition. New York: McGraw-Hill Education, 1994.