

■ [www.sintef.no](http://www.sintef.no) ■

# **JORDINGSHÅNDBOK**

## **FOR**

# **ELKRAFTANLEGG**

**1. OPPLAG**

**Energiforsyningens Forskningsinstitutt AS**

**Mai 1996**

**ISBN 82-594-0945-3**

**Redaksjon:**  
**Herlof Seljeseth (hovedforfatter)**

**Brede, Arne Petter**  
**Gustavsen, Bjørn**  
**Høidalen, Hans Kr.**  
**Pleym, Anngjerd**  
**Rørvik, Ove**



**Energiforsyningens  
Forskningsinstitutt AS**

Adresse: 7034 Trondheim  
Telefon: 73 59 72 00  
Telefax: 73 59 72 50

F.nr.: 939 350 675

# TEKNISK RAPPORT

SAK/OPPGAVE (tittel)

**JORDINGSHÅNDBOK FOR ELKRAFTANLEGG**

SAKSBEARBEIDER(E)

Herlof Seljeseth

OPPDRAAGSGIVER(E)

EFFEN Nett, EFI

TR NR.	DATO	OPPDRAAGSGIVER(E)S REF.	OPPLAG
TR A4423	1996-04-18	Jan A. Olsen, J. Kulsetås, EFI	1000
GRADERING	PROSJEKTNR.	PROSJEKTANSVARLIG	ANTALL SIDER
Åpen	700003.06	Lars Rolfseng	109
ELEKTRONISK ARKIVKODE		AVDELING	
n:\dok\14\apb\96002599.tek		Materialteknikk	
ISBN	RAPPORTTYPE	AVDELINGSSJEF	
82-594-0945-3		Rolf Hegerberg	

**RESULTAT (sammendrag)**

Håndbok i jording av elkraftanlegg tar utgangspunkt i de krav i Forskrifter for Elektriske Anlegg, Forsyningsanlegg, som stilles til sikkerhet i anleggene og de normer som gjelder for elektro-magnetisk kompatibilitet/sameksistens mellom forskjellige typer av apparater som anvendes i slike anlegg.

Boka beskriver hvordan jording av ulike apparater og anleggsdeler skal eller kan utføres for å oppfylle nevnte forutsetninger og hvordan jordingsanlegg skal kontrolleres og vedlikeholdes.

Boka egner seg for de som arbeider med planlegging, drift og vedlikehold av elforsyningsanlegg. Den omfatter hele jordingsanlegg med jordelektroder og jording av både høy- og lavspenningsanlegg og elektronisk kontroll- og telekommunikasjonsutstyr. Med så omfattende innhold gir boka på mange områder relativt korte beskrivelser. Det er derfor gitt en rekke henvisninger til tre mer detaljerte rapporter som er utarbeidet ved EFI som underlag til håndboka. Det gis også mange henvisninger til annen relevant litteratur.

Sikkerhetsjording, dvs. midlertidig jording av hensyn til sikkerhet under arbeid på anlegg, blir ikke behandlet her.

## STIKKORD

EGENVALGTE	Jordingsanlegg	Jordelektroder
	Berøringspenning	Jordmotstand

## FORORD

Håndbok i jording av elkraftanlegg tar utgangspunkt i de krav i Forskrifter for Forsyningsanlegg [5] som stilles til sikkerhet i anleggene og de normer som gjelder for elektromagnetisk kompatibilitet/sameksistens mellom forskjellige typer av apparater som anvendes i slike anlegg (IEC, CENELEC og NEK), [1, 2, 3].

Boka beskriver hvordan jording av ulike apparater og anleggsdeler skal eller kan utføres for å oppfylle nevnte forutsetninger og hvordan jordingsanlegg skal kontrolleres og vedlikeholdes.

Boka egner seg for de som arbeider med planlegging, drift og vedlikehold av elforsyningsanlegg. Den omfatter hele jordingsanlegg med jordelektroder og jording av både høy- og lavspenningsanlegg og elektronisk kontroll- og telekommunikasjonsutstyr. Med så omfattende innhold gir boka på mange områder relativt korte beskrivelser. Det er derfor gitt en rekke henvisninger til tre mer detaljerte rapporter som er utarbeidet ved EFI som underlag til håndboka, [10, 12, 16]. Det gis også mange henvisninger til annen relevant litteratur.

Sikkerhetsjording, dvs. midlertidig jording av hensyn til sikkerhet under arbeid på anlegg, blir ikke behandlet her. Det er imidlertid behandlet i [12].

## INNHOLDSFORTEGNELSE

1	INNLEDNING	6
2	DEFINISJONER	7
2.1	GRUNNLEGGENDE DEFINISJONER	8
2.2	TYPER AV ELEKTRODER	10
2.3	VIKTIGE ELEKTRISKE PARAMETRE FOR JORD OG ELEKTRODER	11
2.4	HENSIKTER MED JORDING	11
2.5	SYSTEMJORDING AV NØYTRALPUNKT	12
2.6	SPENNINGER VED JORDFEIL	13
2.7	FEILSTRØMBEGREP	14
2.8	JORDSLUTNINGSSTRØM	14
2.9	VARIGHET AV FEILSTRØM	15
3	JORDING I TRANSFORMATORSTASJONER MED HØYESTE DRIFTSSPENNING 36-420 kV	16
3.1	VIKTIGE FORSKRIFTSKRAV OG PÅGÅENDE NORMARBEID	16
3.1.1	Forskriftskrav	16
3.1.2	Normer i andre land og normarbeid	19
3.2	JORDELEKTRODER OG HOVEDJORDLEDNINGER	20
3.3	JORDING AV HØYSPENNINGSANLEGG, STATIVER O.L.	27
3.3.1	Forskriftsmessige krav	27
3.3.2	Høyspenningsskabler	27
3.3.3	Måletransformatorer	28
3.3.4	Overspenningsavledere	29
3.3.5	Metalliske gjerder, rørledninger, jordliner og sporanlegg	30
3.4	JORDING AV LAVSPENNINGSANLEGG	32
3.5	JORDING AV LYNVLEDERANLEGG	34
3.6	JORDING AV KONTROLL- OG TELEANLEGG	36
3.6.1	Generelt	36
3.6.2	Forskrifter for svakstrømsanlegg	38
3.6.3	Hovedjordskinner	38
3.6.4	Kabelføringer	39
3.6.5	Skjerming og jording	39
3.6.6	Jording og skillekoplinger	41
3.6.7	Valg av kabeltyper	42
3.6.8	Mulige tiltak på sterkstrømsanlegg	44

3.7	VERN AV TELELINJER	46
3.7.1	Forskrifter vedrørende påvirkning på eksterne telelinjer o.a.	46
3.7.2	Beregning av induerte spenninger	48
3.7.3	Vern av telelinjer og lavspenningslinjer mot induerte langsspenninger og potensialheving	53
4.	SPESIELLE FORHOLD VED ANLEGG MED SPOLEJORDET ELLER ISOLERT NØYTRALPUNKT	58
4.1	GENERELT	58
4.2	JORDFEILSTRØM OG JORDPOTENSIAL I NETT MED SLUKKE-SPOLER ELLER ISOLERT NØYTRALPUNKT	58
4.3	JORDELEKTRODER OG HOVEDJORDLEDNINGER	63
4.4	JORDING AV APPARATER OG ANDRE ANLEGGSDELER	64
5	GASSISOLERTE ANLEGG/STASJONER	65
5.1	GENERELT	65
5.2	JORDELEKTRODER	65
5.3	JORDING AV HØYSPENNINGSANLEGG	67
5.3.1	Overgang fra SF <sub>6</sub> -anlegg til luftledning	68
5.3.2	Overgang fra SF <sub>6</sub> -anlegg til kabel	69
5.3.3	Overgang til krafttransformator eller reaktor	71
5.3.4	Isolerende skjøter i selve SF <sub>6</sub> -anlegget i forbindelse med utvendige strømtransformatorer	71
5.4	JORDING AV LAVSPENNINGSANLEGG	72
5.5	JORDING AV LYNVLEDERANLEGG	72
5.6	JORDING AV KONTROLLANLEGG	72
6	JORDING I KRAFTSTASJONER	73
6.1	GENERELT	73
6.2	JORDELEKTRODER I KRAFTSTASJON	74
6.3	JORDING AV HØYSPENNINGSANLEGG	75
6.4	JORDING I LAVSPENNINGSANLEGG	75
6.5	JORDING AV LYNVLEDERANLEGG	75
6.6	JORDING I KONTROLLANLEGG	75
7	JORDING VED KRAFTLEDNINGER	76
7.1	GENERELT	76
7.2	JORDELEKTRODER VED MASTER	76
7.3	IMPULSJORDMOTSTAND	81
7.4	JORDLINER PÅ KRAFTLEDNINGER	83

8	SPESIELLE FORHOLD I ANLEGG MED SYSTEMSPENNING $\leq 24$ kV	85
8.1	FORSKRIFTSBESTEMMELSER AV SPESIELL BETYDNING	85
8.2	HØYSPENNINGSANLEGG MED LUFTLEDNING OG JORDKABEL	86
8.2.1	Generelt	86
8.2.2	Ledningsanlegg	86
8.2.3	Transformatoranlegg og lavspenningsnett	87
8.3	RENE JORDKABELANLEGG	90
8.3.1	Høyspenningskabler	90
8.3.2	Transformatorkiosker	90
8.3.3	Lavspenningskabler	91
9	MÅLEMETODER FOR PLANLEGGING OG KONTROLL AV JORDINGSANLEGG	92
9.1	GENERELT	92
9.2	MÅLINGER PÅ RELATIVT SMÅ JORDINGSANLEGG	92
9.3	MÅLINGER PÅ STORE JORDINGSANLEGG	96
9.4	MÅLING AV JORDRESISTIVITET	98
9.5	ANDRE MÅLINGER I JORDINGSANLEGG	102
10.	BYGGING OG KONTROLL AV JORDINGSANLEGG	104
10.1	UTFØRELSE	104
10.2	KONTROLL AV JORDINGSANLEGG	104
11.	REFERANSER	105

## 1 INNLEDNING

Jord vil som regel være et referansepotensial for isolasjonsholdfasthet for elektrisk utstyr. Jord eller jordede strukturer finnes som regel i omgivelsene og spesielt hvis utstyret har metallkapsling som skal beskyttelsesjordes eller jordes for skjerming mot elektromagnetiske forstyrrelser. Disse formål for jording forutsetter at det skal kunne flyte strøm til jordingsanlegget. Det er i enda større grad tilfelle ved jording av lynavledere, overspenningsavledere og høyspenningsnett der det kan flyte svært store feilstrømmer.

Når det flyter strøm i et jordingsanlegg oppstår det potensial mellom anlegget og jordsmonnet omkring dette. Men det oppstår også spenningsfall i selve jordingsanlegget, spesielt p.g.a. reaktans i jordledningene ved høye frekvenser. Transiente strømmer ved tordenvær, bryterkoplinger eller feil i nettet er noen eksempler på dette. Derfor kan jordingsanlegget ikke forutsettes å være et ekvipotensial, men bare en mer eller mindre effektiv potensialutjevning avhengig av anleggets utforming og de strømmer som flyter i anlegget. I tillegg til jordpotensial vil strømførende kabler medføre elektromagnetiske felt i miljøet og indusere spenninger i andre kabler.

Potensialutjevning er en hovedmålsetting både for beskyttelsesjording og for elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) dvs sameksistens for forskjellige typer mer eller mindre støyfølsomt utstyr. Men av og til kan det oppstå konflikter mellom sikkerhetsbestemmelsene og de jordingstiltak som benyttes for å oppnå tilnærmet strømfrie jordingsanlegg for støyfølsomt utstyr. Kablings- og skjermingsteknikk er også svært viktig for EMC.

Sammen med kildene til elektromagnetiske felt er jording, kabling og skjerming de viktigste faktorene som kan brukes til å beskrive et elektromagnetisk miljø. Ut fra forskjellige definerte miljøklasser kan det stilles krav til hva elektriske apparater må tåle (immunitetsgrenser) og hva de får sende ut av elektriske forstyrrelser (emisjonsgrenser). Slike normer er allerede utarbeidet av CENELEC (CLC) for EU og EFTA. De betegnes som europanormer (EN), [1, 2, 3]. Normene må oppfylles for alt elektrisk utstyr som skal omsettes fritt innen EU og EØS etter 1996-01-01, også utstyr importert fra andre land. Normene er basert på forskjellige elektromagnetiske miljø, bolig, service, lett industri og tung industri. En kan ikke med sikkerhet stole på at godkjent utstyr (normalt merket CE) har god nok immunitet overalt i elkraftanlegg uten ekstra tiltak som spesiell jording, skjerming eller kabling. I tillegg til de referanser som er gitt i [1, 2, 3] er det fem NK-EN-normer som angir grenser for radiostøy (emisjon) fra forskjellige typer apparater.

Ingen av de normene som hittil er vedtatt berører spesielt elkraftanlegg. To standarder under forberedelse er av betydning: CLC TC11: Overhead Electrical Lines exceeding 45 kV AC Electrical Requirements and Earthing. Dessuten CLC TC 110 WG03: Influence of Power Installations on Telecommunication Systems.



Felles for alle målsetninger med jording er at jordingsanlegget må ha tilstrekkelig stort ledningstverrsnitt til å tåle aktuelle strømmer og bestå av et materiale som er tilstrekkelig motstandsdyktig mot mekanisk og kjemisk påvirkning. Alle skjøter må være av god kvalitet og må eventuelt korrosjonsbeskyttes.

For beskyttelsesjording kreves tilstrekkelig god potensialutjevning mellom apparater og strukturer som kan bli spenningsatt ved feil og jord eller andre ledende strukturer innenfor rekkevidde. Det kan også være nødvendig med potensialutjevning i jorda. I mange tilfeller stilles også krav til lav jordingsmotstand.

For systemjording kreves tilstrekkelig effektiv jording for å få sikker og hurtig funksjon av relevern og begrensnings av transiente og temporære overspenninger ved jordfeil. Dette avhenger av type systemjording og antall jordingspunkt. Av hensyn til elektromagnetisk påvirkning på andre anlegg skal feilstrømmer begrenses til det som er nødvendig for sikker relé-/bryterfunksjon.

For jording av overspenningsvern og lynavledere kreves det tilstrekkelig lav impulsjordmotstand og mange jordforbindelser for å lede atmosfæriske utladninger til jord uten skadevirkninger.

Sikkerhetsjording (se definisjoner pkt. 2.4) blir ikke behandlet i denne håndboka. For dette tema henvises til driftsforskriftene, [7]. Sikkerhetsjording er også omtalt i en av grunnlagsrapportene til boka, [12]. Der er det f.eks. vist at betydelige jordpotensial og berøringsspenninger kan oppstå mellom jordet anleggsdel og jordsmonn pga. strøm til jord i jordingspunktene eller induisert spenning fra parallellførte linjer.

## 2. DEFINISJONER

De internasjonale definisjoner med relasjon til jording, som er gitt av IEC, finnes spredd over flere forskjellige publikasjoner, f.eks. IEC 50 (121, 131, 151, 161), IEC 50 (601, 604) og IEC 50 (826), [4]. Disse synes ikke å dekke alle de begreper som vi anvender. En del oversettelser til norsk finnes f.eks. i Forskrifter for elektriske forsyningsanlegg, [5], Forskrifter for elektriske bygningsinstallasjoner, [6], Driftsforskrifter for elektriske forsyningsanlegg, [7], Jording av tekniske installasjoner i bygninger, [8], og Håndbok i lynvernanlegg for bygninger, [9].

En del IEC-definisjoner er ikke gode, og i en del pågående arbeid i CENELEC benyttes bl.a. modifiserte definisjoner i forhold til IEC. De definisjonene som anvendes her er bare delvis i overensstemmelse med IEC men angir den betydning vi legger i de enkelte begrep. I noen tilfeller er det også tatt med engelske ord for begrepet i parentes.

### 2.1 GRUNNLEGGENDE DEFINISJONER

#### **Jord (earth)**

Ledende masse i jordskorpen, dvs. forskjellige jordarter, sand, stein, berg, vann, hav.  
Forskjellig fra IEC 50 (826-04-01).

#### **Jording**

Omfatter metoder og tiltak for å forbinde anleggsdeler og apparater til jord.

#### **Fjern jord/sann jord/nøytral jord (remote earth/reference earth)**

Jord som ligger utenfor potensialområdet rundt strømførende jordelektroder.

#### **Jordelektrode (earth electrode)**

Uisolert leder som er nedgravd eller drevet ned i jord, lagt i sjø eller innstøpt i betong i jord eller sjø som gir god elektrisk kontakt med jord.

#### **Elektrodeledning**

Jordleder som forbinder jordsamleskinne eller utsatt anleggsdel med jordelektrode.

#### **Jordleder/jordledning**

Generell betegnelse for alle ledere som inngår i et jordingsanlegg.

#### **Jordingsanlegg/jordingssystem (earthing system)**

Et begrenset anlegg/system av jordledere, elektroder og tilkoblede ledende strukturer (f.eks. stålarmoring, stålkonstruksjoner, ledende kabelmantler og jordliner). Vil også omfatte deler av lynvernanlegg og tilkoblede jordingsanlegg for tele- og kontrollsignal. (Forskjellig fra def. i FEA-F 95.)

**Hovedjordleder/ledning**

Leder som forbinder forskjellige elektroder, går langs kabelføringer eller forbinder jordsamleskinner i forskjellige bygninger/anleggsdeler.

**Hovedjording**

Alle jordledere og utstyr som har til oppgave å redusere motstanden eller impedansen til jord i en stasjon, dvs. elektroder og hovedjordledninger.

**Jordsamleskinne**

Kobberskinne for sammenkopling av flere jordledere slik at de får best mulig forbindelse innbyrdes og til jord.

**Hovedjordskinne**

Den jordsamleskinne som ligger nærmest kabelinnføring i en bygning eller et rom og som regel gir den beste forbindelse til jord.

**Jordforbindelse**

Generell betegnelse på en forbindelse mellom apparat/utsatt anleggsdel og jordsamleskinner eller jordelektroder - systemjording/driftsjording eller beskyttelsesjording.

**Beskyttelsesleder/PE-leder**

Leder for å hindre berøringsfare (elektrisk støt). Forbinder utsatte og andre ledende anleggsdeler til

- hovedjordskinne/klemme
- jordelektrode
- jordet punkt eller kunstig nøytralpunkt i strømkilde

**Potensialutjevningsleder (bonding conductor)**

En leder mellom to nærliggende ledende strukturer som fjerner mulig potensialforskjell mellom dem.

**Utsatt ledende anleggsdel (exposed conductive part)**

Ledende del som kan bli spenningssatt ved jordfeil i det elektriske anlegget.

**Annen ledende del (extraneous conductive part)**

Del som kan ha et annet elektrisk potensial i farlig nærhet til utsatt del/jordingsanlegg.

**Jordliner**

Tråd/wire langs kabelføringer eller på kraftledninger.

**Toppline**

Jordline plassert som lynoppfangere på kraftledninger over faselinene.

**Innføringsvern**

Toppline/jordline ca 1-5 km ut fra en kraft-/transformatorstasjon.

**Lynvernanlegg**

Hele systemet som brukes til å verne et anlegg/område mot virkningene av lynutladninger. Det kan bestå av både utvendige anlegg og anlegg innenfor bygninger. Anlegget består av oppfangere (spyd, liner, toppliner på kraftledninger), nedledere/jordledere, jordelektroder og overspenningsavledere. Plassering, utforming og dimensjonering av vernet er viktig. Lynvern av bygning krever en egen separat tilknyttet jordelektrode.

**Separat jording**

Egne isolerte jordledere og eventuelt ekstra elektroder som er galvanisk tilknyttet større jordingsanlegg, f.eks. jording av tele- og kontrollanlegg eller lynvernanlegg. (Forskjellig fra def. i FEB 91.)

**Adskilt jording**

Egne jordelektroder for forskjellige anlegg eller deler av anlegg som er anordnet slik at jordingsanleggene ikke påvirker hverandre vesentlig via jord, f.eks. ved fordelingstransformatorer i mastearrangement.

**Jordslutter**

Et mekanisk koplingsapparat for jording av anleggsdeler. Apparatet er beregnet til å føre en spesifisert kortslutningsstrøm i en viss tid, men er ikke beregnet til å føre strømmer under normale forhold.

## **2.2 TYPER AV ELEKTRODER**

**Horisontal elektrode (horizontal earth electrode)**

Nedgravd elektrode f.eks. wire, tråd eller bånd (normalt i 0,3-2 m dybde). Den kan være utformet som ring rundt fundament, radialer, kråkefot, maskenett eller kombinasjoner av disse.

**Jordspyd (earth rod)**

Elektrode av stang, skinne eller rørform som normalt drives ned til større dybder.

**Jordkabel som elektrode (cable with earth electrode effect)**

En kabel med ledende uisolert skjerm eller armering. Kan ha ytre korrosjonsvern med minst like god ledningsevne som omgivende jord.

**Fundamentjord elektrode (foundation earth electrode)**

Leder som er støpt inn i eller under betongfundament. Kan være armeringsjern eller koppertråd.

**Potensialstyringselektrode (potential grading earth electrode)**

Elektrode som er spesielt utformet for å endre forløp av overflatepotensial og redusere berøringsspenning, (se Spenninger ved jordfeil).

**Ringelektrode**

Sammenhengende jordelektrode/jordleder som er lagt omkring bygning/fundament.

**2.3 VIKTIGE ELEKTRISKE PARAMETRE FOR JORD OG ELEKTRODER****Jordresistivitet (earth resistivity)**

Jordens spesifikke motstand,  $\rho$ , [ $\Omega\text{m}$ ].

**Jordmotstand (resistance to earth)**

Elektrodens resistans mot fjern/sann jord,  $R_j$ , [ $\Omega$ ], dvs. forholdet mellom potensialet på elektroden og den strøm som den leder til jord. Ren resistans fås bare for relativt små elektroder eller likestrøm.

**Impedans til jord (impedance to earth)**

Driftsfrekvent impedans mellom et jordingsanlegg eller deler av dette og fjern jord,  $Z_j$ , [ $\Omega$ ].

**Langsimpedans for jordline**

Driftsfrekvent impedans med jord som retur, [ $\Omega/\text{km}$ ].

**Avledningsmotstand for jordline**

Driftsfrekvent jordmotstand pr. lengdeenhet, [ $\Omega/\text{km}$ ].

**Overførings-/transferimpedans (transfer impedance)**

Generelt uttrykk for forholdet mellom spenning som oppstår i en leder/sløyfe/krets som følge av strøm i en annen. Det kan være galvanisk og/eller induktiv kopling mellom sløyfer der jord er returvei for strøm.

**Permittivitet**

Forholdet mellom elektrisk flukstetthet og feltstyrke,  $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$ , hvor  $\epsilon_0 \approx 8,85 \cdot 10^{-12} \text{F/m}$ .  $\epsilon_r$  har normalt verdier i området ca 5-20 for jord.

**Impulsmotstand**

Forholdet mellom toppverdien av en impulsspenning og toppverdien av strømmen i et valgt punkt for en jordleder.

**2.4 HENSIKTER MED JORDING****Beskyttelsesjording (protective earthing)**

Jording av ledende anlegg-/apparatdel som kan bli spenningssatt ved jordfeil i det elektriske anlegget for å unngå farlig berøringsspenning.

**Systemjording (system earthing)**

Driftsmessig jording av et punkt i en spenningsførende krets enten direkte eller via en impedans.

**Sikkerhetsjording**

Midlertidig jording, f.eks. arbeidsjording, markeringsjording eller endepunktsjording av elektriske anleggsdeler som er utkoplest under bygging/vedlikehold/reparasjon. Brukes for å hindre farlig berøringsspenning pga. innkopling eller påvirkning fra andre anlegg som er i drift eller atmosfæriske utladninger.

**EMC-jording**

Jording for å oppnå elektromagnetisk sameksistens mellom forskjellige typer elektriske apparater og anlegg.

**Signalreferansejording**

Separat isolert jordledersystem benyttet til jordreferanse i svakstrømanlegg og tilkoplest en jordskinne med lav impedans mot jord. (En form for EMC-jording.)

**2.5 SYSTEMJORDING AV NØYTRALPUNKT****System med isolert nøytralpunkt**

Nøytralpunktet er helt isolert fra jord eller forbundet til jord via en høy impedans av hensyn til signaloverføring eller relévern/overvåking.

**System med resonansjordet/spolejordet nøytralpunkt**

System der minst ett nøytralpunkt er jordet via sløkkespole/Petersenspole.

**System med lavohmig jordet nøytralpunkt**

Et system der minst ett nøytralpunkt er jordet direkte eller via en impedans som er dimensjonert slik at det oppnås pålitelig automatisk utkopling av alle mulige feilsteder. (Jording kan også skje automatisk når feil inntreffer.)

**Direkte jordet system**

Et system der minst ett nøytralpunkt er forbundet med hovedjordingsanlegget med en kort forbindelse.

**Effektivt jordet system**

Et system som har nøytralpunkter jordet på en slik måte at nullsystemreaktansen overalt er mindre enn 3 x plussystemreaktans og nullsystemresistansen er mindre enn plussystemreaktansen.

**System med forsinket jording ved feil**

System med isolert eller resonansjordet nøytralpunkt hvor det i tilfelle av at en lysbuefeil ikke slokker av seg selv, blir foretatt en direkte eller lavohmig jording av nøytralpunktet etter få sekunder.

**IT-system**

Lavspenningsanlegg med isolert nøytralpunkt.

**TT-system**

Lavspenningsanlegg som er jordet i ett punkt, vanligvis nøytralpunktet, men som ikke har fremført jordleder til brukerne.

**TN-system**

Lavspenningsanlegg som er jordet i ett punkt, vanligvis nøytralpunktet. Anlegget har jordleder, PE- eller PEN-leder, som fremføres til brukerne og kan være jordet i flere punkt. (PEN-leder = kombinert jord- og nøytralleder.)

**2.6 SPENNINGER VED JORDFEIL****Jordpotensial (earth potential rise)**

Spenningen ( $U_j$ ) mellom jordingsanlegg/elektrode og fjern jord.

**Overflatepotensial (earth surface potential)**

Spenningen ( $U_0$ ) mellom et punkt på jordoverflaten og fjern jord.

**Berøringsspenning (touch voltage)**

Spenning som ved isolasjonsfeil opptrer mellom samtidig tilgjengelige anleggsdeler.

Berøringsspenningen mellom en utsatt anleggsdel og jord er den spenningen ( $U_B = U_f - U_0$ ) som en person kan bli utsatt for ved å berøre en anleggsdel når han står i en horisontal avstand på 1 m fra berøringspunktet.

**Skrittspenning (step voltage)**

Spenningen ( $U_S = \Delta U_0$ ) som en person kan bli utsatt for ved å stå med føttene 1 m fra hverandre nær jordingsanlegget.

**Overført spenning (transferred voltage)**

Differens mellom jordpotensial ( $U_j$ ) overført via isolerte ledere (kabelskjerm, rør, skinner, nøytralleider) til et mer fjerntliggende sted og overflatepotensialet ( $U_0$ ) på dette stedet. Det samme gjelder for ledere som fører et lavt potensial inn til jordingsanlegget fra et sted utenfor jordingsanlegget.

**Indusert spenning**

Spenning som overføres ved elektromagnetiske felt til et ledningsanlegg (eller ledere) pga. strømmer og spenninger på et annet anlegg (f.eks. kraftledning).

**Induktivt overført spenning/langsindusert spenning**

Spenning overført til langsretning i et ledningsanlegg pga. strøm i et annet anlegg (kraftledning) - vanligvis pga. strøm i jorda langs en kraftledning.

**Kapazitivt overført spenning**

Spenning mellom ledningsanlegg og jord som følge av spenning på et annet nærliggende anlegg (kraftledning).

**2.7 FEILSTRØMBEGREP****Jordfeil (enpolet) (earth fault, single pole)**

En utilsiktet ledende forbindelse eller overslag mellom en faseleder og jord eller jordet anleggsdel.

**Dobbel jordfeil (double earth fault)**

Ledende forbindelse til jord på to faseledere på to forskjellige steder.

**Topolet jordfeil**

Jordfeil på to faser på samme sted eller dobbel jordfeil.



**Multippel jordfeil**

Jordfeil på mer enn to steder.

**Kortslutning**

Feil med direkte kontakt eller lysbue mellom forskjellige faser.

**2.8 JORDSLUTNINGSSTRØM****Jordslutningsstrøm/jordfeilstrøm (earth fault current)**

Den strøm ( $I_F$ ) som flyter gjennom feilstedet ved feil på bare en faseleder, dvs. 3 ganger nullsystemstrøm i feilstedet;  $3I_0$ .

**Nullsystemstrøm (zero sequence current)**

Er lik 1/3 jordfeilstrøm (også ved feil på flere faser på samme sted).

**Strøm til jord (current to earth)**

Den strøm ( $r \cdot I_F$ ) som flyter til jord via alle jordelektroder inklusive jordliner/toppliner og kabelskjermer og dermed medfører jordpotensial  $U_J = r \cdot I_F \cdot Z_J$ .

**Reduksjonsfaktor, r, (reduction factor)**

Forholdet mellom strøm til jord og jordfeilstrøm. Forholdet er mindre eller lik 1 pga. kompenserende indusert strøm i toppliner, jordliner eller kabelskjermer.

**Kapasitiv feilstrøm**

Strøm i feilstedet ved enpolet jordfeil i nett med isolert nøytralpunkt.

**Reststrøm**

Strøm i feilstedet ved enpolet jordfeil i nett med spolejordet/resonansjordet nøytralpunkt.

**Jordfeilstrøm/jordslutningsstrøm i feilstedet ved enpolet jordslutning er :**

- ved isolert nøytralpunkt lik nettets kapasitive feilstrøm
- ved resonansjordet nøytralpunkt (spole) lik reststrøm
- i stasjoner med spole går spolestrøm til jord ved feil i nettet. Ved feil i stasjoner med spole flyter vektoriell differanse mellom reststrøm og spolestrøm til jord.
- ved lavohmig jordet nøytralpunkt er enpolet jordfeilstrøm av samme størrelsesorden som kortslutningsstrømmen

**Indusert strøm**

Strøm som oppstår i en sluttet krets, f.eks. mellom leder og jord, pga. indusert spenning.

## **2.9        VARIGHET AV FEILSTRØM**

### **Feiltid**

Total tid for strømbrytning (relé og bryter/sikring).



### **3 JORDING I TRANSFORMATORSTASJONER MED HØYESTE DRIFTSSPENNING 36-420 kV**

Jording i gassisolerte anlegg (SF<sub>6</sub>) behandles særskilt i kapittel 5.

Som grunnlag for planlegging og dimensjonering av jordingsanlegg er informasjon om følgende forhold nødvendig:

- Beliggenhet av anlegget og terrengforhold/grunnforhold, helst supplert med målinger av jordresistivitet.
- Anleggets utforming og plassering av anleggsdeler.
- Aktuell framtidig jordfeilstrøm i anlegget.
- Eksterne tilkoplinger til jordingsanlegget, f.eks. jordliner på kraftledninger og langs jordkabler, planlagte telelinjer, rørledninger o.l.
- Nærliggende jordelektroder for andre elektriske anlegg, f.eks. Telenor, kabel TV, andre everk eller kunder.

#### **3.1 VIKTIGE FORSKRIFTSKRAV OG PÅGÅENDE NORMARBEID**

##### **3.1.1 Forskriftskrav**

Generelle krav i forbindelse med systemjording i høyspenningsanlegg er gitt i [5], §98.

Direkte jordet nett må kun benyttes dersom det finnes et relésystem som ved jordslutning hurtig kopler ut den delen av anlegget der jordfeilen befinner seg.

Ved overgang fra spolejordet eller isolert nett til direkte jordet nett skal dette på forhånd tas opp med Telenor og andre eiere av svakstrømsanlegg som vil kunne bli påvirket av endringen.

Systemjording skal tilknyttes beskyttelsesjording (hovedjording).

Krav til jordingsanleggets overgangsmotstand mot sann (fjern) jord er gitt i FEA-F §104, [5]. Jordingen skal være utført slik at spenningen mot jord blir så lav som mulig og ved enpolt jordslutning ikke overstiger 125 V. På mindre beferdede steder tillates 250 V. Der disse spenningsgrensene ikke kan overholdes må anlegget ha utrustning for hurtig automatisk utkopling av vedkommende anleggsdel. Utkoplingen skal foregå så hurtig at jordslutningen ikke medfører unødig fare (bilag 3). Se forøvrig kap. 3.1.2.

I hht. [5] bilag 3, ansees en berøringsspenning på 250 V og en skrittspenning på 500 V som rimelige verdier ved automatisk utkopling etter høyst 0,5 s. Hvis utkoplingstiden er over 0,5 s er grensen for berøringsspenning 125 V.

Følgende generelle bestemmelser er gitt for utførelse av jordingsanlegg: FEA-F §103:  
 Jordelektroder skal utføres av kobber eller kobberkledd stål.

Elektrodeledninger (forbindelser til elektrodene) skal være så kort som mulig og være av kobber med minst 25 mm<sup>2</sup> eller kobberkledd stål/varmgalvanisert stål med ekvivalent kobbertverrsnitt. Plater og bånd skal ha en tykkelse på minst 1 mm.

Jordelektroder skal ved hjelp av kontaktklemme eller annen løsbar kontaktforbindelse, anbragt i passende høyde, kunne frakoples for målinger.

Jordledninger skal være dimensjonert slik at jordslutningsstrømmene ikke kan forårsake skadelig oppvarming av ledningene eller omgivelsene. Minstetverrsnitt og største tillatte strømtetthet i ett sekund er vist i følgende tabeller, [5]. (Halvert strømtetthet gir samme temperaturstigning på 4 sek.,  $I^2 \cdot t = \text{konstant}$ ). I brennbare omgivelser skal ledertemperaturen bli høyst 200°C.

Tabell 3.1 Minste tillatte tverrsnitt for jordledninger. Ledninger av stål og aluminium tillates ikke forlagt i jord pga. korrosjon (FEA-F).

Jordledninger	Minste tillatte tverrsnitt		
	Kobber [mm <sup>2</sup> ]	Al [mm <sup>2</sup> ]	Stål [mm <sup>2</sup> ]
I stasjoner	16	25	35
På master	16	25	25
Elektrodeledninger	25	35 <sup>x</sup>	35 <sup>x</sup>

<sup>x</sup> Tillates ikke lagt i jord.

Tyske normer [28] stiller strengere krav til minste tverrsnitt for elektroder, 35 mm<sup>2</sup> kobber eller 50-100 mm<sup>2</sup> korrosjonsbeskyttet stål og 2 hhv. 3 mm tykkelse for bånd av aluminium og stål.

Tabell 3.2 Største tillatte strømtetthet ved utkoblingstid høyst 1 sekund og høyeste ledertemperatur (FEA-F).

Jordledninger	Største tillatte strømtetthet ved utkoblingstid høyst 1 sekund og høyeste ledertemperatur	
Materiale	200 °C [A/mm <sup>2</sup> ]	300 °C [A/mm <sup>2</sup> ]
Kobber	160	190
Aluminium	100	120
Stål	60	70

Denne tabellen er i overensstemmelse med tysk norm for kobber og aluminium.

Ved dimensjonering av driftsmessige jordledninger skal det ikke tas hensyn til eventuelle parallelle strømveier.

Jordelektroden skal så vidt mulig plasseres i så stor dybde at det oppnås tilstrekkelig lav overgangsresistans selv etter langvarige frostperioder.

Jordledninger skal så vidt mulig plasseres og beskyttes slik at de ikke er utsatt for mekanisk skade eller korrosjon.

Jordingsanlegg skal være oversiktlige og merket i nødvendig utstrekning.

Det må i nødvendig utstrekning monteres jordsluttere eventuelt fastpunkt for tilkopling av transportabelt jordingsapparat.

Brytere, skillebrytere eller sikringer må ikke innskytes i jordledninger.

I utendørs anlegg kan større sammenhengende stålkonstruksjoner, stålmaster o.l. inngå som deler av jordledninger. Andre faste ledende konstruksjonsdeler som stativer, bærejern o.l. kan inngå som deler av beskyttende jordledninger for apparater o.l. som er plassert på disse. Det forutsettes varige og tilfredsstillende kontaktforbindelser som f.eks. varmforsinkede stålkonstruksjoner. Slik utnyttelse av stålkonstruksjoner skal fremgå av dokumentasjon for jordingsanlegget.

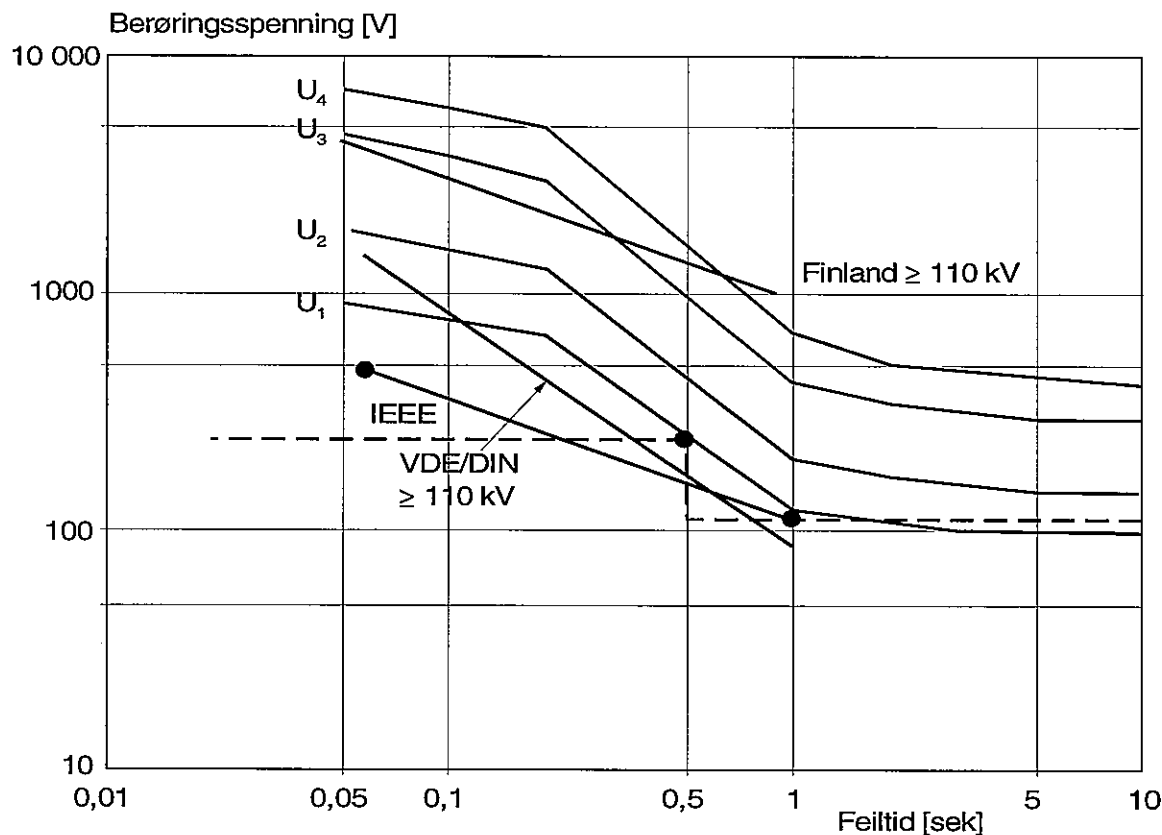
Koplingspunkter i jordingsanlegg skal være så få som mulig og utføres slik at de gir pålitelig mekanisk og god ledende forbindelse. Koplingspunkter i jorden skal om nødvendig beskyttes mot korrosjon.

Effektive tiltak for å begrense enpolet jordfeilstrom i luftledningsnett ved dårlige jordingsforhold er bruk av slukkespole (Petersenspole). Alternativt kan rene jordkabelradialer forsynes fra en annen transformator på distribusjonsnivå, dvs. å fjerne mest mulig kabel fra luftledningsnett.

### 3.1.2 Normer i andre land og normarbeid

Norske forskrifter har ikke gitt detaljerte krav til maksimum berøringsspenning som funksjon av feiltid. Utenlandske normer har tildels angitt tillatt berøringsspenning som funksjon av feiltid ved matematiske funksjoner, f.eks. VDE, IEEE og finske sikkerhetsforskrifter. CENELEC TC11 WG02 har i den senere tid utarbeidet et forslag til grenser for berøringsspenninger ved kraftledninger som tar hensyn til feiltid og mulig overgangsmotstand mellom føtter og jord (strømbegrensning). Grensene er basert på 5% sannsynlighet for hjerteflimmer etter IEC publ. 479. Alle disse tidsavhengige grensene for kraftledninger er sammenstilt som kurver i figur 3.1. De tre høyeste CENELEC-kurvene er basert på overgangsmotstander mellom føtter og jord i tillegg til kroppsmotstanden på 1000  $\Omega$ .

Det fremgår at CENELEC-forslaget ikke er fullt så strengt som VDE og IEEE, men forskjellen er liten. De finske grensene er høyere fordi de har vært basert på sannsynlighetsberegninger og bl.a. overgangsmotstand i tillegg til kroppsmotstand. De høyeste kurvene etter CENELEC-forslaget ligger enda høyere for korte feiltider. VDE og CENELEC TC11 WG02 stiller ingen krav til begrensning av berøringsspenninger på kraftledninger med hurtig automatisk utkopling utenfor beferdet område når mastejordingene har en standard akseptert utførelse. Krav etter norske forskrifter som gjelder både stasjoner og kraftledninger er stiplet. Disse krav gjelder egentlig jordpotensial som er teoretisk den største mulige berøringspenning. Grensene aksepteres som berøringsspenning når denne kan dokumenteres. Berøringsspenningen vil normalt være betydelig lavere enn jordpotensialet. Det kan være mulig å høyne grensene for korte feiltider og å stille noe mindre krav til lite beferdede områder ved kraftledninger.



Figur 3.1. Tillatte berøringsspenninger på kraftledningsmaster som funksjon av feiltid.

$U_1$  : CENELEC uten overgangsmotstand.

$U_2$ ,  $U_3$  og  $U_4$  med overgangsmotstand hhv. 1, 4 og 7 k $\Omega$ . Stiplet: Norske krav.

Kurvene  $U_1$ - $U_4$  er forslag utarbeidet av CENELEC TC11 WG02. De øvrige er normer/ sikkerhetsforskrifter angitt på figuren.

### 3.2 JORDELEKTRODER OG HOVEDJORDLEDNINGER

Som hovedjordledninger regnes ledere som forbinder forskjellige jordelektroder og bygninger i større anlegg. Slike ledere legges ofte langs kabelføringer og kan være isolerte eller uisolerte. De gir forbindelse til forskjellige jordskinner som danner utgangspunkt for jording av apparater av ulike typer (figur 3.2). Hovedjordledningene deltar i fordeling av jordfeilstrom og kan føre en betydelig del av slik strøm hvis det er få ledninger og/eller dårlige jordelektroder nær feilstedet og bedre elektroder et stykke unna. Eksempel på gode elektroder er jordliner langs kraftledninger eller jordkabler og elektroder i sjøen. Et jordnett virker både som jordelektrode og hovedjordledere. Det gjør også nedgravde, uisolerte hovedjordledninger.



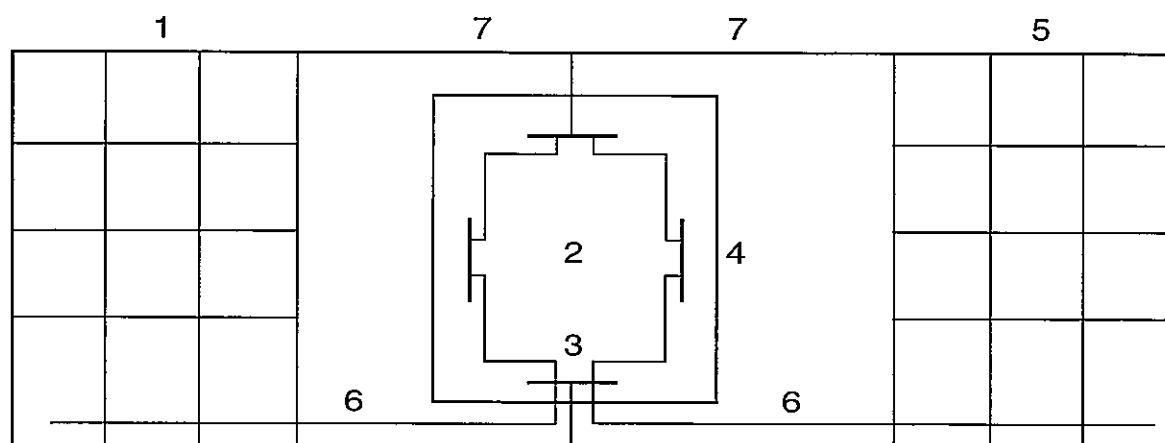
Både jordelektroder og hovedjordledninger regnes som hovedjording og må dimensjoneres til å tåle høyeste aktuelle feilstrøm til jord med god margin for fremtidig økning i anleggets levetid. Stasjonsanlegg bør dimensjoneres for topolet kortslutning. Dette betyr likevel ikke at hver enkelt jordleder må tåle hele jordfeilstrømmen når der er forgreninger som hindrer dette. Ofte vil det derfor være hensynet til mekanisk eller kjemisk påvirkning som gir grunnlaget for valg av ledertverrsnitt i jordelektroden. Det bør tas hensyn til at visuell inspeksjon og vedlikehold kan være vanskelig.

For elektrodeanlegget anbefales minimum  $50 \text{ mm}^2$  kobber i frostfri dybde og  $70 \text{ mm}^2$  der det kan oppstå telehiv. For store friluftsanlegg anvendes normalt regulære maskenett i dybde 0,5 - 1 m som potensialutjevning og jordelektrode. Hensiktsmessig maskevidde er gitt av koplingsfeltens bredde. I lengderetningen bør maskevidden være litt mindre for 300-420 kV anlegg (f.eks. ca 10 m). Dessuten må maskevidden reduseres omkring spenningstransformatorer med kapasitiv deler, lynavledere, koplingstransformatorer for bærefrekvens-samband på høyspenningslinjer, ved krafttransformatorer og eventuelt ved master som bærer jordliner eller på annen måte er særlig utsatt for lynnedslag. Maskevidden bør da være av størrelsesorden  $5 \times 5 \text{ m}$  ( $25 \text{ m}^2$ ). Det er også en fordel med noe redusert maskestørrelse ved randen av jordnettet både fordi det reduserer berøringsspenninger og fordi randområdet er den mest effektive del av jordnettet til å gi lav jordmotstand.

Alle muligheter til å få elektroder i frostfri dybde må utnyttes, f.eks. fundamentjord, jordspyd eller horisontale kobberledere under eventuell fylling.

Bygninger skal være omgitt av en ringelektrode, eventuelt utført som fundamentjording som forbindes til hovedjord.

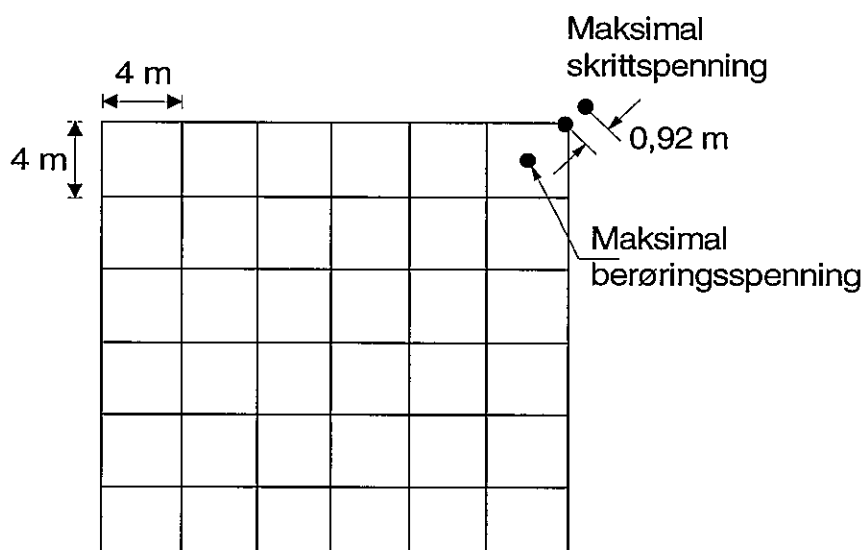
Dersom flere anlegg ligger nært hverandre i samme stasjon, f.eks. kraftstasjon i fjell og friluftkoblingsanlegg eller transformatorstasjon med flere forskjellige høyspenningsnivå skal alle anleggene knyttes sammen direkte med minst to jordledere som skal tåle den maksimale strøm som kan flyte gjennom dem. Avstanden mellom disse lederne bør være så stor som praktisk mulig. I tillegg til disse jordlederne skal det være jordledere med minst  $50 \text{ mm}^2$  kobber langs kabelføringer til eventuelt felles kontrollrom. Men disse jordlederne skal tilknyttes hovedjord ved inngangen til kontrollrommet og ikke føres inn gjennom rommet.



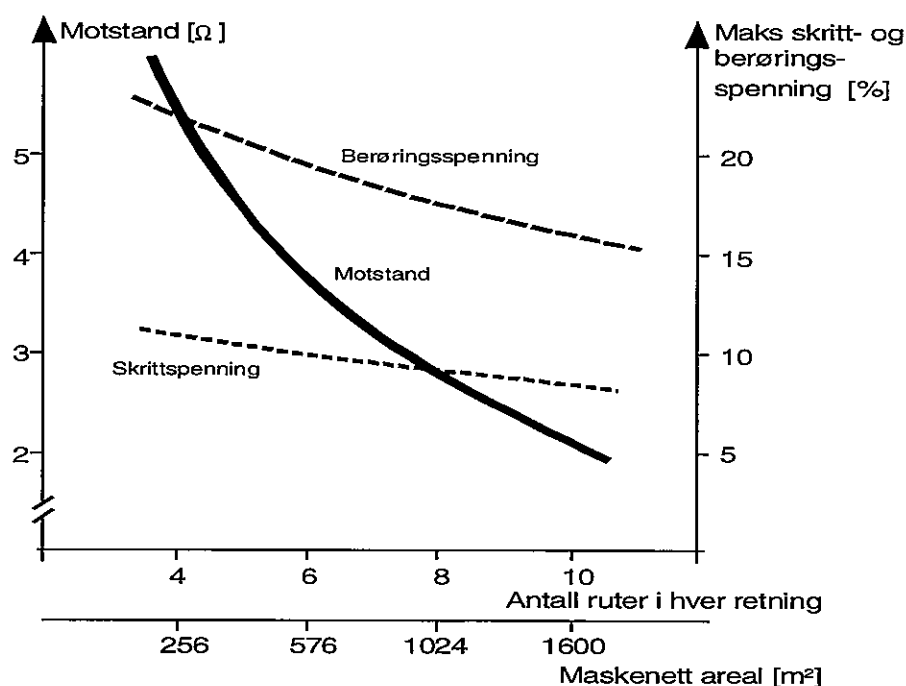
Figur 3.2 Prinsippskisse av jordelektroder og hovedjordledninger.

1. Jordnett i utendørs kopleingsanlegg
2. Kontrollromsbygning
3. Hovedjordskinne i bygning tilknyttet interne hovedjordledninger og samleskinner.
4. Jordingsring rundt bygning.
5. Kopleingsanlegg på annet spenningsnivå eller kraftstasjon.
6. Hovedjordledning langs kontrollkabler.
7. Hovedjordledere

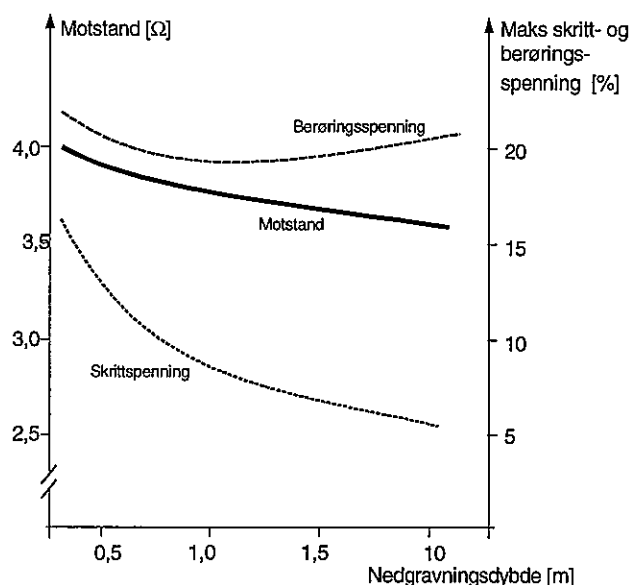
Jordmotstand, skritt- og berøringsspenninger kan beregnes for regulære maskenet (fig. 3.3) ved homogen jord med kjent resistivitet. Eksempel på beregnede kurver er vist i fig. 3.4 - 3.6, [10]. Målinger av jordresistivitet over et anleggsområde kan gi grunnlag for å estimere midlere resistivitet slik at fig. 3.4 - 3.6 kan benyttes til estimering av jordmotstand, skritt- og berøringsspenninger. Men for å få et rimelig estimat må det tas hensyn til jordlinjer som skal gå ut på kraftledninger eller i kabelgrøfter. Skrittspenning er normalt av liten betydning da den er mindre enn berøringsspenningen samtidig som høyere verdi for skrittspenning kan aksepteres enn for berøringsspenning.



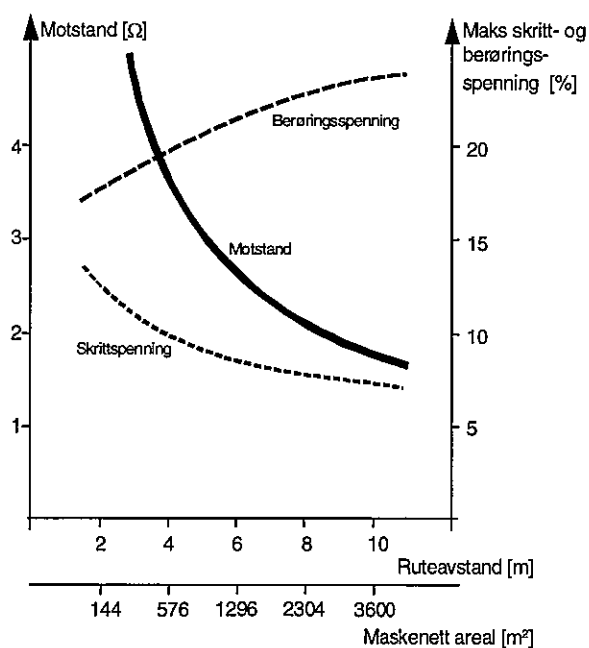
Figur 3.3 Oppbygging av jordmaskenett basert på kvadratiske ruter med 4 m sidekant. Lokalisering av punktene for maksimal skritt- og berøringspenning er vist. Tilsvarende maskenettet danner utgangspunkt for beregningsresultatene i figur 3.4, 3.5 og 3.6.



Figur 3.4 Beregnede verdier av jordmotstand, berøringspenning og skrittspenning for maskenett som funksjon av antall ruter à 4x4 m; dvs. nettets størrelse. (Dybde  $d = 0,76$  m, jordresistivitet  $\rho = 200 \Omega\text{m}$ . Motstanden er proporsjonal med  $\rho$ .)

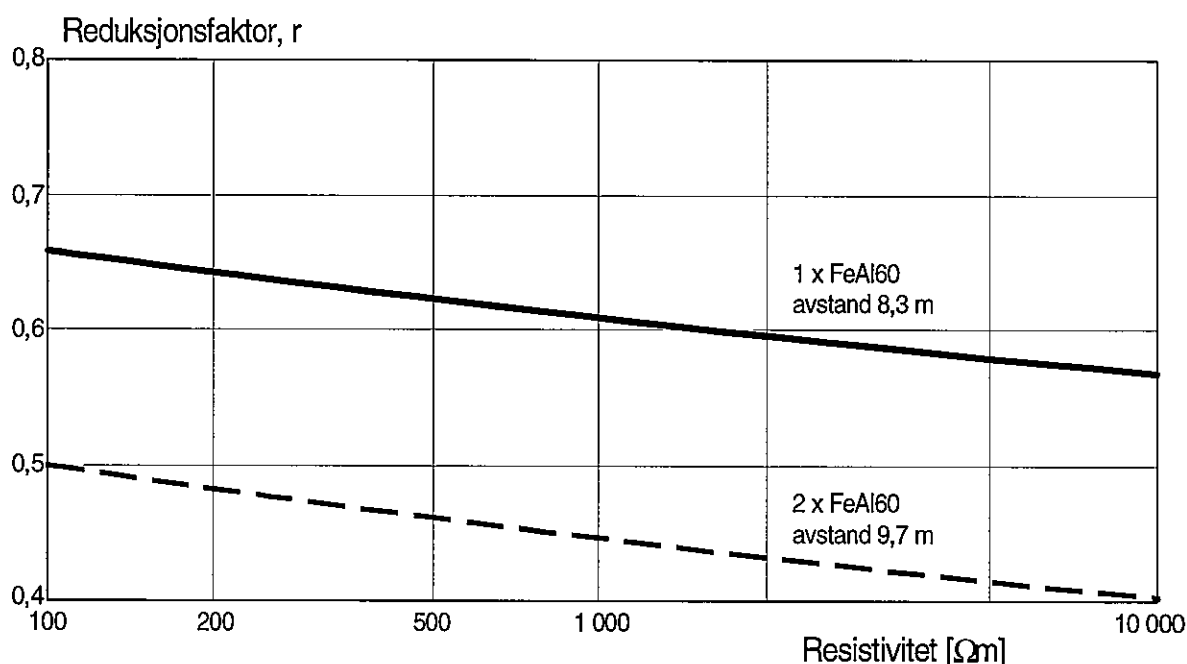


Figur 3.5 Beregnede verdier av jordmotstand, berøringspenning og skrittspenning for maskenett i fig. 3.3 som funksjon av nedgravingsdybde. 4 m ruteavstand, 6 ruter i hver retning,  $\rho = 200 \Omega\text{m}$ . Optimal dybde mht. berøringspenninger er her ca 1 m.



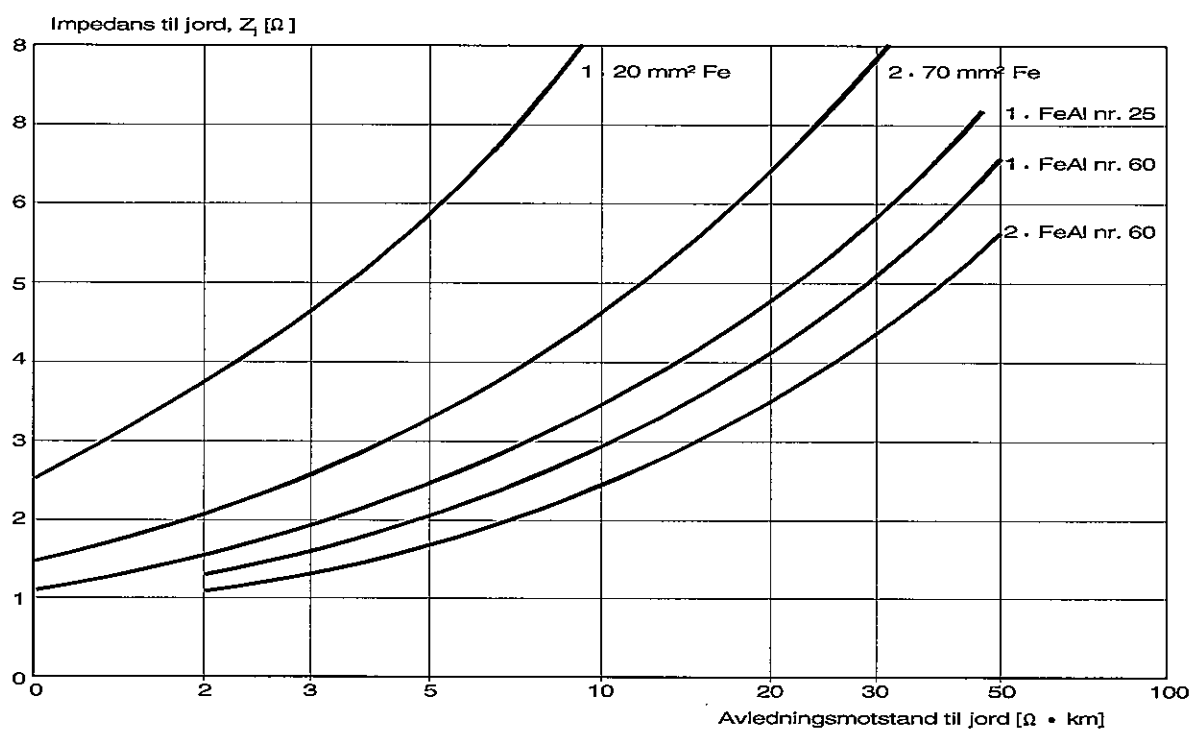
Figur 3.6 Beregnede verdier av jordmotstand, berøringspenning og skrittspenning for maskenett med 6 ruter i hver retning (fig. 3.3) som funksjon av maskestørrelse (nettstørrelse),  $d$  og  $\rho$  som fig. 3.4. Relativ berøringspenning øker noe med maskestørrelsen, men avtar i absoluttverdi pga. lavere jordmotstand hvis ikke impedansen til jord via jordliner på kraftledninger er vesentlig lavere enn jordnettets jordmotstand.

Hvis jordlinene er gjennomgående (til nabostasjon) returnerer en betydelig del av eventuell feilstrøm på jordlinene uten å gå til jord. Reduksjonsfaktoren,  $r$ , angir hvor stor del av feilstrømmen som går til jord fra hver kraftledning/kabel (fig. 3.7), [10]. For ståltoppline 2x50 til 2x85 mm<sup>2</sup> er reduksjonsfaktoren ca 0,9 - 0,75 ved 50 Hz. For kabelskjermer og jordledninger i kabelgrøfter er reduksjonsfaktoren av størrelsesorden 0,2 - 0,3.

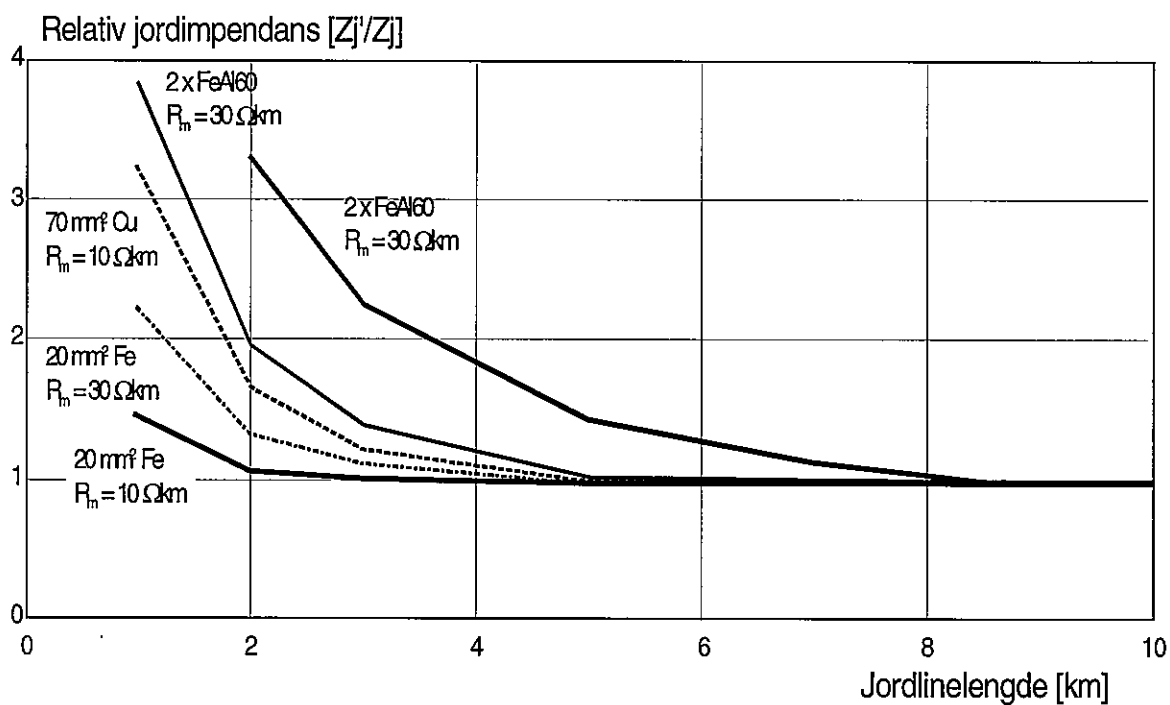


Figur 3.7. Reduksjonsfaktor (50 Hz) for toppliner på 300-420 kV ledninger. (Faser i horisontalt arrangement).

Jordingsimpedansen for jordliner er gitt av jordlinetype og jordmotstander på mastene (fig. 3.8 og 3.9), [10]. Da jordlineimpedansen pr spenn normalt er mye mindre enn jordmotstanden pr mast kan det regnes med at avledningsmotstand til jord er jevnt fordelt pr km ( $\Omega$ km). Midlere jordmotstand pr mast må derfor anslås på grunnlag av målinger og eventuelt omregnes til  $\Omega$ km. Når resulterende impedans av alle jordliner i parallellkopling er funnet kan fordelingen av feilstrøm mellom jordliner og jordnett finnes; dvs. finne den strømmen som virkelig flyter til jord i det lokale jordingsanlegget.



Figur 3.8 Impedans til jord (50 Hz) på gjennomgående toppliner/jordlinjer sett fra en stasjon.



Figur 3.9 Relativ impedans til jord på kortere toppliner/jordlinjer sett fra en stasjon.  $Z_j$  er jordmotstand for uendelig lang jordline, ref. fig. 3.8.  $R_m$  er avledningsmotstand.

### 3.3 JORDING AV HØYSPENNINGSANLEGG, STATIVER O.L.

#### 3.3.1 Forskriftsmessige krav

I FEA-F §100, [5], angis at metalleder skal jordes når de er anbragt i nærheten av spenningsførende deler eller kan komme i berøring med slike. Konstruksjonsdeler av metall ved maskiner, transformatorer, brytere og andre apparater skal jordes såfremt de ikke er montert på isolerende underlag og beskyttet mot berøring. Likeledes skal lavspenningsviklinger på måletransformatorer, betjeningsanordning på brytere og reguleringsapparater, kabelarmaturdeler, metallrør ved rørinstallasjoner, apparatstativer m.v. jordes. Alle forbindelser skal være dimensjonert for maksimum feilstrøm i anlegget. Gjennomgående jordledninger på kraftledninger skal tilknyttes jordingsanlegget i de tilsluttede stasjonene (§101).

Det anbefales å jorde ledende rørinstallasjoner, gelender o.l. i hver etasje og ved inntak i bygninger.

#### 3.3.2 Høyspenningskabler

I FEA-F §102 angis: Kabelskjerner og -armeringer av ledende materiale samt ledende beskyttelsesrør for kabler uten metallisk skjerm skal vanligvis jordes i begge ender. Der det ved overgang til luftledning finnes gjennomgående jordledning skal det etableres forbindelse til denne.

I muffer skal alle metalliske kabelskjerner og -armeringer forbindes innbyrdes og i ledende muffer dessuten med selve muffen som da kan være et ledd i de innbyrdes forbindelsene. Skjerm/armering på enleder kabler tillates jordet bare i den ene enden dersom dette anses nødvendig mht. reduksjon av tapene eller eventuelt andre årsaker. Når skjerm/armering er jordet bare i den ene enden skal dette opplyses med skilt i den andre enden som skal være avskjernet mot berøring.

#### Kommentarer: [11]

Kabelskjermen **bør** betraktes som en del av kabelen, nødvendig for kabelens funksjon. Det **bør** også legges egen jordleder i kabeltraséen.

Kabelskjermen **bør** dimensjoneres for opptredende kortslutningsstrømmer. Ved jordfeil på kabelen vil feilstrømmen følge kabelskjermen til nærmeste jordingspunkter. Overoppheting av skjermtråder kan medføre varig svekkelse/ødeleggelse av isolasjonen.

Skjerm på tre-leder kabler skal jordes i begge ender.

Skjerm på enleder kabler kan jordes i ett punkt. Ved lange kabelanlegg kan skjermene krysskobles.

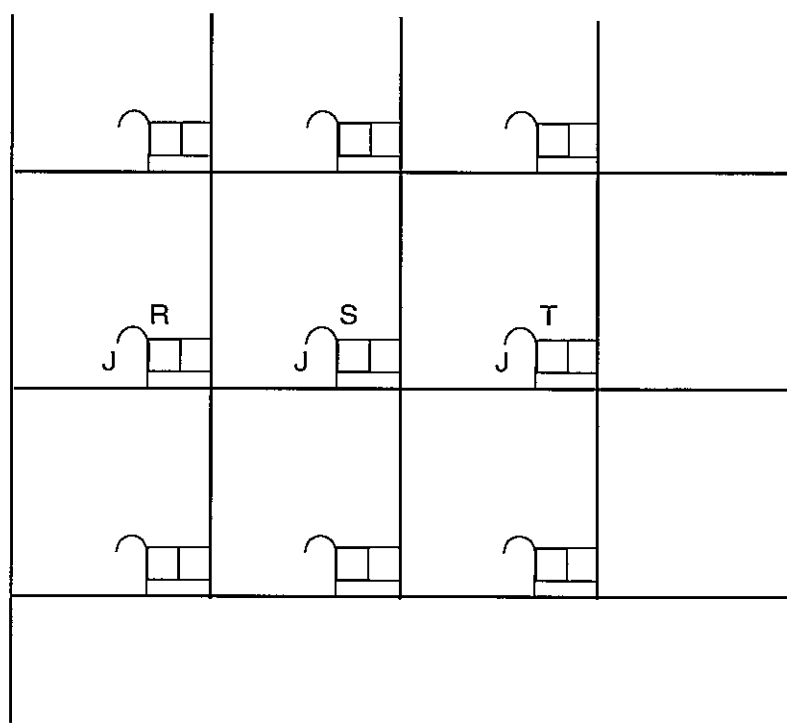
Dersom kabelskjermene er jordnet bare i ett punkt, i en ende eller midt på, **må** det legges jordleder (jordkontinuitetsleder) langs traseen. Det monteres overspenningsavledere mellom skjermene og jord i endepunkt der skjermene ikke er direktejordnet.

På kabelanlegg med krysskoblede skjerner skal det monteres overspenningsavledere mellom skjerm og jordleder på alle krysskoplingspunkter.

### 3.3.3 Måletransformatorer

Måletransformatorer bør ha spesielt korte jordforbindelser. Skjerm mellom høy- og lavspenningsvikling på spenningstransformatorer forbindes til hovedjord hvis mulig via transformatorkasse. Forbindelsen skal tåle full jordslutningsstrøm. Det samme gjelder jording av kjernekapsling på strømtransformatorer og forbindelsene til hovedjord. Høyspenningsviklingen på spenningstransformatorer jordes fortrinnsvis separat i transformatorkassen eller felles med skjerm ved tørrisolerte transformatorer. Eventuelle stålstativer for montasje har normalt lavere impedans enn jordledere og skal da utnyttes som en del av jordforbindelsen. Forbindelsen til hovedjord/jordnett skal bestå av minimum 2 stk kobberledere (3-4 stk ved 300-420 kV, fig. 3.10a og fig. 5.2). De skal være dimensjonert for full jordslutningsstrøm. Lavspenningsviklingen jordes så nært som mulig jordforbindelsene til målekabelens skjerner, f.eks. med korte forbindelser til eventuell transformatorkasse (se avsnitt 3.4 og 3.6.5).





R-S-T Fundamenter

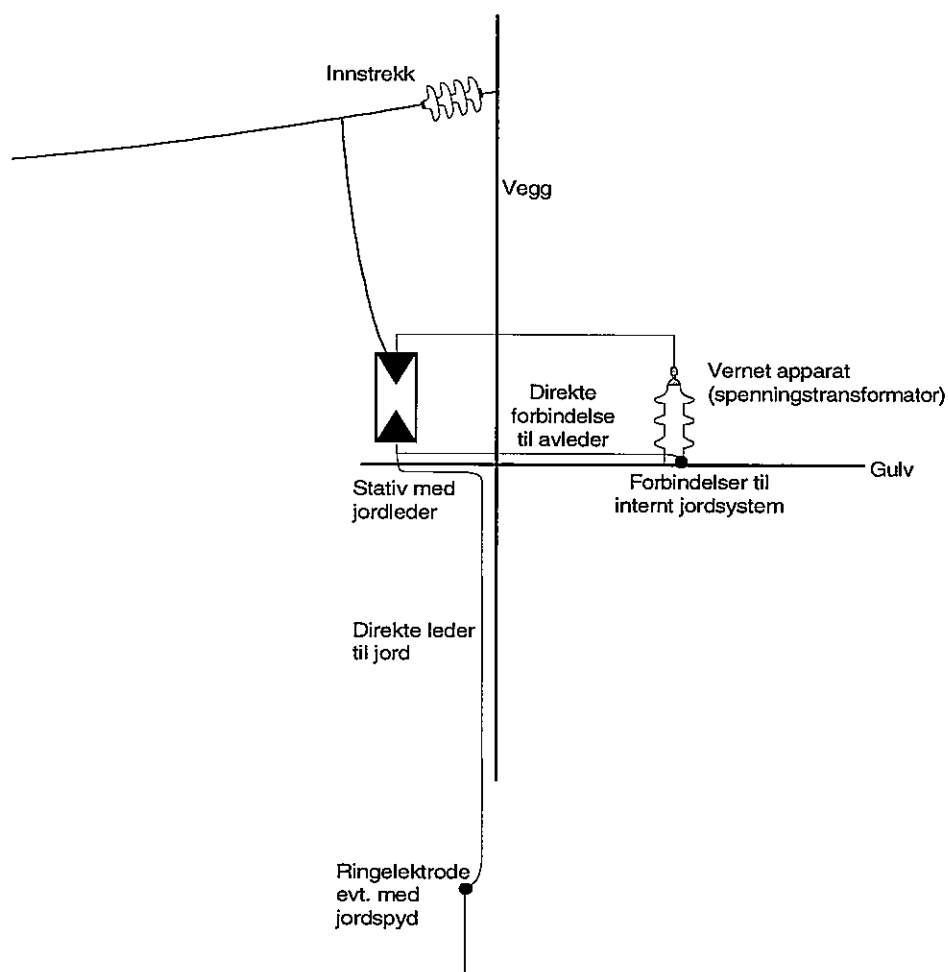
J Jordingsspyd eller tråd/wire omkring fundamenter

Figur 3.10a Forbindelser fra stativ for måletransformatorer og overspenningsavledere til jordnett.

### 3.3.4 Overspenningsavledere

Overspenningsavledere skal stort sett jordes på samme måte som måletransformatorer. Det gjelder både dimensjonering, antall forbindelser til hovedjord/jordnett og utnyttelse av ledende stativ. Det er spesielt viktig at avlederens jordterminal forbindes direkte både til jord-elektrode og til beskyttelsesobjektets jordterminal, f.eks. ved avledere montert utvendig på vegg av stasjonsbygning, figur 3.10b. Når avledere kan monteres på transformator eller stativ i friluftsanlegg skal kasse/stativ utnyttes som en del av jordforbindelsen i parallellkopling med separat jordleder.

Jordledere fra overspenningsavledere eller anleggsdeler som kan føre stor feilstrøm skal ikke føres langs signal-/kontrollkabler.



Figur 3.10b Forbindelser mellom overspenningsavleder, objekt som skal beskyttes og jordingsanlegg.

### 3.3.5 Metalliske gjerder, rørledninger, jordliner og sporanlegg

I FEA-F §100 angis at det ytre gjerdet rundt område for friluftstasjoner vanligvis ikke kreves jordnet. I bilag 3, pkt 2.3 angis at metalliske gjerder o.l. innenfor en stasjon skal jordes.

Ytre gjerder skal så vidt mulig plasseres så langt fra stasjonens høyspenningsanlegg og jordingsanlegg at grenser for berøringspenning på 125 V eller 250 V og skrittspenning 500 V ikke overstiges. Er dette ikke mulig, gjøres metalliske gjerder berørings sikre ved å legge jordleder/bånd utenfor gjerdet.

#### Kommentarer:

Metalliske gjerder rundt store reaktorer må seksjoneres og jordes radially for å unngå sirkulerende strømmer. Jordleder utenfor ytre gjerde er mest aktuelt hvis gjerdet er forbundet med stasjonsjord f.eks. pga. små avstander fra anlegg og stasjonsjording. Lederen bør da utføres

med minst 25 mm<sup>2</sup> kobberline nedgravd i ca 30 cm dybde, ca 1 m utenfor gjerdet, og med forbindelser til hver andre eller tredje gjerdestolpe. For å redusere berøringsspenning på porter i gjerdet skal portstolpene alltid forbindes med nedgravd jordleder uavhengig av jordleder rundt resten av gjerdet.

Andre metoder kan også anvendes for å redusere skritt- og berøringsspenninger, f.eks. asfaltering eller singel som underlag, isolerende belegg på gjerdet, eller seksjonering hvis gjerdet går gjennom soner med betydelig forskjellig potensial.

Det kan også være nødvendig å jorde metalliske gjerder på isolerende stolper, hustak o.l. utenfor stasjonsområdet hvis de er mindre enn 20-30 m fra ledninger med systemspenning 300-420 kV. Det stilles ingen krav til elektriske egenskaper til utstyr for slik jording. Men jordmotstanden bør være under 1000 Ω.

### **Rørledninger og sporanlegg**

I FEA-F bilag 3, pkt. 2.4 angis at for å hindre at slike anlegg fører farlige jordpotensial ut fra et stasjonsområde, kan det være nødvendig å skyte inn ett eller flere isolasjonsstykker.

#### **Kommentarer:**

For vannforsyning kan det være mest hensiktsmessig å benytte plastrør. Ved metallrør bør det settes inn isolerende rør fra randen av jordingsanlegget (gjerde eller jordnett) ut til minst 20 m avstand.

For eventuelle olje- og gassledninger kan spesielle tiltak være nødvendig, f.eks. overspenningsavledere parallelt med isolerende skjøter.

Ved jernbanespor som sjelden benyttes synes det mest praktisk å fjerne 10-20 m skinnegang utover fra randen av jordingsanlegget.

### **Jordliner på kraftledninger**

I FEA-F §101 angis at gjennomgående jordledninger på høyspenningsledninger skal tilknyttes stasjonsjord.

#### **Kommentarer:**

Jordledninger i kabelgrøfter tilknyttes også stasjonsjord.

For jordliner i luftledningsnett som forsyner fordelingstransformatorer (12-24 kV) bør det gis dispensasjon for isolering av jordline ved direkte jordede anlegg (over 100 kV) i tilfeller der jordpotensialet kan overstige 2-4 kV, og jordingsforholdene i fordelingsnettet er dårlige.

### 3.4 JORDING AV LAVSPENNINGSANLEGG

I FEA-F §100 angis at jording ikke kreves for anleggsdeler som er isolert fra underlaget og beskyttet mot tilfeldig berøring. Apparater og maskiner av kl. II (ekstraisolerte) skal ikke jordes.

Utsatte anleggsdeler skal jordes. Kablers ledende skjerm og armering skal jordes selv om kablen har ytre isolerende kappe. Jording er ikke nødvendig for anlegg med spenning høyst 50 V. Utsatte anleggsdeler som kan berøres samtidig med ledende bygningsstruktur eller annen utsatt anleggsdel/apparat skal også jordes i tørre rom med isolerende gulvdekke. For fast tilkoblede apparater kan utjevningsforbindelse uten jording anvendes.

I §55.4 angis at for et lavspenningsanlegg som forsynes fra en høyspenningsstasjon skal lavspenningsviklingens nøytralpunkt tilkoples overspenningsavleder hvis viklingen ikke er driftsmessig jordet. (Se forøvrig kap. 8.1.)

I §99 angis at det skal etableres et felles jordingsanlegg dersom ikke jordingsanleggene med sikkerhet kan holdes adskilt fra hverandre. Jordingsanlegget for lavspenning må da være dimensjonert for de strømmen som kan opptre i høyspenningsanlegget (må være begrenset til transformatoren).

Anvendes det adskilt jording (særlig aktuelt ved fordelingstransformator i høyspennings luftledningsnett) skal det være minst 20 m avstand mellom elektroledninger tilhørende høy- og lavspenningsanlegget i jord. Andre ledere i jord, rør etc., må ikke ligge i mellom og redusere effektiv avstand.

Nøytralledere i stasjoners lavspenningsanlegg skal opplegges isolert på isolatorer eller som isolert ledning/skinne.

Når en fordelingstransformator med adskilt jording av høy- og lavspenningsanlegg i en stasjon forsyner anlegg utenfor stasjonens jordingsanlegg med lavspenning skal det skje ved at systemjordingen utføres utenfor stasjonen. Her må jordleder/elektrodeledningen ha en driftsisolasjon som kan motstå en prøvespenning på minst 4 kV, 50 Hz (merkespenning 1kV).

#### **Kommentarer:**

Hvis forsyningen strekker seg over mange punkt langt utover i potensialområdet fra en større stasjon kan jordleder anta betydelige potensial i forhold til lokal jord i de forskjellige punkt. Driftsisolasjonen kan eventuelt ikke være tilstrekkelig, og det kan oppstå berøringsfare på utsatte anleggsdeler. Dette kan undersøkes ved målinger på ferdig anlegg, og faremomenter



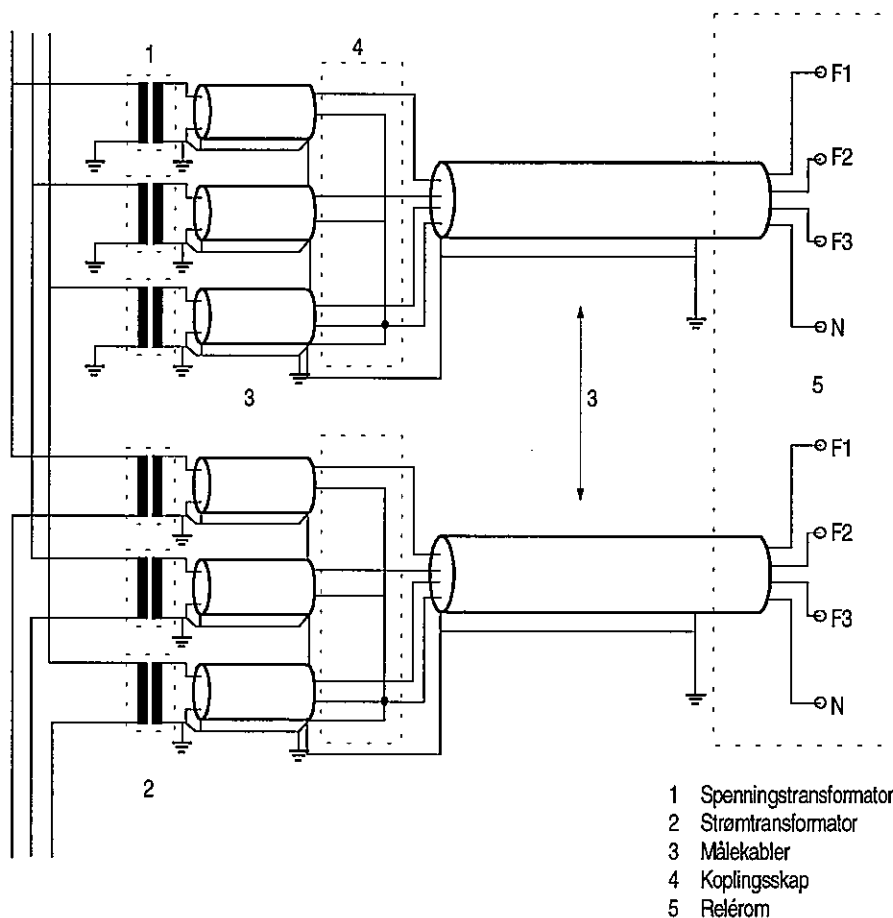
kan elimineres ved oppdeling (seksjonering) med skilletransformatorer. En forsyning med IT-system eller seksjonerte IT-system synes å være bedre enn TN- og TT-system, men vern mot atmosfærisk overspenning kan være nødvendig for IT-system.

### Måletransformatorer

I §103 angis at jording av sekundære strømkretser fra måletransformatorer med høyspenning på primærsiden skal utføres med et tverrsnitt på minst 4 mm<sup>2</sup> kobber og så nær måletransformatorene som mulig. Hvis det inngår flere måletransformatorer i samme strømkrets tillates det at kretsen jordforbindes bare i ett punkt.

### Kommentarer:

Jording i bare ett punkt benyttes både i Norge og andre land av hensyn til relevern og elektromagnetisk kompatibilitet (EMC). Men jording kan også utføres både på transformatorene og i et nærliggende samleskap pga. korte avstander, (fig. 3.11). Det beste er å jorde lavspenningsviklingene bare i kopleingsskap/fellespunkt for kabler til de enkelte fasene og ikke på hver enkelt transformator.

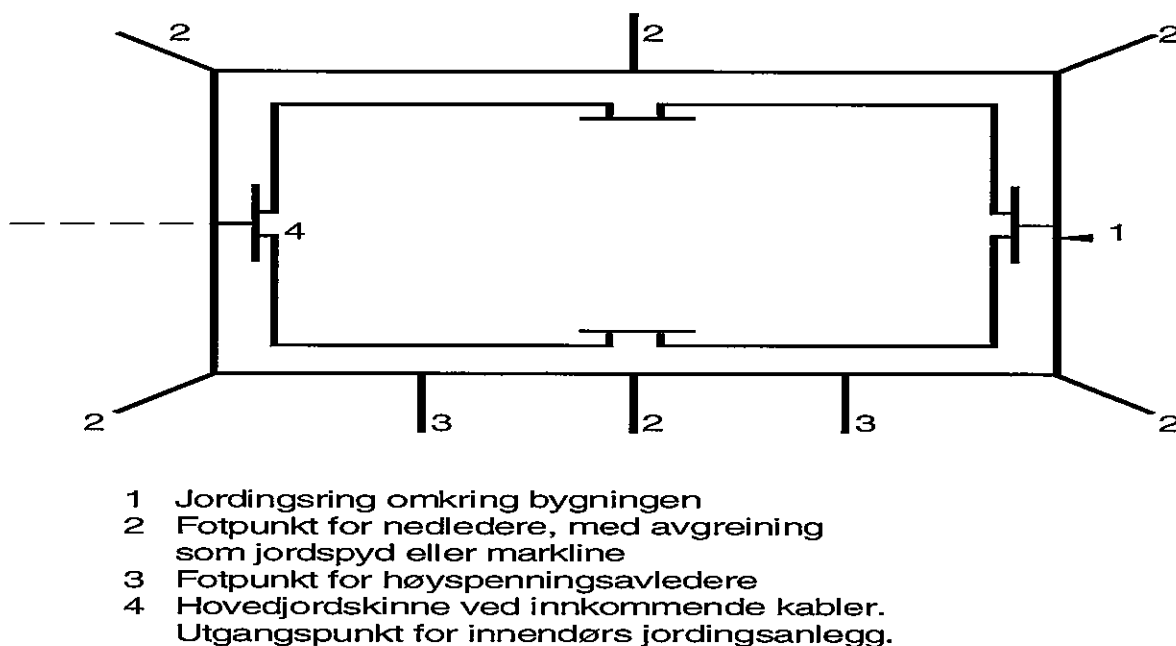


Figur 3.11 Jording av måletransformatorer og målekabler.

Det skal alltid brukes skjermede kabler til måletransformatorer og skjermene skal jordes både i endene og i koplingskapet. Jordforbindelsene skal være så korte som mulig, spesielt i koplingsboks på transformatorene. I koplingsskap skal jordforbindelsene føres til en solid jordingsskinne sentralt i skapet, og kablene skal arrangeres slik at skjermene kan festes direkte (f.eks. med klemmer) til skinnen. Dette gjøres fordi potensialutjevning mellom skjermene er viktigere enn potensial mot jord. Men det er også viktig å oppnå lavt jordpotensial. Koplingsskap i friluftsanlegg bør derfor forbindes til jordnettet på omtrent samme måte som måletransformatorene (minst 2 jordledere til hvert sitt punkt på jordnettet).

### 3.5 JORDING AV LYNAVLEDERANLEGG

Lynavlederanlegg på bygninger består av oppfangersystem, nedledere og jordinganlegg. Oppfangersystemet kan f.eks. bestå av vertikale staver på taket, horisontale tråder spent over taket eller takplate av metall [9, 12, 13]. Oppfangersystemet forbindes gjerne med en ring/skinne langs kanten av taket som forbindes direkte til nedledere og jordelektroden. Det er nødvendig med minimum 2-4 nedledere, f.eks. ved hjørnene av bygningen. Enda flere anbefales for svært store bygninger (ned til 10-15 m avstand) avhengig av verneklasse, [13]. For bygninger som inneholder svært viktig og følsomt utstyr kan oppfangersystemet bestå av maskenett på taket (15 x 15 m).



Figur 3.12 Jordinganlegg for lynavlederanlegg og overspenningsavledere ved bygning.

Som jordelektrode for lynstrømmer anbefales en ring av kobbertråd eller en wire rundt bygningen i frostfri dybde. Denne ringen tilkoples intern hovedjording for elektriske anlegg og ledende strukturer. Ved bygninger for elforsyningsanlegg anbefales også innvendig ring av hovedjordleder og minst to forbindelser til utvendig jordingsring. Den ytre jordingsringen kan eventuelt bestå av fundamentjording, dvs. stålarmering med flere forbindelser til den indre ringen. Ved stålarmerede bygninger bør hele armeringen være sammenhengende forbundet med fundamentjordingen. Bygningsarmeringen kan da supplere eller erstatte nedledersystemet.

For å begrense virkningen av eksterne lyn- eller jordfeilstrømmer på det indre jordingsanlegget er det gunstig å føre inn alle eksterne kabler på en side av bygningen og å jorde alle kabelskjerm og evt. overspenningsavledere til jordskinner som har god potensialutjevning, flere forbindelser til jord og nærliggende elektroder (f.eks. jordspyd). Dette er spesielt viktig ved kabler fra antennemaster og kraftledningsmaster.

Ved plassering av oppfangere og nedledere på bygning må en ta hensyn til eksisterende og planlagte kabelføringer mht. risiko for sideoverslag og induserte spenninger. Nedledere må føres kortest mulig vei uten skarpe bøyer. Det skal ikke monteres nedledere i vertikale sjakter inne i bygningen, og det må så vidt mulig unngås at lynstrøm tar veien gjennom kabelsjakter eller langs kabelføringer. Dette oppnås dels ved plassering og forgrening av oppfangersystem og dels ved avstand til objektet som skal vernes.

Det stilles både termiske og mekaniske krav til lynavleideranlegg [9, 13].

I et friluftskoplingsanlegg vil master og jordliner fungere som oppfangere, og mastene i anlegget blir nedledere.

Et maskenett som jordelektrode er ideelt som potensialutjevning. Det må være supplert med fundamentjording, jordspyd eller underliggende horisontale jordelektroder lokalt hvis jordnettet ikke ligger i frostfri dybde eller hvis det ligger i dårlig ledende påfylt masse. Slike ekstra elektroder er særlig viktig ved de master som rager høyest og ved innføringen av de kraftledningene som har høye eller høyt beliggende master.

Bygninger som ligger inne i friluftskoplingsanlegg blir normalt godt skjermet mot lyn-nedslag av master og anleggsdelar.

Utenlands blir bygningsarmering i større bygninger mer og mer utnyttet til elektromagnetisk skjerm. Dette forutsetter sveising av skjøter i armeringen og tilknytning til jordingsanlegget.



Armeringen velges gjerne som en viktig del av lynavledeanlegget og forbindes (sveises) til oppfangersystemet og jordelektroden.

### **3.6 JORDING AV KONTROLL- OG TELEANLEGG**

Kontrollanlegg omfatter både relévern, styring, regulering, melding/indikering, måling og databearbeiding dvs. apparater for disse funksjonene med tilhørende strømforsyning og kommunikasjonslinjer (svakstrømanlegg og lavspenningsanlegg).

#### **3.6.1 Generelt**

EMC-spørsmålet er særlig viktig fordi mye av svakstrømutstyret består av elektronikk med lavt signalnivå og tildels lavt isolasjonsnivå. Dette kan bety risiko for funksjonsforstyrrelser eller skade på apparater pga. elektromagnetiske felt fra høy- og lavspenningsanlegg eller atmosfæriske utladninger. Samtidig er kravet til funksjonssikkerhet på kontrollanlegget høyt. En omfattende EMC-Guide for elforsyningsanlegg er under utarbeidelse i CIGRE WG 3604.

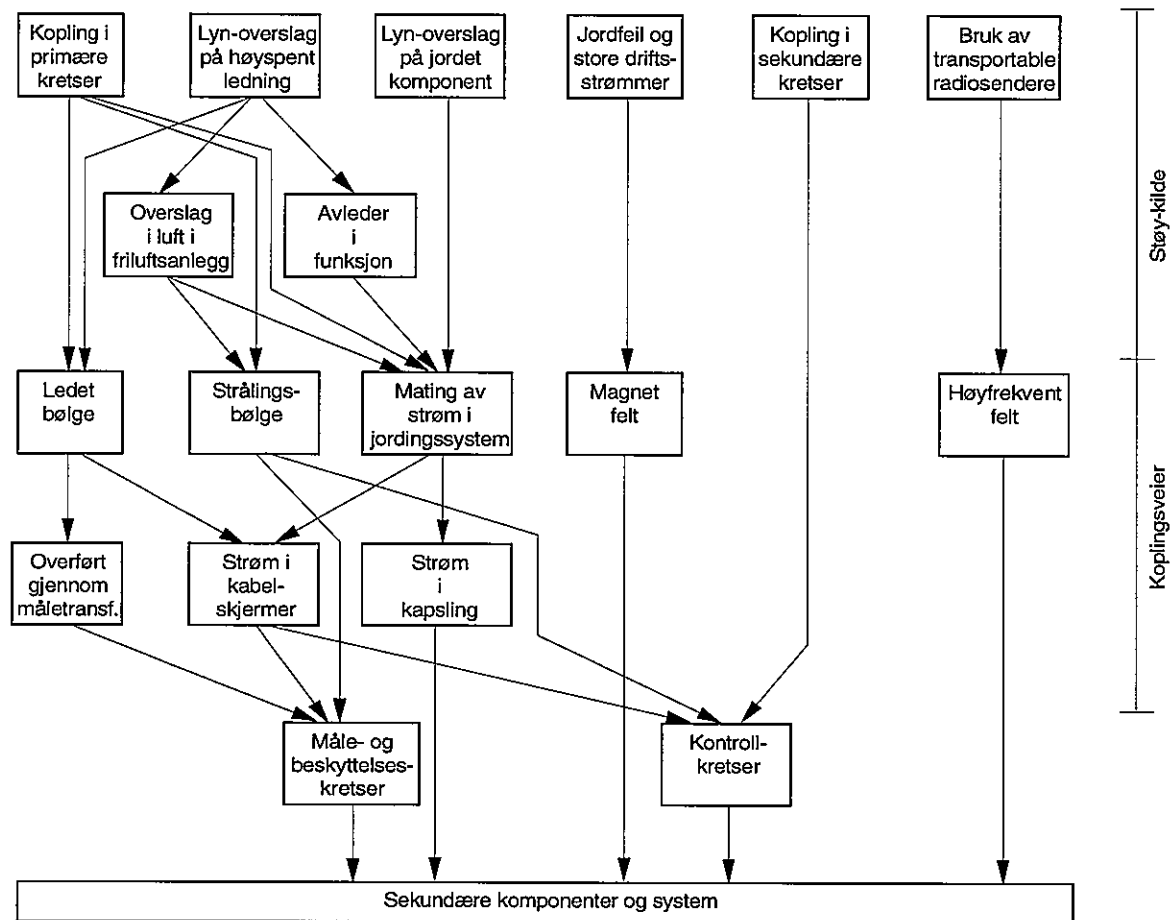
Ellers finnes det gode løsninger for jording i industrianlegg i [14, 15].

En oversikt over forskjellige kilder til forstyrrelser, kopplingsveier og utstyr/apparater som er utsatt for forstyrrelser er vist i fig. 3.13.

Kopling av høyspenningsbrytere medfører transiente feltstyrker. I anlegg med spenning over 100 kV regner en med felt typisk av størrelsesorden 1-10 kV/m og 1-5 A/m med spektrum fra noen få kHz opp til noen MHz bortsett fra gassisolerte anlegg ( $SF_6$ ) (se kap. 5.1). Varigheten av de enkelte transientene er fra ca 1-10  $\mu$ s, og de er ofte repeterende som f.eks. ved lysbue på skillebrytere.

Induserte spenninger av type fellesmode (mellom leder og jord) er typisk 3-4 kV i uskjermede kabler ved 145 kV anlegg og 6-8 kV i 420 kV-anlegg. Reduksjonsfaktor for kabelskjermer jordnet i begge ender er typisk ca 0,02 - 0,003 i frekvensområdet 0,2-2 MHz avhengig av skjermkvalitet, [16]. Strøm i kabelskjerm kan bli noen titalls ampere.

Induserte fellesmode spenninger i sekundærkrets til spenningstransformatorer med kapazitiv deler kan bli større enn 10 kV. Dessuten induseres noe seriemode spenning (mellom lederne) pga. spredkapasiteten mellom primær- og sekundærkrets og usymmetri.



Figur 3.13 Støykilder som påvirker kontrollsystem i høyspennings koplingsstasjoner.

Mye induisert støy skriver seg også fra lavspenningsanlegg, spesielt fra elektromekaniske reléer og kontaktorer. Disse må i stor grad støydempes, spesielt ved tilkopling til elektroniske kretser.

Bruk av VHF/UHF sambandsutstyr, 5W, under testing eller vedlikehold av anlegg gir feltstyrke på ca 10 V/m i 50 cm avstand og 30 V/m i 20 cm avstand.

De anleggsmessige tiltak ved kontrollanlegget som kan bidra til å sikre EMC er:  
 (Se forøvrig avsnitt 3.6.3 - 3.6.8.)

- System av hovedjordskinner i kontroll- og apparatrom og systematisk jording av anleggsdeler.
- Separering av kabeltyper (signalnivå og typer).

- Skjerming av apparater, skap og kabler.
- Jording av skjermer og kabelstiger/brett/rør.
- Bruk av skillekoplinger og filter i signalkretser.

Dessuten kan og bør det stilles krav til apparatenes immunitet mot forstyrrelser og det kan foretas demping av støy på sterkstrømsiden. IEC publ. 801, [17], gir normer for immunitets-testing av apparater. Den er under revisjon og vil komme i IEC 1000 serien og som Europa-norm. IEC 255, [18], er en norm spesielt for immunitetstesting av vernereleer.

### 3.6.2 Forskrifter for svakstrømsanlegg

I FEA-F §22.74 er svakstrømsanlegg definert som anlegg til overføring av signaler for lyd, bilde, tegn, skrift, figurer o.l. og anlegg som arbeider med så lav spenning at det ikke kan medføre fare for liv eller eiendom.

Svakstrømsanlegg som er tilknyttet sterkstrømsanlegg gjennom transformator med adskilte viklinger hører under forskrifter for svakstrømsanlegg. Svakstrømsanlegg som er tilknyttet sterkstrømsanlegg på annen måte hører under forskrifter for sterkstrømsanlegg. Radioanlegg omfattes ikke av tekniske forskrifter for elektriske anlegg bortsett fra deler som krysser eller kommer i farlig nærhet av sterkstrømsanlegg (§105).

I §108 er det angitt regler for beskyttelsesjording som er i samsvar med vanlige regler for lavspenningsanlegg (§100.2). Dessuten angis at apparater med ledende kapsling som tilknyttes svakstrømsanlegg med den ene pol eller nøytralleder driftsmessig jordet, skal ha jordingsklemme som skal forbindes til den pol eller ledning som er driftsmessig jordet. Jord-elektroder og jordledninger skal være dimensjonert med henblikk på de strømmen som kan forekomme, og det skal tas hensyn til eventuell mekanisk og kjemisk påkjenning.

Hvor det på rimelig måte lar seg gjennomføre, skal jordledninger for høyspenningsanlegg og svakstrømsanlegg være adskilt og føres til separate jordelektroder. Hvor det med rimelige midler ikke lar seg gjøre å holde slike jordledninger adskilt, må det brukes felles jordelektrode f.eks. ved anlegg i fjell. (I praksis gjelder felles jording for alle interne anlegg i høyspenningsstasjoner.)

### 3.6.3 Hovedjordskinner

I kontrollrom, relérom og telekommunikasjonsrom bør der være en ring av jordskinner på minst 50 mm<sup>2</sup> kobber rundt hele rommets omkrets. Skinnene forbindes til hovedjord og fundamentjord på minst to punkt. Dersom det er fare for store sirkulerende strømmen skal

disse punktene være nær hverandre og nær hovedinntak for kabler til rommet. Apparatstativ som monteres langs veggen jordes direkte til hovedjordskinne. Langs apparatstativ inne i rommet legges det jordskinne av samme dimensjon fra vegg til vegg med tilknytning til hovedringen i begge ender. Jordskinne legges normalt nær gulvhøyde med avgreninger oppover i de enkelte stativ. I telekommunikasjonsrom med tilknytning til antennemast kan det være hensiktsmessig å legge jordskinne i takhøyde for å fange opp eventuelle lynstrømmer ved hjelp av flere nedledere langs veggene (spesielt ved kabelinnføringer). Alle kabler bør da føres inn i skaprekkene ovenfra. Det vanlige er innføring nedenfra.

### **3.6.4 Kabelføringer**

Det skal i størst mulig grad unngås å føre kontrollkabler parallelt med eller nær samleskinne, eller nær overspenningsavledere eller spenningstransformator med kapasitiv deler.

Kabler med forskjellige spenningsnivå, signalnivå eller signaltyper skal i størst mulig grad grupperes og skilles fysisk fra hverandre; f.eks. langs hver sine broer, hyller, kanaler eller rør.

Avstanden mellom gruppene bør normalt være minst 0,2 m og fra 0,3 til 1 m for grupper med svært forskjellig spenningsnivå, f.eks. elektronikkabler ved lavspenningskabler eller lavspenningskabler og elektronikkabler ved høyspennings- og høystrømskabler. Størst avstand kreves mellom elektronikk- og høyspenningskabler. Det kan f.eks. oppnås ved å legge lavspenningskabler på mellomliggende kabelbro(er).

Kabler til samme (gruppe av) utstyr skal i størst mulig grad følge samme rute. Fram- og tilbakeleder for en krets skal ligge nærmest mulig hverandre i samme kabel.

Kablene bør føres på/i metalliske broer eller hyller, evt. i metalliske rør eller kanaler som gir en betydelig bedre skjermvirkning ved høye frekvenser (transienter) enn jordleder langs kablene under forutsetning av god langsgående kontakt i skjøtene.

### **3.6.5 Skjerming og jording**

Både elektronikkutstyr og annet elektrisk utstyr som monteres i relé-, kontroll- eller telerom skal være i metallskap/skjermede stativ. Rammeverk og plater skal ha innbyrdes god forbindelse, flatekontakt, og korte forbindelser til hovedjordskinne. God innbyrdes forbindelse mellom skap ved siden av hverandre kan også oppnås ved å bolte dem sammen. Det er helt nødvendig med rene og gode kontakter. Interne jordskinne i skap f.eks. for kabelskjermer, signalreferanse og PE bør boltes fast til rammeverk i flere punkt fordi rammeverk og plater gir den aller beste potensialutjevning og skjermvirkning.

Alle kabler til kontrollutstyr, måling, relévern og kommunikasjon skal være skjermet. Som hovedregel skal skjermene jordes i begge ender. Denne jordingen må utføres med korte forbindelser, fortrinnsvis med skjermklammer direkte til jordskinne i apparatskap. Ved eksterne kabler f.eks. fra friluft koplingsanlegg som eventuelt går gjennom koplingsskap ved inntak til kontrollrommet, bør skjermene også jordes der.

Ved kabler som fører analoge signal med nivå under 1 V og lav frekvens ( $< 1\text{ kHz}$ ) kan det være nødvendig å jorde skjermen bare i det sentrale endepunktet. Det må samtidig være det sted der signalkretsene i kabelen er jordet eller har størst kapasitet mot jord hvis de er ujordet. En kabel uten individuell skjerming av tråddar skal ikke ha forskjellige jordingspunkt for kretsene.

Med jordleder langs kabelen vil signalkabelskjermen føre så lite 50 Hz strøm at den normalt kan jordes i begge ender (ohmsk strømfordeling mellom skjerm og nærliggende jordleder ved 50 Hz). Ved koaksialkabelanlegg for distribuert kontroll (LAN) bør skjermen jordet i ett punkt sentralt og for høye frekvenser via kapasitanser på ca 10 nF ved feltstasjonene. Dette forutsetter 50 Hz potensialutjevning mellom alle stasjonene og galvanisk skille i feltstasjonene.

I enkelte tilfeller der det er nødvendig å jorde kabelskjermen bare i den ene enden, kan det være nødvendig å benytte dobbelt skjermet kabel med ytre skjerm jordet i begge ender for å redusere høyfrekvente felles mode spenninger som f.eks. atmosfæriske overspenninger.

Kabelbro/stige har betydelig skjermvirkning både for lave og høye frekvenser særlig langs sidevangene, [16, 19]. Kabler av forskjellig type kan derfor legges ved hver sin vange. Bro, hylle eller ledende kanal må ha god kontakt på langs gjennom skjøtene (flatekontakt/lasker/overlapp) og skruforbindelser eller sveiset forbindelse. De bør forbindes til hovedjord/jordskinne i alle endepunkt, avgrenings- eller koplingspunkt, og hvis mulig med 20-30 m mellomrom. Det samme er tilfelle for eventuell jordleder langs kabelføringen. Det anbefales minst en jordleder langs hver rute. Med ledende kabelbroer eller kanaler er det ikke behov for unormal klaring mellom kabeltypene av EMC-hensyn dersom det er mer enn 2-3 broer og kabelgruppene plasseres slik at det blir størst mulig avstand mellom kabler for høyest og lavest effekt. Der hvor kabel skal føres langs ledende struktur som mast, stativ etc., gir dette like god eller bedre skjermvirkning enn kabelbro dersom kabelen monteres direkte på strukturen og denne er jordet.

I enkelte tilfeller er det nødvendig å skjerme hele rom eller bygninger. I NVEs retningslinjer for sikring av elforsyningsanlegg, [20], er det, på bakgrunn av krav fra Totalforsvarets Sambandsnemnd (TSBN), stillet krav til skjerming av rom for elektroniske installasjoner som

har betydning for driften av kraftsystemet. Nærmere bestemt er dette rom for styrings-, kontroll- og sambandsutstyr i stasjoner og driftsentraler av klasse 1 og 2. Kravet til skjermenes dempning av elektromagnetiske felt er minst 30 dB opp til 1 GHz (basert på vern mot EMP). Skjermen skal ifølge [20] for frittstående bygninger utføres av 1/2" kyllingnetting eller 0,6 mm stålplater. Det gis detaljert beskrivelse av hvordan skjermingen skal utføres. Bygningsarmering som skjerm alene kan bare benyttes i fjellanlegg. I beste fall kan også 30 dB dempning oppnås med sammensveisede maskenett med maskevidde 10-15 cm, men bare opp til ca 10 Mhz. Det er altså en dårligere løsning enn 1/2" kyllingnetting.

### 3.6.6 Jording og skillekoplinger

Ved strømforsyning til elektroniske styre- og signalkretser for motordrifter er bruk av skilletransformator påbudt [21] (CENELEC 60204). Det anbefales også for andre styrekretser. Jording av den ene pol anbefales for å hindre feilfunksjon ved jordfeil. Kontrollkretser som ikke kan jordes pga. krav til funksjonssikkerhet, skal ha jordfeilovervåkning.

Signalkretser skal som hovedregel jordes bare i ett punkt. Med jording i to eller flere punkt dannes det jordsløyfer som kopler støy direkte inn i signalkretsen. Hvis det er behov for å jorde signalkretsen i begge ender eller flere punkt må det settes inn skillekoplinger. Unntak er enkelte høyfrekvens koaksialsystem og korte signalkretser innenfor tilnærmet ekvipotensial, hovedsaklig innenfor skjermet apparat. Mulig alternativ til skillekopling kan være serie-transformator (se kap. 3.7.3).

Skillekoplinger (galvanisk skille) kan bestå av toviklings transformator (2-20 kV), elektromekaniske skillereléer (normalt 2 kV effektivverdi), optokopplere (opptil 5 kV) eller optisk fiber. Både optokopplere og transformatorer kan brukes opp til frekvenser på flere MHz pga. lav spredkapasitet. Det forutsettes da effektiv skjerm mellom viklingene på en transformator. Tilkopplingsledninger må være skjermet eller omhyggelig adskilt. Forsterker med differensial inngang (høy impedans) kan også være en barriere mot støyspenning men tåler bare svært lav spenning.

Av andre barrierer kan nevnes overspenningsavledere og filter, men ingen av disse tiltakene opphever virkningen av jordsløyfer. Overspenningsavledere benyttes helst ikke i kontrollanlegg fordi de kortslutter et eventuelt signal mens de er i funksjon.

Filter kan bare benyttes til å fjerne de støyfrekvenser i spekteret som ikke nyttiggjøres av signalet. Filter som skal redusere fellesmode spenninger må som regel ha kapasitanse mellom ledere og jord og vil da på samme måte som avledere kunne føre betydelige høyfrekvente strømmen til jord. De må derfor jordes direkte til de apparat de skal verne. Den beste løsning

er at filter er skjermet og montert inne i apparatet eller montert direkte utenpå apparatskjem (god kontakt) med gjennomføring rett fra filteret. Jordforbindelser til filter skal ikke føres innenfor apparatskjem.

### 3.6.7 Valg av kabeltyper

Valg av kabeltype er avhengig av signaltype, tabell 3.3, og skjermtype, tabell 3.4. Da praktisk talt all kopling av forstyrrelser (interferens) til en signalkrets skjer som felles mode (mellom leder og jord), er symmetriske kretser/kabelpar vesentlig bedre enn asymmetriske.

Skjermens kvalitet er gitt av material og utførelse. Det vanligste mål for kvalitet er reduksjonsfaktor; dvs. forholdet mellom indusert langsspenning i kabelen med og uten skjerm som er jordnet i begge ender. Reduksjonsfaktoren er lik skjermens transferimpedans (ved lave frekvenser er den lik skjermens likestrømsresistans) dividert med kabelskjermens impedans med jord som returleder, [10, 16]. Både skjermens tetthet og jordingsmetoden har stor betydning for reduksjonsfaktor ved høye frekvenser. En utett skjerm slipper felt innenfor i kabelskjermen og gir et induktivt ledd i transferimpedansen. Ledningsforbindelser mellom kabelskjerm og referansejord er også induktive element som inngår i transferimpedansen. 2x10 cm tilsvare ved 10 MHz ca 1  $\Omega$  mens transferimpedansen for kabelskjermen kan være av størrelsesorden 10 m $\Omega$  pr. meter kabel. Ved svært høye frekvenser må derfor kabelskjerm jordes koaksialt i støpsel til apparatens ledende kapsling/sjassis, f.eks. ved SF<sub>6</sub>-anlegg.

Ved lave frekvenser er reduksjonsfaktoren for kabler uten stålbandarmering dårlig ( $\approx 1$ ) fordi skjermens reaktans blir lavere enn resistansen.

Skjermer viklet av noen få kobbertråder, f.eks. type PFSP, eller av kobberfolie uten hel dekning er ikke tilfredsstillende for frekvenser over noen hundre kHz. I SF<sub>6</sub>-anlegg bør det anvendes kabler med f.eks. kobberflettede skjermer med dekning  $\geq 80\%$  pluss et lag dekkende folie. Dobbel kobberfolie viklet i motsatt retning med overlapping og relativt stor stigning er enda bedre, men gir stivere kabel som ikke kan anvendes i store dimensjoner. Alternativt kan kabler trekkes i metallrør som gir svært god reduksjonsfaktor ved høye frekvenser pga. tetthet og strømfortrengning mot yttersiden.

Signal- og telekabler kan ha ulike skjermtyper. Mantlede/armerte kabler benevnes også som skjermkabler. Mantelen består av aluminiumstråder. Allerede i talebåndet (opptil 3400 Hz) blir "lekkasjen" gjennom skjermen plagsom.

Tabell 3.3 Klassifisering av signaltyper (CIGRE WG36-04, Arbeidsdokument)

Signal-type	Beskrivelse	Typisk nivå	Typisk båndbredde
1a	Høy hastighet digitale signal, RS422/V11, G703 Ethernet	0,1 - 5 V	> 20 kHz
1b	Analoge signal med stor båndbredde f.eks. neutron flytmåler	10 $\mu$ V - 1 V	0,1 - 10 MHz
2a	Lavhastighet digitale signal, f.eks. pulsgen. for posisjons- eller hastighetsmåling RS232/V28	< 20 V	< 20 kHz
2b	Lavnivå analoge signal med liten båndbredde, f.eks. temperatur og vibrasjonsmålinger	< 1 V	< 1 kHz
3a	Logiske signal, f.eks. indikasjoner/ meldinger	> 10 V	
3b	Analoge signal prosesskontroll	1 - 10 V 4 - 20 mA	< 100 Hz
4a	Høynivå logiske signal, f.eks. styring av brytere	> 50 V	< 100 Hz
4b	Høynivå analoge signal, f.eks. 50 Hz målinger	> 10 V > 20 mA	< 1 kHz



Tabell 3.4 Retningslinjer for valg av signalkabeltype i kraft- og transformatorstasjoner.  
(CIGRE WG36-04)

Signal- type	Kabeltyper
1a	Koaksial eller symmetrisk parkabel med enkel eller dobbel flettet kobberskjerm og dekningsgrad $\geq 80\%$ (optisk). Fiberoptikk.
1b	Koaksial eller triaksial kabel med høykvalitetsskjerm lagt i kobberrør.
2	Symmetrisk parkabel med fellesskjerm av aluminiumfolie eller bånd, evt. kobber. Flettet kobberskjerm er bedre. Signal med svært lave nivå, f.eks. fra termoelement bør skjermes individuelt.
3	Symmetrisk parkabel med felles skjerm.
4	Multilederkabel med felles skjerm for samme signaltype og nivå. I kraftstasjoner og innenfor bygning kan det anvendes uskjernet kabel og en felles returleder.

Med unntak av lavnivå analoge signal type 2b som anvendes lite i transformatorstasjoner skal kabelskjermene jordes i begge ender.

### 3.6.8 Mulige tiltak på sterkstrømsanlegg

Alle nødvendige tiltak vurderes og forberedes på planleggingsstadiet for nye anlegg. Dette gjelder særlig det som kan gjøres i sterkstrømsanleggene.

- Utforming og dimensjonering av jordingsanlegg.
- Beregning/vurdering av jordmotstand.
- Beregning av jordfeilstrøm og eventuell nødvendig/mulig begrensnig.
- Strømforsyning til alle forskjellige apparater.
- Valg av kabeltyper og kabelruter.
- EMC-krav til apparater, spesifikasjoner.
- Eventuelt behov for ekstra støydemping, f.eks. skillekoplinger, filter eller avledere/dioder. I lavspenningsnettet kan lysrøranlegg, reléer og kontaktorer være alvorlige støykilder som relativt enkelt kan støydempes med kapasitanser. På likestrømreléer er sperredioder enkelt og effektivt.

Elektronisk utstyr kan være følsomt for støyspenninger på alle innganger inklusive strømforsyningen. Hvis utstyr uten nettransformator strømforsynes fra 230 V-nett, er det ofte behov for en ekstra transformator for en eller flere nærliggende utstyrsenheter.

Figur 3.14 viser skjema og dempningsdata for en slik transformator av meget høy kvalitet. Med bare en enkel skjerm mellom lagviklinger oppnås normalt en fellesmode dempning på 40-50 dB.

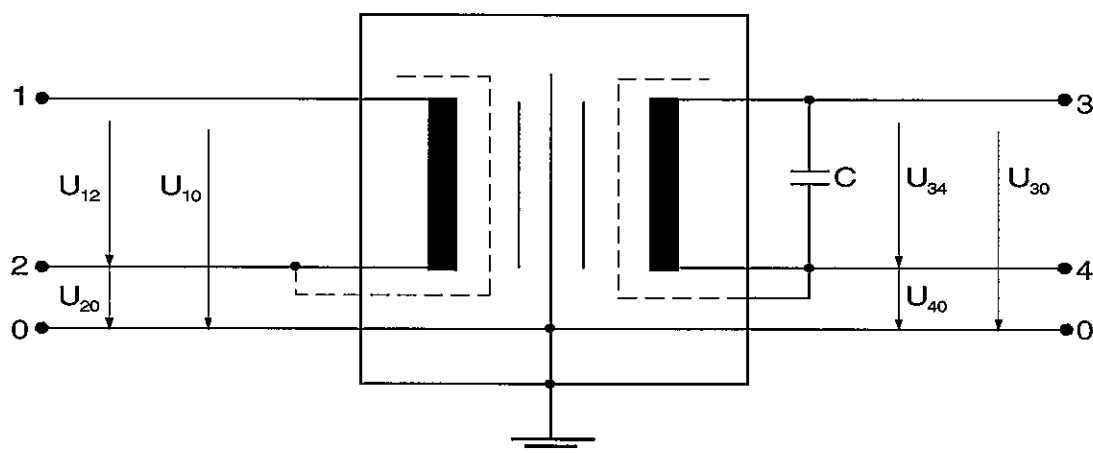
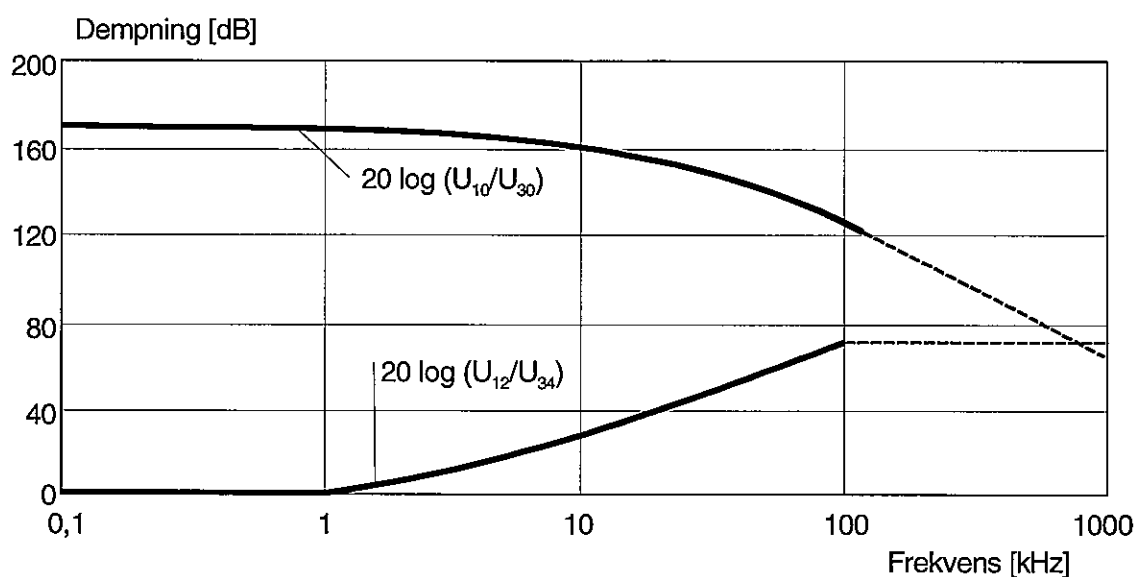


Fig. 3.14a



Figur 3.14b

Figur 3.14 Dempningsdata for en godt skjermet skilletransformator for strømforsyning.

### 3.7 VERN AV TELELINJER

Både telelinjer og andre linjer kan være utsatt for farlige spenninger ved induksjon eller jordpotensial når de føres inn i et elkraftanlegg. Det gjelder også de linjer som ligger relativt nært utenfor anlegget eller langs kraftledninger. Det kan også oppstå induserte støyspenninger (overharmoniske) i telelinjer.

#### 3.7.1 Forskrifter vedrørende påvirkning på eksterne telelinjer o.a.

I FEA-F §18, [5], angis generelle krav vedrørende fjerning av radiostøy og ansvarsforhold mellom eiere av anlegg som forstyrrer og forstyrres.

§19 angir ansvarsforholdet mellom elektriske anlegg og andre anlegg. Hovedregelen er prioritetsprinsippet: Eier av det sist utførte anlegg plikter å treffe slike foranstaltninger at eventuelle forstyrrelser eller ulemper fjernes, men først må eventuelle mangler eller ufullkommenheter ved det andre anlegget utbedres av den som eier det.

§21 angir at vedlikehold og fornyelse av sikkerhetsforanstaltninger i et anlegg må anleggets eier sørge for hvis det ikke er truffet annen overenskomst mellom partene.

§80 (ny/revidert) angir de grenser for kapazitiv og induktiv påvirkning (50 Hz) på telelinjer som er anbefalt av ITU-T (den Internasjonale Tele-Union) (tidligere CCITT).

- For kapazitiv påvirkning er grensen 15 mA kortslutningsstrøm mellom leder på telelinje og jord.
- For induktiv og kapazitiv påvirkning er grensene for koplek EMK

60 V<sub>eff</sub> under normal drift i elkraftnettet. Unntaksvis 150 V på spesielle vilkår.

430 V<sub>eff</sub> ved feil på nærført kraftledning med varighet mindre enn 5 sek. Ved større varighet gjelder grense for normal drift.

650 V<sub>eff</sub> ved feil på nærført kraftledning med høy sikkerhet og utkopling etter mindre enn 0,5 s.

For beregning av indusert spenning ved feil skal benyttes maksimal enpolet jordslutningsstrøm langs nærføringen hvis feilen varer mindre enn 5 sek. Ved lengre varighet skal også topolet jordslutning vurderes.

Dersom påvirkningen overstiger de angitte grenseverdier skal det treffes tiltak for å redusere dem til en tillatt verdi eller å begrense virkningen av dem tilsvarende.

§81 angir at Elektrisitetstilsynet kan stille spesielle krav for å redusere faremomentene som følge av induktive påvirkninger på ledende røranlegg som er nærført med høyspenningsledninger.

### **Kommentarer**

Skal topolet (dobbel) jordfeil legges til grunn for beregning av farespenninger (indusert eller kontakt med utsatte anleggsdeler), kan det medføre så store kostnader til vern at overgang til lavohmig jording av nettet blir en bedre løsning. Men uansett hvilken løsning som velges vil det kreve store investeringer til vern som det ikke er tilstrekkelig dokumentert behov for gjennom erfaringer og skadestatistikk. Lavohmig jording synes i dag ikke realistisk for nett med under 100 kV driftsspenning og store deler av 145 kV nettet. Varighet større enn 5 s må derfor inntil videre aksepteres for ikke forbigående feil, og det må dreie seg om minutter selv ved utstrakt bruk av jordfeilindikatorer (releer) som overfører signal til driftssentralene. Det finnes i dag ikke funksjonssikre reléer som gir selektiv utkopling av feilbeheftet linje i spolejordede maskenett ved varige jordfeil.

Slukkebetingelsen for lysbuefeil må oppfylles da antall forbigående feil vil være omkring 10 ganger større enn antall varige. Ved automatisk seksjonering av spolejordet nett under varig feil må seksjoneringen skje slik at det blir best mulig kompensering i begge (alle) nettdeler, dvs. minst mulig feilstrøm.

De grenser som er gitt for indusert spenning ved enpolet jordfeil og for normal drift vil som regel være oppfylt. Grove kontrollberegninger lar seg enkelt gjennomføre dersom nullsystemstrømmen langs de enkelte kraftledningene er beregnet. I motsatt fall kan beregninger foretas på grunnlag av relativt ugunstig anslåtte nullsystemstrømmer.

### **Eksempel 1. Indusert spenning i normal drift**

Antatt spolejordet 24 kV radialnett med 100 A kapasitiv feilstrøm og 20% forskyvning av nøytralpunkt i normal drift. På en radial som fører 50% av den kapasitive jordstrømmen, blir jordstrømmen i normal drift da maksimalt  $0,5 \times 0,2 \times 100 \text{ A} = 10 \text{ A}$ . Indusert spenning (50 Hz) i en telelinje som går 5 km langs radialen i en middelvstand på 50 m blir da maksimalt  $10 \times 5 \times 0,33 \text{ V} = 16,5 \text{ V}$ . Midlere nullsystemstrøm vil være mindre enn 10 A. Koplingsimpedansen,  $0,33 \text{ } \Omega/\text{km}$ , er basert på spesifikk jordmotstand  $\rho = 10\,000 \text{ } \Omega\text{m}$  (se kap. 3.7.2).

For et 145 kV maskenett med 10% nøytralpunktspenning i normal drift, kan det i nærheten av en spole på 400 A flyte 20 eller 40 A nullsystemstrøm på kraftledninger hvis det er bare to eller en utgående ledning(er). Den induerte spenning for 5 km nærføring i 50 m avstand kan da bli av størrelsesorden 30-60 V. (Grenseverdi 60 V).

### **Eksempel 2. Indusert spenning ved enpolet jordfeil**

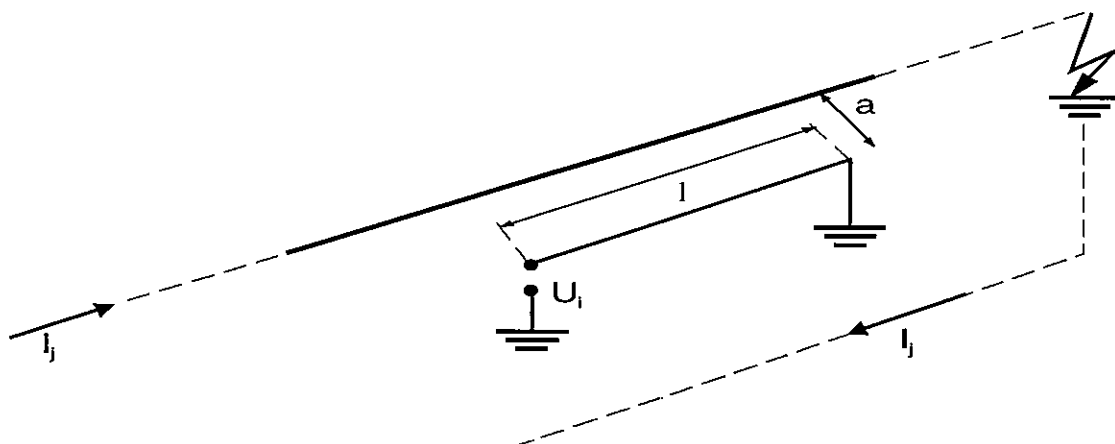
Antatt 200 A nullsystemstrøm på en kraftledning nær en stasjon med 400 A spoleytelse. Indusert spenning (50 Hz) i en telelinje som går 5 km langs kraftledningen i 50 m avstand blir da ca  $200 \times 5 \times 0,33 \text{ V} = 330 \text{ V}$  (se eksempel 1,  $\rho = 10\,000 \Omega\text{m}$ ). Grenseverdi 430 V med varighet inntil 5 s, men bare 60 V med varighet over 5 s. Med en 5 km nærføring i 500 m avstand blir indusert spenning ca 190 V.

### **Eksempel 3. Indusert spenning ved jordfeil i nett med lavohmig jording**

Grenseverdi 650 V i mindre enn 0,5 s. Ved antatt feilstrøm på 5000 A blir indusert spenning i en telelinje som går 5 km langs kraftledningen i en avstand på 50 m:  $5000 \times 0,5 \times 5 \times 0,33 \text{ V} = 4125 \text{ V}$ . Antatt reduksjonsfaktor for jordliner er 0,5. Med en nærføring i 500 m avstand ville den induerte spenning bli ca 2400 V. Dette viser at grenseverdiene normalt vil bli langt overskredet ved lavohmig jording slik at omfattende vernetiltak blir nødvendig.

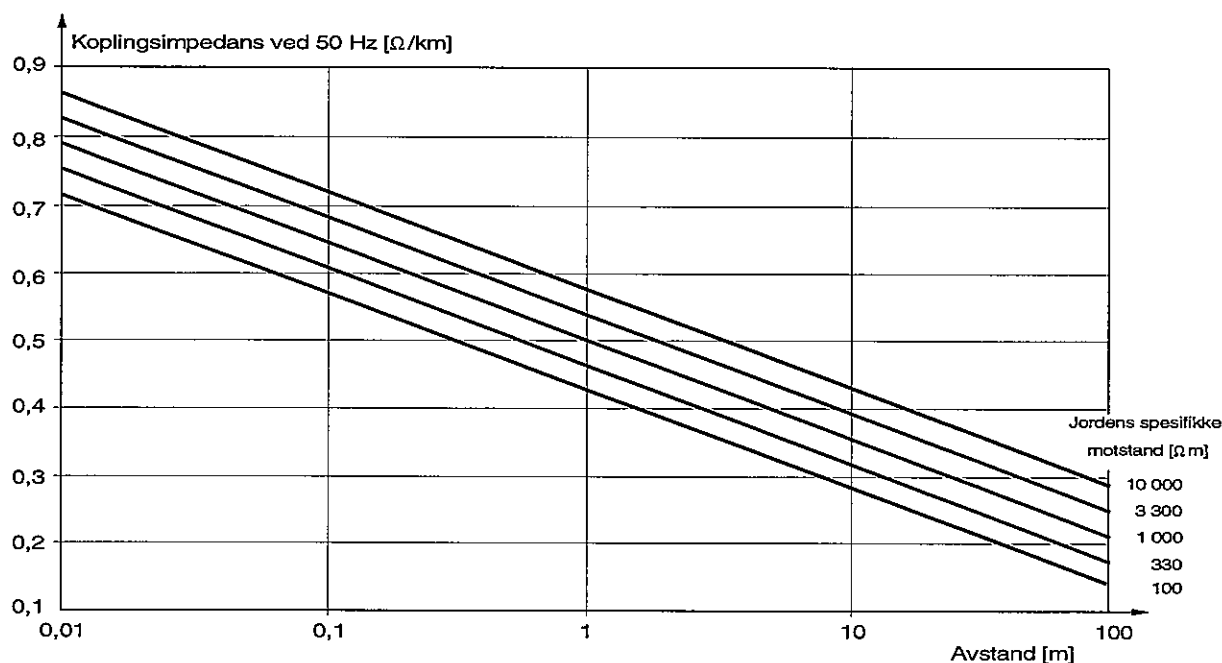
### **3.7.2 Beregning av induerte spenninger**

Indusert spenning kan beregnes etter likningen  $U_i = I_j \cdot l \cdot Z$  der  $I_j$  er strøm med retur i jord (se fig. 3.15).  $I_j = 3I_0 \cdot r$  der  $r$  er reduksjonsfaktor pga. jordliner,  $l$  er nærføringens lengde og  $Z$  er koplingsimpedans pr lengdeenhet [ $\Omega/\text{km}$ ] mellom kraftledning og teleledning.

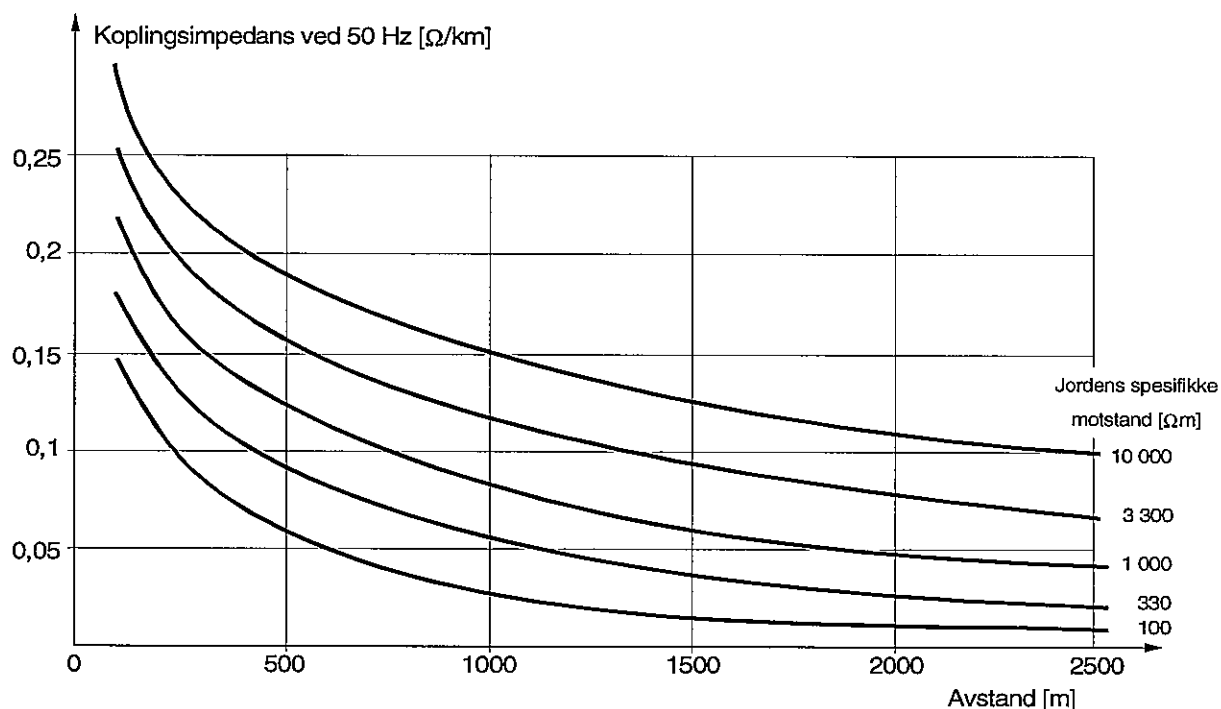


Figur 3.15 Teleledning parallellført med kraftledning

Overslagsberegninger kan baseres på kurver (fig. 3.16 og 3.17) eller tabeller over  $Z_o$  som funksjon av avstand og jordresistivitet [22]. Beregningene foretas for midlere avstand for bestemte lengder der forholdet mellom største og minste avstand ikke overstiger 3, [16, 22, 23]. Ved kryss mellom linjene benyttes også middelvastand under forutsetning av at største avstand ikke er over 500 m, [22]. Som lengde regnes telelinjens projeksjon på kraftledningen, og bidrag fra alle lengder summeres. Ved store retningsendringer på linjene kan dette gi både positive og negative bidrag.

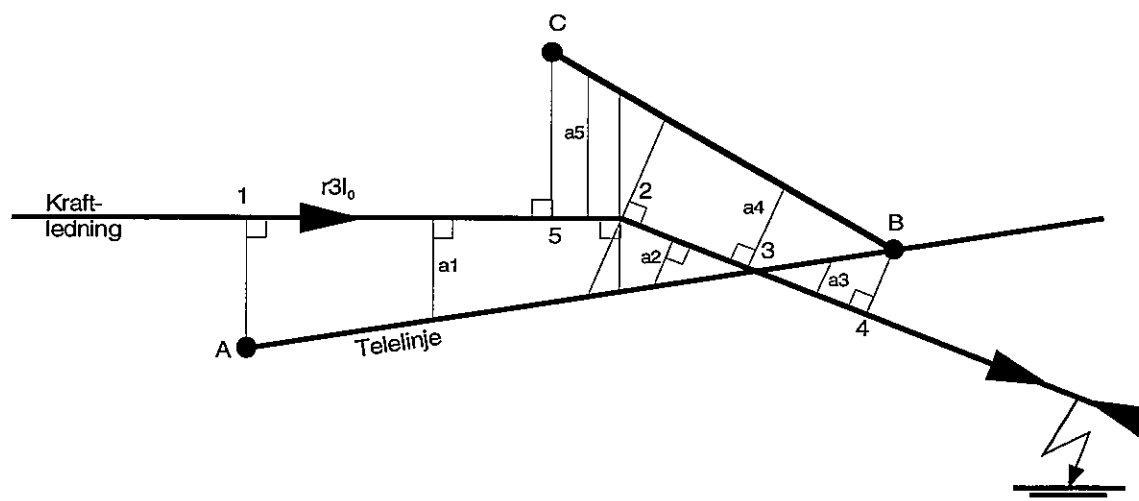


Figur 3.16 Diagram for bestemmelse av koplingsimpedans mellom kraft- og teleledning ved 50 Hz som funksjon av avstand mellom parallellførte ledere. Spesifikk jordmotstand er parameter. Venstre del av figuren viser også reaktans for en eller flere ledere med jord som retur som funksjon av ekvivalent lederradius  $> 1$  cm.



Figur 3.17 Diagram for bestemmelse av koplingsimpedans mellom kraft- og teleledning ved 50 Hz som funksjon av avstand mellom parallellførte ledere. Spesifikk jordmotstand er parameter.

Det er en brukbar tilnærming å erstatte telelinjen med rettlinjede stykker slik som vist i fig. 3.18. Ved den mest aktuelle spesifikke jordmotstand i Norge (5000-10 000  $\Omega\text{m}$ ) er koplingsimpedansen relativt lite avhengig av avstanden slik at 20% feil i avstanden ikke gir mer enn 5-6% feil i koplingsimpedansen opp til ca 1 km avstand.



Figur 3.18 Lengder og avstander for beregning av induisert langsspenning.

Beregningseksempel basert på figur 3.18.

Indusert spenning fra telesentral A til abonnent B:

$$U_{A-B} = r \cdot 3I_o [l_{12} \cdot Z(a1) + l_{23} \cdot Z(a2) + l_{34} \cdot Z(a3)]$$

Indusert spenning B-C:

$$U_{B-C} = - r \cdot 3I_o [l_{24} \cdot Z(a4) + l_{25} \cdot Z(a5)]$$

$$l_{12} = 2,4 \text{ km}, l_{23} = 0,9 \text{ km}, l_{34} = 0,7 \text{ km}$$

$$l_{24} = 1,6 \text{ km}, l_{25} = 0,2 \text{ km}$$

$$a1 = 600 \text{ m}, Z(a1) = 0,18 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$a2 = 250 \text{ m}, Z(a2) = 0,225 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$a3 = 240 \text{ m}, Z(a3) = 0,23 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$a4 = 550 \text{ m}, Z(a4) = 0,185 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$a5 = 900 \text{ m}, Z(a5) = 0,155 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$\rho = 10\,000 \text{ } \Omega\text{m}$$

$$3I_o = 4000 \text{ A}$$

$$r = 0,5$$

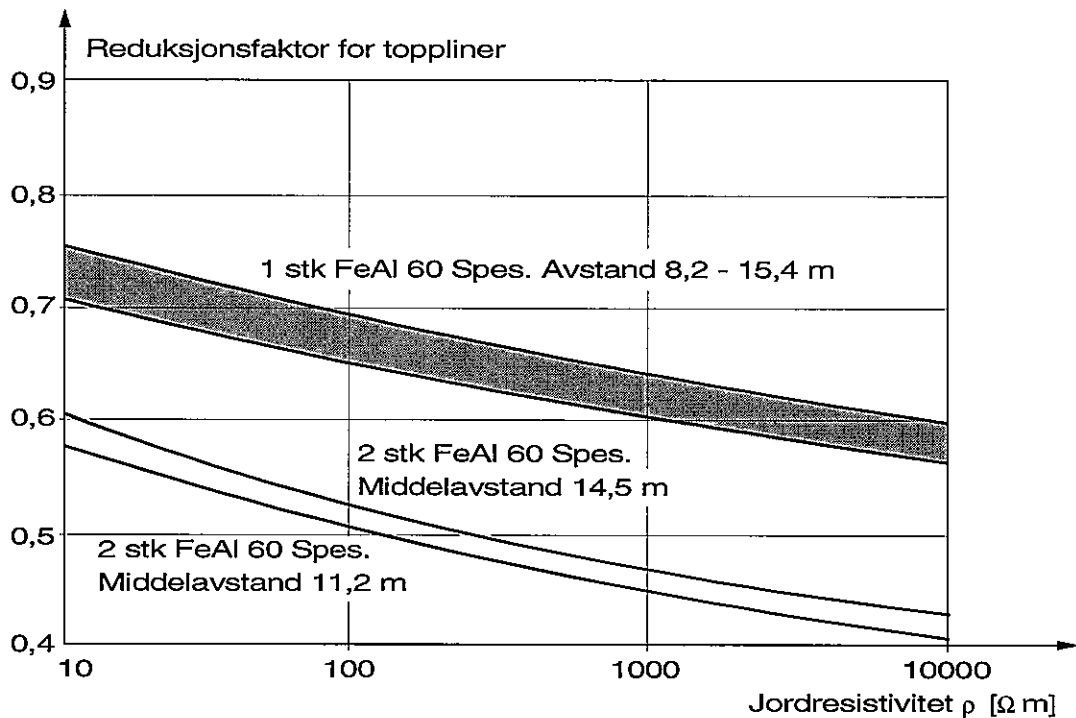
Med disse verdiene fås:

$$U_{A-B} = 1590 \text{ V}, U_{B-C} = - 650 \text{ V}, U_{A-C} = 940 \text{ V}$$

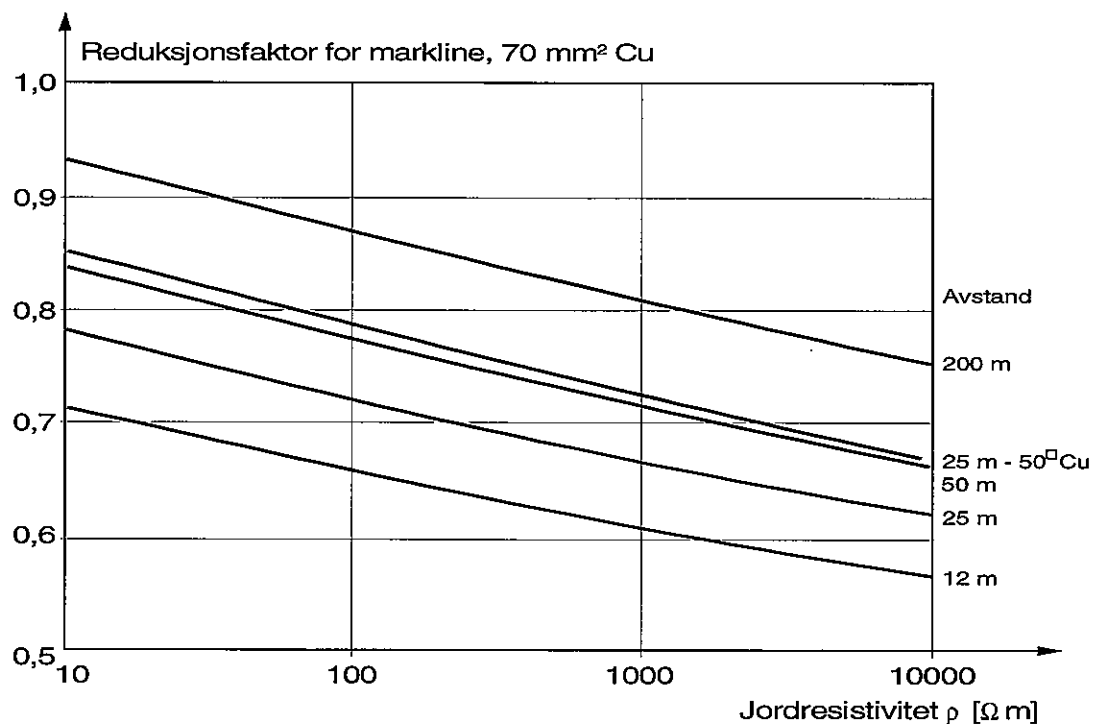
Typiske reduksjonsfaktorer for godt ledende jordliner er vist i fig. 3.19 og 3.20. For markliner blir effektiv reduksjonsfaktor noe bedre (lavere) enn fig. 3.20 viser hvis lina ligger mellom kraftledning og telelinje, men dårligere om lina ligger på motsatt side av kraftledningen.

I nærheten av feilstedet på en kraftledning blir effektiv reduksjonsfaktor bedre enn figurene viser fordi den største del av den strømmen som går til jord fordeler seg på mange mastejordinger, [16].





Figur 3.19 Beregnede verdier av reduksjonsfaktor for typiske toppliner (50 Hz) som funksjon av jordresistivitet.



Figur 3.20 Beregnede verdier av reduksjonsfaktor (50 Hz for enkel jordline, 70 mm² markline av kobber) som funksjon av jordresistivitet med avstand mellom kraftledning og markline som parameter.

### 3.7.3 Vern av telelinjer og lavspenningslinjer mot induuerte langsspenninger og potensialhevning

I dette kapittel gis en kortfattet oversikt over vern som kan benyttes til begrensnig av induert spenning og/eller barriere mellom forskjellige jordpotensial. Oversikten omfatter de mest vanlige typer vern:

- Overspenningsavledere
- Skilletransformatorer
- Serietransformatorer og reaktorer
- Spesialskjermet kabel
- Andre metoder

Mer detaljerte beskrivelser finnes i [16, 22, 23].

#### **Overspenningsavledere mellom linjegrøner og jord**

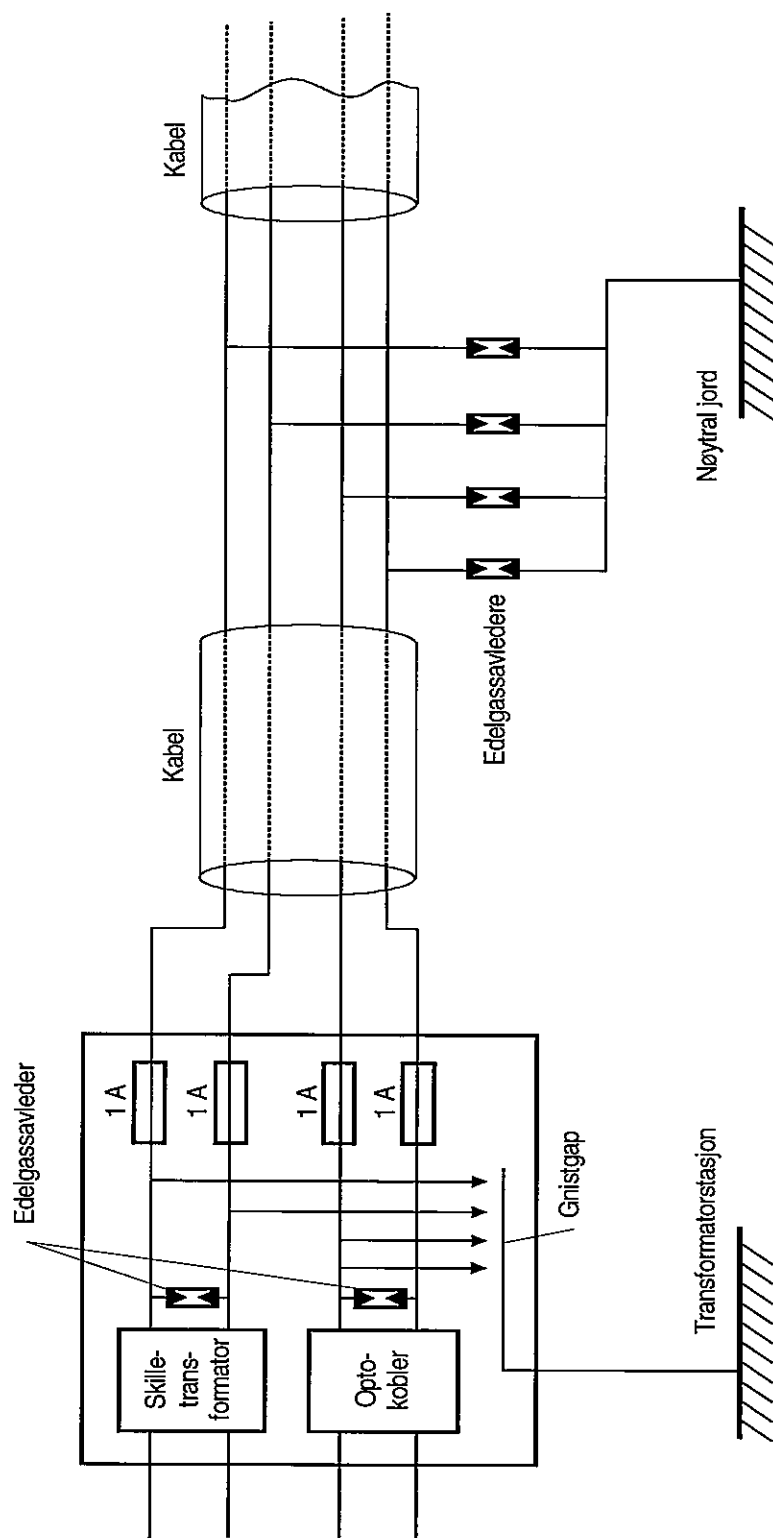
Edelgassavledere kan benyttes til å begrense induert langsspenning i telenettet seksjonsvis slik at tillatte grenser ikke overskrides.

- + Enkel og rimelig løsning ved lavt antall tråddpar.
- + Gir samtidig vern mot atmosfærisk overspenning.
- Upraktisk ved stort antall tråddpar/store kabler.
- Lav langs impedans for store kabler gir stor resulterende avlederstrøm og jordpotensial ved avlederpunktene.
- Kan normalt ikke anvendes i kraft- og transformatorstasjoner der jordpotensialet kan bli høyt.
- Kortsletter signalspenningen mens de leder strøm.
- Kan heller ikke anvendes i lavspenningsnett.

#### **Skilletransformatorer (1:1) for hvert tråddpar**

Kan benyttes til å begrense induert spenning i telelinjer seksjonsvis og på linjer til kraft- og transformatorstasjoner.

- + Enkel og rimelig løsning ved lavt antall tråddpar.
- + Kan blokkere for høye 50 Hz jordpotensial (10-20 kV) under forutsetning av at innføringskabel har like god isolasjon mot jord, fig. 3.21.
- + Sambandet kan fungere også ved induert spenning eller jordpotensial når der ikke er overspenningsavledere.
- Nødvendig med vekselstrømsignalering og lokal DC.
- Overspenningsvern/gnistgap kan være nødvendig som vern mot atmosfærisk overspenning.

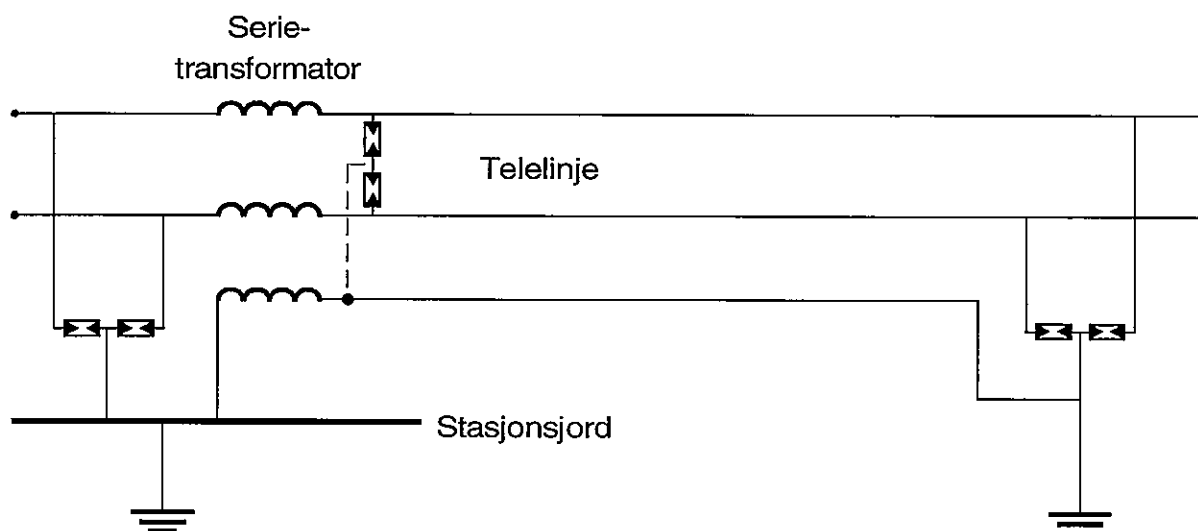


Figur 3.21. Vern av telelinje til transformatorstasjon med galvanisk skille, avledere, strømsikringer og gnistgap til jord.

Strømsikringene kan smelte hvis gnistgap tenner. Gap kan normalt sløyfes ved høyt isolasjonsnivå ( $\geq 10$  kV) og/eller liten sannsynlighet for atmosfærisk overspenning. Med avledere i stedet for gnistgap og en felles høyspenningsavleder i forbindelsen til jord kan det også være mindre risiko for sikringsbrudd.

### Serietransformator/nøytraliseringstransformator

Dette er en transformator med viklinger i serie med signallederne (felles mode transformator). Den har også en vikling som tilknyttes en styreleder som spenner over den farespenning transformatoren skal oppta (fig. 3.22).



Figur 3.22 Beskyttelse av teleledning vha. nøytraliseringstransformator.

- + Enkel og rimelig løsning ved begrenset antall trådpar og spenninger opp til ca 4 kV.
- + Kan også anvendes i kraft- og transformatorstasjoner når innføringskabel har like god isolasjon mot jord.
- + Kan vikles med styreleder og kabelkjerne for et visst antall trådpar.
- + Sambandet fungerer uten avledere også ved påtrykt langsspenning.
- + Sambandet kan overføre likestrømsignal.
- Transformatorer for mange par og/eller høy spenning blir store, tunge og dyre.
- Overspenningsavledere kan være nødvendige og vil kortslutte signalet mens de er i funksjon.

### Seriereaktorer

Seriereaktorer viklet som felles mode er det samme som en serietransformator uten styreleder. Utstyrt med edelgassavledere mellom linjegrøner og jord i begge ender vil reaktorene oppta

tilnærmet samme spenning. Bortsett fra at avlederne kortslutter signalet når de er i funksjon har reaktor samme fordeler og mangler som serietransformator, men kan bli litt mindre. Det er heller ikke alltid nødvendig å ha avledere på alle par når de er viklet på samme kjerne.

#### **Spesialskjernet kabel** (Reduksjonsfaktor $< 0,1$ ved 50 Hz)

- + Praktisk løsning ved stort antall tråddar.
- + Sambandet vil fungere også ved påtrykt langsspenning.
- + Sparer plass og vedlikehold for andre vernetiltak.
- Dyr og stiv kabel med kraftig aluminiumsmantel og stålbåndarmering.
- Kostbart gravearbeid.
- Kan ikke anvendes ved kabel til kraft- eller transformatorstasjon med høyt jordpotensial.

#### **Andre vernetiltak**

Viktige nye metoder er optisk fiber og begrensning av abonnentnettene vha. TTP (Tjeneste Tilknytnings Punkt). Fiberoptikk kan teoretisk løse alle interferensproblem (støy- og fare-spenning), men det kan enda ikke anvendes i abonnentnett. Derimot kan utstrekning av abonnentnett og dermed induert spenning reduseres ved TTP, dvs. utskutte digitale sentraler som kommuniserer med digital hovedsentral via fiber.

Vern mot jordpotensial omfatter også jordelektroder til anlegg tilhørende andre eiere, f.eks. Telenor. Minimumsavstanden er nå angitt i FEA-F-95, §108, og vist i tabell 3.5.

Tabell 3.5 Minimumsavstand [m] i jord mellom telekabler og jordingssystemer i høyspenningsanlegg.

Jordresistivitet $\rho$ [ $\Omega\text{m}$ ]	Kraftsystem med nullpunkt		
	Isolert eller spolejordet [m]	Direkte jordet [m]	Sted
< 50	2	5	by
	5	10	land
50-500	5	10	by
	10	20	land
500-5000	10	50	by
	20	100	land
> 5000	10	50	by
	20	100-200*)	land

\*) 200 m for jordresistivitet større enn 10.000  $\Omega\text{m}$

Minimumsavstandene er ikke nok til å unngå en viss kopling mellom jordingsanleggene, og koplingen er ikke bare avhengig av jordresistivitet men også av jordingsanleggenes utstrekning (se kap. 7.2 og 8.2.3). Som regel bør det derfor ved nyanlegg anvendes så store avstander som praktisk mulig - særlig ved høyspenningsanlegg i nett med lavohmig jordet nøytralpunkt - og for å begrense indusert langsspenning.

## **4. SPESIELLE FORHOLD VED ANLEGG MED SPOLEJORDET ELLER ISOLERT NØYTRALPUNKT**

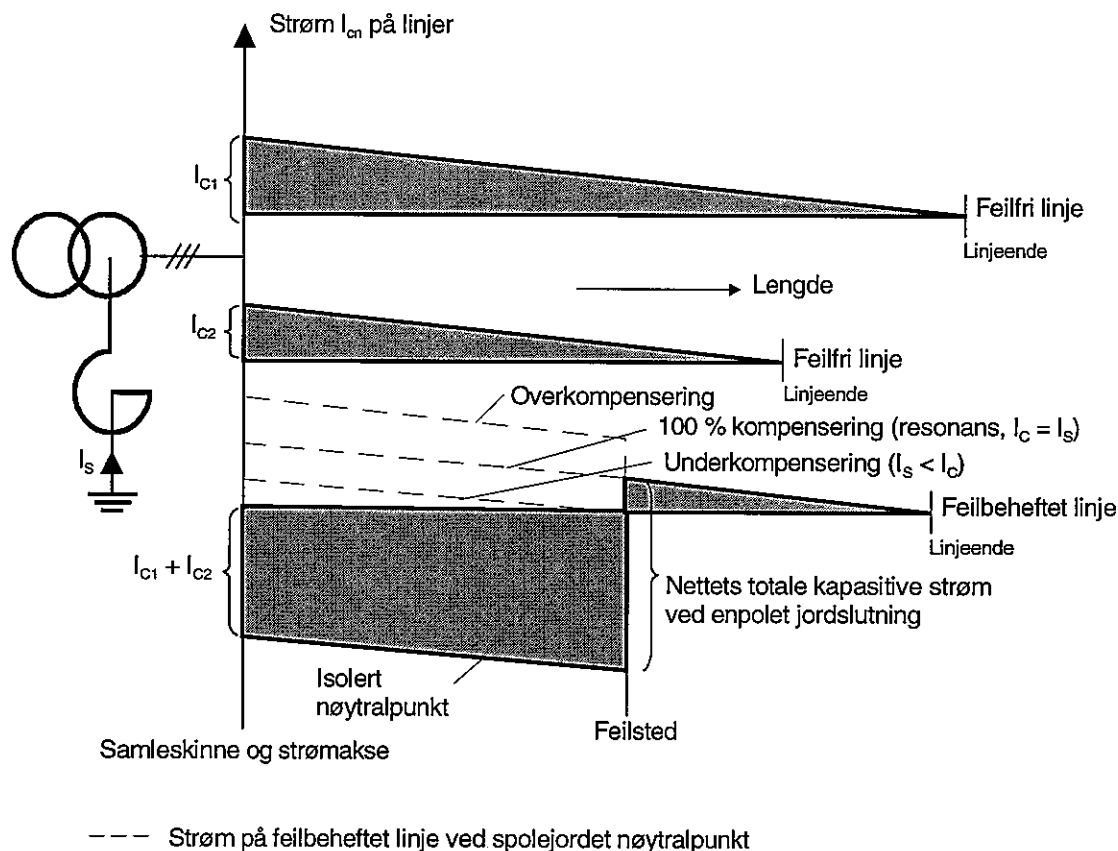
### **4.1 GENERELT**

For transformatorstasjoner på disse spenningsnivå gjelder de samme sikkerhetsforskrifter som for høyere spenningsnivå (kap. 3). For 145 kV-anlegg gjelder praktisk talt alt som er skrevet i kap. 3. For 145 kV SF<sub>6</sub>-anlegg gjelder alt som er skrevet i kap. 5, uavhengig av systemjordingen.

For nett med systemspenning 36-72 kV gjelder selvsagt også de samme sikkerhetsforskriftene, men jordfeilstømmen ved disse anlegg er normalt betydelig lavere og det elektromagnetiske miljøet er bedre. Dette skyldes både lavere jordfeilstrom og lavere spenningsnivå. Dermed blir det betydelig lavere koplingstransienter, elektromagnetiske felt og transiente jordpotensial enn ved 145 kV. En vesentlig større del av koplingsanlegg for 36-72 kV er innendørs anlegg enn ved 145 kV.

### **4.2 JORDFEILSTRØM OG JORDPOTENSIAL I NETT MED SLUKKESPOLER ELLER ISOLERT NØYTRALPUNKT**

Ved isolert nøytralpunkt vil den kapasitive jordfeilstømmen flyte til jord i feilstedet (figur 4.1) uansett om feilstedet ligger på en kraftledning eller i en stasjon. Isolert nøytralpunkt er bare aktuelt ved høyeste systemspenning 72 kV eller lavere, og for feilstrom mindre enn ca 30-60 A (ned til 5-10 A ved 24 kV nett med gnistgap). For større feilstrom må det enten settes inn slukkespoler eller vern for automatisk utkopling av jordfeil dersom lysbuefeil skal slukkes (figur 4.2). Hvis det antas at feilstømmen ikke bør være over 25 A kan det likevel være behov for 5  $\Omega$  jordmotstand for å begrense jordpotensialet til 125 V. Dette kan neppe oppfylles generelt uten jordliner/toppliner.



Figur 4.1 Illustrasjon av kapasitiv nullsystemstrøm på kraftledninger i et radialnett ved enpolet jordslutning.

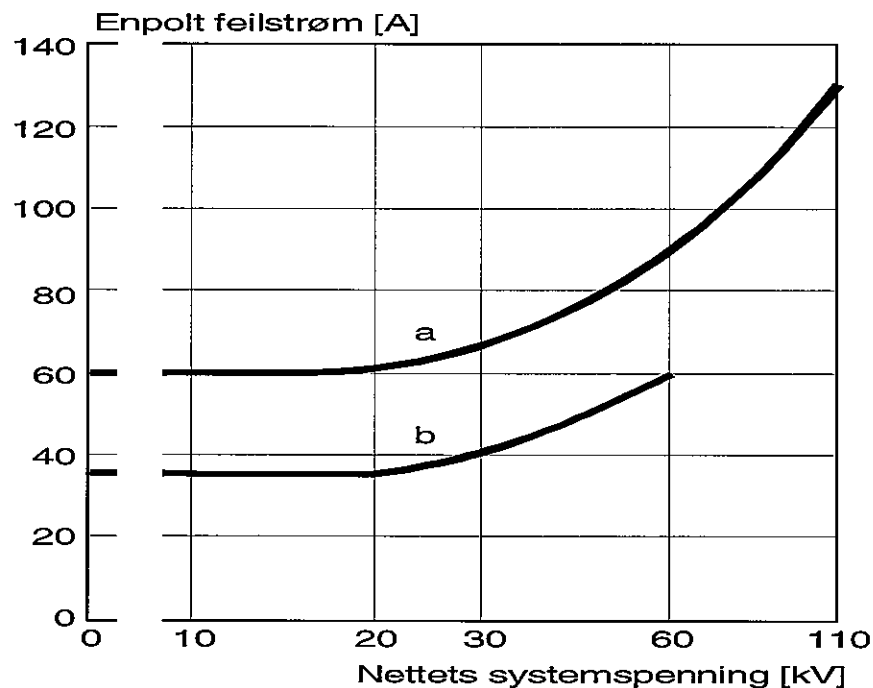
Automatisk utkopling av jordfeil benyttes nesten bare på fordelingsnett 12-24 kV og da ofte uten slukkespole. Da kan kortvarig jordfeilstrom lett bli av størrelsesorden 100 A; dvs. 4 ganger så høy som antatt feilstrom uten automatisk utkopling. Tilsvarende jordpotensial blir 500 V ved jordmotstand 5  $\Omega$  og 1000 V ved 10  $\Omega$ . Det er vanskelig å oppnå tilstrekkelig god potensialutjevning ved de anvendte utkoplingstider (> 0,5 s) som krever en begrensning på 125 V berøringsspenning. Det antas at berøringsspenning ved mastejordinger kan være minst 50% av jordpotensialet. Ved stasjoner kan det antas at berøringsspenning utgjør ca 20% av jordpotensialet. Av sikkerhetsmessige hensyn er det derfor aktuelt å anvende slukkespole også i 12-24 kV nett i tillegg til automatisk utkopling av varige feil. Dette vil også fjerne et stort antall kortvarige utkoplinger som følge av jordfeil i luftledningsnett (70-80%).

Jordfeilstrom i spolejordede nett, reststrøm, kan ifølge figur 4.2 slukkes opp til minst 130 A i 145 kV nett og ca 60 A på lavere spenningsnivå. Ved isolert nøytralspunkt er grensene vesentlig lavere. Grensene er avhengig av lysbuens lengde, dvs. av isolasjonsavstander og vindfor-



hold. For å slukke må lysbuen kunne stige fritt og oppnå tilstrekkelig lengde. Et vertikalt stanggap vil normalt ikke slukke uten hjelp av svært sterke elektromagnetiske felt. Et horisontalt gap utformet som horn med økende avstand oppover gir mulighet for slukking. Ved 24 kV kan f.eks. et slikt gap slukke strømmen opp til ca 40-50 A når lysbuen får stige fritt. Ved uheldig plassering av gapet kan både vind og feltpåvirkning få ugunstig effekt på slukkeevnen.

Feilstrømmen flyter til jord i feilstedet ved jordfeil på kraftledninger eller stasjoner uten slukkespole. I stasjonsanlegg kan strøm til jord bli høyere ved bruk av store slukkespoler og ved underkompensering i nettet.



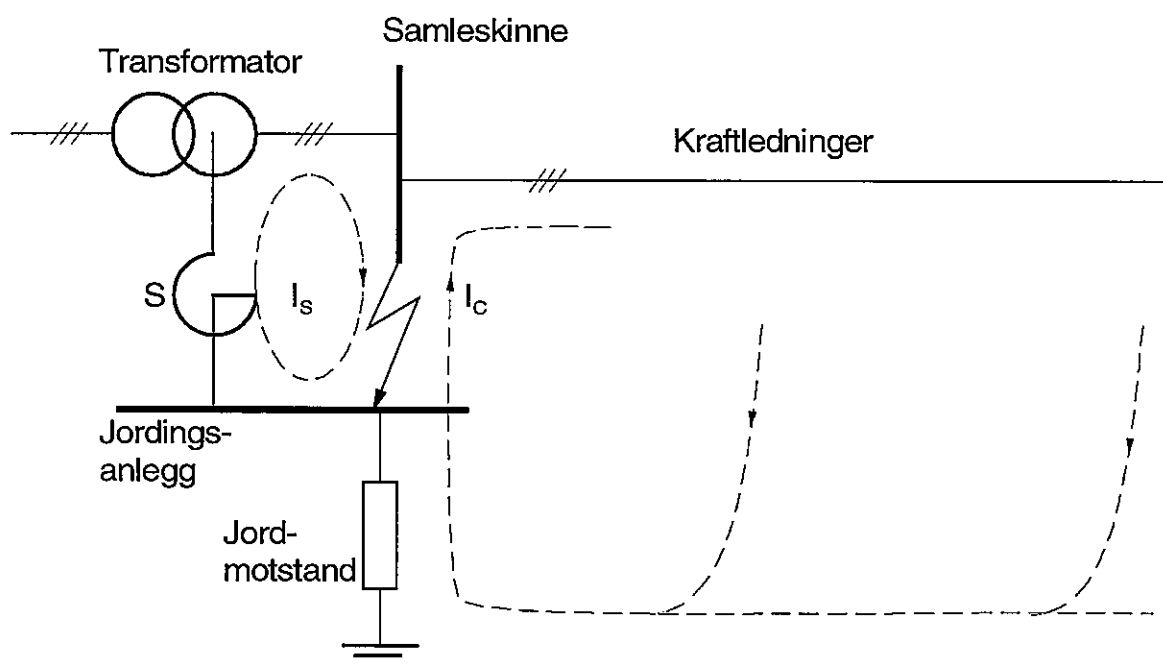
Figur 4.2 Slukkegrenser for enpolet feilstrøm, [24].

- a) Spolejordet nett og kabelnett med isolert nøytralpunkt, opp til 20 kV.
- b) Nett med isolert nøytralpunkt.

Ved jordfeil i en stasjon med spole vil spolestrømmen ikke flyte fra jordingsanlegget til jord, men bare sirkulere via feilstedet og transformatoren (figur 4.3). Det forutsettes her at det kan være mange spoler i nettet. Den feilstrømmen som skriver seg fra nettet, kompensert med de andre spolene, flyter til jord. Den er mindre enn både reststrøm og spolestrøm dersom nettet er overkompensert og spolestrømmen er mindre enn 2 ganger overkompenseringen (fig. 4.4). Er

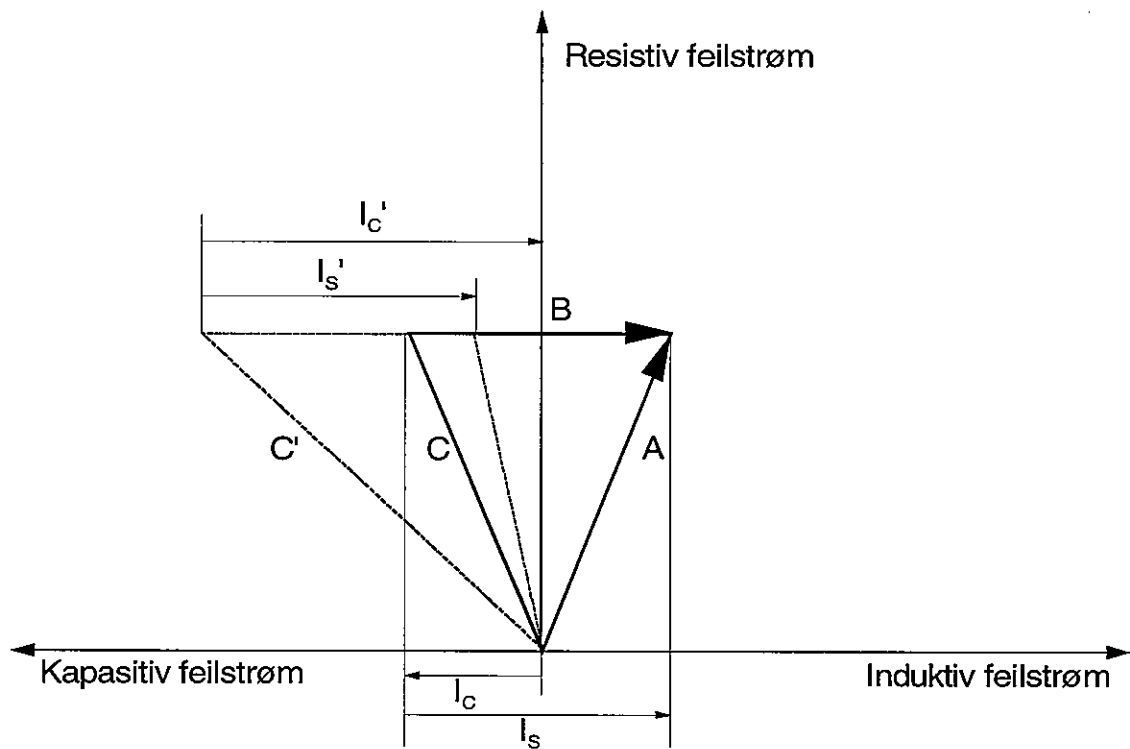
spolen større blir også jordstrømmen større, men praktisk talt ikke større enn spolestrømmen dersom overkompenseringen er 40% av aktiv reststrøm.

Et spolejordet nett bør også drives overkompensert for å unngå at det oppstår resonans i nettet dersom en ledning faller ut.



Figur 4.3 Feilstrøm til fjern jord i stasjon med spolejordet nøytralt punkt.

Jordpotensial/berøringsspenning skal beregnes på grunnlag av den del av feilstrømmen som virkelig flyter til (fjern) jord. For spolejordede nett vil dette si reststrømmen i nettet ved feil på kraftledninger eller stasjoner uten spole. I stasjoner med spole skal det regnes med spolestrøm eller reststrøm dersom den er størst. Det skal også tas hensyn til reduksjonsfaktor for jordlinjer. Det er forutsatt at nettet er overkompensert. Dersom nettet er underkompensert, blir jordstrømmen ved feil i en stasjon med spole større enn spolestrømmen (stiplet i figur 4.4).



Figur 4.4 Vektordiagram for feilstrømfordeling i en stasjon med slukkespole ved jordfeil i stasjonen. A: Reststrøm ved overkompensering. B: Spolestrøm, her lik 2 ganger overkompenseringen. C: Strøm til jord - i dette tilfelle like stor som reststrømmen for nettet. Stiplet: Vektordiagram for samme spolestørrelse ved underkompensert nett (C').

Hvis kompenseringsgraden i et nett endres f.eks. ved automatisk oppdeling ved jordfeil, skal dette gjøres slik at begge deler får litt overkompensering. Faller en større spole ut f.eks. på grunn av feil i transformatoren, vil nettet eller en del av nettet bli underkompensert. Det synes umulig å unngå en slik situasjon, men den er lite sannsynlig.

Impedansen til jord via gjennomgående toppliner på 145 kV-ledninger er av størrelsesorden 1-3  $\Omega$  for 2x85 mm<sup>2</sup> stålliner og 1,5-5  $\Omega$  for 1x50 mm<sup>2</sup> basert på avledningsmotstand 3,5-35  $\Omega$ km.

Ved 100 A jordstrøm vil jordpotensialet på et feilsted på kraftledningen da bli ca 80-250 V for 2x85 mm<sup>2</sup> stål og ca 140-450 V for 1x50 mm<sup>2</sup> stål. I stasjoner må det forventes lavere verdier av impedans mot jord og lavere jordpotensial dersom det ikke anvendes spoler med vesentlig større strøm enn reststrømmen i nettet. Impedansen til jord i en stasjon er ved gode jordingsforhold vesentlig gitt av den lokale jording. Ved dårlige jordingsforhold kan toppliner/

jordliner gi det viktigste bidrag til å senke impedansen mot jord. Hver utgående kraftledning med toppliner/jordliner representerer det dobbelte av de impedanser som er angitt for feilsted på kraftledningen. Se forøvrig fig. 3.8 og 3.9 i kap. 3.2. Overliggende og underliggende jordline har samme virkning på impedansen til jord.

Uten gjennomgående jordliner vil det i de fleste tilfeller være vanskelig å oppfylle krav til maksimale berøringsspenninger unntatt for ledninger bygget på tremaster.

For å oppnå tilstrekkelig lav jordmotstand i enkelte stasjoner kan det være nødvendig å benytte jordline/ toppline noen kilometer ut fra stasjoner. Da bør det anlegges jordelektroder ved alle master der jording er mulig. Dette gjelder også ved tremaster (se kap. 3.2). Ved jordfeil på disse ledningsseksjonene vil jordpotensialet i feilstedet bli noe høyere enn ved feil i stasjonen.

I de fleste stasjoner med minst to utgående kraftledninger med jordliner og mastejordinger ut til 2-3 km avstand er det mulig å oppnå en jordmotstand på under 2  $\Omega$ . Dette gir med en jordstrøm på 200 A et jordpotensial på 400 V og muligheter til å begrense berøringspenninger til ca 100 V. For å kunne benytte en spoleytelse på 400 A i stasjonen må jordmotstanden ned til 1  $\Omega$  eller lavere.

For 72 kV-nett vil jordfeilstrømmen normalt bli betydelig mindre enn antatt ovenfor, mens jordingsmotstanden ikke behøver å bli vesentlig høyere. Jordpotensial og berøringsspenninger må derfor antas å bli lavere enn for 145 kV-nett.

### **4.3 JORDELEKTRODER OG HOVEDJORDLEDNINGER**

For 145 kV anlegg bør denne delen av jordingsanlegget utformes slik som beskrevet i kap. 3 eller kap. 5. Dimensjoneringen må minst tilfredsstille forskriftenes krav. Generelt bør jordingsanlegg i 145 kV og 72 kV stasjoner dimensjoneres for topolet kortslutning. For beregning av jordpotensial, skritt- og berøringsspenninger skal det bare regnes med de strømmen som flyter til jord ved jordfeil. Dette vil normalt være kompensert reststrøm i nettet eller spolestrøm i vedkommende stasjon. For nye 145 kV anlegg eller ved ombygging bør mulige tiltak for eventuell overgang til direkte eller lavohmig jording vurderes. Dette gjelder spesielt dimensjonering og krav til lav jordmotstand, dvs. lokale jordelektroder, suppleringer i jordnettet og eventuelt bedre ledende jordliner på kraftledninger og bedre mastejordinger i en innføringsone på noen få kilometer.

For 72 kV og lavere spenning, som vanligvis er innendørs anlegg, anbefales også jordnett i koplingsanlegget, f.eks. rundt hele koplingsanlegget og på grensen mellom hvert koplingsfelt.

Det må være minst to forbindelser til resten av jordingsanlegget med elektroder. Dessuten anbefales direkte nedledere til jordelektroder/-ring omkring bygningen fra overspenningsavledere og eventuelle lynavledere (kap. 3.3.4 og 3.5). Det skal også være direkte og kort forbindelse mellom avlederens jordterminal og innendørs jording i koplingsanlegget ved nærmeste apparat. (Se kap. 3.3.4).

I 24 kV koplingsanlegg er det nok med en hovedjordledning eller skinne på tvers av koplingsfeltene/gjennom skaprekke, men også her skal det være minst to forbindelser til resten av jordingsanlegget i stasjonen. For overspenningsavledere og eventuelle lynavledere anvendes de samme prinsipp som for 72 kV anlegg.

Lav jordmotstand oppnås for anlegg på disse spenningsnivå ved fundamentjording, jordspyd og jordliner i kabelgrøfter eller på kraftledninger. Jordmaskenett bør anvendes i eventuelle utendørsanlegg. Derimot forventes det liten nytte av jordnett innstøpt i betonggulv. Armeringsstål i bunnfundament og jordingsring ved siden av dreneringsrør i fuktig jord er derimot viktige deler av elektrodesystemet.

#### **4.4 JORDING AV APPARATER OG ANDRE ANLEGGSDELER**

Det anbefales å anvende de regler som er angitt i kap. 3 med unntak av de som er spesielt angitt for 300 og 420 kV anlegg.



## 5 GASSISOLERTE ANLEGG/STASJONER

### 5.1 GENERELT

Et gassisolert anlegg er et høyspenningsanlegg med brytere og samleskinne der isolasjonen hovedsaklig består av gass (normalt SF<sub>6</sub>-gass) med over 1 atm. trykk innenfor en metallisk kapsling. Jording av gassisolerte anlegg er bl.a. omhandlet i [25, 26].

Kapslingen består av seksjoner som kan være ledende forbundet (sammenkoblet) eller bevisst isolert fra hverandre for å hindre flyt av indusert strøm, f.eks. av hensyn til strømtransformatorer utenpå kapslingen. En slik diskontinuitet endrer kapslingens impedans selv om seksjonene er forbundet med ledere utenfor eventuell strømtransformator. Dette medfører transiente jordpotensial på kapslingen og elektromagnetiske felt utenfor kapslingen når det foretas bryterkoplinger eller opptrer jordfeil i anlegget. Det samme gjelder for andre diskontinuiteter; dvs. ved overgang fra gassisolert anlegg til luftlinje, kabel, transformator eller reaktor. Elektromagnetiske felt kan også trenge gjennom kapslingen ved inspeksjonsvinduer og langs kabelføringer fra innvendige måletransformatorer og kontrollorganer.

For gassisolerte anlegg gjelder selvsagt de samme sikkerhetsmessige forskriftskrav til jording som for andre høyspenningsanlegg (dimensjonering, berøringsfare). I tillegg til dette må det stilles spesielle krav til EMC-jording pga. de høyfrekvente elektromagnetiske felt og transiente jordpotensial som oppstår ved brytekoplinger i anlegget. Stigetiden for disse transientene kan være ned til få nanosekund. De inneholder derfor vesentlig høyere frekvenser enn kopl原因stransienter i vanlige friluftsanlegg. Derfor kreves det følgende jordingsmessige tiltak:

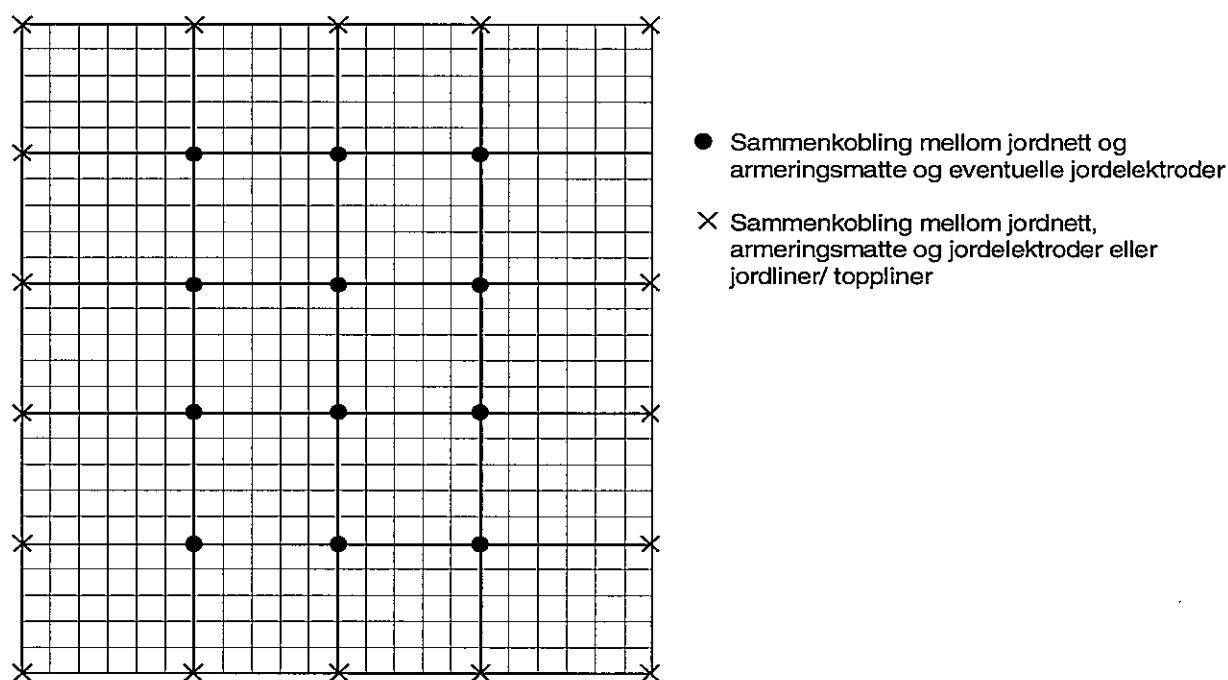
- Ekstra finmasket jordnett eller metallplater til potenialutjevning.
- Korte og rette jordforbindelser til anleggsdeler.
- Utnyttelse av kapsling, bæresøyler etc. som en viktig del av jordforbindelser.
- Spesielle tiltak ved overgang fra SF<sub>6</sub> til andre anleggsdeler.
- Ekstra god skjerming og jordingsteknikk for kontrollkabler.

### 5.2 JORDELEKTRODER

Jordelektroden kan, som ved andre stasjonsanlegg, bestå av jordnett, fundamentjording, spyd og jordliner på/ved tilknyttede kraftledninger eller jordkabler. Jordliner utgjør også her en viktig del av jordingsanlegget fordi det lokale anlegget i et gassisolert anlegg normalt er vesentlig mindre enn i friluftsanlegg.

Selv om jordnettet kan tjene som elektrode vil det i innendørsanlegg normalt være lite effektivt. Derfor skal andre muligheter til elektroder utnyttes så godt som mulig: fundamentjording, jordspyd og/eller jordingsring omkring bygningen.

De jordelektroder som kan plasseres i nærheten av overgang  $SF_6$ -anlegg til luftlinje eller kabel vil være mest effektive til begrensnig av transiente jordpotensial. Men med et finmasket jordnett som dekker hele gulvarealet (f.eks. armeringsmatte med maskevidde 10-15 cm) kan også fundamentjordinger bli effektive. Et slikt nett anbefales og det bør tilknyttes alle knutepunkt i et sentralt kobbernett med maskevidde ca 5 m (fig. 5.1).



Figur 5.1 Jordnett og armeringsmatter for  $SF_6$ -anlegg.

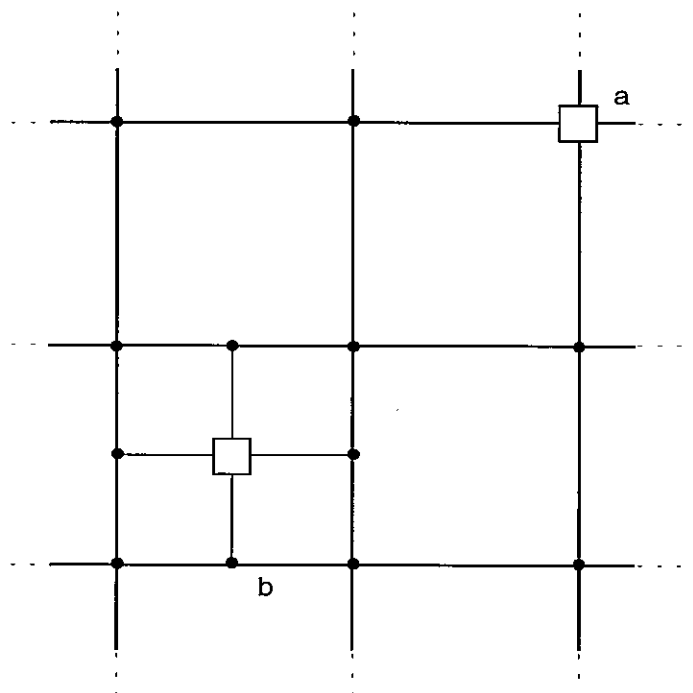
Forbindelser til fundamentjord og andre elektroder skal om mulig sveises direkte til det sammensveisede armeringsnettet i betonggulvet. Det anbefales også å anvende sammensveiset armeringsnett i vegger og tak med sammensveising langs tilstøtende kanter. Armeringen i gulv og vegger er det viktigste av hensyn til sammenbinding av jordelektroder og overgangene fra  $SF_6$ -anlegg til luftlinje.

Dersom anlegget plasseres i en bygning med isolerende tak og vegger bør det benyttes metallplater eller netting på veggene til å danne forbindelser mellom gulvarmering/ jordnett og  $SF_6$ -kapslingen ved veggjennomføringene.



### 5.3 JORDING AV HØYSPENNINGSANLEGG

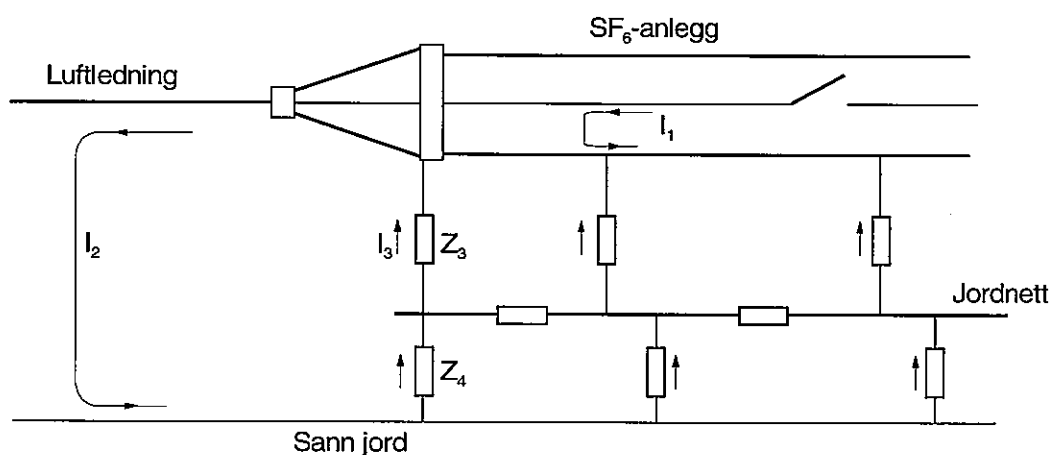
Selve SF<sub>6</sub>-kapslingen, stativ og bæresøyler skal være en del av jordforbindelsene. Det legges bare korte kobberjordledninger mellom jordnett og bæresøyler/stativ ved fotpunktene. Det anbefales minst 4 slike forbindelser (fig. 5.2). Alternativ (a) med tilknytning i et knutepunkt for jordnettet er å foretrekke. Ved dårlige kontakter mellom bæresøyler/stativ og SF<sub>6</sub>-kapsling, kan det være nødvendig å supplere med korte utjevningsforbindelser. Til tross for kapslingens relativt store diameter blir det relativt høy bølgeimpedans mellom kapslingen og jordnettet (normalt ca 200-250 ohm). Dette er årsaken til relativt høye transiente jordpotensial ved kopling av brytere, opp til samme størrelsesorden som spenningsbølgen inne i anlegget. Bølgeimpedansen er lavere ved mindre avstand mellom kapsling og jordplan/nett og ved separat kapslede faser som har mange utjevningsforbindelser (parallellkopling).



Figur 5.2 Forbindelser mellom SF<sub>6</sub>-anlegg og jordnett. Alternativ (a) med apparat ved knutepunkt i jordnettet.

### 5.3.1 Overgang fra SF<sub>6</sub>-anlegg til luftledning

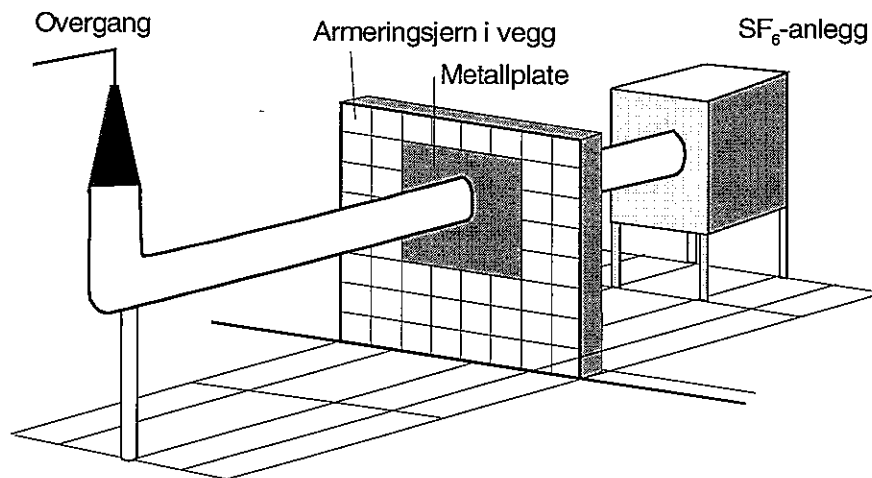
Fordi jordbølgen oppstår i diskontinuitetspunktet, kan den reduseres kraftig dersom det kan oppnås lav impedans mellom kapsling og jord i dette punktet (fig. 5.3) som kan være i vegg-gjennomføringen eller utenfor. I gjennomføringen kan lav impedans oppnås gjennom forbindelser til veggarmeringen eller metallplater som er tilknyttet gulvarmering og jordnett i mange punkt (fig. 5.4). Alle forbindelser fra kapsling til jordnett demper jordbølgen, men mest effektive er de forbindelser som ligger i gjennomføringen og eventuelt utenfor. Forbindelsen mellom SF<sub>6</sub>-kapslingen og veggarmering eller aluminiumplate bør være koaksial f.eks. som plate festet i flens/ring. Små plater kan benyttes som overgang til veggarmering med lissebåndtilkopling. Alternativt kan det benyttes 4-6 korte jordledere eller bånd fra flens til armering.



Figur 5.3 Bølgeforplantning ved overgang fra SF<sub>6</sub>-anlegg til luftledning.

Dersom impedansene  $Z_3$  og  $Z_4$  er små vil  $I_3$  bli nesten lik  $I_2$  og flyte inn i kapslingen med lavt potensial.

Når SF<sub>6</sub>-anlegget strekker seg ut av bygningen (fig. 5.4) kan en betydelig del av jordbølgen på kapslingen fjernes ved overgangspunktet utendørs. Dette forutsetter et relativt finmasket jordnett eller flere jordspyd ved foten av bæresøylen (eventuelt flere). Men søylen(e) representerer også en betydelig impedans (bølgeimpedans) ved de høyeste frekvensene.

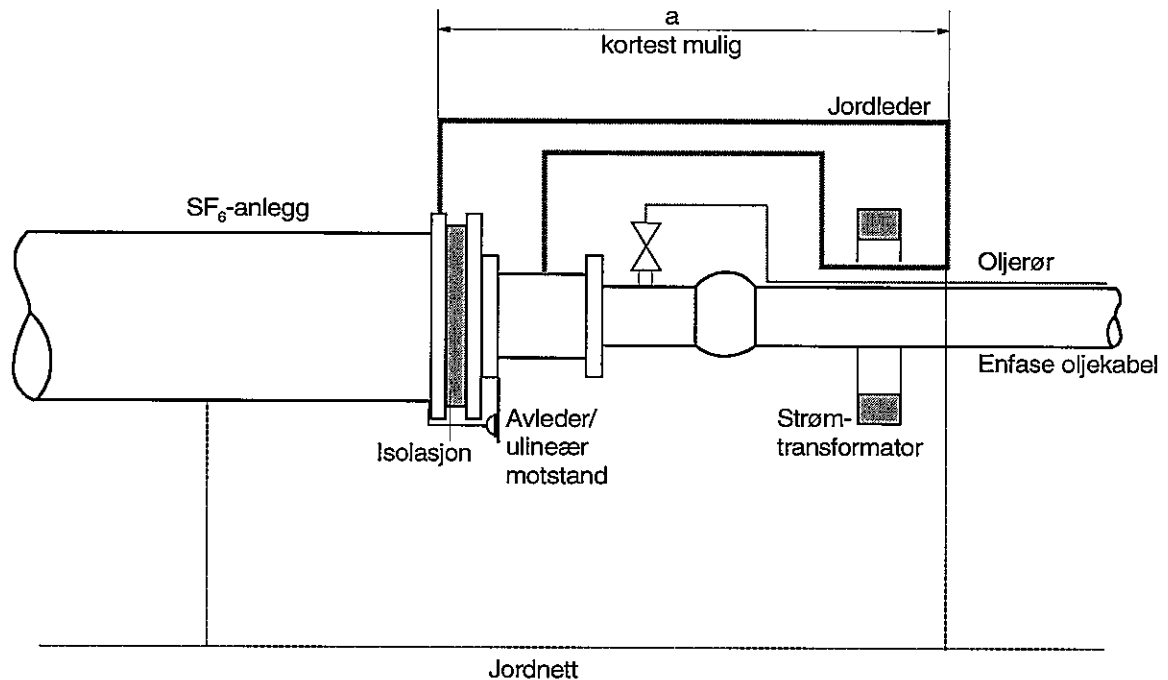


Figur 5.4 Skjerming av SF<sub>6</sub>-anlegg mot transiente bølger fra overgang SF<sub>6</sub>-anlegg til luftledning.

### 5.3.2 Overgang fra SF<sub>6</sub>-anlegg til kabel

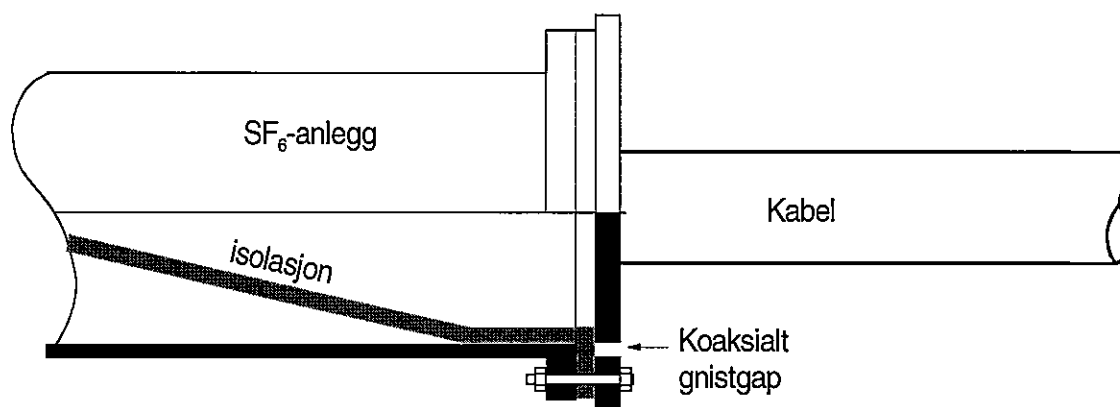
Ved overgang til kabel oppstår det en liten jordbølge dersom kabelskjermen er koaksialt forbundet med SF<sub>6</sub>-kapslingen fordi jordbølgeimpedansene for SF<sub>6</sub>-anlegg og kabel er nokså like. Den indre bølgen i SF<sub>6</sub>-anlegget vil delvis reflekteres og delvis forplante seg videre og dempes ut i kabelen. Ved bruk av kabelstrømtransformator kan kabelskjermen først jordes utenfor transformatoren. Impedansen fra skjerm til SF<sub>6</sub>-kapsling blir da så høy at kraftig jordbølge kan oppstå. Men denne bølgen kan praktisk talt elimineres ved bruk av metalloksyd-avledere eller ulineære motstander mellom kapslingen og kabelskjermen. Det bør anvendes 4-6 avledere rundt omkretsen av kapslingen og kabelmuffen må utføres slik at tilledningene (bånd) til avlederne blir så korte og rette som mulig (fig. 5.5).

Med avledere kan jordlederen fra kabelskjermen for såvidt føres tilbake til SF<sub>6</sub>-kapslingen via jordnettet slik som stiplet i figur 5.5. Dette betyr en større strømsløyfe, større energiutladning og større påkjenning på avlederne.



Figur 5.5 Bruk av metalloksydvledere ved overgang fra SF<sub>6</sub>-anlegg til kabel.

Alternativt kan overgangen mellom SF<sub>6</sub>-kapslingen og kabelmuffen utføres slik at det blir et koaksialt gnistgap mellom dem (fig. 5.6). Dette kan gi litt høyere nivå på jordbølgen. Dersom strømtransformatoren plasseres nær kabelmuffen, kan det legges jordskinner mellom SF<sub>6</sub>-kapsling og kabelskjerm utenom strømtransformatoren. Disse kan forbindes til kabelskjermen f.eks. via en flens. Dette reduserer i høy grad belastningen på avlederne eller eventuelle gnistgap. Med en komplett skjerm utenpå strømtransformatoren, kan det ytre elektromagnetiske felt praktisk talt elimineres. Det kan likevel oppstå transiente spenninger mellom kapsling og kabelmuffe/skjerm pga. forskjellig bølgeimpedans. Gnistgap eller avledere bør derfor alltid anvendes.



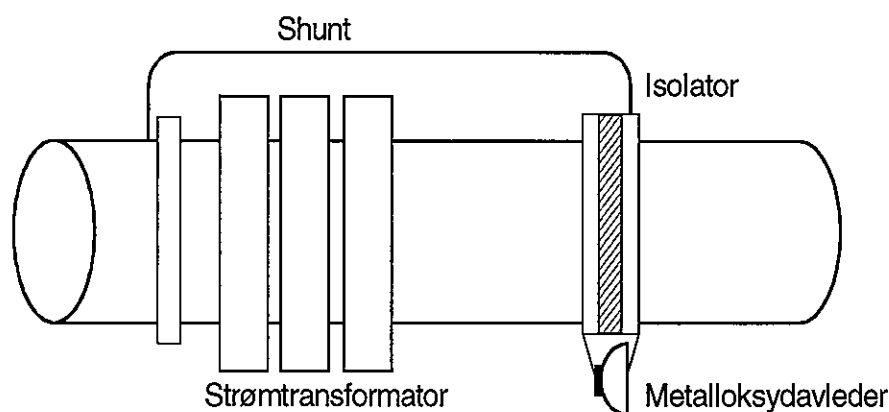
Figur 5.6 Bruk av gnistgap ved overgang fra SF<sub>6</sub>-anlegg til kabel. Nedre del av SF<sub>6</sub>-anlegget er vist delvis i snitt.

### 5.3.3 Overgang til krafttransformator eller reaktor

Som regel er det nødvendig å isolere gods for transformator og reaktor fra SF<sub>6</sub>-kapslingen. For å redusere jordbølgen må det derfor anvendes metalloksydavledere/ulineære motstander rundt omkretsen av den isolerte overgangsflensen på tilsvarende måte som ved overgang til kabel. Gods på transformator/reaktor er da jordet lokalt (til jordnettet).

### 5.3.4 Isolerende skjøter i selve SF<sub>6</sub>-anlegget i forbindelse med utvendige strømtransformatorer

Også i dette tilfellet benyttes metalloksydavledere over den isolerte forbindelsen i kapslingen (fig. 5.7). Her anbefales det også å montere en eller flere jordskinner (shunter) utenfor strømtransformatoren mellom de isolerte delene av kapslingen.



Figur 5.7 Bruk av metalloksydavledere over isolerte skjøter i SF<sub>6</sub>-anlegg.

## **5.4 JORDING AV LAVSPENNINGSANLEGG**

For vanlige lavspenningsanlegg gjelder de samme regler som for andre stasjonsanlegg (kap. 3.4). For kontrollanlegg henvises det til kap. 5.6.

## **5.5 JORDING AV LYNVLEDERANLEGG**

For denne type anlegg gjelder de samme regler som for andre stasjonsanlegg (kap. 3.5).

## **5.6 JORDING AV KONTROLLANLEGG**

For alle kabelføringer til SF<sub>6</sub>-anlegget skal det velges godt skjermede kabler spesielt med tanke på høyfrekvente elektromagnetiske felt og jordbølger. Dette krever tette skjermmer, dvs. viklet folie med stor stigning og stort overlapp eller dobbel folie, for alle kabler som fører lavnivå signal tilknyttet elektronisk utstyr. Alternativt kan en eller flere kabler legges i rør eller lukkede metalliske kanaler.

Skjerm, rør og/eller kanaler må forbindes effektivt til apparatgods eller kabinett; dvs. med tette forbindelser og størst mulig flatekontakt. Også i kontrolltavle/skap må skjermen jordes mest mulig direkte til jordskinner med god forbindelse til platekapsling ved innføringen. (Se forøvrig kap. 3.6).

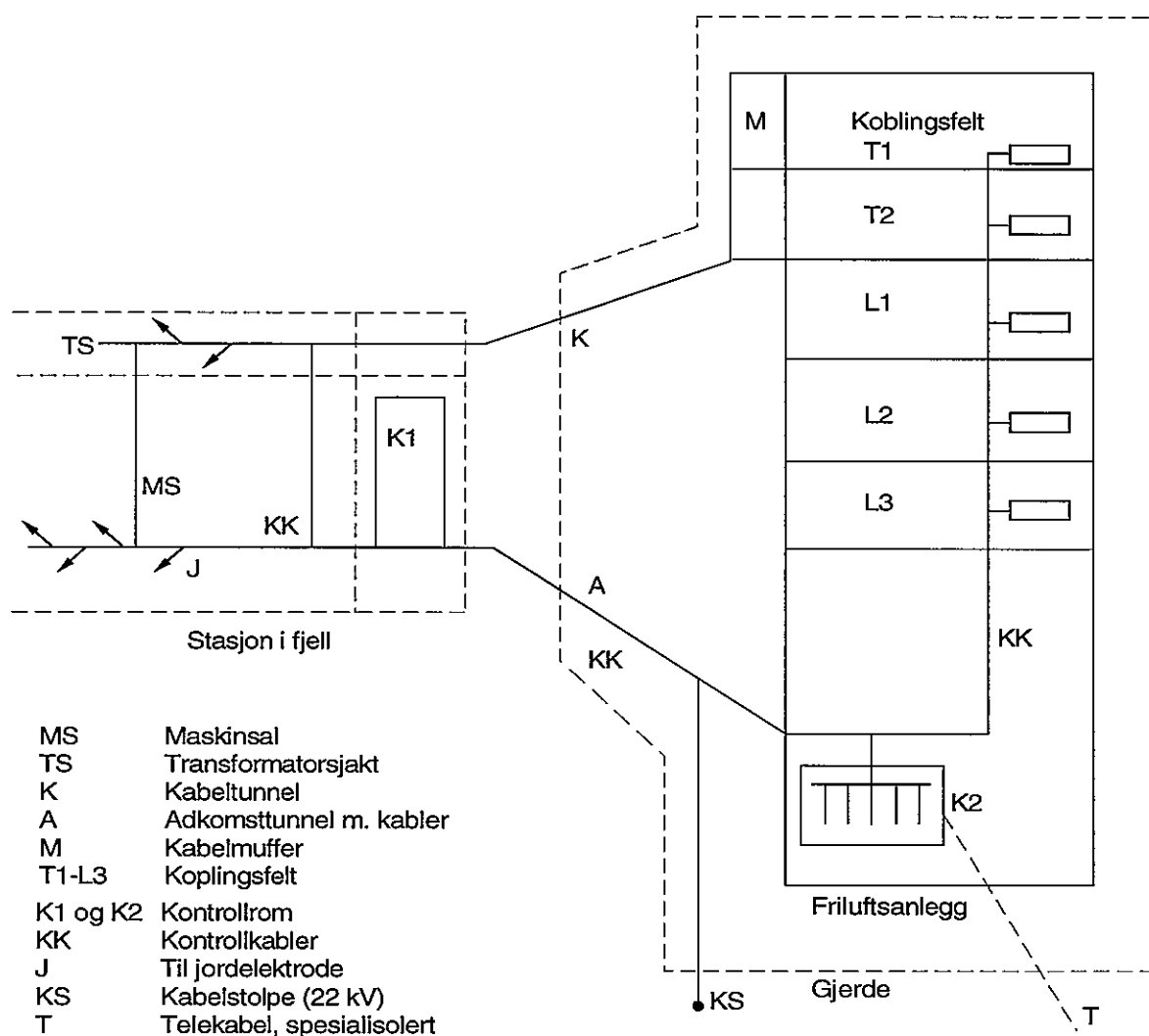
Kabelføringer til SF<sub>6</sub>-anlegget skal gå mest mulig rett inn i anlegget og ikke på langs. Kabelføringer som ikke går til SF<sub>6</sub>-anlegget legges i så stor avstand fra dette som praktisk mulig.

Ved bruk av spesielt følsomt elektronikkutstyr kan det være nødvendig å plassere dette i skjermet rom dersom det også opptrer betydelige transiente elektromagnetiske felt og jordpotensial.

## 6 JORDING I KRAFTSTASJONER

### 6.1 GENERELT

Forskriftene FEA-F, [5] angir ikke noe spesielt for kraftstasjoner når det gjelder jording. Forskriftene for stasjonsanlegg gjelder både for kraftstasjoner og transformatorstasjoner. I praksis vil begge typer anlegg finnes innenfor samme gjerde eller bygning eller ligge relativt nær hverandre innenfor en avstand på ca 1 km. Derfor skal de jordingsmessig sammenkoples med minst to forbindelser som er dimensjonert for den maksimale del av jordfeilstrømmen som kan flyte gjennom den (fig. 6.1). Forbindelsene kan bestå av jordlinjer, toppliner og kabelskjermer (langs jordlinjer).



Figur 6.1 Prinsipiell sammenkopling av forskjellige jordingsanlegg.

Kraftstasjoner er til dels ansett for å ha et gunstigere EMC-miljø enn transformatorstasjoner pga. lavere spenningsnivå og koplingstransienter og tildels mindre risiko for lynnedslag. Det siste er neppe riktig i mange tilfeller når både kraft- og transformatorstasjoner er i samme bygning eller i fjell. Risikoen for lynnedslag er normalt større ved høyere spenningsnivå der anlegget er delt (kraftstasjon og friluftskoplingsanlegg). Men her blir det normalt større avstand mellom anleggene, og lynstrøm kan avledes i friluftsanlegget dersom det er tilstrekkelig lav jordmotstand. Mulige ekstra tiltak for å unngå skader pga. lyn i kraftstasjonen er jordspyd i tillegg til jordmaskenettet i koplingsanlegget og jordelektroder tilkople mellom kraft- og transformatorstasjon. Det ligger også muligheter til å redusere jordmotstanden i utformingen av kraftstasjonens jordingsanlegg (kap. 6.2, siste avsnitt).

## 6.2 JORDELEKTRODER I KRAFTSTASJON

For stasjoner i bygninger er de viktigste elektrodene fundamentjordinger, avløpsrør og eventuelt tilløpsrør. Armeringsjern i betongen bør utnyttes til jordelektrode i hele bygningens omkrets. Tørr betong gir ikke noe bidrag til å senke jordmotstanden. Kobberledere kan legges under fundamentene, men helst langs utvendig drenering. Betongen skal dekke armeringen med minst 5 cm tykkelse når kobberledning er i nærheten for å hindre korrosjon. Innendørs anlegg av hovedjordledere skal forbindes til elektroderingen og fundamentarmeringen i minst to punkt.

Eventuelt friluftskoplingsanlegg skal ha jordnett som beskrevet under kap. 3.1 og skal forbindes med minst to jordledere på minst 50 mm<sup>2</sup> kobber til kraftstasjonens elektrodeanlegg. De må tåle de 50 Hz feilstrømmer som kan flyte i forbindelsene. Tilkoplingen skal skje nær de samme punkt som sammenkopler fundamentjording/jordingsring og innendørs jordingsanlegg slik at lyn- eller feilstrømmer fra friluftsanlegget ikke unødig får flyte i innendørsanlegget. Denne løsningen innebærer at også kabelføringer mellom de to anleggene går via de samme jordingspunkt slik at kabelskjermer kan jordes på samme sted dersom det er høy jordmotstand i friluftsanlegget. Jording ved endepunktene skal likevel ikke sløyfes.

Hovedjordingsanlegget innendørs skal bestå av ringer/masker arrangert slik at det er minst to veier til jord fra alle viktige anleggsdeler; f.eks. høyspenningsanlegg, kontrollanlegg og viktige strømforsyningsanlegg. For kraftstasjoner i fjell er de mulige jordelektrodene bare fundamentjordinger, tilløpsrør og avløpsrør. Tilknytning til friluftsanlegg skal skje med minst



to jordledere, vanligvis i kabeltunnel og adkomsttunnel. Ved fuktige fundament er det viktig å utnytte armeringsjern til elektrode. Ellers kan kobberwire eller bånd støpes inn mellom fjellet og betongen der hvor det synes å være fuktighet tilstede.

I et fjellanlegg er det i praksis umulig å oppnå en konsentrert sammenkopling av alle jord-elektroder med jordledninger fra friluftsanlegget. Men på planleggingsstadiet kan det være mulig å velge et EMC-vennlig konsept med f.eks. to eller flere hovedjordliner på hver side av maskinsalen til å samle opp forbindelser fra elektrodene.

### **6.3 JORDING AV HØYSPENNINGSANLEGG**

I den utstrekning det er relevant anvendes regler og anbefalinger i kap. 3.3.

### **6.4 JORDING I LAVSPENNINGSANLEGG**

Regler og anbefalinger i kap. 3.4 kan anvendes.

### **6.5 JORDING AV LYNVLEDERANLEGG**

Kap. 3.5 kan anvendes både for bygninger og friluftsanlegg.

### **6.6 JORDING I KONTROLLANLEGG**

Kap. 3.6 og 3.7 kan stort sett anvendes. Men det kan i stor grad anvendes jording av kabelskjermer bare i en ende bortsett fra kabler fra høyspennings måletransformatorer og/eller friluftsanlegg. For målekretser med elektronisk sensor eller annet elektronisk utstyr i felten anbefales likevel kabelskjermer jordet i begge ender. Videre anbefales parkabel og galvanisk skille i signalkretsen hvis den skal jordes i begge ender. For valg av kabel se tabellene 3.3 og 3.4.



## **7 JORDING VED KRAFTLEDNINGER**

### **7.1 GENERELT**

Forskriftene FEA-F angir i §101 at følgende anleggsdeler skal jordes:

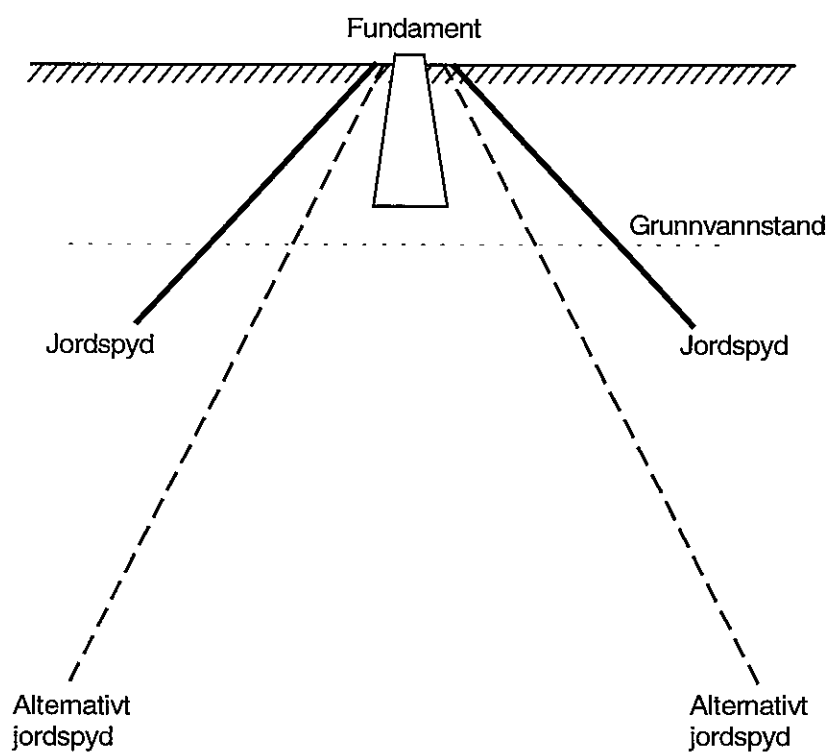
Stålmaster, armeringsstål i betongmaster, beslag ved transformatorarrangement, bryterstativ o.l. og isolatorfester på bygninger. I tremastlinjer uten jordledning skal barduner alltid isoleres. Isolator skal være plassert i en høyde av minst 2,5 m over marken og ikke høyere enn eventuell jordleder, utgående lavspenningsledninger og høyspenningsgjennomføringer på transformatorer. Isolasjonen kan bestå av en eller flere isolatorer for en samlet overslags-spennning i våt tilstand som er minst lik anleggets driftsspennning. Hvis konstruksjonsdeler i tremaster jordes, skal samtlige metalleder, også isolatorfestene, jordes. Dersom tilstrekkelig jordforbindelse (lav jordmotstand) ikke kan oppnås på stedet, skal det på mastene anbringes en gjennomgående jordledning som forbindes til jordelektroder på et tilstrekkelig antall egnede steder.

Generelt skal de anleggsdeler som skal jordes tilknyttes jordelektroder ved mastene eller til gjennomgående jordledning. Gjennomgående jordledninger skal tilknyttes jordingsanlegg i de tilsluttede stasjonene og dessuten til jordelektroder langs ledningen i nødvendig utstrekning, men normalt med høyst ca 1 km innbyrdes avstand.

Ved tremastlinjer uten gjennomgående jordledning skal det på passende steder anordnes jordelektroder og fastpunkter for tilkopling av transportabelt jordingsapparat.

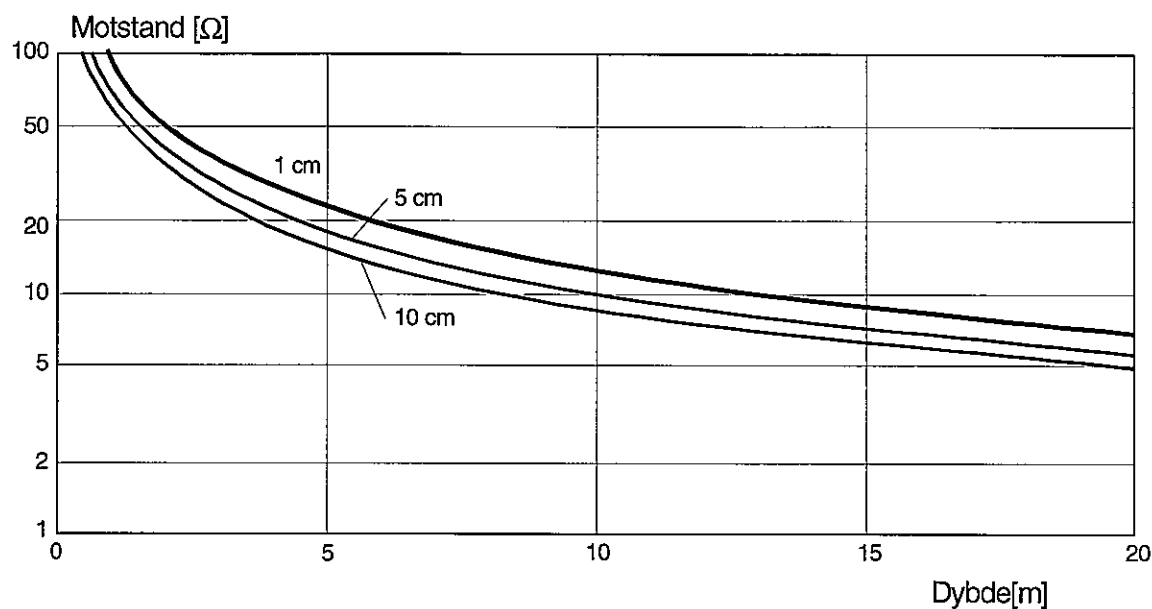
### **7.2 JORDELEKTRODER VED MASTER**

Det er jordelektrodene ved hver enkelt mast som bestemmer impulsmodstanden, også når der er gjennomgående jordline. En enkelt jordline har en bølgeimpedans på ca 500  $\Omega$  sett i hver retning; dvs. ca 250  $\Omega$  sett fra masten. To liner i 5-10 m innbyrdes avstand har en bølgeimpedans på ca 300/150  $\Omega$ . Virkningen av jordelektroder i nabomastene gjør seg gjeldende etter ca 1  $\mu$ s hvis spennvidden er 150 m. Jording i nabomast kan derfor bidra til å begrense atmosfærisk overspenning pga. strømstøt som ikke når maksimal steilhet på fronten før etter 1  $\mu$ s ved spennvidde  $\leq 150$  m.

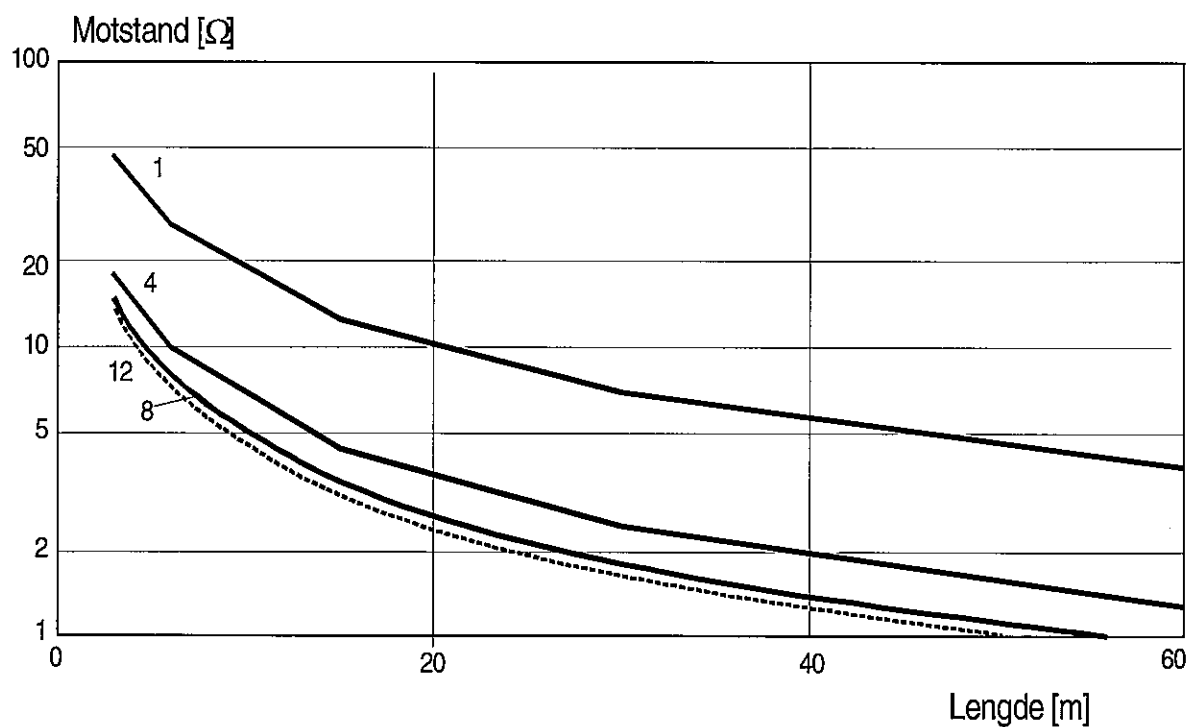


Figur 7.1 Plassering av jordspyd ved mastefundament.

For å oppnå lav impulsmodstand bør det anvendes fundamentjording (armering ved betongfundament) og i tillegg jordspyd der hvor det er dyp jord ( $>1$  m) eller en jordingsring rundt fundamentet i ca 1 m avstand dersom det er et jordlag på 0,3-1 m. Jordspyd er mest effektive hvis de drives ned på skrå fra fundamentet (fig. 7.1). Det gir kortest mulig jordforbindelser til masten og best mulig spredning av strømmen i jorda. Samtidig blir det en stabil telefri jord hvis lengden er over 2-3 m. En skråvinkel på  $45^\circ$  er et rimelig kompromiss mellom ønsket spredning og dybde. Hvis spydene må gjennom et lag med dårlig ledningsevne ved overflaten kan de alternativt drives noe mer skrått nedover. Antall spyd kan være 3-4 ved enkeltmast, 2-3 pr. fundament ved H-mast og 1-2 pr. fundament ved master med 4 fundament. Hvis det drives ned lengder på 5-10 m eller mer er det ikke effektivt å drive ned i alle retninger fra flere fundament for samme mast. Retning bort fra masten har i alle fall første prioritet. I praksis må antall spyd og retninger justeres etter terrengforhold og dybde. Jordmodstand for et enkelt spyd er vist i fig. 7.2 som funksjon av lengde. Forskjellen mellom diameter 1-5 cm er bare mellom 10 og 15%, [10].



Figur 7.2 Beregnet jordmotstand (lav frekvens) for et enkelt vertikalt jordspyd som funksjon av dybde (spydlengde) [10]. Parameter er spydets diameter. Jordresistivitet 100  $\Omega\text{m}$ .



Figur 7.3 Beregnet jordmotstand (lav frekvens) som funksjon av lengden for horisontale elektroder som stråler ut fra et felles punkt. Antall elektroder er parameter. Nedgravingsdybde 0,3 m. Homogen jord med resistivitet 100  $\Omega\text{m}$ .

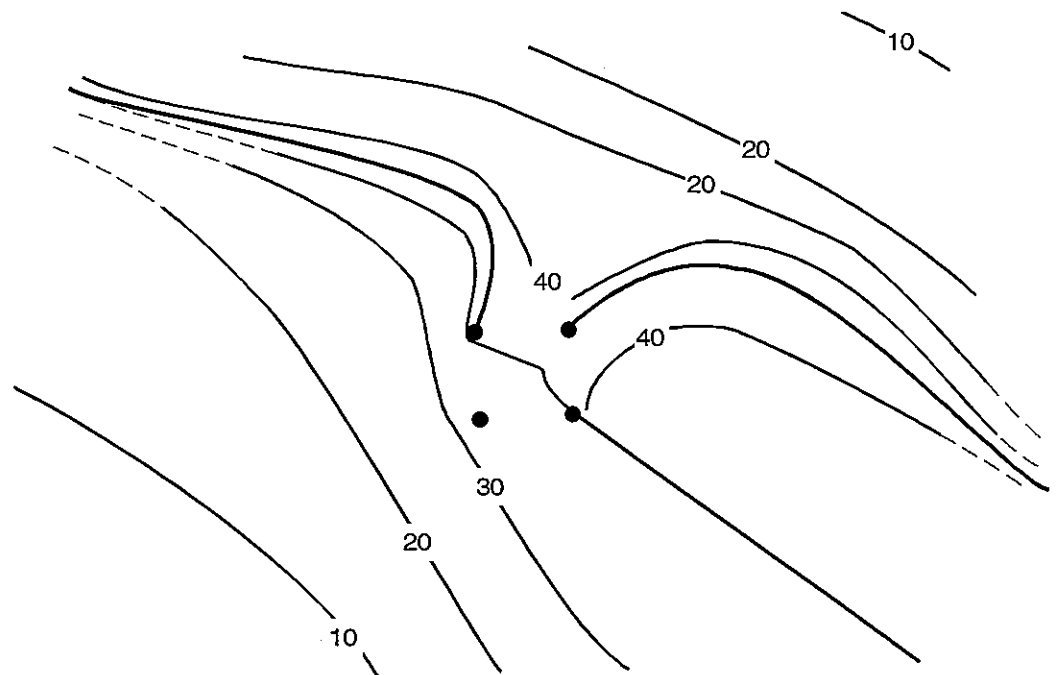
For flere skråstilte spyd kan kurver i fig. 7.3 for horisontale elektroder, [10], brukes som et estimat fordi en litt mindre middelvstand mellom spydene betyr en viss økning av motstanden mens større dybde gir en reduksjon av motstanden. Det er for alle kurvene forutsatt homogen jord med resistivitet 100  $\Omega\text{m}$ . Jordmotstanden er direkte proporsjonal med resistiviteten.

Spiralformede elektroder av kobberwire kan legges både rundt betongfundament og rundt trestolper. Spiraler er ingen god form for impulsjording pga. induktiviteten. Det er sannsynligvis bedre å legge en enkel sløyfe ned på den ene siden og opp på den andre siden i størst mulig avstand, eventuelt med en ekstra rundgang i bunnen. En annen mulighet er å legge to spiraler viklet hver sin veg. Men i mange tilfeller er det lite å vinne med kobberwire omkring fundamentene f.eks. hvis der bare finnes dårlig ledende masse til påfylling.

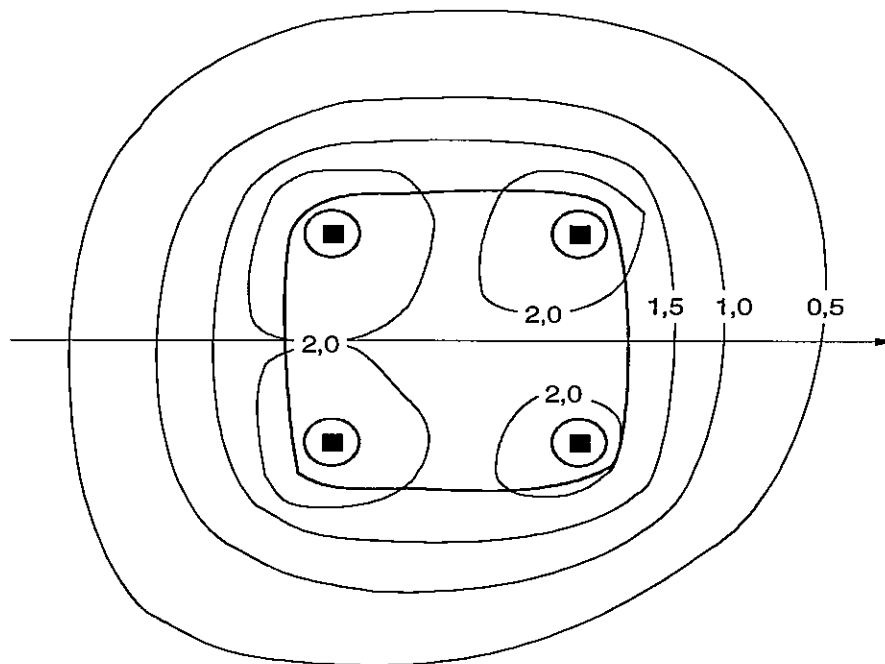
På den annen side vil godt ledende masse omkring bunnen av fundamentet alene gi en bedre kontakt mellom fundament og fjell eller annet underlag. Såfremt godt ledende masse (leire, myr eller annen jord) er tilgjengelig må den legges i bunnen av fundamentgropen. På toppen er det av hensyn til skritt- og berøringsspenninger en stor fordel å ha stein og puk.

I utmark og fjellterreng er det ofte ikke mulig å oppnå tilfredsstillende lav jordmotstand bare med fundamentjording, og jordspyd kan sjelden anvendes. Det eneste alternativ er da jording med horisontale jordledere som i praksis må graves ned til størst mulig dybde. En minimum dybde på 0,3 m bør tilstrebes. Hvis jordlag med dybde over 1 m forekommer bør det suppleres med jordspyd.

En ulempe med horisontale elektroder er at det blir store skrittspenninger ved endepunktene. Derfor bør ikke elektrodene være for lange men begrenses til ca 50 m eller mindre. For å få lav impulsmotstand er det bedre å legge flere elektrodegrener, f.eks. 4, mest mulig jevnt fordelt omkring masten. Elektrodene bør om mulig avsluttes på et sted hvor den kan graves ned til litt større dybde enn ellers. Figur 7.4 viser en skisse av tre horisontale elektroder ved en mast fundamentert på fjell med tynt jordlag. Elektrodene er omgitt av målte ekvipotensiallinjer. Maksimal berøringsspenning på mastefoten uten horisontal elektrode er ca 25% av jordpotensialet. På de andre fundamentene ble maksimale berøringsspenninger målt fra < 10% til ca 22%. Skrittspenninger på tvers av elektrodene var ca 20% i 20 m avstand fra masten og ca 30% ved endepunkt i 40-50 m avstand. Til sammenligning er det på figur 7.5 vist ringelektroder rundt mastefundament i dyp jord og leire. Her ble maksimal berøringspenning og skrittspenning henholdsvis ca 30% og 25% av jordpotensialet.



Figur 7.4 Skisse av mastejording med 3 stk. horisontale ledere/elektroder i skogsterreng og inntegnede ekvipotensiallinjer [ $V/A = \Omega$ ]. Avstand mellom mastefundamentene er ca 4 m.



Figur 7.5 Skisse av mastejording med jordelektrode rundt hvert fundament og ring rundt hele masten. Dyrket mark. Inntegnede ekvipotensiallinjer [ $V/A$ ].

Alle disse målingene ble foretatt med et instrument med høyohmig inngang ved en av de første 300 kV-ledningene i Norge. Forskjellige nasjonale normer og forskrifter angir nå at skritt- og berøringsspenning skal måles over en motstand som tilsvarer kroppsmotstand (1-3 k $\Omega$ ) og med standard elektroder som tilsvarer fotsåler. Dette gir liten endring av målte verdier ved godt ledende jord, men gir som regel langt lavere verdier ved dårlig ledende jord eller på fjellgrunn. Med gjennomgående jordline som gir en høy grad av potensialutjevning, kan det derfor være vanskeligere å oppfylle krav til berøringsspenning ved master med lav jordmotstand enn ved høy jordmotstand.

### 7.3 IMPULSJORDMOTSTAND

For enkle jordelektroder ved kraftledningsmaster (liner og spyd) er det mulig å anvende forenklede metoder til beregning i forhold til større anlegg [10]. For en enkelt jordline eller spyd kan det angis en maksimal lengde ( $l_{maks}$ ) der videre lengdeøkning ikke gir nevneverdig reduksjon av impulsmotstanden. Denne lengden er avhengig av jordens spesifikke motstand  $\rho$  [ $\Omega m$ ] og en modifisert fronttid. Tiden fram til  $i_{maks}$  er betydelig større avhengig av strømstøtets form.

$$t [\mu s] = i_{maks} / \left( \frac{di}{dt} \right)_{maks} \quad [27]$$

$i_{maks}$  = strømmens toppverdi [kA]

$(di/dt)_{maks}$  = maksimal frontsteilhet [kA/ $\mu s$ ]

Fig. 7.6 viser grafisk sammenhengen mellom  $\rho$ ,  $t$  og  $l_{maks}$ . Samtidig viser figuren stasjonær jordmotstand  $R_j$ ,  $\rho$  og tilhørende lengde på felles akser for  $\rho$  og  $l$ . Den maksimale lengde er lite effektiv for impulsmotstand. Normalt bør derfor lengden av en enkelt line (radial) ikke overstige 50-70% av  $l_{maks}$ . Impulsmotstanden ved lav strømstyrke er da tilnærmet lik stasjonær motstand, men må korrigeres for ionisering omkring jordelektroden ved høy toppverdi av strømmen.

Eksempler på bruk av fig. 7.6:

- 1) For å få en stasjonær jordmotstand på 20  $\Omega$  ved  $\rho = 300 \Omega m$  trengs det en elektrodelenge på 32 m. Vil en dimensjonere jordingen for  $t = 1 \mu s$ , noe som gir  $l_{maks} = 30$  m, må det velges minst to grener á 16 m. Hvis forholdene tillater det, anbefales fire grener á



9,5 m. En må øke total lengde med ca 20% ved fire grener (jfr. fig. 7.3), men får vesentlig lavere impulsmodstand for svært steile støt.

- 2) Ønskes  $20 \Omega$  ved  $\rho = 1000 \Omega\text{m}$  trengs en lengde på 120 m. For  $t = 1 \mu\text{s}$  er  $l_{\text{maks}} = 55 \text{ m}$ . Med fire grener á 36 m oppnås  $20 \Omega$  stasjonær motstand, men impulsmodstanden for  $t < 1 \mu\text{s}$  kan bli litt over  $20 \Omega$ .

Aktuelle lengder for jordspyd er som regel under 10 m, dvs. under aktuelle  $l_{\text{maks}}$  når  $\rho \geq 100 \Omega\text{m}$ .

Impedansen av en enkelt nedleder er av stor betydning.

Spenningfall  $u_L = L(di/dt)_{\text{maks}}$  bør være  $\ll u_R = R_J \cdot i_{\text{maks}}$ .

Eksempel:  $i_{\text{maks}} = 100 \text{ kA}$ ,  $(di/dt)_{\text{maks}} = 50 \text{ kA}/\mu\text{s}$ ,  $R_J = 10 \Omega$  gir  $u_R = 1000 \text{ kV}$ ,  $u_L \approx 75 \text{ kV/m}$ . Dvs. at lengden av nedleder ikke bør være over ca 5 m.

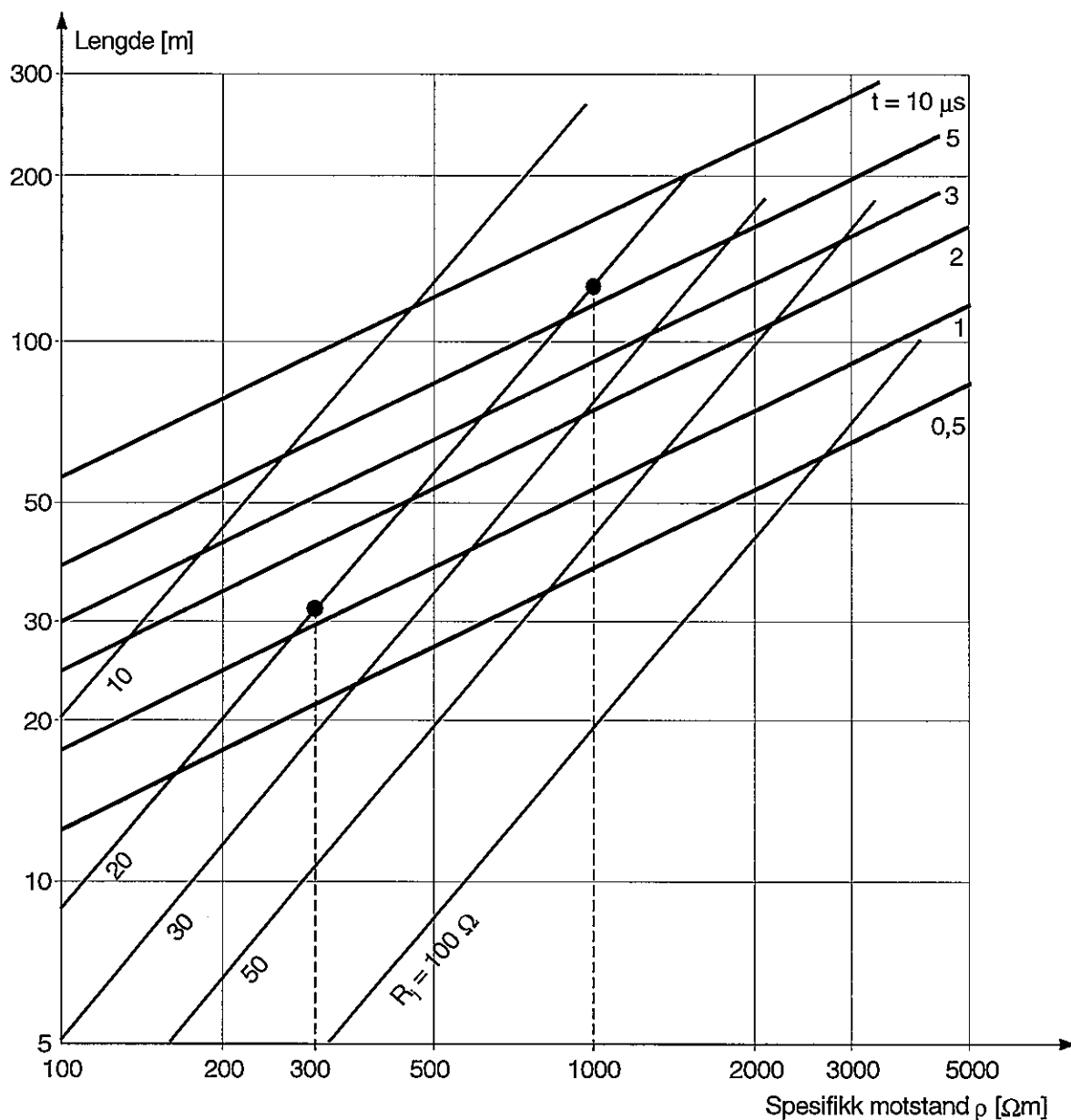
Sterk ionisering omkring jordelektroden inntreffer ved stor strømstyrke og høy jordmotstand som gir høyt jordpotensial. Impulsmodstanden reduseres med en faktor ned til 0,2-0,4 for små elektroder avhengig av jordens elektriske egenskaper. Reduksjonen inntreffer ikke momentant, men normalt før strømmen når toppverdien.

De angitte reduksjonsfaktorer i tabell 7.1 er satt opp på grunnlag av målinger på jordspyd [30].

Tabell 7.1. Typiske reduksjonsfaktorer for impulsmodstand i forhold til stasjonær motstand ved ionisering omkring jordspyd som funksjon av strøm pr. meter til jord.

Toppverdi av strøm kA/m		0,5	1	2	3	4
Jordarter	Leire	0,7-0,8	ca 0,6	0,5	0,45	0,4
	Tørr sand	ca 0,7	ca 0,55	0,45	0,4	
	Våt sand	0,6	0,45	0,3	0,2	

Forøvrig er resultatene i tabellen basert på støt med minst  $8 \mu\text{s}$  fronttid og gjelder neppe for kortere tider enn 2-3  $\mu\text{s}$ .



Figur 7.6. Diagram for bestemmelse av stasjonær jordmotstand for jordlinjer (i ca 0,3 m dybde) og maksimal lengde mhp. impulsmotstand.

#### 7.4 JORDLINER PÅ KRAFTLEDNINGER

Alle kraftledninger som er bygd på stål eller betongmaster må som regel ha gjennomgående jordline for å tilfredsstille forskriftenes krav. Denne forbinder et stort antall mastejordinger og gir derfor en lav 50 Hz impedans til jord, avhengig av jordmotstanden pr mast eller pr km og

jordlinens impedans, [10]. Et diagram som angir impedansen til jord for gjennomgående jordliner sett fra en stasjon er vist i figur 3.8 og tilsvarende for begrenset lengde (innføringsvern) er vist i figur 3.9. Midt ute på en kraftledning blir impedansen for gjennomgående jordliner omtrent halvert i forhold til fig. 3.8 fordi det er samme impedans i begge retninger. For å få en enkel tilnærmet beregning ved forskjellige jordmotstander ved mastene, kan middelverdien for de nærmeste 10 mastene i hver retning benyttes. Hvis avstanden til endepunkt av ledningen er mindre enn 3-5 km og ender i en stasjon med impedans til jord som er vesentlig høyere enn jordlinens normale impedans til jord, kan figur 3.9 benyttes for denne retningen. I de fleste tilfeller vil den ende i en stasjon som har lavere impedans til jord, og da blir impedansen via jordlinen lavere enn for gjennomgående jordline i denne retningen (fig. 3.8).

For direkte jordede nett anbefales en eller to jordliner av stålaluminium nr 60 spesial eller tilsvarende ledningsevne fordi dette gir en betydelig reduksjon av den feilstrøm som flyter til jord (reduksjonsfaktor ca 0,7-0,4). Men stålliner kan være nødvendig i værharde områder. Dersom hensikten med jordline bare er å verne mot lyn og å redusere 50 Hz impedans til jord er et linetverrsnitt tilsvarende 25 mm<sup>2</sup> kobber tilstrekkelig fordi det gir liten impedansøkning i forhold til større tverrsnitt ved 50 Hz.

Ved tremastlinjer kreves det ikke gjennomgående jordline. Likevel anvendes dette ofte på 24 kV luftledninger og tildels på 72 og 145 kV-ledninger. En viktig fordel er at det gir stabile utløsekriterier ved jordfeil v.h.a. distansereleer hvis nettet skal ha direktejording. Det gir også kontrollerbare forhold for skritt- og berøringsspenninger selv om krav til disse kan være vanskelig å oppfylle ved direkte jordet nett.

På den annen side er driftserfaringer med tremastledninger uten jordline gode. Atmosfæriske overspenninger vil føre til kortslutning og utkopling. Det samme gjelder også isolatorfeil etter en viss tid når isolatorene er festet i metalltravers. Lavohmig jordslutning er bare mulig i stasjoner og innføringssoner med jordline på kraftledningene.

Relativt lange innføringsvern med så god jording som mulig i alle master anbefales for å redusere jordpotensial i tilknyttede stasjoner (fig. 3.9). Det advares mot å jorde konstruksjonsdeler i master utenfor innføringssonen fordi det kreves jording av alle deler. Det vil ofte kreve jording av et betydelig antall master i alle fall hvis nettet skal være direkte eller lav-ohmig jordet. Dette kan føre til at bruk av gnistgap begrenses til innføringssone med jordline.



## **8 SPEIELLE FORHOLD I ANLEGG MED SYSTEMSPENNING $\leq 24$ kV**

### **8.1 FORSKRIFTSBESTEMMELSER AV SPEIELL BETYDNING**

Forskrifter for jording av lav- og høyspenningsanlegg er gitt i FEA-F §§98-104 og er innledningsvis omtalt i kap. 3.1-3.5 og 3.7. Av spesiell interesse for spenningsnivå  $\leq 24$  kV er følgende.

FEA-F §55, [5] angir at lavspenningsanlegg som forsynes med transformator fra høyspenningsanlegg skal forsynes med en overspenningsavleder (nøytraltavleder) fra transformatorens nøytraltavpunkt på lavspenningsiden til jord hvis ikke lavspenningsviklingen er driftsmessig jordet. Avleder kreves ikke ved smelteovnstransformator o.l. når den kan medføre ulemper for driften. Er lavspenningsviklingen trekantkoplet skal den ene fasen forsynes med avleder til jord.

Avlederen skal danne varig jordforbindelse når det oppstår varig driftsfrekvent overspenning over den. Det skal anbringes en kortslutningsanordning for avlederen slik at utskiftning kan skje uten fare. FEA-F §99.2 angir at jordingsanlegg for systemjording av lavspenningsanlegg skal plasseres nær ved eller i stasjoner med spenningskilder (transformatorer og generatorer). §99-3 gir regler vedrørende felles eller adskilt jording for høy- og lavspenningsanlegg ved transformatorer (se kap. 3.4 side 32).

#### **Kommentar:**

Hovedregelen er at det skal etableres et felles jordingsanlegg dersom ikke individuelle jordingsanlegg med sikkerhet kan holdes adskilt. Forskriftenes krav til sikkerhet ved adskilt jording kan normalt oppnås og må derfor anbefales for blandede nett (radialer med luftledning og jordkabel) av hensyn til forholdene i lavspenningsnettet, særlig ved dårlige jordingsforhold (se kap. 8.2.3).

#### **Høyspenningskabler**

Forskrifter vedrørende jording av kabelskjerm/armering og muffe er gitt i FEA-F §102 og referert i kap. 3.3.2.

§78.10.15 behandler jording ved luftkabler. For selvbærende høyspenningskabel med bæreline og kobberskjerm skal disse jordes i begge kabelender. Dessuten skal armatur og beslag m.v. jordes, unntatt enkle festebeslag. Bæreline og kobberskjerm tillates bare brukt

som eneste ledningsforbindelse for jording av andre anleggsdeler når skjermens tverrsnitt er minst 25 mm<sup>2</sup>. Avgrening av jordledning fra kabelens kobberskjerm eller bæreline tillates ikke andre steder enn ved kabelender, skjøtemuffer o.l. Barduner kreves ikke jordet eller isolert dersom det ikke er blanke høyspenningsførende deler i masten. Det må anordnes jordslutter/tilkoplingspunkt for jordingsapparat i kabelens endepunkt og avgreningspunkt.

§78.10.16: Det må monteres overspenningsavledere i ende- og avgreningspunkt.

### **Lavspenningskabler**

§92 angir at kabelarmering og ledende skjerm eller beskyttelseskappe så vidt mulig skal jordes i begge ender.

## **8.2 HØYSPENNINGSANLEGG MED LUFTLEDNING OG JORDKABEL**

Med hensyn til transformatorstasjoner henvises det til kap. 4.3.

### **8.2.1 Generelt**

Denne nettypen (blandet nett) er utsatt for de samme miljøpåvirkninger som rene luftledningsnett, atmosfæriske overspenninger, mekaniske skader og jordfeil. Luftledningsnettet består av konvensjonelle ledninger montert på stående eller hengende isolatorer og nå i økende grad belagte liner med reduserte faseavstander eller selvbærende høyspenningskabel. Blandet nett har også en del jordkabel som enkelte grener (radialer) eller innskutte seksjoner. Ved konvensjonelle luftledninger er transformatorene normalt plassert i mastearrangement, men etter hvert også i kiosker ved mastefot som ved hengekabelanlegg.

Ved rene jordkabelanlegg både i høy- og lavspenningsnettet er alle transformatorer plassert i kiosker og er i praksis ikke utsatt for atmosfæriske overspenninger. De er også lite utsatt for mekaniske skader og har svært lav feilfrekvens. Med luftledning i lavspenningsnettet kan det være fare for atmosfærisk overspenning både i nettet og i transformatoren.

### **8.2.2 Ledningsanlegg**

Det anvendes i overveiende grad tremaster med eller uten gjennomgående jordline. Jordline kan være nødvendig for å oppfylle forskriftens krav til maksimalt jordpotensial/berøringsspenning ved feil i transformatorarrangement. Dette fører til lavere isolasjonsnivå på ledninger med jordede isolatorfester, men det har neppe betydning fordi det anvendes gnistgap med lavere isolasjonsnivå. Verre er det at jordede isolatorfester gir mulighet for isolasjons-

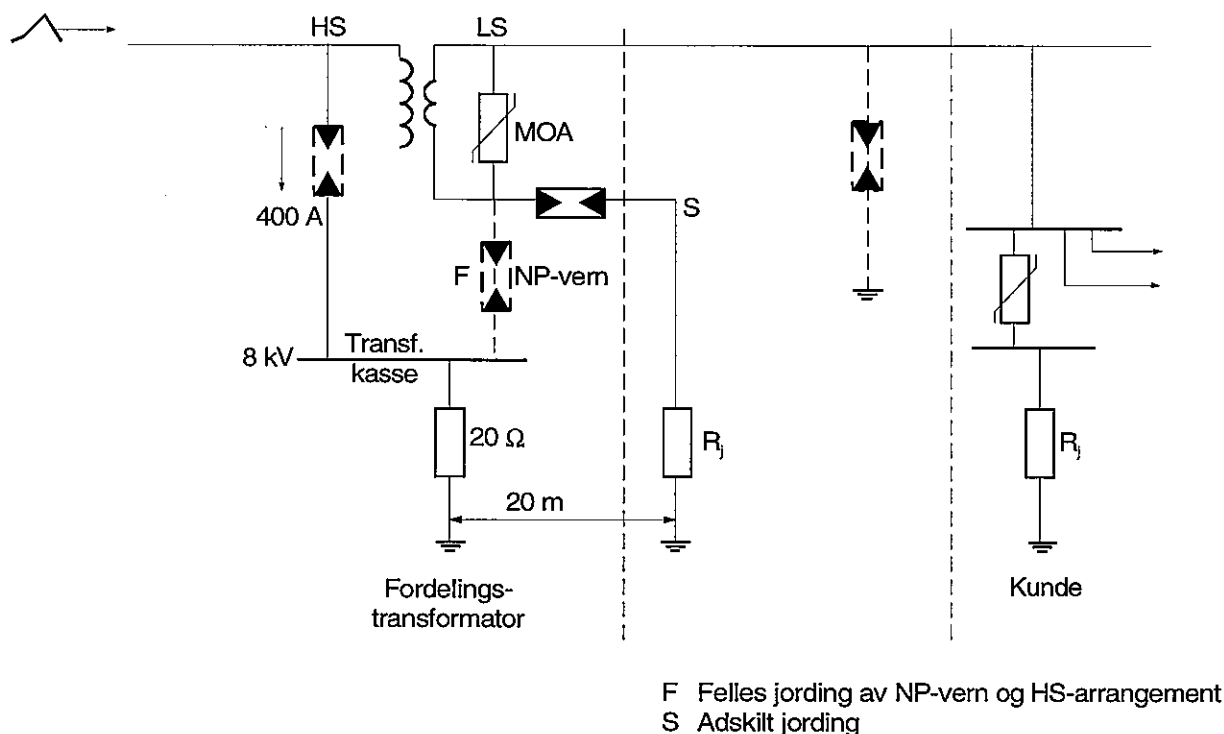
feil/overslag og berøringsspenninger ved alle mastene. Derfor er det bedre hvis det i stedet for gjennomgående jordline kan anlegges tilstrekkelig god jording lokalt ved transformator og i en innføringssone der det er aktuelt å montere gnistgap eller avledere. For hvert gnistgap/avlederpunkt skal det være en lokal jordelektrode med jordmotstand høyst 20-30 ohm eller så lav som praktisk mulig. Det anbefales derfor å anlegge jordelektroder som beskrevet i kap. 7.

Spesielt store og energirike overspenninger kan oppstå ved strømforsyning til radiostasjoner på fjelltopper. Her anbefales gjennomgående jordline, bl.a. for å redusere påkjenningen på overspenningsavledere på toppen. Det må være avledere også der linjen avgrenses fra nettet og så lav jordmotstand som praktisk mulig, gjerne 25-50  $\Omega$  eller mindre.

### 8.2.3 Transformatoranlegg og lavspenningsnett

Overspenningsvern av transformatorer i luftledningsnett har vært et stort problem og feilfrekvensen ligger fremdeles relativt høyt etter mange års forbedringer av overspenningsvernet, figur 8.1. Gjennomgående jordline på høyspenningslinjene har svært liten betydning for overspenningsvernet. Det er vesentlig bedre å ha gnistgap/avledere og lokale jordelektroder i noen av de nærmeste mastene. De viktigste tiltak for vern av transformatorer viser seg å være gnistgap som demper overspenningene før de når transformatoren, og dessuten avledere mellom fasene og nøytralpunktet på lavspenningsiden av transformatoren. Disse avlederne beskytter også høyspenningsviklingen.

De nevnte tiltakene beskytter ikke lavspenningsnettet og kundenes apparater. Dette kan prinsipielt bare gjøres med overspenningsavledere hos kundene og/eller i lavspenningsnettet dersom atmosfæriske overspenninger er det eneste problemet. Men skader i lavspenningsnettet kan tyde på at forskriftens krav til potensialbegrensing ved jordfeil på/ved transformator ikke alltid er oppfylt der hvor det er IT- eller TT-nett på lavspenningsiden, og felles jording for høy- og lavspenningsiden. Enpolet feilstrøm i høyspenningsnettet har i en del nett øket betydelig ved overgang fra spolejording til isolert nøytralpunkt med jordfeilvern. Dessuten har mengden av jordkabel med stort bidrag til feilstrømmen øket. Doble jordfeil kan heller ikke utelukkes. Det er iallfall konstatert adskillige havari av overspenningsavledere i lavspenningsnett (driftsspenning 380 V) som ikke bare skyldes atmosfæriske overspenninger. Det er åpenbart at driftsfrekvente jordpotensial kan gå rett inn på lavspenningsviklingens nøytralpunkt hvis de er over 500-600 V i IT-nett. I TT-nett vil også lavere jordpotensial overføres til nøytralpunktet ved felles jording og forårsake langvarige strømmen som avlederne ikke er dimensjonert for.



Figur 8.1 Jording og aktuelle overspenningsvern for fordelingstransformatorer i luftledningsnett. (Forenklet enfasemodell uten jordlinjer og gnistgap på høyspenningssiden. Supplerende eller alternative avledere er stiplede.)

I figuren er det antatt en innkommende overspenningsbølge som gir en støtstrøm med toppverdi 400 A mot jord. Dette gir med 20 Ω jordmotstand et kassepotensial på 8 kV toppverdi i transformatoranlegget. Potensial over 2 kV vil overføres til lavspenningsviklingens nøytralpunkt hvis det er felles jording. Er det adskilt jording kan potensialet være opp til ca 60 kV (3 kA støtstrøm) før det skjer overslag til lavspenningsiden.

Med en enpolet jordfeilstrom på f.eks. 50 A på høyspenningssiden blir kassepotensialet 1 kV (50 Hz). Forskriftenes krav om maksimal jordpotensial 250 V overstiges allerede ved 12,5 A jordfeilstrom. Jordmotstanden må ned til 5 Ω ved en feilstrom på 50 A. Dette kan i mange tilfeller være vanskelig å oppnå selv om det er gjennomgående jordline i høyspenningsnettet. Enda vanskeligere blir forholdene i beferdet området der kravet til maksimalt jordpotensial er 125 V. Men grensene kan tolkes som berøringsspenning som maksimalt kan være lik jordpotensialet. Derfor kunne høyere potensial aksepteres også til litt over 250 V i IT-nett når det kan dokumenteres at krav til maksimal berøringsspenning er oppfylt. Men for å kunne etablere et tilfredsstillende overspenningsvern i lavspenningsnettet må jordpotensialet begrenses til 250 V ved felles jording.



For å verne kundenes installasjoner bør det i dag ikke benyttes høyere driftsspenning enn 380 V for overspenningsavlederne (250 V jordpotensial pluss 130 V fasespenning). Hvis det ikke er mulig å bringe maksimalt jordpotensial ved enpolet jordslutning under 250 V, må det anvendes adskilt jording i alle fall hvis det ikke er automatisk utkopling av jordfeil i høyspenningsnettet.

Erfaringene synes å vise at adskilt jording ikke svekker overspenningsvernet av transformatoren. Adskilt jording kan sikre et tilfredsstillende overspenningsvern av kundenes apparater og bety relativt sikkert vern mot skader pga. dobbel jordslutning i høyspenningsnettet. Adskilt jording anbefales derfor for transformatorer i luftlinjenett og blandede nett. En sikker adskilt jording kan oppnås både i kiosker og mastearrangement v.h.a. godt isolert jordleder, f.eks. 20 kV enlederkabel. Høyspenningsavleder mellom transformator-kassen og nøytralepunktet kan hindre overslag mellom kassen og lavspennings-sidens gjennomføringer ved dobbel jordslutning slik at langvarig 50 Hz følgestrøm unngås.

En avstand på 20 m mellom jordelektroder for høy- og lavspennings-siden er normalt nok til hindre overslag pga. atmosfærisk og driftsfrekvent potensial. Men det er ikke nok til å gi en nøytral elektrode for lavspenningsviklingens nøytralepunkt dersom jordelektroden for høyspenningssiden har stor utstrekning og lavspennings-sidens elektrode har liten utstrekning. Det er enkelt å kontrollere hvor effektivt skillet er ved målinger. Ved det elektrodearrangement som er vist i figur 7.4 er jordpotensialet fra elektroden i beste fall redusert til ca 1/4 i 20 m avstand.

Der er flere alternativ for å oppfylle forskriftenes krav:

- A Utføre tilleggsjording ved transformator og/eller høyspenningsmaster med jordline. (Kap. 3.2 og kap. 7).
- B Installere slukkespoler (Petersenspole).
- C Foreta omkoplinger i nettet som fjerner mest mulig jordkabel fra luftledningsnettet, dvs. rene kabelradialer og radialer med lite luftlinjer.

Alternativ B og C gir også andre fordeler. Spolen kan slukke lysbuen og dermed eliminere utkopling for kortvarige feil. Alternativ C gir en bedre spenningskvalitet på kabelnettet upåvirket av feil i luftledningsnettet.

I lavspenningsnett med jordet nøytralepunkt og PEN-leder (TN-nett) eksisterer det neppe så store problemer som beskrevet for IT- og TT-nett. PEN-leder gir forbindelse til alle kunders

jordingsanlegg, og om det ikke er godt nok kan det koples ekstra jordelektroder til PEN-lederen på jordingsmessig gunstige steder. I spesielle vanskelige tilfeller kan det også ved TN-nett anvendes adskilt jording.

### **Transformatorkiosker**

Det anbefales bruk av fundamentjording der dette er relevant. Ellers anbefales ringelektrode omkring kiosken og jordspyd der dette er mulig, (kap. 3.5).

### **Overspenningsvern i lavspenningsnettet**

I luftledningsnett og blandede nett anbefales det overspenningsavledere i områder med stor tordenværsaktivitet, eller der hvor det erfaringsmessig oppstår skader på apparater under tordenvær.

Avlederne må plasseres i de utsatte kunders anlegg og forbindes til kundens jordingsanlegg, nær elektroden, for å være fullt effektive.

I enkelte områder kan betydelige overspenninger skrive seg fra atmosfæriske utladninger i transformatorarrangement med felles jording. Det kan da anbefales å plassere overspenningsavledere på lavspenningsledningen mellom transformatoren og nærmeste kunde hvis det finnes brukbare jordingsmuligheter (stiplet i fig. 8.1). Dette kan i høy grad redusere den spenningsbølgen som går videre mot kunder, men ikke alltid nok. Dessuten gir disse avlederne ikke tilfredsstillende vern for alle kundene mot induserte overspenninger i lavspenningsnettet.

## **8.3 RENE JORDKABELANLEGG**

Med hensyn til transformatorstasjoner henvises til kap. 4.3.

### **8.3.1 Høyspenningskabler**

Det anbefales å legge 50 mm<sup>2</sup> (minimum 25 mm<sup>2</sup>) kobber jordline i kabelgrøfter for å avlaste kabelskjerm for feilstrøm og for å redusere jordmotstanden.

### **8.3.2 Transformatorkiosker**

Det anbefales jordelektroder som ring omkring kiosk eller å anvende eventuell fundamentjording som elektrode.

### 8.3.3 Lavspenningskabler

Det anbefales å legge jordline i kabelgrøftene og føre den frem til kundene ved IT- og TT-nett. Med forskriftsmessig dimensjonering som PEN-leder kan nettet da omgjøres til TN-system under forutsetning av kabler uten stålarmoring. Det forutsettes at kundens jordingsanlegg er forskriftsmessig utført med forbindelser til vannrørinntak og kloakkledninger. Framføring av jordline i kabelgrøft anbefales også om det er luftledning i høyspenningsnettet under forutsetning av at det er adskilt jording i transformatoranlegget.



## **9 MÅLEMETODER FOR PLANLEGGING OG KONTROLL AV JORDINGSANLEGG**

### **9.1 GENERELT**

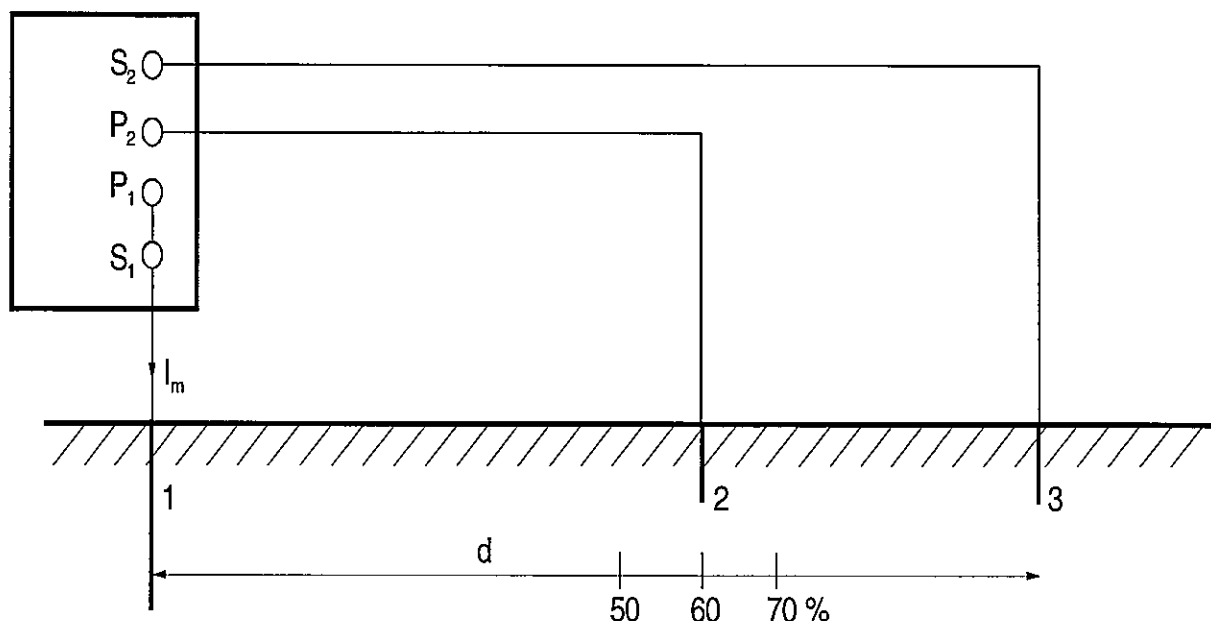
Det er alltid behov for å kontrollere jordmotstand/jordpotensial og eventuelt skritt- og berøringsspenninger for nye anlegg og for å utføre senere kontroll av mulige endringer som følge av skader på jordingsanlegget eller utvidelser i stasjoner. For å muliggjøre en bedre planlegging av nye anlegg anbefales det også å måle jordresistivitet på det aktuelle området for jordingsanlegget. En vanlig jordmotstandsmåler kan som regel benyttes til alle disse målingene ved relativt små jordingsanlegg. En rekke målemetoder er beskrevet i [10]. Her gis det bare en kort oversikt og anbefalinger.

### **9.2 MÅLINGER PÅ RELATIVT SMÅ JORDINGSANLEGG**

Dette gjelder typisk mastejordinger og nettstasjoner i luftlednings fordelingsnett uten gjennomgående jordledning.

Til dette formål kan en vanlig jordmotstandsmåler anvendes. Den har to strømkretser, en for strømmåling og en for spenning/potensialmåling og tre eller fire terminaler. Ved fire terminaler må strøm- og spenningskretsen laskes sammen til måleobjektet slik at en strøm- og en spenningsterminal kan tilknyttes hjelpeelektroder også kalt referanseelektroder (figur 9.1). Foruten måleinstrumentet er det behov for:

- Minst 2 ruller måleledning (å 50 m) til referanseelektrodene (strøm- og spennings-elektrode).
- Minst 2 jordspyd.
- Redskap til neddriving og opptrekking av spyd.
- Skisse over områder og elektroder som skal måles. (Kart over kabler og rør i jorda i tettbygd område.)



Figur 9.1 Prinsipielt måleoppsett for måling av jordmotstand

1. Måleobjekt
2. Potensialelektrode/spenningselektrode
3. Strømelektrode

#### De viktigste krav til måleinstrument:

- Måleinstrumentet skal levere vekselstrøm med frekvens i området fra ca 100 til noen hundre Hz.
- Det skal være utstyrt med filter som i størst mulig grad hindrer forstyrrelser pga. 50 Hz driftsfrekvent spenning.
- Det skal kunne levere tilstrekkelig stor strøm til måling av motstander ned til noen få ohm.

#### Krav til referanselektroder og avstander fra måleobjektet.

Størrelse og materiale i elektrodene er normalt av liten betydning. Strømelektroden må likevel ha så lav jordmotstand at instrumentet klarer å generere tilstrekkelig stor målestrøm. Det kan derfor være nødvendig å bruke flere spyd (i innbyrdes avstand minst lik spydlengden) som strømelektrode når det skal måles lave jordmotstander/elektroder av litt større utstrekning.

For måling av små elektroder anbefales det å sette strømelektroden i en avstand (d) fra målepunktet på måleobjektet som er ca 5 ganger måleobjektets utstrekning (dvs lengde av jordspyd eller diameter i arrangement av markliner). For måling av jordnett uten forbindelse med gjennomgående jordliner, anbefales en avstand på 10 ganger nettets sidekant eller

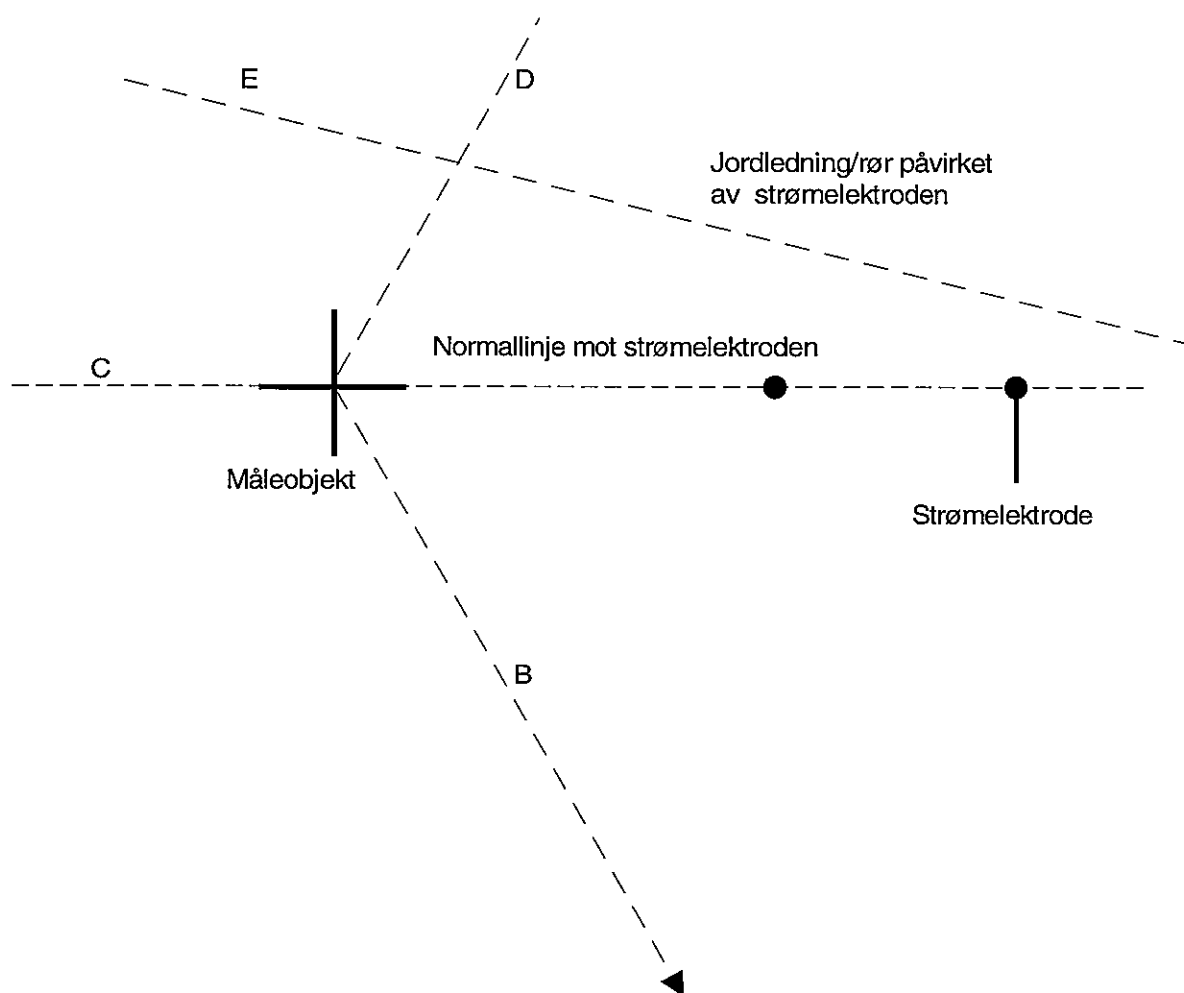
diameter. Potensialelektroden settes mellom måleobjektet og strømelektroden i 60% av avstanden  $d$  fra måleobjektet, dvs. 40% fra strømelektroden (figur 9.1). Det foretas også målinger med potensialelektroden i avstand ca 50% og ca 70% fra måleobjektet. Dersom forskjellen i målingene er mindre enn ca 30% kan målingene anses som pålitelige. Middelverdi bør benyttes. Dersom tilgjengelig fritt område for målinger ikke er stort nok, kan avstanden  $d$  reduseres til ca 3 ganger måleobjektets utstrekning for spyd og markliner og til 6 ganger for jordnett. Ved måling av markliner er det da nødvendig å legge måleretningen den veien linene har minst utstrekning eller størst vinkel mellom linene.

Dersom det finnes ledende rør, kabler o.l. i det området som benyttes til målinger, må potensialelektroden flyttes over et større område og i forskjellige retninger og avstander for å lokalisere slike forstyrrende element og finne det mest pålitelige måleresultat (figur 9.2 og 9.3), [10].

Relativt store jordingsanlegg som f.eks. mast med gjennomgående jordledning på kraftledning kan også måles med bra nøyaktighet med jordmotstandsmåler som har lav målefrekvens og relativt stor målestrøm. Dette forutsetter at strøm og spenningselektrode settes på hver sin side av kraftledningen og at avstanden til strømelektroden er 1-3 km. Avstand til spenningselektroden bør være 100 m, 200 m og gjerne 300 m.

Med 100 Hz frekvens kan målte verdier bli opptil 30% høyere enn ved 50 Hz for godt ledende jordliner. For en jordline 20-50 mm<sup>2</sup> stål blir målefeilen liten ved 100 Hz.

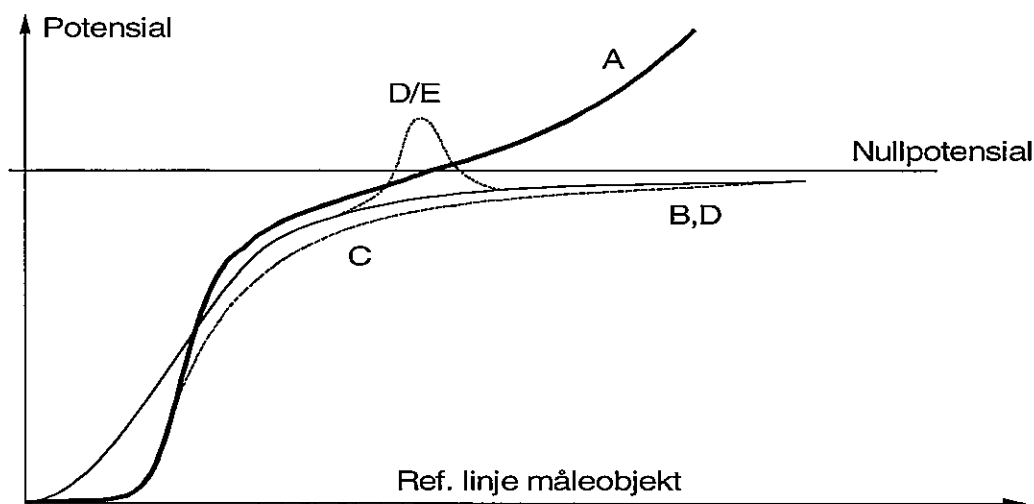
Det må utvises varsomhet ved måling av jordmotstand på anlegg som er i drift og ved fra-kopling og tilkopling av elektroder som skal måles. Arbeidet bør utføres etter en instruks.



Figur 9.2 Aktuelle målelinjer for potensialprofiler fra måleobjekt.

- A :            Normallinje mot strømelektroden.
- B, C og D : Andre aktuelle retninger.
- E :            Jordledning/rør påvirket av strømelektroden





Figur 9.3 Potensialprofiler for måleretninger (linjer) i figur 9.2.

### Berøringsspenninger

Måling av berøringsspenninger (i ohm = volt/amp.) kan utføres med jordmotstandsmåler ved å plassere spenningselektroden 1 m fra den struktur (utsatte anleggsdel) som er måleobjektet [10]. Det skal da benyttes en standard plateelektrode på ca 400 cm<sup>2</sup> (eller 2x200 cm<sup>2</sup>) under trykk av kroppsvekt istedenfor spyd som spenningselektrode. Dessuten skal instrumentet belastes med 1000  $\Omega$  (eller 3000  $\Omega$ ) mellom spenningsterminalene på måleinstrumentet. Internasjonalt normarbeid er for tiden i gang.

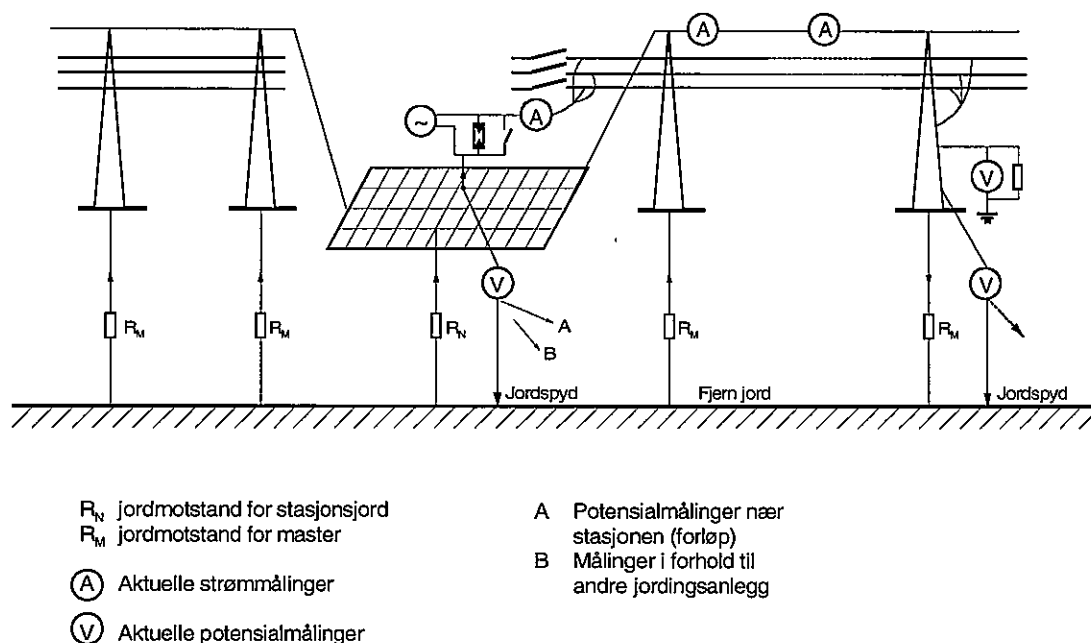
### Skrittspenninger

Måling av skrittspenning kan gjøres med en jordmåler med adskilt spenningskrets (4 terminaler). Skrittspenning (1 m skrittavstand) måles som ohm = volt/amp. mellom standard plateelektroder (200 cm<sup>2</sup>) og med 1000  $\Omega$  (eller 3000  $\Omega$ ) som shunt mellom spenningsterminalene på instrumentet, [10].

## 9.3 MÅLINGER PÅ STORE JORDINGSANLEGG

Dette dreier seg om større stasjonsjordingsanlegg sammenkoplet med gjennomgående jordlinjer på kraftledninger og/eller i kabelgrøfter. For å måle impedansen til jord for slike anlegg må 50-60 Hz målestrøm påtrykkes mellom det ønskede jordingsanlegget og et fjernt jordingsanlegg ved hjelp av mellomliggende kraftledning. En rekke forskjellige varianter av slike målinger er beskrevet i [10]. Det som har vist seg å være mest praktisk/enkelt er å benytte et transportabelt 230 V aggregat som kan levere 10-15 A med justerbar frekvens mellom 50 og 60 Hz. Dette tilkoples mellom alle tre fasene på kraftledningen og jordingsanlegget i den

stasjon som skal måles, eller om ønskelig en mast på en kraftledning (figur 9.4). Som strømførende hjelpejord benyttes fortrinnsvis en annen stasjon der jordforbindelse kan etableres f.eks. vha. jordingskniver. Aggregatet skal tilkoples ledningen via en separat tilkoplingsenhet med overspenningsavledere og jordingskniv.



Figur 9.4 Prinsippskisse for måling av jordimpedans for store jordingsanlegg.

Avstanden mellom måleobjektet og “strømelektroden”, som også kan være måleobjekt, bør være minst 10-20 km når det er godt ledende toppliner/jordliner på kraftledningen. Ved gode jordingsforhold og/eller dårlig ledende jordliner kan avstander ned til 4-5 km aksepteres.

Potensialmålinger utføres normalt mellom stasjonsjord/måleobjekt og fjern jord både vha. feltledning i opp til 1 km avstand (lengst mulig fra kraftledninger med jordliner) og mellom måleobjekt og jordingsanlegg tilhørende f.eks. lokale everk, NSB, Telenor. Telenor og EFI er naturlige samarbeidspartnere ved slike målinger. Telenor vil ofte måle induerte spenninger i telelinjer i nærheten av den kraftledningen som fører jordstrøm. EFI kan bistå med lokale målinger som jordpotensial og berøringsspenninger. Alle disse målingene bør utføres med frekvensselektive voltmeter fordi målefrekvensen ligger nær 50 Hz. Andre metoder er beskrevet i [10].

Stasjonens tilsynelatende impedans mot jord (inklusive virkningen av jordlinjer er gitt som forholdet mellom høyeste målte potensial i forhold til fjern jord og den innmatede målestrømmen.

Med en målespenning på 230 V fordelt på to jordingsanlegg og mellomliggende kraftledning er det normalt ingen risiko for farlige berøringsspenninger pga. målestrømmen. Men varsomhet må utvises av hensyn til mulige jordpotensial pga. feil på anleggsdeler som er i drift.

#### 9.4 MÅLING AV JORDRESISTIVITET

Jordresistivitet i øvre jordlag, f.eks. ned til ca 1 m, kan relativt enkelt finnes ved motstands-måling med jordspyd som drives ned til forskjellige dybder, dybdevariasjonsmetoden, [10]. Resistiviteten ( $\rho$ ) beregnes av den forenklede formel for jordspydets motstand ( $R_j$ ).

$$\rho = \frac{2\pi l R_j}{\ln \frac{8l}{d} - 1} \quad [\Omega m]$$

$l$  er spydets lengde i jord [m]

$d$  er spydets diameter [m]

Med opptil 1 m spydlengde er det nok med 5 m avstand til strømelektroden (3 m til spenningselektroden).

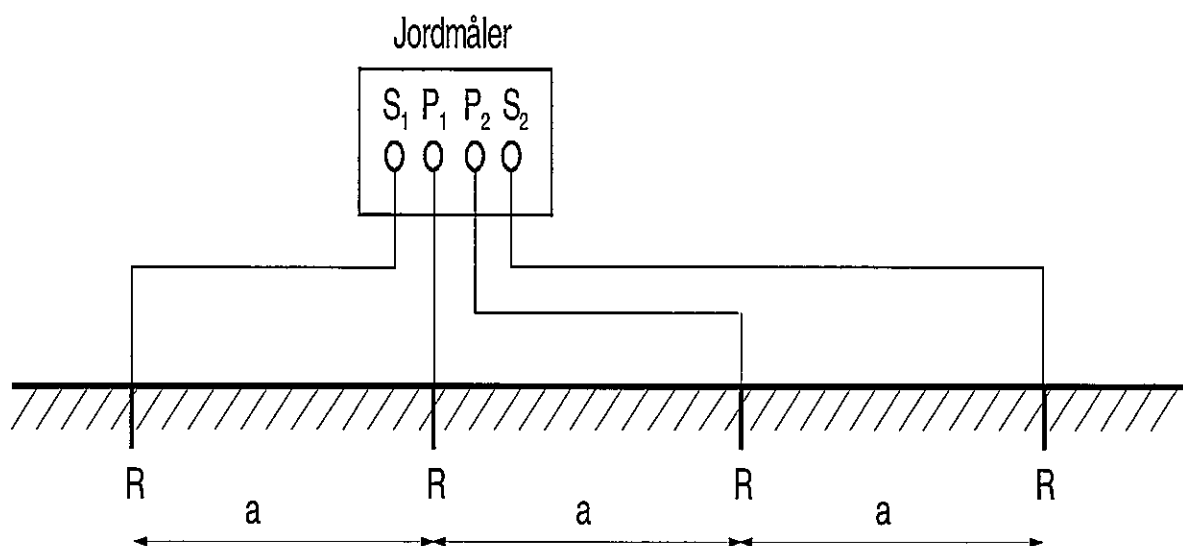
For måling av jordresistivitet ned til 50-100 m dybde benyttes helst den såkalte Wenner-metoden, [10], som er basert på en jordmotstandsmåler med adskilt spenningskrets (4 terminaler). Det benyttes 4 jordspyd i innbyrdes like store avstander plassert på en rett linje, figur 9.5. Målerens strømterminaler forbindes med de ytterste spydene og spennings-terminalene med de midterste. Resistiviteten beregnes av formelen

$$\rho = 2\pi a R_j \quad [\Omega m]$$

$R_j$  er målt motstand [ $\Omega$ ]

$a$  er avstanden mellom spydene [m]

Varianter av denne målingen og modeller for å beskrive resistivitetsvariasjon med dybden er beskrevet i [10].

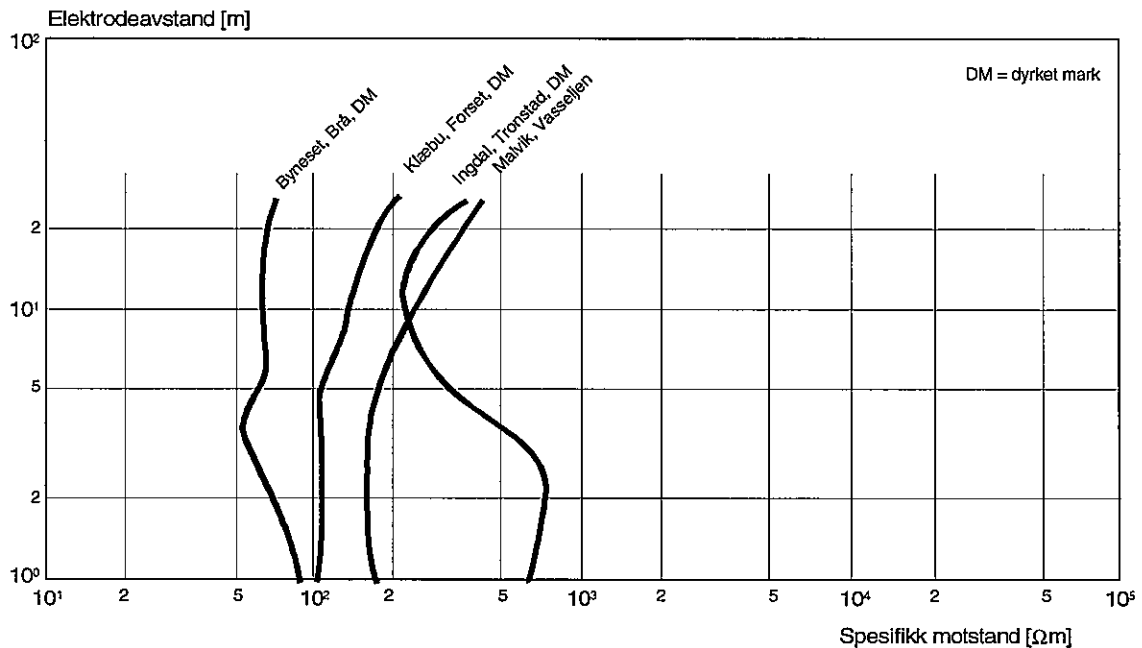


Figur 9.5 Måling av jordresistivitet etter Wenner-metoden.

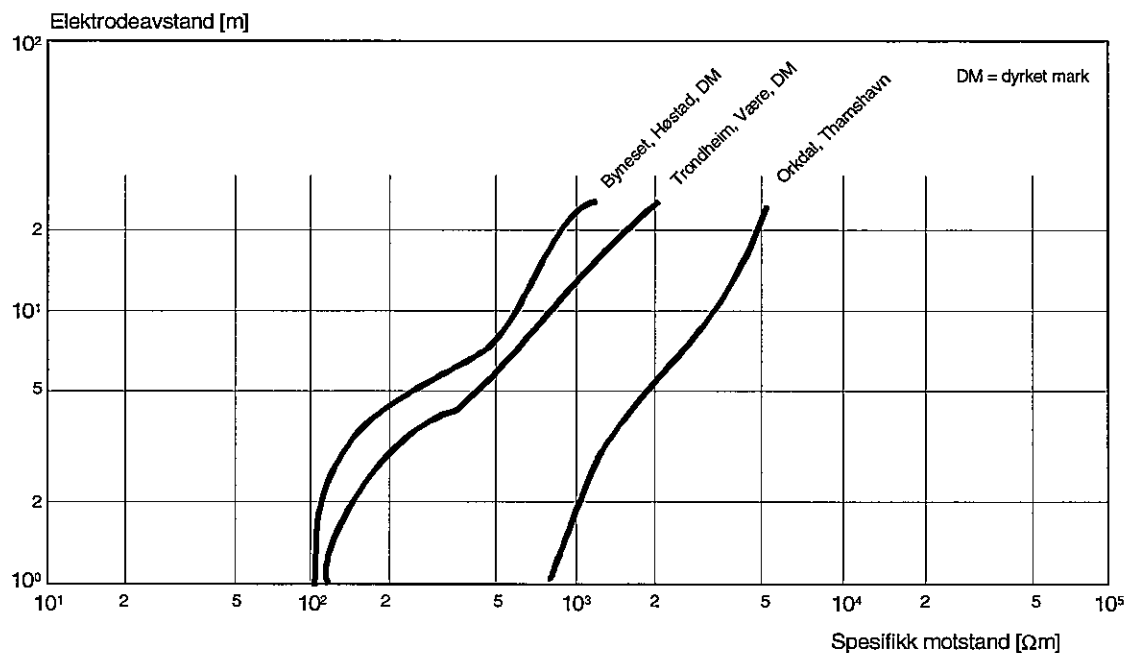
Under norske forhold med ofte sterkt varierende tykkelse av jordlag på fjell kan det bli relativt store variasjoner og uregelmessigheter i målingene. Når et aktuelt område for et jordingsanlegg skal undersøkes, bør det derfor måles langs flere linjer i to forskjellige retninger vinkelrett på hverandre i tillegg til at avstanden  $a$  varieres (f.eks. 1, 2, 4, 8, 16 og evt. 32 m). Dette vil gi en relativt god oversikt over muligheter til plassering av jordelektroder på området. Måleverdiene kan med fordel markeres på de aktuelle posisjoner for spenningselektroderne på forskjellige kart for forskjellige avstander  $a$  (dybder). Figur 9.6 (a-d) viser eksempel på målt resistivitet etter Wenner-metoden.

Måling av jordresistivitet i større dybder er ikke aktuelt med tanke på jordelektroder, men resistiviteten ned til flere kilometer dybde har betydning for induerte spenninger i telelinjer ved jordfeil på kraftledninger. Erfaringsmessig regnes det under norske forhold mest med en resistivitet på 5000 eller 10 000  $\Omega\text{m}$  for beregning av induerte spenninger av 50 Hz. Dette er basert på et stort antall målinger av induerte spenninger ved idriftsettelse av kraftledninger, hovedsakelig 300 og 420 kV. Men det må antas at det i enkelte områder finnes resistivitet på ca 1000  $\Omega\text{m}$  eller lavere også på store dyp. Sjøvann, med resistivitet under 1  $\Omega\text{m}$ , er et element som kan ha relativt stor innflytelse ved stor sjødybde innenfor induksjonsområdet.

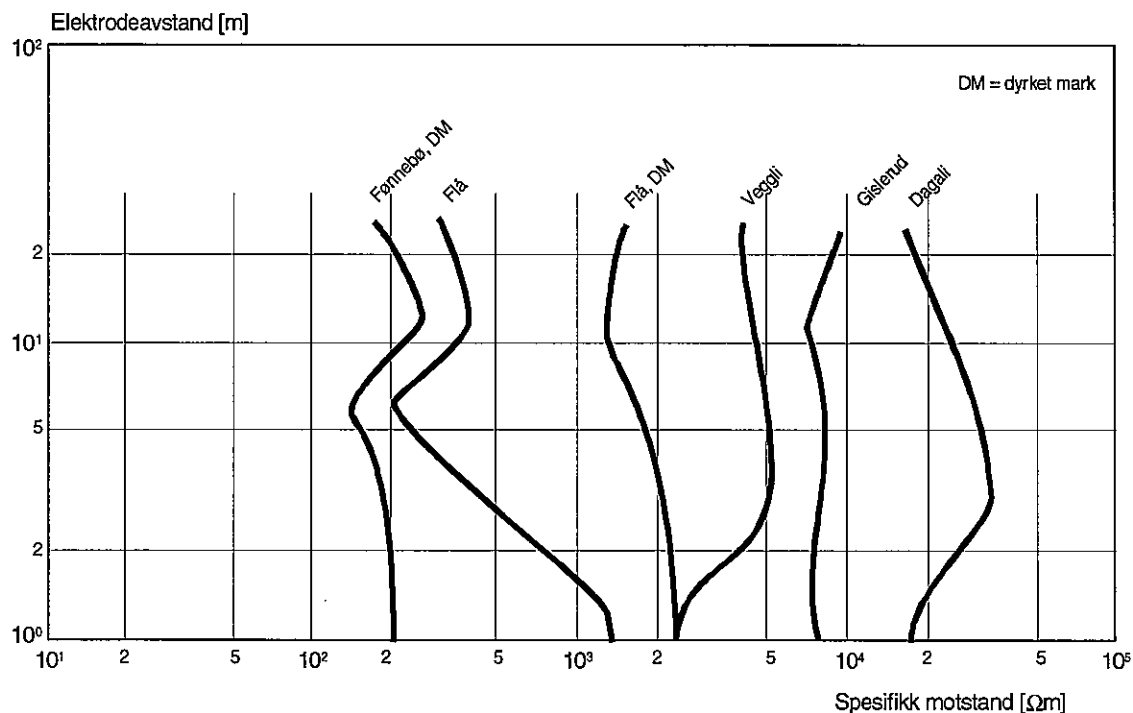
Figur 9.6 Typiske eksempler på målt spesifikk jordmotstand som funksjon av elektrodeavstand (a, b, c) og statistisk fordeling av måleresultater (d).



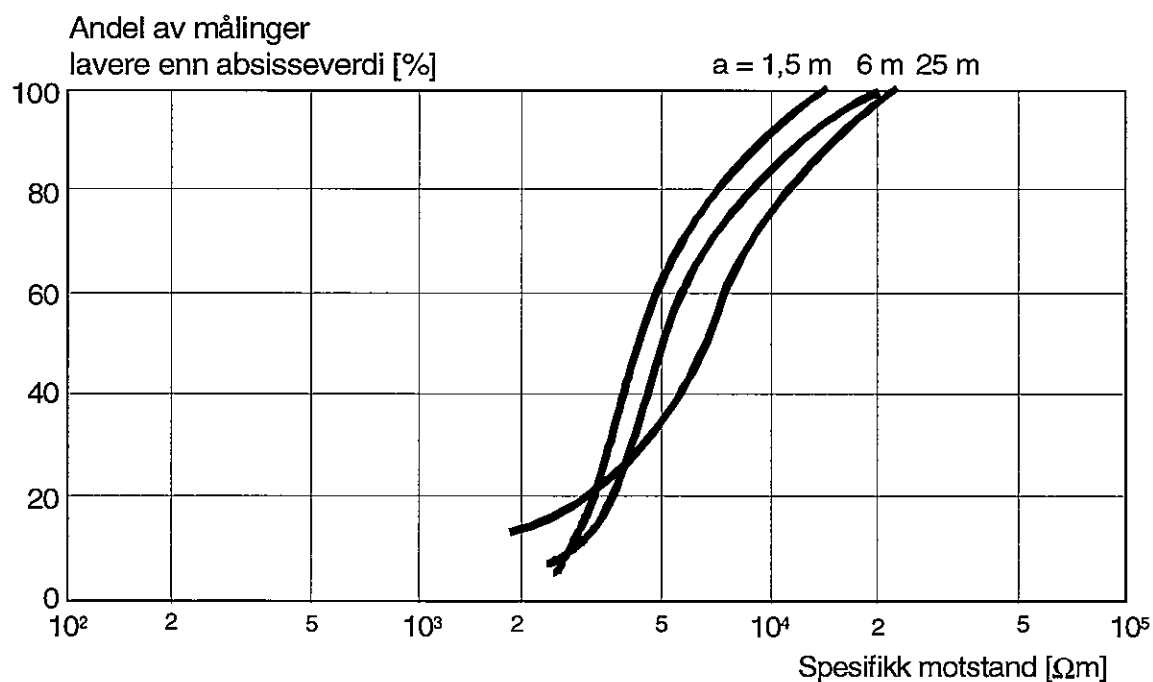
Figur 9.6a. Trondheimsregionen. Tykk havavsetning. 12.-21. juli 1978. Relativt lav og jevn resistivitet. DM = dyrket mark.



Figur 9.6b. Trondheimsregionen. Tynn havavsetning. 12.-21. juli 1978. Resistiviteten øker sterkt i dybden/elektrodeavstanden.



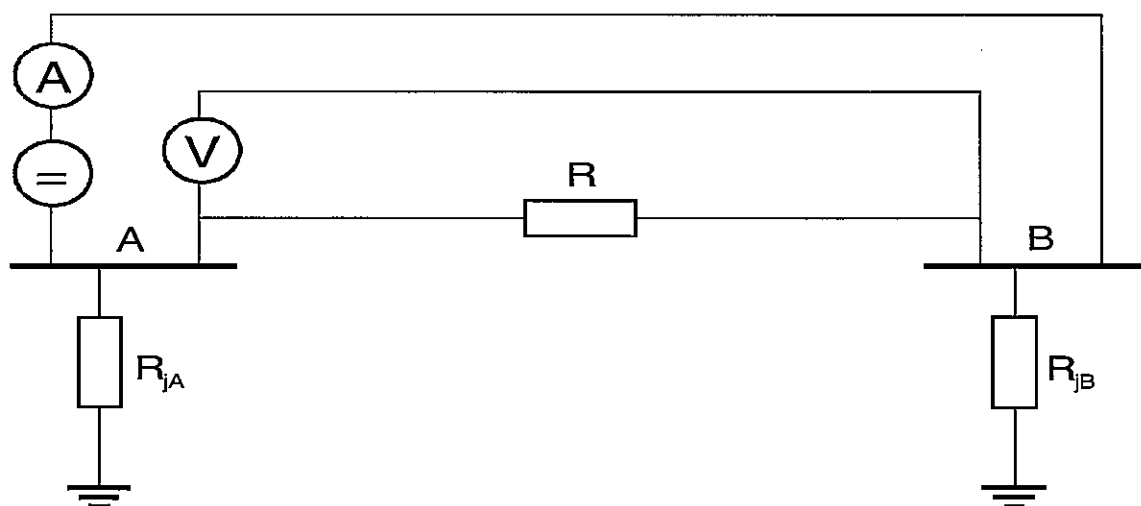
Figur 9.6c. Østlandet, vestlige dalfører. Elveavsetninger 12.-15. Juli 1978. Vesentlig forskjell mellom ulike målested og delvis innenfor hvert område/målested.



Figur 9.6.d Østlandet, vestlige dalfører (Valdres, Hallingdal, Numedal, Sigdal). Tørr morene, skog og fjellterreng, 15 måleplasser, 12.-15. Juli 1978. Relativt liten variasjon med dybde/elektrodeavstand. Få målinger under 2000  $\Omega m$ .

## 9.5 ANDRE MÅLINGER I JORDINGSANLEGG

For å kontrollere om forskjellige deler (A og B) av et jordingsanlegg (se figur 9.7) har tilfredsstillende forbindelse med hverandre, kan det foretas motstandsmåling mellom dem ved å påtrykke en målestrøm og måle den spenningsforskjell som oppstår. Metoden forutsetter at det er et begrenset antall kjente forbindelser mellom de to anleggsdelene slik at måleresultatet kan kontrolleres mot beregninger. I et maskenett f.eks. er det så mange forbindelser at ett eller flere brudd ikke kan konstateres. Det forutsettes også at jordmotstanden for hele anlegget er kjent ( $R_j$  = parallellkoplingen av  $R_{jA}$  og  $R_{jB}$ ) slik at innflytelsen av strømveien gjennom jord kan estimeres. Vanligvis vil motstanden ( $R$ ) i den direkte forbindelsen mellom A og B være  $\ll R_j$  og dermed også  $\ll R_{jA} + R_{jB}$ , slik at den målte verdi vil bli meget nær  $R$ . Denne verdien vil også være lav, ofte mindre enn  $0,1 \Omega$  så lenge det er en forbindelse intakt. Men det bør være mulig å se om en av to eller tre omtrent like forbindelser er brutt, hvis det ikke er ukjente parallelle veier. Det kan være nødvendig å ta hensyn også til kabelbroer eller kabelskjermer.



Figur 9.7 Prinsippskisse for måling av motstand mellom sammenkoblede jordingsanlegg.

Følgende beregningseksempler er basert på så sterk kopling mellom  $R_{jA}$  og  $R_{jB}$  at effektiv sum av dem (parallellmotstanden til  $R$ ) blir tilnærmet lik anleggets resulterende jordmotstand  $R_j$ .

### Eksempel 1:

$R_j = 1 \Omega$ ,  $R = 0,06 \Omega$  (200 m 70 mm<sup>2</sup> Cu).

Målt verdi vil være  $0,057 \Omega$ .

Med  $R = 0,03 \Omega$  (200 m 2x70 mm<sup>2</sup> Cu) vil målt verdi være  $0,029 \Omega$ .

**Eksempel 2:**

$R_j = 0,1 \, \Omega$ ,  $R = 0,1 \, \Omega$  (1 km 2x95 mm<sup>2</sup> Cu).

Målt verdi vil være 0,05  $\Omega$ , dvs. 50% for lavt.

Men sannsynligvis vil det ved så stor avstand være betydelig mindre kopling mellom

$R_{jA}$  og  $R_{jB}$  slik at summen av disse blir minst  $2R_j$  (uten gjensidig kopling  $\approx 4R_j$ ).

På grunn av de lave motstandsverdiene som skal måles, må målingene foretas med likestrøm.

Ved likestrøm blir jordmotstanden i alle anlegg relativt lav dersom det er tilknyttet mange kraftledninger med toppliner/jordliner. Med 2xFeAl nr 60 representerer hver kraftledning en motstand på 1,7-3  $\Omega$  og med 2x85 mm<sup>2</sup> stål 3-5  $\Omega$ , begge deler referert til avledningsmotstand 10-30  $\Omega$ km.



## **10 BYGGING OG KONTROLL AV JORDINGSANLEGG**

### **10.1 UTFØRELSE**

Utførelsen av jordingsanlegg skal tilfredsstille Forskrifter for elektriske forsyningsanlegg (FEA-F) [5], § 100-104. Det bør også kreves at utførelsen tilfredsstiller DIN 57141/VDE 0141 kap. 5, [28]. Arbeidet skal utføres i henhold til godkjente tegninger.

### **10.2 KONTROLL AV JORDINGSANLEGG**

Kontroll av utført arbeid skal foretas kontinuerlig/daglig i de perioder hvor det legges jord-elektroder. Slik sikres det at alle elektroder blir plassert riktig og til riktig tidspunkt i anleggs-arbeidet, og at alle planlagte tamper/elektrodeledninger blir lagt. Kontrollen utføres hvis mulig av bare en ansvarlig person.

Når anlegget er ferdig skal det utføres sluttkontroll før anlegget settes i drift. Kontroll utføres etter følgende sjekklister basert på [29].

- 1) at det foreligger godkjente tegninger av det komplette jordingsanlegget inklusive detaljer i reléskap etc. Dimensjonene av jordlederne skal være angitt.
- 2) at ledninger for apparatjordinger overalt er tilkoblet hovedjordingen.
- 3) at ledninger for apparatjordinger er riktig dimensjonert.
- 4) at ledningene ligger slik at de ikke skades ved ytre påvirkning.
- 5) at forlegning, klemmer, skjøter og tilkoplinger er tilfredsstillende og riktig dimensjonert.
- 6) at jordledningen er ført helt frem til: Enpolig isolerte spenningstransformatorer, overspenningsavledere og telleværk for disse, nøytralpunktavledere for transformatorer, jordingsklemme for krafttransformatorer, nøytralpunktet på transformatorer for tilkopling av jordingsapparater.
- 7) at jordledninger fra avledere for transformatorer er ført korteste vei til jordingen for tilhørende transformator.
- 8) at det er isolert ledning fra avledere til telleværk og at jordledning fra avledere er ført korteste vei til hovedjord og også til jordterminal eller ledende kapsling på objekt som skal vernes ved driftsspenning < 100 kV.
- 9) at sekundærviklingen for måletransformatorer er jordet.
- 10) at det ikke er maling eller annet med isolerende virkning i sammenføyingsstedene for jernkonstruksjoner som er nyttet som jordledning.
- 11) at kjøreskinner med noe utstrekning er jordet.

- 12) at vann og kloakkledninger, takrenner og gelender er jordet i hver etasje og i kjeller foran hovedkran.
- 13) at hovedrørledninger for trykkluftanlegget er jordet i hver etasje og minst et sted i hver anleggsdel i friluftsanlegget.
- 14) at kobberledninger utendørs ikke er i kontakt med forzinkede deler og at forzinkingen ikke er skadet av klammer og festeskruer.
- 15) at stasjonsjord ikke er ført utenfor jordingsområde ved rørledninger, kabler, kjøreskinner e.l. i anlegg med direkte jordet nullpunkt.
- 16) at alle linjeinnstrekkefester i tak og vegger er jordet.
- 17) at alle tilkoblingsmuligheter for arbeidsjordinger er tilfredsstillende.
- 18) at linjejordingen på kraftledninger og kabler er tilknyttet jordingsanlegget.
- 19) at det er foretatt en måling av lokal overgangsmotstand mot jord, som foreskrevet av FEA-F, før tilkopling av linjejordingen.

Sluttkontroll skal også omfatte måling av anleggets jordmotstand/impedans og stikkprøver av berøringsspenning på de antatt mest utsatte punkt, f.eks. gjerde omkring anlegget, randen av jordingsanlegget, rør og skinneganger og andre nærliggende jordingsanlegg tilhørende andre eiere (se kap. 9.3). Ved denne målingen skal jordliner på alle kraftledninger være tilkople. Men ingen faseliner på ledningene skal være jordet i begge ender under målingene. Disse målingene kan tas på et gunstig tidspunkt etter at anlegget er satt i drift. På grunnlag av måleresultatene må det vurderes om jordingsanlegget tilfredsstiller forskriftenes krav til vern mot personfare og krav til vern av tele- og eventuelt lavspenningslinjer som går ut fra stasjonen.

## 11. REFERANSER

1. NK-EN 50081 Electromagnetic compatibility - Generic emission standard.  
Part 1: Residential, commercial and light industry.  
Part 2: Industry.
2. NK-EN 50082 Electromagnetic compatibility - Generic immunity standard.  
Part 1: Residential, commercial and light industry.  
Part 2: Industrial environment.
3. NK-EN 60555/IEC 555 Disturbance in supply systems caused by household appliances and similar electrical equipment.  
Part 2: Harmonics.  
Part 3: Voltage fluctuations.
4. IEC 50 International Electrotechnical Vocabulary.  
Chapter 826: Electrical installations of buildings.  
Geneve: 1982.
5. Elektrisitetstilsynet: Forskrifter for elektriske anlegg. Forsyningsanlegg.  
Oslo: 1994 (ET-1995-FEA-F)
6. Norges Vassdrags- og Energiverk (NVE): Forskrifter for elektriske bygningsinstallasjoner m.m.  
Oslo: 1990 (FEB 91).
7. Norges Vassdrags- og Energiverk: Driftsforskrifter for høyspenningsanlegg med utfyllende orientering av 20. november 1987.  
Oslo: 1988.
8. EFI A/S: Jording av tekniske installasjoner i bygninger. Retningslinjer.  
Trondheim: EFI, 1993.
9. Norsk Brannvern Forening: Lynvernbygg for bygninger.  
Oslo: 1992.
10. Brede, Høidalen, Pleym, Rørvik, Seljeseth: Underlag for beregninger og målinger på jordelektroder i forskjellige elkraftanlegg.  
Trondheim: EFI, 1995 (EFI TR A4254).

11. Lothar Heinhold: Power Cables and their Application 3. rev. ed. 1990.
12. Brede, Rørvik, Høidalen, Seljeseth: Jordingarrangement i elkraftanlegg. Trondheim: EFI, 1994 (EFI TR A4185).
13. IEC 1024: Protection of structures against lightning.  
1024-1: International Standard, 1. ed. 1990.  
1024-1-1: International Standard, 1. ed. 1993.
14. IFEA Publikasjon: Jording i industrielle automatiseringsanlegg (1993).
15. Siemens, divisjon Industri og Skip: Jordingskonsept. Oslo 1994.
16. Brede, Gustavsen, Seljeseth: Induserte spenninger og strømmer fra kraftledninger og kraftkabler til andre lednings-/kabelanlegg. Trondheim: EFI, 1995 (EFI TR A4319).
17. IEC 801: Electromagnetic compatibility for industrial process measurement and control equipment.  
801-2: Electrostatic discharge.  
801-3: Radiated electromagnetic field.  
801-4: Electrical fast transient requirements.  
801-5: Surge voltage immunity requirements.  
801-6: Conducted radio frequency disturbances.
18. IEC: Electrical relays. Single input energizing quantity measuring relays with dependent specified time. Geneve: 1976, IEC-publikasjon nr. 255-4.
19. Lervik, J.K., Kulbotten, H., Klevjer, G.: Induktiv koplet støy i systemer med direkte jordet nøytralpunkt. Trondheim: EFI, 1994 (EFI TR A4100).
20. NVE: Retningslinjer for sikring av kraftforsyningsanlegg. Oslo 1995.
21. CENELEC 60204/IEC 204: Safety of machinery. Electrical equipment of machines.

22. Teledirektoratet. Fagenhet for linjestøy (TLS): Beregning av farespenninger og valg av vernetiltak i Televerkets nett.  
Håndbok for planleggere og saksbehandlere. (3. rev. utg. 1985).
23. ITU-T: Directives concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified railway lines.  
Volume II: Calculating induced voltages and currents in practical cases.  
Volume V: Inducing current and voltages in power transmission and distribution systems.  
Volume VI: Danger and disturbance.  
Volume VII: Protective measures and safety precautions.  
Volume VIII: Protective devices.
24. VDE 0228 Teil 2/1987: Massnahmen bei Beeinflussung von Fernmeldeanlagen durch Beeinflussung durch Drehstromanlagen.
25. Lewis, John et.al., (working group 23.10): Earthing of GIS - An Application Guide.  
Electra, nr. 151, desember 1993, pp. 31-51.
26. The effect of high frequency transient regimes on secondary equipment in gas-insulated substations. Design of the earthing system, low voltage wiring and electronic equipment.  
Electra no 126, October 1989, pp. 95-116.
27. Kindler, H., Lehmann, V.: Design of earthing system used to lightning currents.  
Berlin: 21. Intern. Conf. on Light. Prot. ICLP, 21-25 sept. 1992.
28. DIN57141/VDE0141 Bestimmung für Erdungen in Wechselstromanlagen für Nennspannungen über 1 kV.
29. Statskraftverkene: Instruks for jording av STATKRAFTS stasjoner.  
Oslo: Foreløpig utgave 1990/91.
30. Bellaschi, Armington, Snowdon: Impulse and 60 cycle Characteristics of Driven Grounds-II.  
AIEE Transactions 1942 Vol. 61, p. 349.

**SINTEF Energiforskning AS**  
Adresse: 7465 Trondheim  
Telefon: 73 59 72 00

**SINTEF Energy Research**  
Address: NO 7465 Trondheim  
Phone: + 47 73 59 72 00