

Rapport

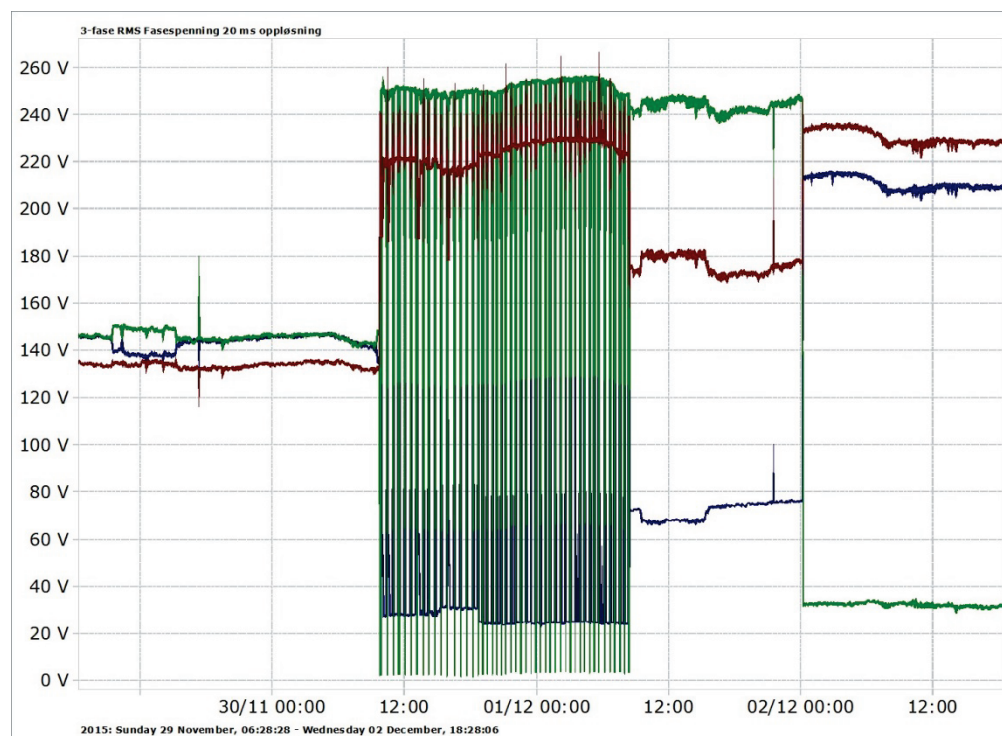
Sikker jordfeildeteksjon

Jordfeildeteksjon i nettstasjon og hos kunder

Forfatter(e)

Helge Seljeseth

Eilif Hugo Hansen



SINTEF Energi AS

Postadresse:
Postboks 4761 Sluppen
7465 TrondheimSentralbord: 73597200
Telefaks: 73597250energy.research@sintef.no
www.sintef.no/energi
Foretaksregister:
NO 939 350 675 MVA

Rapport

Sikker jordfeildeteksjon

Jordfeildeteksjon i nettstasjon og hos kunder

EMNEORD:Jordfeil
Måling
Deteksjon
AMS
Varsling**VERSJON**

1.0

DATO

2015-12-22

FORFATTER(E)Helge Seljeseth
Eilif Hugo Hansen**OPPDRAGSGIVER(E)**

Energi Norge

OPPDRAGSGIVERS REF.

Ketil Sagen

PROSJEKTNR

502000094

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

48

SAMMENDRAG

En stor andel av det norske lavspenningsnettet (grovt regnet 70 %) er 230 V IT nett. Norge har en høy andel 230 V IT-nett, mens denne typen er svært lite utbredt i resten av verden.

I en tid hvor man i Norge nå står foran store investeringer i nye smarte energimålere til alle kunder (AMS-utrulling 2019) er det viktig å sette fokus på at man med riktig valg av utstyr kan få mye bedre oversikt over jordfeil i lavspenningsnettene.

Basert på hva slags utstyr som i dag er tilgjengelig for nettstasjoner for deteksjon av jordfeil og hva som er og sannsynligvis vil være tilgjengelig av deteksjon av jordfeil med smarte energimålere under utrulling av AMS i Norge fram mot 2019 vil en anbefaling om god/sikker jordfeildeteksjon være som følger

- Måling av spenningene mellom fase og jord i nettstasjon
- Måling av sumstrøm hos alle kunder med AMS

Anbefalingen bygger på at det med en slik løsning vil være svært liten sannsynlighet for at jordfeil ikke blir detektert (kap.3.2) samtidig som nettselskapene vil få god hjelp i å finne kildene til jordfeilene (kap. 3.1).

UTARBEIDET AV

Helge Seljeseth

SIGNATUR

**KONTROLLERT AV**

Eivind Solvang

SIGNATUR

**GODKJENT AV**

Knut Samdal

SIGNATUR

**RAPPORTNR**

TR A7539

ISBN**GRADERING**

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
0.1	2015-11-24	Første versjon uten innledning/teori
0.2	2015-12-14	Første fullversjon til høring
1.0	2015-12-22	Endelig versjon

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	5
2	Teori og historikk	8
2.1	Enpolt jordfeil.....	8
2.2	Topolt jordfeil.....	9
2.3	Jordfeil deteksjon og jordfeil vern.....	10
2.3.1	Jordfeilbrytere.....	10
2.3.2	Jordfeilvarslere.....	13
2.3.3	Problemer med jordfeilbrytere/varslere.....	14
2.3.4	Feilaktig detektering av jordfeil.....	14
2.3.5	Usymmetriske kapasitanser til jord.....	14
2.3.6	Ikke utkobling når det er jordfeil i installasjonen.....	16
2.3.7	Utløsning ved støtstrømmer.....	16
2.4	Bruk av jordfeilvern i Norge.....	17
2.5	Jordfeil og energimåling.....	18
3	Metoder for jordfeildeteksjon	19
3.1	Deteksjon ved spenningsmåling og sumstrømmåling.....	19
3.2	Deteksjon i nettstasjon.....	20
3.3	Jordfeildeteksjon hos kunde med AMS.....	21
3.4	Grenseverdier og filter for jordfeildeteksjon.....	22
3.4.1	Grenseverdier for måling av jordfeil.....	22
4	Deteksjon og varsling av jordfeil	25
4.1	Varsling kontra avspørring (Push VS Pull).....	25
4.2	Filtrering.....	26
4.3	Automatisering av deteksjon og feilsøking.....	29
5	Anbefaling til deteksjon og varsling av jordfeil	31
6	Eksempelsamling for jordfeil	32
6.1	Eksempel på kilder til jordfeil.....	32
6.2	Enpolt jordfeil.....	32
6.3	Topolt/trepolt jordfeil.....	34
6.4	Intermitterende jordfeil.....	38
6.4.1	Langsomme variasjoner.....	38
6.4.2	Hurtige variasjoner.....	39
6.5	Jordpunktet utenfor spenningstrekanten.....	40
6.6	Eksempel på nett med svært mye jordfeil.....	45
7	Referanser	48

1 Innledning

En stor andel av det norske lavspenningsnettet (grovt regnet 70 %) er 230 V IT nett (deltanett). Norge har en høy andel 230 V IT-nett, mens denne typen er svært lite utbredt i resten av verden.

En fordel med IT-nettet er at strømmen ved én jordfeil normalt er liten. Dette har man gjerne stor nytte av på sykehus og installasjoner med svært kritiske lastapparater. Får man eksempelvis jordfeil på et sykehus midt under en operasjon har man fortsatt strømforsyning (sikringer løser ikke ut) og kan enten fortsette operasjonen eller kontrollert avslutte den dersom det er mulig. I installasjoner med så kritisk lastutstyr som et sykehus har man imidlertid alltid nøye overvåking av jordfeil og kan vurdere situasjonen når jordfeil oppstår og om nødvendig rask foreta handlinger for å redusere risiko for alvorlige hendelser. I det vanlige norske 230 IT-nettet som forsyner alt fra husholdningskunder til næringskunder er god overvåking mye mindre utbredt enn på sykehus.

Det er etterhvert kommet krav til elektriske installasjoner om jordfeilvarsler og deretter jordfeilbryter, men det er langt fra full utbredelse av dette da installasjon av slikt utstyr i boliger ikke blir utløst ved annet enn nybygg og betydelige endringer i eksisterende elektriske anlegg. Målinger i norske lavspenningsnett har mange steder avslørt at mange jordfeil oppstår, at mange forskjellige typer jordfeil oppstår og at det er jordfeil en høy andel av tiden over lang tid (flere år) uten at nettselskapet vet om det. I en tid hvor man i Norge nå står foran store investeringer i nye smarte energimålere til alle kunder (AMS-utrollingen 2019) er det viktig å sette fokus på at man med riktig valg av utstyr kan få mye bedre oversikt over jordfeil i lavspenningsnettene.

IT-nett

Bokstaven *I* som første bokstav viser at vi har å gjøre med et isolert nett (alle spenningsførende deler er isolert fra jord), eller at nettet er jordet gjennom en impedans. Nøytralpunktet (eller en av ytterlederne) kan ha gjennomslagsvern mot jord.

Bokstaven *T* som andre bokstav viser at utsatte anleggsdeler i nettet er jordet uavhengig av systemjord.

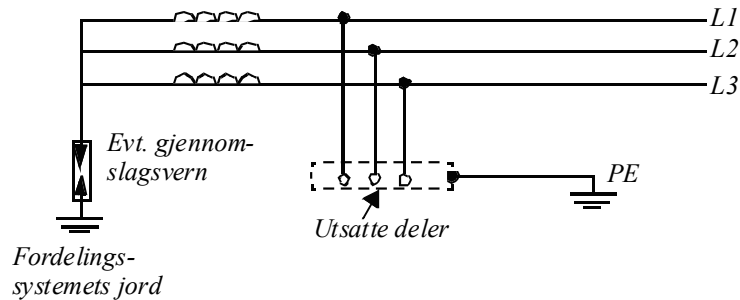
Ved jordfeil på en fase i et IT-nett er strømmens returveier til nettet i hovedsak kun gjennom nettets kapasitanser mot jord. Dette gir så høye impedanser for feilstrømmen at denne blir liten, og IT-nett har vært tillatt drevet med en stående jordfeil på en fase. Dette kan i enkelte tilfeller være hensiktsmessig ut fra en vurdering av driftssikkerheten.

En har imidlertid erfart at også endel topolede jordfeil (samtidig jordfeil på to forskjellige faser) kan stå på IT-nett, fordi strømmene ikke blir tilstrekkelig store til at overstrømsvern løser ut. Slike feil gir vesentlig høyere strømmer enn enpolte jordfeil, og dette er uønskede situasjoner mht berørings- og brannikkerhet.

I det norske 230V-nettet blir nøytralpunktet isolert fra jord ved hjelp av et gjennomslagsvern på sekundærsiden (lavspenningsiden) av fordelingstransformatoren. Gjennomslagsvernets oppgave er å hindre at det oppstår farlige spenninger på lavspenningsiden i transformatoren. De kan oppstå ved atmosfæriske overspenninger, ved feil i transformatoren ved at det blir skapt forbindelse til jord osv. For spenninger på 400-1000V er det ikke påbudt, og ofte heller ikke ønskelig, med gjennomslagsvern.

Ved siden av Norge, er det bare Albania som har utstrakt bruk av IT-nett i Europa.

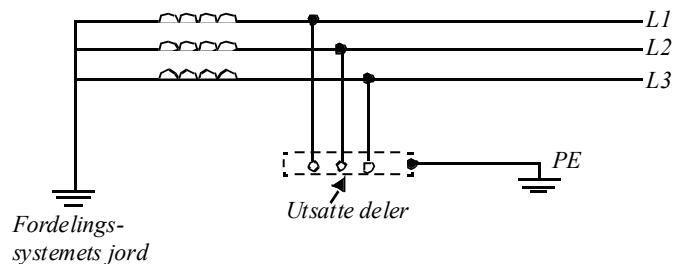
Prinsippet for IT-nett er vist i figur 1.1



Figur 1.1 IT-nett [1]

TT-system

I TT-systemer er et punkt i nettet, vanligvis nøytralpunktet på transformatorens sekundærvikling, jordet (første *T*). Utsatte anleggsdeler er jordet separat, uavhengig av jordingen av transformatorviklingens nøytralpunkt (andre *T*).



Figur 1.2 TT-nett [1]

TT-nett kan brukes til alle formål med en nominell spenning på opptil 230V med unntak for enkelte medisinske områder eller for nødforsyning.

Det er få TT-nett her i landet, og de er opprinnelig bygd som IT-nett. På grunn av problemene med de gamle gjennomslagsvernene av glimmer, som ofte ga varige forbindelser til jord selv etter kortvarige atmosfæriske overspenninger, fikk noen nettselskap tillatelse (dispensasjon fra forskriftene) til å drive disse nettene med direkte jordet nøytralpunkt. Det er vanskelig å trekke frem noen klare fordeler med TT-nett fremfor de øvrige nettsystemene, og det har vært diskusjoner hvorvidt slike nett skal totalforbys.

TN-nett

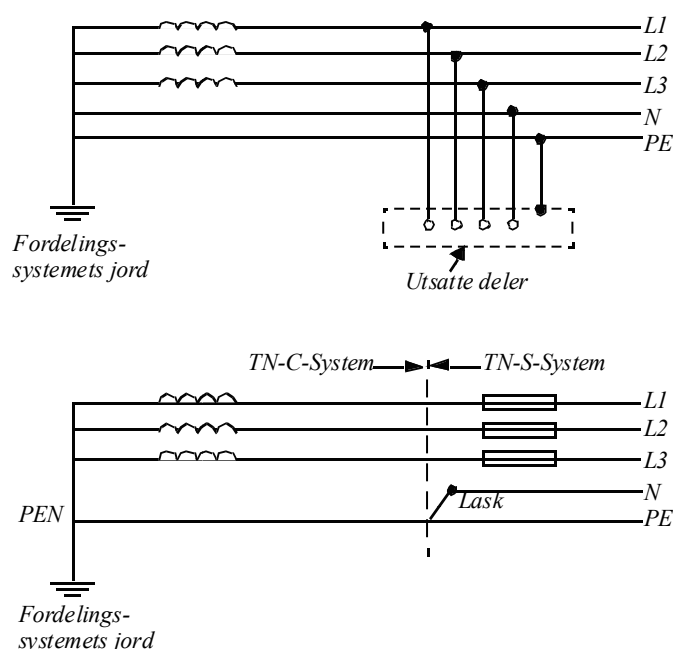
Bokstaven *T* som første bokstav viser at et punkt i nettet, vanligvis nøytralpunktet i transformatorens sekundærvikling, er direkte og varig forbundet til jord. Bokstaven *N* som andre bokstav viser at

utsatte anleggsdeler har direkte forbindelse til nøytralpunktets jord gjennom beskyttelsesjordledere (PE-ledere).

TN-nett kan utføres som TN-C-nett, TN-S-nett og TN-C-S-nett :

- TN-C-nett** N-lederen og PE-lederen er kombinert i én leder, PEN-lederen.
- TN-S-nett** N-lederen og PE-lederen er atskilt.
- TN-C-S-nett** N-lederen og PE-lederen er kombinert i én leder i en del av nettet.

Når *C* står som tredje bokstav, er nøytrallederen (N-lederen) og beskyttelsesjordlederen (PE-lederen) ført ut som en kombinert ledere (PEN-leder). Når *S* står som tredje bokstav (TN-S-nett), er N-lederen og PE-lederen ført ut som separate ledere. TN-C-S er en kombinasjon av disse to systemene. TN-systemer er illustrert i figur 3.3.



Figur 1.3 TN-nett [1]

I et 230/400V system er det 400V linjespenning, dvs. spenningen mellom to faser, og 230V fasespenning, dvs. spenningen mellom fase og nøytralpunkt. Enfase 230V laster tilknyttes derfor mellom en faseleder og N-lederen. Enfase 400V-laster kan tas ut mellom to faseledere (dette betegnes gjerne som en tofase-last i systemet), mens trefase 400V-last tas ut mellom de tre faselederne.

TN-systemer for 230/400V har den fordelen fremfor 230V-systemer at strømmene i nettet er mindre for å fremføre den samme effekten. Dette gir lavere tap i nettet, eller medfører at ledningsnettets kan dimensjoneres med mindre tverrsnitt, og dermed til en lavere pris.

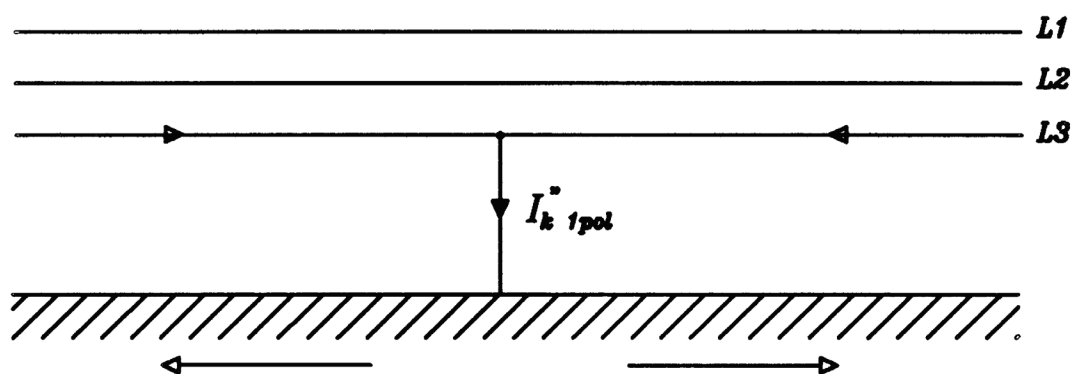
Ved at spenningene i et 230/400V-system er høyere enn i et 230V-system, vil faren ved direkte berøring øke.

2 Teori og historikk

2.1 Enpolt jordfeil

Av de usymmetriske kortslutningstypene er enpolt jordfeil den viktigste. Det er ikke bare den feilsituasjonen som er mest vanlig, men også den som gir størst variasjon i størrelse på feilstrømmene. I helt spesielle tilfeller kan til og med feilstrømmen ved enpolt jordfeil overstige strømmen vi får ved trepolt kortslutning.

Enpolt jordfeil er vist i figur 2.1.



Figur 2.1 Enpolt jordfeil

Enpolt jordfeil er vesentlig for beregning av forventende berøringsspenninger ved feil. Dessuten har slike feil betydning ved spørsmål om interferens, og ved dimensjoneringen av jordingsystemet.

Strømmen ved enpolt jordfeil kan prinsipielt finnes ved bruk av symmetriske komponenter.

Jordfeilsstrømmen blir

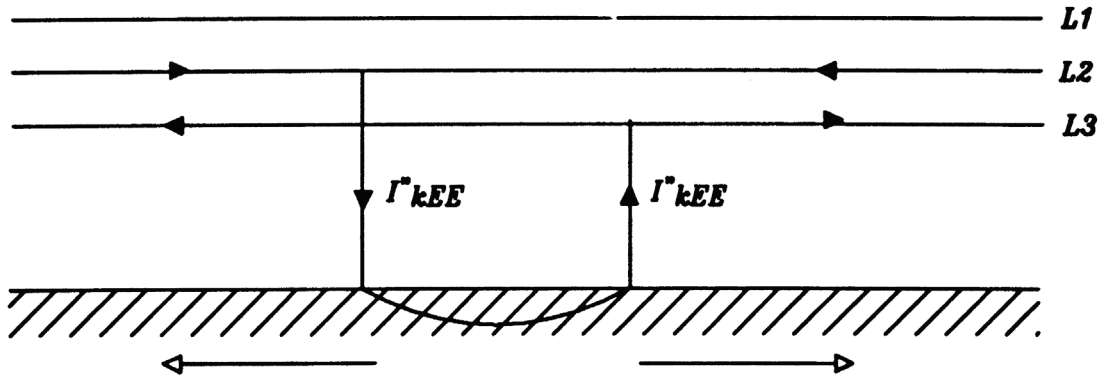
$$I_k = -\frac{\sqrt{3} \cdot U_l}{Z_+ + Z_- + Z_0 + 3 \cdot Z_f}$$

der Z_f er eventuell impedans i feilstedet.

Nullimpedansen Z_0 vil være sterkt avhengig av hvilken returvei strømmen har til nettet. Virkningen av en enpolt jordfeil vil dermed avhenge sterkt av hvilken type fordelingssystem vi har.

2.2 Topolt jordfeil

Topolt jordfeil er vist i figur 2.2



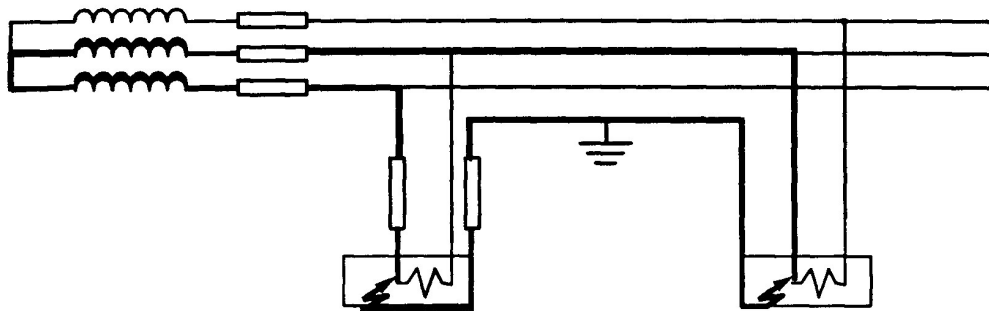
Figur 2.2 Topolt jordfeil.

Topolt jordfeil vil i prinsippet være en topolt kortslutning via jord. Kortslutningsstrømmen kan beregnes på samme måte som for topolt kortslutning, men en må ta hensyn til motstanden i jordingselektrodene når en setter opp impedansene i systemet.

For topolt kortslutning kan en også sette opp forenklet likning for strømmen. Hvis vi tenker oss jordfeil på hver sin fase på to identiske kurser, se figur 2.3, vil strømmen forenklet kunne beregnes ved

$$I_k = \frac{c \cdot U_n}{2 \cdot (Z_{ytre} + R_{fase} + R_{PE})}$$

der en må korrigere resistansene for temperaturstigning dersom en ønsker å finne minimal strøm.



Figur 2.3 Jordfeil på to identiske kurser

Kravene (forskrift/norm) til utkobling av jordfeil i IT-nett ved topolt jordfeil har vært til to feil i *samme* installasjon, men det er vesentlig å være oppmerksom på farene som kan være tilstede ved feil i to installasjoner samtidig.

Ved jordfeil i hver sin fase i to installasjoner i samme transformatorrets i et IT-nett, vil feilstrømmen være avhengig av jordsmonnet, avstanden mellom jordelektrodenes, og jord-elektrodenes overgangsmotstand mot jord. Det er ikke sikkert at feilstrømmen blir så stor at den forårsaker utkobling. Det er stor fare for brann- og berøringsskader i slike tilfeller. Siden en ikke har kontroll med hvilken tilstand "naboens" installasjon er i, er det vesentlig at enpolte feil i en installasjon *varsles* og *rettes* snarest.

Dersom nettselskapets jordingsystem føres frem til alle installasjoner i en transformatorrets, vil feilstrømmene ved jordfeil i to ulike installasjoner også føres gjennom dette jordingsystemet. Derved reduseres impedansen i feilkretsen, og mulighetene for at feilstrømmen blir stor nok til å løse ut overstrømsvernet øker

2.3 Jordfeil deteksjon og jordfeil vern

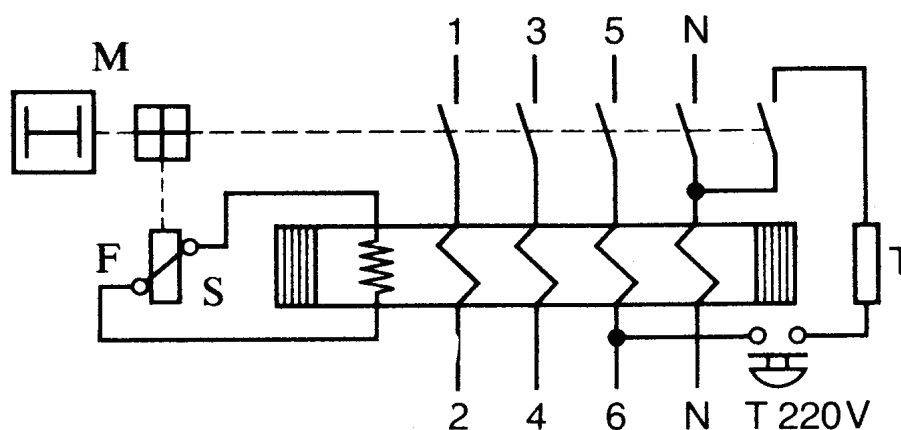
2.3.1 Jordfeilbrytere

En jordfeilbryter er en mekanisk bryteranordning som er laget for å koble inn, føre og bryte strømmer under normale driftsforhold og sørge for åpning av kontaktene når reststrømmen når en gitt verdi under spesifiserte forhold. Med reststrøm menes her vektorsummen av den momentane verdien av strømmene som går i hovedkretsen til jordfeilbryteren.

Jordfeilbrytere benyttes for å verne personer mot indirekte berøring, og som vern mot brannfare som skyldes vedvarende jordfeilstrøm som ikke kobles ut av overstrømsvernet.

IEC standard 61008-1 og 61008-2 omhandler jordfeilbrytere som ikke inkluderer overstrømsvern. De kan enten være funksjonelt avhengig eller funksjonelt uavhengig av linjespenningen.

Strømstyrte jordfeilbrytere består i prinsippet av en brytermekanisme, en utløseenhet og en strømtransformator, se figur 2.4

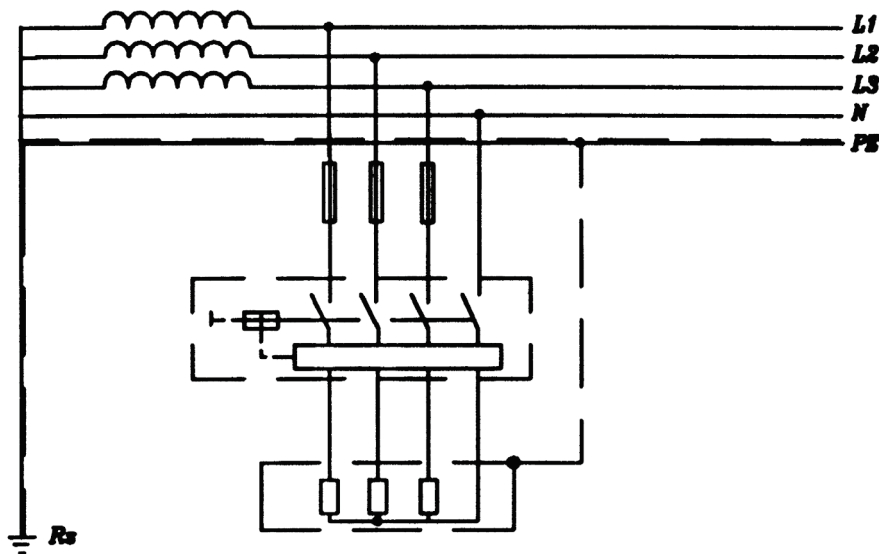


Figur 2.4 Strømstyrt jordfeilbryter [2]

Laststrømmene, inklusive strøm i eventuell N-leder, føres gjennom spolen i strømtransformatoren. Hvis det ikke er jordfeil på systemet er summen av disse strømmene med svært god tilnærming lik null. Dermed induseres ikke spenning i sekundærviklingen av strømtransformatoren.

Hvis det går en feilstøm til jord på lastsiden av jordfeilbryteren vil strømbalansen endres slik at summen av strømmene ikke lenger er null, og det vil bli indusert en spenning i sekundærviklingen av strømtransformatoren. Dette i sin tur starter utløsemekanismen og bryter strømmen.

I figur 2.5 vises tilkobling av en strømstyrt jordfeilbryter i et TN-S-system.



Figur 2.5 Tilkobling av strømstyrt jordfeilbryter i TN-S-system.

PE-leder skal ikke føres gjennom spolen i strømtransformatoren. I et TN-C-system der PEN-lederen både fører laststrømmer (som N-leder) og feilstømmer (som PE-leder) kan ikke slike strømstyrte jordfeilbrytere benyttes. Jordfeilbrytere kan karakteriseres med følgende størrelser :

- Installasjonstype (fast montert eller flyttbar)
- Antall poler og strømveier
- Merkestrøm I_n
- Merkeutløsestrøm $I_{\Delta n}$ (Den verdi av reststrømmen som får bryteren til å operere under spesifiserte forhold)
- Merke ikke-utløsestrøm $I_{\Delta n0}$ (Den verdi av reststrømmen som ikke får bryteren til å operere)
- Merkespenning U_n
- Merkefrekvens f_n
- Merkeverdi for innkoblings- og bryteevne I_m
- Merkeverdi for innkoblings- og brytereststrøm $I_{\Delta m}$
- Tidsforsinkelse, dersom dette er aktuelt
- Driftskarakteristikker hvis reststrømmen har en DC-komponent

- Isolasjonssamordning som inkluderer klaringer og krypestrømvastander
- Vernegrad
- Merkekortslutningsstrøm I_{nc}
- Merkekortslutningsreststrøm I_{Ac}

Jordfeilbrytere skal ikke bare reagere på sinus-formede feilstrømmer, men også på pulserende feilstrømmer som faller til null, eller tilnærmet null, i enhver periode som er minst en halvperiode av nettfrekvensen.

På grunn den stadig økende bruken av elektronisk utstyr er feilstrømmer ofte ikke sinusformede.

For å kontrollere at jordfeilbryteren fungerer kan en simulere en feilsituasjon gjennom en testknapp, slik at bryteren skal løse ut når en trykker på knappen.

For store strømmer bør en bruke jordfeilreleer i kombinasjon med egnede bryteenheter (kontaktorer).

Det er mulig å få selektiv utkobling med jordfeilbrytere. Dette kan en oppnå ved å benytte brytere med ulike merkestrømmer, eller brytere med tidsforsinkelse. Tidsforsinkelsen kan gjerne være justerbar. På samme måte som ved selektivitet for overstrømsvern kan en vurdere dette ved å se på jordfeilbryternes utløsekurver. Strøm-tid-karakteristikkene for to påfølgende vern skal ikke overlappe hverandre for at de skal være selektive. Kurvene må tegnes med de respektive toleransegrensene.

I tilfelle av isolasjonsfeil kan det også opptre kortslutning mellom fasene. Jordfeilbrytere må derfor også ha tilstrekkelig brytekapasitet til å kunne tåle disse høye strømmene.

Jordfeilbrytere må ha forankoblet overstrømsvern for å beskytte bryteren mot virkningen av kortslutningsstrømmer.

Når en benytter flere separate jordfeilbrytere i et TN-system, må ikke N-lederne til nettdeler tilkoblet ulike jordfeilvern sammenkobles. En jordfeil på den ene nettdelen vil da kunne løse ut både eget jordfeilvern og vernet til øvrige nettdeler.

Innvendinger mot jordfeilbrytere har i første rekke vært

- problemer med uønsket utkobling
- tvil om funksjonsevnen

I hovedsak skyldes problemet med uønsket utkobling tidligere utførelser av jordfeilbrytere. Med moderne utførelser i støtstrømsikker utførelse vil de fleste problemer knyttet til uønsket utkobling kunne elimineres.

Disse problemene har vært utkobling pga.

- koblingstransienter fra overliggende nettnivå
- atmosfæriske overspenninger
- transienter pga. jordfeil utenfor installasjonen
- transienter ved innkobling av større belastning med høy kapasitet mot jord.

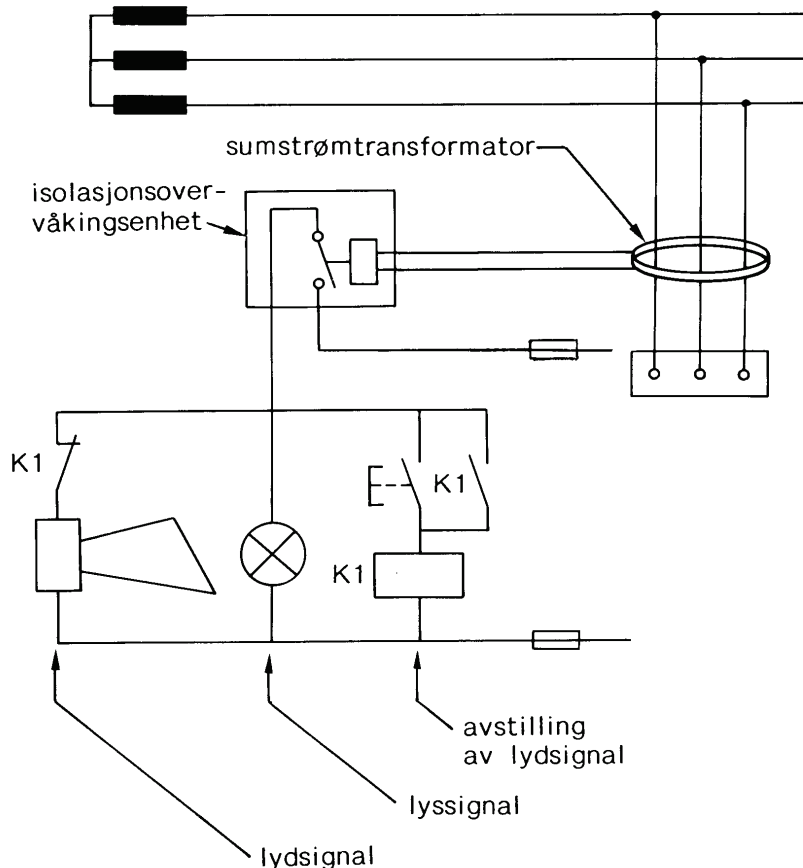
For å hindre kontaktsveising skal jordfeilbryteren ha oppgitt største verdi på forankoblede sikringer. Moderne jordfeilbrytere er prøvet med 4000-20000 koblinger, og har i tillegg egen prøvemulighet.

2.3.2 Jordfeilvarslere

I et IT-system vil en ved enkel jordfeil sjeldent få vesentlige strømmer, fordi systemet er isolert fra jord og strømmen dermed ikke har returvei til nettet utover de kapasitive og meget små ohmske strømmene som går. Det har derfor, med enkelte unntak, ikke vært krav om jordfeilbryter i IT-systemer før NEK 400 kom i ny utgave i 2002. Kravene har i stedet vært utstyr for å overvåke isolasjonstilstanden til anlegget.

For å måle isolasjonsmotstanden kan en tilknytte en DC-kilde, eller en lavfrekvent kilde (5 Hz), der den ene polen jordes og den andre knyttes til en hvilken som helst av fasene på nettet som skal overvåkes via et målerele, en motstand og et måleinstrument (mekanisk eller elektronisk) som viser isolasjonsmotstanden i k Ω . Hvis isolasjonsmotstanden blir mindre enn en forhåndsinnstilt verdi, trer målereleet i funksjon og slutter en indikatorkrets.

Jordfeilvarsling kan også gjøres ved å benytte et system som bygger på samme prinsipp som jordfeilbryteren, med en sumstrømtransformator og varsling dersom summen av strømmene i systemet er større enn en gitt verdi. Men i stedet for at spenningen fra sumstrømtransformatoren styrer brytekontakter i hovedkretsen, styrer den kun et rele for et varslingsystem. Dette skal inneholde både lys- og lydsignal. Lyssignalet skal være på så lenge jordfeilen opptrer, men det skal være mulig å stoppe lydsignalet. Dette kan gjøres ved en krets som vist i figur 2.6.



Figur 2.6 Skjematisk fremstilling av jordfeilvarsler [3]

2.3.3 Problemer med jordfeilbrytere/varslere

Det har vist seg at det er en del problemer knyttet til jordfeilvarslere og brytere.

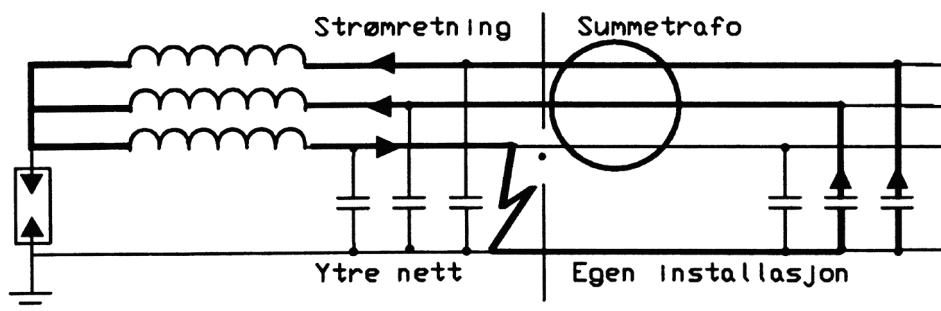
Følgende problemer er observert :

- Utkobling når det ikke er jordfeil i egen installasjon.
- Utkobling ved usymmetriske kapasitanser til jord.
- Ikke utkobling når det er jordfeil.
- Utkobling ved støtstrømmer.

2.3.4 Feilaktig detektering av jordfeil

Bruk av strømstyrte jordfeilvarslere er i forskriftene gjort tillatt i IT-installasjoner som et norsk tillegg til IEC-normen. Årsaken til dette er at utstyr for isolasjonsovervåking er relativt kostbart. Strømstyrte jordfeilvarslere med utløsestrøm 30 mA var ment som en rimelig løsning for mindre installasjoner, men det har vist seg at de også er blitt benyttet i større installasjoner.

Hvis man i en installasjon har mye kabler med jordet kappe eller skjerm vil man få store kapasitanser til jord. Særlig gjelder dette hvis en har mye varmekabler. I et slikt tilfelle vil jordfeilvarsleren varsle feil dersom feilen ligger utenfor egen installasjon. I figur 2.7 er vist hvordan strømmene går i et slikt tilfelle.



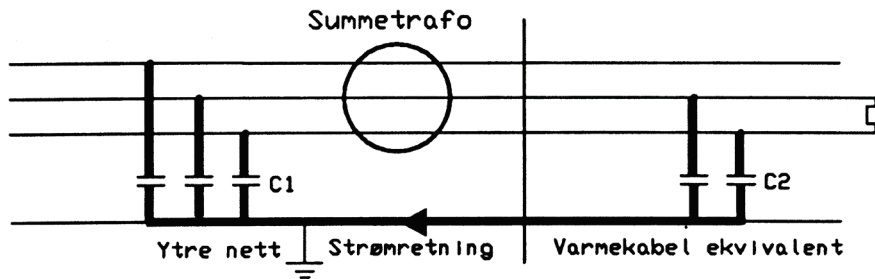
Figur 2.7 Jordfeil utenfor egen installasjon.

Problemet med denne type deteksjon er at man ikke kan finne ut hvilken side av summetransformatoren feilen ligger på, så lenge det er snakk om vekselstrøm. Man må i tillegg detektere spenningens fase for å finne ut hvilken retning effektflyten har, og dermed på hvilken side av jordfeilnettet feilen ligger. Dette kalles selektive eller retningsbestemte jordfeilvern.

2.3.5 Usymmetriske kapasitanser til jord

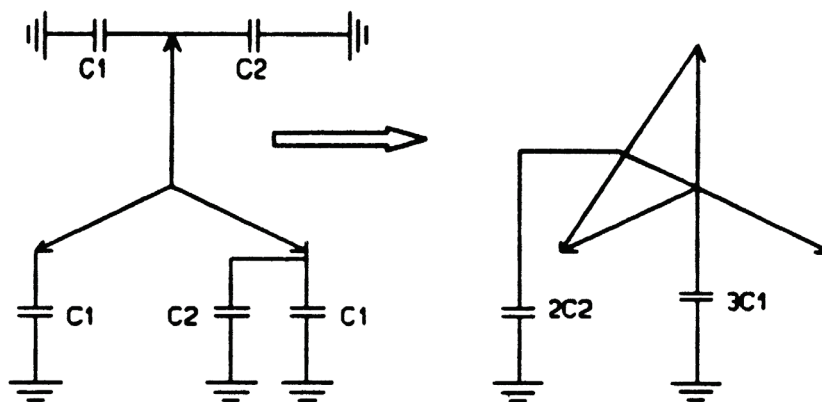
Man kan få feilaktig detektering hvis man har kapasitanser til jord som ikke er likt fordelt mellom fasene. Man får da en kapasitiv strøm til jord.

I figur 2.8 vises en installasjon der det er usymmetri i kapasitansene til jord. Det er her montert en varmekabel mellom to av fasene. Varmekabler har kapasitanser i størrelsesorden 0,2 til 0,35 μF pr. kilometer.



Figur 2.8 Varmekabel skjevt fordelt mellom fasene.

For dette systemet kan man sette opp følgende viserdiagram :



Viserdiagram for skjevt fordelt varmekabellast.

Impedansen for dette systemet blir

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot 3 \cdot C_1} + \frac{1}{\omega \cdot 2 \cdot C_2}$$

En typisk varmekabel har en kapasitans på 0,25 μF til jord pr. kilometer, mens typisk kapasitans i ytre nett er 8 μF til jord. For en kilometer varmekabel får vi

$$X_C = \frac{1}{314 \cdot 3 \cdot 8 \cdot 10^{-6}} + \frac{1}{314 \cdot 2 \cdot 0,25 \cdot 10^{-6}} = 6499 \Omega$$

mens 3 kilometer varmekabel gir

$$X_C = \frac{1}{314 \cdot 3 \cdot 8 \cdot 10^{-6}} + \frac{1}{314 \cdot 2 \cdot 0,75 \cdot 10^{-6}} = 2255 \Omega$$

Spenningen blir ifølge tyngdepunktsmetoden

$$U_{C1-C2} = \sin(30^\circ) \cdot 133 = 66,5 V$$

Det medfører at vi får følgende strømmer :

1 km varmekabel : 10,2 mA

3 km varmekabel : 29,5 mA

For å få en strøm på 30 mA må vi altså ha ca. 3 km varmekabel.

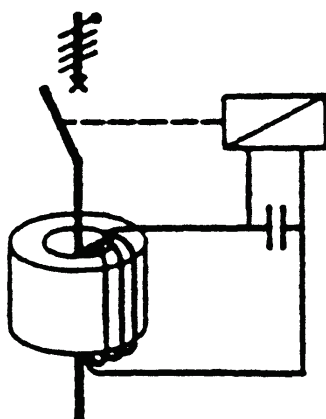
2.3.6 Ikke utkobling når det er jordfeil i installasjonen

Hvis man har en installasjon der nettets kapasitanser til jord er veldig små, kan man risikere at selv om man får en jordfeil i eget anlegg vil jordfeilstrømmen bli så liten at den ikke vil gjøre utslag på varsleren. Dette gjelder spesielt luftnett som ofte brukes der det er spredt bebyggelse. Problemet kan løses ved å koble inn kondensatorer til jord i det ytre nett.

2.3.7 Utløsing ved støtstrømmer

Transiente strømmer i nettet kan også gi indikasjon av jordfeil. For eksempel har det ved innkobling av mange datamaskiner eller mange lysrørarmaturer samtidig, vært registrert at jordfeilvarsler har meldt om feil. Likeledes kan tordensværsaktivitet gi utløsning av jordfeilvernet.

Dette kan forhindres ved å gjøre jordfeilvernet *støtstrømfast*. Dette gjøres ved å utstyre vernet med en kondensator i transformatorens sekundærkrets. Denne virker som et filter for de raske forløpene som slike transiente forløp vil være. I figur 2.9 vises hvordan kondensatoren kobles inn i kretsen for en jordfeilbryter. Støtstrømfaste jordfeilbrytere prøves med en normert støtstrøm, 250 A 8/20 [μ s].



Figur 2.9 Støtstrømfast jordfeilbryter [4]

2.4 Bruk av jordfeilvern i Norge

Jordfeilbrytere kom på markedet i Norge på 1970-tallet.

Det første kravet som ble stilt til bruk av jordfeilbrytere (1975) gjalt for "Mellomspenningsanlegg med spenning opptil 440V og direkte jordet nøytralepunkt". Dette omfattet altså 230/400V TN-systemer. Kravet (§584.4) sier at "Anlegg i boliger o.l. skal ha forankoblet jordfeilbryter med utløsestrøm ikke over 30mA. Kurser som utelukkende forsyner dypfrysere eller spesielle varmeanlegg som er nødvendige for å hindre frostskaade, tillates dog koplet utenom jordfeilbryter."

Kravet ble sannsynligvis innført for å få NVE til å gi en aksept for en generell bruk av 400V TN-systemer, og uten at det lå noen skikkelig risikovurdering til grunn.

Frem til forskriften som trådte i kraft i 1991 (FEB-91), var det ingen andre krav til bruk av jordfeilbrytere.

I FEB-91 omhandlet §413 "Beskyttelse mot elektrisk støt ved feil", og automatisk utkobling av strømtilførselen var ett av de mulige tiltakene (§413.1). Det var vanligvis ikke krav til utkobling av første jordfeil i IT-nett, men derimot skulle første jordfeil varsles, og til det ble jordfeilvarslere installert. I TN-nett ville normalt overstrømsvernet kunne håndtere utkobling av jordfeil. Forskriften åpnet imidlertid for bruk av jordfeilbryter i både IT- og TN-nett (hhv. §413.1.5.6 og §413.1.3.6). I TT-nett derimot, ble det stilt spesifikt krav om bruk av strømstyrt jordfeilvern (§413.1.4.3), men utløsestrøm var ikke spesifisert. For enkelte spesielle områder, f.eks. installasjon av varmekabler i visse områder, og stikkontakter på bad og utendørs, ble det stilt krav om strømstyrt jordfeilvern med utløsestrøm høyst 30 mA.

I NEK400:2002 ble det tatt hensyn til at det gjerne allerede kunne være en stående jordfeil på en transformator-krets i et IT-nett, slik at "feil nr. 1" i et anlegg var feil nr. 2 på transformator-kretsen. Etter tidligere krav var det da ikke krav om utkobling, men ved at det var to feil på transformator-kretsen (men i forskjellige anlegg), kunne feilstrømmen likevel representere en fare, spesielt for brann, men også for elektrisk sjokk. Det ble derfor stilt krav til bruk av strømstyrt jordfeilvern også

i IT-nett (413.1.5.1), såfremt ikke kursen var utført som klasse II eller tilsvarende. Det var ikke spesifisert utløsestrøm, og anlegg ble gjerne utført med en 100 mA eller 300 mA jordfeilbryter foran hele anlegget, i tillegg til 30 mA jordfeilbryter på de spesielle områdene som også hadde krav tidligere.

Fra NEK400:2006 kom så kravet om tilleggsbeskyttelse (§411.3.3, henvist til §415.1), som i stor grad omfatter stikkontakter med merkestrøm ikke over 20A for allmenn bruk, i boliger og i BA2-områder. Dagens løsning vil i de fleste tilfeller være å bruke kombinerte overstrøms- og jordfeilvern, såkalte jordfeilautomater, med merkestrøm for jordfeilvern på 30 mA.

2.5 Jordfeil og energimåling

En kWh-måler (tarifferingsapparat) kan være kontrollert i et måler-laboratorium, der en rekke tester gjennomføres for å verifisere at målerens registrering er innenfor bestemte toleranser. Disse toleransene kan være 1-2 %, og et stort antall målere vil ved kontroll ligge godt innenfor disse toleransene.

Hvorfor kan man da likevel få feilregistrering av sluttbrukeres energiforbruk? En av grunnene kan være jordfeil i anlegget. Jordfeil kan på to måter gi avvik mellom energiflyt til sluttbrukerens belastning og registrert energiflyt gjennom kWh-måleren.

Det første forholdet knytter seg til kWh-målerens prinsipp. En trefase kWh-måler er basert på to-wattmetermetoden, og måleren registrerer kun to strømmer og to spenninger. Prinsippet bygger imidlertid på forutsetningen om at summen av strømmene i de tre fasene er lik 0, og det vil ikke være tilfelle når det er jordfeil i anlegget.

Det andre forholdet som vil kunne gi avvik er at feilstrømmen kan gå over en eller flere overgangsmotstander. Det vil da bli omsatt energi over disse, og denne energien må også flyte gjennom målepunktet, selv om sluttbrukeren ikke har nytte av den, og i de fleste tilfeller ikke ønsker den, bl.a. ut fra at oppvarmingen i overgangsmotstander kan gi skader og i verste fall brann.

3 Metoder for jordfeildeteksjon

Jordfeildeteksjon kan foregå på flere måter deriblant som en kombinasjon av ulike måter å detektere jordfeil på. Det er fordeler og ulemper ved de ulike måtene og detektere jordfeil på så en kombinasjon av flere metoder kan være en meget god løsning der en langt på vei eliminerer en enkelt deteksjonsmåte sine svakheter. De vanligste måtene å måle/detektere jordfeil på er:

- Sumstrømmåling (kun strøm)
- Retningsbestemt sumstrømmåling (strøm og spenning)
- Spenningsmåling fase-jord

3.1 Deteksjon ved spenningsmåling og sumstrømmåling

De mest anvendelige og vanligste metodene for å detektere jordfeil i det norske 230 V IT-nettet er henholdsvis sumstrømmåling og måling av spenningene mellom fasene og jord omtalt i kapittel 2.3.

Fordelene med sumstrømmåling er at den kan gi gode indikasjoner på hvor jordfeilen er. Dersom sumstrømmåling kombineres med spenningsmåling kan man få retningsbestemt deteksjon slik at man vet på hvilken side av strømmålingen jordfeilen befinner seg. Selv om man eventuelt ikke har retningsbestemt deteksjon kan man likevel få gode indikasjoner på hvor jordfeilen befinner seg dersom man eksempelvis har sumstrømmåling hos alle kundene (gjennom AMS). Da vil man se hvilke kunder som har liten sumstrøm og hvilke(n) kunde som har stor sumstrøm. Da kan man med de nye smarte energimålerne få hurtig og nyttig hjelp til å fastslå hvor jordfeilen(e) er. Det kan eksempelvis være tilfeller med flere jordfeil (flerpolt jordfeil) der mer enn en kunde har forhøyet sumstrøm. I slike tilfeller vil normalt bare en (eller ingen) jordfeil være lavohmig.

Sumstrømmåling er et mål på jordfeilstrømmens størrelse dersom det er jordfeil i en kundes installasjon og det er sumstrømmåling på kundens inntak. Denne strømmen kan bli betydelig dersom det er topolt/trepolt jordfeil på lavspenningskretsen. Strømmen trenger imidlertid ikke bli så stor at sikringer løser ut og situasjonen kan bli farlig (branntilløp mm). En ikke ubetydelig ulempe med sumstrømmåling er at flerpolt jordfeil ikke nødvendigvis vil bli detektert dersom man eksempelvis har sumstrømmåling som eneste jordfeildeteksjon på avgangen i en nettstasjon.

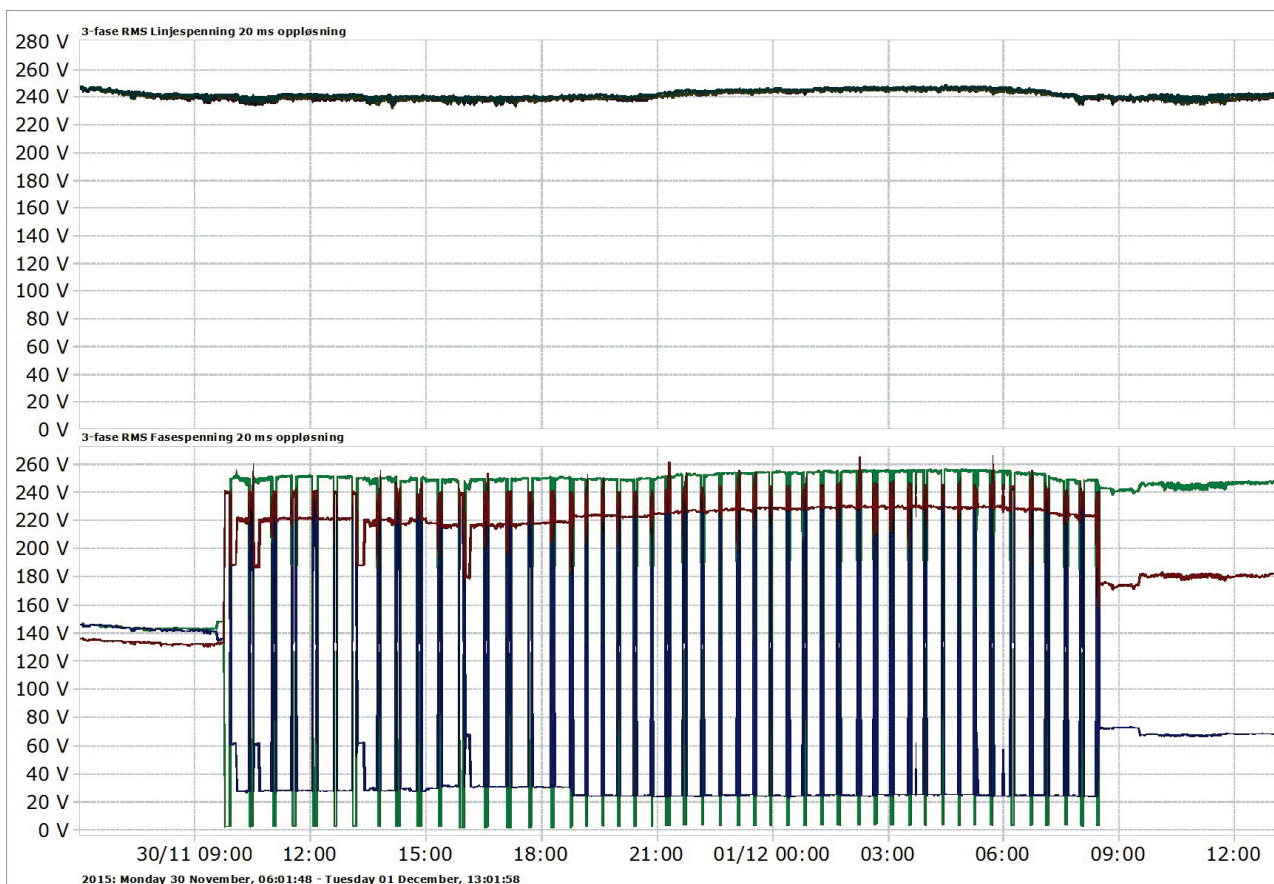
I nettstasjoner kan det derfor være mest aktuelt å benytte måling av trefase spenninger mellom fasene og jord i stedet for sumstrømmåling dersom man ikke skal ha begge deler. En slik spenningsmåling vil alltid kunne vise jordfeil enten det er enpolt eller flerpolt jordfeil. Det er også enkelt og moderate kostnader med høy målenøyaktighet når man måler spenningene mellom fase og jord (dette gjelder også måling av linjespenninger, fase-fase).

Ved måling av spenninger fase-jord er det ønskelig at ikke tidsoppløsningen er for lav og at det ikke er betydelige hull i tid i spenningsmålingen. Med hull i tid menes her at spenningsmålingen ikke foregår kontinuerlig, men at måleren bare tar en stikkprøve av spenningen for eksempel bare et sekund for hvert minutt. Slike stikkprøvemålinger er ikke ønskelig. Skal man spare lagringsplass i måleutstyret (korttidsminne eller langtidsminne) bør man eksempelvis heller la være å lagre måleverdier så lenge det ikke detekteres jordfeil og så lagre måleverdiene når det oppstår jordfeil. Avhengig av tidsoppløsningen til måleren kan man om nødvendig filtrere måledataene noe.

3.2 Deteksjon i nettstasjon

Dersom man har jordfeilmåling hos kundene i form av sumstrømmåling med AMS bør det naturlige valget for jordfeildeteksjon i nettstasjonen være spenningsmåling mellom fasene og jord. En slik måling vil kunne detektere og vise alle jordfeil. Rent teoretisk kan man se for seg at en trepolt jordfeil med tilnærmet symmetrisk impedans på alle tre faser skal unnsnippe og bli detektert av slikt spenningsmålende utstyr. I praksis er imidlertid en slik feil svært usannsynlig da overgangsmotstandene (impedansene i feilstedene) både må være tilnærmet like og samtidig så høy at sikringer ikke løser ut. Det vil imidlertid være grenser for hvor små spenningsendringer i fasespenningene man vil ha varsel på for at man ikke skal få alt for mange jordfeilvarsel. Derfor vil det i praksis kunne inntreffe noen høyohmige jordfeil der fasespenningene ikke synker eller stiger tilstrekkelig til å passere den valgte deteksjonsgrensen.

I figur 3.1 kan man se et eksempel på spenningsmåling av jordfeil over 1 døgn og 7 timer (31 timer). Den nederste halvdel av figuren viser hvordan man går fra en situasjon uten jordfeil til å ha topolt jordfeil der den ene feilen (i fase L2) er lavohmig og intermitterende. Den intermitterende jordfeilen forsvinner etter i underkant av et døgn. Den øverste halvdel av figuren viser for sammenligningens skyld de moderate variasjonene som er i linjespenningene i de samme 31 timene.



Figur 3.1 Spenningsmåling av jordfeil. Øverste del av figuren viser de små variasjonene i linjespenningene, mens den nederste delen av figuren viser hvordan man går fra en situasjon uten jordfeil til å ha topolt jordfeil (der den ene er intermitterende) der til slutt den ene av jordfeilene forsvinner.

En spenningsmåling som vist i figur 3.1 vil ikke bare kunne påvise om det er jordfeil, men også gi nyttig tilleggsinformasjon rundt flere forhold ved jordfeilen(e):

- Lavohmig eller høyohmig jordfeil
- Enpolt eller flerpolt jordfeil
- Permanent eller intermitterende jordfeil
- Indikasjoner på kilden til jordfeil basert på mønster som blant annet tidspunkt
 - Dagslysstyring (gatelys med mer)
 - Arbeidstidsrytme

Flere eksempel på dette kan ses i eksempelsamlingen i kapittel 6.

Det er ønskelig at utstyr i nettstasjoner for deteksjon av jordfeil har en viss minnekapasitet for å lagre historiske data når spenningene går utenfor grenseverdiene og jordfeil detekteres. Det kan være nyttig å ha muligheten for å lese av flere detaljer rundt hvordan fase-jord spenningene varierer enn det som rapporteres inn til nettselskapet når det sendes alarm (varsel) til nettselskapet. Et par eksempel på detaljer som er interessante er:

1. Hvor ofte og når (klokkeslett) jordfeil inntreffer og forsvinner
2. Om spenningene varierer mye eller lite når man er i en situasjon der grenseverdiene er overskredet.

Informasjonen i pkt.1 kan bidra med tips til hva kilden til jordfeilene kan være. Kommer eksempelvis jordfeilen hver arbeidsdag ved arbeidshagens start og forsvinner ved arbeidshagens slutt er kilden sannsynligvis hos en bedrift som er forsynt fra den aktuelle lavspenningskretsen. Kommer jordfeilen hver dag i skumringstiden og forsvinner hver morgen i grålysningen, ja da er kilden med stor sannsynlighet i utstyr som er dagslysstyrt (skumringsrele). Gatelys er her blant gjengangerne.

I mange tilfeller vil det nok være praktisk og økonomisk fornuftig å velge jordfeildeteksjon i nettstasjonen kombinert med andre målinger og overvåkning i et multi-instrument for nettstasjonsovervåking. Andre målefunksjoner (med ev. alarm) kan eksempelvis være registrering av fasebrudd ut fra nettstasjonen, spenningskvalitetsparametere, åpen dør, temperatur i transformator, gassdeteksjon med mer.

3.3 Jordfeildeteksjon hos kunde med AMS

Utrulling av nye smarte energimålere (AMS) i Norge innen januar 2019 vil være en unik mulighet til å få god oversikt over jordfeilene i det norske lavspenningsnettet. Situasjonen fram til i dag er at nettselskapene normalt ikke vet om jordfeilene i sine lavspenningskretser før de eventuelt blir gjort oppmerksom på jordfeil gjennom henvendelser fra kunder eller ved at de tilfeldig oppdager jordfeil. I motsetning til avbrudd og betydelige feil i linjespenningene vil imidlertid jordfeil og avvik i fasespenningene som regel ikke oppdages av kundene. Unntaket er helst når det har oppstått farlige situasjoner med havari /feilfunksjon på elektrisk utstyr/apparater, brann/branntilløp eller strømgjennomgang på mennesker (eller husdyr etc). Når man i Norge nå skal bruke store beløp på å bytte til nye smarte energimålere bør disse være smarte nok til å detektere

feil som kan skape betydelige problemer og i ytterste konsekvens være farlige, deriblant altså jordfeil.

I de litt mer avanserte målerne som gjerne benyttes hos en del næringskunder kunne man se for seg at målerne også kunne detektere jordfeil ved hjelp av spenningsmåling. Men med de rimeligere målerne som fremdeles ofte benyttes hos husholdningskunder i IT-nettet der jordfeil er en utfordring, benyttes gjerne towattmeter-metoden der det ikke måles spenninger mellom fase og jord. Da kan sumstrømmåling være et godt alternativ for jordfeildeteksjon hos den enkelte kunden. Jordfeildeteksjon hos kundene vil ofte kunne være svært god hjelp i å lokalisere jordfeil ikke minst da man kan få se hvilke kunder som har lav sumstrøm og hvilke(n) som har en høy(ere) sumstrøm.

I energimålere som kan detektere jordfeil er det også viktig med minnekapasitet til å lagre litt historisk informasjon. Det gjelder ikke minst dersom energimålerne ikke skal varsle (gi alarm) nettselskapet ved feil, men bare kunne avleses ved behov etter at nettselskapet har fått varsel fra utstyr i nettstasjonen. Noen eksempel på viktig historisk informasjon er:

- Hvor ofte og når (klokkeslett) sumstrømmen går over grenseverdien (kan behøve filter!)
- Maksimumsverdi på sumstrømmen og tidspunkt for dette
- Gjennomsnittsverdi ev. 95 % verdi av sumstrøm når den har vært over grenseverdien

3.4 Grenseverdier og filter for jordfeildeteksjon

Med systemer for deteksjon av jordfeil i det norske lavspenningsnettet er det viktig å ha fornuftige grenseverdier for når man mener situasjonen skal defineres til å være en jordfeilsituasjon. Videre vil det være viktig og nyttig med et godt filter på måleverdiene. Et slikt filter er viktig for å redusere:

- datamengden i målerne og datamengden som eventuelt skal overføres inn til nettselskapet
- antall alarmer som blir sendt til nettselskapet

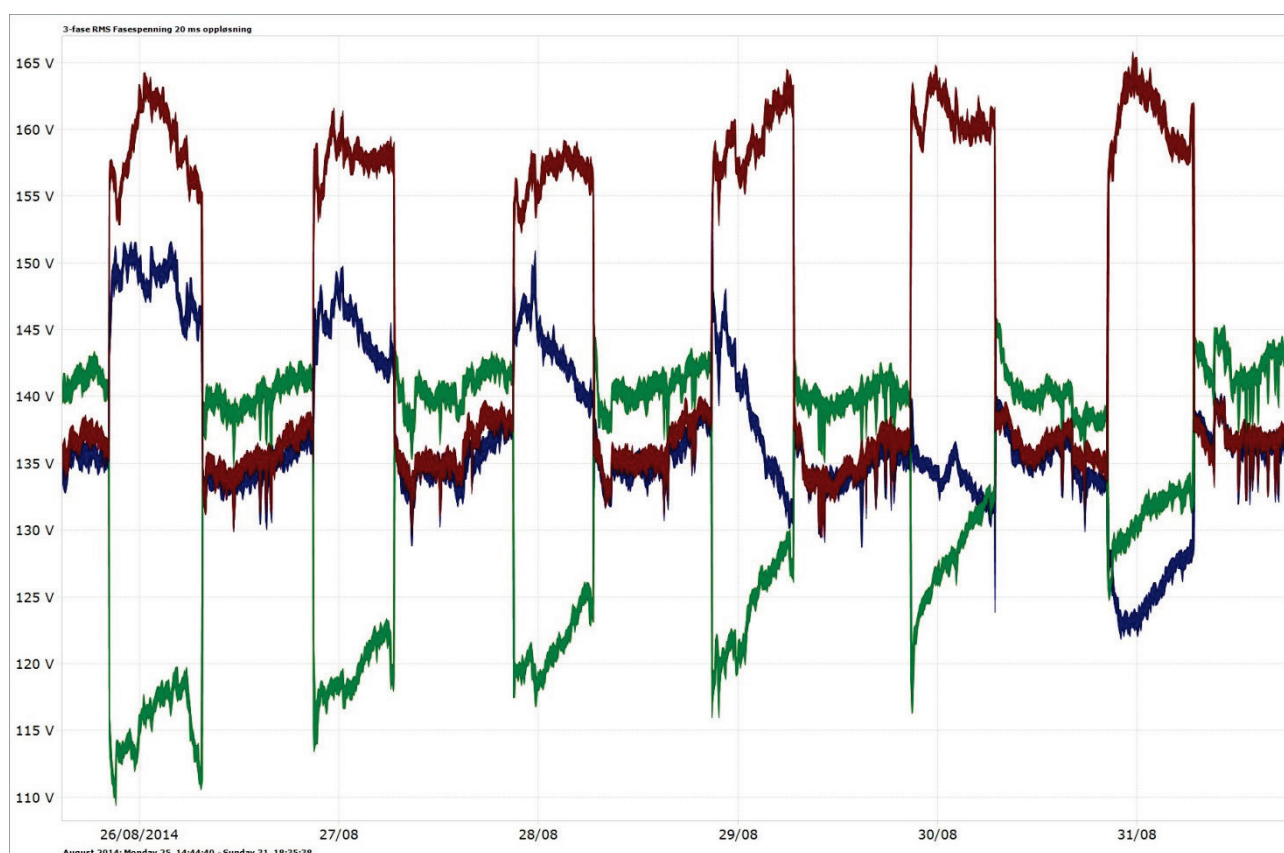
3.4.1 Grenseverdier for måling av jordfeil

Når det gjelder grenseverdier for måling/deteksjon av jordfeil har man gjennom mange år fått mye erfaring med sumstrømmåling i jordfeilvarslere og jordfeilvern i norske lavspenningsinstallasjoner. 30 mA har normalt vært brukt som grenseverdi. De siste årene har man imidlertid erfart hos flere kunder at denne grenseverdien medfører utkobling av kundens installasjon uten at det er jordfeil på lavspenningskretsen. En del elektriske apparater og gjerne da nyere apparater basert på kraftelektronikk kan medføre at installasjonen får så høy kapasitans mellom fase og jord at om kapasitansen er usymmetrisk vil jordfeilbrytere koble ut uten at det er jordfeil. Hos en del kunder har man valgt å løse dette ved å bytte til automatsikringer som også har jordfeilvern funksjonalitet (jordfeilautomat).

For jordfeildeteksjon med sumstrømmåling med AMS vil det være ønskelig at grenseverdien for eventuell lagring av måledata eller i hvert fall for eventuell varsling til nettselskapet må kunne

justeres. Dette må da kunne gjøres over kommunikasjonskanalen mellom nettselskap og målerne ute hos kundene.

Når det gjelder grenseverdier for deteksjon av jordfeil ved spenningsmåling av fasespenningene er det ikke tilsvarende lang tid med erfaringer og praksis. I REN blad 6025 [5] er det foreslått at det varsles jordfeil i et 230 V IT nett når en eller flere av fasespenningene er mindre enn 90 V eller større enn 170 V ($130\text{ V} \pm 40\text{ V}$). Disse grenseverdiene synes å være relativt fornuftige, men vil medføre at situasjoner der det åpenbart er jordfeil ikke vil bli detektert. I figur 3.2 vises spenningsmålingene i ca. 6 dager for en situasjon med intermitterende jordfeil der fasespenningene ikke går under 90 V eller over 170 V og jordfeil ikke vil bli detektert om man følger REN blad 6025 grenseverdier. I dette tilfellet var feilen i gatebelysning.



Figur 3.2 Spenningsmåling ved en situasjon med intermitterende jordfeil der fasespenningene ikke går under 90 V eller over 170 V og jordfeil ikke vil bli detektert om man følger REN blad 6025 grenseverdier.

Nettspenningen skal kunne variere med $\pm 10\%$ (207 V og 253 V linjespenning) og denne variasjonen gjør det vanskelig å sette så mye snevrere grenseverdier for å detektere jordfeil basert på spenningsmåling enn det som er foreslått i REN blad 6025. Noe snevrere grenseverdier kan imidlertid velges dersom utstyret som skal detektere jordfeil basert på spenningsmåling har grenseverdier som kompenseres for variasjonen i linjespenningen og dermed også fasespenningen. En slik funksjon med kompensering for naturlige variasjoner i spenningen er ikke komplisert å implementere.

Alternativt kan man ta i bruk litt mer avanserte algoritmer for å kjenne igjen mønster i fase-jord spenningen. Men dette er noe mer komplisert og i praksis kanskje ikke så anvendbart i dag selv om det sikkert kan implementeres en gang i fremtiden.

Uten noen av disse over nevnte metodene kan det virke som RENs verdier er relativt fornuftige. Snevrere grenseverdier enn 105 til 160 V bør man ikke ha uten kompensering for linjespenningens størrelse og/eller mønstergjenkjenning.

4 Deteksjon og varsling av jordfeil

Den unike muligheten til å få god oversikt over jordfeilene i det norske lavspenningsnettet med utrulling av nye smarte energimålere (AMS) må utnyttes på best mulig måte. Da er det viktig at man har en løsning og et system som ikke bare "plager" nettselskapet med varsel om at nå er det jordfeil, men at systemet også hjelper nettselskapet og bidrar til at det hurtigere og enklere finner kilden til feilen(e).

Det er også viktig at systemet er utformet slik at mengden informasjon om jordfeil blir fornuftig. Det betyr at nettselskapet ikke må drukne i informasjon og store datamengder, men det bør samtidig ikke fjernes så mye informasjon og data at nettselskapet ikke forstår og mistolker situasjonen.

4.1 Varsling kontra avspørring (Push VS Pull)

Hvordan et system for jordfeildeteksjon informerer nettselskapet vil være avgjørende hvor stor nytte nettselskapet får av systemet. Hvilke strategier man velger for når målesystemet skal varsle nettselskapet (alarm) og når nettselskapet må velge å hente inn mer informasjon (avspørring) vil være svært viktig.

Når det nye AMS-utstyret tas i bruk vil det nok være svært fornuftig å ha alle tilleggsfunksjoner ut over grunnleggende energimåling avslått. Det vil nok være flere nettselskap som får nok utfordringer med små og store innkjøringsproblemer med energimålingen alene. Når man føler man begynner å få kontroll på energimåling vil det imidlertid være på tide å begynne og teste ut tilleggsfunksjonalitet i AMS-utstyret slik som deteksjon av jordfeil, avbrudd, fasebrudd, måling av spenningskvalitet og eventuelt ytterlige funksjoner. Det vil nok være lurt å foreta tester i noen små begrensede områder før man slår på tilleggsfunksjoner i større skala/områder.

For deteksjon av jordfeil i smarte energimålere hos kunder vil det være fornuftig at hendelser ikke medfører alarmer (varsling – "push"). Det vil i alle fall være fornuftig i en startfase. Skulle man imidlertid ha den situasjon i enkelte lavspenningskretser at man har deteksjon i de nye målerne ute hos kundene, men ennå ikke deteksjon i nettstasjonen kan det være aktuelt å slå på alarm/varsling fra målere hos kundene. Der man har jordfeildeteksjon i nettstasjonen (spenningsmåling fase-jord) vil det sannsynligvis være en tilstrekkelig løsning at utstyret i nettstasjonen varsler nettselskapet. Da kan nettselskapet ved slik alarm lese av lagret informasjon/historikk fra målerne til kundene på den aktuelle lavspenningskretsen.

I de fleste tilfeller vil det sannsynligvis være uhensiktsmessig at flere enheter på samme lavspenningskrets skal varsle om samme feil. Dette forutsetter imidlertid at ikke nettselskapet somler lenge med å følge opp varselet og undersøke situasjonen og får avklart om den kan være alvorlig eller mindre alvorlig. Varsel fra både nettstasjonen og kundenes målere (der det er betydelig sumstrøm) har en fordel og det er at nettselskapet kan gjennom varslingen (en eller flere enheter som varsler) få en indikasjon på om det er en enkel jordfeil eller en mer komplisert og alvorlig (flerpolt) jordfeilsituasjon. Dersom utstyret for deteksjon av jordfeil i nettstasjonen er avansert nok kan imidlertid dette alene gi noe informasjon hvor alvorlig jordfeilsituasjonen er.

4.2 Filtrering

System for jordfeildeteksjon bør ha en viss filtrering av dataene/hendelsene som måles. Dette gjelder både utstyr for deteksjon i nettstasjonene og utstyr ute hos kundene (AMS). Det er enkelt å forestille seg at man med en intermitterende jordfeil der feilen kommer og går flere ganger i sekundet i mange dager eller uker kan få uhåndterlig store datamengder. Dersom flere målere skal lagre alle detaljer om disse hendelsene/endringene kan det bli store datamengder også i hvert enkelt måleinstrument alene. Varsling av alle disse hendelsene (flere i sekundet) er helt uaktuelt og ville heller ikke hatt noen hensikt. Men når man får (eksempelvis kun ett) varsel om jordfeil er det nyttig å få litt informasjon om jordfeilens type/egenskaper. Filtrering av data er altså nødvendig og det er viktig både med hensyn til å begrense mengden data, men ikke minst for å begrense antall alarmer (varslinger). Samtidig er det viktig at man ikke mister informasjon som forteller om situasjonen man nå har på lavspenningskretsen innebærer eksempelvis:

- Permanent jordfeil eller intermitterende jordfeil
- Hvor hurtig variasjon det er i intermitterende jordfeil (eks. 2 pr døgn eller flere ganger pr sekund?)
- Enpolt eller flerpolst jordfeil

Et eksempel på forslag til filter for varsel (alarm) inn til nettselskapet finner man i "REN blad 6025 – alarmgrenser":

Følgende alarmgrenser skal være satt i systemet:

Feil på vern i nøytralepunktet med varighet mer enn 24t

Stående jordfeil. Mer en 24 t

Mer en 5 feil på over 2t i løpet av en uke

Mer en 25 % av tiden over en uke med jordfeil

Enheter som ikke har gitt melding de siste 24 t

De foreslåtte alarmgrensene innebærer et ikke ubetydelig filter på varsling av jordfeil. Det som i henhold til REN-blad 6025 skal bli varslet av reelle jordfeil kan deles i tre kategorier:

1. Stående jordfeil som har vart i minst et døgn
2. Situasjoner med mer enn 5 jordfeil per uke der alle må ha over 2 timer varighet
3. Situasjoner med jordfeil i mer enn 25 % av en uke uavhengig av varigheten til hver hendelse

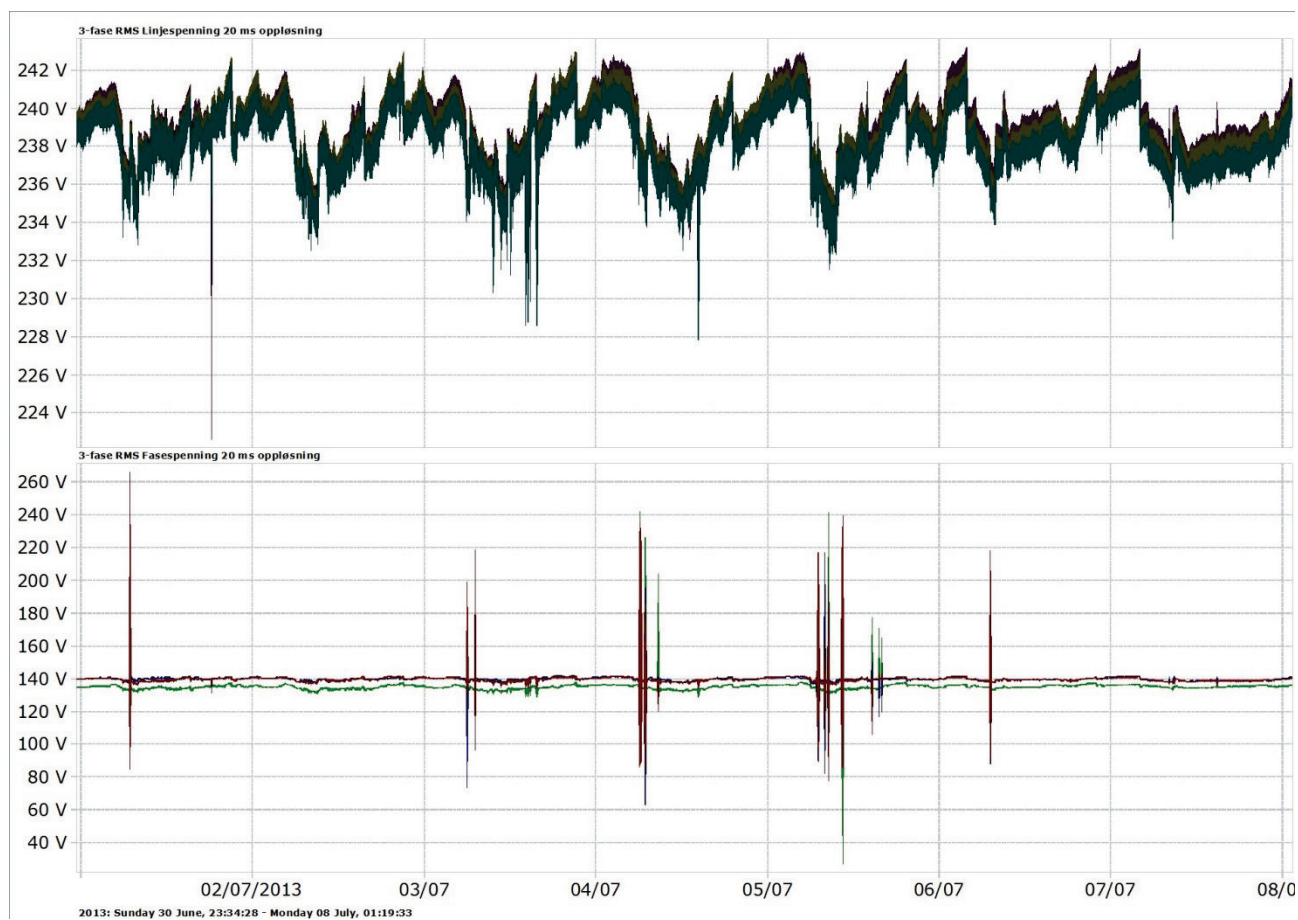
Dette filteret vil utvilsomt redusere antall alarmer inn til nettselskapet sammenlignet med om hver enkelt liten hendelse skulle medføre alarm (varsel) inn til nettselskapet. Dette er i utgangspunktet meget bra, men man må se på om man mister noe informasjon (varsel) det kan være uheldig å miste. Dette filteret vil ha den "bivirkning" at enkelte situasjoner med jordfeil ikke blir varslet. Et eksempel på dette er:

- Jordfeil som varer inntil et døgn (en av disse kan eksempelvis være 23 timer) og som inntreffer maksimalt 5 ganger i uken og der samlet jordfeiltid pr uke er så mye som enn 42 timer eller mindre.

Inntil 42 timer med jordfeil hver uke virker ikke å være en situasjon som bør få gå "under radaren" til nettselskapene slik at det kan få fortsette i måneder og år. Jordfeilsituasjonen nevnt som eksempel over kan man si er en maksimering av mulig jordfeilsituasjon som ikke vil bli fanget opp og gi alarm i henhold til grenseverdiene i REN-blad 6025. Eksempelet representerer en jordfeilsituasjon som normalt ikke skapes av bare en feilkilde. Situasjonen vil derfor erfaringsmessig oppstå sjelden, men SINTEF Energi har sett flere lignende situasjoner/tilfeller. Et eksempel er vist i figur 4.1 der man ser at det i den uken oppsto 2 litt langvarige jordfeil på mellom 8 og 15 timer samt mange svært kortvarige tilfeller med høyohmige jordfeil. Den jordfeilsituasjonen ville ikke blitt varslet i henhold til REN-blad 6025 og det er kanskje fornuftig dersom dette pågår i bare en enkelt uke eller to. Det er vel imidlertid ganske åpenbart at dersom dette er noe som ellers fortsetter i måneder og år, så burde situasjonen på den lavspenningskretsen undersøkes og feilen(e) rettes. Dette gjelder også dersom jordfeilsituasjonen er som vist i figur 4.2 der det ikke oppsto noen jordfeil med varighet flere timer, men kun svært kortvarige jordfeil. Selv i en slik situasjon burde nok lavspenningskretsen ideelt sett feilsøkes dersom dette er noe som pågår over mange uker/måneder. I slike situasjoner kan eksempelvis jordfeilbryter slå ut hos kunder.



Figur 4.1 Trefase linjespenninger er vist i øverste halvdel av figuren og er tatt med for å vise at det er liten variasjon i linjespenningen og at kun en enkelt hurtig/betydelig endring i fasespenningen også var i linjespenningen. I nederste halvdel av figuren ser man at det i denne uken oppsto 2 litt langvarige jordfeil på mellom 8 og 15 timer samt mange svært kortvarige tilfeller med høyohmige jordfeil.



Figur 4.2 Trefase linjespenninger er vist i øverste halvdel av figuren og er tatt med for å vise at det er liten variasjon i linjespenningen. I nederste halvdel av figuren ser man at det i denne uken oppsto kun en del svært kortvarige tilfeller med relativt høyohmige jordfeil.

SINTEF Energi har gjennom sine målinger sett jordfeilsituasjoner som forekommer litt oftere enn de foregående eksemplene. Det er intermitterende jordfeil med et fastere mønster der eksempelvis jordfeilen oppstår i tidsrom på inntil 8 timer hver arbeidsdag (5 dager i uken). Dette har ved flere tilfeller vært jordfeil som kommer og går flere ganger i timen i løpet av arbeidsdagen i forbindelse med bruk av utstyr og apparater med jordfeil. Hver enkelt hendelse (jordfeil) varer da gjerne mye kortere tid enn 2 timer (typisk fra sekunder til minutter) og samlet jordfeiltid er under 42 timer i uken slik at det ikke vil bli generert alarm i henhold til REN-blad 6025. Lignende forhold har også vært observert hos husholdningskunder der jordfeilene kan oppstå alle ukens 7 dager, men der samlet jordfeiltid fortsatt er under 42 timer hver uke.

Alarmgrensene for jordfeil i REN-blad 6025 er et ganske godt utgangspunkt for filter på varsling av jordfeil. Det mangler imidlertid et langsiktig element i forbindelse med tid/varighet ut over en uke. Det bør være slik at jordfeil som kommer og går (intermitterende jordfeil), har varighet mindre enn både 24 timer og 2 timer og har mindre samlet varighet enn 42 timer i uken fanges opp og varsles dersom dette fortsetter å pågå i flere uker. I tillegg bør det vurderes å redusere noe på samlet jordfeiltid på 25 % (42 timer) per uke.

4.3 Automatisering av deteksjon og feilsøking

Etter utrulling av AMS fram mot 2019 får nettselskapene svært mye informasjon/data å forholde seg til. Det ingen kommer unna er 168 måleverdier fra hver eneste kunde bare på grunn av energimåling alene. Andre måleverdier og funksjonalitet i nye smarte energimålere som skal bidra til mer nettnytte vil kunne øke mengden informasjon ytterligere. Dette kan være alt fra bare en svært beskjeden økning i datamengden til en mangedobling dersom man gjør uheldige valg og samler inn svært mange parametere og ikke minst ukomprimerte/ufiltrerte data.

Datasystemer som automatiserer hele eller deler av prosessene med energimåling, avbruddsdetektering, spenningskvalitetsovervåking, jordfeildeteksjon med mer vil bli helt nødvendig. For jordfeildeteksjon er det viktig at systemet (måleutstyr og programvare) raskt varsler nettselskapet etter at målte data som bekrefter jordfeil er komprimert (filtrert) uten for mye tap av informasjon. Det vil være ønskelig at man gjennom varselet mottar et visst minimum av informasjon, eksempelvis:

- Hvilken lavspenningskrets/nettstasjon?
- Når inntraff jordfeilen første gang?
- Hvor lave/høye har fasespenningene vært?
- Er det enpolt eller flerpolt jordslutning?
- Hvor stor andel av tiden har det vært jordfeil siden feilen inntraff første gang?
- (Eventuelt antall ganger jordfeil har forsvunnet og kommet tilbake)

Basert på denne informasjonen kan man velge å hente inn historikk over måleverdier av sumstrøm fra kundenes smarte energimålere på den aktuelle lavspenningskretsen. En slik avspørring kan gjøres manuelt, men en kan også med fordel se på mulighetene for å få automatisert avspørring av kundenes målere basert på dataene man mottar i et jordfeilvarsel fra nettstasjonen. Det forutsetter at utstyret i nettstasjonen klarer å gi nok informasjon om situasjonen. Som et eksempel kan man tenke seg at jordfeilvarselet mottas og behandles av et system/programvare hos nettselskapet som automatisk generer en avspørring av sumstrøm fra kundene på lavspenningskretsen dersom:

- Det rapporteres om topolt jordslutning
- Laveste fasespenning er 2 V – høyeste er 241 V
- Tiden med jordfeil har vært 85 % siden feilen oppsto for 24 timer siden

Verdiene over sumstrøm fra kundenes målere kan så analyseres automatisk og danne en enkel kortfattet rapport med hvor feilkilden sannsynligvis befinner seg. I noen tilfeller kan man risikere at dette ikke bare er hos en enkelt kunde, men at feilkilden(e) potensielt er hos eksempelvis tre kunder. Dette vil likevel snevre inn et feilsøk betraktelig i forhold til hva man vanligvis må forholde seg til i dag.

Som et eksempel på situasjoner der man kanskje kan velge å sette systemet slik at det ikke foretar en automatisk innhenting av måleverdier fra kundene kan man se for seg at informasjonen som følger jordfeilvarselet er som følger:

- Det rapporteres om enpolt jordslutning
- Laveste fasespenning er 85 V – høyeste er 182 V
- Det har vært jordfeil 30 % av tiden siden feilen oppsto

Personell må likevel alltid ta stilling til jordfeilvarsel og den informasjonen som følger dette. Situasjoner som vedvarer og jordfeil som ikke forsvinner må til slutt følges opp likevel innenfor normal tidsfrist.

5 Anbefaling til deteksjon og varsling av jordfeil

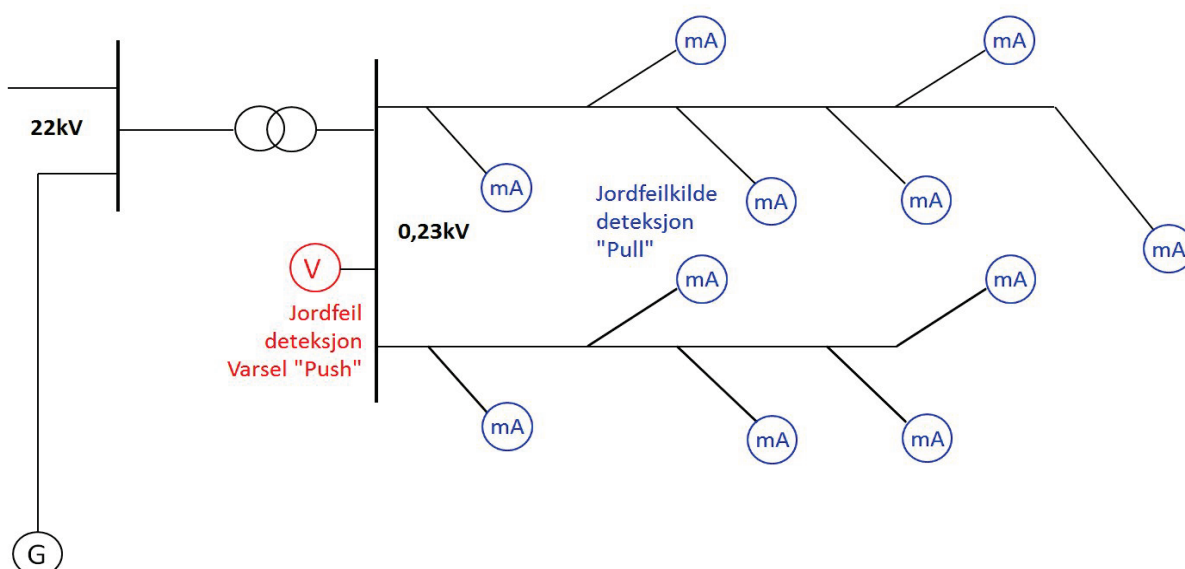
Basert på hva slags utstyr som i dag er tilgjengelig for nettstasjoner med deteksjon av jordfeil og hva som er og sannsynligvis vil være tilgjengelig for deteksjon av jordfeil med smarte energimålere under utrulling av AMS vil en anbefaling om god/sikker jordfeildeteksjon være som vist i figur 5.1. Dette innebærer:

- Måling av spenningene mellom fase og jord i nettstasjoner
- Måling av sumstrøm hos alle kunder med AMS

Anbefalingen bygger på at det med en slik løsning vil være svært liten sannsynlighet for at jordfeil ikke blir detektert (kap.3.2) samtidig som nettselskapene vil få god hjelp i å finne kildene til jordfeilene (kap. 3.1).

Det er selvsagt mulig å ha andre konfigurasjoner og et eksempel på det er at man ikke har sumstrømmåling hos alle kundene. Dette vil imidlertid føre til at nettselskapet får mindre presisjon i angivelse av sted for feilkilde og at feilsøk kan ta lengre tid. Andre varianter av jordfeildeteksjon enn kun sumstrøm hos kundene er også mulig, men det er viktig at dette er en type måling som kan være med å gi indikasjoner på om den enkelte kunde har jordfeil i sin installasjon eller ikke. Best i så måte er retningsbestemt jordfeildeteksjon med både spenningsmåling og sumstrømmåling. Kun sumstrømmåling er en god nummer to og minst egnet er kun spenningsmåling.

Figur 5.1 er en enkel skisse som illustrerer hvor og hvordan det måles/detekteres jordfeil. Med litt grafisk forbedring, kan en slik oversikt på dataskjerm som viser hvert enkelt målepunkt raskt gi et visuelt inntrykk av hvor i nettet feilkilden befinner seg. I mange tilfeller kan en slik indikasjon på feilsted være temmelig presis (en enkelt kunde), mens det i noen tilfeller kan bli litt mer usikkerhet ved at det eksempelvis er tre kunder som har betydelig forhøyet sumstrømmåling.



Figur 5.1 Enkel skisse som illustrerer hvor og hvordan det bør måles/detekteres jordfeil for å oppnå en sikker jordfeildeteksjon og samtidig få hjelp til lettere å lokalisere feilkilde(n).

6 Eksempelsamling for jordfeil

De senere årene er det foretatt en del målinger i nett med jordfeil der avanserte måleinstrumenter er benyttet og man har fått en del ny informasjon og kunnskap om jordfeilsituasjoner. Etter at SINTEF Energi begynte å bruke en ny type avanserte måleinstrumenter fra 2007/2008 har man fått mange målinger i nett med jordfeil der man kontinuerlig (helt uten gap) måler effektivverdien av spenningene mellom fase og jord med 20 ms oppløsning (en ny verdi for hver 50 Hz periode). I spesielle tilfeller (for eksempel når fasespenningene blir høyere enn linjespenningene) kan man også studere kurveformen til fasespenningene. Dette gir en helt annen oversikt over jordfeil og særlig sterkt varierende jordfeil enn utstyr for å detektere jordfeil og mindre avansert måleutstyr.

I denne eksempelsamlingen er det tatt med flere eksempler på ulike situasjoner med jordfeil som er målt med Elspec-instrumenter. Legg merke til at det i figurene ikke bare er vist fasespenninger (spenninger mellom fase og jord), men også linjespenninger (spenninger mellom fasene). Dette er blant annet gjort for å vise forskjellen mellom de veldig små til moderate spenningsvariasjonene i linjespenningene og de store variasjonene i fasespenningene ved jordfeil. I enkelte figurer vises det også at når det oppstår feil i nettet og en får spenningsdipp i linjespenningen så få man naturlig nok et tilsvarende spenningsfall i fasespenningen.

6.1 Eksempel på kilder til jordfeil

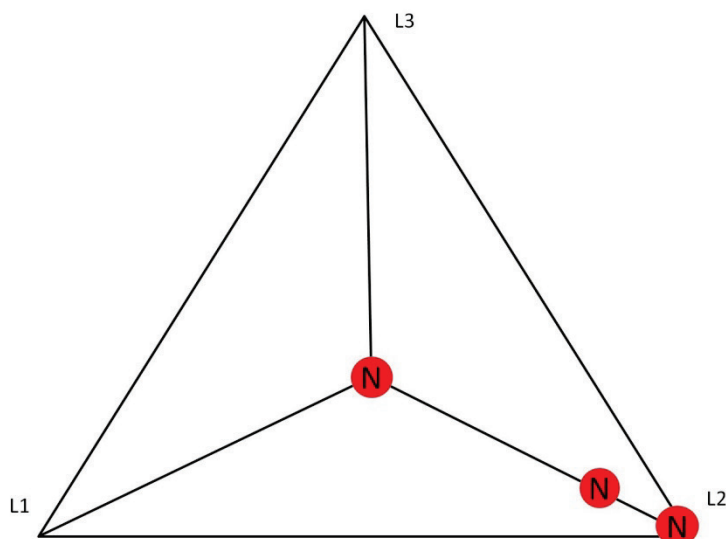
Det er svært mange mulige kilder til jordfeil i 230 V IT-nettet og her er en liste på noen eksempler på kilder:

- Feil på elektriske apparater
 - Slitasje/brekkasje i skjøteledninger og forgreninger
 - Dårlig vedlikehold og renhold
 - Fabrikasjonsfeil
- Feil på installasjoner
 - Fysiske skader og overspenningsskader på bygningskurser, kabler og kontakter
 - Feilkobling fra elektriker eller kanskje oftere ufaglært
 - Dårlig vedlikehold og renhold (utett/lekkasje) ifm gatelys
- Feil på nettselskapets lavspenningskretser
 - Fysiske skader på kabler
 - Aldring/vanninntrenging/korrosjon

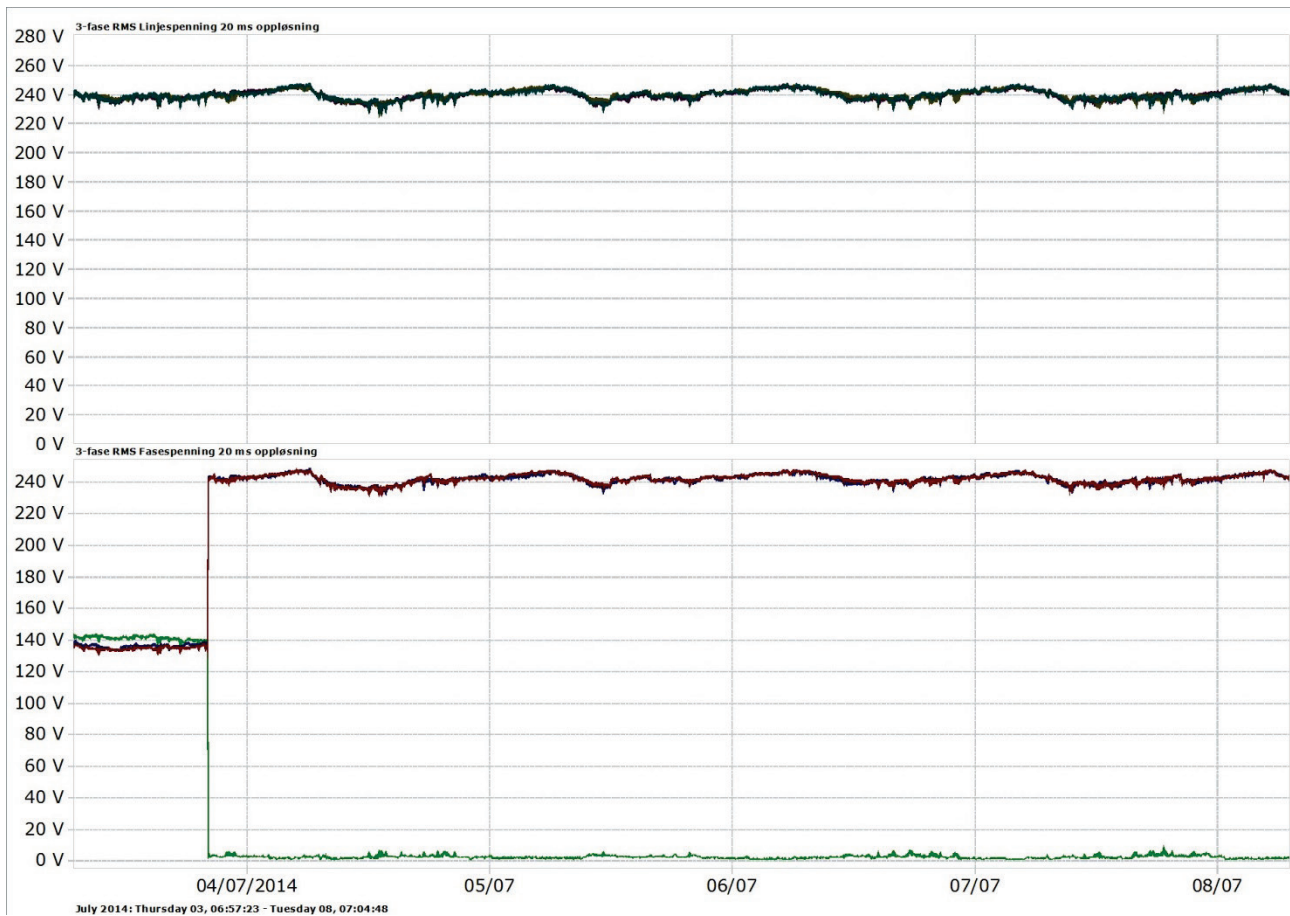
6.2 Enpolt jordfeil

Enpolt jordfeil er den enkleste formen for jordfeil og er vel gjerne det de fleste ser for seg når de hører begrepet jordfeil nevnt. Dette er den minst alvorlige typen jordfeil. Dersom det i tillegg er en langvarig feil (ikke intermitterende som forsvinner og kommer tilbake) har denne typen feil gjerne vært den enkleste å feilsøke. Man risikerer ikke at den er borte når man drar ut for å feilsøke. I figur 6.1 vises jordpunkt (nøytralpunkt) i 230 V IT-nett. Normal plassering er i eller svært nær

midtpunktet til spennings trekant. Figuren viser også et par eksempel på mulig plasseringen av jordpunkt relatert til spennings trekanten ved enpolt jordfeil. Figur 6.2 viser et målt eksempel på variasjonen i spenningene når det oppstår en varig enpolt jordfeil.



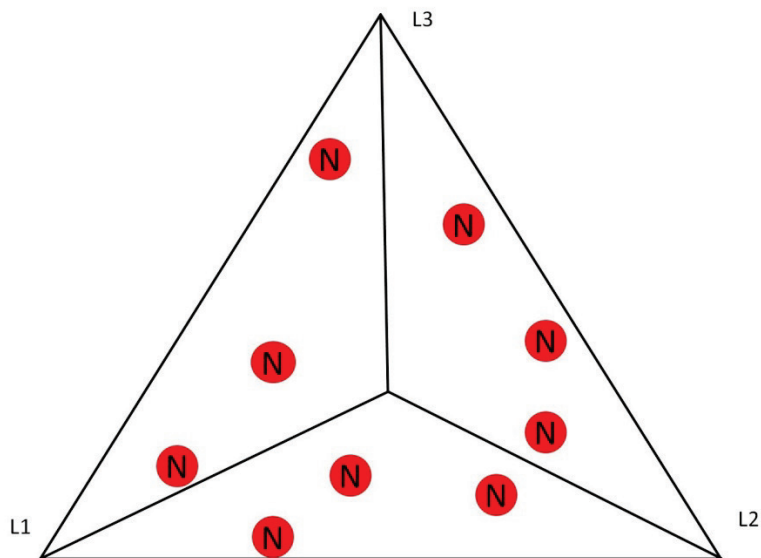
Figur 6.1 Plassering av jordpunkt (nøytralpunkt) i 230 V IT-nett. Normal plassering i eller svært nær midtpunktet. Figuren viser også et par eksempel på mulig plasseringen av jordpunkt relatert til spennings trekanten ved enpolt jordfeil.



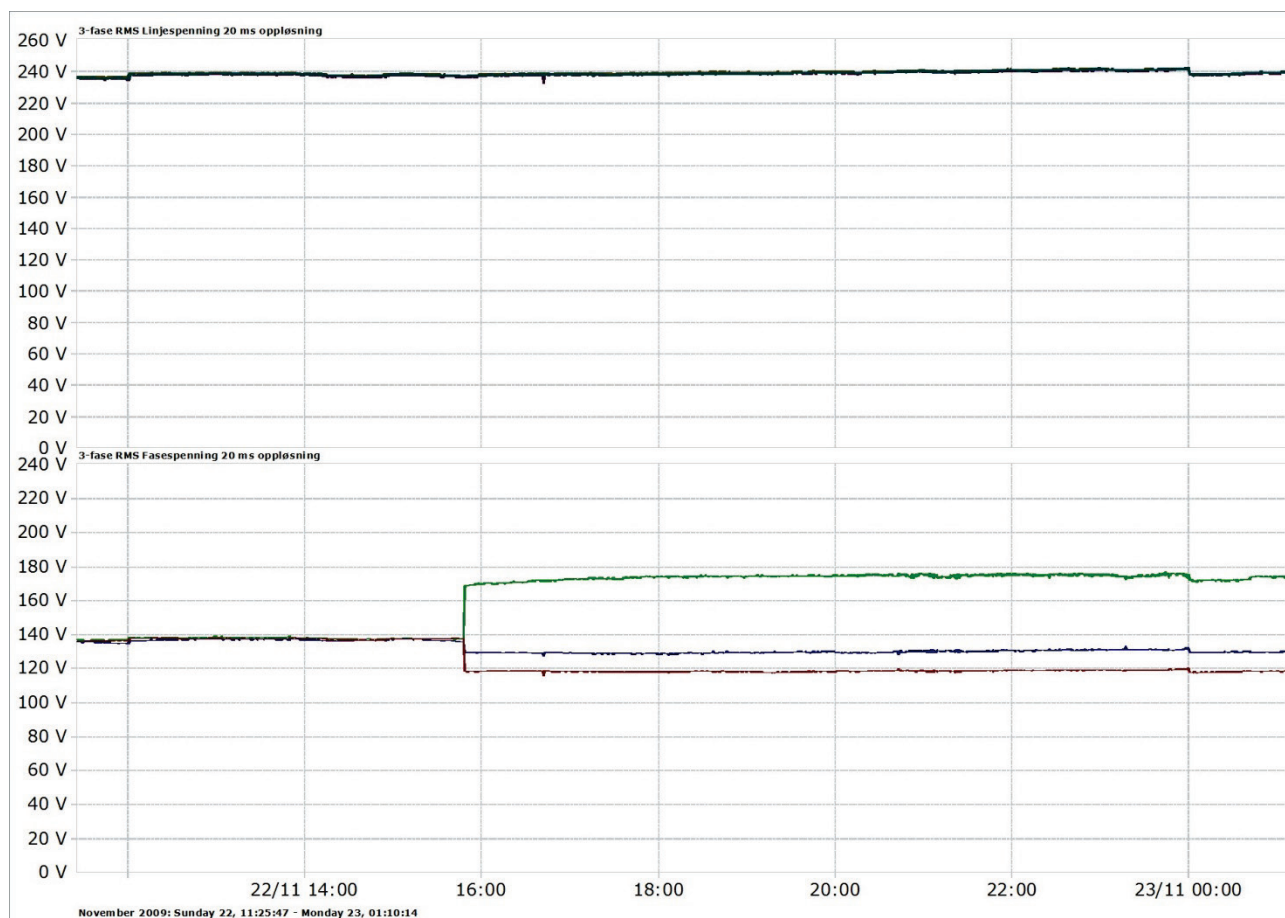
Figur 6.2 Målinger over ca 5 dager som viser et eksempel på at det oppstår en varig enpolt jordfeil (nedre halvdel av figuren). Trefase linjespenninger er vist i øverste halvdel av figuren og er tatt med for å vise at det er liten variasjon i linjespenningen.

6.3 Topolt/trepolt jordfeil

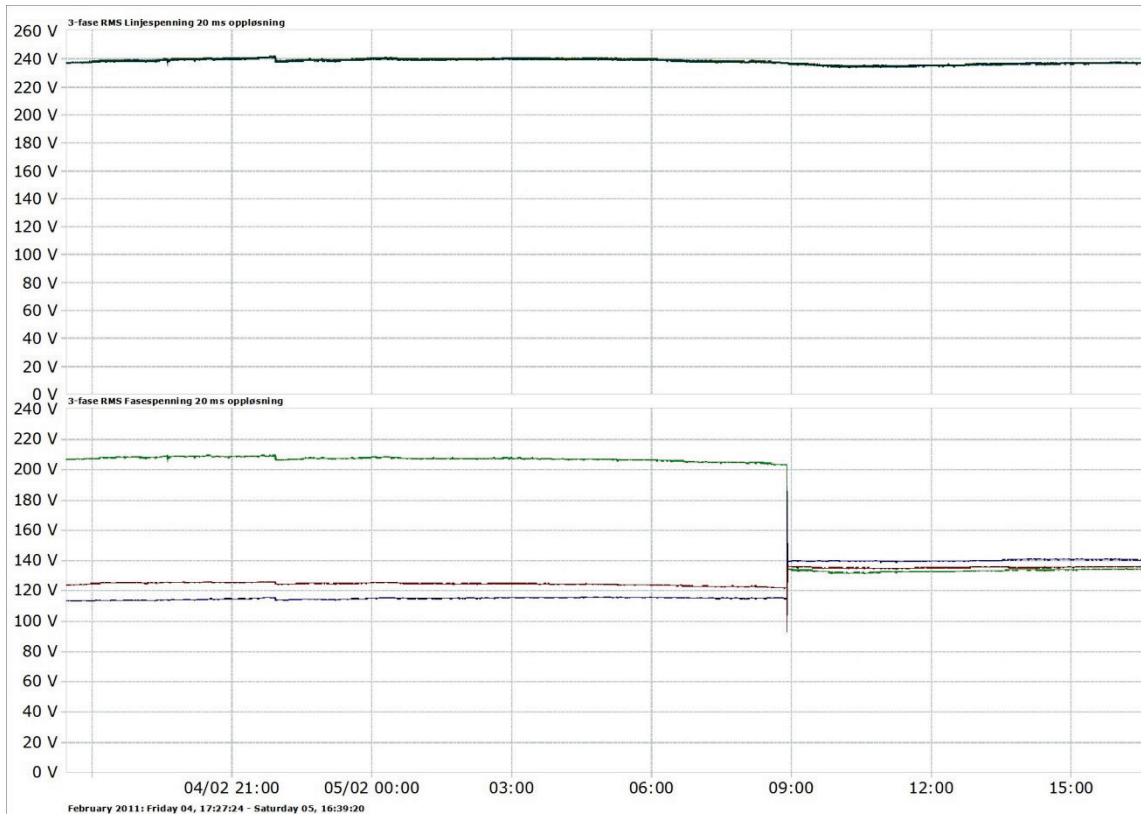
Dersom det oppstår jordfeil på mer enn en fase får man en topolt eller trepolt jordfeil (flerpolt jordfeil). Figur 6.3 indikerer at jordpunktet ved flerpolt jordfeil kan havne nesten hvor som helst relatert til spenningsstrekanten. Figur 6.4 og 6.5 viser målte eksempler på variasjonen i spenningene når det hhv oppstår og forsvinner en varig topolt jordfeil. Flerpolte jordfeil bør normalt vurderes/prioriteres som mer alvorlig enn enpolte jordfeil. Se figurene 6.4 til 6.8 for eksempel på flerpolt jordfeil.



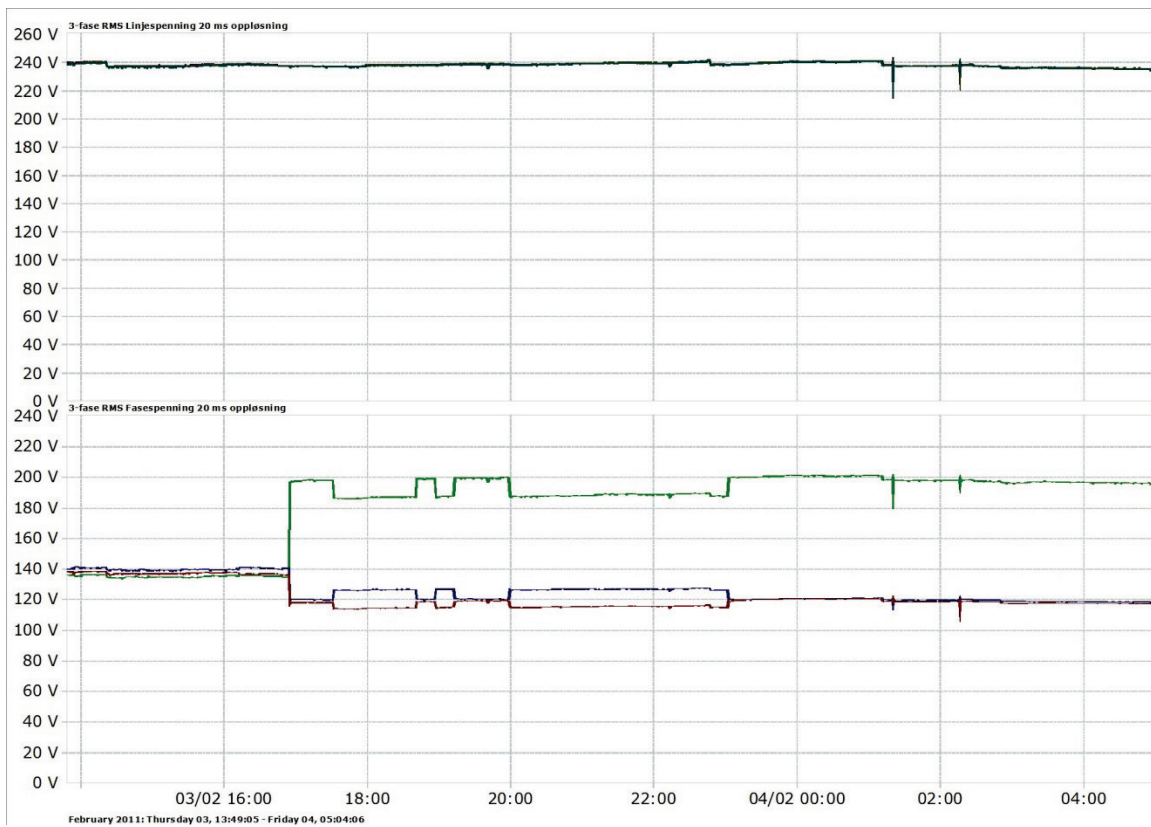
Figur 6.3 Jordpunktet ved flerpolt jordfeil kan havne hvor som helst relatert til spenningstrekanten.



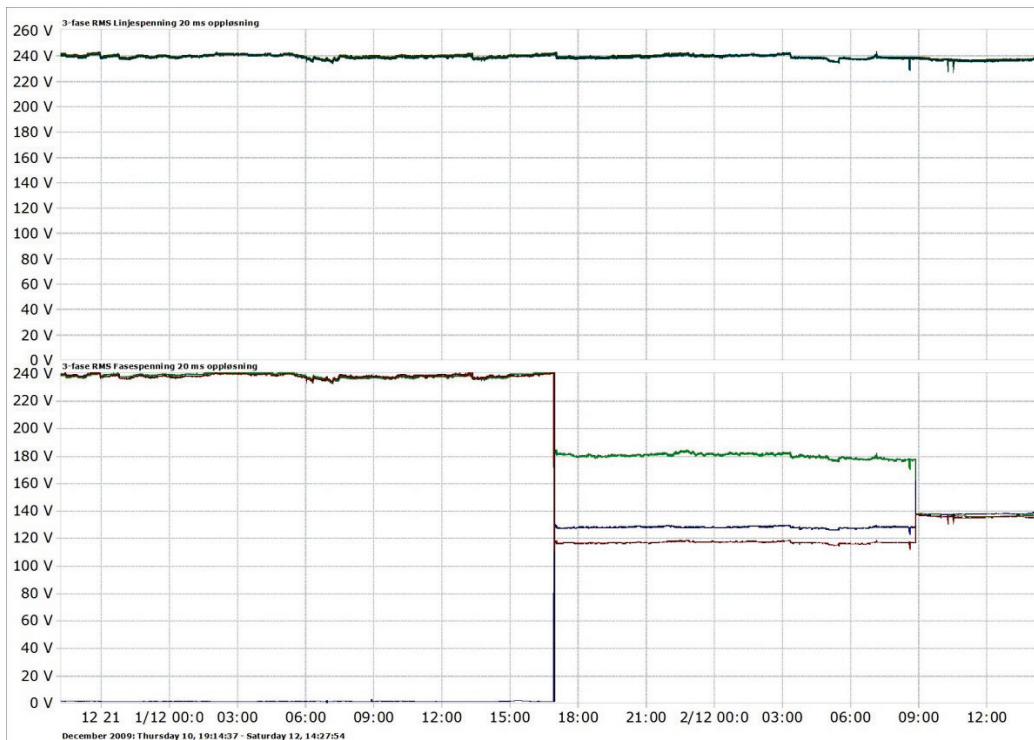
Figur 6.4 Eksempel på variasjonen i spenningene når det oppstår en varig topolt jordfeil.



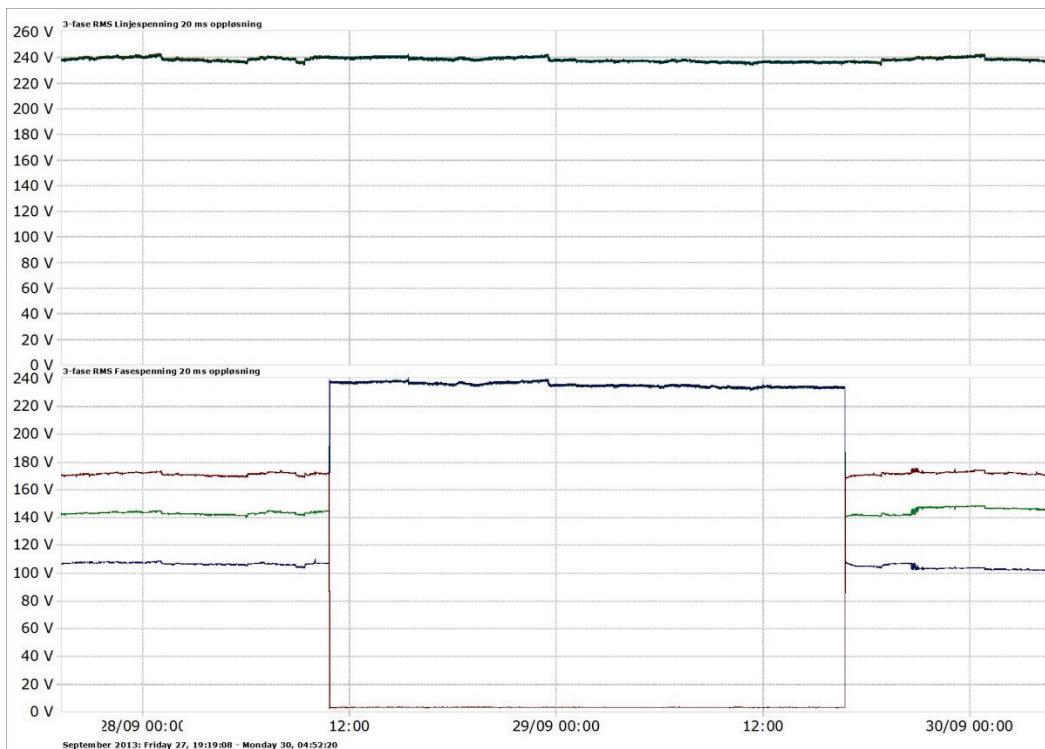
Figur 6.5 Eksempel på variasjonen i spenningene når en varig topolt jordfeil forsvinner.



Figur 6.6 Eksempel på variasjonen i spenningene med tre jordfeil på to av fasene.



Figur 6.7 Eksempel på variasjonen i spenningene med tre jordfeil på to av fasene der det er en lavohmig feil i L3 fram til ca kl.17 og deretter er det fortsatt høyohmige feil på fasene L1 og L3.



Figur 6.8 Eksempel på variasjonen i spenningene med flerpolte jordfeil. I dette tilfellet er det over lengre tid en situasjon med høyohmig topolt jordfeil på L2 og L3, men det inntreffer i litt over et døgn en lavohmig jordfeil på den ellers friske fasen L1. I det tidsintervallet er det altså meget sannsynlig at det var en trepolte jordfeil.

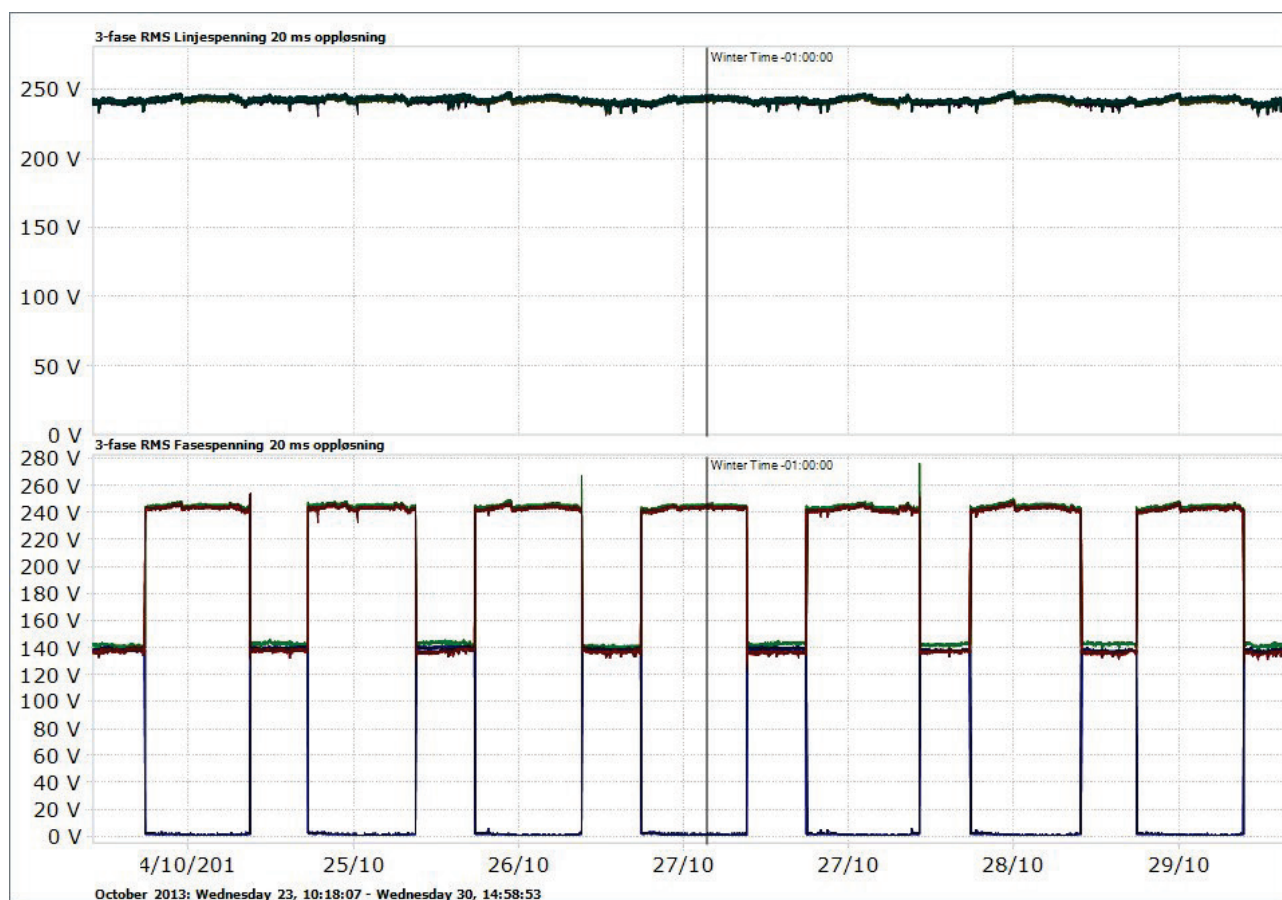
6.4 Intermitterende jordfeil

Intermitterende jordfeil kan "komme og gå" i et relativt fast mønster eller helt tilfeldig uten mønster og med svært varierende varighet. Faste mønster kan være tegn på at jordfeilen avhenger av arbeidstid/arbeidsrytme, dagslysstyring eller tidsstyrte prosesser (timer). Når jordfeil oppstår uten mønster og med stor variasjon kan det eksempelvis skyldes varierende kontakt mot jord pga punktert isolasjon og korrosjon/fuktighet eller tilfeldig bruk av elektrisk utstyr/apparater med feil.

Intermitterende jordfeil kan oppstå som langsomme variasjoner som eksempelvis av og på en gang i døgnet eller noen få ganger i døgnet, men også som hurtige variasjoner der store endringer i fasejord spenningene kan forekomme mange ganger i sekundet.

6.4.1 Langsomme variasjoner

Med langsomme variasjoner på jordfeil mener man gjerne endringer som skjer noen ganger i uken til noen ganger per dag. Dette følger som eksempel gjerne arbeidsrytmer eller dagslysstyring (skumringsrele). Kilden til jordfeilen vist i figur 6.9 var gatelys.

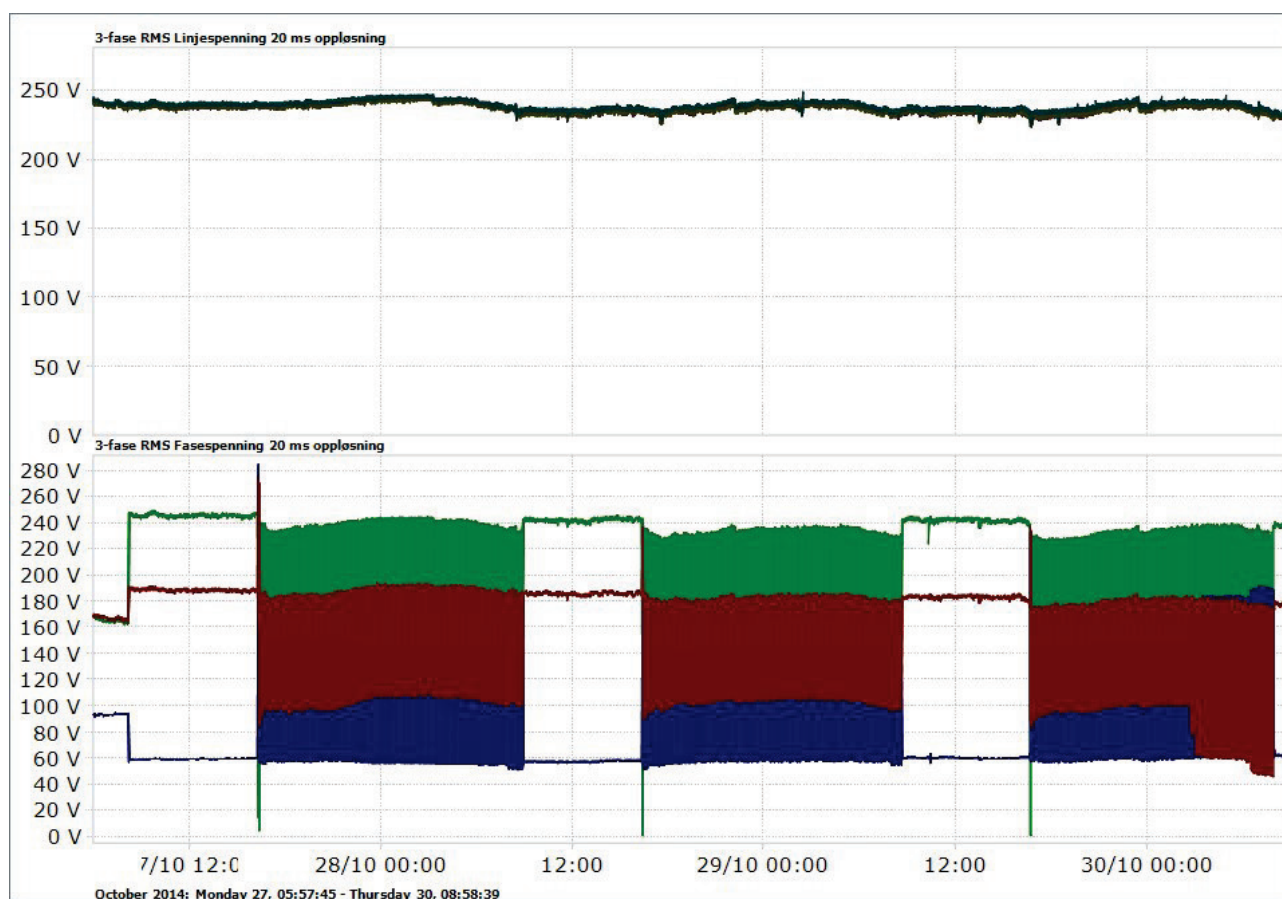


Figur 6.9 Eksempel på jordfeil med langsomme variasjoner. I dette tilfellet kom jordfeilen hver ettermiddag/kveld i skumringen når gatelys med jordfeil ble slått på og forsvant tilsvarende i grålysningen på morgenen.

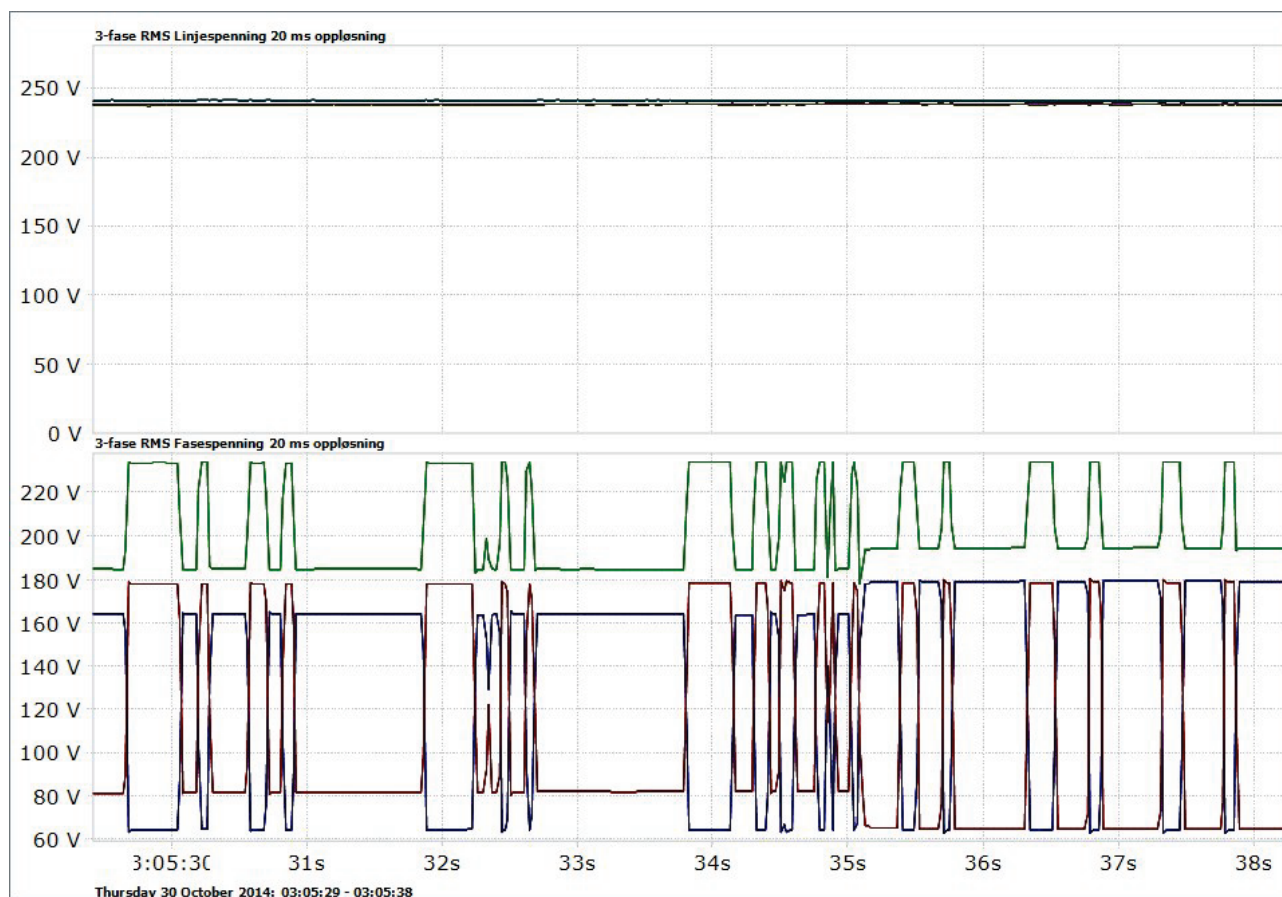
6.4.2 Hurtige variasjoner

Jordfeil med hurtige variasjoner kan ganske ofte være en indikasjon på flerpolte jordfeil som kan medføre en farlig situasjon. Hurtige variasjoner kan også forekomme ved enpolte jordfeil, men er av SINTEF Energi oftere observert når to eller flere jordfeil "slås med hverandre" slik at minst en av feilene "brenner av" og så får kontakt igjen. Det er imidlertid også observert slike hurtige variasjoner ved enpolte jordfeil der det som eksempel skyldtes blant annet mekaniske vibrasjoner.

Figur 6.10 viser et eksempel på jordfeil med hurtige variasjoner. I dette tilfellet er ikke kilden til feilen kjent da feilsøking ikke ble utført før feilen forsvant av seg selv. I figur 6.11 vises samme feil, men i et mye kortere tidsutsnitt så man ser at det er opptil flere endringer per sekund.



Figur 6.10 Eksempel på jordfeil med hurtige variasjoner. I dette tilfellet er ikke kilden til feilen kjent da feilsøking ikke ble utført før feilen forsvant av seg selv.

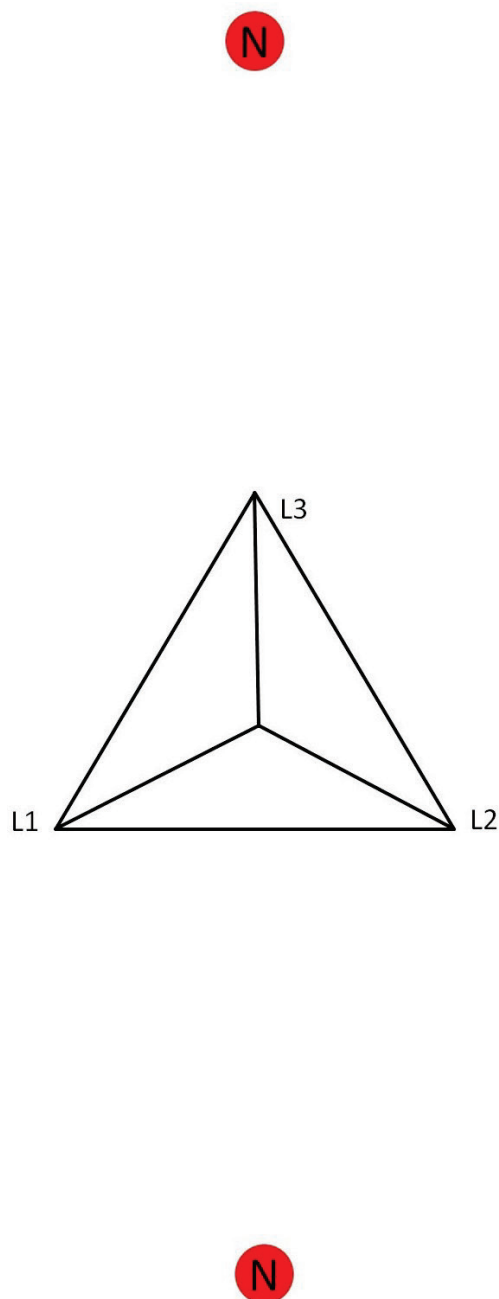


Figur 6.11 De samme hurtige variasjonene som vist i figur 6.10, men her vist over en periode på bare ca 9 sekunder.

6.5 Jordpunktet utenfor spenningsrekanten

I noen relativt sjeldne situasjoner vil man kunne se at fasespenning(e) blir større og til dels mye større enn linjespenningene på lavspenningskretsen. Jordpunktet er da flyttet utenfor og noen ganger langt utenfor spenningsrekanten (se figur 6.12). I flere av tilfellene SINTEF Energi har observert slike forhold har kilden til feilen ligget i lysarmaturer med spole (drossel) der intermitterende jordfeil gjennom spolen "pumper opp" spenningen. Da kan man med resonans få temmelig høye spenninger. SINTEF Energi har sett spenninger mellom fase og jord like under 1 kV som har pågått over ganske lang tid og har medført havari på elektriske apparater hos kundene.

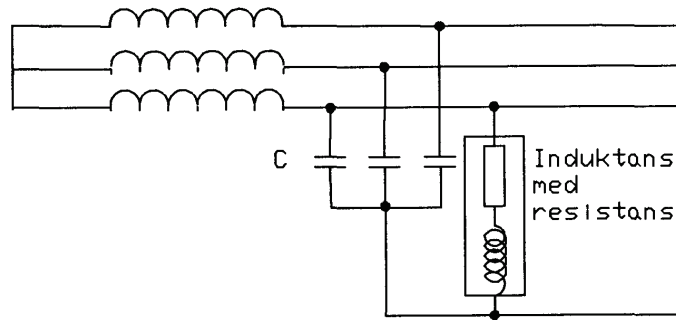
Figurene 6.14, 6.15 og 6.16 viser tre tilfeller av jordfeil der jordpunktet er utenfor spenningsrekanten. Med spenningsmåling alene er det ofte relativt lett å skjønne hva som har skjedd og hva som er årsaken til feilsituasjonen. Men det er viktig å merke seg at dersom situasjonen blir litt kompleks (flerpolt jordfeil, hurtig intermitterende jordfeil etc) så kan det være vanskelig å vurdere situasjonen uten tillegg av informasjon fra flere målekilder (AMS etc) eller fra resultater av feilsøk.



Figur 6.12 Jordpunkt/nullpunkt langt utenfor spenningstrekanten kan eksempelvis oppstå ved intermitterende jordfeil i lysarmatur (jordfeil gjennom spole). Da kan fasespenningene bli betydelig høyere enn linjespenningene.

For å vise det ekstreme, kan en gjøre følgende betraktning:

Feilen oppstår mellom en fase og jord, over en spole med induktans L og indre motstand R .



Figur 6.13 Jordfeil som har oppstått mellom en fase og jord, over en spole.

Kapasitansene C i nettet kan ved tyngdepunktsmetoden ekvivaleres med en felles kapasitans $3C$ mellom nøytralpunktet og jord.

Strømmen kan finnes ved

$$I_f = -\frac{\sqrt{3} \cdot U_l}{Z_+ + Z_- + Z_o + 3 \cdot Z_f}$$

der Z_f er impedans i feilstedet, i dette tilfellet $Z_f = R + j\omega L$

Når vi neglisjerer pluss- og minussystemene, som typisk er i $m\Omega$ -området) blir feilstrømmen

$$I_f = -\frac{\sqrt{3} \cdot U_l}{\frac{1}{j\omega C} + 3 \cdot (R + j\omega L)} = -\frac{U_l}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega 3C}\right)}$$

Spenningen mellom nøytralpunkt og jord blir

$$U_{N-E} = -\frac{1}{j\omega 3C} \cdot I_f = -\frac{U_l}{\sqrt{3} \cdot j\omega 3C} \cdot \frac{1}{R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega 3C}\right)}$$

Vi regner nå med et tilfelle der vi har full resonans mellom spolen og nettets kapasitanser

$$\left(\omega L - \frac{1}{\omega 3C} \right) = 0$$

blir strømmen

$$I_f = -\frac{U_l}{\sqrt{3} \cdot R}$$

Det eneste som da begrenser strømmen er den ohmske motstanden R. I tillegg vil overstrømsvernet på kursen begrense den.

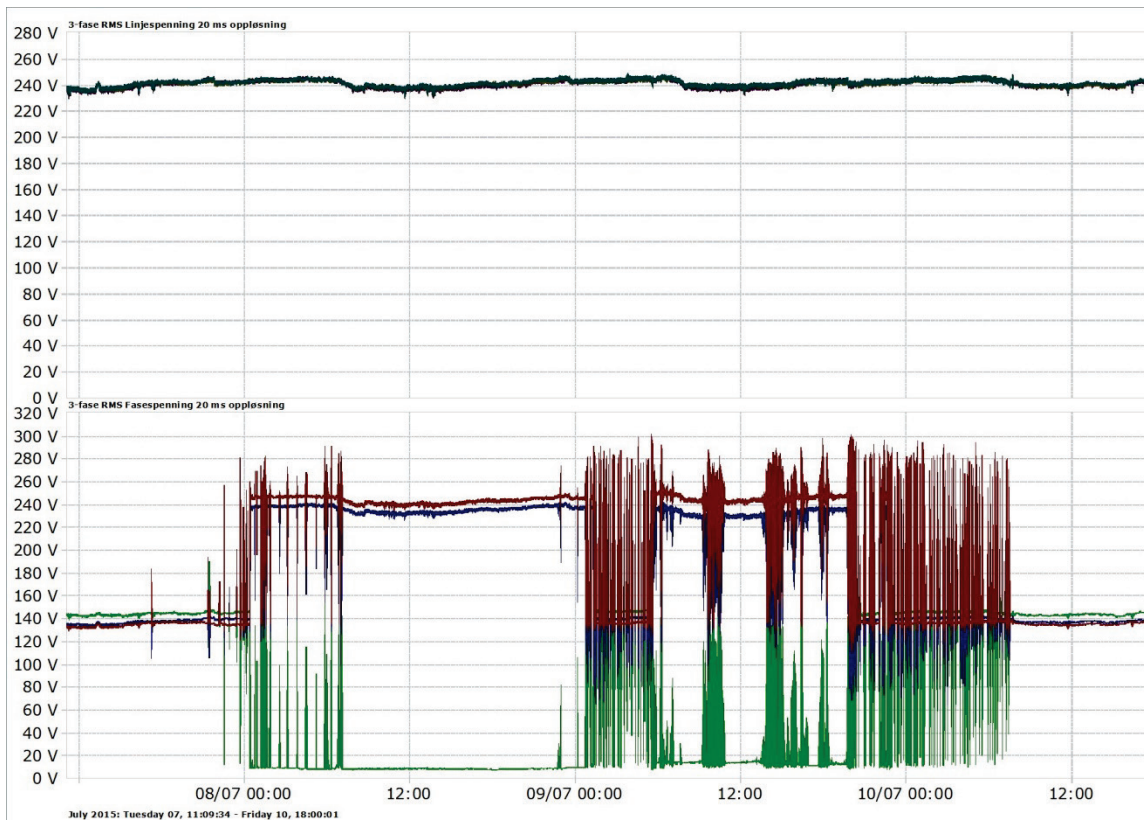
Hvis vi regner at dette er en 10A lyskurs, kan strømmen altså bli 10A. Dette tilsvarer en motstand $R=13,3 \Omega$

Spenningen kan skrives

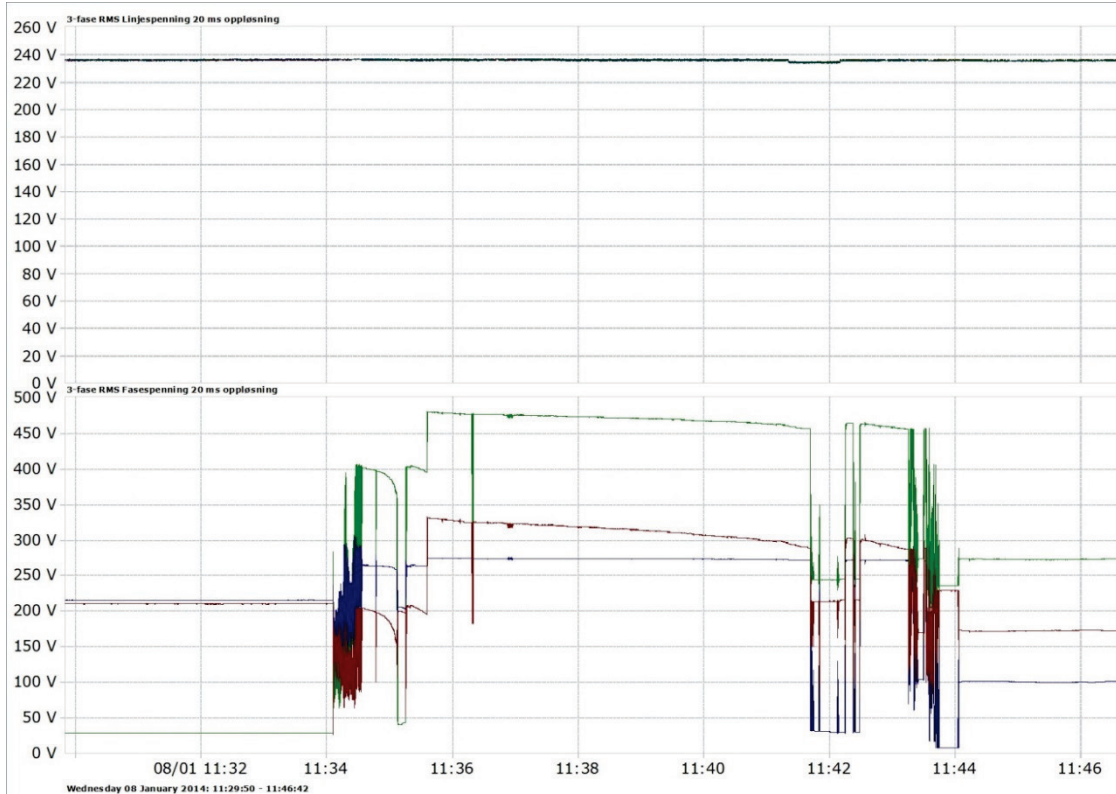
$$U_{N-E} = \frac{U_l}{\sqrt{3} \cdot j\omega 3C \cdot R}$$

Typisk verdi for kapasitansene på en trafokrets er $C = 8 \mu\text{F}$ (Gir en enpolt feilstrom, uten overgangsimpedans, på ca. 1A).

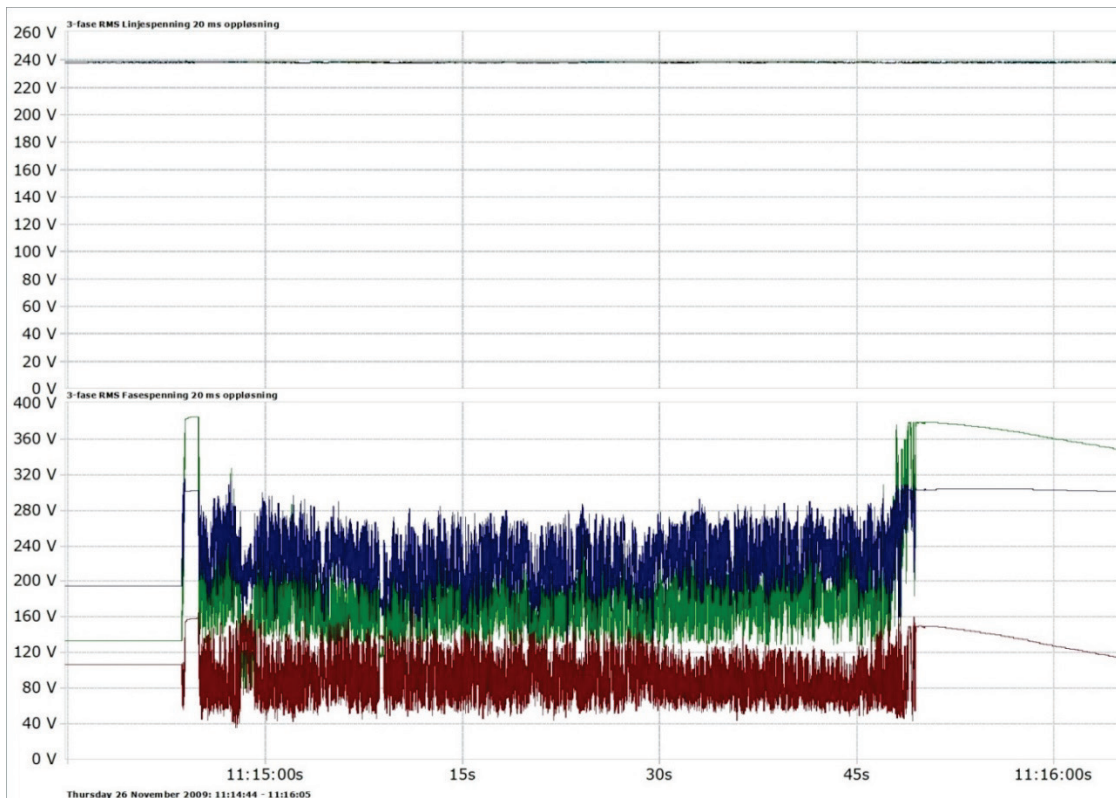
Med 230V linjespenning gir dette en spenning mellom nøytralpunkt og jord på 1324V!



Figur 6.14 Eksempel på jordfeil der jordpunktet er utenfor spenningsrekanten.



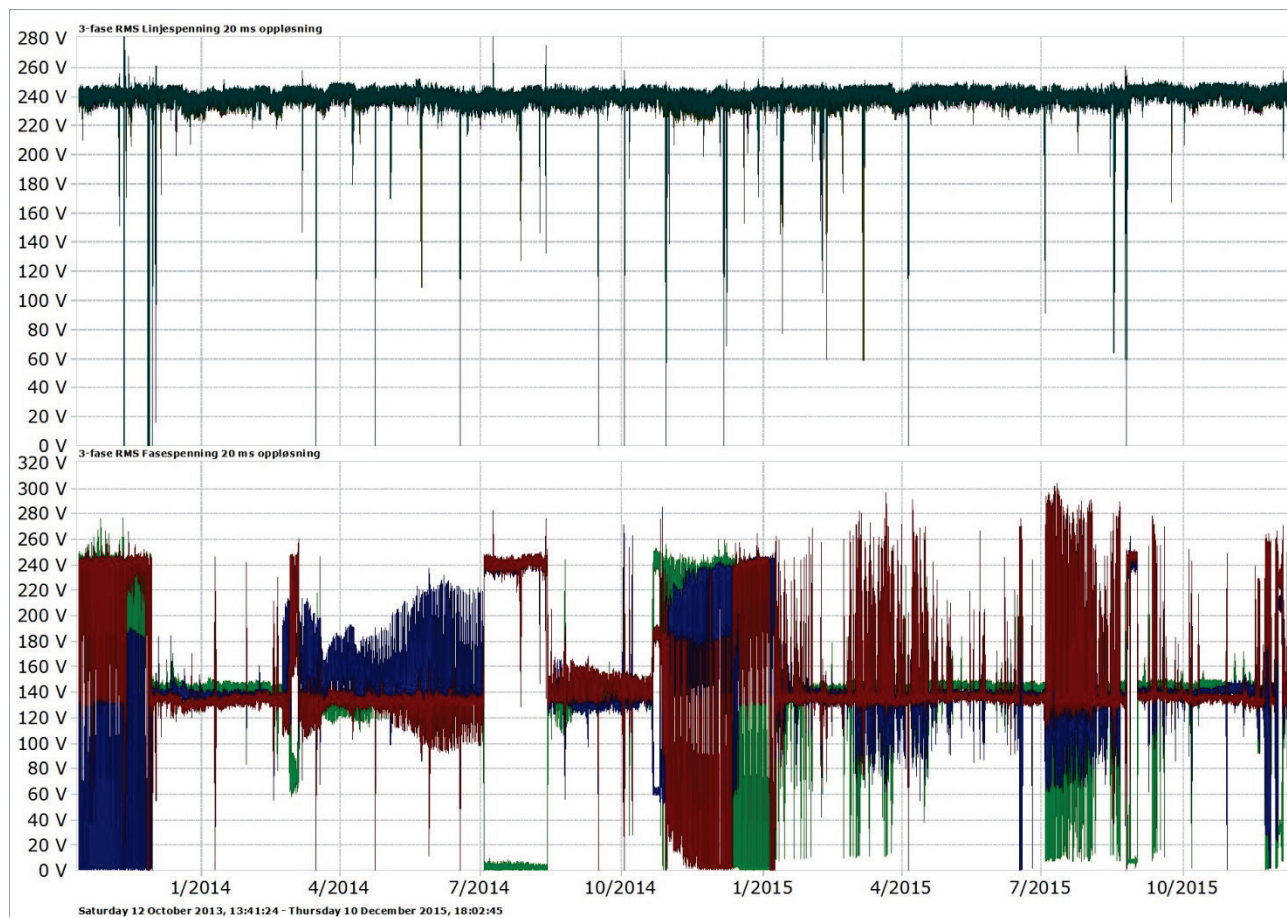
Figur 6.15 Eksempel på jordfeil der jordpunktet er utenfor spenningsrekanten.



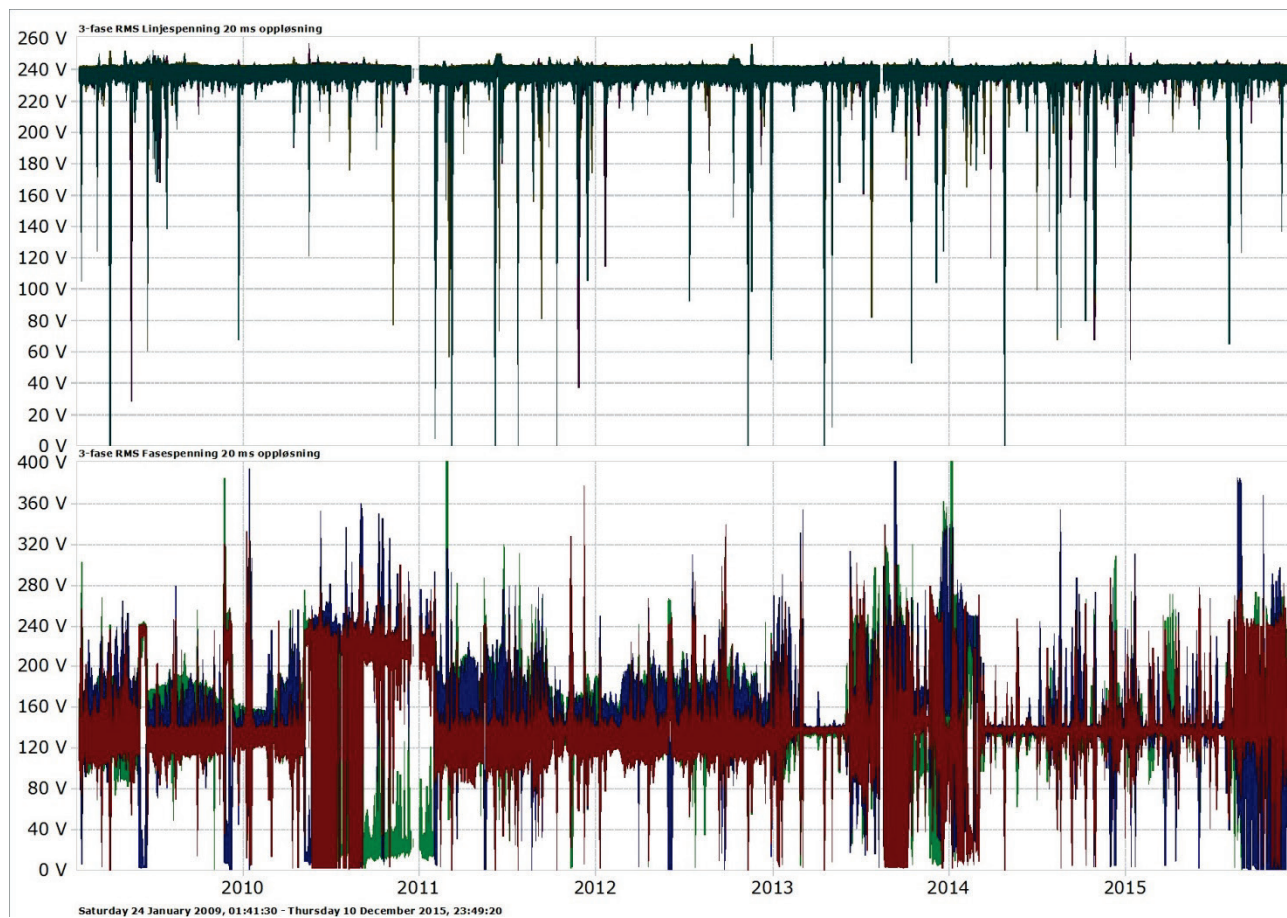
Figur 6.16 Eksempel på jordfeil der jordpunktet er utenfor spenningstrekanten. Her pågår det hurtige variasjoner i jordfeilen i nesten et minutt.

6.6 Eksempel på nett med svært mye jordfeil

SINTEF Energi har både i samarbeid med mange norske nettselskap samt gjennom problemløsningsoppdrag for nettkunder foretatt målinger i mange lavspenningskretser med jordfeil. Det er svært stor variasjon i hvor mange jordfeil som oppstår, hvor mange forskjellige type jordfeil som oppstår og hvor stor andel av tiden det er jordfeil i de ulike stedene det er foretatt målinger. I figurene 6.17 og 6.18 vises jordfeilsituasjonen i 2 av de 3 "heftigste" målepunktene mht forekomst av jordfeil. Det siste ble foretatt før SINTEF Energi fikk tilgang på så avansert og godt egnet måleutstyr og er ikke tatt med i denne rapporten da den grafiske visningen ikke er tilnærmet like god som de to eksemplene som er tatt med.



Figur 6.17 Eksempel på lavspenningsnett med svært mye jordfeil og mange forskjellige typer jordfeil. Det viste måletidsrom er fra 2013-10-13 til 2015-12-10.



Figur 6.18 Eksempel på lavspenningsnett med svært mye jordfeil og mange forskjellige typer jordfeil. Det viste måletidsrom er fra 2013-10-13 til 2015-12-10.

7 Referanser

- [1] Hansen, Eilif Hugo :
Elektroinstallasjoner
Classica Forlag 2010 ISBN 82-7610-010-4

- [2] Seip, Günter G. (ed.) :
Electrical Installations Handbook.
Part 2 : Power Cables, Protective Devices, Meters, Power Factor
Correction, Standby Power-Supply Systems, Lighting, Space Heating, Lift
Installations.
Siemens, Berlin/München 1987 ISBN 3-8009-1467-0

- [3] Ormbostad, Just Erik :
FEB-91. Håndbok for montøren.
Elforlaget, Oslo 1992 ISBN 82-7345-130-5

- [4] Brekke, T.J., P. Holten :
Forbedret vern av husinstallasjoner.
Diplomarbeid
NTH, Trondheim 1990

- [5] REN blad NR 6025 – Nettstasjon – Isolasjonsovervåking – Spesifikasjon



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no