Jernbaneverket
Region Sør

Teknisk rapport

Designforbedring

Isolasjons- og jordingskoordinering

Jernbaneverket
Biblioteket

FORORD

Som et ledd i JSs visjon "mot null feil til Stavanger", har regionen valgt å fokusere på designforbedrende tiltak i infrastrukturen.

Denne rapporten er en oppsummering av utredningsarbeid foretatt i designforbedringsprosjektet "Isolasjons og jordingskoordinering", som startet opp februar 1996. Problemstillinger som er fremkommet vil i stor grad også gjelde de øvrige regionene. Tidligere lignende prosjekter ved NSB er "jordingsprosjektet" som resulterte i rapporten "strategi for jording og skjerming", utarbeidet av Ingeniørtjenesten i 1994.

Jernbaneverket Region Sør, Teknisk avdeling, ved Hege Sveaas Fadum har vært ansvarlig for prosjektledelse og gjennomføring. Prosjektansvarlig har vært Arne Kristian Røren med Martin Inge Algrøy som prosjektleder. Prosjektet er koordinert med Hovedkontoret ved Thor Egil Thoresen.

Firmaet TransiNor i Trondheim har utført beregninger med hensyn på overspenninger. Videre har Berdal Strømme vært engasjert til å utarbeide kravspesifikasjoner for isolatorer.

Rapporten er utarbeidet av Hege Sveaas Fadum, med bistand fra Ingeniørtjenesten ved Anna Sofie Mørland

Spørsmål om rapporten kan rettes til: Jernbaneverket Region Sør
Strømsø Torg 1
3006 DRAMMEN
Faks: 32 27 56 33

Kontaktpersoner: o.ing Hege Sveaas Fadum
Tlf: 32 27 58 57

Seksjonsleder Martin Inge Algrøy
Tlf: 32 27 58 56

Drammen, 27. februar 1998

Arne Kristian Røren | Martin Inge Algrøy | Hege Sveaas Fadum

Jernbaneverket
Biblioteket

SAMMENDRAG

Overspenningsfeil på elektroanleggene medfører unødvendige driftsforstyrrelser. Elektroanleggene i infrastrukturen består av flere ulike systemer, og det er behov for en totalvurdering med hensyn på isolasjons- og jordingskoordinering, som er fordelaktig for alle anlegg. Målet på sikt er å eliminere flest mulig av de feil som oppstår på grunn av overspenninger. En koordinering mellom de forskjellige delanleggene vil føre til at vi får en bedre strategi for isolasjon, jording og overspenningsbeskyttelse av elektroanleggene i infrastrukturen.

Med "overspenning" menes både atmosfæriske og driftsfrekvente spenninger som er høyere enn tillatt ved normal drift. Disse spenningene kan være høyere enn det isolasjonen i anlegget tåler og fører til overslag eller gjennomslag. Som følge av dette forekommer driftsforstyrrelser. Hensiktsmessig isolasjons- og jordingskoordinering kan forbedre forholdene.

De viktigste anbefalingene som er fremkommet i dette prosjektet er blant annet:

Galvanisk skille i reservestrømstransformatorer:
Oppnår skille mellom KI-anleggets driftsjord og jordingsanlegget ved el-tekniske hus. Oppnår videre IT-nett på lavspenningsiden av transformatoren.
Overspenningsvern monteres mellom kontaktledning og jord.

Ny kobling av overspenningsvern for sugetransformatorer:
Overspenningsvern monteres mellom kontaktledning og jord på hver side av transformatoren. Oppnår lavere risiko for at lynoverspenninger transporteres over lange strekninger i kontaktledningen som kan medføre indusert støy i paralleltgående anlegg.

Anbefalinger for el-tekniske hus i henhold til beskrevet soneteori:
Felles inntak av kabler til el-tekniske hus.
Opprettelse av radiell jordnettstruktur.
Definere "soner" for å enklere kunne bestemme verne- og isolasjonsnivå.

Strengere krav til dokumentasjon og målinger:
God dokumentasjon er nødvendig for å ha oversikt ved senere arbeider på anlegget, og ved eventuell feilsøking.

Enhetlig impuls holdespenning på isolatorer i kontaktledningsanlegget (170 kV):
- Unngår svake punkter i anlegget.

Viktige forutsetninger i forbindelse med bruk av overspenningsvern:
- god impulselektrode
- korte føringsveier
- riktige merkeverdier
- selektivitet mellom vernene

Krav til lav overgangsmotstand til jord fra elektroder:
Er viktig for at elektroden skal fungere etter hensikten

Anbefalingene vil bli iverksatt på to prøveanlegg i regionen, Oggevatn stasjon og strekningen Gulskogen-Hokksund. Erfaringene herfra bør overføres til øvrige anlegg. På grunn av store stedlige variasjoner, må en se på hvert enkelt anlegg før det er mulig å skreddersy en oversikt over nødvendige tiltak og arbeidsmengde.

INNHOLDSFORTEGNELSE

1. INNLEDNING **4**

1.1 PROBLEMSTILLINGER 4
1.2 MÅL 4

2. BAKGRUNN **5**

2.1 BESKRIVELSE AV EKSISTERENDE ANLEGG 5
2.2 EMC-DIREKTIVET 6
2.3 GENERELT OM SONETEORI 7

3. KRAV TIL JORDINGSANLEGGET **9**

3.1 GENERELT 9
3.2 KRAV TIL ELEKTRODEANLEGG 9
3.2.1 Elektrodens funksjon og utforming *9*
3.2.2 Overgangsmotstand til sann jord *9*
3.2.3 Avstand mellom elektroder *9*
3.2.4 Elektroder for avledning av atmosfæriske overspenninger *11*
3.3 JORDINGSTRATEGI I OG VED EL-TEKNISKE HUS 11
3.3.1 Jordnettstruktur og soneinndeling *11*
3.3.2 Grensesnitt mot everk *11*
3.3.3 Grensesnitt mot kontaktledningsanlegget *11*
3.3.4 Jording av antennemast *13*
3.4 JORDINGSTRATEGI PÅ FRI LINJE 14
3.4.1 Funksjonskrav *14*
3.4.2 Tradisjonelt jordingskonsept *14*
3.4.3 Jordlederkonsept *14*

4. KRAV TIL ISOLASJON **16**

5. KRAV TIL OVERSPENNINGSBESKYTTELSE **17**

5.1 GENERELT 17
5.2 GENERELLE KRAV TIL OVERSPENNINGSVERN 17
5.2.1 Funksjon under normal drift *17*
5.2.2 Funksjon ved overspenninger *17*
5.2.3 Funksjon ved havarert vern *17*
5.2.4 Koordinering mellom grovvern og finvern *18*
5.2.5 Plassering og tilkobling av vern *18*
5.2.6 Gjeldende normer for vern *18*
5.3 DEFINISJONER AV OVERSPENNINGSVERNETS MERKEVERDIER 19
5.3.1 Metalloksidavledere for høyspenningsanlegg *19*
5.3.2 Avledere (varistorer) for lavspenningsanlegg *20*
5.3.3 Gnistgap *21*
5.3.4 Kombinasjon gnistgap/metalloksidavleder *22*
5.3.5 Disneuter *22*
5.4 ANBEFALT VERNENIVÅ (U_{RES}) FOR ULIKE ANLEGG I INFRASTRUKTUREN 23
5.5 STRATEGI FOR BRUK AV OVERSPENNINGSVERN PÅ STASJONER (EL-TEKNISKE HUS) 23
5.6 STRATEGI FOR BRUK AV OVERSPENNINGSVERN PÅ FRI LINJE 24
5.7 BRUK AV OVERSPENNINGSVERN VED HØYSPENNINGSKABLER 24

6. BESKRIVELSE AV PRØVEANLEGG **26**

6.1 OGGEVATN STASJON 26
6.2 GULSKOGEN - HOKKSUND 27

7. TERMINOLOGILISTE **28**

8. VEDLEGG **29**

9. LITTERATURLISTE **30**

1. INNLEDNING

1.1 PROBLEMSTILLINGER

"Designforbedring, Isolasjons og jordingskoordinering" har sitt utspring i prosjektet "Feilfritt til Stavanger", der det fremkom at må det gjøres en tverrfaglig innsats innen elektroanleggene i regionen.

Elektroanleggene i infrastrukturen består av flere ulike systemer, som opererer med ulike frekvenser og spenningsnivå, og som har ulik immunitet overfor elektromagnetisk støy. Overspenningsfeil i elektroanleggene medfører unødvendige driftsforstyrrelser. Feilstatistikk viser at det er spesielt signal- og teleanleggene som er utsatt. Erfaringer tilsier dessuten at isolatorer i kontaktledningsanlegget er utsatt. Det har vært behov for en totalvurdering, for å komme frem til løsninger innen beskyttelsesjording, isolasjonsnivå og overspenningsbeskyttelse som er fordelaktig for alle anlegg.

1.2 MÅL

MÅL		FRIST
På lenger sikt er målet å begrense feil som oppstår på grunn av driftsfrekvente og atmosfæriske overspenninger til et minimum.		
<u>På kortere sikt er målene:</u>		
• Utføre beregninger på prøveanlegg med hensyn på overspenningsbeskyttelse		des. 1996
• Utarbeide kravspesifikasjoner til isolatorer i strømforsyningsnettet, som tar hensyn til elektriske, mekaniske og klimatiske påkjenninger.		des. 1996
• Å ha tilstrekkelig vurderingsunderlag til å kunne anbefale nødvendige tiltak i infrastrukturen.		juni 1997
• Implementere resultatene som krav i nytt teknisk regelverk		juli 1997
• Gjennomføre tiltak på prøveanlegg:		
Oggevatn stasjon	ferdig prosjektert:	des. 1996
	ferdig bygget:	juni 1997
	oppfølging, registrering av evt feil	fortløpende
Gulskogen-Hokksund:	ferdig prosjektert:	des. 1997
(eget redesign-prosjekt)	ferdig bygget:	1998 - 99
	oppfølging, registrering av evt feil	fortløpende

2. BAKGRUNN

2.1 BESKRIVELSE AV EKSISTERENDE ANLEGG

På grunn av manglende koordinering kan en finne ulike løsninger fra sted til sted, og ulike strategier med hensyn på de forskjellige delanleggene. Det er nødvendig med forbedringer på blant annet følgende punkter:

- Manglende dokumentasjon: jordingsplaner (både stasjoner og fri linje), returskjema, elektroders type og plassering, elektrodenes målt overgangsmotstand til "sann jord", kablers beliggenhet i terrenget, mv.

- Jording av reservestrømstransformatorer: Tradisjonelt er høyspennings og lavspenningsviklingen sammenkoblet, og dette punktet kobles også til skinnene. Med denne sammenkoblingen kan overspenninger fra Kl-anlegget forplante seg inn til jordingsanlegget på stasjonen (el-tekniske hus og eventuelle andre installasjoner som får reservekraft fra kontaktledningen)

- Det er stor variasjon i overgangsmotstanden til "sann jord" fra nullpunktet på reservestrømstransformatoren, og ofte er verdien altfor høy. (> 1000 Ω har forekommet)

- Overspenningsvern ved sugetransformatorer (over primærviklingen) er på grunn av driftsforstyrrelser enten fjernet eller ikke erstattet ved feil. Resultatet er at mange sugetransformatorer står uten vern og risikerer isolatorhavari eller skader på transformatoren.

- Det har ikke vært stilt konkrete krav til elektroder mht overgangsmotstand, høyfrekvente egenskaper og plassering. Det finnes heller ikke krav til kontrollmåling av elektrodenes overgangsmotstand.
  Det har ikke vært fokusert på bruk av elektroder som gir lave overgangsmotstander også med hensyn på høye frekvenser (f. eks. 500 kHz).

- Valg av type overspenningsvern er iblant for tilfeldig. Dimensjoneringen, dvs bestemmelse av merkeverdier og avstand til objekt som skal beskyttes er avgjørende for vernets funksjon. Det mangler tradisjon for bruk av impulselektrode som er viktig for overspenningsvernets funksjon.

- Det er ikke konsekvent isolasjonsnivå i kontaktledningsanlegget, både 36 kV og 24 kV - isolatorer er i bruk. Isolatorer med den laveste holdespenningen representerer spesielt svake punkter i anlegget.

2.2 EMC-DIREKTIVET[1]

EMC-direktivet ble publisert i mai 1989 og gjelder for alle EU og EØS land fra 1. januar 1996. Målet med direktivet er å fjerne alle tekniske barrierer for fri handel og å kontrollere den elektromagnetiske forurensingen av miljøet.

Direktivet gjelder for :
- apparater solgt for en definert sluttbruk
- apparater solgt som et system
- installasjoner
  a) hvert enkelt apparat må oppfylle kravet
  b) installasjonen må oppfylle kravet

Funksjonskrav:
De norske forskriftene FEU §27, [4]:
"Apparater...skal være konstruert på en slik måte at de ikke frembringer elektromagnetiske forstyrrelser som overstiger et nivå der radio og telekommunikasjonsapparater og andre apparater kan funksjonere etter sin hensikt. Apparater skal være utført med en indre immunitet overfor elektromagnetiske forstyrrelser, som gjør at de kan funksjonere etter sin hensikt."

Dokumentasjonskrav:
Direktivet pålegger produsenten eller dennes representant i et EU-land å lage en samsvarserklæring som attesterer overensstemmelse med de standardene som er brukt.

Produktstandarder:
CENELEC utarbeider nye standarder for å tilfredsstille kravet i direktivet. Disse standardene deles inn etter to miljøklasser. En klasse for husholdning, forretning og lett industri der kravet til emisjon er strengere enn for den andre klassen som er en klasse for industri. I denne klassen er kravet for immunitet strengere fordi det er forurenset av kraftige støykilder.

CENELEC er i ferd med å utvikle en egen produktstandard for jernbanesystem Den foreløpige utgaven heter prEN 50121, [5]. Den vil i hovedsak ha dette innholdet:
- generelt om ulike jernbanesystem og spesielle forhold med hensyn til EMC
- definisjoner av emisjonsgrenser for jernbane mot omkringliggende miljø
- grenseverdier for emisjon og immunitet i vognmateriell
- grenseverdier for signal og telekommunikasjonsapparater
- grenseverdier for fast installerte apparater som en del av kraftforsyningen

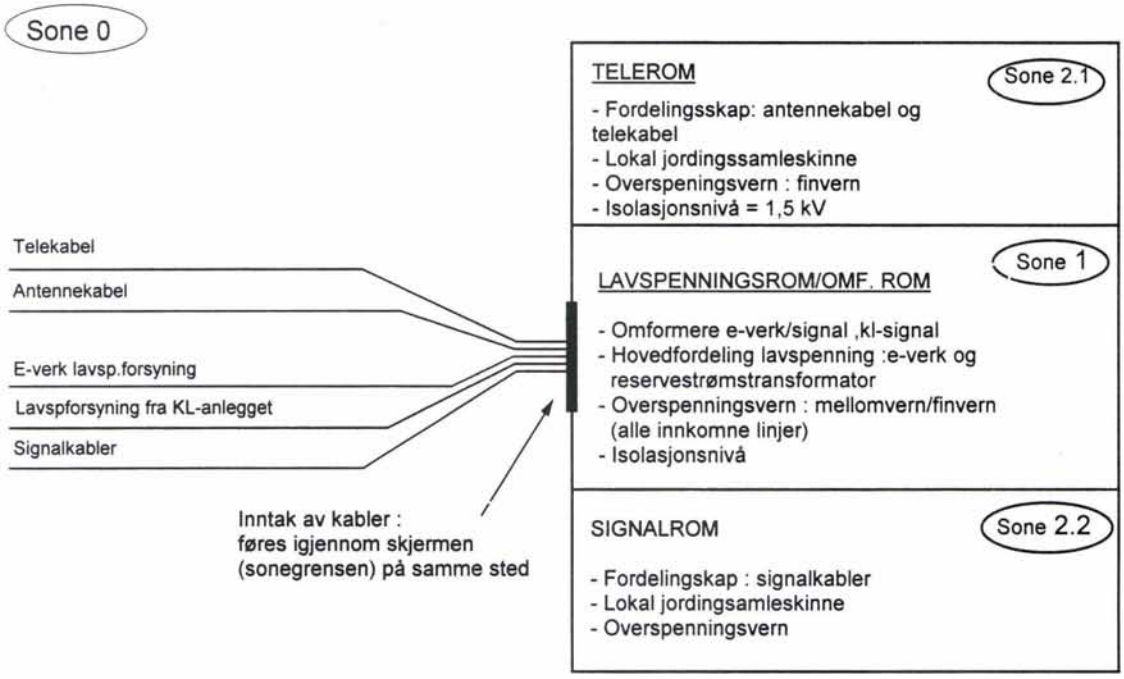
Disse kravene som kommer i henhold til EMC-direktivet setter krav til Jernbaneverket om dokumentasjon og målinger for oppfyllelse av grenser med hensyn på immunitet og emisjon.

[1] Litteraturreferanse [1], [2] og [3]

2.3 GENERELT OM SONETEORI [2]

For ethvert elektrisk anlegg kan den elektromagnetiske topologien beskrives ved hjelp av soneteori, en teori der en kan anvende samme tenkemåte som mengdelæren i matematikken.

Teorien fungerer som et verktøy til å skaffe oversikt over et anlegg og dets enkeltkomponenter, slik at en enklere kan planlegge isolasjonskoordineringen. Tiltak som anvendes for å oppnå god EMC-disiplin er hensiktsmessig jording, skjerming og avledning.



Figur 2-1 Soneinndeling i el-tekniske hus

Hovedprinsippet går ut på å definere anlegget med ulike soner etter følgende retningslinjer:

En ***sone*** er et fysisk eller virtuelt adskilt område som angir et gitt elektromagnetisk miljø (isolasjonsnivå, støynivå, skjermingsgrad, mv) To prinsipielle krav må oppfylles i en sone:

- Utstyret i sonen må ikke forstyrre miljøet i sonen mer enn angitte grenseverdier
- Utstyret i sonen må tåle de påkjenninger som er karakteristiske for grenseverdier satt til sonen

[2] Ref [1]

Det ytre miljø betegnes som sone "0". Sonene nummereres videre innover som sone "1", "2", "3" osv, der sone "1" har den laveste skjermingsgraden. To fysisk adskilte soner med samme skjermingsgrad kan betegnes som sone "1.1", "1.2", "2.1", "2.2",... osv, se figur 2-1.

Sonens avgrensning betegnes som en ***skjerm***. Skjermen kan bestå av luft (med angitt avstandskrav), vegger, kapslinger, skap eller liknende. Det er viktig å merke seg at dersom vegger (f.eks. i et rom eller ytterveggene på et hus) ikke oppfyller de kriterier som gjelder for en skjerm representerer de heller ikke noen skjerm.
Skjermen har i prinsippet to oppgaver:

- Hindre emisjon fra elektroniske kretser i sonen til omgivelsene.
- Beskytte utstyr i sonen mot elektromagnetisk innstråling.

Alt utstyr innenfor en sone jordes til innersiden av sonens skjerm. Det vil si at jordingsforbindelser aldri skal føres igjennom en skjerm. Selve skjermen jordes til innersiden av skjermen utenfor, lavere nivå (eks. skjerm for nivå 2 jordes til innsiden av skjerm for nivå 1).

Ved føring av kabler mellom sonene etableres en forsterkning på skjermen, f. eks en inntaksplate, samleskinne eller liknende. All ledningsføring igjennom en skjerm skal skje på et sted. Støysignaler som skal dempes avledes ved skjermen.

3. KRAV TIL JORDINGSANLEGGET

3.1 GENERELT

Jording i et jernbaneanlegg har flere hensikter. Hovedhensiktene er å ha sikker returkrets for banestrømmen (driftsjord), og å beskytte mot farlige berørings- og skrittspenninger. Videre skal jordingsanlegget være slik at det oppnås elektromagnetisk sameksistens mellom anlegg, systemer og utstyr, og slik at anleggsdeler er best mulig beskyttet mot overspenninger.

3.2 KRAV TIL ELEKTRODEANLEGG

3.2.1 Elektrodens funksjon og utforming

Elektrodens funksjon og utforming skal tilfredsstille krav ihht. FEA-F [6] og FEB [7].

Tilleggskrav for Jernbaneverket:
I FEA-F § 103, [6] spesifiseres at elektrodens tilkoblingsledere skal være minst 25 mm^2. Imidlertid må minstetverrsnittet være minst 50 mm^2 der hvor tilkoblingslederne skal forbindes med anlegg som er innefor kontaktledningsanleggets slyngfelt.

3.2.2 Overgangsmotstand til sann jord

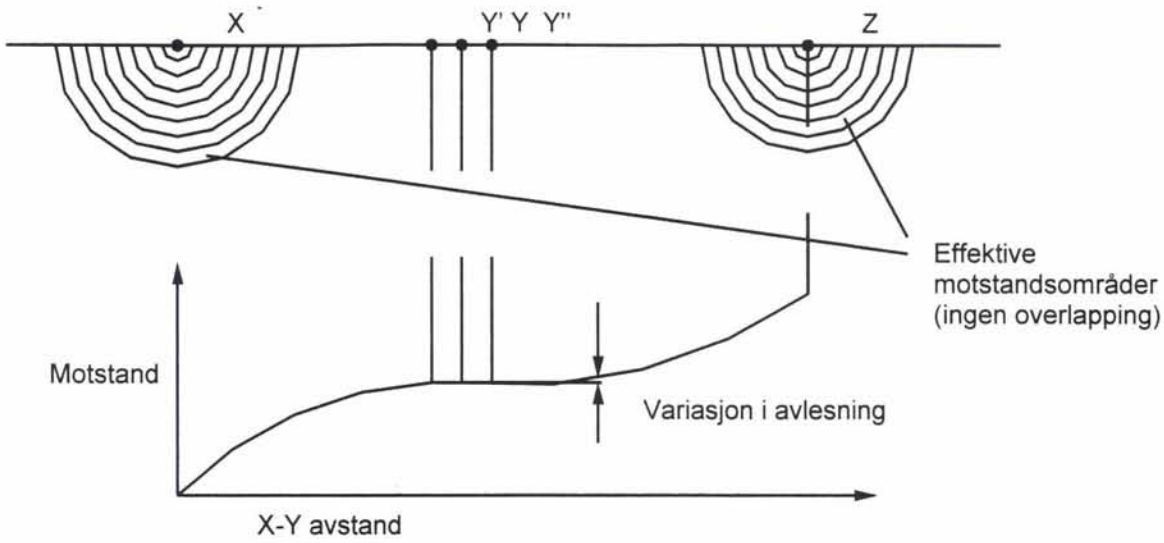
Elektrodeanlegget skal ha en overgangsmotstand til "sann jord" som ikke overskrider[3] 40 Ω. Elektroden skal være i kontakt med frostfri dybde.

[8] beskriver målemetode for måling av overgangsmotstand til jord og jordens resistivitet ved hjelp av jordplatemålinger. [8] beskriver også bruk av jordingsmonograf, et skjema som kan brukes for å finne nødvendig elektrodedybde i forhold til jordsmonnets resistivitet og ønsket overgangsmotstand.

3.2.3 Avstand mellom elektroder

Avstanden mellom to elektroder skal være slik at de ikke har overlappende effektive motstandsområder.
Figur 3-1 viser hva som menes med "effektive motstands-områder".

[3] Verdien er satt ut ifra hva som mange steder er praktisk lavest mulig.



Figur 3-1: Effektive motstandsområder for elektrodene "X" og "Z"

Nødvendig avstand skal finnes ved hjelp av målinger. Eksempel på målemetode er beskrevet i [11]. Det er meget viktig å kontrollere avstanden der det skal være separate jordsystemer, f.eks avstanden mellom skinnejord og stasjonsjord og eventuelt avstanden mellom stasjonsjord og everksjord.

Ref [8] beskriver målemetode for måling av overgangsmotstand til jord for systemer med gjennomgående jord. I jernbanesammenheng kan metoden sannsynligvis brukes ved målinger av overgangsmotstand til jord fra mastefundament eller lignende, der jordlederen, eventuelt skinner betraktes som gjennomgående jord.

Elektroder som ikke hører til samme jordsystem skal aldri ha overlappende motstandsområder. Mange steder vil dette ikke være mulig å oppnå, f.eks. i tettbebygde strøk der jernbanens og everkets jordingsnettverk ligger for tett. Ved slike tilfeller skal det tydelig fremgå i anleggsdokumentasjonen (jordingsplaner, måleresultater, osv) at elektrodeanleggene har innvirkning på hverandre.

Elektroder som tilhører samme jordsystem skal ha utjevningsforbindelse mellom hverandre, og det tillates at deres effektive motstandsområder har en viss grad av overlapping.

Alle forbindelser til elektrode(ne) og mellom elektroder kan med fordel kobles ved hjelp av termitsveis (varig forbindelse). Forbindelsen fra hovedjordskinne til elektrode må av måletekniske hensyn ha en måleklemme.

Ved bygging av nytt elektrodeanlegg og ved arbeider på eksisterende anlegg skal følgende dokumenteres:

- Elektrodenes utforming (form, materiale, og eventuelle jordforbedringsmidler anvendt).
- Elektrodenes plassering (skisse med angitte avstander og dybde).
- Målt overgangsmotstand til jord og målt jordresistivitet, værforhold angis.

- Beskrivelse av målemetoder (inkl. skisse/skjema).
- Målt avstand mellom ulike elektrodeanlegg og kartlegging av at motstandsområder.

3.2.4 Elektroder for avledning av atmosfæriske overspenninger

Jordspyd med god avledning for lave frekvenser (16 2/3 Hz, 50 Hz og 100 Hz) er ikke nødvendigvis tilfredsstillende for høye frekvenser (atmosfæriske overspenninger).

Kråkefotelektroder gir bedre avledning for høye frekvenser, uten at det går ut over de lavfrekvente egenskapene. Derfor må det være kråkefotelektrode i umiddelbar nærhet av overspenningsvern. Som kråkefot brukes f.eks 4 kobbestråler vinkelrett på hverandre forlagt horisontalt i frostfri dybde. På steder med høy resistivitet i jordsmonnet blir avledningsforholdene bedre hvis kråkefoten kombineres med jordspyd. Alternativt kan en opprette "kråkefot" ved hjelp av (3) 4 vertikale jordspyd som er sammenkoblet i stjerneform. Spydene skal ha like lengder og en innbyrdes avstand som er lik spydlengden.

Det må være kortest mulig føringsveier fra overspenningsvern til elektrode. Alle føringer må legges slik at det ikke oppstår vinkler eller skarpe svinger.

3.3 JORDINGSTRATEGI I OG VED EL-TEKNISKE HUS

3.3.1 Jordnettstruktur og soneinndeling

I el-tekniske hus etableres en hovedjordsamleskinne i lavspenningsrom / omformerrom. Alle innkommende kabler som skal jordes til det el-tekniske husets hovedjord, skal jordes til denne samleskinnen. Øvrig jordnettstruktur i det el-tekniske huset skal utføres som en ren trestruktur (radielt nett). Det kan etableres egne lokale jordingskinner i signalrom, telerom, osv. Hvis dette gjøres, skal alt utstyr i signalrom, telerom osv jordes til sin lokale jordskinne og det skal etableres utjevningsforbindelser til hovedjordsamleskinnen.

3.3.2 Grensesnitt mot everk

Stasjonens elektrodeanlegg skal ha et effektivt motstandsområde som ikke overlapper everkets, slik som beskrevet i avsnitt 3.2.3. Dersom det ikke er praktisk mulig å holde elektrodeanleggene adskilt, skal det opprettes en veldefinert utjevningsforbindelse mellom dem.

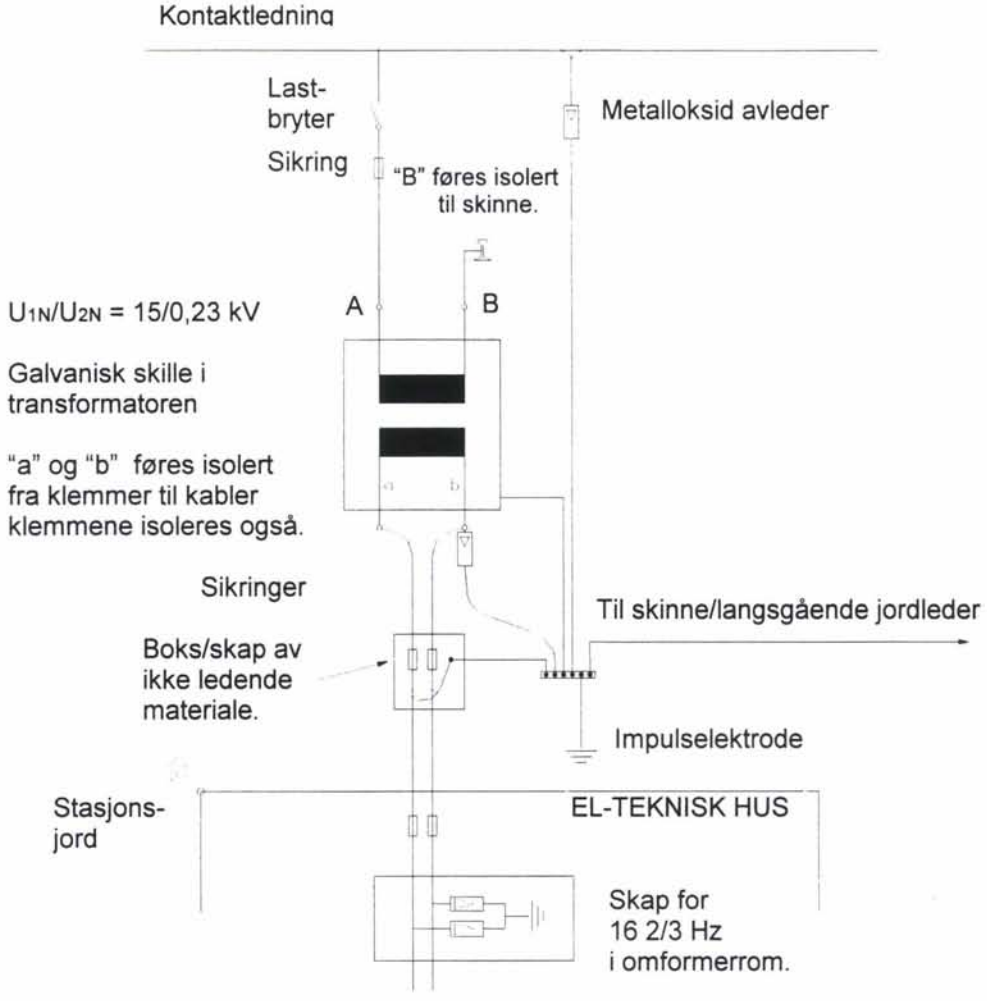
Dersom everket ikke leverer lavspenningsforsyning fra et IT-nett, skal det ved inntak til Jernbaneverket benyttes en skilletransformator som sørger for IT-nett på sekundærsiden.

3.3.3 Grensesnitt mot kontaktledningsanlegget

3.3.3.1 Jording av reservestrømstransformator

Kabler skal jordes ved forsyningsenden og isoleres i motsatt ende. Dvs at kabler fra reservestrømstransformatoren jordes ute ved transformatoren og isoleres ved det el-

tekniske huset. Kabler fra el-tekniske hus som forsyner el.installasjoner og signal/teleanlegg langs linjen jordes i det el-tekniske huset og isoleres ute på linjen.



Figur 3-2: Jording av reservestrømstransformator

3.3.3.2 Jording av telekabel langs kontaktledningsanlegget

Skjerm for telekabel jordes ved hjelp av jordspyd hver 700 m. På samme sted skal det opprettes en utjevningsforbindelse mot seksjonert jordline.

Skjerm for telekabel bør ikke jordes nærmere enn 400 m i begge retninger fra telerommet på stasjoner.

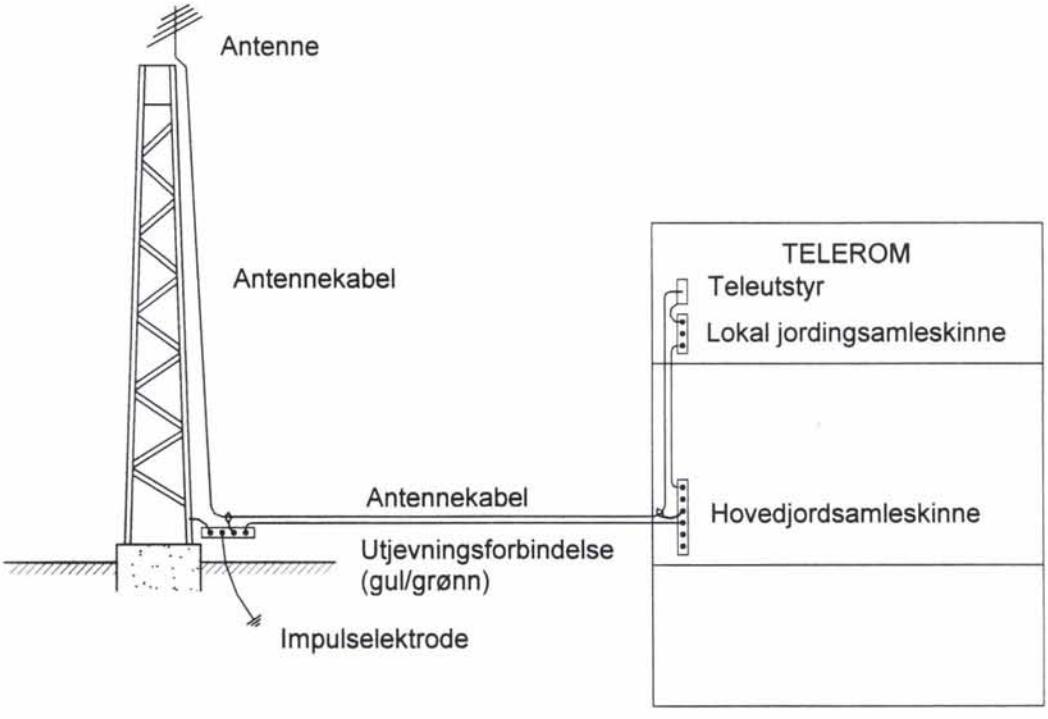
Videre bør skjermen ikke jordes i nærheten av steder der det er overspenningsvern i kontaktledningsanlegget, dvs på steder der det er stor sannsynlighet for lokalt spenningsoppsving av jordpotensialet på grunn av overslag/spenningsutjevning mellom kontaktledning og skinner/jord. Nødvendig avstand avhenger stedlige forhold (elektrodene bør ikke ha overlappende motstandsområder).

3.3.4 Jording av antennemast

Antennemaster kan fungere som lynavledere, og skal derfor ha egen impulselektrode for avledning av lynoverspenninger. I tillegg skal det opprettes en egen utjevningsforbindelse (gul-grønn Cu) mellom mastens elektrode og hovedjordsamleskinne på stasjonen. Skjermen på antennekabelen fra masten jordes til jordingspunkt på masten i den ene enden og til hovedjordsamleskinnen i det el-tekniske huset i den andre enden[4]. Se figur 3-3.

Unntak 1: Dersom antennemasten er så langt unna det el-tekniske huset at mastens elektrode ikke har overlappende motstandsområde med det el-tekniske husets, skal det ikke legges egen utjevningsforbindelse. I dette tilfelle skal skjermen på antennekabelen isoleres fra hovedjordsamleskinnen i det el-tekniske huset.

Unntak 2: Dersom antennemasten står innenfor kontaktledningens slyngfelt erstattes utjevningsforbindelsen til stasjonens hovedjordsamleskinne med en forbindelse til kontaktledningsanleggets returkrets, dvs til den langsgående jordlinen, eller til skinnegangen (strekninger uten jordline). I dette tilfelle skal skjermen på antennekabelen isoleres fra hovedjordsamleskinnen i det el-tekniske huset.



Figur 3-3: Jording av antennemast

[4] Dersom disse kravene skal implementeres i eksisterende el-tekniske hus, og utjevningsforbindelsen mellom antennemasten og det el-tekniske husets hovedjordsamleskinne legges i en annen trasé enn antennekabelen, skal ikke antennekabelen jordes i det el-tekniske huset.

3.4 JORDINGSTRATEGI PÅ FRI LINJE

3.4.1 Funksjonskrav

Jordingsanlegget langs kontaktledningsanlegget har følgende hovedfunksjoner:

- sørge for varig driftsjord
- sørge for sikkerhet mot berøringsfare
- returstrømsforbindelse ved jordslutningsfeil på kontaktledningsnettet
- beskytte anlegget mot atmosfæriske overspenninger

3.4.2 Tradisjonelt jordingskonsept

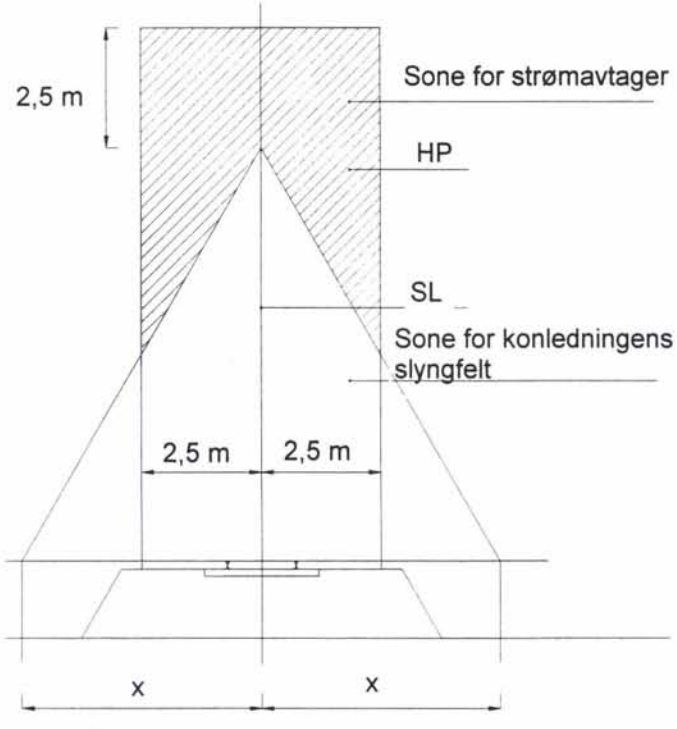
Forskrifter for Jernbaneverkets tradisjonelle jordingskonsept er beskrevet i FEJ-92, [9]. Ved forbedringer av jordingsanlegget på fri linje anbefales å bruke jordleder, slik som beskrevet i neste avsnitt da dette gir en bedre koordinering mellom beskyttelse mot berøringsfare og overspenningsbeskyttelse. En må imidlertid være obs på å ivareta sporfeltenes funksjonskrav.

3.4.3 Jordlederkonsept

Alle ledende gjenstander i kontaktledningens slyngfelt (kontaktledningsmaster, signalmaster, apparater, utstyr, metalliske konstruksjoner etc.) skal jordes til jernbaneskinne via seksjonert jordleder. Dette gjelder også gjenstander utenfor slyngfeltet som er slik plassert at samtidig berøring (avstander under 2,5 m) med gjenstander innenfor slynfeltet er mulig.

Unntak:

- Enkeltstående stendere, mindre gjenstander og lignende.
- Beskyttede konstruksjoner (isolert, plassert under bøyle og lignende)



SOK : Skinneoverkant
SL : Senterlinje (spormidt)
HP : Høyeste leder i kontaktledningsanlegget

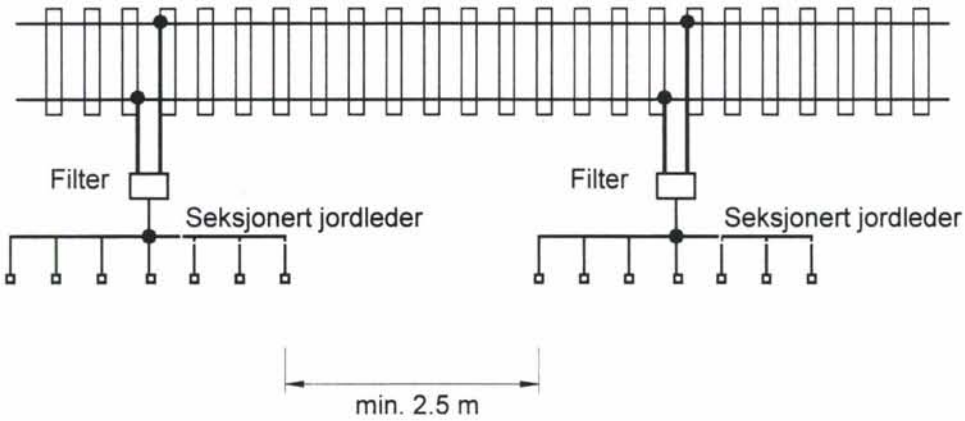
Figur 3-4: Kontaktledningsanleggets slyngfelt

I figur 3-4 , [10],er det angitt de soner (slyngfelt) hvor gjenstander av ledende materiale skal jordes til kontaktledningsanleggets returkrets. Avstanden[5] X er 5 meter.

Det legges en isolert gul/grønn Cu jordleder for hvert spor, fortrinnsvis i kabelkanal. Av termiske årsaker skal det benyttes minimum 95 mm^2 jordleder ved kortslutningsstrømmer over 18 kA. For kortslutningsstrømmer mellom 13 og 18 kA skal det brukes minimum 70 mm^2 jordleder og ved lavere kortslutningsstrømmer enn 13 kA skal det brukes minimum 50 mm^2 jordleder. Lavere tverrsnitt enn 50 mm^2 på jordlederen tillates ikke av mekaniske årsaker.

Foruten disse kravene til tverrsnitt på grunn av forventede kortslutningstrømmer, kan det være aktuelt å øke tversnittet dersom sporfeltenes funksjonskrav tilsier at jordlederseksjonene må være lange.

For strekninger med dobbeltisolerte sporfelter, skal jordlederen være seksjonert. Hver seksjon har en og kun en utjevningsforbindelse til skinnene over en filterimpedans. Lengden på seksjonene avhenger av kortslutningsstrømmen og tverrsnittet på jordlederen. Figuren nedenfor viser prinsippskisse for anlegg med seksjonert jordleder.



Figur 3-5: Seksjonert jordleder

På strekninger med returledning anbefales det at jordlederen har utjevningsforbindelse til skinnene på samme sted som nedføringen fra returledningen til skinnene er etablert.

Ved midtpunktet på jordlederseksjonen er det ønskelig å etablere et jordspyd eller tilsvarende jordelektrode med lav overgangsmotstand til jord. På den måten opprettes en reserveforbindelse mot neste jordleder ved eventuelt brudd i koblingen mot skinnene. Bruk av slik elektrode vil forbedre sikkerheten i jordingsanlegget. Det er imidlertid uklart om kravet til skinnebruddsdeteksjon blir ivaretatt, og dette må utredes nærmere.

På strekninger med skjøteløse sporfelter må jordlederkonseptet utvikles i tråd med kriterier som gjelder for sporfeltene.

[5] Lengden X bestemmes i hvert enkelt land. 5 m er satt av Jernbaneverket.

4. KRAV TIL ISOLASJON

Krav til isolasjonsnivå i Kl-anlegg er beskrevet i "Isolatorer i kontaktledningsanlegget", vedlegg 3. Dette vedlegget anbefaler både 24 kV og 36 kV - isolatorer. Men av hensyn til isolasjonskoordineringen må det være ensartet holdespenning i hele anlegget, dvs 36 kV isolatorer med 170 kV holdespenning ved 1.2/50 μs-støt.[6]

Isolasjonsavstander i Kl-anlegg er 250 mm dynamisk og 150 mm statisk.

Isolasjonsnivå i diverse lavspennings anl. ref IEC 664-1, [12].

Følgende krav til isolasjonsnivå i lavspenninganlegg refererer til isolasjonsholdfasthet ved 1.2/50 μs-støt og 8/20 μs-støt. (Verdiene gjelder for 230/400 V system og det er ikke skilt mellom isolasjonsholdfasthet fase-fase og fase-jord.):

Tabell 4-1 Standard isolasjonsnivå for lavspenning ihht IEC 664-1

Isolasjonsholdfasthet	***Anleggsbeskrivelse***	***Jernbaneverkets tilleggskommentar***
6 kV	hovedfordeling, strøminntak, inkl måler	inntak fra everk inntak fra reservestrømstransformator
4 kV	fast opplegg inkl ledninger og stikkontakter	
2,5 kV	vanlig utstyr	signalanlegg, lavsp. installasjoner
1.5 kV	elektronikk	signalanlegg og teleanlegg

[6] Av hensyn til isolasjonskoordinering skal alle isolatorer som settes opp i 15 kV jernbaneanlegg være 36 kV-isolatorer. Dette til tross for at vedlegg 3 ikke krever mer enn 24 kV. Årsaken til dette er blant annet:

- Det er allerede montert 36 kV-isolatorer og dette er dermed standard isolasjonsnivå i anlegget.
- For å tilfredsstille mekaniske krav kommer ofte det høye isolasjonsnivået som en "bi-effekt.
- Ut i fra en vedlikeholdsfilosofi er 36 kV-isolatorene mer robuste.
- Jernbaneverkets 15 kV-nett er et strålenett, med sårbar matesituasjon og utsatte ytterpunkter."

5. KRAV TIL OVERSPENNINGSBESKYTTELSE

5.1 GENERELT

Kostnadsmessig vil det aldri være mulig å bygge et anlegg med "perfekt" overspenningsbeskyttelse. Derfor er det viktig å optimalisere kostnader og teknikk, slik at anlegget blir beskyttet tilfredsstillende innenfor akseptable kostnader

Tilfredsstillende overspenningsbeskyttelse oppnås ved riktig bruk av overspenningsvern (ref. dette kapittelet), hensiktsmessig jordingsstrategi (ref kap 3) og tilstrekkelig isolasjon av anleggsdeler (ref kap 4)

Anlegg med overspenningsvern er enda bedre beskyttet dersom vernene dubleres, dvs to like vern installert ved siden av hverandre som gjensidig reserve. På denne måten unngås lettere skader ved serielyn (flere lyn etter hverandre)

5.2 GENERELLE KRAV TIL OVERSPENNINGSVERN

5.2.1 Funksjon under normal drift

Overspenningsvernet skal være høyohmig og ikke representere en feilkilde ved nominell spenning. Denne betingelsen er bestemmende for vernets laveste vernenivå.

5.2.2 Funksjon ved overspenninger

Ved overspenninger skal vernet være anleggets "svakeste punkt", dvs at vernet skal uskadeliggjøre overspenninger før isolasjon eventuelt isolator skades. Denne betingelsen er bestemmende for vernets høyeste vernenivå.

Vernet skal så lenge overspenningen varer, begrense spenningen mellom sine tilkoblingsklemmer til angitt vernenivå. Når overspenningen er forbi, skal vernet igjen fungere som i avsnittet over.

Leverandør av overspenningsvern skal kunne fremskaffe TOV-kurver, dvs spenning-tid kurver som viser vernets evne til å tåle temporære overspenninger som funksjon av tiden.

5.2.3 Funksjon ved havarert vern

Hvis overspenningsvernet havarerer, skal det automatisk kobles fra, slik at det ikke blir stående som en lavohmig forbindelse.

Hvis overspenningsvernet havarerer, skal dette være godt synlig ved inspeksjon, og vernet skal skiftes ut.

For steder som er spesielt utsatt for atmosfæriske overspenninger er det hensiktsmessig å anordne overvåking av vernet slik at havarerte vern kan skiftes omgående.

5.2.4 Koordinering mellom grovvern og finvern

Finvernet skal ha minst 5-10 % høyere vernenivå enn grovvernet, mens grovvernet skal ha høyest energiopptaksevne. Dette er på grunn av at vernet med det laveste vernenivå har minst motstand, dvs at den største strømmen vil flyte der. [13]

5.2.5 Plassering og tilkobling av vern

Vernet plasseres så nær det objektet som skal beskyttes som mulig, for å oppnå kortest mulig føringer mellom fase / vern og mellom vern / jord. Den maksimale spenningen som oppstår ved objektet i løpet av en overspenning er overspenningsvernets vernenivå pluss spenningsfallet i tilkoblingslederne . (En meter leder har induktans ca 1 μH. Ref [1])

Videre må disse ledningene ikke legges i skarpe kurver eller vinkler.

5.2.6 Gjeldende normer for vern

Metalloksidavledere skal testes ihht IEC 99-4, [14].
Når det gjelder metalloksidavledere i lavspenningsanlegg er det for tiden en normkomité, IEC 37A, [13] som arbeider med en kommende norm.

5.3 DEFINISJONER AV OVERSPENNINGSVERNETS MERKEVERDIER

(Anbefalte verdier er gitt i neste avsnitt)

5.3.1 Metalloksidavledere for høyspenningsanlegg

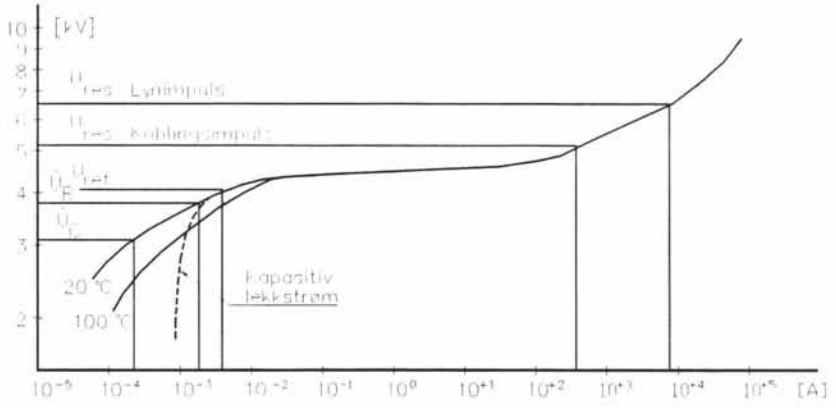
Ved dimensjonering av avledere må en bestemme:

- merkespenning
- merkestrøm
- energiopptaksevne
- krypestrømsvei (bør være så stor som mulig utfra de øvrige valgte merkeverdier)

Tabell 5-1: Definisjoner ihht IEC 99-4 [14]:

U_R eller U_r	***Avlederens merkespenning:*** Den høyest tillatte spenning (eff. verdi) mellom avlederens tilkoblingsklemmer der avlederen fungerer korrekt under spesifiserte temporære overspenninger
U_C	***Avlederens kontinuerlig driftspenning:*** Den angitte driftsfrekvente spenning (eff.verdi)som avlederen tåler kontinuerlig mellom sine tilkoblingsklemmer.
U_{res} eller U_p	***Avlederens avledningsnivå (betegnes også som vernenivå eller restspenning):*** Toppverdien av spenningen mellom avlederens tilkoblingsklemmer under et strømstøt. Verdien er avhengig av strømstøtet, men det er vanlig å referere til et 8/20 μs 10 kA - støt.
I_{ref}	***Avlederens referansestrøm:*** Toppverdien av den resistive komponenten til en driftsfrekvent strøm som brukes for å definere referansespenningen. Referansestrømmen skal være høy nok til at strøkapasitansenes effekt på avlederens referansespenningen er neglisjerbar. Referansestrømmen skal være spesifisert av fabrikanten.
U_{ref}	***Avlederens referansespenning:*** Toppverdien av en driftsfrekvent spenning dividert med $\sqrt{2}$ ved en av fabrikantens spesifisert referansestrøm. Referansespenningen vil ligge høyere enn U_r og meget nært karakteristikkens kne.

Figur 5-1 nedenfor illustrerer disse definisjonene i et eksempel på en typisk ZnO-karakteristikk.



Figur 5-1: Strøm/spennings-karakteristikk for metalloksidavleder [15]

Avledere uten gnistgap har ingen tennspenning, avlederen kjennetegnes ved sitt vernenivå U_{res}.

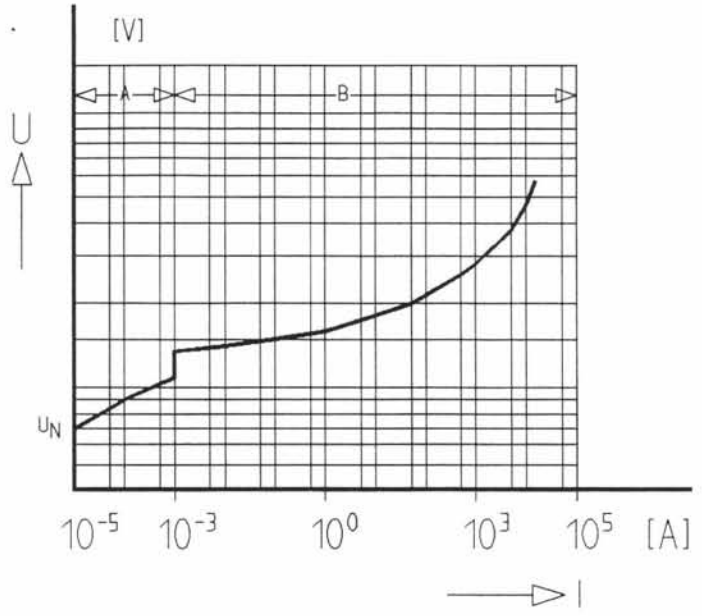
Vernets lengde har betydning for merkespenningen, mens diameteren (tverrsnitt) har betydning for vernenivået (U_{res}).

En må kontrollere at leverandører av metalloksidavledere refererer til IEC 99-4, [14] i sine produktbeskrivelser, og at produktbeskrivelsen er i henhold til IEC 99-4 definisjoner.

5.3.2 Avledere (varistorer) for lavspenningsanlegg

Tabell 5-2: Definisjoner i hht ref [13] :

U_C og I_C	Maksimal tillatte kontinuerlig driftspenning U_C over overspenningsvernets tilkoblingsklemmer og tilhørende strøm I_C.
U_T	TOV-kurver (spenning-tid kurver) Vernets evne til å tåle temporære overspenninger som funksjon av tid.
I_n	nominell utladningsstrøm for 8/20 [μs] - støt (indikerer vernets energiopptaksevne)
U_p	vernenivå, dvs at vernet begrenser spenningspåkjenningen til denne verdien.



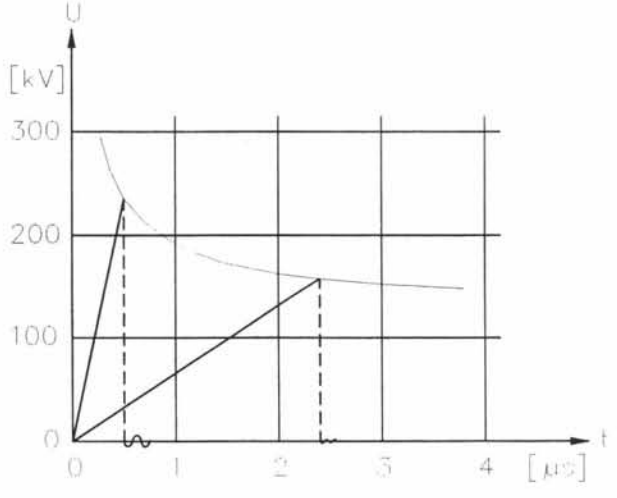
Figur 5-2: Strøm/spennings- karakteristikk for varistorer

Vær oppmerksom på hvordan leverandører av varistorer definerer "merkespenning". Ved tvil, bruk TOV-kurven for vernet.

For avledere uten gnistgap har begrepet "tennspenning" ingen mening.

5.3.3 Gnistgap

Et gnistgap har tennspenning som er avhengig av overspenningens steilhet, se figur 5-3. Et gnistgap forutsetter kortvarig utkobling av den driftsfrekvente spenningen etter en overspenning. På grunn av de to ovennevnte forbehold bør det som oftest brukes en metalloksidavleder i stedet for gnistgap, dersom kortvarig utkobling ikke er ønskelig.



Figur 5-3: Gnistgapets tidskurve.
Overslagsspenning ved frontklipping i 10 cm gnistgap.

5.3.4 Kombinasjon gnistgap/metalloksidavleder

Verntypen er under utvikling og anbefales foreløpig ikke brukt ved Jernbaneverket.

5.3.5 Disneuter

For å redusere antall feilkilder i anlegget skal det, dersom det brukes disneuter i Jernbaneverkets anlegg, være godkjent i hvert enkelt tilfelle, eventuelt ved hjelp av generell godkjenning for et spesielt anlegg. Disneuterens plassering og merkeverdier skal fremgå i anleggsdokumentasjonen. Alternativ til en disneuter kan være en overspenningsavleder.

5.4 ANBEFALT VERNENIVÅ (U_{RES}) FOR ULIKE ANLEGG I INFRASTRUKTUREN

Tabell 5-3: Oversikt over karakteristiske spenningsdata for ulike anlegg

anleggs-betegnelse	*maks drifts-spenning*	*isolasjons-nivå*	*anbefalt Uc (eff)*	*laveste U_{res}*	*høyeste U_{res}*
KI - anlegg	17.25 kV	> 170 kV	27 kV	29,3 kV	85 kV
lavspennings nett: IT fase-jord IT fase-fase	230 V	6 kV	360 V 264 V	390 V	1,1-1,3 kV grovvern (1,4-1,5 kV finvern)
lavspennings fast opplegg (ledn, stikk, mv)	230 V	4.5 kV	275 V	390	1,4-1,5 kV finvern
elektrisk utsyr (signalanl/el-inst)	230 V	2,5 kV	385 V	390	1,4-1,5 kV finvern
el.utstyr m/elektronikk (signal-/ teleanl)	230 V	1,5 kV	385 V	390	1,4-1,5 kV finvern

Kommentar til tabellen:

- Kontaktledningsanleggets isolasjonsnivå er referert til isolatorenes holdespenning ved 1.2/50 μs-støt.
- Det er tatt hensyn til at et 3 fase IT-nett kan drives med enfase jordfeil.
- Med hensyn til isolasjonsholdfasthet i lavspennings elforsyningsnett skilles det ikke mellom IT, TT, og TN - nett i Norge. Vedlegg 1 og 2.
- Laveste vernenivå (U_{res}) bør være større enn maksimal driftspenning (amplitudeverdi) + 20 %.
- Høyeste vernenivå (U_{res}) bør være mindre enn halvparten av anleggets isolasjonsnivå.

Overspenningsvern betegnes ofte med sin merkespenning (U_r) eller sin kontinuerlig driftspenning (U_C). En må ut ifra dette kontrollere i produktspesifikasjonen hvilken U_r eller U_C som gir vernenivå (restspenning) innenfor akseptable verdier.

5.5 STRATEGI FOR BRUK AV OVERSPENNINGSVERN PÅ STASJONER (EL-TEKNISKE HUS)

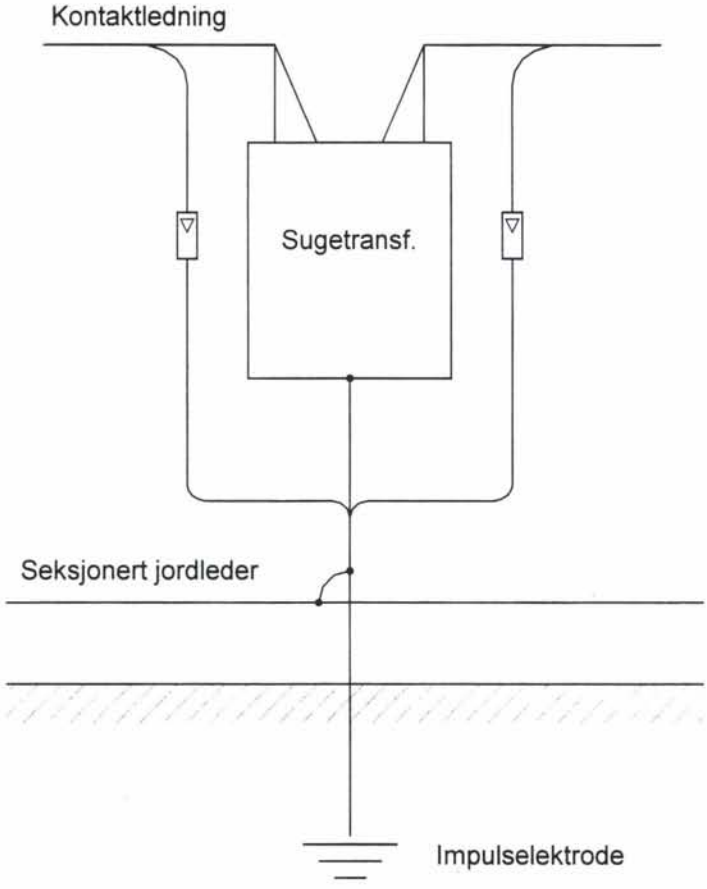
Det installeres lavspennings grovvern ved avgrening fra everket til Jernbaneverket og høyspennings grovvern ved mast for reservestrømstransformator. Vernene bør dubleres.

Finvern eller "mellomvern" installeres i hovedfordeling ("omformerrom"), ved alle innkommende linjer. Vernene bør dubleres.

Finvern installeres i de respektive fordelingsskap for signalrom / telerom.

5.6 STRATEGI FOR BRUK AV OVERSPENNINGSVERN PÅ FRI LINJE

Ved å installere overspenningsvern (mellom Kl og "sann jord" + jordleder/returkrets) med jevne mellomrom på fri linje, oppnås bedre beskyttelse av parallelle kabler og annet anlegg som er koblet til skinnene. Det anbefales å installere vern på begge sider av hver sugetransformator. Forutsetningen for at vernene skal fungere som beskyttelse for transformatorene, er at det opprettes god impulselektrode på stedet.



Figur 5-4: Overspenningsvern ved sugetransformatorer

For å ivareta krav om korte føringsveier settes vernene i samme mast som sugetransformatoren.

5.7 BRUK AV OVERSPENNINGSVERN VED HØYSPENNINGSKABLER

For å beskytte høyspenningskabelen skal det settes opp vern i overgangen mellom luftledning og kabel. Dersom kabelen er kort, er det tilstrekkelig med vern i den ene enden. Dersom kabelen er lang må den ha vern i begge ender for å oppnå beskyttelse.

Definisjonen på hva som er "kort" og "lang" kabel er ikke avklart. I følge dagens praksis ved Jernbaneverket er kabelen lang når den er lenger enn 100 meter Imidlertid fremkommer det fra [17] at kabler med lengder ned til omlag 30 meter bør beskyttes med vern i begge ender.

Som tidligere nevnt er det en forutsetning for vernets funksjon at det etableres en impulselektrode ved overspenningsvernet. Dersom det er nødvendig med vern i begge ender, medfører dette at kabelen må ha jordforbindelse i begge ender. Dette strider i mot Jernbaneverkets krav om jording av kabler i kun en ende. Problemet kan løses ved å sette opp en lavspent overspenningsavleder (f.eks 500 V) mellom kabelskjermen og jord ved den ene enden.

6. BESKRIVELSE AV PRØVEANLEGG

Ut fra resultater og anbefalinger i dette prosjektet er det definert to prøveanlegg i regionen:

6.1 OGGEVATN STASJON

Oggevatn stasjon ligger ca 4 mil nord for Kristiansand. Dette området er svært utsatt for atmosfæriske overspenninger. Stasjonen er ikke lenger betjent og fungerer nå som et krysningsspor.

På stasjonen står et reléhus som inneholder 4 rom: Stillverksrom, omformerrom, relérom og telerom. Huset får kraftforsyning fra det lokale everket over luftstrekk. Reservekraftforsyningen fra kontaktledningsanlegget går via en reservestrøms-transformator som står i mast mellom reléhuset og buttspor. På tomta rett utenfor reléhuset står det også en antenne mast.

Tiltak som er utført i løpet av 1996 og 1997(stikkord):
- Inspeksjon av alle jordingsforbindelser innvendig og utvendig, samt diverse kontrollmålinger.
- Utskiftninger av jordingsforbindelser til gul/grønne ledninger.
- Diverse omkoblinger i innvendig jordingsanlegg.
- Merking av alle forbindelser til/fra jordsamleskinner.
- Bygging av impulselektroder og måling av overgangsmotstand.
- Utskiftning av overspenningsvern innvendig

Tiltak som gjenstår pr. des. -97:
- Opprette galvanisk skille ved reservestrømstransformatorer.
- Sette opp overspenningsvern på høyspenningsiden av reservestrømstransformatoren.
- Lage sluttdokumentasjon
- Lage mal for oppfølging av anlegget

Erfaringene med prøveanlegget så langt er positive, det meldes fra sonen at det er registrert færre feil som følge av overspenninger i 1997 enn tidligere. Det må understrekes at et år er for kort tid til å trekke noen sikre konklusjoner.

Når det gjelder ombygging i eksisterende el-tekniske hus vil det utførte arbeidet ved Oggevatn være retningsgivende for ombygginger andre steder, men på grunn av at det er svært ulike løsninger ved andre anlegg, må tiltak og arbeidsomfang vurderes fra sted til sted. Som en hovedregel kan vi si at en bør tilstrebe:
- Jordnettstruktur i henhold til soneteorien som er beskrevet.
- Bevisst valg av overspenningsvern, og riktig selektivitet ved bruk av vern.
- Formålstjenlig jordingsanlegg
- God anleggsdokumentasjon

6.2 GULSKOGEN - HOKKSUND

Gulskogen-Hokksund er en strekning på ca. 15 km der tre stasjoner er inkludert: Daler, Mjøndalen og Steinberg.

Prøveanlegget inngår i prosjektet "Redesign Drammen-Hokksund". Når det gjelder isolasjons- og jordingskoordinering i dette prosjektet, skal det utføres følgende:

- Isolasjons- og jordingskoordinering i el-tekniske hus.
- Legging av langsgående seksjonert jordleder
- Bygging av ny overspenningsbeskyttelse ved sugetransformatorer og reservestrømstransformatorer
- Bygging av gjennomgående returledning
- Opprette galvanisk skille ved reservestrømstransformatorer.
- Lage tverrfaglige jordingsplaner for hele strekningen.

Prosjektet er pr. des. -97 i prosjekteringsfasen. Bygging vil etter planene pågå i 1998 og 1999.

For ytterligere informasjon henvises det til prosjektledelsen i regionen.

7. TERMINOLOGILISTE

Atmosfæriske overspenninger	Høyfrekvente overspenninger forårsaket av ytre påkjenninger, f.eks. lynnedslag.
Disneuter	Overspenningssikring
EMC, Elektromagnetisk sameksistens	Utstyrs evne til å fungere tilfredsstillende i sin sone, uten å forårsake utålelig elektromagnetisk forstyrrelse på annet utstyr innenfor samme sone.
Everksjord	Begrepet benyttes for å beskrive jordnettverk som er tilkoblet everkets beskyttelsesjord.
Impulselektrode	Kråkefotelektrode, eller tilsvarende, som opprettes i forbindelse med overspenningsvern, og som i tillegg til å gi forbindelse til jord, er spesielt egnet til å avlede høyfrekvente lynoverspenninger.
Impulsjord	Begrepet er benyttet for å presisere at det er eller skal være impulselektrode på stedet.
Isolasjons-koordinering	Valg av dielektrisk styrke på utstyr i forhold til spenninger som kan oppstå i det systemet der utstyret skal operere, iberegnet omgivelsene og karakteristikken på tilgjengelige vern (IEC 71-1 - oversatt, [16])
Metalloksidavleder	Et vern som har ikke lineære metalloksid resistanser koblet i serie og / eller parallell.
Overspenning	En spenning mellom faseleder og jord, eller mellom faseledere med toppverdi som overskrider tilsvarende høyeste toppverdi for utstyr. (IEC 71-1 - oversatt, [16])
Skinnejord	Begrepet benyttes for å beskrive jordnettverk som er tilkoblet jernbanens drifts- og beskyttelsesjord.
Skjerm	En sones avgrensing betegnes som en skjerm., og kan bestå av skap, kapslinger, vegger, luft (med angitt avstandskrav), mv.
Sone	Et fysisk eller virtuelt adskilt område som angir et gitt elektromagnetisk miljø (isolasjonsnivå, støynivå, skjermingsgrad, mv.)
Temporære overspenninger	Relativt langsomme svingninger som typisk kan beskrives som en driftfrekvent spenning med en tidsvarierende amplitude.
Trestruktur	radialnett, strålenett
Varistor	Metalloksidavleder for lavspenningsnett (lavere merkespenning og ytelse)
Vernenivå	Restspenning over et overspenningsvern som har blitt utsatt for en overspenning. Gjelder så lenge overspenningen varer.

8. VEDLEGG

Vedlegg 1: "Overspenningsbeskyttelse i NSB BANEs faste tekniske anlegg. Del 1: Stasjoner" TransiNor AS, juni 1996

Vedlegg 2: "Overspenningsbeskyttelse i NSB BANEs faste tekniske anlegg. Del 2: Fri linje" TransiNor AS, oktober 1996

Vedlegg 3: "Isolatorer i kontaktledningsanlegget", Berdal Strømme, mars 1997

9. LITTERATURLISTE

[1] EMC. EEU-kurs for NSB ved NTNU høsten 1996

[2] EN 50082-1; Electromagnetic compatibility - Generic immunity standard, Part 1: Residential, commercial and light industry, 1992

[3] EN 50082-2; Electromagnetic compatibility - Generic immunity standard, Part 2: Industrial environment, 1995

[4] FEU 1995; Forskrifter om elektrisk utstyr

[5] prEN 50121; Railway...

[6] FEA-F 1995; Forskrifter for elektriske anlegg, forsyningsanlegg

[7] FEB 1991; Forskrifter for elektriske bygningsinstallasjoner m.m.

[8] "Praktisk måling av overgangsmotstand til jord med jordsystemmåler for gjennomgående jord", Norsk Elektroteknikk AS

[9] FEJ 1992; Forskrifter for elektriske jernbaneanlegg, (utgår 1/1 1998)

[10] EN 50122; Railway applications - Fixed installations
Part 1: Protective provisions relating to electrical safety and earthing, 1997

[11] "Praktisk måling av overgangsmotstand til jord ved hjelp av jordplatemåler", Norsk Elektroteknikk AS

[12] IEC 664-1; Insulation coordination for equipment within low-voltate systems, Part 1, Principles, requirement and tests

[13] NIF-kurs 16. - 18. september 1996: "Overspenningsbeskyttelse i lavspenningsanlegg"

[14] IEC 99-4; Surge arresters
Part 4, Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems, 1991

[15] Kompendium i faget Høyspenningsteknikk fra NTH, høsten 1992

[16] IEC 71-1; Insualtion co-ordination
Part 1, Definitions, principles and rules,1993

[17] EFI TR A4417: HÅNDBOK Vern mot lynoverspenninger i distribusjonsnett med maksimal systemspenning 12 kV og 24 kV, 1996

Jernbaneverket
Biblioteket

TransiNor As

Lyn og Elektromagnetiske Transienter - Produkter og Teknologi • *Lightning and Electromagnetic Transients - Products and Technology*

TEKNISK RAPPORT NR.: 504.450.01

Overspenningsbeskyttelse i NSB Banes faste tekniske anlegg. Del 1: Stasjoner.

Oppdragsgiver:

NSB Bane Region Sør

Teknisk kontor Strømforsyning

Utført av:

TransiNor As

Foretaksnummer: 942287585

Adresse:
Jonsvannsv. 82

7035 Trondheim

Telefon:
73 93 30 36
Telefax:
73 93 78 25

Address:
Jonsvannsv. 82

N-7035 Trondheim

Telephone:
+47-73 93 30 36
Fax:
+47-73 93 78 25

REFERANSESIDE

TEKNISK RAPPORT
Nr.: 504.450.1

Tittel: Overspenningsbeskyttelse i NSB Banes faste tekniske anlegg. Del 1: Stasjoner.	**Dato:** 26 - juli - 1996 **Gradering:** Foreløpig begrenset **Prosjektnr.:** 504.450.1 **Antall sider:** 41 **Opplag:** 10
Saksbehandler(e): Helge Johansen Vegard Larsen Asle Schei	

Oppdragsgiver(e): NSB Bane Region Sør Teknisk kontor Strømforsyning	**Oppdragsgivers ref.:** Best. av: 23.02.96 Ref: 96/1575 ID 763 M. I. Algrøy - H. S. Fadum

4 emneord Isolasjonskoordinering	Jordingskoordinering
Overspenninger	Overspenningsbeskyttelse

Referat:
Beregningene viser at plassering av overspenningsvern iht. det som er vist på tegning "PRINSIPP SKJEMA FOR JORDING", vil gi en tilfredsstillende beskyttelse av elektroinstallasjonene i reléhuset. Dette gjelder for overspenninger som kommer inn fra e-verkets nett og fra NSBs reservestrømstrafo. Overspenninger inn til reléhus fra signal- og tele-siden vil bli vurdert i samband med beregninger på fri linje. På Oggevatn er det IT-system via luftlinje og e-verket har ikke ført frem separat jordleder. Jord ved stolpe og jord i reléhus er sammenkoblet (mindre enn 20 meters avstand). Det anbefales derfor at skjerm for inntakskabel jordes i begge ender, dvs. også i inntaksstolpe. Det bør vurderes om dagens jordingspraksis ved reservestrømstrafo kan endres.

TransiNor As Vegard Larsen

Foretaksnummer: 942287585

Adresse:
Jonsvannsv. 82

7035 Trondheim

Telefon:
73 93 30 36
Telefax:
73 93 78 25

Address:
Jonsvannsv. 82

N-7035 Trondheim

Telephone:
+47-73 93 30 36
Fax:
+47-73 93 78 25

INNHOLD

Side

0. INNLEDNING 4

1. SAMMENDRAG 5

2. BAKGRUNN / TEORI 7
   - 2.1 Terminologi / begrepsforklaring. 7
   - 2.2 Vandrebølgeteori, bølgeimpedans og bølgehastighet. 7
   - 2.3 Impuls-jord. 10
   - 2.4 Strømforsyningssystem og overspenningsvern. 13
   - 2.5 Soneteori og jordingsproblematikk. 15

3. BEREGNINGSFORUTSETNINGER 16
   - 3.1 Beregningsmodellen. 16
   - 3.2 Overspenningsvern. 16
   - 3.3 Overspenninger inn fra e-verkets nett. 18
   - 3.4 Isolasjonsholdfasthet i anlegget. 18
   - 3.5 Avstander i anlegget (reléhuset). 20
   - 3.6 Overgangsmotstand til jord i anlegget. 21

4. BEREGNINGSRESULTATER. 22
   - 4.1 Induserte overspenninger inn fra e-verkets 230 volt nett. 22
   - 4.2 Direkte lynnedslag til e-verkets 230 volt luftlinje. 25
   - 4.3 Direkte lynnedslag til NSBs kontaktledning / skinner. 27
   - 4.4 Kommentarer til beregningsresultatene. 29
     - 4.4.1 Kabelskjerm for inntakskabel. 29
     - 4.4.2 Overspenningsvern fase-fase 29
     - 4.4.3 Hovedjordskinne i hovedfordelingsskap/telerom 30
     - 4.4.4 Vern av omformer fra reservestrømstrafo 30

4.4.5 Jording av reservestrømstrafo 31
4.4.6 Bruk av pluggbart vern for telekabler 31

5.0 FEILSTATISTIKK 32

6. ANBEFALINGER PÅ BAKGRUNN AV BEREGNINGS-RESULTATENE, KRAV TIL OVERSPENNINGSVERN 33
6.1 Krav til overspenningsvern i 230 volt system. 33
6.2 Vurdering av noen aktuelle typer overspenningsvern som NSB benytter i 230 volt systemene idag. 35

7. KONKLUSJON 37

8. VURDERINGER I SAMBAND MED EVENTUELL VIDERE-FØRING AV PROSJEKTET. 39

9. REFERANSER 40

Vedlegg 1 - Figurer
Vedlegg 2 - Aktuelle kopier, Utlisting av beregningsmodellen

0. INNLEDNING

I samband med prosjektet "Isolasjons- og jordingskoordinering" ved NSB BANE REGION SØR, er en av målsetningene å koordinere alle elektroanleggene i infrastrukturen med tanke på overspenningsbeskyttelse, isolasjons- og jordingsstrategi. TransiNor As har blitt engasjert for å utføre de aktuelle beregninger og analyser, som skal gi underlag for kravspesifikasjon for overspenningsbeskyttelse, vurdering av jordingsanlegg og kravspesifikasjon for jording. Oppdraget er utført i nært samarbeid med prosjektmedarbeidere i NSB BANE REGION SØR.

1. SAMMENDRAG

Ved beregningene er det tatt utgangspunkt i tegning "PRINSIPP SKJEMA FOR JORDING" datert 28.04.95, revidert 03.06.96. Kopi av denne tegningen er vist på figur 1.1 - vedlegg 1. Avstandene i anlegget er videre tilpasset de lokale forhold ved Oggevatn stasjon nord for Kristiansand. Skjema for Oggevatn stasjon fremgår av figur 1.2 - vedlegg 1. Reservestrømforsyning fra kontaktledning via reservestrømstrafo er modellert i henhold til figur 1.3 - vedlegg 1.

Beregningene er utført ved bruk av et det annerkjente amerikanske beregningsprogrammet EMTP (Electro Magnetic Transient Program). EMTP er et generelt flerfase beregningsprogram hvor alle aktuelle elektriske komponenter kan modelleres. En utlisting av EMTP modellen er vist i vedlegg 2.

Beregningene viser at plassering av overspenningsvern iht. det som er vist på tegning "PRINSIPP SKJEMA FOR JORDING, vil gi tilfredsstillende beskyttelse av elektroinstallasjonene i reléhuset. Dette gjelder både for induserte lynoverspenninger og direkte lynnedslag i e-verkets 230 volt luftlinje samt i NSBs kontaktledning / skinner. Det er da forutsatt en akseptabel lav overgangsmotstand til jord med impulsjord (Zj) < 40 ohm. Overspenninger inn til reléhus fra signal- og tele-siden vil bli vurdert i samband med beregningene på fri linje.

Avhengig av type 50 Hz strømforsyningssystem (IT-, TN- og TT-nett) fra det lokale e-verk, er det viktig at det velges riktig type vern som tåler de maksimale driftsspenninger som opptrer. Faren for havari av vern vil da være svært liten. Ved energirike lynutladninger kan imidlertid overspenningsvern havarere, uten at det elektriske anlegg forøvrig skades. Både på innmating fra e-verkets nett og fra NSBs reservestrømstrafo er det minst 2 vern, mellom hver fase og jord. En slik dublering av vern gir gjensidig reserve, øker sikkerheten i anlegget og gir beskyttelse i perioden før et vern som har havarert, blir skiftet. Overspenningsvern må ha feilindikering slik at defekte vern lett kan lokaliseres. Visuell kontroll av vern bør være innlagt som en fast prosedyre ved rutinemessig ettersyn

i reléhuset. Defekte vern må rapporteres og skiftes snarest mulig. Vern med pluggbare varistorelement anbefales og gjør det mulig med utskifting samtidig med at havari registreres.

Beregningene viser at det er størst sannsynlighet for skader og feil i e-verkets inntaksstolpe som følge av store spenningsdifferanser mellom kabelleder og åpen kabelskjerm (ikke jordet). På steder hvor e-verket ikke har ført frem separat jord og der jord ved stolpe og jord i reléhuset er sammenkoblet (mindre enn 20 meters avstand), bør skjerm for inntakskabel jordes i begge ender, dvs. også i inntaksstolpe. Dette vil redusere spenningsdifferansen mellom ledere og kabelskjerm i stolpe til et ufarlig nivå. Jording av kabelskjerm i inntaksstolpe kan følgelig anbefales på Oggevatn hvor det lokale e-verk benytter IT-luftlinjesystem frem til siste stolpe før reléhuset og hvor e-verket ikke har ført frem egen jord.

Overspenninger som kommer inn til reléhuset fra kontaktledning / skinner, representerer et problem da en fase er direkte jordet til skinnejord både på 16 kV og 230 volt siden av reservestrømstrafo. Det bør vurderes om dagens jordingspraksis ved reservestrømstrafo kan endres. Overspenningsmessig vil det være gunstig hvis det kan etableres en lav impulsmotstand (kråkefot/jordspyd) i bunn av mast hvor reservestrømstrafo er plassert. Her tilkobles en av fasene fra 16 kV siden av reservestrømstrafo. Impulsjord ved mastefot og skinnejord må sammenkobles. På 230 volt siden av reservestrømstrafo må begge faseledere være isolert fra jord eventuelt jordet via overspenningsvern. Utvendig inspeksjon av reservestrømstrafo kan tyde på at en ende av 16 kV og 230 volt viklingen på reservestrømstrafo er jordet innvendig i kassen. Dermed vil det overstående antageligvis kreve en konstruksjonsmessig endring av reservestrømstrafo.

2. BAKGRUNN / TEORI

2.1 Terminologi / begrepsforklaring.

Innenfor elektroteknikken benyttes ofte forskjellige begrep om samme ting. I denne rapporten er det i størst mulig grad benyttet de betegnelser som er definert i kapittel 1.6 Begrepsforklaring [Ref. 9.1] og kapittel 2 Terminologi [Ref. 9.2]. Kopi av de aktuelle sider mht. begrepsforklaring og terminologi er vedlagt i vedlegg 2.

2.2 Vandrebølgeteori, bølgeimpedans og bølgehastighet.

Vandrebølgeteori er et omfattende tema. I det etterfølgende er det foretatt en kortfattet oppsummering for å vise de prinsipielle forhold. Forøvrig vises det til et aktuelle bøker med mere detaljerte (matematiske) beskrivelser, f.eks. [Ref. 9.11].
En overspenning som genereres i et metallisk nett, vil forplante seg utover i nettet via alle elektrisk ledende forbindelser som er tilkoblet (luftlinjer, kabler, kabelskjermer og jordledere). Overspenninger som følge av lynnedslag og koblinger i nettet, vil normalt være høyfrekvent (1μs ~ 1 MHz) og må derfor representeres/betraktes som en vandrebølge. Hvordan overspenningen fordeler seg utover i nettet vil dermed være bestemt av bølgeimpedans (Z) og bølgehastighet (t).
Bølgeimpedans (Z) er noe forenklet gitt av likningen:

$$z = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}}$$

Hvis en ser bort fra ohmske tap, er bølgeimpedans (Z) og bølgehastighet (t) gitt av:

$$z = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad og \quad t = \sqrt{L*C} \ ,$$

Bølgeimpedansen for en luftlinje kan med god tilnærmelse bergenes ut fra formelen:

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} = 60 * \ln \frac{4*h}{d}$$

Her er : L - lederens induktivitet pr.meter

C - lederens kapasitet til jord pr. meter

h - lederens høyde over jord (meter)

d - lederens diameter (meter)

Settes f.eks. h = 5 meter og d = 1 cm fås: Z = 456 ohm

Det fremgår at bølgeimpedansen varierer med den naturlige logaritme i forholdet 4*h/d. Variasjonen er derfor liten og Z vil derfor normalt ligge i området 400 - 500 ohm.

For kabler og jordledere vil bølgeimpedansen være gitt av lederreaktans (jwL) og kapasiteten mot "sann" jord. For kabler med ytre (jordet) skjerm, vil kapasiteten over lederisolasjonen være bestemmende. Kapasiteten er tilnærmet uavhengig av frekvensen, men induktiviteten (L) kan være frekvensavhengig. Bølgeimpedansen er dermed avhengig av frekvensen, men vil normalt være tilnærmet konstant for frekvenser større en et par hundrede kilohertz.

Aktuelle verdier for ulike ledere som er benyttet i beregningsmodellen, er gitt i Tabell 2.2 nedenfor.

	Bølgeimpedans (Z) (ohm)	Bølgehastighet (t) (meter/µsek)
Luftlinje	450	300
Kabelleder	30 - 33	150 - 190
Kabelskjerm	30	90
Jordstråle	120	100

Tabell 2.2.
Bølgeimpedans og bølgehastighet for aktuelle ledere. Basert på erfaringsverdier fra beregninger og målinger.

Tabell 2.2 viser at f.eks. langs en jordstråle (leder forlagt i jord) vil overspenningen bevege seg med en hastighet på ca. 100 meter pr. μs. Bølgen "ser" en bølgeimpedans på 120 ohm.

For den aktuelle frekvens vil L og C være gitt av:

$$L = t*Z \quad og \quad C = \frac{t}{Z}$$

Dempningen av overspenningen og dermed bølgens amplitudeverdi vil være avhengig av avledningen til jord.

Hvis bølgeimpedansen for en leder endres, vil det skje en refleksjon/absorpsjon av bølgen iht. vandrebølgeteorien, dvs.:

Anta et knutepunkt hvor bølgeimpedansen endres fra A ohm til B ohm.

Refleksjonen er da gitt ved B-A/B+A.

Absorpsjonen (det som fortsetter videre) er gitt ved 2B/B+A.

Eksempel 1.

Bølgen kommer frem til en åpen ende (i luft), dvs. B ~ uendelig.

Refleksjon = uend. - 120 / uend + 120 ~ 1. Bølgen blir tilnærmet totalreflektert (med positivt fortegn), dvs. en får en fordobling av spenningen.

Eksempel 2.

Bølgen kommer via kabel (Z ~ 30 ohm) frem til transformator (på tamp), Z ~ 3000 ohm. Refleksjon = 3000 - 30 / 3000 + 30 = 0.98, dvs. fortsatt tilnærmet totalrefleksjon. Absorpsjon (inn i trafovikling): 2 * 3000 / 3000 + 30 ~ 1.98, dvs. en har spenningslikevekt i knutepunktet og summen av strømmer inn mot knutepunktet er null. (Selv om en benytter bølgeimpedanser gjelder selvfølgelig både Ohms lov og Kirchhoffs lov).

Eksempel 3.

Bølgen kommer via jordstråle (Z ~ 120 ohm) frem til et knutepunkt hvor bølgeimpedansen reduseres til 30 ohm. Refleksjon = 30 - 120 / 30 + 120 = -0.6.

Absorpsjonen 2 * 30 / 30 + 120 = 0.40, dvs. en har fortsatt spenningslikevekt i knutepunktet og summen av strømmer inn mot knutepunktet er null.

Eksempel 4.
Bølgen kommer via jordstråle (Z ~ 120 ohm) frem til et punkt med lav eller tilnærmet ingen overgangsmotstand til "sann" jord, Z ~ 0 ohm. Refleksjon = 0 - 120 / 0 + 120 = - 1, dvs. bølgen totalreflekteres, men med negativt fortegn. Absorpsjonen (inn til "sann" jord: 2 * 0 / 0 + 120 ~ 0., dvs. en har fortsatt spenningslikevekt i knutepunktet og summen av strømmer inn mot knutepunktet er null. NB! Dette er yttergrensen da en aldri vil ha "direkte tilgang" til "sann" jord.

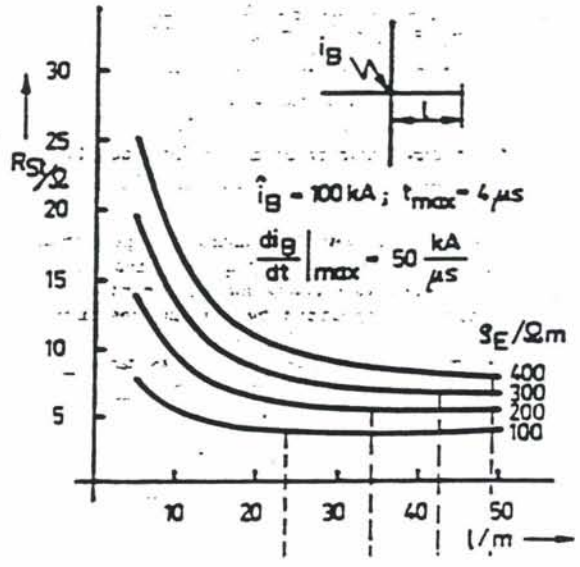
Overstående viser at den spenningsbølgen som fortsetter videre fremover fra et knutepunkt hvor bølgeimpedansen endres, kan variere mellom 0 * og 2 * innkommende spenning (maksimale yttergrenser). Det fremgår av likningene at en for en ren ohmsk motstand, R, (uten L og C) kan bølgeimpedansen tilnærmet settes til R. Spenningsnivået ved enden av strålen vil da være gitt av likningene for refleksjon/absorpsjon. Hvis R ~ 0 vil en få negativ totalrefleksjon, jfr. eksempel 4, dvs. spenningen blir tilnærmet null.

2.3 Impuls-jord.

Det fremgår av tabell 2.2 side 8 at en jordleder har en impulsmotstand på ca. 120 ohm. Bølgehastighet (forplantningshastighet) i jordstråle er ca. 100 m/μs. Hvis det kan etableres kråkefot ved mastefoten (4 stråler 90 grader på hverandre), vil impulsmotstanden reduseres til ca. 120/4 = 30 ohm. Tilsvarende reduksjon kan fås hvis det er etablert et jordnett (maskenett) på stedet. Hvis mulig bør det benyttes jordspyd (ned til frostfri dybde / grunnvann) ved foten av masta, i stjernepunkt for kråkefotjording eventuelt i endepunktet for strålene. Ved høye lynstrømmer vil det skje en ionisering av jordsmonnet omkring jordspydet og impulsmotstanden kan gå ned mot 5 - 10 ohm.

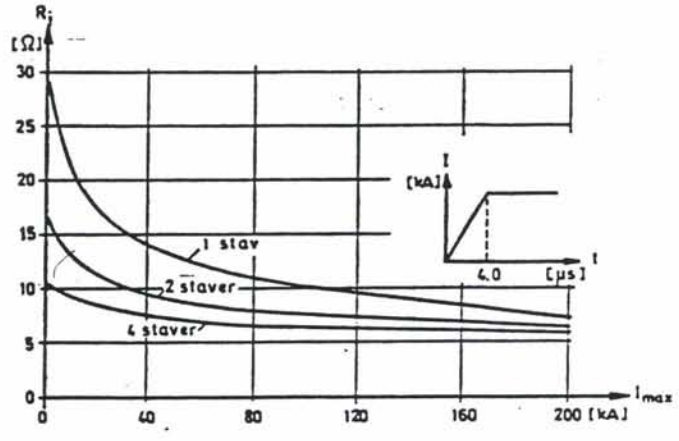
Impulsmotstanden er i stor grad avhengig av utforming på jordelektrode, jordresistiviteten samt lynstrømmens størrelse og steilhet (fronttid). Figur 2.3.1 viser hvordan lengden

på hver enkelt av de 4 jordstrålene i en kråkefotjording, bestemmer impulsmotstanden avhengig av jordresistiviteten [Ref. 9.19]. Figur 2.3.2 viser hvordan impuls jordingsmotstanden for vertikale jordspyd endres med lynstrømmens størrelse som følge av ionisering av jordsmonnet omkring jordspyd(ene) [Ref. 9.7].



Figur 2.3.1

Impuls jordingsmotstand for en kråkefotjording (4 stråler 90° på hverandre) som funksjon av lengden på hver enkelt stråle og jordresistivitet [Ref. 9.19].



Figur 2.3.2

Impuls jordingsmotstanden for vertikale jordspyd som funksjon av lynstrømmens størrelse og dermed graden av ionisering av jordsmonnet [Ref. 9.7].

Jordingsanlegg og forventet overgangsmotstand til "sann" jord ved driftfrekvent strøm (16 2/3 Hz og 50 Hz) og ved strømpulser som følge av lynoverspenninger (50 - 1000 kHz) er et omfattende tema. For mere detaljerte beskrivelser henvises det til ref. 9.7, 9.20, 9.21 og 9.22.

Det andre hovedspørsmålet som bestemmer det maksimale spenningsoppsving, er hvor lang tid det tar før "overspenningen registrerer at impulsmotstanden er endret", dvs. lengden på jordstrålen(e). Formen på et standard 1.2/50 μs støt, iht. IEC, er som vist på side 18 i kapittel 3.4 side 18. Tabell 2.2 på side 8 viser en bølgehastighet (forplantningshastighet) for jordstrålen på ca. 100 m/μs. Det verste tilfelle vil være hvis 2*løpetid for jordstråle er større en fronttid for overspenningen. Dvs. overspenningen når sin maksimale amplitudeverdi før det kommer "tilbakemelding om jordforholdene" på enden av jordstrålen. F.eks hvis overspenningens fronttid er 1 μs, vil kritisk lengde på jordstrålen være 50 meter (0.5 μs hver veg). Tilsvarende hvis fronttid er 5 μs, vil kritisk lengde på jordstrålen være 250 meter (2.5 μs hver veg). Impulsmotstanden ved mastefoten vil derfor være tidsavhengig, dvs. en øyeblikksverdi gitt av jordforholdene ved mastefoten og en verdi ved enden av jordstrålen som registreres etter 2 * overspenningens løpetid i jordstrålen. Det idielle er derfor hvis det kan etableres en lav impulsmotstand ved mastefoten / på stedet der vern er plassert. Overspenningen vil da registrere den lave impulsmotstanden på stedet lenge før overspenningen når sin maksimale verdi.

Overspennings fronttid er en statistisk størrelse som kan variere i området 1 μs - 30 μs. Registreringer viser at positive lynnedslag statistisk har lengre fronttid enn negative lynnedslag. Dvs. relativt lange jordstråler vil statistisk gi bedre beskyttelse mot positive lynnedslag sammenlignet med negative lynnedslag. NB! Det er da en forutsetning at jordstrålen kan føres frem til områder der overgangsmotstanden til jord er (vesentlig) lavere enn bølgeimpedansen for jordstrålen, f.eks sjø / myr eventuelt at jordstrålen kan avsluttes med et jordspyd. Impulsjord vil følgelig være både strøm og tidsavhengig.

Det fremgår at det er viktig å skille mellom 50 Hz jord og impulsjord. Jfr. at "fronttiden" for 50 Hz er 5 millisek., mens den for lynoverspenninger ligger i området 1 - 10 μs, dvs. en faktor i størrelsesorden 1 : 1000. Impulsmotstanden vil følgelig være bestemt av hvordan jordelektroden er utformet, lengden på jordstrålene bruk av jordspyd og jordsmonn/fuktighet på stedet. Generelt kan sies at hvis en har en god impulsjord, vil en også ha en god jord mht. 50 Hz og 16.66 Hz spenningspåtrykk. Det omvendte er som det fremgår av det foranstående, imidlertid ikke tilfelle.

2.4 Strømforsyningssystem og overspenningsvern.

230 volt - 50 Hz strømforsyningen fra det lokale energiverk kan være oppbygd som IT-nett, TT-nett eller TN-nett. På Oggevatn som forsynes over lavspent luftlinje, er det IT-nett fra det lokale e-verk. Det er viktig å fastlegge type nett da dette er bestemmende for hvilken krav som må settes til merkedata for overspenningsvern. Den prinsipielle forskjell på de 3 nett-typene er vist i vedlegg 2. Her foretas i tillegg en kort oppsummering:

IT-nett — Nøytralpunktet er isolert fra jord via gjennomslagsvern (disneuter). Lasten ligger mellom fasene. Nettet kan drives kontinuerlig med enfase jordfeil. Stor spenningsstigning fase-jord ved enfase jordfeil, spesielt ved jordfeil over reaktor. Lang tid før jordfeil frakobles. Mere utsatt for overspenninger.

TT-nett — Nøytralpunktet er direkte koblet til jord. Lasten ligger mellom fasene. Liten og kortvarig spenningsstigning fase-jord ved enfase jordfeil. Krever normalt jordfeilsrelé og automatisk utkobling ved enfase jordfeil. Mindre utsatt for overspenninger.

TN-nett — Nøytralpunktet er direkte koblet til jord. Lasten ligger mellom en fase og N-leder. Moderat spenningsstigning fase-jord ved enfase jordfeil. Enfase jordfeil skal gi sikringsbrudd på feilfase og dermed hurtig utkobling av jordfeil. Mindre utsatt for overspenninger.

Overspenningsvern som benyttes i 230 volt strømforsyning, kan oppdeles i to hovedgrupper, hhv. gnistgap (gnisthorn, gassavledere) eller halvledende (varistor, zenerdioder etc.). Hovedforskjellen er at gnistgap er isolerende i normal drift, mens varistorer leder en liten strøm, Ij < 0.1 mA. Det finnes også overspenningsvern som kombinerer bruken av gassavledere og varistorer. For overspenninger med frekvenser opp til 1 MHz - 2 MHz vil gassavleder og varistorer gi tilfredsstillende overspenningsbeskyttelse. For høyere frekvenser og spesielt innenfor høyfrekvent EMC problematikk (1 MHz - 1 GHz), kan

det være behov for ekstra vern. For følsomt utstyr benyttes derfor også ulike filterkombinasjoner, sammenbygget av induktanser og kapasiteter.

Fordelen med gnistgap er driftspåliteligheten samt at anlegget kan isolasjonsmåles (megges) uten at en får jordfeilsindikering. Ulempen er at tennspenningen er avhengig av støtets form samt at tennspenning og dermed vernenivå øker når gaplengden øker i samband med avbrenning av elektrodene. Hvis følgestrømmen etter tenning er for stor, vil gnistgapet ikke slukke etter at overspenningen har passert. En får dermed bryterfall eller sikringsbrudd i anlegget.

Fordelen med varistorvern er lavt vernenivå. Ulempen er faren for havari hvis merkespenningen er valgt for lav eller energiopptaksevnen er for liten. Varistorvern kan videre skape problemer i samband med isolasjonsmåling (megging), spesielt hvis flere vern, fase-jord, er koblet parallelt i anlegget.

Valg av merkespenning for varistorvern er et kompromiss mellom best mulig beskyttelse mot impulsoverspenninger og evnen til å tåle spenningspåkjenningene ved normal drift. Vernenivået øker proporsjonalt med merkespenningen. Der er derfor ønskelig med lavest mulig merkespenning for å få best mulig beskyttelse. Samtidig må lekkasjestrømmen i normal drift ikke være så stor at det medfører varmgang og havari. Merkespenning for varistorvern, fase-jord, er bestemt av spenningen fase-jord ved enfase jordfeil og varigheten av jordfeilen. Merkespenning for varistor, fase-fase, er bestemt av maksimal spenning som kan opptre mellom fasene. For en mere utførlig beskrivelse av ulike typer vern og krav til merkespenning henvises til Ref. 9.5 og 9.6.

IEC anbefaler at følgende høyeste kontinuerlige driftsspenning legges til grunn ved valg av merkespenning i de 3 strømforsyningssystemene:

230 volt IT-forsyningssystem

- fase-jord, $U_r >= 360$ volt
- fase-fase, $U_r >= 264$ volt

230 volt TT-forsyningssystem

- fase-jord, $U_r >= 153$ volt
- fase-fase, $U_r >= 264$ volt

230/400 volt TN-forsyningssystem

- fase-jord, U_r > = 253 volt
- fase-fase, U_r > = 440 volt
- N-leder til jord (PE),U_r > = 253 volt

Det fremgår at vern for et IT-nett kan brukes i både TT- og TN-nett. Det omvendte er imidlertid ikke tilfelle. For varistorvern vil vernenivået tilnærmet være proporsjonalt med merkespenningen. Det fremgår dermed at en må akseptere et høyere vernenivå (dårligere beskyttelse) i et IT-system, sammenlignet med et TN-system. Lavest vernenivå og best beskyttelse vil en ha i et TT-system.

Uansett type vern og strømforsyningssystem er det svært viktig å understreke at tilkoblingsledningene for vernet både på spenning og jordsiden må være kortest mulig (< 10-20 cm). Lange tilkoblingsledninger kan gi ekstra spenningsstigning på flere kV og dermed gi et uakseptabelt vernenivå i anlegget.

2.5 Soneteori og jordingsproblematikk.

Det er foretatt en vurdering mht. om NSBs ulike elektroinstallasjoner kan inndeles i soner iht. IEC 1312-1 [Ref. 9.13]. Videre er jording og jordingsnett vurdert iht. IEC-1024-1. [Ref. 9.14 og 9.15].

Da skinnene benyttes som returforbindelse for kjørestrømmen, er det en forutsetning at jordnettet konsekvent er treformet (stjerneformet) og ikke maskeformet, dvs. "single point bonding" og ikke "equipotensial bonding". Dette er nødvendig for å ha kontroll med returstrøm og sporfelter. En soneinndeling iht. IEC forutsetter at alle jordforbindelser (skjermjord og PE-ledere) er terminert (jordet eller tilkoblet via overspenningsvern) på soneoverflaten der de tilhørende ledere føres inn i en ny definert sone. Dette er spesielt viktig mht. høyfrekvent EMC problematikk for å hindre overføring av elektromagnetisk støy mellom soner og mellom ulike systemer.

3. BEREGNINGSFORUTSETNINGER

3.1 Beregningsmodellen.

Beregningene var i utgangspunktet tenkt utført ved bruk av et enfase beregningsprogram TN-LYN [Ref. 9.8]. På grunn av kompleksiteten i anleggene, spesielt på jordsiden, der det er nødvendig å referere til 5 "jord"-nivå, hhv. skinnejord, jord for reservestrømstrafo, jord i reléhus, e-verks jord og "sann" jord, var det nødvendig å gå over til EMTP, [Ref. 9.9 - 9.10]. EMTP (Electro Magnetic Transient Program)er et annerkjent flerfase amerikansk beregningsprogram der det ikke er noen (praktiske) begrensninger mht. modellering og plassering av elektriske komponenter. I EMTP er benyttet en ledningsmodell der en angir resistans, induktans (L), kapasitans (C) samt ledningslengde (km). Programmet transformerer inngangsdata til vandrebølger, dvs. bølgeimpedans (Z) og bølgehastighet (t), jfr. tabell 2.2. For å unngå numeriske problemer i beregningsdelen, er det generelt forutsatt trefase symmetriske systemer, men bare de aktuelle faser benyttes ved beregningene.

3.2 Overspenningsvern.

I beregningsmodellen er det som "grovvern" benyttet varistorvern med merkespenning 385 volt. Strøm-/spenningskarakteristikk for hhv. 8/20 μs støt og 1/9 μs støt er innlagt, For "finvern" er det benyttet tilsvarende strøm-/spenningskarakteristikk, men med 15% høyere vernenivå. Benyttede strøm- spenningsverdier er vist i tabellene 3.2.1 - 3.2.4 nedenfor. Figur 3.2 på neste side viser de 4 tabellene på grafisk form. En merkespenning på min. 360 volt, fase-jord, er av IEC generelt anbefalt i 230 volt IT-nett. Normalt må påregnes produksjonstoleranser slik at vernenivået kan variere med $\pm 5\%$.
Jfr. kapittel 2.4 for merkespenning i andre typer nett.

Strøm (kA)	1.10^{-6}	0.001	0.1	1.0	5.0	10.0	15.0	40.0
Spenning (kV)	0.6	0.85	1.1	1.3	1.5	1.9	2.1	3.0

Tabell 3.2.1 "Grov vern". Varistor med merkespenning 385 volt.
Strøm- /spenningskarakteristikk for 8/20 μs støt.

Strøm (kA)	1.10^{-6}	0.001	0.1	1.0	5.0	10.0	15.0	40.0
Spenning (kV)	0.88	1.24	1.61	1.9	2.25	2.78	3.1	4.4

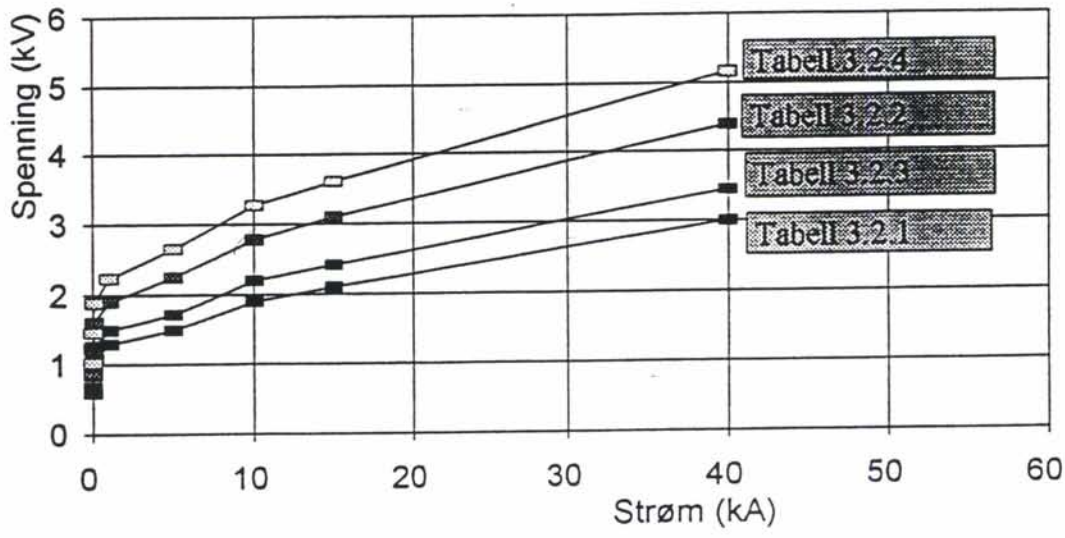
Tabell 3.2.2 "Grov vern". Varistor med merkespenning 385 volt.
Strøm- /spenningskarakteristikk for 1/9 μs støt.

Strøm (kA)	1.10^{-6}	0.001	0.1	1.0	5.0	10.0	15.0	40.0
Spenning (kV)	0.69	0.98	1.27	1.5	1.72	2.2	2.41	3.45

Tabell 3.2.3 "Fin vern". Varistor med merkespenning 440 volt.
Strøm- /spenningskarakteristikk for 8/20 μs støt.

Strøm (kA)	1.10^{-6}	0.001	0.1	1.0	5.0	10.0	15.0	40.0
Spenning (kV)	1.03	1.46	1.89	2.23	2.65	3.27	3.61	5.16

Tabell 3.2.4 "Fin vern". Varistor med merkespenning 440 volt.
Strøm- /spenningskarakteristikk for 1/9 μs støt.



Figur 3.2

Vernenivå (spenningsbegrensning) som funksjon av strøm, for de 4 forskjellige varistorvern som er vist i tabellene 3.2.1 - 3.2.4.

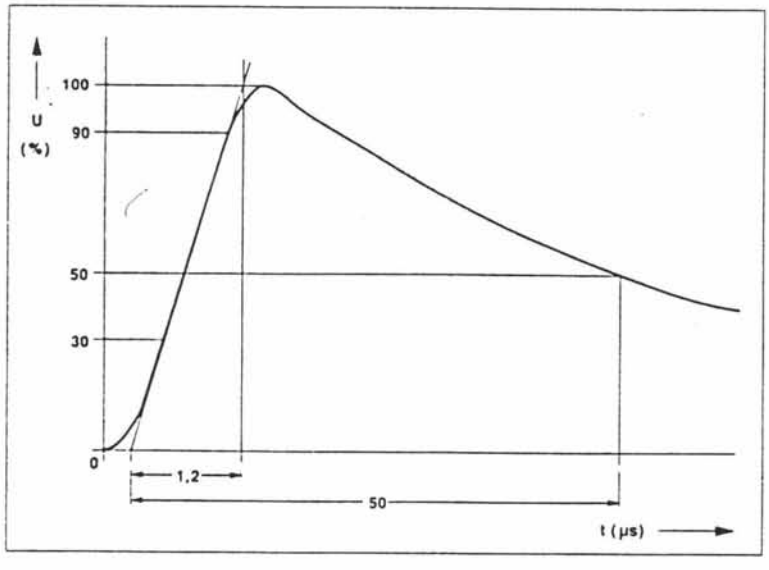
3.3 Overspenninger inn fra e-verkets nett.

Det kan normalt antas at minst 99% av alle overspenninger i 230 volt luftlinjenettet skyldes induserte overspenninger. Induserte overspenninger vil sjelden eller aldri overstige 300 kV [Ref. 9.5].

Ved direkte lynnedslag til luftlinjen, vil størrelsen på overspenningen være gitt av isolasjonsholdfastheten for 230 volt linjen. En tørr trestolpe vil i gjennomsnitt ha en isolasjonsholdfasthet på 700 kV pr. meter stolpe (350 kV pr. meter for våt stolpe) [Ref. 9.7]. Lavspentstolper på 5 alternativt 7 meter vil følgelig ha en isolasjonsholdfasthet på hhv. 3500 kV og 4900 kV (50% sannsynlighetsverdi). Maksimal overspenning inn mot overgang luftlinje/kabel før reléhus er i modellen satt til 5000 kV. Dette tilsvarer et direkte lynnedslag til luftlinjen med maksimal strømamplitude 22 kA. Til sammenligning er 50% sannsynlighetsverdi for negative og positive lynnedslag på hhv. 34 kA og 47 kA.

3.4 Isolasjonsholdfasthet i anlegget.

Et standard 1.2/50 μs støt iht. IEC 60-1, er vist i figur 3.4 nedenfor.



Figur 3.4

Standard 1.2/50 μs støt iht. IEC med fronttid (stigetid) på 1.2 μs (microsekund) = 0.000001.2 sekund og halvverditid på 50 μs.

Iht. IEC 664-1 Table 1 [Ref. 9.12] skal lavspent elektrisk utstyr ha følgende isolasjonsholdfasthet mot overspenninger (1,2/50 μs og 8/20 μs støt):

- 6.0 kV Strøminntak, inkludert måler
- 4.5 kV Fast opplegg, inkl. ledninger og stikk-kontakter
- 2.5 kV Vanlig utstyr (fryser, varmtvannsbereder, etc)
- 1.5 kV Elektronikk (radio, TV etc)

Verdiene gjelder for 230/400 volt system og det er ikke skilt mellom isolasjonsholdfasthet fase-fase og fase-jord. Videre er det i Norge normalt ikke skilt mellom strømforsyningssystem, dvs. det er samme krav til isolasjonsholdfasthet i IT-, TT- og TN-nett.

Iht. vurderinger utført av prosjektgruppa, var det i utgangspunktet ønskelig med følgende spenningsbegrensning:

- 2.5 kV Hovedfordeling, Omformer og Inntak fra reservestrømstrafo.
- 1.5 kV Telerom og Signalrom.

Beregningene viser at de maksimale spenningsdifferanser i reléhuset i visse tilfeller overskrider 2.5 kV, men ligger lavere enn 4.5 kV. Dette gjelder spesielt ved direkte lynnedslag til 230 volt luftlinje, jfr. tabell 4.2. Iht. IEC skal fast opplegg, inkl. ledninger og stikk-kontakter ha et isolasjonsnivå på 4.5 kV. Så lenge overspenningsnivået ligger lavere enn 4.5 kV, bør det dermed ikke være fare for skader på 230 volt utstyr. På steder hvor det er montert overspenningsvern mellom leder og utsatte deler (lokal jord) vil overspenningsnivået begrenses til avledningsnivået for vernet, jfr. kapittel 6. Det er derfor viktig at slikt overspenningsvern er forankoblet strømforsyningsenhet (power-supply) til tele- og signalanleggene.

Forøvrig er det i Europa Normer (EN) satt krav til immunitetsnivå [Ref. 9.16, 9.17]. Kravene er referert i tabellene 3.4.1 og 3.4.2 på neste side.

Påkjenning	Inngang/utgang DC-forsyning	Inngang/utgang AC-forsyning
Fase-jord (Commen Mode)	0.5 kV	2.0 kV
Fase-fase (Differential Mode	0.5 kV	1.0 kV

Tabell 3.4.1 Testkrav til immunitetsnivå for miljøklasse 1 for utstyr til husholdning, forretninger og lett industri iht. EN50082-1. Kravene er basert på 1.2/50 μs og 8/20 μs støtform.

Påkjenning	Inngang/utgang DC-forsyning	Inngang/utgang AC-forsyning
Fase-jord (Commen Mode)	0.5 kV	4.0 kV
Fase-fase (Differential Mode	0.5 kV	4.0 kV

Tabell 3.4.2 Testkrav til immunitetsnivå for miljøklasse 2 for utstyr til industri iht. EN50082-2. Kravene er basert på 1.2/50 μs og 8/20 μs støtform.

Utover immunitetsnivå gitt i EN50082-1 og -2 finnes det i IEC 1000-4-5 basisnorm [Ref. 9.17], innført syv forskjellige installasjonsklasser som definerer hva ulike typer utstyr skal kunne motstå av transiente påkjenninger.

3.5 Avstander i anlegget (reléhuset).

Iht. opplysninger om Oggevatn reléhus er det antatt følgende avstander i anlegget:

a. Overgang luftlinje/kabel - Hovedfordeling: 15.0 meter
b. Hovedfordeling - Telerom: 3.0 meter
c. Hovedfordeling - Signalrom: 4.5 meter
d. Hovedfordeling - Omformer: 6.0 meter
e. Hovedfordeling - Inntak reservestrømstrafo: 3.5 meter
f. Inntak Reservestrømstrafo - Reservestrømstrafo: min 10 meter
g. Hovedfordeling - Tomtelys 10.0 meter

3.6 Overgangsmotstand til jord i anlegget.

Iht. opplysninger/målinger fra Oggevatn er følgende verdier for overgangsmotstanden til "sann" jord benyttet:

Inntaksstolpe overgang luftlinje/kabel:	4 ohm
Hovedjordskinne i hovedfordelingsskap (reléhus):	2 ohm
Reservestrømstrafo	1200 ohm
Skinnejord:	17000 ohm

Verdiene for reservestrømstrafo og skinnejord virker høye og vil bli kontrollert på stedet.

Jording i inntaksstolpe og hovedfordelingsskap er sammenkoblet. Dette gjøres generelt når avstanden er mindre enn 20 meter. Det er også utført alternative beregninger med 40 ohm og 100 ohm impulsmotstand ved stolpe / i hovedfordeling. Jordmotstanden og spesielt impulsmotstanden har betydning for avledningen av lynstrømmen til "sann" jord, påkjenningen på overspenningsvern og dermed sannsynligheten for om vernet havarerer. Så lenge de forskjellige jordskinner er sammenkoblet, har overgangsmotstanden til "sann" jord mindre betydning for det maksimale spenningsoppsving mellom ledere og kabelskjerm/lokal jord som i utgangspunktet er bestemt av avledningsnivået for de overspenningsvern som benyttes.

4. BEREGNINGSRESULTATER.

Det er utført en rekke beregninger med ulike forutsetninger. Resultatet fra endel av beregningene er referert i de etterfølgende tabeller. Lokalitet og nummerering viser til vedlagte "PRINSIPP SKJEMA FOR JORDING" i figur 1.1 - vedlegg 1. Videre er det i tabellene vist til figurer i vedlegg 1 som viser typiske overspenningsforløp. Det må understrekes at maksimalt spenningsoppsving på ulike steder i anlegget er avhengig av kurveformen på innkommende overspenningsbølge. Spenningsoppsvinget vil generelt reduseres når fronttid øker og halvverditid reduseres. Ved beregningene er det som referanse benyttet en noe ekstrem kurveform på 1.0/200 μs. Dette tilsvarer ca. 1% sannsynlighetsverdi ved direkte negative lynnedslag. Dvs. det er 99% sannsynlighet for at overspenningen har en lengere fronttid og en kortere halvverditid enn 1.0/200 μs. Induserte overspenninger vil normalt ha relativt lang fronttid, Tf > 10 μs. I samband med overslag mot jord på linjer og i anlegg kan det imidlertid genereres svært steile overspenninger også ved induserte overspenninger.

4.1 Induserte overspenninger inn fra e-verkets 230 volt nett.

Som angitt tidligere i kapittel 3.3, må det antas at minst 99% av alle overspenninger i 230 volt luftlinjenett, skyldes induserte overspenninger. Overspenningens maksimale amplitudeverdi er antatt å være 300 kV.

Tabell 4.1 på side 24 viser de maksimale spenningsoppsving og energiutvikling i overspenningsvernene på ulike steder i anlegget som følge av induserte overspenninger. Det fremgår at den høyeste spenningsdifferanse på 4.4 kV oppstår i inntaksstolpe mellom leder og åpen skjerm. Det må antas at inntakskabelen minst har en isolasjons-holdfasthet på 6 kV. Beregningene er imidlertid utført med jordingsverdier fra Oggevatn, dvs. jordmotstand på 4 ohm ved inntaksstolpe og 2 ohm i reléhus. Hvis det forutsettes 40 ohm impulsmotstand ved stolpe / i reléhus, øker spenningsdifferansen til 9.15 kV og det er fare for overslag. Økning av jordmotstanden har forøvrig liten eller ingen betydning for spenningsoppsvinget inne i reléhuset.

I utgangspunktet var det ønskelig at maksimal transient spenningsdifferanse i telerom og signalrom ikke overskrider 1.5 kV. Dette oppfylles i telerommet hvor maksimal spenningsdifferanse er 1.28 kV. I signalrom er maksimalt spenningsoppsving på 1.83 kV mellom leder og åpen skjerm og 1.8 kV mellom leder og lokal jord på kabel fra hovedfordeling, dvs. grensen på 1.5 kV er overskredet. I tele- og signalanlegget er imidlertid vern montert mellom leder og lokal jord hvor strømforsyningsenhetene for tele og signal er tilkoblet. Vernet begrenser maksimal spenning på 230 volt siden av strømforsyningsenhetene til 1.28 kV og 1.2 kV på hhv. tele- og signalrom, dvs. til et antatt ufarlig nivå. Maksimalt spenningsoppsving i hovedfordeling og omformerrom er på hhv. 1.7 kV og 1.2 kV og kravet til maksimale spenningsdifferanser på 2.5 kV er dermed oppfylt.
Det fremgår videre av tabell 4.1 hvert av de to vernene, fase-jord, i inntaksstolpe trekker en strøm på 0.51 kA. Hvert av vernene i hovedfordelingen trekker en strøm på 0.75 kA.

Sted - NR	Maksimale spenningsdifferanser (kV) - Figur-referanser			Belastning på overspenningsvernene	
	Mellom ledere (faser)	Mellom leder og lokal jord	Mellom leder og åpen skjerm	Maks. strøm (kA)	Maks. energi (kJ)
Overgang luftlinje/kabel - 1	~0	1.34 - Fig. 4.1.1	4.4 - Fig. 4.1.1	0.51	0.01
Hovedfordeling - 2	0.005	1.26 - Fig. 4.1.2	1.7 - Fig. 4.1.2	0.75	0.01
Tomtelys - 3	0.5	-	2.3	-	-
Telerom - 4	0.005	1.28	-	0.08	~0
Signalrom fra: Hovedfordeling: - 5 Omformer: - 6	0.006	 1.8 - Fig. 4.1.3 1.2 - Fig. 4.1.4	 1.83 - Fig. 4.1.3 1.52 - Fig. 4.1.4	 - 0.06	
Omformer fra: Hovedfordeling: - 7 Reservestrømstrafo: - 8	~0	1.2	- -	0.05	
Inntaks-skap i reléhus fra reservestrømstrafo - 9		1.2	-		
Sikringsskap ved reservestrømstrafo. Fra reléhus: - 10 Fra reservestrømstrafo:- 11		 -	 1.2 0.8		
Reservestrømstrafo 230 volt side: - 12 16 kV side: - 13					

Tabell 4.1. Maksimale spenningsoppsving og energiutvikling i overspenningsvernene på ulike steder i anlegget. Det er forutsatt en indusert overspenning med negativ polaritet på begge faser, 300 kV (1/200 μs støt), som kommer inn fra e-verkets luftlinjenett. Anlegget er strømløst, dvs. driftsspenninger kommer i tillegg (0.2 - 0.3 kV avhengig av jordfeil).
Sted - NR, henviser til nummerering vist på tegning i figur 1.1 - vedlegg 1.

4.2 Direkte lynnedslag til e-verkets 230 volt luftlinje.

Som angitt tidligere i kapittel 3.3, må det antas at et direkte lynnedslag til 230 volt luftlinjen, vil forårsake en overspenning på ca. 5000 kV som kommer inn mot inntaksstolpe. De maksimale spenningsoppsving i anlegget for dette spenningspåtrykket er vist i tabell 4.2 på neste side. Det fremgår av tabell 4.2 at de høyeste spenningsdifferanser oppstår mellom leder og åpen skjerm. I overgangen luftlinje/kabel i inntaksstolpe er maksimal spenningsdifferanse 27 kV og det er stor sannsynlighet for kabelskade. Hvis kabelskjerm er jordet i inntaksstolpe, vil maksimalt spenningsoppsving mellom leder og kabelskjerm begrenses til avledningsnivået for overspenningsvernet i stolpe. Jfr. forøvrig kapittel 4.4.1.

I telerom og signalrom er maksimal transient spenningsdifferanse på hhv. 2.5 kV og 3.4 kV. Ønsket maksimalt nivå på 1.5 kV er dermed overskredet. Maksimale spenningsdifferanser i hovedfordeling og omformerrom er på hhv. 2.9 kV og 1.4 kV, mens ønsket maksimalverdi var 2.5 kV.

Det fremgår av kapittel 3.4 at fast opplagte ledninger og stikk-kontakter må forventes å ha en isolasjonsholdfasthet på 4.5 kV.

Et isolasjonsnivå på 4.5 kV overskrides ikke inne i reléhuset. Det mest kritiske punkt vil være tomtelysforsyningen hvor maksimal spenningsdifferanse er 4.5 kV.

Det fremgår videre av tabell 4.2 at maksimal spenning mellom leder og lokal jord i telerom hvor strømforsyningsenhet til teleanlegget er tilkoblet, er på 1.4 kV. Tilsvarende spenningsnivå (leder-lokal jord) i signalrom er 1.3 kV. Overspenningen begrenses dermed av avledningsnivået for overspenningsvernet til et nivå under 1.5 kV som er antatt å være isolasjonsholdfastheten på 230 volt siden av strømforsyningsenhetene (power-supply) til tele- og signalanleggene.

En overspenning med maksimalverdi 5000 kV, tilsvarer et direkte lynnedslag til luftlinjen med maksimal strømamplitude 22 kA. Dette tilsvarer ca. 40% sannsynlighetsverdi for negative lynnedslag, dvs. 60% av alle direkte lynnedslag med negativ polaritet til luftlinjen vil forårsake de overspenningspåkjenninger som er vist i tabell 4.2.

Sted - NR	Maksimale spenningsdifferanser (kV) - Figur-referanser			Belastning på overspenningsvernene	
	Mellom ledere (faser)	Mellom leder og lokal jord	Mellom leder og åpen skjerm	Maks. strøm (kA)	Maks. energi (kJ)
Overgang luftlinje/kabel - 1	~0	1.5 - Fig. 4.2.1	27.0 - Fig. 4.2.1	4.2	0.5
Hovedfordeling - 2	~0	1.6 - Fig. 4.2.2	2.9 - Fig. 4.2.2	6.3	0.6
Tomtelys - 3	~0	-	4.5	-	-
Telerom - 4	~0	1.4	2.5	0.4	0.06
Signalrom fra: Hovedfordeling: - 5 Omformer: - 6	0.006	3.2 - Fig. 4.2.3 1.3 - Fig. 4.2.4	3.4 - Fig. 4.2.3 2.2 - Fig. 4.2.4	- 0.4	0.06
Omformer fra: Hovedfordeling: - 7 Reservestrømstrafo: - 8	~0	1.4 1.3	- -	0.11 0.15	0.02 0.02
Inntaks-skap i reléhus fra reservestrømstrafo - 9		0.6	-	0.1	0.01
Sikringsskap ved reservestrømstrafo. Fra reléhus: - 10 Fra reservestrømstrafo:- 11	1.02	1.02	2.3 2.3	0.02	
Reservestrømstrafo 230 volt side: - 12 16 kV side: - 13					

Tabell 4.2. Maksimale spenningsoppsving og energiutvikling i overspenningsvernene på ulike steder i anlegget. Det er forutsatt et direkte lynnedslag med negativ polaritet i e-verkets nett. Lynnedslaget gir overslag til begge faser og genererer en overspenning på 5000 kV (1/200 μs støt) som kommer inn mot knutepunkt 1. Anlegget er forutsatt strømløst, dvs. driftsspenninger kommer i tillegg (0.2 - 0.3 kV avhengig av jordfeil). Sted - NR, henviser til nummerering vist på tegning i figur 1.1 - vedlegg 1.

4.3 Direkte lynnedslag til NSBs kontaktledning / skinner.

Tabell 4.3 på neste side viser de maksimale spenningsoppsving og energiutvikling i overspenningsvernene på ulike steder i anlegget som følge av et direkte lynnedslag til NSBs kontaktledning eller skinner.
Ved beregningene er det forutsatt at kabelskjerm for kabel fra sikringsskap er isolert ved sikringsskap og tilkoblet lokal jordskinne i inntaksskap i reléhus, jfr. figur 1.1 - vedlegg 1. Iht. figur 1.3 - vedlegg 1 skal kabelskjerm isoleres i inntaksskap og jordes i sikringsskap. Modellering av reservestrømforsyning fra kontaktledning/reservestrømstrafo er forøvrig som vist på figur 1.3 - vedlegg 1. Dvs. skjerm for kabel mellom reservestrømstrafo og sikringsskap er jordet ved reservestrømstrafo og isolert i sikringsskap. Videre er en fase både på 16 kV og 230 volt siden av reservestrømstrafo er lagt til lokal jord/skinnejord. I sikringsskap ved reservestrømstrafo er det overspenningsvern mellom fasene. Da en fase er direkte jordet ved reservestrømstrafo både på 16 kV og 230 volt siden, vil overspenninger som genereres i kontaktledning / skinner ledes inn i reléhuset via faselederne på kabel. Hvor stor del av lynstrømmen som går inn mot reléhuset, er bestemt av forholdet mellom overgangsmotstanden til jord ved reservestrømstrafo og i reléhus. Iht. figur 1.3 - vedlegg 1 skal overgangsmotstanden til jord ved reservestrømstrafo ikke overskride 2000 / ytelse for reservestrømstrafo i KVA. Dvs. hvis reservestrømstrafo er på 25 KVA, skal overgangsmotstanden til jord ikke overskride 80 ohm. Tilsvarende ved ytelse på 10 KVA, skal overgangsmotstanden ikke overskride 200 ohm. Jfr. forøvrig kapittel 4.4.5.

Det fremgår av tabell 4.3 at de største påkjenninger oppstår i sikringsskapet for reservestrømstrafo der maksimal spenningsdifferanse mellom leder og åpen skjerm er 13.8 kV. Overspenningsvern mellom faser i sikringsskapet leder en strøm på 2.8 kA.
Det fremgår at det også er betydelig spenningsoppsving mellom ledere og åpen skjerm i reléhuset. På de steder der det er overspenningsvern, begrenses spenningsoppsvinget til avledningsnivået for overspenningsvernet. Energipåkjenningen på vernet er moderat og spenningsoppsvinget begrenses til et ufarlig nivå så lenge overspenningsvernet er intakt.

Sted - NR	Maksimale spenningsdifferanser (kV) - Figur-referanser			Belastning på overspenningsvernene	
	Mellom ledere (faser)	Mellom leder og lokal jord	Mellom leder og åpen skjerm	Maks. strøm (kA)	Maks. energi (kJ)
Overgang luftlinje/kabel - 1	~0	1.3 - Fig. 4.3.1	5.0 - Fig. 4.3.1	0.91	0.08
Hovedfordeling - 2	~0	1.3 - Fig. 4.3.2	8.3 - Fig. 4.3.2	1.05	0.10
Tomtelys - 3	~0	-	3.0	-	-
Telerom - 4	~0	1.2	-	0.03	~0
Signalrom fra: Hovedfordeling: - 5 Omformer: - 6	~0	3.7 1.3 - Fig. 4.3.3	1.7 4.4 - Fig. 4.3.3	- 0.16	- 0.02
Omformer fra: Hovedfordeling: - 7 Reservestrømstrafo: - 8	~0 0.14	1.6 1.6	- -	1.77 2.12	0.17 0.20
Inntaks-skap i reléhus fra reservestrømstrafo - 9	0.3	1.25	-	0.61	0.06
Sikringsskap ved reservestrømstrafo. Fra reléhus: - 10 Fra reservestrømstrafo:- 11	2.1	- -	11.4 - Fig. 4.3.4 13.8 - Fig. 4.3.4	2.8	0.26
Reservestrømstrafo 230 volt side: - 12 16 kV side: - 13					

Tabell 4.3 Maksimale spenningsoppsving og energiutvikling i overspenningsvernene på ulike steder i anlegget. Det er forutsatt et direkte lynnedslag (7 kA - 1/200 μs støt) med positiv polaritet til kontaktledning. Anlegget er strømløst, dvs. driftsspenninger kommer i tillegg (0.2 - 0.3 kV avhengig av jordfeil).
Sted - NR, henviser til nummerering vist på tegning i figur 1.1 - vedlegg 1.

4.4 Kommentarer til beregningsresultatene.

4.4.1 Kabelskjerm for inntakskabel.

Iht. tegning "PRINSIPP SKJEMA FOR JORDING" figur 1.1 - vedlegg 1 er skjerm for inntakskabel jordet i reléhus og åpen (isolert) i inntaksstolpe. De høyeste spenningsdifferanser oppstår i inntaksstolpe, mellom leder og åpen skjerm. Sannsynligheten for overslag og skade på kabel er avhengig av impulsmotstanden ved mastefoten. På Oggevatn er det mindre enn 20 meter mellom jord ved stolpe og jord i reléhuset. De to jordreferansene er derfor sammenkoblet. Det lokale e-verk har benyttet IT-system og e-verket har ikke ført frem separat jord til siste stolpe før reléhus. Det er dermed forsvarlig å jorde kabelskjermen i begge ender, dvs. også i inntaksstolpe. Dermed vil spenningsoppsvinget mellom leder og kabelskjerm begrenses til avledningsnivået for overspenningsvernet i stolpe, dvs. ca. 1.5 kV.

4.4.2 Overspenningsvern fase-fase.

Iht. tegning "PRINSIPP SKJEMA FOR JORDING" er det montert overspenningsvern fase-jord. På Oggevatn stasjon er det også benyttet overspenningsvern, fase-fase. Vern, fase-fase, er normalt benyttet som beskyttelse i installasjoner med relativt stor utstrekning (lange føringer). Beregninger for reléhuset viser at overspenningsnivået mellom fasene er relativt lavt. Det bør derfor ikke være behov for grovvern, fase-fase. Det er også utført overspenningsberegninger som bekrefter dette, der det er forutsatt at det er enfase jordfeil i reléhuset forut for lynnedslaget. Et unntak er imidlertid i tele- og signalrom hvor det er montert finvern. Her vil vern montert mellom fasene gi en ekstra beskyttelse av strømforsyningsenhetene samtidig med at en delvis får en gjensidig reserve for de vern som er montert fase-jord. Bemerk at det også i TN-system anbefales vern mellom "faser" og jord, dvs, at et av vernene kobles mellom N-leder og jord.

4.4.3 Hovedjordskinne i hovedfordelingsskap/telerom

I reléhus på Oggevatn er hovedjordskinne plassert i hovedfordelingsskap. Det er stilt spørsmål ved om hovedjordskinne kan plasseres i telerom. Beregningene viser at de to alternative plasseringer av hovedjordskinne har liten betydning mht. de maksimale spenningsoppsving i reléhuset. Dette skyldes den relativt korte avstanden mellom jord i hovedfordelingsskap og jord i telerom (3.0 meter). Den transiente strøm til "sann" jord som følge av overspenningen vil fordele seg mellom jord ved inntaksstolpe og jord i reléhus. Den totale strøm til jord er gitt som summen av alle strømmer som overspenningsvernene trekker. For beregningene vist i tabell 4.1 vil strømmen til "sann" jord via hovedjordskinne i reléhus, være ca. 1.7 kA. Hvis hovedjordskinne ligger i telerom, må lynstrømmen "gå dit" før den finner "sann" jord. Dette kan være uheldig spesielt med hensyn på mere høyfrekvent EMC problematikk. Lynstrømmen vil sette opp et magnetisk felt som spesielt kan påvirke telesignalene i telerommet, hvis hovedjordskinnen er montert her. Generelt vil det være en fordel desto tidligere i anlegget lynstrømmen kan ledes til "sann" jord. Det vil også være i tråd med moderne soneteori at jordleder og kabelskjerm termineres til jord i første sone (hovedfordelingsskap) og ikke føres videre til neste sone (telerom). Det er da forutsatt at telesignalene er ført ut på jordkabler og ikke som luftstrekk. Dette er bekreftet i prosjektgruppen. At telekablene er jordet (balansert) tilsier at hovedjordskinne plasseres i telerom. Vi vil imidlertid ut fra en helhetsvurdering anbefale plassering av hovedjordskinne i hovedfordelingsskap (av to onder velger man den minste).

4.4.4 Vern av omformer fra reservestrømstrafo.

Iht. tegning "PRINSIPP SKJEMA FOR JORDING" er det montert grovvern i inntaksskap i reléhus fra reservestrømstrafo. I tillegg er det montert finvern foran omformer. Det er stilt spørsmål ved om fin- vernet kan fjernes på 16 2/3 Hz siden av omformer. Avstanden på Oggevatn mellom inntaksskap i reléhus fra reservestrømstrafo og omformer er ca. 5 meter. Beregningene viser at finvernet ved omformer bør beholdes. I tillegg til at det gir en ekstra sikkerhet mot overspenninger, vil vernene delvis stå som gjensidig reserve.

4.4.5 Jording av reservestrømstrafo

Beregningene viser at det er størst sannsynlighet for at overspenninger kommer inn til reléhuset fra kontaktledning eller skinner via reservestrømstrafo. For beskyttelse av utstyr i reléhuset mot overspenninger er det uheldig at en fase er direkte jordet ved reservestrømstrafo både på 16 kV og 230 volt siden. Overspenninger som genereres i kontaktledning/ skinner, vil via kabellederne ledes inn i reléhuset. Så lenge overspenningsvernet i reléhuset er intakt vil det normalt ikke genereres skadelige overspenninger i reléhuset. Vernene vil imidlertid tre i funksjon og lede overspenningen inn på jordnettet i reléhuset og videre ut på e-verkets nett. I tillegg er strømpåkjenningen på vernene i reléhuset betydelig og det er relativt stor sannsynlighet for at overspenningsvern havarerer. I perioder med tordenvær kan det være flere påfølgende lynnedslag og utladninger i samme område. Hvis et lynnedslag forårsaker havari på overspenningsvern, vil anlegget være ubeskyttet mot de etterfølgende utladninger/lynnedslag. Det bør derfor vurderes om dagens jordingspraksis ved reservestrømstrafo kan endres. Overspenningsmessig vil det være gunstig hvis det kan etableres en lav impulsmotstand (kråkefot/jordspyd) i bunn av mast hvor reservestrømstrafo er plassert. Her tilkobles en av fasene fra 16 kV siden av reservestrømstrafo. Impulsjord ved mastefot og skinnejord må sammenkobles. På 230 volt siden av reservestrømstrafo må begge faseledere være isolert fra jord eventuelt jordet via overspenningsvern.

4.4.6 Bruk av pluggbart vern for telekabler

NSB benytter et 5-punkts vern av type Phoenix MCR-PLUGTRAB UFBK 2-PE 12AC-ST/24AC-ST. Vernet vil normalt tre i funksjon i samband med at jordpotensialet i telerommet svinger opp og dermed medfører stor potensialforskjell mellom lokal jord og teleutstyr / telelinjer. Konstruksjonen er som vist i vedlegg 2. Dette vernet er foreløpig ikke implementert i EMTP beregningsmodellen. Vi har imidlertid utført endel overslagsberegninger ved bruk av programmet TN-LYN. Beregningene viser at vernet gir tilfredsstillende beskyttelse av telesiden / telelinjene i telerommet. Det er da forutsatt at vernet ligger innenfor $\pm 10\%$ av de oppgitte merkedata. Produksjonstoleranser er normalt antatt å være $\pm 5\%$. Det må imidlertid understrekes at det benyttes gassavledere

for å begrense spenningen leder-jord (langsspenning / COMMON MODE SPENNING). Tennspenning og følgelig beskyttelsesgrad er dermed noe avhengig av overspenningens steilhet.

5.0 FEILSTATISTIKK

Det foreligger en feilstatistikk for perioden 1991 - 1995 datert 9.5.96 som er utarbeidet av Arne Bujordet. Statistikken viser at feilene kan inndeles i tre grupper, hhv.:

- defekte overspenningsvern
- sikringsbrudd
- feil og skader på komponenter

Statistikken synes å bekrefte at overspenningsvern først havarerer. Anlegget vil dermed være mer eller mindre ubeskyttet. Påfølgende lynnedslag / overspenninger forårsaker overslag og feil i komponenter som medfører sikringsbrudd.

Erfaringsmessig er det sjelden at sikringer ryker som en direkte følge av at lynstrømmen passerer sikringen. Overslag mot jord alternativt mellom faser og jord kan gi stående lysbue hvis følgestrømmen er for stor. Dette vil forårsake sikringsbrudd. Sikringsbrudd er derfor en klar indikasjon på at det har vært overslag i anlegget selv om det ikke umiddelbart kan påvises feil eller skade på komponenter. Etter et overslag kan anlegget stå ved prøveinnkobling etter at sikringer er skiftet. Isolasjonsnivået for komponenten kan imidlertid være svekket. Over tid (dager/uker) kan det deretter skje en gradvis og aksellerende nedbrytning av isolasjonen før komponenten havarerer og forårsaker feil eventuelt nytt sikringsbrudd.

6. ANBEFALINGER PÅ BAKGRUNN AV BEREGNINGS-RESULTATENE, KRAV TIL OVERSPENNINGSVERN

6.1 Krav til overspenningsvern i 230 volt system.

Beregningene viser at det er behov for vern for beskyttelse mot overspenninger. Strømbelastningen på overspenningsvern som følge av lynoverspenninger er betydelig. Det må derfor settes strenge krav til energiopptaksevne. Dette gjelder spesielt for "grov"-vern. Overspenningsvernet skal være den "svakeste" komponent i anlegget og kan havarere ved energirike lynutladninger. Selv om et vern havarerer bør det øvrige elektriske anlegg være intakt. Det er også viktig at det for hver fase er montert flere parallelle vern (fase-jord) i anlegget. Dermed er vernene duplisert, slik at vernene kan stå som gjensidig reserve inntil defekte vern er skiftet. Det må imidlertid understrekes at vernets evne til å beskytte reduseres når avstanden øker mellom vern og det apparat som skal beskyttes.

Ved valg av overspenningsvern bør det settes følgende krav til vernet:

Vernenivå:

- Grovvern skal maksimum ha et vernenivå på 1.1 - 1.3 kV ved en 8/20 μs impulsstrøm på 1 kA.
- Finvern skal maksimum ha et vernenivå på 1.4 - 1.5 kV ved en 8/20 μs impulsstrøm på 1 kA. Finvernet må ha et vernenivå som er minst 15% høyere enn grovvernet, ved samme strømpåkjenning.
  For varistorvern i IT-nett tilsier dette eksempelvis at grovvern og finvern må ha en merkespenning på hhv. 360 volt / 415 volt alternativt 380 volt / 440 volt.

Energiopptaksevne:

- Grovvern bør ha en energiopptaksevne som minimum klarer 1 stk. 8/20 μs strømpuls med 40 kA toppverdi og 100 stk. 8/20 μs strømpuls med 1 kA toppverdi.

- Finvern bør ha en energiopptaksevne som minimum klarer 1 stk. 8/20 μs strømpuls med 6.5 kA toppverdi og 100 stk. 8/20 μs strømpuls med 1 kA toppverdi.

Merkespenning for varistorvern:

- Merkespenning, U_r, bør velges iht. IECs anbefaling, jfr. forøvrig kapittel 2.4, hhv.
- 230 volt IT-forsyningssystem
  - fase-jord, U_r > = 360 volt
    (pga. høy spenningsstigning, fase-jord, ved enfase jordfeil over reaktor).
  - fase-fase, U_r > = 264 volt
- 230 volt TT-forsyningssystem
  - fase-jord, U_r > = 153 volt
  - fase-fase, U_r > = 264 volt
- 230/400 volt TN-forsyningssystem
  - fase-jord, U_r > = 253 volt
  - fase-fase, U_r > = 440 volt
  - N-leder til jord (PE),U_r > = 253 volt

Generelle krav:

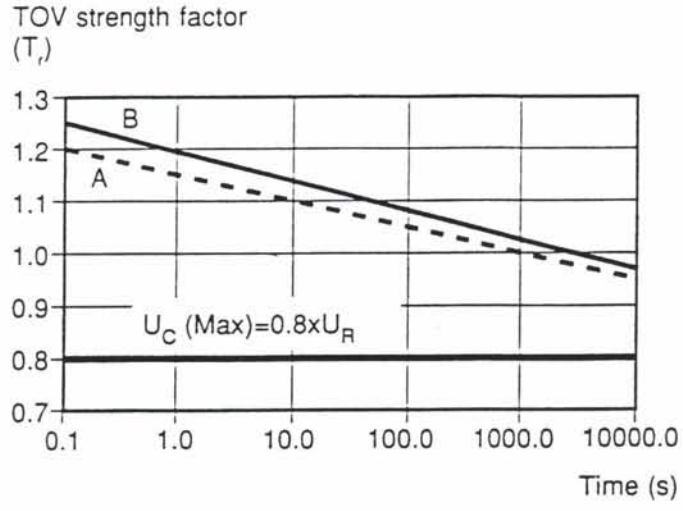
- Utkobling/frakobling ved varmgang (termosikring / forankoblet sikring)
- Feilvisning/lett synlig markering ved havari

Ønske:

Pluggbare enheter

Det må understrekes at produsentene ofte har sin egen definisjon av merkespenning for varistorvern. Enkelte leverandører definerer merkespenning, U_r, som den spenning overspenningsvernet kan påkjennes med kontinuerlig, U_c, uten at det oppstår varmgang og varistor havari. Det anbefales at leverandørene må presisere hvordan merkespenning er definert. Alternativt at leverandøren fremlegger TOV-kurver (spenning-tid-kurver), slik at oppgitt merkespenning kan kontrolleres. De fleste land i Europa har 230/400 volt TN-system, der det forutsettes umiddelbart sikringsbrudd ved enfase jordfeil. Det norske IT-system som kan drives kontinuerlig med enfase jordfeil, begynner etterhvert også å bli

godt kjent. Et eksempel på TOV-kurve er vist i figur 6.1 nedenfor. Figur 6.1 viser at det aktuelle overspenningsvernet kan belastes med sin merkespenning, U_r, (1.0 p.u) i 1000 sek (stiplet linje). Kontinuerlig spenningspåkjenning, U_c, er 0.8 * U_r.
Forøvrig henvises det til IEC-norm nr. 99-4 [Ref. 9.18].



Figur 6.1

Eksempel på TOV-kurve (spenning-tid-kurver).

6.2 Vurdering av noen aktuelle typer overspenningsvern som NSB benytter i 230 volt systemene idag.

ABB MWR 0.40-1 / 0.40-2 er et varistorvern for utendørs eller innendørs fast montasje. Energikapasiteten tilsvarer 8/20 strømpuls på hhv. 100 kA og 200 kA for de to typene. Merkespenningen er 400 volt. Vernenivå referert 8/20 μs strømpuls på 1 kA er hhv. 1.07 kV og 1.05 kV. Det fremgår ikke av katalogblad om vernet har feilindikering. Vernet må karakteriseres som et typisk grovvern med høy energikapasitet.

ABB MVR 0.44-10 er et varistorvern for utendørs eller innendørs fast montasje. Energikapasiteten tilsvarer 8/20 strømpuls på 10 kA, alternativt 4/10 strømpuls på 65 kA. Merkespenningen er 440 volt. Vernenivå referert 8/20 μs strømpuls på 1 kA er 1.22 kV. Vernet skal dele seg ved havari, men feilindikeringen er ikke av de sikreste.

Siemens SIOV G 40 K385 er et varistorvern for utendørs eller innendørs fast montasje. Vernet har en energikapasitet tilsvarende 8/20 μs strømpuls på 40 kA. Vernet har feilindikering. Det finnes i en utgave med merkespenning 385 kV. Vernenivå referert 8/20 μs strømpuls på 1 kA er 1.17 kV. Vernet egner seg spesielt for bruk i IT-nett, men kan også brukes i TN- og TT-nett.

Siemens katodefallavleder 3EA1 AC er et gnistgapvern for utendørs eller innendørs fast montasje. Merkespenning er 500 volt. Vernet har en energikapasitet tilsvarende 4/10 μs strømpuls på 65 kA. 100% tenn-støtspenning er < 2.3 kV. Tenn-vekselspenning er 1.2 - 1.5 kV eff.

OBO-V 20 er et varistorvern for innendørs montasje. Leveres i pluggbar utførelse og med en energikapasitet tilsvarende 8/20 μs strømpuls på 40 kA. Vernet har feilindikering. Det finnes 2 utgaver hhv. for maksimal tillatt spenning på 275 volt og 500 volt. Vernenivå referert 8/20 μs strømpuls på 1 kA er hhv. 0.8 kV og 1.7 kV. Dette vernet med høyeste tillatte spenning på 275 volt vil være godt egnet til bruk i TN-systemer (fase-jord og N-leder - jord) og TT system (fase-jord og fase-fase). For IT-systemer må en opp på 500 volts nivå og vernenivået vil være relativt høyt (1.7 kV).
Overstående gjelder "grunnversjonen" av OBO-V 20. OBO leverer også "lettere" vern av type OBO-V20-FS, OBO-V20-AS og OBO-V20-LS, med høyeste tillatte spenning 250 volt. Det fremgår imidlertid ikke av katalogblad hvilket vernenivå disse variantene har.

Phoenix VALVETRAB VAL-MS er et varistorvern for innendørs montasje. Leveres i pluggbar utførelse og med en energikapasitet tilsvarende 8/20 μs strømpuls på 40 kA. Vernet har feilindikering. Vernet finnes med ulike merkespenninger blandt annet 230 volt og 500 volt som ifølge katalogen skal være tilpasset IT-nett. Vernenivå for disse to spenningsnivå referert en 8/20 μs strømpuls på 1 kA er hhv. 1.1 kV og 2.0 kV.

7. KONKLUSJON

7.1 Bruk av overspenningsvern vil gi tilfredsstillende beskyttelse av installasjoner i reléhuset både ved induserte lynoverspenninger og direkte lynnedslag i e-verkets 230 volt luftlinje og NSBs kontaktledning / skinner. Det er da forutsatt at grovvern / finvern plasseres iht. det som er vist på tegning "PRINSIPP SKJEMA FOR JORDING", figur 1.1 - vedlegg 1. I tillegg må det være en akseptabel lav overgangsmotstand til jord med impulsjord (Zj) < 40 ohm. Overspenninger inn til reléhus fra signal- og tele-siden vil bli vurdert i samband med beregningene på fri linje.

7.2 Avhengig av type strømforsyningssystem (IT-, TN- og TT-nett) fra det lokale e-verk, er det viktig at det velges riktig type vern (merkespenning) som tåler de maksimale driftsspenninger som opptrer. Ved energirike lynutladninger kan imidlertid overspenningsvern havarere. Overspenningsvern må ha feilindikering. Selv om et vern havarerer bør det øvrige elektriske anlegg være intakt. Både på innmating fra e-verkets nett og fra NSBs reservestrømstrafo er det minst 2 vern, mellom hver fase og jord. En slik dublering av vern gir gjensidig reserve, øker sikkerheten i anlegget og gir beskyttelse i perioden før et vern som har havarert, blir skiftet. Vernets evne til å beskytte reduseres imidlertid når avstanden øker mellom vern og det apparat som skal beskyttes. Vern bør være pluggbare slik at de kan skiftes raskt og helst samtidig med inspeksjon / feillokalisering.

7.3 Det er størst sannsynlighet for skader/havari på kabel i e-verkets inntaksstolpe som følge av store spenningsdifferanser mellom kabelleder og åpen kabelskjerm. På steder hvor e-verket ikke har ført frem separat jord og der jord ved stolpe og jord i reléhuset er sammenkoblet (mindre enn 20 meters avstand), bør skjerm for inntakskabel jordes i begge ender, dvs. også i inntaksstolpe. Dette vil redusere spenningsdifferansen mellom ledere og kabelskjerm i stolpe til et ufarlig nivå. Jording av kabelskjerm i inntaksstolpe kan følgelig anbefales på Oggevatn hvor det lokale e-verk benytter IT-luftlinjesystem frem til siste stolpe før reléhuset og

hvor e-verket ikke har ført frem egen jord.

7.4 Overspenninger som kommer inn til reléhuset fra kontaktledning eller skinner via reservestrømstrafo, kan medføre store spenningsoppsving i reléhuset. Det bør vurderes om dagens jordingspraksis ved reservestrømstrafo kan endres. Overspenningsmessig vil det være gunstig hvis det kan etableres en lav impulsmotstand (kråkefot/jordspyd) i bunn av mast hvor reservestrømstrafo er plassert. Her tilkobles en av fasene fra 16 kV siden av reservestrømstrafo. Impulsjord ved mastefot og skinnejord må sammenkobles. På 230 volt siden av reservestrømstrafo må begge faseledere være isolert fra jord eventuelt jordet via overspenningsvern. Utvendig inspeksjon av reservestrømstrafo kan tyde på at en ende av 16 kV og 230 volt viklingen på reservestrømstrafo er jordet innvendig i trafokassen. Dermed vil det overstående antageligvis kreve en konstruksjonsmessig endring av reservestrømstransformatoren.

8. VURDERINGER I SAMBAND MED EVENTUELL VIDEREFØRING AV PROSJEKTET.

Innenfor den avtalte tids og kostnadsramme har det ikke vært mulig å sluttføre beregningene slik det i utgangspunktet var ønskelig. Hovedårsaken til dette er kompleksiteten i anleggene. Dette gjelder spesielt på jordsiden, der det har vært nødvendig å referere til 5 "jord"-nivå, hhv. skinnejord, jord for reservestrømstrafo, jord i reléhus, e-verks jord og "sann" jord. Etter innledende beregninger ved bruk av et enfase beregningsprogram TN-LYN [Ref. 9.8], ble det klart at vi måtte over på et generelt flerfase beregningsprogram EMTP [Ref. 9.9 og 9.10] for å få frem representative og korrekte beregningsresultat. Etablering av beregningsmodeller i EMTP er relativt tidkrevende, jfr. vedlagte utlisting i vedlegg 2. Fordelene er imidlertid at det er generelle modeller som når de først er etablert kan utvides, korrigeres og tilpasses etter behov. På bakgrunn av det overstående, ble det i prosjektmøter avtalt at vi primært skulle konsentrere oss om overspenningsbeskyttelse av reléhuset med tilkobling mot det lokale e-verk og mot kontaktledning / skinner via reservestrømstrafo.

Dermed måtte beregninger på enkeltspor (Oggevatn-Kvarehei og dobbeltspor (Tuverud-Drammen) utgå.

Ved eventuell videreføring av prosjektet er det naturlig å implementere kontaktledning og skinner (enspors / tospors) i beregningsmodellen. Deretter kan det utføres tilsvarende overspenningsberegninger for kontaktledningsanlegget som det nå er utført for reléhuset. Beregningene vil gi informasjon om forventet overspenningsnivå samt hvorvidt og hvordan aktuelt elektrisk utstyr for kontaktledningsanlegget bør beskyttes med overspenningsvern. Videre kan det foretas en vurdering av størrelsen på de overspenninger som kommer inn til reléhus via signal- og tele-kabler.

9. REFERANSER

9.1 Strategi for jording og skjerming av elektroanlegg.
Juni 1994. NSB Bane. Ingeniørtjenesten

9.2 Forespørsel på overspenningsbeskyttelse av NSB's infrastruktur fra NSB BANE, Region Sør v/ Helge Hansen høsten 1995.

9.3 Kurskompendium (kapittel 3.1) fra januar 1978, utarbeidet av avd.ing. K. Torper angående "overspenningsbeskyttelse av svakstrøm / og signalanlegg".

9.4 Elektrisitetstilsynet ved NSB. 1992.
Forskrifter for elektriske jernbaneanlegg.

9.5 Overspenningsvern og isolasjonsovervåkning i elektroinstallasjoner.
Faglig kurs TransiNor As - 1995.

9.6 Eksempel på overspenningsbeskyttelse i lavspenningsinstallasjoner. Vegard Larsen TransiNor As. Kurskompendium Norske Sivilingeniørers Forening 11. - 13 mars 1996: Isolasjonskoordinering med det siste fra forskningen.

9.7 Elektrisitetsforsyningens Forskningsinstitutt, EFI.
Teknisk rapport nr. 2025. Juni 1976
Vern mot lynoverspenninger i fordelingsnett.
A.Schei, K.Markussen, J.Huse

9.8 TN-LYN. PC beregningsprogram utviklet av TransiNor As for analyser av spenningsoppsving og strømforløp pga. lynoverspenninger samt virkningen av overspenningsvern.

9.9 EMTP/ATP Theory Book (Electromagnetic Transients Program reference manual). August 1986.
Prepared by H. W. Dommel for Bonneville Power Administration, U.S.A.

9.10 Alternative Transients Program (ATP) Rule Book.
K. U. Leuven EMTP Centre, Belgium

9.11 Traveling Waves on Transmission Systems.
by L.V. Bewley General Electric Company.
Dover Publications, INC., New York. Second Edition 1964.

9.12 IEC publication 664-1, First edition 1992-10

Insulation coordination for equipment within low-voltage systems. Part 1: Principles, requirements and tests.

9.13 IEC- Norm 1312-1, Protection against Lightning Electromagnetic Impulse (LEMP), Part 3: Requirement of surge protective devices.

9.14 IEC-Norm 1024-1, Part 1: General Principles; 1990

9.15 IEC-Norm 1024-1, Part 1: General Principles, Section 2. Guide A: Selection of protection levels for lightning protection systems, 1991

9.16 EN 50082-1 Electromagnetic compability - Generic immunity standard, Part 1: Residential, commercial and light industry, 1992.

9.16 EN 50082-2 Electromagnetic compability - Generic immunity standard, Part 2: Industrial environment, 1995.

9.17 IEC 1000-4-5 Electromagnetic compability, Part 4 Testing and measurement techniques - Section 5: Surge immunity test

9.18 IEC-Norm 99-4, Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c systems

9.19 21st International Conference on Lightning Protection (ICLP).
Berlin. 22. - 25. september 1992.

9.20 Jordingshåndbok for elkraftanlegg.
EFI TR A4423 - Mai 1996

9.21 Jordingsarrangement i elkraftanlegg
EFI TR A4185 - Juni 1994

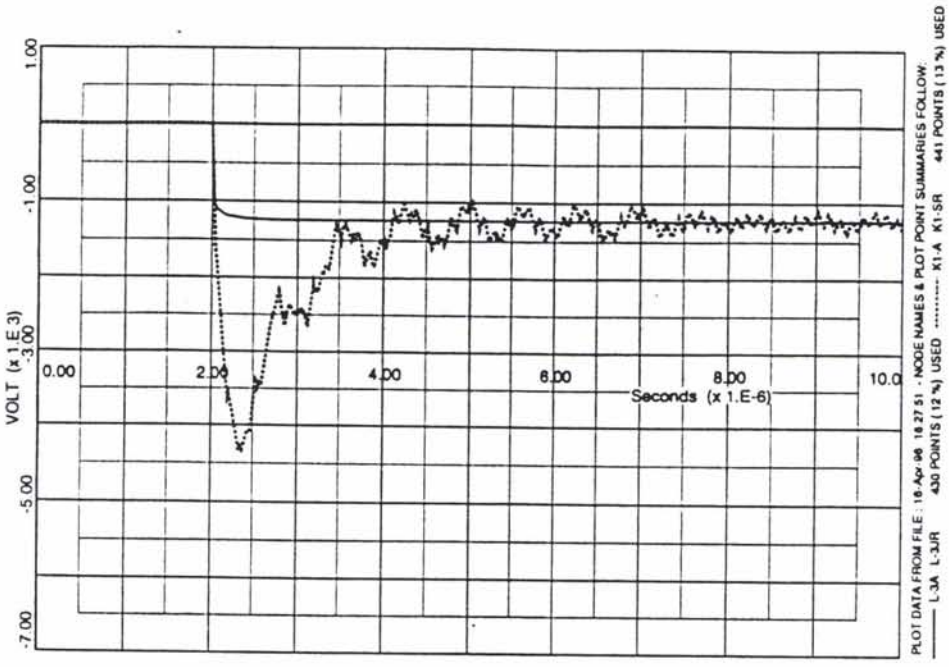
9.22 Underlag for beregninger og målinger på jordelektroder i forskjellige elkraftanlegg. EFI TR A4254 - Februar 1995

VEDLEGG - 1

FIGURER

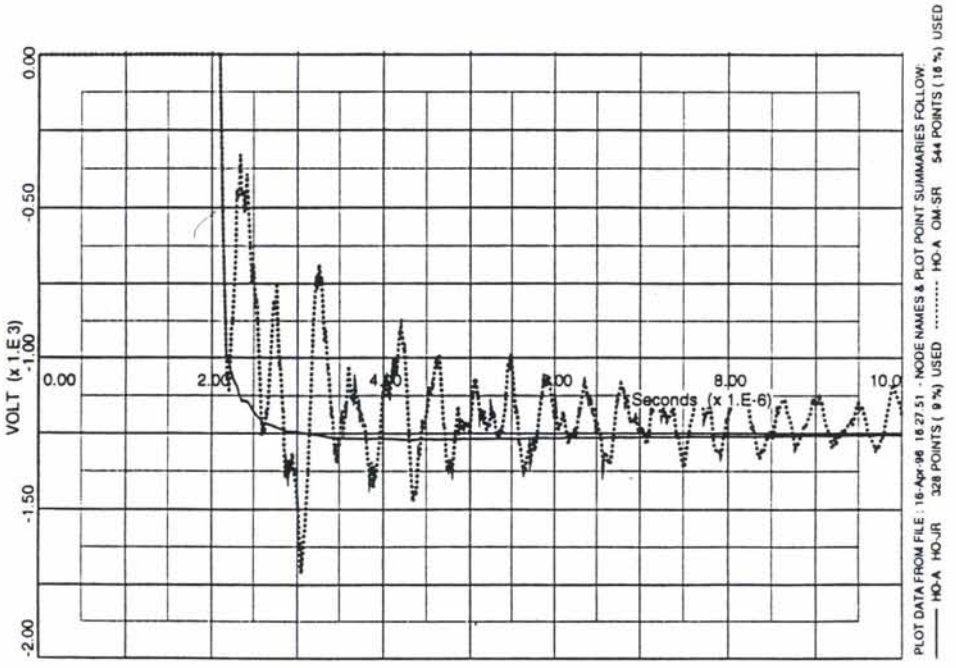
		Side nr.
Figur 4.1.1 - Figur 4.1.4		1 - 2
Figur 4.2.1 - Figur 4.2.4		3 - 4
Figur 4.3.1 - Figur 4.3.4		5 - 6
Figur 1.1	PRINSIPP SKJEMA FOR JORDING	7
Figur 1.2	OGGEVATN STASJON	8
Figur 1.3	Koblingsskjema, reservestrømstransformator	9

Figurene 1.1 og 1.2 er plassert til slutt slik at de kan trekkes ut også når figurer som viser overspenningsforløp, skal studeres.



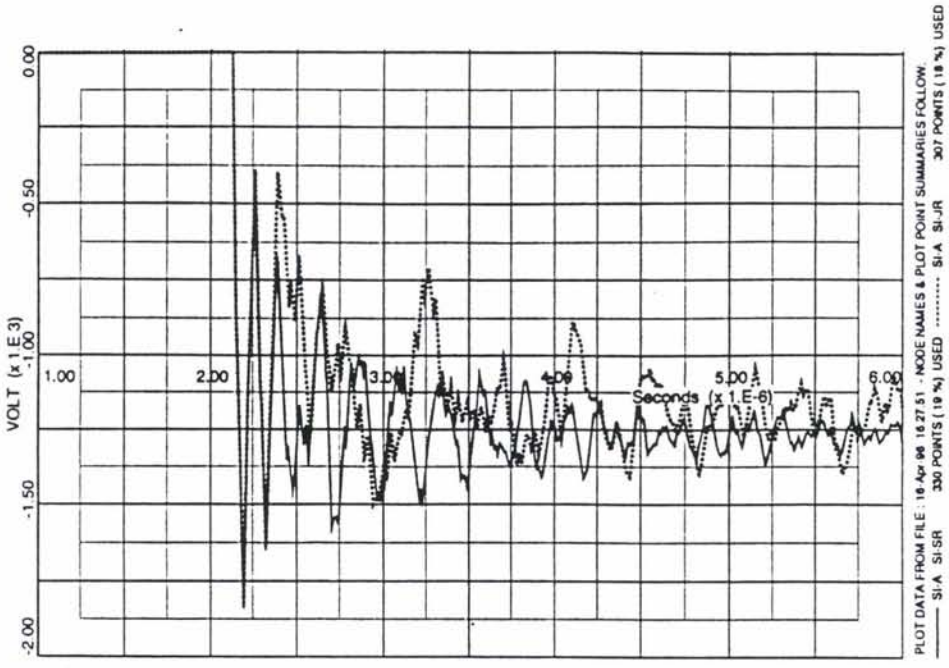
Figur 4.1.1 *(Enheter: Vertikalt = 0.5 kV/rute, Horisontalt = 0.5 * 10^{-6} sek/rute)*

Overspenningsforløp (0 - 10 μs) i overgang luftlinje - kabel, dvs. knutepunkt nr. 1 i skisse vist på figur 1.1 - vedlegg 1.
Stiplet linje viser overspenningsforløp mellom leder og åpen skjerm. Heltrukket linje viser spenningsforløp mellom leder og lokal jord, dvs. spenning over overspenningsvern. Det er forutsatt en indusert overspenning med negativ polaritet på begge faser, 300 kV (1/200 μs støt), som kommer inn fra e-verkets luftlinjenett. Anlegget er forutsatt strømløst, dvs. drifts-spenninger kommer i tillegg (0.2 - 0.3 kV avhengig av jordfeil).



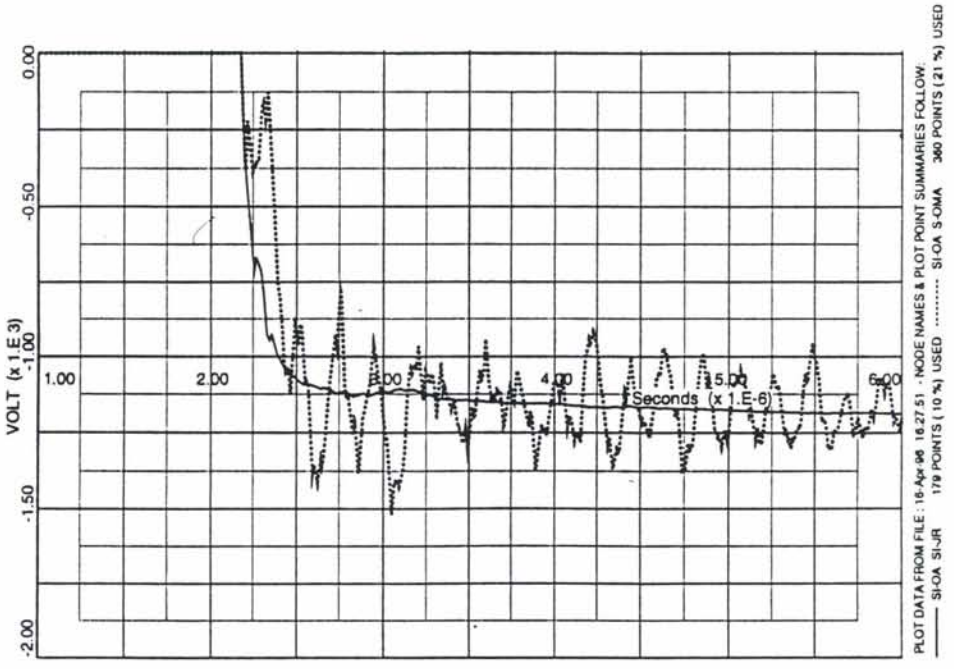
Figur 4.1.2 *(Enheter: Vertikalt = 0.125 kV/rute, Horisontalt = 0.5 * 10^{-6} sek/rute)*

Samme situasjon som angitt i Figur 4.1.1.
Overspenningsforløp (0 - 10 μs) i hovedfordelingsskap, dvs. knutepunkt 2. Stiplet linje viser overspenningsforløp mellom leder og åpen skjerm. Heltrukket linje viser spenningsforløp mellom leder og lokal jord, dvs. spenning over overspenningsvern.



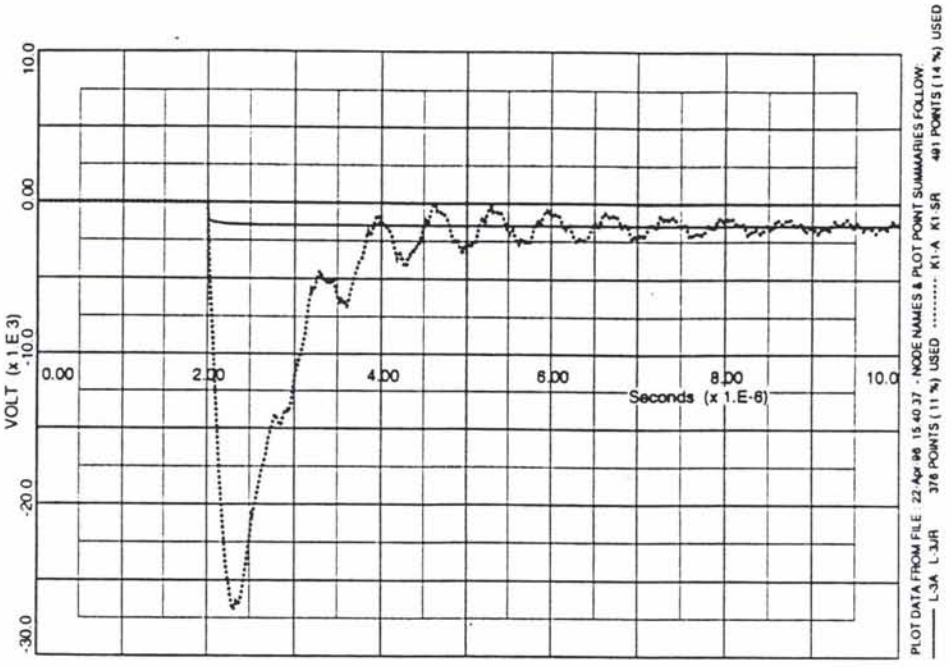
Figur 4.1.3 *(Enheter: Vertikalt = 0.125 kV/rute, Horisontalt = 0.5 * 10^{-6} sek/rute)*

Samme situasjon som angitt i Figur 4.1.1.
Overspenningsforløp (1 - 6 μs) i signalrom (lys / varme) på kurs fra hovedfordeling, dvs. knutepunkt 5.
Stiplet linje viser overspenningsforløp mellom leder og lokal jord.
Heltrukket linje viser spenningsforløp mellom leder og åpen skjerm.



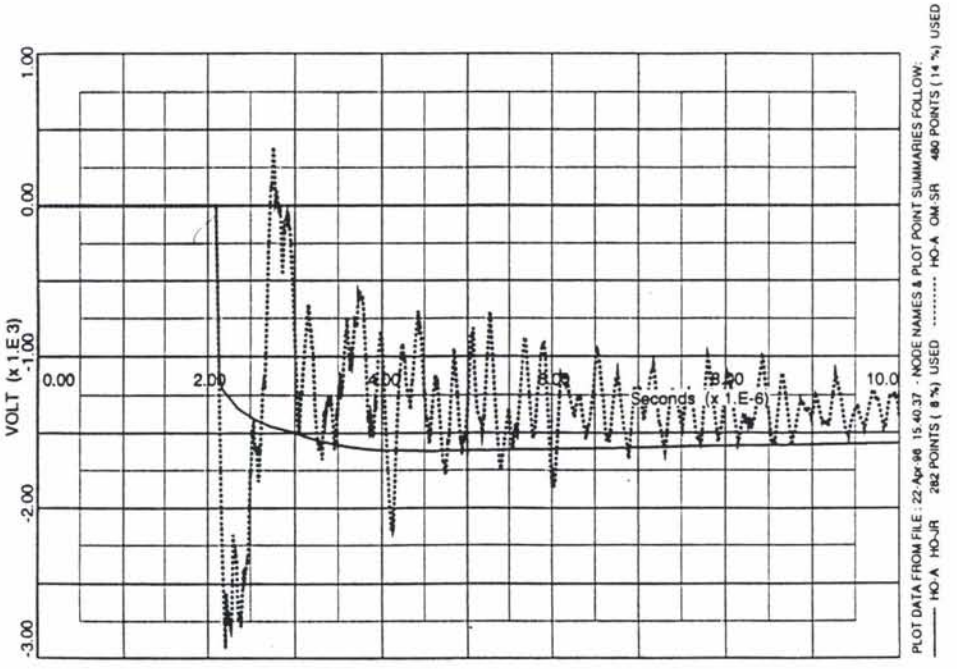
Figur 4.1.4 *(Enheter: Vertikalt = 0.125 kV/rute, Horisontalt = 0.25 * 10^{-6} sek/rute)*

Samme situasjon som angitt i Figur 4.1.1. Overspenningsforløp (1 - 6 μs) i signalrom på kurs fra omformer, dvs. i knutepunkt 6.
Stiplet linje viser overspenningsforløp mellom leder og åpen skjerm.
Heltrukket linje viser spenningsforløp mellom leder og lokal jord, dvs. over overspenningsvern.



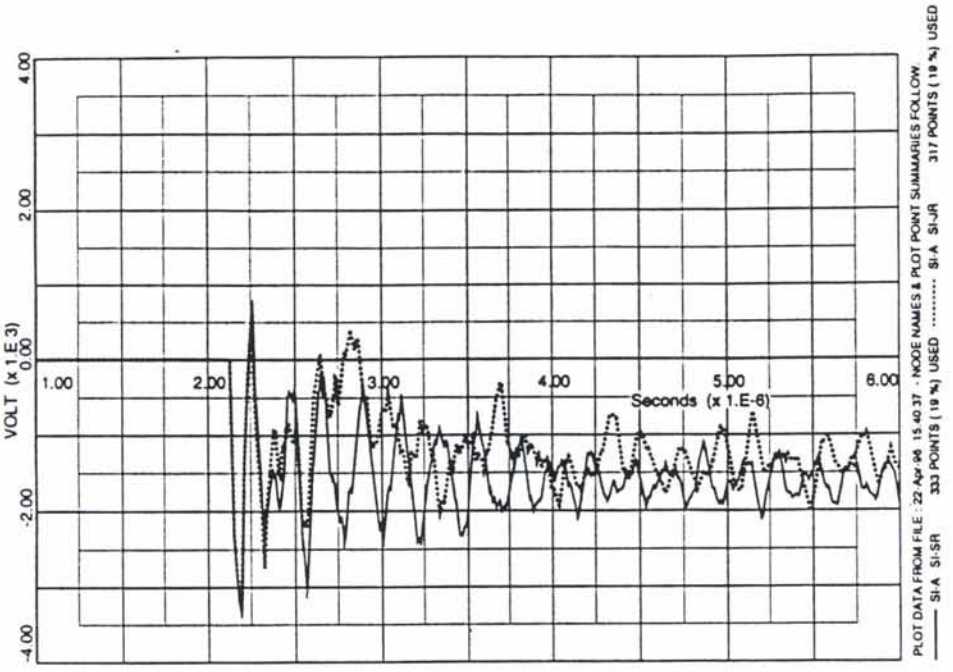
Figur 4.2.1 *(Enheter: Vertikalt = 0.25 kV/rute, Horisontalt = 0.5 * 10^{-6} sek/rute)*

Overspenningsforløp (0 - 10 μs) i overgang luftlinje - kabel, dvs. knutepunkt nr. 1 i skisse vist på figur 1.1 - vedlegg 1.
Stiplet linje viser overspenningsforløp mellom leder og åpen skjerm. Heltrukket linje viser spenningsforløp mellom leder og lokal jord, dvs. spenning over overspenningsvern. Det er forutsatt et direkte lynnedslag med negativ polaritet i e-verkets nett. Lynnedslaget gir overslag til begge faser og genererer en overspenning på 300 kV (1/200 μs støt) som kommer inn mot knutepunkt 1. Anlegget er forutsatt strømløst, dvs. driftsspenninger kommer i tillegg (0.2 - 0.3 kV avhengig av jordfeil).



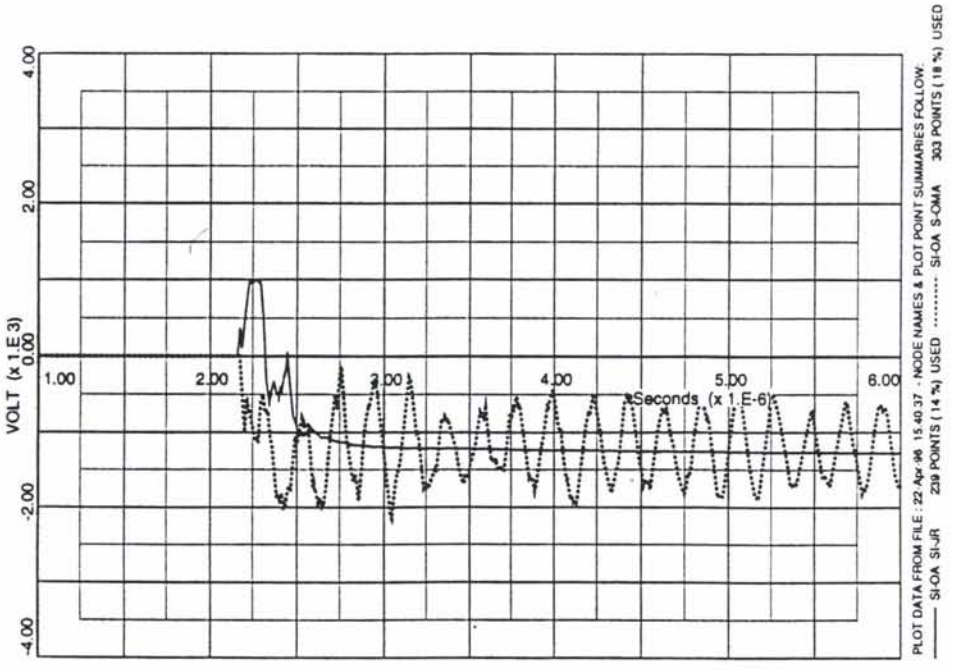
Figur 4.2.2 *(Enheter: Vertikalt = 0.25 kV/rute, Horisontalt = 0.5 * 10^{-6} sek/rute)*

Samme situasjon som angitt i Figur 4.2.1.
Overspenningsforløp (0 - 10 μs) i hovedfordelingsskap, dvs. knutepunkt 2. Stiplet linje viser overspenningsforløp mellom leder og åpen skjerm. Heltrukket linje viser spenningsforløp mellom leder og lokal jord, dvs. spenning over overspenningsvern.



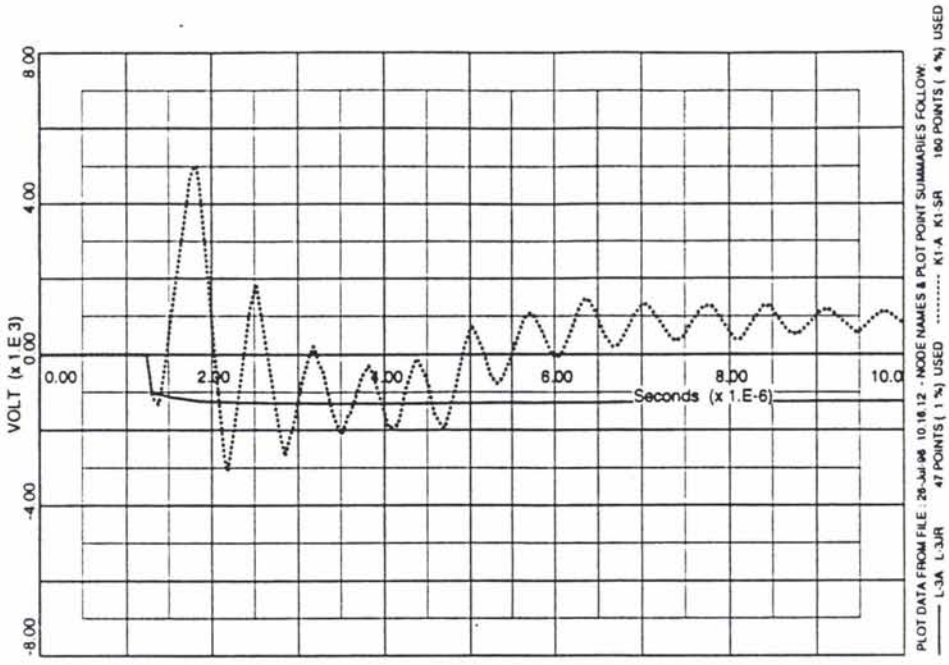
Figur 4.2.3 *(Enheter: Vertikalt = 0.5 kV/rute, Horisontalt = 0.25 * 10^{-6} sek/rute)*

Samme situasjon som angitt i Figur 4.2.1.
Overspenningsforløp (1 - 6 μs) i signalrom (lys / varme) på kurs fra hovedfordeling, dvs. knutepunkt 5.
Stiplet linje viser overspenningsforløp mellom leder og lokal jord.
Heltrukket linje viser spenningsforløp mellom leder og åpen skjerm.



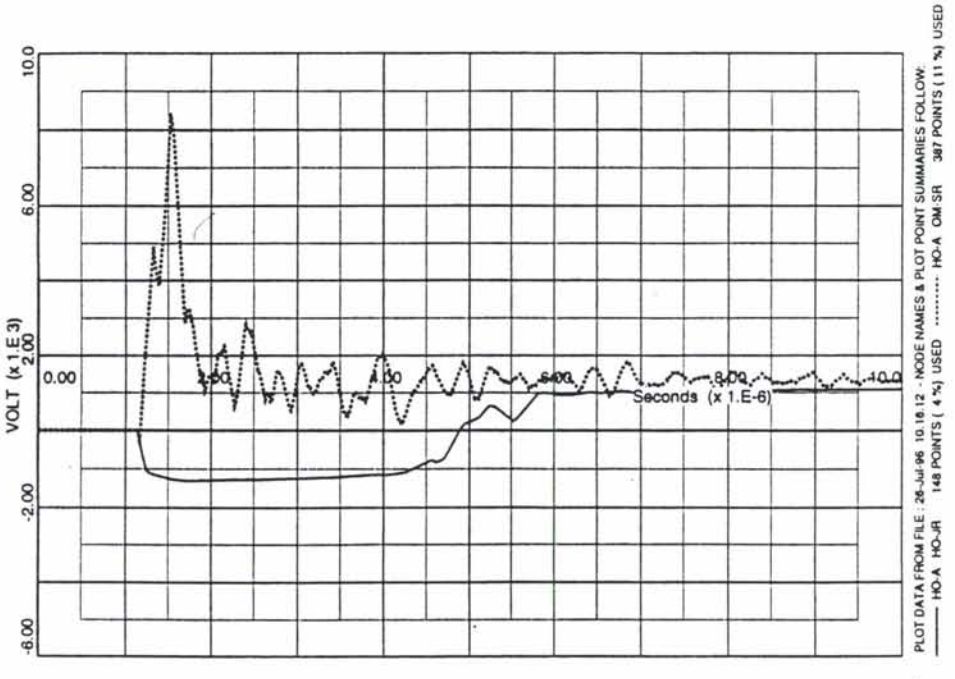
Figur 4.2.4 *(Enheter: Vertikalt = 0.5 kV/rute, Horisontalt = 0.25 * 10^{-6} sek/rute)*

Samme situasjon som angitt i Figur 4.2.1. Overspenningsforløp (1 - 6 μs) i signalrom på kurs fra omformer, dvs. i knutepunkt 6.
Stiplet linje viser overspenningsforløp mellom leder og åpen skjerm.
Heltrukket linje viser spenningsforløp mellom leder og lokal jord, dvs. over overspenningsvern.



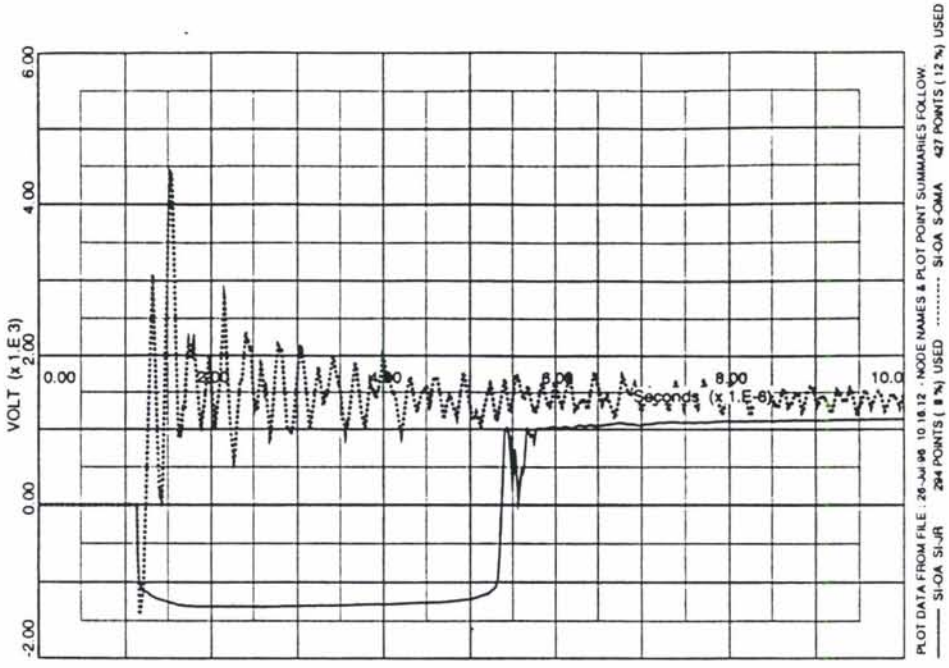
Figur 4.3.1 *(Enheter: Vertikalt = 1.0 kV/rute, Horisontalt = 0.5 * 10^{-6} sek/rute)*

Overspenningsforløp (0 - 10 μs) i overgang luftlinje - kabel, dvs. knutepunkt nr. 1 i skisse vist på figur 1.1 - vedlegg 1.
Stiplet linje viser overspenningsforløp mellom leder og åpen skjerm. Heltrukket linje viser spenningsforløp mellom leder og lokal jord, dvs. spenning over overspenningsvern.
Det er forutsatt et direkte lynnedslag (7 kA - 1/200 μs) med positiv polaritet til kontaktledning. Anlegget er forutsatt strømløst, dvs. driftsspenninger kommer i tillegg (0.2 - 0.3 kV avhengig av jordfeil).



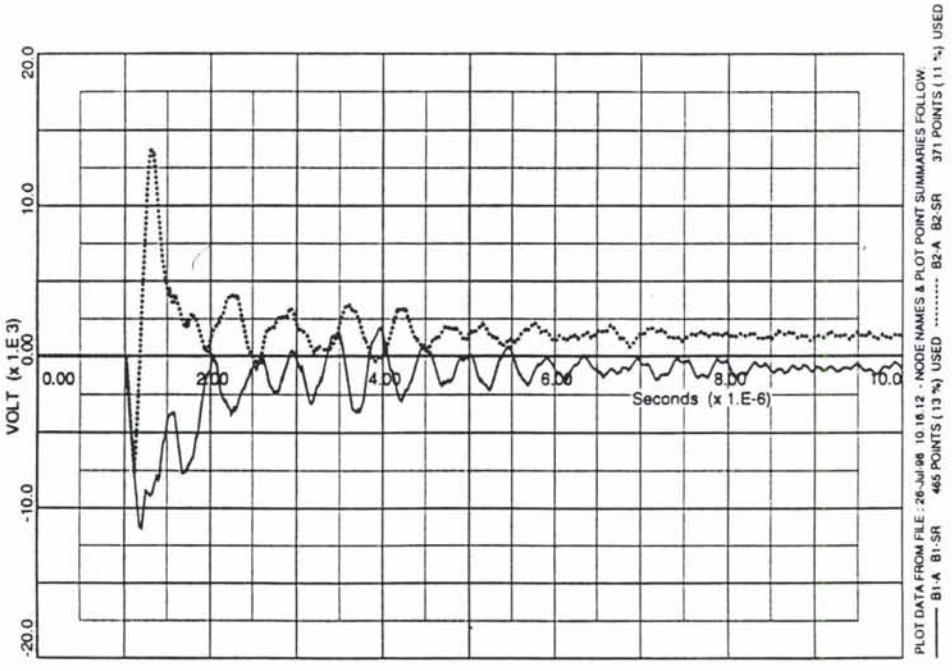
Figur 4.3.2 *(Enheter: Vertikalt = 1.0 kV/rute, Horisontalt = 0.5 * 10^{-6} sek/rute)*

Samme situasjon som angitt i Figur 4.3.1.
Overspenningsforløp (0 - 10 μs) i hovedfordelingsskap, dvs. knutepunkt 2. Stiplet linje viser overspenningsforløp mellom leder og åpen skjerm. Heltrukket linje viser spenningsforløp mellom leder og lokal jord, dvs. spenning over overspenningsvern.



Figur 4.3.3 *(Enheter: Vertikalt = 0.5 kV/rute, Horisontalt = 0.5 * 10^{-6} sek/rute)*

Samme situasjon som angitt i Figur 4.3.1. Overspenningsforløp (0 - 10 μs) i signalrom på kurs fra omformer, dvs. i knutepunkt 6.
Stiplet linje viser overspenningsforløp mellom leder og åpen skjerm.
Heltrukket linje viser spenningsforløp mellom leder og lokal jord, dvs. over overspenningsvern.

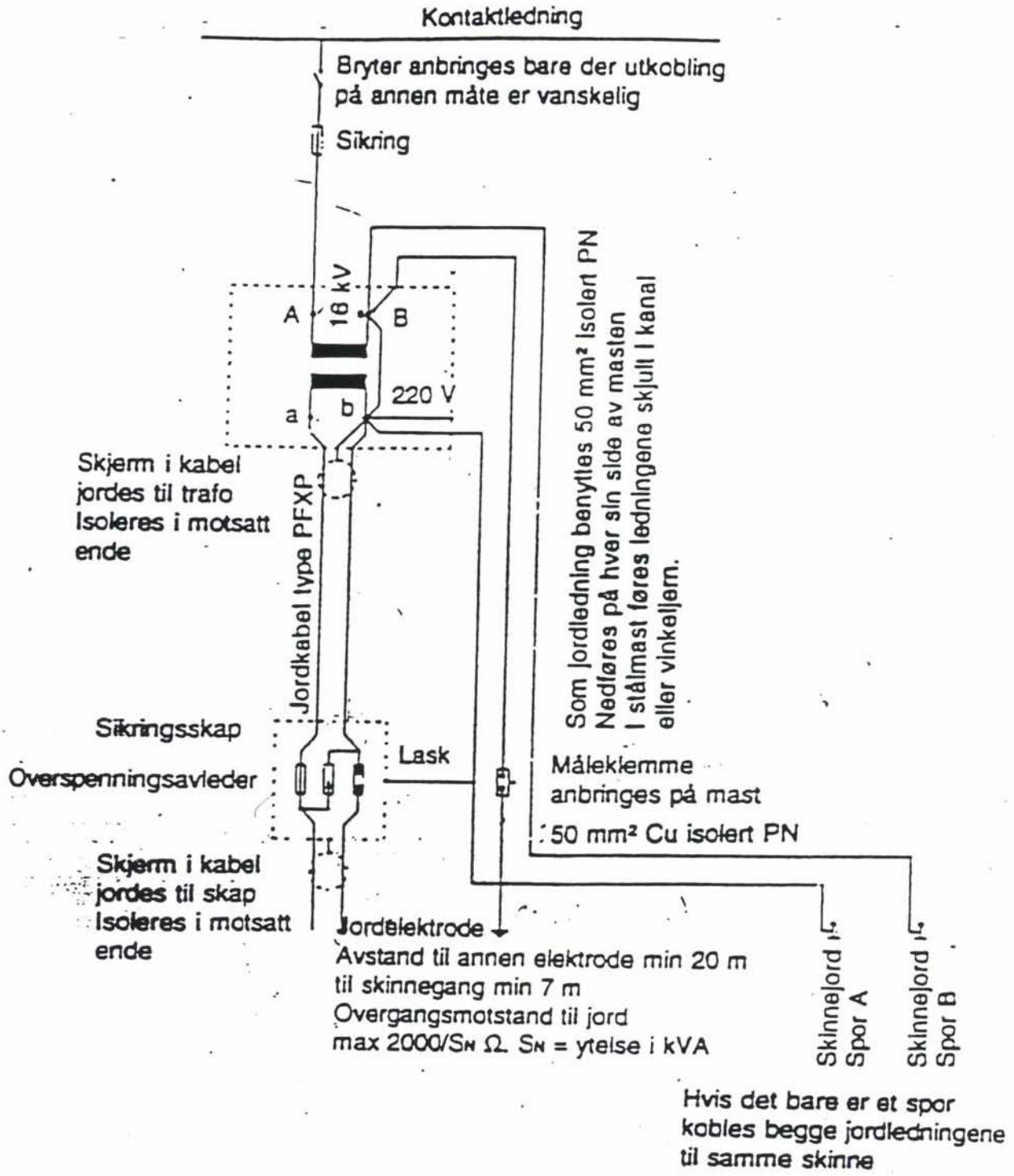


Figur 4.3.4 *(Enheter: Vertikalt = 2.5 kV/rute, Horisontalt = 0.5 * 10^{-6} sek/rute)*

Samme situasjon som angitt i Figur 4.3.1. Overspenningsforløp (0 - 10 μs) i sikringsskap ved biforbrukstrafo, dvs. knutepunkt 10/11.
Stiplet linje viser overspenningsforløp mellom en leder og åpen skjerm på biforbrukstrafo-siden av sikringer, dvs. knutepunkt 11.
Heltrukket linje viser spenningsforløp mellom leder og åpen skjerm på reléhus-siden av sikringer, dvs. knutepunkt 10.

RESERVESTRØMSTRANSFORMATOR
KOBLINGSSKJEMA

Fig. 4.3.

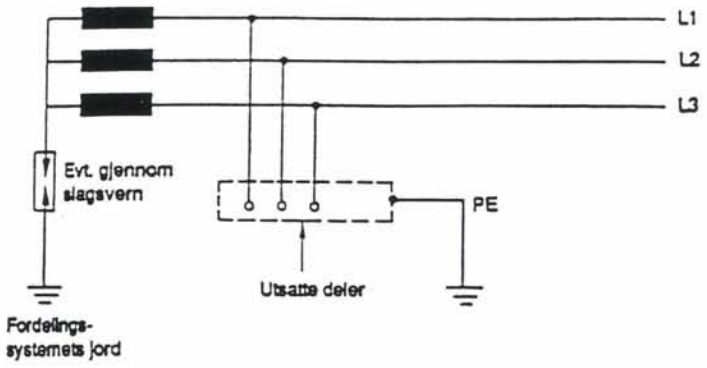


NSB-1992-FEJ

FIGUR 1.3 [Ref. 9.4]

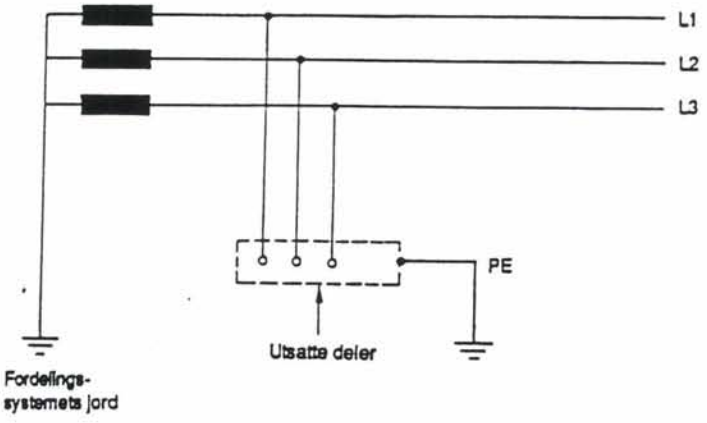
VEDLEGG - 2

	Side nr.
Prinsippskisse IT-, TT- og TN- nett	1
Begrepsforklaring [Ref. 9.1]	2 - 5
Terminologi [Ref. 9.2]	6
Skisse PHOENIX-PLUGTRAB UFBK 2-PE	7
Utlisting av EMTP beregningsmodell	8 - 18



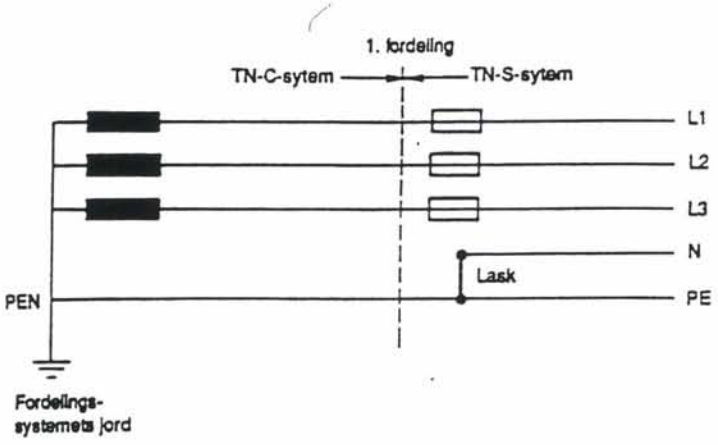
IT-system

230 volt mellom fasene (L1-L2-L3).
Belastningen ligger mellom faser.
133 volt fase-jord,
forutsatt fritt for enfase jordfeil.



TT-system

230 volt mellom fasene (L1-L2-L3).
Belastningen ligger mellom faser.
133 volt fase-jord,
forutsatt fritt for enfase jordfeil.



TN-system

400 volt mellom fasene (L1-L2-L3).
Belastningen ligger mellom fase og N-leder.
230 volt fase-N og fase-jord(PE).
Sikringsbrudd ved enfase jordfeil.

TN-C-S-system: PE- og N-leder kombinert i en leder (PEN-leder) frem til første fordeling

REF. 9.1. [SIDE 40]

1.6 BEGREPSFORKLARING

"0-FELT":	Skinneseksjon ved sugetransformator som er elektrisk isolert fra skinnegangen forøvrig og har tilkobling til midtuttaket på sugetransformatorens sekundærvikling.
ANTENNEVIRKNING:	En gjenstands evne til emisjon og mottak av elektromagnetiske felt.
BALANSERT FORBINDELSE:	Forbindelse der det bare settes opp felter mellom lederne tiltenkt signal- eller energioverføring. Totalt felt mot omverden er i prinsippet lik null.
BANESTRØM:	Den elektriske strøm som brukes til fremdrift og oppvarming av tog.
BERØRINGSPENNING:	Spenning mellom deler som kan berøres samtidig.
BESKYTTELSESJORD:	Varig ledende forbindelse fra utsatte anleggsdeler til jord eller andre ledende gjenstander som i seg selv har god jordforbindelse.
BESKYTTELSESLEDER:	Leder som, for å forhindre farlige støt, forbinder utsatte deler eller andre ledende deler til hovedjordskinne, jordelektrode eller jordet punkt.
BYGGETS HOVEDJORD:	Hovedjordskinne i bygning med direkte kontakt til jordelektrode. Beskyttelsesledere, inklusive ledere for utjevningsforbindelser og eventuelle ledere for driftsjording, skal tilknyttes hovedjordskinne.
BYGNING:	Med bygning forstås de steder der mennesker kan oppholde seg. I denne sammenheng omfatter bygninger kun NSB-bygninger inneholdende elektrotekniske installasjoner.
COMMON MODE SPENNING:	Langsspenning. Den spenning som opptrer mellom leder(e) og jord.
DIFFERENTIAL MODE SPENNING:	Tverrspenning. Den spenning som opptrer mellom ledere i en balansert/symmetrisk overføring.
DIREKTE BERØRING:	En persons direkte berøring med spenningsførende del.
DRIFTSJORD:	God ledende forbindelse mellom et anleggs driftstrømkrets og jord.
ELEKTRISK FELT:	I dette dokumentet beskriver uttrykket elektrisk felt et spesialtilfelle av elektromagnetiske felt, der feltet er dominert av den elektriske feltvektor som energibærer. Elektriske felt dannes i hovedsak fra ledere med høy vekselspenning.
ELEKTRISK UTSTYR:	Elektrisk utstyr er definert i FEB-91: "Gjenstander og materiell benyttet for produksjon, omforming, overføring, fordeling, bruk eller måling av elektrisk energi, dvs. maskiner, apparater, måle-instrumenter, beskyttelses-anordninger, installasjonsmateriell, bruksgjenstander, mv."

ELEKTROINSTALLASJON LANGS JERNBANELINJA:	Alle typer elektroinstallasjoner plassert i nærheten av jernbanetraséen.
ELEKTROMAGNETISK FELT:	Vekselfelt der elektrisk og magnetisk feltvektor veksler om å være energibærer. Begrepet elektromagnetsik felt benyttes som et felles begrep for alle elektromagnetiske vekselfelt, inkludert spesialtilfeller som i dette dokumentet betegnes elektrisk og magnetisk felt.
EMC:	ElectroMagnetic Compatibility - Elektromagnetisk sameksistens. Utstyrs evne til å fungere tilfredstillende i sitt elektromagnetiske miljø, uten å forårsake utålelig elektromagnetisk forstyrrelse på noe som helst i dette miljøet.
EMI:	ElectroMagnetic Interference - Elektromagnetisk forstyrrelse. Forringelse av funksjonalitet hos en enhet, overføringskanal eller system forårsaket av elektromagnetisk påvirkning.
EMISJON:	Utstråling.
EMS:	ElectroMagnetic Susceptibility - Elektromagnetisk mottaklighet. Utstyrs eller systemers manglende evne til å virke uten redusert yteevne/funksjonalitet i nærvær av elektromagnetisk støy.
E-VERKS JORD:	Beskyttelsesjord i Elektrisitetsverkets nett.
EKVIPOTENSIALISERING:	Potensialutjevning. Ingen potensialforskjeller i gitte område.
ESD:	ElectroStatic Discharge. Elektrostatisk utladning. Overføring av elektrisk ladning mellom legemer med forskjellig elektrostatisk potensial. Overføring skjer ved kontakt mellom legemene eller ved luftutladning pga. kort avstand mellom legemene.
FILTERIMPEDANS:	Se vedlegg 3.3
GALVANISK SKILLE:	Elektrisk isolert skille i en krets.
HOVEDJORDLEDER:	Beskyttelseleder som forbinder hovedjordskinne til jordelektrode.
HØYSPENNING:	Spenning over 1000 V vekselspenning eller 1500 V likespenning.
IMMUNITET:	Motstandsdyktighet. (Beskriver motsatte fenomen enn mottakelighet.)
INDIREKTE BERØRING:	En persons berøring med utsatt anleggsdel som er spenningssatt som følge av feil.
JORD:	Det ledende jordsmonn hvis elektriske potensiale pr. definisjon overalt blir betraktet lik null.
JORDELEKTRODE:	Ledende deler plassert i jord/sjø for å gi elektrisk kontakt med denne.

JORDING:	Tilkobling til et jordingsanlegg.
JORDNETT:	Sammenkobling av jordledere vil danne et nett. Dette nettet betegnes jordnett. Typisk struktur for jordnett er treformet (stjerneformet), maskeformet, eller kombinasjon av disse.
JORDPLAN:	Plan av ledende materiale.
KONTAKTLEDNINGS-ANLEGG:	Kontaktledningsanlegg omfatter kontaktledningsystem og returforbindelse for kjørestrøm.
LAVSPENNING:	Spenning opp til og med 1000 V vekselspenning eller 1500 V likespenning.
LOKALKABEL:	Kabler for punkt-til-punkt-forbindelser benyttet utendørs over korte avstander.
MAGNETISK FELT:	I dette dokumentet beskriver uttrykket magnetisk felt et spesialtilfelle av elektromagnetiske felt, der feltet er dominert av den magnetiske feltvektor som energibærer. Magnetfelt dannes i hovedsak fra ledere med høy vekselstrøm.
N-LEDER:	Nøytral - leder. Returforbindelse i TN lavspentforsyning.
NØYTRAL JORD:	Jordområde med potensialforhold som ikke er påvirket av noe elektrisk anlegg.
OBJEKT:	Elektrisk installasjon eller ledende gjenstand.
OVERGANGSMOTSTAND TIL JORD:	Motstand mellom jordelektrode/ jordelektrodeanlegg og nøytral jord.
OVERSPENNINGSVERN:	Avleder som ved påtrykk av en gitt spenning danner en lavohmig forbindelse til jord. Avlederen skal være høyohmig under normal drift. Eventuelt kan overspenningsvern være et gnistgap.
PE-LEDER:	Protective Earth - leder. Se beskyttelsesleder.
SIGNAL REFERANSE JORD:	Returforbindelse for ubalanserte signaloverføringer / referansepotensial for elektronisk utstyr.
SKJERM:	Begrensing av elektromagnetisk kobling mellom enheter eller systemer. Begrensning av elektromagnetisk kobling oppnås ved helomsluttende metallisk skjerm (eksempelvis en kabelskjerm), virtuell skjerm som gir redusert elektromagnetisk kobling (eksempelvis avstand mellom enheter/ systemer), eller ved en kombinasjon av disse. Fellesbegrepet generalisert skjerm benyttes ofte for å understreke at en skjerm ikke nødvendigvis er en metallisk skjerm.
SKJERMJORD:	Skjermjord omfatter alle metalliske skjermer og deres forbindelse til PE-nettet.

SKRITTSPENNING:	Potensialforskjell mellom to punkter i marken med avstand tilsvarende en persons skrittlengde.
SLYNGFELT:	Se vedlegg 3.1
SPESIFIKK JORDMOTSTAND	Motstand mellom to motstående sider i en jordterning med kantlengde 1 meter. (Angis i ohmmeter.)
SPORFELTER:	System for deteksjon av tog. Benytter skinnegangen som transmisjonsmedium.
UBALANSERT FORBINDELSE:	Forbindelse der det benyttes felles returforbindelse for flere separate kretser eller at det er lederne i forbindelsen har ulik impedans mot jord. Ubalanserte forbindelser omgir seg med elektromagnetiske felt.
UTSATT ANLEGGSDEL:	Ledende del som kan berøres og som normalt ikke er spenningførende, men som kan bli spenningsførende som følge av feil.
VAGABONDERENDE STRØMMER:	Strømmer som benytter andre veier enn opprinnelig tiltenkt.

REF. 9.2 [SIDE 40]

2. Terminologi.

Terminologi	Forklaring / Beskrivelse
RESERVE STRØMS TRAFO (Biforbrukstrafo)	Trafo fra kontaktledning 15 kV 16 2/3 Hz til 220 V 16 2/3 Hz
Blokktelefon	Telefonsystem for teleforbindelse mellom togledelse og telefonapparater plassert på stasjonene og ved ut/innkjørsignaler
Blokkabel	Kabel mellom to stasjoner som gir strøm til sporfelt
E-verks anlegg	Leveranse av 230 / 400 VAC
EMC	Elektro magnetisk kompabilitet.
Høyspentanlegg	NSB's kontakledningsanegg 15 kV 16 2/3 Hz
Impedansspole	Spole som slipper igjennom kjørestrøm og stanser signalstrøm
Isolerte skjøter	Skjøter i skinne for å skille sporfelt
Jordingsanlegg	Galvanisk forbindelse mellom jordskinner , punkter og jord
KL-bryter	Bryter som fjernbetjenes fra omformerstasjon for ut/innkopling av kjørestrømmen
Kontaktledning	Høyspent leveranse av strøm til Lok
Kjøreline	Kontaktpunkt mellom pantograf og Lok
Langlinjekabel	Pupinisert kabel mellom stasjonene
Pantograf	Kontakt mellom Kjøreline og Lok
Signalanlegg	Signaler som sikrer og styrer togframføring
Signalstrøm	95 Hz strøm i skinner for å indikere tog
Sterkstømsanlegg	Anlegg som leverer 220 VAC 50 Hz OG 16 2/3 Hz.
Sugetrafo	1:1 trafo som utligner strøm i skinne og kontaktledning
Returstrøm	Ene fasen til loket som går i skinnen
Tele / Data	NSB interne kommunikasjonsnett
Togradio	Radiosystem som via basisstasjoner og langlinjekabelen er tilknyttet NSB's telefonnett, VEDLIKEHOLDSRADIO
Togvarme	1000 V anlegg for varme når tog står stille
SPOR Vekselvarme	Varmeelementer i SPOR veksel for å sikre funksjon ved snefall / ising
VLR	Radiosystem som via basisstasjoner og langlinjekabelen har forbindelse mellom lok fører og togledelsen

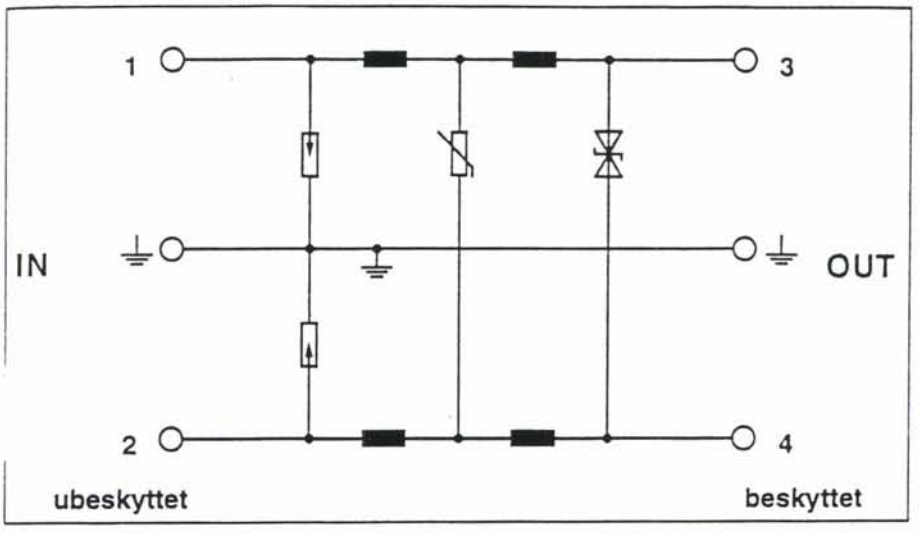
KORRIGERT IHT. MØTE 30. MAI 1996.

UFBK 2-PE...

UFBK 2-PE- 12AC-ST	**27 92 24 8**
UFBK 2-PE- 24AC-ST	**27 92 28 0**

Dobbellederbeskyttelse for jordpotensialfri drevene signalkretser

Monteringshusbredde 17,5 — Lukket monteringshus



Tekniske data

Merkespenning U_N:		12- 220 V AC/DC
Merkestrøm I_N:		2 A
Avlederstrøm ifølge PE ved U_{max}:		–
Merkeavlederstrøm i_{sn} (8/20):		10 kA
Utgangsspenning begrenset ved 1 kV/µs:	symm./asymm.	$\leq 1{,}8\ \hat{U}_{max} / \leq 650$ V
Reaksjonstid t_a:	symm./asymm.	≤ 1 ns/≤ 100 ns
Impedanse i serie, induktiv, L/ ohmsk, R:		80 µH /< 100 mΩ
Temperaturområde:		– 40 °C til + 60 °C
Beskyttelsestype ifølge IEC 529: 1989		IP 20

7,

Utlisting av EMTP beregningsmodell pr. 29. mai 1996.

```
BEGIN NEW DATA CASE
C      MARCH-MAY 1996. NSB - PROTECTION AGAINST OVERVOLTAGES.
C
C      REF.  NSB BANE, REGION SØR, TEKNISK KONTOR STRØMFORSYNING
C      STRØMSØ TORG 1, 3006 DRAMMEN / H.S. FADUM TLF. 32 27 58 57
C
C     INFORMATION ABOUT THE ACTUAL NETWORK IS GIVEN BY NSB.
C     REF.  ARNE BUJORDET - NSB Bane Region Sør, Kristiansand, TLF. 38 07 76 19
C
C     THE STUDY IS PERFORMED BY TRANSINOR AS
C     THE EMTP CALCULATION MODEL IS DEVELOPED BY:
C     TRANSINOR AS, REF. HELGE JOHANSEN, MARCH - MAY 1996
C
C      UTLISTING PR. 29. MAI 1996
C      FORENKLET MODELLERING AV KONTAKTLEDNING / SKINNER
C
C DELTA>< TMAX >< XOPT >< COPT ><EPSILN><TOLMAT><TSTART>
   1.E-9  10.E-6     50.
    5000       3       0       0       0       0       0       1
C
C BRANCH CARDS:
C
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2|R/KM |  A  |  B  |LNGTH|L|P|T|
C.      L = 0 A=wL/KM & B=wC/KM
C       P = 0 Lumped resistive model
C       T = 0 Transposed line
C       First line are zero sequence values
C       Second line are positive sequence values
C       Third line is left blank for continuously transposed lines
C
C THE OVERHEAD LINE FROM THE LOCAL POWER SUPPLY UTILITY
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2|  R  | jX  |  C  | KM  |L|P|T|
C FØRSTE LINJESTREKK VELGES TIL 30 KM. FÅR DERMED IKKE REFLEKSJONER PÅ LINJE.
-1L-1A  L-2A                0.30  .471 .0074  30.  0 0 0
-2L-1B  L-2B                0.30  .471 .0074       0 0 0
-3L-1C  L-2C
C ANDRE LINJESTREKK MELLOM LYNNEDSLAGSSTED OG KABELMAST 300 METER I.E. 1 µSEK
-1L-2A  L-3A                0.30  .471 .0074  0.3  0 0 0
-2L-2B  L-3B                0.30  .471 .0074       0 0 0
-3L-2C  L-3C
C OVERGANGSMOTSTAND TIL JORD HVOR LYN SLÅR NED L-2A
C BESTEMMER STØRRELSEN PÅ INNKOMMENDE OVERSPENNING
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2| R   | L   | C   |                                    0
C L-2A                      0.8                                                    1
C 230 VOLT FEEDING CABLE. LENGTH: 15 METER I.E 0.1 µSEK.
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2|  R  | jX  |  C  | KM  |L|P|T|
-1K1-A  HO-A                 0.7 .0673 .1968  .015 0 0 0
-2K1-B  HO-B                 0.7 .0673 .1968       0 0 0
-3K1-C  HO-C
C
C SKJERM FOR 230 VOLT KABEL ER TILKOBLET LOKAL JORD I RELE-HUS
C ÅPEN I MOTSATT ENDE I OVERGANG KABEL / LUFTLINJE
```

```
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2|  R  | jX  |  C  | KM  |L|P|T|
-1K1-SR HO-JR                 7.0  .104   .37 .015  0 0 0
-2K1-SS HO-JS                 7.0  .104   .37       0 0 0
-3K1-ST HO-JT
C OVERGANGSMOTSTAND TIL "SANN" JORD I OVERGANG LUFTLINJE / KABEL ER 4. OHM
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2| R   | L   | C   |
  L-3JR                      4.0                                                1
  L-3JS                      4.0
  L-3JT                      4.0
C OVERGANGSMOTSTAND TIL "SANN" JORD I RELEHUS ER 2. OHM
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2| R   | L   | C   |                                  0
  HO-JR                      2.0                                                1
  HO-JS                      2.0
  HO-JT                      2.0
C JORDING FOR LUFTLINJE/KABEL OG RELEHUS ER SAMMENKOBLET.
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2|  R  | jX  |  C  | KM  |L|P|T|
-1L-3JR HO-JR                 0.1  .377   .09 .015  0 0 0
-2L-3JS HO-JS                 0.1  .377   .09       0 0 0
-3L-3JT HO-JT
C 230 VOLT KABEL MELLOM HOVEDFORDELING OG TELE-ROM. 3 METER
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2|  R  | jX  |  C  | KM  |L|P|T|
-1HO-A  TE-A                  7.0 .0673 .1968  .003 0 0 0
-2HO-B  TE-B                  7.0 .0673 .1968       0 0 0
-3HO-C  TE-C
C SEPARAT JORDLEDER MELLOM JORDSKINNE I HOVEDFORDELING OG TELEROM
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2|  R  | jX  |  C  | KM  |L|P|T|
-1HO-JR TE-JR                 0.1  .377   .09 .003  0 0 0
-2HO-JS TE-JS                 0.1  .377   .09       0 0 0
-3HO-JT TE-JT
C NOE USIKKERT OM DET ER SKJERM PÅ KABEL TIL TELEROM
C EVENTUELL SKJERM ANTAS Å VÆRE JORDET I HOVEDFORDELING OG ISOLERT I TELEROM
$DISABLE
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2|  R  | jX  |  C  | KM  |L|P|T|
-1HO-JR TE-SR                 7.0  .104   .37 .003  0 0 0
-2HO-JS TE-SS                 7.0  .104   .37       0 0 0
-3HO-JT TE-ST
C
$ENABLE
C 230 VOLT KABEL MELLOM HOVEDFORDELING OG SIGNAL-ROM. 5 METER - 0.03 µSEK.
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2|  R  | jX  |  C  | KM  |L|P|T|
-1HO-A  SI-A                  7.0 .0673 .1968  .005 0 0 0
-2HO-B  SI-B                  7.0 .0673 .1968       0 0 0
-3HO-C  SI-C
C SKJERM FOR KABELEN ER JORDET I HOVEDFORDELING OG ISOLERT I SIGNALROM
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2|  R  | jX  |  C  | KM  |L|P|T|
-1HO-JR SI-SR                 7.0  .104   .37 .005  0 0 0
-2HO-JS SI-SS                 7.0  .104   .37       0 0 0
-3HO-JT SI-ST
C SEPARAT JORDLEDER MELLOM JORDSKINNE I HOVEDFORDELING OG SIGNALROM
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2|  R  | jX  |  C  | KM  |L|P|T|
-1HO-JR SI-JR                 0.1  .377   .09 .005  0 0 0
-2HO-JS SI-JS                 0.1  .377   .09       0 0 0
-3HO-JT SI-JT
C 230 VOLT KABEL MELLOM HOVEDFORDELING OG OMFORMER. 6 METER
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2|  R  | jX  |  C  | KM  |L|P|T|
-1HO-A  OM-A                  7.0 .0673 .1968 .006  0 0 0
-2HO-B  OM-B                  7.0 .0673 .1968       0 0 0
-3HO-C  OM-C
```

```
C SKJERM FOR KABELEN ER JORDET VED OMFORMER OG ISOLERT I HOVEDFORDELING
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2|  R  | jX  |  C  | KM  |L|P|T|
-1OM-SR OM-JR                 7.0  .104   .37 .006  0 0 0
-2OM-SS OM-JS                 7.0  .104   .37       0 0 0
-3OM-ST OM-JT
C SEPARAT JORDLEDER MELLOM JORDSKINNE I HOVEDFORDELING OG OMFORMER
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2|  R  | jX  |  C  | KM  |L|P|T|
-1HO-JR OM-JR                 0.1  .377   .09 .006  0 0 0
-2HO-JS OM-JS                 0.1  .377   .09       0 0 0
-3HO-JT OM-JT
C 230 VOLT KABEL MELLOM OMFORMER OG SIGNALROM (RESERVE). 6 METER - 0.04 µSEK.
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2|  R  | jX  |  C  | KM  |L|P|T|
-1OM-A  SI-OA                 7.0 .0673 .1968 .006  0 0 0
-2OM-B  SI-OB                 7.0 .0673 .1968       0 0 0
-3OM-C  SI-OC
C SKJERM FOR KABELEN ER JORDET VED OMFORMER OG ISOLERT I SIGNALROM
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2|  R  | jX  |  C  | KM  |L|P|T|
-1OM-JR S-OMA                 7.0  .104   .37 .006  0 0 0
-2OM-JS S-OMB                 7.0  .104   .37       0 0 0
-3OM-JT S-OMC
C
C KURS FOR TOMTELYS UT FRA HOVEDFORDELING (ANTAR 10 METER)
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2|  R  | jX  |  C  | KM  |L|P|T|
-1HO-A  TO-A                  7.0 .0673 .1968 .010  0 0 0
-2HO-B  TO-B                  7.0 .0673 .1968       0 0 0
-3HO-C  TO-C
C SKJERM FOR KABELEN ER JORDET I HOVEDFORDELING OG ISOLERT I MOTSATT ENDE
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2|  R  | jX  |  C  | KM  |L|P|T|
-1HO-JR TO-SR                 7.0  .104   .37 .010  0 0 0
-2HO-JS TO-SS                 7.0  .104   .37       0 0 0
-3HO-JT TO-ST
C OMFORMER 50 TIL 16 2/3 HZ - 230 VOLT MODELLERES MED SINE
C STØTKAPASITETER (ANTAR 10 nF).
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2| R   | L   | C   |                                  O
  OM-A  OM-JR                           0.01                                   1
  OM-B  OM-JR OM-A  OM-JR
  OM-C  OM-JR OM-A  OM-JR
  O-1A  OM-JR OM-A  OM-JR
  O-1B  OM-JR OM-A  OM-JR
  O-1C  OM-JR OM-A  OM-JR
  OM-A  O-1A  OM-A  OM-JR
  OM-B  O-1B  OM-A  OM-JR
  OM-C  O-1C  OM-A  OM-JR
C INNTAK FOR BI-FORBRUKS TRAFO 230 VOLT 16 2/3 HERTZ
C HENGER SAMMEN MED 230 VOLT 50 Hz VIA VARISTORER OG JORDNETTET
C SEPARAT JORDLEDER MELLOM JORDSKINNE I HOVEDFORDELING
C OG INNTAKSSKAP 16 2/3HZ (3.5 METER / BENYTTER 4 M)
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2|  R  | jX  |  C  | KM  |L|P|T|
-1HO-JR O-2JR                 0.1  .377   .09 .004  0 0 0
-2HO-JS O-2JS                 0.1  .377   .09       0 0 0
-3HO-JT O-2JT
C 230 VOLT KABEL MELLOM 16 2/3 HZ INNTAK OG OMFORMER. ANTAR 2 METER.
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2|  R  | jX  |  C  | KM  |L|P|T|
-1O-2A  O-1A                  7.0 .0673 .1968 .002  0 0 0
-2O-2B  O-1B                  7.0 .0673 .1968       0 0 0
-3O-2C  O-1C
C 230 VOLT KABEL MELLOM 16 2/3 HZ INNTAK OG SIKRINGSSKAP FRA
C BIFORBRUKSTRAFO. AVSTAND FRA MINIMUM 10 METER OPP TIL 30 METER.
```

```
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2|  R  | jX  |  C  | KM  |L|P|T|
-1O-2A  B1-A                 7.0 .0673 .1968 .010  0 0 0
-2O-2B  B1-B                 7.0 .0673 .1968       0 0 0
-3O-2C  B1-C
C SKJERM FOR OVERNEVNTE KABEL ER JORDET I INNTAKSSKAP OG ISOLERT I SIKRINGSSKAP
C NB! IHT. NSB-1992-FEJ SKAL SKJERM JORDES I SIKR.SKAP OG ISOLERES I INNTAKSKAP
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2|  R  | jX  |  C  | KM  |L|P|T|
-1O-2JR B1-SR                7.0  .104   .37 .010  0 0 0
-2O-2JS B1-SS                7.0  .104   .37       0 0 0
-3O-2JT B1-ST
C I SIKRINGSSKAP ER DET OVERSPENNINGSVERN MELLOM 2 FASER (B1-A / B2-B)
C HVORAV DEN ENE FASE (B2-B) ER KOBLET TIL LOKAL JORD VED
C BIFORBRUKS-TRAFO (BI-B / SK-R).
C 230 VOLT KABEL MELLOM SIKRINGSSKAP OG BIFORBRUKSTRAFO. ANTAR 2 METER.
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2|  R  | jX  |  C  | KM  |L|P|T|
-1B2-A  BI-A                 7.0 .0673 .1968 .002  0 0 0
-2B2-B  BI-B                 7.0 .0673 .1968       0 0 0
-3B2-C  BI-C
C SKJERM FOR OVERNEVNTE KABEL ER JORDET VED BIFORBRUKSTRAFO OG ISOLERT I
SIKRINGSSKAP
C NB!   DETTE ER IHT NSB-1992-FEJ.
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2|  R  | jX  |  C  | KM  |L|P|T|
-1B2-SR SK-R                 7.0  .104   .37 .010  0 0 0
-2B2-SS SK-S                 7.0  .104   .37       0 0 0
-3B2-ST SK-T
C OVERGANGSMOTSTAND FRA BIFORBRUKSTRAFO / SKINNER TIL "SANN" JORD
C ANTAR 1200 OHM IHT. MÅLINGER FRA OGGEVATN, ALTERNATIVT 60 OHM OG 10 OHM
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2| R   | L   | C   |                                  O
 ·SK-R                      1200.                                                1
  SK-S                      1200.
  SK-T                      1200.
C BIFORBRUKSTRAFO MODELLERES MED SINE STØTKAPASITETER (ANTAR 10 nF).
C NB! EN VIKLINGSENDE BÅDE PRIMÆRT OG SEKUNDÆRT ER KOBLET TIL LOKAL JORD.
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2| R   | L   | C   |                                  O
  BI-A  SK-R                            0.01                                    1
  KO-A  SK-R                            0.01                                    1
  BI-A  KO-A                            0.01
C EN FASE (BI-B) LAGT TIL LOKAL JORD (SKINNER) VED BIFORBRUKSTRAFO (VELGER 1 mOhm)
  BI-B  SK-R                 .001                                               1
$DISABLE
C       ******  MODELLERING AV E-VERKETS FORDELINGSTRAFO ******************
C  NB!!!   USED AT THE FEEDING SIDE OF THE OVERHEAD LINE. 1:1 TRANSFORMER
C
C   FOR ¯ UNNG¯ PROBLEM MED AMPEREVINDINGSBALLANSEN MODELLERES MED
C   EN TREKANTKOBLET TERTI#EVIKLING DVS. YNynOD5
C
C FORUTSETTER 10 MVA (SM¯ TAP) Ek=6%, Er=0.6% OG OMSETN.= 23000/23000 VOLT
C TRANSFORMATOR  (T1)
  TRANSFORMER                           T1A
           9999
C <BUS1><BUS2>             < RK >< XK >< NK >< RM >
 1T1PA  T1PN                0.158  1.58   1.0
 2T1SA  T1SN                0.158  1.58   1.0
 3T1TB  T1TA                1.E-4 1.E-3  .577
  TRANSFORMER    T1A                    T1B
 1T1PB  T1PN
 2T1SB  T1SN
 3T1TC  T1TB
```

```
  TRANSFORMER    TiA                        T1C
 1T1PC  T1PN
 2T1SC  T1SN
 3T1TA  T1TC
C
C ISOLERT PÅ HS OG LS SIDEN
C <BUS1><BUS2>              <  R >< X >< C >
  T1PN                        1.E8                                          {    1
  T1SN        T1PN
C
C TERTI#RVIKLING KAN JORDES I ETT HJ{RNE HVIS DET OPPST~R NUMMERISKE PROBLEMER
C <BUS1><BUS2>              <  R >< X >< C >
  T1TA                       1.E12
C END TRANSFORMER
$ENABLE
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2| R   | L   | C   |                                  O
C TOWA                        1.E8
$DISABLE
C THE SHORT CIRCUIT POWER AT THE FEEDING SIDE OF THE 230 VOLT LINE
C ESTIMATED VALUES  5 kA (500 MVA TRAFO, Ek=5%).
C SK = 3.5 MVA I.E. REF 400 VOLT = 0.05 OHM
C |BUS1 |BUS2 |RBUS1|RBUS2| R   | L   | C   |                                  O
  G1A   T1PA                        0.05
  G1B   T1PB  G1A   T1PA
  G1C   T1PC  G1A   T1PA
$ENABLE
C
C LIGHTNING TO NODE NAMED "LYN"
C <BUS1><BUS2><BUS1><BUS2><  R >< X >< C >
  LYN   L-2A                    0.01
  LYN   L-2B                    0.01
C
C $DISABLE
C
C
C  ********     SURGE ARRESTERS   ************
C
C $DISABLE
C C       VARISTOR  WITH RATED VOLTAGE 385 VOLT (GROV-VERN)
C C       STRØM / SPENNINGSKARAKTERISTIKK FOR 8/20 µS STØT.
C C
C BRANCH  HO-A  HO-JR HO-B  HO-JR HO-C  HO-JR
C C       NEXP      IPHASE      ERRLIM      IPRZNO        VREF      VFLASH
C           -1           3         .05           1       2500.
C C
C C         A1          A2          A3          A4          A5        AMIN
C          1.0         1.0         1.0         1.0          .0        .001
C C
C         .001        600.
C           1.        850.
C         100.       1100.
C        1000.       1300.
C        5000.       1500.
C       10000.       1900.
C       15000.       2100.
C       40000.       3000.
C C     80000.       3000.
C BLANK card bounds points of the ZnO characteristic
```

```
C  Rating =      1.0   V-mult =  1.00000E+00   I-mult =  1.00000E+00    Gapless
C  OVERSPENNINGSVERN I HOVEDFORDELING (GROV-VERN)
92HO-A  HO-JR                          5555.                                    3
C             V-reference              V-flashover
   2.5000000000000000E+03  -1.0000000000000000E+02
C              Multiplier                  Exponent                        V-min
   1.9583679426175983E+09   1.9832393096822774E+01   2.3999999999999994E-01
   2.3356542288809937E+08   1.7861327599717242E+01   3.3999999999999969E-01
   8.2122017812426426E+06   1.3783470770180683E+01   4.3999999999999906E-01
   1.5634216019742682E+06   1.1246879273999225E+01   5.2000000000000091E-01
   2.2360546881443981E+04   2.9322338659054856E+00   6.0000000000000053E-01
   3.0398791035739538E+04   4.0512699496422231E+00   7.6000000000000223E-01
   2.4227997699744956E+04   2.7499247415041448E+00   8.3999999999999908E-01
                     9999
92HO-B  HO-JR HO-A  HO-JR              5555.                                    3
C 92HO-C  HO-JR HO-A  HO-JR              5555.
C
C OVERSPENNINGSAVLEDERE I TELEROM (FIN-VERN).
C C       VARISTOR  WITH RATED VOLTAGE 385 VOLT (FINVERN)
C C       STRØM / SPENNINGSKARAKTERISTIKK FOR 8/20 µS STØT.
C C       SPENNINGSVERDIER ØKT MED 15%, I FORHOLD TIL 385 VOLT GROVVERN.
C C
C C       NEXP      IPHASE      ERRLIM      IPRZNO        VREF      VFLASH
C           -1           3         .05           1       2500.
C C
C C         A1          A2          A3          A4          A5        AMIN
C          1.0         1.0         1.0         1.0          .0        .001
C C
C.        .001        690.
C           1.        980.
C         100.       1270.
C        1000.       1500.
C        5000.       1720.
C       10000.       2200.
C       15000.       2410.
C       40000.       3450.
C C     80000.       3000.
C BLANK card bounds points of the ZnO characteristic
C  Rating =      1.0   V-mult =  1.00000E+00   I-mult =  1.00000E+00    Gapless
92TE-A  TE-JR                          5555.                                    3
C             V-reference              V-flashover
   2.5000000000000000E+03  -1.0000000000000000E+02
C              Multiplier                  Exponent                        V-min
   1.0171594487559523E+08   1.9688012601648751E+01   2.7599999999999997E-01
   1.6806722713038702E+07   1.7765516371562566E+01   3.9200000000000124E-01
   1.1721317128408635E+06   1.3833643063351296E+01   5.0800000000000045E-01
   4.0634884136249864E+05   1.1759809466054026E+01   6.0000000000000087E-01
   1.4333261302264255E+04   2.8161481180015580E+00   6.8799999999999961E-01
   1.7656587655235071E+04   4.4473821842536019E+00   8.8000000000000000E-01
   1.6581554911491174E+04   2.7340380016921819E+00   9.6399999999999964E-01
                     9999
92TE-B  TE-JR TE-A  TE-JR              5555.                                    3
C 92TE-C  TE-JR TE-A  TE-JR              5555.
C $ENABLE
C
$DISABLE
C STRØM / SP.KARAKTERISTIKKER FOR 1/9 µS STØT
C C       VARISTOR  WITH RATED VOLTAGE 385 VOLT (GROVVERN)
```

```
C C       STRØM / SPENNINGSKARAKTERISTIKK FOR 1/9 µS STØT.
C C
C BRANCH  HO-A  HO-JR HO-B  HO-JR HO-C  HO-JR
C C       NEXP      IPHASE      ERRLIM      IPRZNO        VREF      VFLASH
C           -1           3         .05           1       3500.
C C
C C         A1          A2          A3          A4          A5        AMIN
C          1.0         1.0         1.0         1.0          .0        .001
C C
C         .001        880.
C           1.       1240.
C         100.       1610.
C        1000.       1900.
C        5000.       2250.
C       10000.       2780.
C       15000.       3100.
C       40000.       4400.
C C     80000.       4800.
C BLANK card bounds points of the ZnO characteristic
C  Rating =      1.0   V-mult =  1.00000E+00   I-mult =  1.00000E+00    Gapless
92HO-A  HO-JR                          5555.                                    3
C             V-reference              V-flashover
   3.5000000000000000E+03  -1.0000000000000000E+02
C              Multiplier                  Exponent                       V-min
   1.1943509972817609E+09   2.0142472676094318E+01   2.5142857142857150E-01
   8.8636756055799320E+07   1.7636032536923416E+01   3.5428571428571482E-01
   4.8823121559075480E+06   1.3902844850141026E+01   4.6000000000000085E-01
   3.3537346616247355E+05   9.5190019325347901E+00   5.4285714285714271E-01
   2.2375980812115457E+04   3.4075259430677276E+00   6.4212057438045744E-01
   2.1072135000795777E+04   2.8007494254092662E+00   9.0579395203438418E-01
                     9999
92HO-B  HO-JR HO-A  HO-JR              5555.                                    3
C 92HO-C  HO-JR HO-A  HO-JR              5555.
C
C C       VARISTOR  WITH RATED VOLTAGE 385 VOLT (FINVERN)
C C       STRØM / SPENNINGSKARAKTERISTIKK FOR 1/9 µS STØT.
C C       SPENNINGSVERDIER ØKT MED 15%, I FORHOLD TIL 385 VOLT GROVVERN.
C C
C C       NEXP      IPHASE      ERRLIM      IPRZNO        VREF      VFLASH
C           -1           3         .05           1       4000.
C C
C C         A1          A2          A3          A4          A5        AMIN
C          1.0         1.0         1.0         1.0          .0        .001
C C
C         .001       1030.
C           1.       1460.
C         100.       1890.
C        1000.       2230.
C        5000.       2650.
C       10000.       3270.
C       15000.       3610.
C       40000.       5160.
C C     80000.       5520.
C BLANK card bounds points of the ZnO characteristic
C  Rating =      1.0   V-mult =  1.00000E+00   I-mult =  1.00000E+00    Gapless
92TE-A  TE-JR                          5555.                                    3
C             V-reference              V-flashover
   4.0000000000000000E+03  -1.0000000000000000E+02
```

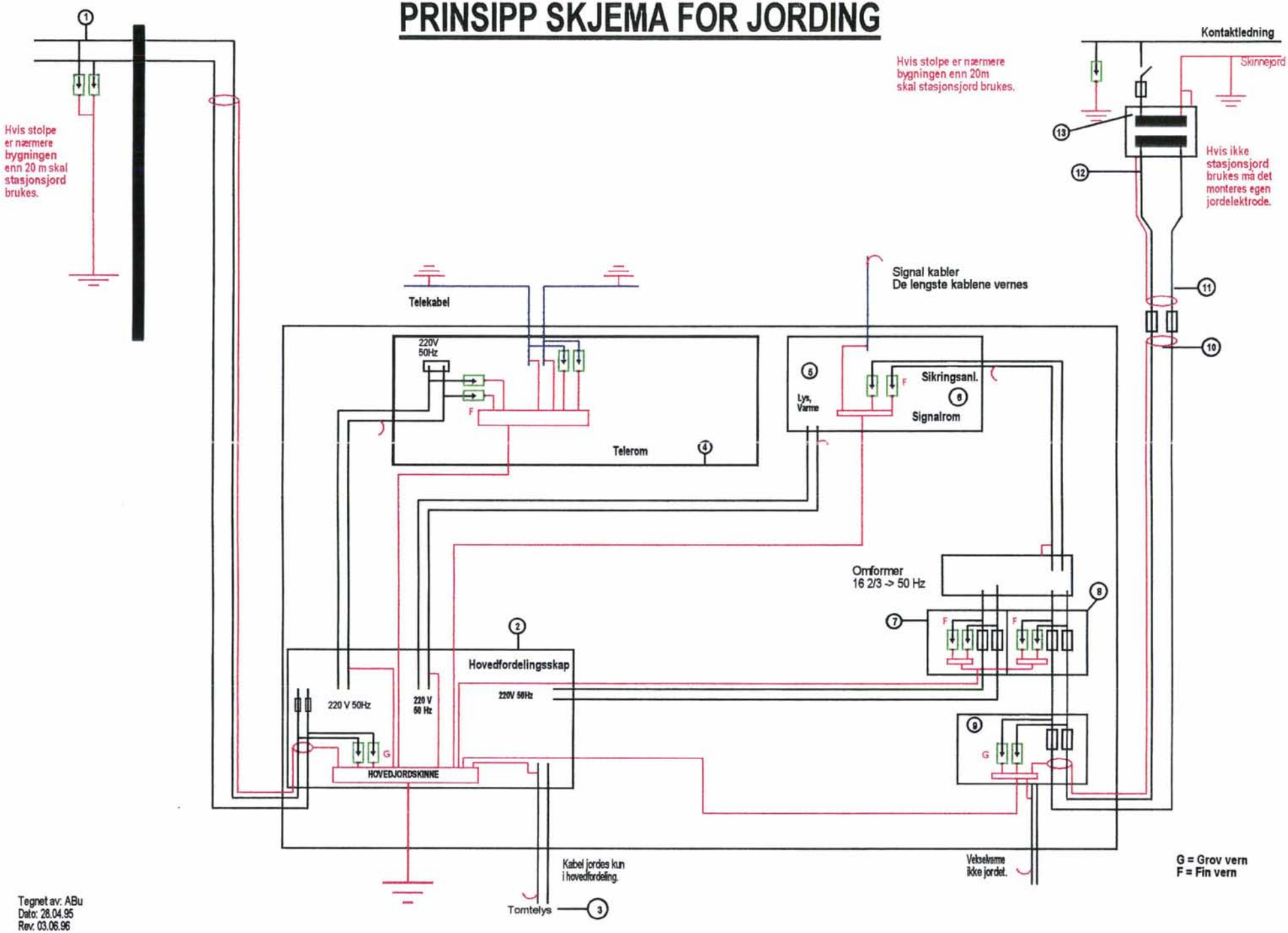
```
C              Multiplier                  Exponent                    V-min
   4.6405969791892475E+08   1.9799937330759903E+01   2.5749999999999962E-01
   6.4358068742896244E+07   1.7839789140325838E+01   3.6500000000000504E-01
   3.4046759340057056E+06   1.3919229159508186E+01   4.7250000000000114E-01
   2.3267933507869981E+05   9.3269358932800746E+00   5.5750000000000022E-01
   2.1011049967589672E+04   3.5135261378338645E+00   6.6124419101675747E-01
   1.9880079717177498E+04   2.7456611375786806E+00   9.3047757980184476E-01
                     9999
C 92TE-B  TE-JR TE-A  TE-JR              5555.
C 92TE-C  TE-JR TE-A  TE-JR              5555.
$ENABLE
C
C OVERSPENNINGSAVLEDERE I OVERGANG LUFTLINJE / KABEL (GROV-VERN)
92L-3A  L-3JR HO-A  HO-JR              5555.                                    3
92L-3B  L-3JR HO-A  HO-JR              5555.                                    3
C
C OVERSPENNINGSAVLEDERE I SIGNALROM PÅ RESERVE-KURS FRA OMFORMER (FIN-VERN).
92SI-OA SI-JR TE-A  TE-JR              5555.                                    3
92SI-OB SI-JR TE-A  TE-JR              5555.                                    3
C
C OVERSPENNINGSAVLEDERE I OMFORMER-ROM PÅ 50 HZ SIDEN (FIN-VERN)
92OM-A  OM-JR TE-A  TE-JR              5555.                                    3
92OM-B  OM-JR TE-A  TE-JR              5555.                                    3
C
C OVERSPENNINGSAVLEDERE I OMFORMER-ROM PÅ 16 2/3 HZ SIDEN (FIN-VERN)
92O-1A  OM-JR TE-A  TE-JR              5555.                                    3
92O-1B  OM-JR TE-A  TE-JR              5555.                                    3
C 92O-1C  OM-JR TE-A  TE-JR              5555.                                    1
C·
C OVERSPENNINGSAVLEDERE I INNTAKSSKAP FRA BIFORBRUKSTRAFO (GROV-VERN)
92O-2A  O-2JR HO-A  HO-JR              5555.                                    1
92O-2B  O-2JR HO-A  HO-JR              5555.                                    1
C 92O-2C  O-2JR HO-A  HO-JR              5555.                                    1
C
C OVERSPENNINGSAVLEDER I SIKRINGSSKAP FOR BIFORBRUKSTRAFO (GROV-VERN)
C PLASSERT MELLOM FASER, DVS FASE-JORD DA EN FASE ER JORDET VED BIFORBRUKSTRAFO
92B1-A  B2-B  HO-A  HO-JR              5555.                                    3
C
C
BLANK CARD TERMINATING BRANCHES
C
C $DISABLE
C *BREAKERS*
C MEASURING SWITCH FOR THE LIGHTNING STROKE
C LYN1  TOWA                                          MEASURING                 1
C <BUS1><BUS2>< T-CLOSE>< T-OPEN >
C BREAKER TO INTRODUCE A SINGLE PHASE TO EARTH FAULTH AT THE MIDDLE OF THE OVERHEAD
LINE
C L-2A                1.        1.                                              1  1
C BREAKER TO CONNECT THE FEEDING TRANSFORMER
  T1SA  L-1A          1.        1.
  T1SB  L-1B          1.        1.
  T1SC  L-1C          1.        1.
C MEASURING BREAKER BETWEEN TWO CONDUCTORS (PHASES)
  L-2A  L-2B          1.        1.                                              2
  L-3A  L-3B          1.        1.                                              2
  HO-A  HO-B          1.        1.                                              2
  TE-A  TE-B          1.        1.                                              2
```

```
  TO-A  TO-B          1.        1.                                          2
  SI-A  SI-B          1.        1.                                          2
  S-OMA S-OMB         1.        1.                                          2
  OM-A  OM-B          1.        1.                                          2
  O-1A  O-1B          1.        1.                                          2
  O-2A  O-2B          1.        1.                                          2
C MEASURING BREAKER BETWEEN CONDUCTORS AND OPEN SCREENS.
  K1-A  K1-SR         1.        1.                                          2
  SI-A  SI-SR         1.        1.                                          2
  SI-OA S-OMA         1.        1.                                          2
  HO-A  OM-SR         1.        1.                                          2
  TO-A  TO-SR         1.        1.                                          2
  B1-A  B1-SR         1.        1.                                          2
  B2-A  B2-SR         1.        1.                                          2
C MELLOM SKJERMER I SIKRINGSSKAP FOR BIFORBRUKSTRAFO
  B1-SR B2-SR         1.        1.                                          2
C MEASURING BREAKER BETWEEN CONDUCTORS AND LOCAL EARTH.
C MOST OF THE VALUES ARE GIVEN BY THE PROTECTION LEVELS OG THE SURGE ARRESTERS
  SI-A  SI-JR         1.        1.                                          2
C MEASURING BREAKER BETWEEN CONDUCTORS IN THE SIGNAL ROOM (FRA HOVEDFORD. /
OMFORMER)
  SI-A  SI-OA         1.        1.                                          2
  SI-B  SI-OB         1.        1.                                          2
C BREAKER BETWEEN THE OVERHEAD LINE AND THE 230 VOLT CABLE
  L-3A  K1-A         -1.        1.
  L-3B  K1-B         -1.        1.
  L-3C  K1-C         -1.        1.
C BRYTER I SIKRINGSSKAP FOR BIFORBRUKSTRAFO
  B1-A  B2-A         -1.        1.
  B1-B  B2-B         -1.        1.
  B1-C  B2-C         -1.        1.
BLANK CARD TERMINATING SWITCHES
C   NETWORK SOURCES (TYPE 14) 94% generation.
C |NAME |S|AMPLITUDE|FREQUENCY|PHASE SHF|PHSE UNIT|          |TSTART   |TSTOP
C       PHSE UNIT: = 0 Means units in degrees.
C       PHSE UNIT: > 0 Means units in seconds.
C       TSTART & TSTOP define the limits where the source is active.
C       A negative TSTART indicates precomputing values for steady state and
C       use them as initial conditions for the time step simulation.
C
C LIGHTNING STROKE TO THE TOWER
C
C  3.8/77.8 µSEC. - 20 kA   FACTOR 1.0511
C <NAME>ST<AMPLITU.><   A   >     B  >                    < TSTART >< TSTOP  >
C 15L-2A  -1      -30.   -9800.   -114.E4                        1.E-6        1.
C
C 1.0/200.0 µS - 20 kA
C <NAME>ST<AMPLITU.><   A   >     B  >                    < TSTART >< TSTOP  >
C  300 KV INN FRA LUFTLINJE. MAKS INDUSERT SPENNING. 99.5% SANNSYNLIGHET.
C 15LYN   -1    1333.     -2.E6    -6.5E3                        1.E-6        1.
15LYN   -1    2700.     -2.E6    -6.5E3                        1.E-6        1.
C
C  5000 KV INN FRA LUFTLINJE. 1.0/200 µS. EKVIVALENT MED 22 KA TIL LINJE.
C  ANTATT MAKS VERDI VED DIREKTE LYNNEDSLAG. STOLPEHØYDE 7 METER.
C <NAME>ST<AMPLITU.><   A   >     B  >                    < TSTART >< TSTOP  >
C 15L-2A  -1   22000.     -2.E6    -6.5E3                        1.E-6        1.
C
C 1.0/200.0 µS - 50 kA
```

```
C <NAME>ST<AMPLITU.><   A   >     B  >                        < TSTART >< TSTOP  >
C 15TOWA  -1 -51.2E3      -2.E6    -6.5E3                          .1E-4        1.
C
C
C 1.0/200.0 µS - 100 kA
C <NAME>ST<AMPLITU.><   A   >     B  >                        < TSTART >< TSTOP  >
C 15TOWA  -1 -100.E3      -2.E6    -6.5E3                          .1E-4        1.
C
C  14.0/250.0 µSEC. - 20 kA  FACTOR 1.07
C <NAME>ST<AMPLITU.><   A   >     B  >                        < TSTART >< TSTOP  >
C 15TOWA  -1 -21.400E3   -3100.   -25.0E4                         .1E-3        1.
C
C 10.0/350 µS - 150 kA  {LITE RELEVANT}
C <NAME>ST<AMPLITU.><   A   >     B  >                        < TSTART >< TSTOP  >
C 15TOWA  -1 -157.E3    -250.E3    -2.0E3                         .1E-4        1.
C
C 2000 KV INN VIA SKINNER/KJØRELEDN., 1.0/200 µS STØT. EKV. MED 34 KA (50% VERDI).
C  NB! BARE FOR OVERSLAGSBEREGNINGER
C  VED BEREGNINGER PÅ FRI LINJE MÅ DET TAS HENSYN TIL GJENSIDIG KOBLING OG
C  AVLEDNING TIL "JORD" LANGS SKINNENE.
C  FORUTSETTER Zj = 60 OHM VED BIFORBRUKSTRAFO
C <NAME>ST<AMPLITU.><   A   >     B  >                        < TSTART >< TSTOP  >
C 15SK-R  -1   34000.     -2.E6    -6.5E3                          1.E-6        1.
C  FORUTSETTER Zj = 10 OHM VED BIFORBRUKSTRAFO
C  "OVERSPENNING" PÅ 70 kV INN MOT BIFORBRUKSTRAFO
C <NAME>ST<AMPLITU.><   A   >     B  >                        < TSTART >< TSTOP  >
15SK-R  -1    7000.     -2.E6    -6.5E3                          1.E-6        1.
C
$DISABLE
C 50 HZ FEEDING SIDE, GENERATORS BEHIND A SHORT CIRCUIT IMPEDANCE
C      (230 VOLT - RMS)
          < AMPL   >< FREQ.  ><PH. ANG >                      <TSTART  >< TSTOP  >
14G1A        188.   50.       0.                             -1.       1.
14G1B        188.   50.       -120.                          -1.       1.
14G1C        188.   50.       120.                           -1.       1.
C 16,666 HZ FEEDING SIDE, GENERATORS BEHIND A SHORT CIRCUIT IMPEDANCE
C     (15 - 16 KV RMS)
14G2A      12248.   16.666    0.                             -1.       1.
14G2B      12248.   16.666    -120.                          -1.       1.
14G2C      12248.   16.666    120.                           -1.       1.
C TRANSFORMER HAVE TO BE IMPLEMENTED
C LAST MELLOM KJØRELEDNING OG SKINNE(R)
$ENABLE
BLANK CARD ENDING SOURCES
C
C  OUTPUT REQUEST CARDS
C
  L-2A
  HO-A
C TE-A
C SI-A
C SK-R
  OM-A
C SI-SR
C SI-OA
C S-OMA
C TE-JR
C K1-SR
```

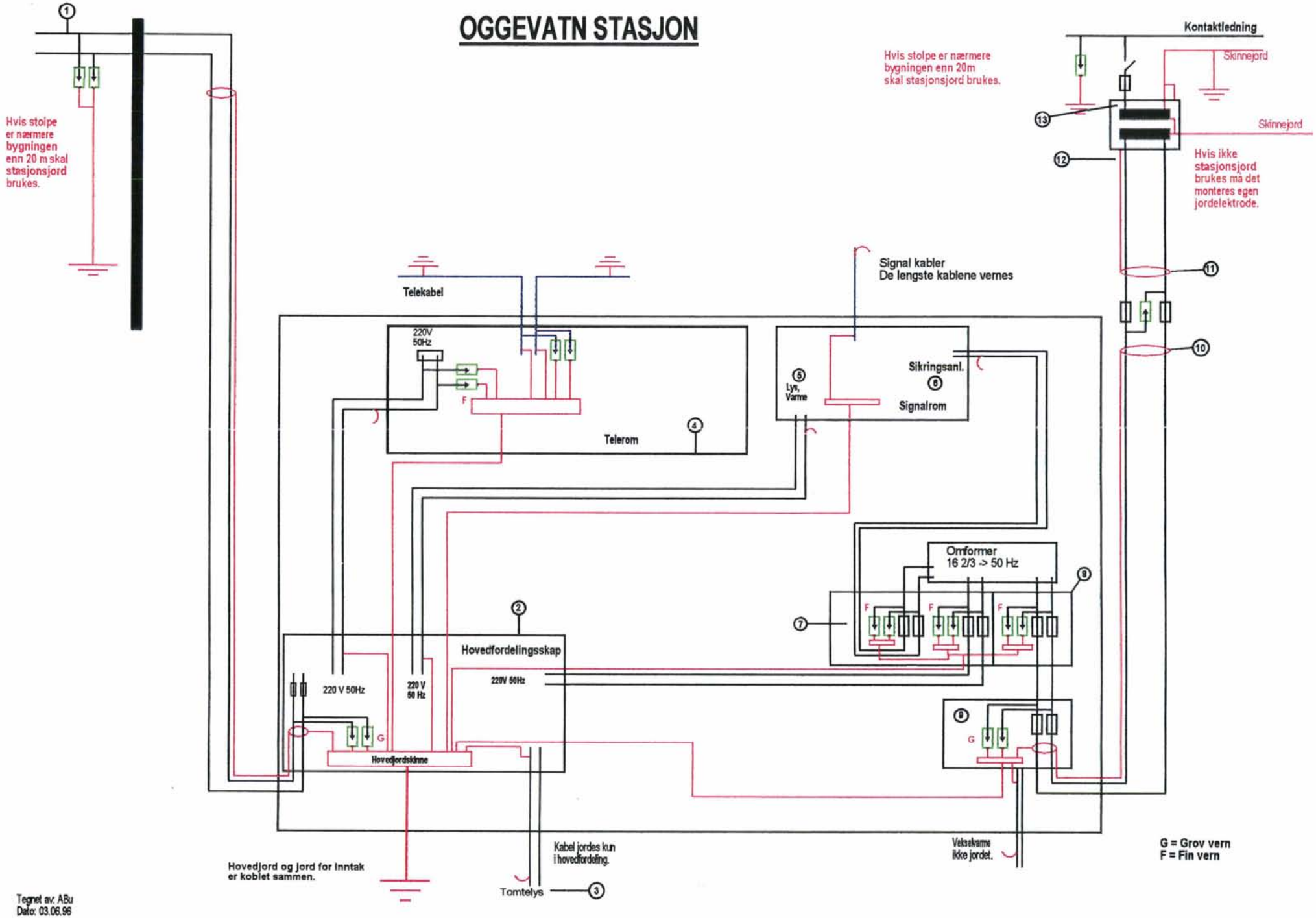
```
C OM-A  OM-B  OM-C
C SI-A  SI-B  SI-C
C TE-A  TE-B  TE-C
BLANK CARD  { Terminating output request.
BLANK CARD  { Terminating plotting request.
BEGIN NEW DATA CASE
BLANK CARD ENDING ALL CASES
```

PRINSIPP SKJEMA FOR JORDING



Tegnet av: ABu
Dato: 28.04.95
Rev: 03.06.96

OGGEVATN STASJON



Tegnet av: ABu
Dato: 03.06.96

Jernbaneverket
Biblioteket

TransiNor As

Lyn og Elektromagnetiske Transienter - Produkter og Teknologi • *Lightning and Electromagnetic Transients - Products and Technology*

TEKNISK RAPPORT NR.: 504.450.02

Overspenningsbeskyttelse i Jernbaneverkets faste tekniske anlegg. Del 2 - Fri linje

Oppdragsgiver:

Jernbaneverket Region Sør,

Teknisk kontor Strømforsyning

Utført av:

TransiNor As

Foretaksnummer: 942287585

Adresse:
Jonsvannsv. 82

7035 Trondheim

Telefon:
73 93 30 36
Telefax:
73 93 78 25

Address:
Jonsvannsv. 82

N-7035 Trondheim

Telephone:
+47-73 93 30 36
Fax:
+47-73 93 78 25

TransiNor As

Lyn og Elektromagnetiske Transienter - Produkter og Teknologi • *Lightning and Electromagnetic Transients - Products and Technology*

REFERANSESIDE

TEKNISK RAPPORT
Nr.: 504.450.2

Tittel: Overspenningsbeskyttelse i Jernbaneverkets faste tekniske anlegg. Del 2 - Fri linje.	**Dato:** 12 - desember - 1996 **Gradering:** Foreløpig begrenset **Prosjektnr.:** 504.450.2
Saksbehandler(e): Helge Johansen Vegard Larsen Asle Schei	**Antall sider:** 42 **Opplag:** 3 (Kopieres av Jernbaneverket etter behov)

Oppdragsgiver(e): Jernbaneverket Region Sør, Teknisk kontor Strømforsyning	**Oppdragsgivers ref.:** Best. av: 18.06.96 - 18.10.96 Ref: 96/1575 ID 763 M. I. Algrøy - H. S. Fadum

4 emneord Isolasjonskoordinering	Jordingskoordinering
Overspenninger	Overspenningsbeskyttelse

Referat:
De største påkjenninger i kontaktledningsanlegget skyldes spenningsoppsving mellom skinner og "sann" jord. Dagens systemløsning med hensyn til sporfelt og returstrøm medfører at en ikke kan velge en optimal løsning for overspenningsbeskyttelse, dvs. lavohmig impulsjording av skinnene på steder der vern og utstyr er montert. Spesielt for signal- og tele-utstyr vil det være store spenningspåkjenninger. Da overspenningene ikke kan ledes direkte til "sann" jord, er det nødvendig med utstrakt bruk av overspenningsvern for spenningsutjevning mellom leder-skjerm og mellom ledere. Det nye jordlinekonseptet vil redusere overspenningspåkjenningene på signal- og teleutstyr, men kan øke påkjenningene på isolatorer og sugetransformatorer i kontaktledningsanlegget.

TransiNor As Vegard Larsen

Foretaksnummer: 942287585

Adresse:
Jonsvannsv. 82

7035 Trondheim

Telefon:
73 93 30 36
Telefax:
73 93 78 25

Address:
Jonsvannsv. 82

N-7035 Trondheim

Telephone:
+47-73 93 30 36
Fax:
+47-73 93 78 25

INNHOLD

Side

0. INNLEDNING 4

1. SAMMENDRAG 5

1B. FEILSTATISTIKK FOR KONTAKTLEDNINGSANLEGGET 8

2. BEREGNINGSFORUTSETNINGER 10
   - 2.1 Generelle forutsetninger. 10
   - 2.2 Beregningsmodellen. 11
   - 2.3 Overspenningsvern, lengde på tilkoblingsledninger. 13
   - 2.4 Overspenningsnivå på kontaktledning. 15
   - 2.5 Isolasjonsholdfasthet for tele- og signalkabel. 17
   - 2.6 Kortfattet elektrodeteori, kråkefot - jordspyd (dybdeboring). 17

3. BEREGNINGSRESULTATER, LYNOVERSPENNINGER. 20
   - 3.1 Lynnedslag til enkeltspor (Oggevatn - Kvarehei). 20
   - 3.2 Lynnedslag til dobbeltspor (Brakerøya - Eriksrud). 26
   - 3.3 Kommentarer til beregningsresultatene. 28
   - 3.4 Overspenningsvern ved sugetransformator. 31
   - 3.5 Overspenningsvern foran tunnelmunninger. 33
   - 3.6 Jording av skjerm for telekabel. 34

4. BEREGNINGSRESULTATER, KOBLINGSOVERSPENNINGER. ... 35

5. NYTT JORDLINEKONSEPT MED LANGSGÅENDE JORDLINE. ... 37

6. LYNNEDSLAG I RETURLEDNING ELLER KONTAKTLEDNING. . 39

7. KONKLUSJON 40

8. REFERANSER 42

Vedlegg 1 - Figurer - Skisser

Vedlegg 2 - Utlisting av EMTP beregningsmodellene

Vedlegg 3 - Endel kopier av mottatt underlag fra Jernbaneverket

0. INNLEDNING

I samband med prosjektet "Isolasjons- og jordingskoordinering" ved Jernbaneverket Region Sør, er en av målsetningene å koordinere alle elektroanleggene i infrastrukturen med tanke på overspenningsbeskyttelse, isolasjons- og jordingsstrategi. TransiNor As har tidligere utført beregninger mht. overspenningsnivået i stasjoner (reléhus) [Ref. 8.1]. Det var ønskelig å få utført tilsvarende overspenningsberegninger for kontaktledningsanlegget, hhv. enkeltspor (Oggevatn - Grovane) og dobbeltspor (Drammen stasjon - Brakerøya -Eriksrud). Beregningene skal gi underlag for å vurdere behovet for overspenningsbeskyttelse og hvilke krav som må settes til jording. Oppdraget er utført i nært samarbeid med prosjektmedarbeidere i Jernbaneverket Region Sør.

1. SAMMENDRAG

Ved beregningene er det tatt utgangspunkt i strekningen for enkeltspor Oggevatn-Grovane nord for Kristiansand og dobbeltspor Drammen stasjon - Brakerøya - Eriksrud. Forenklede skjema (skisser) av de aktuelle strekningene er vist på figur 2.1, 2.2 og 2.3 i vedlegg 1. Beregningene er utført ved bruk av et det annerkjente amerikanske beregningsprogrammet EMTP (Electro Magnetic Transient Program). EMTP er et generelt flerfase beregningsprogram hvor alle aktuelle elektriske komponenter kan modelleres. En utlisting av EMTP modellene er vist i vedlegg 2.

Beregningene viser at isolasjonsholdfastheten mellom kontaktledning og jord (mast/skinner), er bestemmende for overspenningsnivået som genereres ved lynnedslag. Isolasjonsholdfastheten kan variere mellom 75 kV og 100 kV avhengig av type isolatorer (glass/porselen eller kompositt) som benyttes. Indusert spenning fra kontaktledning til tele- og signalkabler kan også være betydelig. Som følge av at skjerm for telekabel er jordet for ca. hver 700 meter, vil signalkabler være mere utsatt for overspenninger enn telekabler. De største påkjenninger i kontaktledningsanlegget skyldes spenningsoppsving mellom skinner og "sann" jord. Dagens systemløsning med hensyn til sporfelt og returstrøm medfører at en ikke kan velge en optimal løsning for overspenningsbeskyttelse, dvs. lavohmig impulsjording av skinnene på steder der overspenningsvern er montert. Spesielt for signalutstyr som er forlagt parallelt med skinnegangen og punktvis tilkoblet/jordet til skinnene, vil det være store spenningspåkjenninger. Da overspenningene ikke umiddelbart etter overslag til skinner kan ledes direkte til "sann" jord, er det nødvendig med utstrakt bruk av overspenningsvern for spenningsutjevning mellom lederskjerm og mellom ledere. De vernetiltak for tele- og signalutstyr som Jernbaneverket (NSB) tidligere har foreskrevet, vil gi relativt god beskyttelse mot overspenninger. Kopi av foreskrevne vernetiltak er vedlagt i vedlegg 3. Det må understrekes at også for tele- og signalutstyr må overspenningsvern monteres nærmest mulig den komponent som skal beskyttes og vernet må tilkobles med kortest mulig tilkoblingsledninger både på signal og jordside. Videre vil jordelektroder med lavohmig impulsmotstand i kontaktledningsanlegget i større grad lede lynstrømmen til "sann" jord. Dette vil generelt redusere over-

spenningspåkjenning på kabler som er forlagt parallelt med skinnene og delvis tilkoblet til skinnene. Dette gjelder både signal- og telekabler samt lavspentanlegg generelt, dvs. lavspentkabler, blokk-kabler og andre lavspente elektriske installasjoner. Signal- og telekabler må videre beskyttes med overspenningsvern ved inntak i reléhus.

Det nye jordlinekonseptet med langsgående jordline reduserer overspenningspåkjenningen på signal- og telekabler. Det er da en forutsetning at det er etablert en lavohmig impulsmotstand på stedet som også jordlinen er tilkoblet. Strømmen i overspenningsvernet vil da i hovedsak ledes direkte til "sann" jord og ikke ut på jordlinen. Dette er spesielt viktig hvis jordline og signal-/telekabler er forlagt i felles kanal med kort innbyrdes avstand. Det antas at det nye mastefundament- og jordlinekonseptet som er benyttet på Lierstranda, vil gi en lavohmig impulsmotstand til jord, da mastefundamentene kan betraktes som konsentrerte jordelektroder som går ned under telenivå. Det nye jordlinekonseptet vil imidlertid øke overspenningspåkjenningene på sugetransformatorer, reservestrømstransformatorer og isolatorer mellom kontaktledning og mast da det vil oppstå relativt store spenningsdifferanser mellom langsgående jordline og skinner / separat returledning.

Ved utbedring av eksisterende anlegg der skinnene benyttes som returledning, bør det vurderes/prøves om det kan etableres en jordelektrode med lavohmig impulsmotstand for hvert sporfelt, f.eks. på en av skinnene i overgangen mellom retur for sporfelt og skinneskjøt. Dette vil redusere spenningsoppsvinget mellom skinner og "sann" jord. Samtidig reduseres energipåkjenningen på overspenningsvern og dermed faren for at overspenningsvern havarerer og komponenter blir liggende ubeskyttet.

Reservestrømtransformatorer bør beskyttes med overspenningsvern. Overspenningsvern, fase-jord, av metalloksydtypen bør ha en merkespenning i området 25 kV - 28 kV ref. $TOV_{10\ sek}$. For beskyttelse av 230 volt utstyr som kan forsynes fra reservestrømstransformatoren, er det imidlertid en forutsetning at jordsiden av overspenningsvernet kan tilkobles en jordelektrode med lavohmig impulsmotstand (kråkefot/jordspyd). I tillegg må tilkoblet 230 volt utstyr beskyttes slik som det er angitt i studien for stasjoner [Ref. 8.1].

Primærsiden av sugetrafo er beskyttet med overspenningsvern med tennspenning 1500 volt. Det er derfor tilstrekkelig med ett overspenningsvern for hver sugetrafo koblet mellom kontaktledning og jord (transformatorkasse/skinner). Hvis det ikke benyttes overspenningsvern ved sugetrafoer, vil et lynnedslag forårsake overslag mot jord (skinner) via isolatorer / kasse på sugetrafoer. Dette kan medføre skader utvendig på isolatorer og innvendig i sugetrafo. Bruk av gnistgap vil gi tilfredsstillende beskyttelse av sugetrafo, men vil forårsake kortvarig utkobling. Da selv kortvarige utkoblinger medfører driftsproblemer bør dette unngås. Bruk av metalloksydavleder istedenfor gnistgap vil gi bedre beskyttelse av sugetrafo og samtidig forhindre kortvarige utkoblinger.
Hvis det ikke monteres primært overspenningsvern (1500 volt), bør det benyttes 2 vern, dvs. vern monteres over begge isolatorer på primærside av sugetrafoen.

Behovet for overspenningsbeskyttelse er tilnærmet det samme for strekninger med enkeltspor som for dobbeltspor.

Hvis det benyttes langsgående jordline, kan det oppstå store spenningsdifferanser mellom jordline og skinner. Alt utstyr langs skinnegangen (kontaktledningsmast, mast for lyssignal, etc.) skal jordes til jordline. Jordline tilkobles skinner via filterimpedanser. Dette vil gi dårligere avledning av overspenninger som forplanter seg langs skinnene, og dermed fare for overslag over filterimpedans(er) og i verste fall havari. Det nye jordlinekonseptet vil redusere overspenningspåkjenningene på signal- og teleutstyr, men kan øke påkjenningene på isolatorer og sugetransformatorer i kontaktledningsanlegget.

Det er behov for overspenningsvern i kontaktledningsanlegget ved tunnelmunninger.
Når et tog passerer en sonegrensebryter, kan det i spesielle tilfeller genereres koblingsoverspenninger i signal- og telekabler som går opp imot 5 kV. Det kan derfor være behov for overspenningsvern ved sonegrensebrytere.
Skjerm for telekabler bør ikke jordes innenfor en avstand på 300 - 400 meter i begge retninger fra reléhus, sugetrafoer, reservestrømtrafoer og tunnelmunninger.

Opphengshøyde for returledning i forhold til høyde på bæreline/kontaktledning har liten betydning mht. overspenningsproblematikk.

1B. FEILSTATISTIKK FOR KONTAKTLEDNINGSANLEGGET

Erfaringsmessig er det mange elektriske feil i kontaktledningsanlegget, men det foreligger ikke en systematisk feilstatistikk. I 1994 var det registrert ca. 80 driftsstanser i region sør, hvorav de fleste skyldtes tordenvær. Isolatorhavari er ofte en årsak til driftsstans.
I prosjektgruppen er nevnt isolatorer på sugetransformatorer og isolatorer i kontaktledningsanlegget foran tunnelmunninger. I tillegg er det eksempler på havari av sugetransformatorer, brente filterimpedanser og overdragstransformatorer samt overslag/sveising av isolerte skinneskjøter.

Reservestrømtransformatorer er erfaringsmessig, iht. opplysninger gitt i prosjektgruppen, ikke spesielt utsatt for havari. Dette kan skyldes overslag over isolatorer mellom kontaktledning og mast (skinner) før overspenningen kommer frem til reservestrømstransformatoren. Med dagens konstruksjon / oppkobling av reservestrømstransformator vil en da få spenningsutjevning mellom høyspentside, lavspentside, trafokasse og togskinner. I tillegg vil overspenningen "se" en lavohmig impulsmotstand enten ved mastefoten eller i verste fall via installasjoner i nærliggende stasjoner / reléhus.

Ved lynnedslag i kontaktledningen vil det genereres en overspenning som gir store spenningsdifferanser mellom kontaktledning og skinner. Dette er en høyfrekvent (transient) overspenning som normalt er i frekvensområdet 100 kHz - 1000 kHz og som derfor vil overlagre 15 kV driftsspenning med frekvens 16 2/3 Hz. Bruk av overspenningsvern ved sugetrafoer og reservestrømstrafoer, vil på disse steder begrense spenningsdifferansen til vernenivået, dvs. 60 kV - 80 kV. Hvorvidt dette forhindrer overslag over andre isolatorer langs kontaktledningen er avhengig av avstanden mellom overspenningsvern og i hvor stor avstand fra et vern lynet slår ned i kontaktledningen. Hvis det ikke skjer en spenningsutjevning, eller isolasjonsholdfastheten for en komponent overskrides, vil det skje et overslag. Isolator(er) som står i nærheten av det sted hvor lynnedslaget til kontaktledningen skjer, vil være mest utsatt. Det er i utgangspunktet bedre at overslaget skjer over en isolator hvis alternativet er overslag inne i en sugetransformator, reservestrømtransformator, høyspentkabel, kabelendemuffe, etc. Hvis

en øker lengden og dermed isolasjonsholdfastheten på isolatorene, vil antall utkoblinger som følge av isolatorhavari reduseres. Overspenningsproblemene kan imidlertid da overføres til andre komponenter i kontaktledningsanlegget som har lavere isolasjonsholdfasthet. Tidligere var det tilgjengelig kombinerte overspenningsvern / isolatorer, dvs. isolatorene var innvendig oppbygd av metalloksydblokker. Driftserfaringene med denne kombinerte løsningen er imidlertid noe varierende og produktet er så vidt vi vet nå trukket ut av markedet. Hvis det utvikles tilfredsstillende tekniske løsninger til en akseptabel pris, vil vi tro at denne kombinasjonen av isolator/overspenningsvern må være svært gunstig mht. overspenningsbeskyttelse av kontaktledningsanlegget.

2. BEREGNINGSFORUTSETNINGER

For en mere detaljert beskrivelse av vandrebølgeteori, bølgeimpedans, bølgehastighet og impulsmotstand til jord, henvises det til kap. 2.2, ref. 8.1.

2.1 Generelle forutsetninger.

I beregningsmodellene er det tatt hensyn til følgende forhold:

1. Spenning mellom kontaktledning og skinner: 15 kV (16 2/3 Hz). Spenning kan variere mellom 13.5 kV og 17.25 kV.
2. Midlere strøm i kontaktledning: 500 ampere (16 2/3 Hz). Belastningen vil variere avhengig av type elektrisk lokomotiv og togets posisjon i forhold til omformer-stasjonene (0 - 1200 ampere).
3. Kortslutningsstrøm ved brudd / nedfall av kontaktledning:
   Maksimal kortslutningsstrøm 15 kA - 20 kA.
   Minimum kortslutningsstrøm 1.3 kA.
4. Spesifikk jordresistivitet i fyllmasse under skinner: 2500 ohmmeter. Her kan det være store variasjoner over året avhengig av vær-, temperatur- og saltforhold. Videre vil konsistensen på ballast under skinnegang ha stor betydning [Ref. 8.11].
5. Lengde på "null-felt", ved sugetrafo: 14 meter - 30 meter.
6. Maksimal spenning (16 2/3 Hz) over isolerende skjøt ved sugetrafo: 125 volt. Kortvarig tillates 250 volt. Spenningsdifferansen bestemmer lengste avstand mellom sugetransformatorene. Mellom Oggevatn og Grovane (19.21 km) er det eksempelvis 7 sugetrafoer. Midlere avstand mellom hver sugetrafo er 2.63 km.
7. Avstand i isolert skjøt: 6 mm, isolert med nylonstreng, antatt isolasjonsholdfasthet mot lynoverspenninger 30 kV. Dette gjelder for "nye" skjøter. Erfaringsmessig vil skjøtene over tid mer og mindre valses sammen som følge av belastningen når tog passerer. Hvis overspenninger medfører overslag i skinneskjøten, vil de maksimale overspenningspåkjenninger i kontaktledningsanlegget reduseres. En "ny" skinneskjøt med isolasjonsholdfasthet på 30 kV vil derfor være det "verste tilfelle" med hensyn på overspenningsproblematikk.

8. Avstand mellom kontaktledningsmastene: 40 - 60 meter
9. Midlere vertikal avstand mellom kontaktledning og overkant skinner er 5.6 meter. Kontaktledning (1*100 mm^2 Cu) og bæreline (1*50 mm^2 Cu) er slått sammen til en ekvivalent ledning (1*150 mm^2 Cu).
10. 2 separate opphengte returledninger (1*240 mm^2 Al) med vertikal avstand 50 cm er representert med en ekvivalent ledning på 2*1*240 mm^2 Al.
11. Sporfeltlengde: 0.9 km - 1.2 km. Mellom Oggevatn og Kvarehei Blokkpost er det eksempelvis 10 lengder med sporfelt over en avstand på 10.202 km, dvs. i snitt 1.02 km pr. sporfelt.
12. Iht. Forskrifter for elektriske jernbaneanlegg, kap. 4.2.4, ref. 8.5, er det innledningsvis forutsatt at overspenningsvern med tennspenning på 1500 volt, er montert over primærviklingen på sugetransformator (mellom tilkoblingspunktene for kontaktledningen). Dette medfører at overspenninger langs kontaktledningen vil kortslutte sugetransformatoren på primærsiden. Det er videre utført beregninger uten dette vernet samt med overspenningsvern montert på begge sider av sugetrafo mellom kontaktledning og kasse for sugetrafo.
13. Avstand mellom omformerstasjoner er ca. 80 km.
14. Sporfeltspenning (95 Hz / 105 Hz) etter transformering: 11 volt. Sporfeltutstyr er tilkoblet skinner via galvanisk skille, filter og overspenningsvern, iht. side 1, vedlegg 4.1 i ref. 8.2. (Jfr. kopier i vedlegg 3).
15. Skjerm for telekabel er jordet for ca. hver 700 meter.
16. Det kan være nedlagt separat langsgående jordline som alle jordforbindelser er tilkoblet (mot skinner via filterimpedanser).

2.2 Beregningsmodellen.

Beregningene er utført ved hjelp av EMTP, [Ref. 8.6 - 8.7]. EMTP (Electro Magnetic Transient Program) er et annerkjent flerfase amerikansk beregningsprogram der det i utgangspunktet ikke er noen (praktiske) begrensninger mht. modellering og plassering av elektriske komponenter. I EMTP er det benyttet hjelperutiner (LINE CONSTANT) for å beregne de ekvivalente elektriske parametre for fri linje. Avstander mellom

kontaktledning, skinner og kabelkanal for enkeltspor og dobbeltspor fremgår av skisser vist på side 2 og side 6 i vedlegg 2. Den del av kontaktledningsanlegget som inngår i beregningsmodellen, fremgår av skisser vist på side 13 og side 24 i vedlegg 2. Forøvrig henvises det til figur 2.1 og figur 2.2 i vedlegg 1. På bakgrunn av avstander, elektriske parametre og jordsmonnets ledningsevne, beregnes "modale" hjelpematriser. Disse matrisene inneholder informasjon om resistans, reaktans og kapasitans for de enkelte ledere samt den elektriske kobling mellom lederne. Hjelpematrisene er etablert for frekvenser på hhv. 16 2/3 Hz, 95 / 105 Hz (sporfelt) og 500 kHz (lynoverspenninger). Ved dobbeltspor benyttes sporfeltindikering med 95 Hz for det ene sporet og 105 Hz for det andre sporet. Utlisting av inputdata til EMTP-"LINE CONSTANTS" og hjelpematrisene som beregnes av EMTP er vist i vedlegg 2. Ved overspenningsberegningene (500 kHz) benyttes K.C. Lee modellen som er en generell vandrebølgemodell. Alternativt kan benyttes en nominell PI-ledd modell. Ved 16 2/3 Hz og 95/105 Hz beregninger benyttes primært den nominelle PI-ledd modellen, men K.C. Lee kan også benyttes. Det vises forøvrig til utlistingene i vedlegg 2.

2.3 Overspenningsvern, lengde på tilkoblingsledninger.

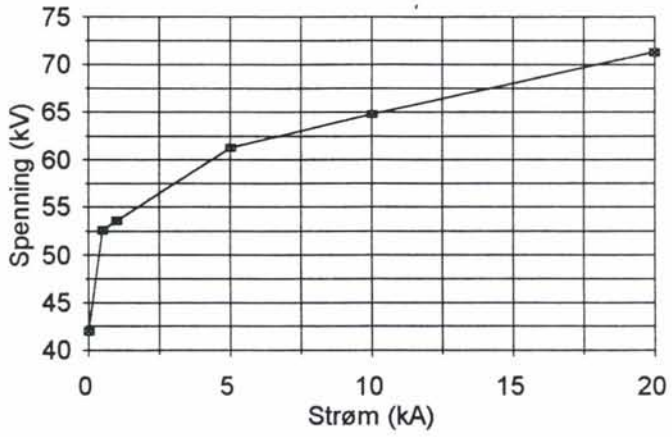
Med unntak av overspenningsvern i omformerstasjonene samt på primærsiden av sugetrafoer, jfr. punkt 12, kap. 2.1, er det i utgangspunktet sett bort fra overspenningsvern langs kontaktledningsanlegget. Dette er gjort for å finne de maksimale spenningsoppsving ved lynnedslag. Overspenningsvern i omformerstasjonene beskytter omformeren mot overspenninger, men vil normalt ikke påvirke overspenningsnivået på kontaktledningen da avstand mellom sted for lynnedslag og omformerstasjon er for stor. Eksempelvis vil det i en avstand på 10 km ta ca. 70 μs før overspenningen registrerer overspenningsvernet. Det er deretter gjort beregninger med overspenningsvern montert mellom kontaktledning og lokal jord/skinner på reservestrømtransformator samt på sugetrafoene. I tillegg er det utført beregninger med overspenningsvern på signal- og telekabler for å vurdere spenningsoppsving på kablene og energipåkjenningen i overspenningsvern.

For overspenningsvern mellom kontaktledning og jord/skinner er det forutsatt metalloksydavledere med merkespenning 27 kV. Maksimal spenning på kontaktledning er oppgitt til 17.25 kV. I henhold til opplysninger gitt i prosjektgruppen, er det umiddelbar utkobling av forsyning (0.2 sek. - 0.5 sek.) hvis det registreres jordfeil. Deretter er det 3 prøveinnkoblinger over en prøvemotstand etter hhv. 5 sek., 30 sek. og 180 sek, for å se om jordfeilen er stående eller forbigående. På bakgrunn av det overstående anbefales en minste merkespenning for overspenningsvern av metalloksydtypen på 17.25 / 0.8 = 22 kV. For anlegg med høyeste systemspenning 24 kV leverer ABB eksempelvis avledere med 24, 26 og 27 kV merkespenning. Avledningsnivået referert 10 kA er på hhv. 70.0, 70.8 og 72.0 kV, dvs. tilnærmet likt. En merkespenning på 27 kV kan derfor anbefales. Dette er identisk med det som pr. idag benyttes for vern av omformer, der det antas at det også er tatt hensyn til forventet spenningsstigning som følge av lastbortfall.

For signal- og telekabler er det benyttet varistorvern med merkespenning 385 volt og strøm-/spenningskarakteristikk referert 1/9 μs [Ref. 8.1]. Benyttede strøm- spenningsverdier for de to typer overspenningsvern er vist i tabellene 2.3.1 - 2.3.2 på neste side.

Strøm (kA)	1.10^{-6}	0.5	1.0	5.0	10.0	20.0
Spenning (kV)	42.0	52.6	53.6	61.3	64.8	71.3

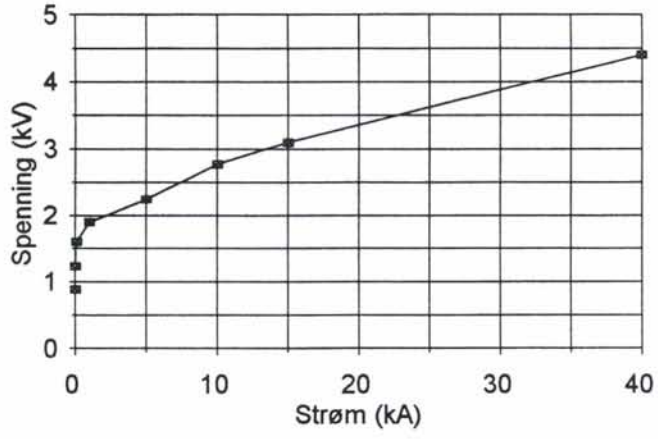
Tabell 2.3.1 Overspenningsvern med merkespenning 27 kV (ABB EXLIM Q). Strøm- /spenningskarakteristikk for 8/20 µs støt.



Figur 2.3.1 Vernenivå (spenningsbegrensning) som funksjon av strøm for overspenningsvern som er vist i tabell 2.3.1.

Strøm (kA)	1.10^{-6}	0.001	0.1	1.0	5.0	10.0	15.0	40.0
Spenning (kV)	0.88	1.24	1.61	1.9	2.25	2.78	3.1	4.4

Tabell 2.3.2 Varistor med merkespenning 385 volt. Strøm- /spenningskarakteristikk for 1/9 µs støt.



Figur 2.3.2 Vernenivå (spenningsbegrensning) som funksjon av strøm for varistorvern som er vist i tabell 2.3.2.

Strøm- / spennings-karakteristikken som er angitt ovenfor, gjelder for selve overspenningsvernet. I tillegg vil lengden på de ledninger som overspenningsvernet er tilkoblet med, være bestemmende for hvor god beskyttelse vernet gir. Tilkoblingsledningene må være kortest mulig både på spenningsside og jordside av overspenningsvernet.

For lynoverspenninger (høyfrekvente spenningspåtrykk) vil tilkoblingsledningene oppfattes som en reaktans. Ekstra spenningsoppsving pga. lengden på tilkoblingsledningene vil som en håndregel være gitt ved L*di/dt. L representerer reaktansen i tilledningen og er i størrelsesorden 1 μH ($1*10^{-6}$ Henry) pr. meter tilkoblings ledning. Forholdet di/dt angir steilheten (strømgradienten) på fronten av lynimpulsen.

Dette viser at tilkoblings-ledninger for vernet (spennings- + jord-side) må være kortest mulig. Hvis f.eks. et overspenningsvern i lavspentnettet trekker en strøm på 1 kA med steilhet 1 μs ($1*10^{-6}$ sek.), vil en få et ekstra spenningsoppsving på 1 kV pr. meter tilkoblingsledning. Tilsvarende vil et overspenningsvern i høyspentnettet som trekker en strøm på 10 kA med steilhet 1 μs, gi et ekstra spenningsoppsving på 10 kV pr. meter tilkoblingsledning. Det fremgår at virkningen av overspenningsvernet fort vil reduseres hvis lengden på tilkoblingsledningene blir for lange. Overspenningsvern må derfor plasseres nærmest mulig den komponent/apparat som primært ønskes beskyttet. Vernet må tilkobles med kortest mulige tilkoblingsledninger.

2.4 Overspenningsnivå på kontaktledning.

Det kan normalt antas at minst 99% av alle overspenninger på kontaktledningen skyldes induserte overspenninger. Induserte overspenninger vil sjelden eller aldri overstige 300 kV [Ref. 8.12]. Ved direkte lynnedslag til kontaktledningen, vil størrelsen på overspenningen være bestemt av lynstrømmens maksimale amplitudeverdi som er en statistisk størrelse. Normal verdi ligger i området 5 kA - 125 kA. Dette kan gi overspenninger i området 1000 kV - 25000 kV. Overspenningsnivået vil imidlertid begrenses av kontaktledningens isolasjonsholdfasthet over isolatorer mot kontaktledningsmast og mot skinner/jord.

Overslagssted vil være statistisk tilfeldig avhengig av overspenningens steilhet og maksimalverdi samt avstand til den komponent som har lavest isolasjonsholdfasthet. Bølgehastigheten langs kontaktledningen er ca. 300 meter/μs. Forutsatt en fronttid på 3 μs vil overspenningen forplante seg ca. 900 meter i hver retning fra nedslagsstedet før den når sin maksimalverdi på nedslagsstedet. Kontaktledningsmastene kan være av stål, tre eller betong. Uansett mastetype er isolatorfestene jordet. Ved tre- og betong-mastre er det lagt separat jordledning fra festepunkt for isolator ned langs mast til skinner eller langsgående jordline. Overslag vil derfor mest sannsynlig skje over isolator(er) i nærheten av det sted hvor lynnedslag til kontaktledningen skjer, hvis overspenningsvern ikke trer i funksjon og begrenser spenningsoppsvinget. Isolatorlengde (høyde) og graden av nedsmussing (forurensning) vil være bestemmende for hvor overslag skjer. Erfaringsmessig er det som angitt tidligere, spesielt isolatorer på primærside av sugetrafo (kontaktledningssiden) som er mest utsatt for overslag og havari.

Iht. punkt 4.1.1, ref. 8.5, skal glass- og porselens-isolatorer være godkjent for en driftsspenning på minimum 17.25 kV (16 2/3 Hz). Komposittisolatorer skal være godkjent for en driftsspenning på minimum 29.9 kV. Iht. IEC Publikasjon 71 [Ref. 8.8] skal utstyr med høyeste systemspenning 17.5 kV, 24 kV og 36 kV ha en minimum isolasjonsholdfasthet på hhv. 95 kV, 125 kV og 170 kV. Hvis det forutsettes en holdfasthet for isolatoren på 80% av dette, kan overslag inntreffe hvis overspenningsnivået overskrider 75 kV - 100 kV. Overgang fra isolatorer av glass/porselen til kompositt medfører følgelig at overspenningsnivået på kontaktledningen øker.

Iht. punkt 4.1.1, ref. 8.5, skal avstanden mellom spenningsførende og ikke spenningsførende deler være hhv. 250 mm (statisk) og 150 mm (dynamisk) Sannsynligheten for overslag er avhengig av overspenningens steilhet. 50% sannsynlighetsverdi for overslag for en tilsvarende gnistgapavstand, er på hhv. 190 kV og 125 kV [Ref. 8.9].
Det er derfor størst sannsynlighet for at overslag fra kontaktledning til skinner/jord skjer over isolatorene.

2.5 Isolasjonsholdfasthet for tele- og signalkabel.

Som angitt i kap. 3.4, ref. 8.1, skal lavspent elektrisk utstyr, iht. IEC 664-1, ha følgende isolasjonsholdfasthet mot overspenninger (1,2/50 μs og 8/20 μs støt):

- 6.0 kV Strøminntak, inkludert måler
- 4.5 kV Fast opplegg, inkl. ledninger og stikk-kontakter
- 2.5 kV Vanlig utstyr (fryser, varmtvannsbereder, etc)
- 1.5 kV Elektronikk (radio, TV etc)

Verdiene gjelder for 230/400 volt system og det er ikke skilt mellom isolasjonsholdfasthet fase-fase og fase-jord. I Norge er det normalt ikke skilt mellom strømforsyningssystem, dvs. det er samme krav til isolasjonsholdfasthet i IT-, TT- og TN-nett.

2.6 Kortfattet elektrodeteori, kråkefot - jordspyd (dybdeboring).

Overspenningsvern vil beskytte sugetrafoer, reservestrømstrafoer og isolatorer i kontaktledningsanlegget. Den strømmen som flyter til skinner/jord via overspenningsvernet vil lokalt på stedet gi et spenningsoppsving som påkjenner utstyr som er tilkoblet skinner eller forlagt i nærheten av skinnene. Det lokale spenningsoppsving er gitt av strøm og impulsmotstand til jord på stedet. Det er derfor ønskelig med lavest mulig impulsmotstand ved mastefoten hvor overspenningsvern er montert. Lavohmig impulsmotstand kan oppnås ved bruk av jordspyd eller kråkefot alternativt en kombinasjon av disse to metodene. Hvilken løsning som velges er bestemt av forholdene på stedet.

Jordspyd kan anbefales hvis en dermed fører jordelektroden ned i jordsmonn hvor den spesifikke jordresistivitet er lavere sammenlignet med de øverste 20 - 50 cm av jordsmonnet. Dette oppnås hvis jordspyd drives f.eks ned under telenivå, ned i grunnvannsnivå, ned i fuktig leire eller sand, etc. Videre kan jordsmonnet bestå av flere ulike sjikt med forskjellig spesifikk jordresistivitet. Hvis jordspyd passerer et sjikt med lav resistivitet vil

hensikten ofte være oppnådd. Bruk av jordspyd ved bunn av mast vil dessuten gi begrenset utstrekning av jordelektroden. Det er dermed mindre sannsynlig at jordelektroden "fanger" opp returstrøm eller kommer i kontakt med ledninger som fører returstrøm. En total spydlengde på 5 - 10 meter kan anbefales. Hvis flere parallelle spyd drives ned, bør horisontal avstand mellom spydene minst være lik spydlengden. Jordspyd kan også skråstilles, f.eks. 45 grader, for å øke avstanden. Når jordspyd skjøtes sammen for å øke spydlengden anbefales konisk sammenkobling fremfor skru-/gjenge-forbindelser. Ved dybdeboring i sandmorener, fløssberg, tørr leire etc. må borehullet fylles med egnet fyllmasse. Tidligere er det som fyllmasse ofte benyttet bentonitt eller petrolkoks. Ved dybdeboring og nedsetting av spesielle rør (spyd), finnes det nå også løsninger med bruk av kjemiske tilsetningsstoffer (salter) som gir endel lavere impulsmotstander til jord enn det som tradisjonelt oppnås med bruk av jordspyd og bentonitt/petrolkoks.

Hvis jordsmonnet er ensartet med høy jordresistivitet (f.eks. tørr sand, grus, morene, berg) vil bruk av kråkefot eventuelt i kombinasjon med jordspyd være den beste løsningen. En blank ledning forlagt i jord (jordline) har en impulsmotstand på ca. 120 ohm. En kråkefot ved mastefoten (4 stråler 90 grader på hverandre), vil redusere impulsmotstanden til ca. 30 ohm (120/4). Tilsvarende reduksjon kan fås hvis det er etablert et jordnett (maskenett) på stedet. Jordstrålene må hvis mulig graves ned med 20 - 30 cm overdekning. En eller flere av de 4 jordstrålene bør fortrinnsvis føres frem til områder med fuktig jordsmonn der de avsluttes med jordspyd som drives ned i bakken. Jordstråler på 20 - 30 meter kan anbefales, men også lengere stråler kan brukes hvis en dermed kommer frem til (fuktige) områder med lav jordresistivitet.

Vurdering av impulsmotstand for en jordelektrode er vanskelig fordi det avhenger av flere forhold. Spesifikk jordresistivitet dvs. jordsmonnets ledningsevne, har stor betydning. Tabell 2.6 viser hvordan jordresistiviteten varierer med type jordsmonn og fuktighet.

Sjø-vann	Myr - Ferskvann	Fuktig ut-mark	Fuktig fløssberg	Tørt grunnfjell - sandmorener-tele/is
1 - 10	100 - 1 000	500 - 1 000	3 000 - 10 000	10 000 - 1 000 000

Tabell 2.6 Variasjon av jordresistivitet (ohm*meter) avhengig av type jordsmonn og fuktighet.

Videre vil lynstrømmens amplitudeverdi og fronttid bestemme hvilken impulsmotstand som overspenningen "ser". For høye lynstrømmer vil det skje en ionisering av jordsmonnet omkring jordelektroden. Reduksjon av impulsmotstand pga. ionisering avhenger av maksimal strømamplitude. Ved jording av overspenningsvern i kontakt-ledningssanlegget vil strømmen som skal avledes til jord, være begrenset iht. strøm-/spenningskarakteristikken for vernet. Det er antatt at ioniseringseffekten begynner ved ca. 2 kA. Ved strømamplitude 20 kA eller høyere kan impulsmotstanden reduseres til 30% - 50% av den opprinnelige verdi.

Bølgehastighet (forplantningshastighet) i en jordline er ca. 100 m/μs. Hvis 2*løpetid for jordstrålen er større en fronttid for overspenningen, vil overspenningen nå sin maksimale amplitudeverdi før det kommer "tilbakemelding om jordforholdene" på enden av jordstrålen. Hvis f.eks. overspenningens fronttid er 1 μs, vil kritisk lengde på jordstrålen være 50 meter (0.5 μs hver veg). Tilsvarende hvis fronttid er 5 μs, vil kritisk lengde på jordstrålen være 250 meter (2.5 μs hver veg). Impulsmotstanden til jord ved mastefoten vil derfor være tidsavhengig, dvs. en øyeblikksverdi gitt av jordforholdene ved mastefoten og en verdi ved enden av jordstrålen som registreres etter 2 * overspenningens løpetid i jordstrålen. Overspennings fronttid er en statistisk størrelse som kan variere i området 1 μs - 30 μs. Registreringer viser at positive lynnedslag statistisk har lengre fronttid enn negative lynnedslag. Dvs. relativt lange jordstråler vil statistisk gi bedre beskyttelse mot positive lynnedslag sammenlignet med negative lynnedslag.

Det fremgår at det er viktig å skille mellom 16 2/3 Hz jord og impulsjord. Jfr. at "fronttiden" for 16 2/3 Hz er 15 millisek., mens den for lynoverspenninger ligger i området 1 - 10 μs, dvs. en faktor i størrelsesorden 1 : 1000.

3. BEREGNINGSRESULTATER, LYNOVERSPENNINGER.

Resultatet fra endel av de utførte beregninger er referert i det etterfølgende. For å vise typiske overspenningsforløp, er det henvist til figurer i vedlegg 1.

3.1 Lynnedslag til enkeltspor (Oggevatn - Grovane).

Det er forutsatt et lynnedslag (10 kA - 14 / 250 μs) til kontaktledningen på Vatnestraumen, jfr. figur 2.1, vedlegg 1.
Tabellene 3.1.1 - 3.1.4 på side 22 - 25 viser de maksimale spenningsoppsving på ulike steder som følge av lynnedslaget. I tabellene er vist betydningen av overspenningsvern mellom kontaktledning og skinner ved reservestrømstrafo og ved sugetrafoer. Beregningene er utført med impulsmotstander til jord på hhv. 10 ohm, 30 ohm og 100 ohm ved mastefoten. Videre er det i tabellene henvist til figurer i vedlegg 1 som viser typiske overspenningsforløp. Det fremgår av tabellene og figurene at overspenningsoppsvinget på ulike steder i kontaktledningsanlegget er betydelig. Beregningene viser at reservestrømstrafoer og sugetrafoer kan beskyttes ved bruk av overspenningsvern. Avhengig av hvor lynet slår ned i kontaktledningen, kan det være vanskelig å få avledet lynstrømmen til "sann" jord. Dette medfører at en får et stort spenningsoppsving mellom skinner og "sann" jord som vil påkjenne alt utstyr som enten er jordet til skinnene eller forlagt langs skinnene.

Tabell 3.1.1 viser det maksimale spenningsoppsving mellom skinner og "sann" jord.
Antatt avledning for impulsoverspenninger fra skinner mot "sann" jord representerer en usikkerhet ved beregningene. Det er fra Jernbaneverket oppgitt en maksimal tillatt avledning til jord tilsvarende en ledningsevne på 0.4 - 0.5 Siemens pr. km skinnelengde. Overgangsmotstand mellom skinner og "sann" jord vil imidlertid variere svært mye avhengig av standard på ballast i skinnegangen, værforhold og tid på året (frost i bakken på vinters tid). Overspenningsoppsvinget vil påvirke alt utstyr som er tilkoblet / jordet til skinnene. For å unngå store spenningsdifferanser og spenningsoverslag med påfølgende feil på komponenter og utstyr, er det behov for spenningsutjevning ved bruk

av overspenningsvern. Det fremgår at det maksimale overspenningsoppsving i betydelig grad reduseres når impulsmotstand til jord reduseres på de steder hvor overspenningsvern er montert.

Tabell 3.1.2 viser maksimalt spenningsoppsving mellom telekabel og "sann" jord. Det fremgår at spenningsoppsvinget bare i liten grad kan påvirkes ved bruk av overspenningsvern og jordingsforholdene på de steder hvor overspenningsvern er montert. Dette skyldes at det er den elektromagnetiske kobling mellom telekabler og kontaktledning/skinner som er avgjørende samt at skjerm for telekabel er jordet for ca. hver 700 meter. På grunn av skjermjordingen blir spenningsoppsvinget mot "sann" jord relativt lavt sammenlignet med spenningsoppsvinget for signalkabel, jfr. tabell 3.1.3. Telekabler kan imidlertid bli påkjent med høye overspenninger som følge av overslag fra skinner og utstyr som er forlagt langs skinnene og punktvis tilkoblet skinnene.

Tabell 3.1.3 viser maksimalt spenningsoppsving mellom signalkabel og "sann" jord. Også her er det den elektromagnetiske kobling mot kontaktledning/skinner som er avgjørende for det maksimale overspenningsnivå. Impuls overgangsmotstand til jord har mindre betydning. I tillegg kan det oppstå store spenningspåkjenninger som følge av overslag fra skinner til signalkabler via filterimpedanser og signalutstyr.

Tabell 3.1.4 viser maksimalt spenningsoppsving mellom kontaktledning og "sann" jord på ulike steder som følge av lynnedslag i kontaktledningen. Det fremgår at overspenningsnivået for kontaktledningen bare i en viss grad påvirkes ved bruk av overspenningsvern og lavohmig impulsjording.

Sted	Uten over-spenningsvern	Overspenningsvern ved hhv.:					
		Reservestrøms-trafoer			Reservestrøms- og suge-trafoer		
		Impulsmotstand ved overspenningsvern på hhv:			Impulsmotstand ved over-spenningsvern på hhv:		
		10 ohm	30 ohm	100 ohm	10 ohm	30 ohm	100 ohm
Oggevatn	1 kV Figur 3.1.1	1 kV	2 kV	3 kV	1 kV	2 kV	3 kV
1760 meter sør for Oggevatn	13 kV Figur 3.1.2	8 kV	8 kV	8 kV	4 kV	6 kV	8 kV
Sugetrafo S71	49 kV Figur 3.1.3	45 kV	45 kV	45 kV	29 kV	33 kV	46 kV
Vatnestraumen	77 kV Figur 3.1.4	65 kV	65 kV	65 kV	62 kV	64 kV	65 kV
Sugetrafo S72	73 kV Figur 3.1.5	52 kV	52 kV	52 kV	22 kV	36 kV	53 kV
Kiosk 258c	14 kV Figur 3.1.6	3 kV	5 kV	6 kV	2 kV	4 kV	6 kV
Sugetrafo S73	4 kV Figur 3.1.7	6 kV	6 kV	6 kV	1 kV	3 kV	6 kV
Kvarehei blokkpost	0.25 kV Figur 3.1.8	1 kV	2 kV	2 kV	1 kV	1 kV	2 kV

Tabell 3.1.1

Maksimalt teoretisk spenningsoppsving i kV mellom togskinner og "sann" jord på ulike steder som følge av lynnedslag i kontaktledningen på Vatnestraumen. Videre er det i tabellen henvist til figurer i vedlegg 1 som viser typiske overspenningsforløp. Det er forutsatt et lynnedslag på 10 kA 14/200 μs støt. Det angitte maksimale overspenningsnivå vil påkjenne alt utstyr som er tilkoblet / jordet til skinnene. Det fremgår at det maksimale spenningsoppsving kan reduseres ved bruk av overspenningsvern og lavere impulsmotstand til "sann" jord på de steder hvor overspenningsvern er montert.

Sted	Uten over-spenningsvern	Overspenningsvern ved hhv.:					
		Reservestrøms-trafoer			Reservestrøms- og suge-trafoer		
		Impulsmotstand ved overspenningsvern på hhv:			Impulsmotstand ved over-spenningsvern på hhv:		
		10 ohm	30 ohm	100 ohm	10 ohm	30 ohm	100 ohm
Oggevatn	60 volt	25 volt	25 volt	25 volt	15 volt	18 volt	19 volt
1760 meter sør for Oggevatn	290 volt Figur 3.1.9	320 volt	320 volt	320 volt	143 volt	248 volt	286 volt
Sugetrafo S71	964 volt	880 volt	880 volt	880 volt	970 volt	902 volt	882 volt
Vatnestraumen	1700 volt Figur 3.1.10	1670 volt	1670 volt	1670 volt	1735 volt	1710 volt	1686 volt
Sugetrafo S72	813 volt	800 volt	800 volt	800 volt	902 volt	848 volt	812 volt
Kiosk 258c	535 volt	430 volt	430 volt	430 volt	206 volt	301 volt	364 volt
Sugetrafo S73	169 volt	36 volt	54 volt	66 volt	23 volt	42 volt	60 volt
Kvarehei blokkpost	31 volt	11 volt	11 volt	11 volt	10 volt	11 volt	11 volt

Tabell 3.1.2

Maksimalt teoretisk spenningsoppsving i volt mellom telekabel og "sann" jord på ulike steder som følge av lynnedslag (10 kA 14/250 μs støt) i kontaktledningen på Vatnestraumen. Spenningsoppsving som følge av den elektromagnetiske kobling mellom kontaktledning/skinner og telekabel. I tabellen er det henvist til figurer i vedlegg 1 som viser typiske overspenningsforløp. Det fremgår at bruken av overspenningsvern mellom kontaktledning og skinner/jord bare i liten grad påvirker det maksimale spenningsoppsving. Det er forutsatt at skjerm for telekabel er jordet for ca. hver 700 meter. På grunn av skjermjordingen blir spenningsoppsvinget mot "sann" jord relativt lavt sammenlignet med spenningsoppsvinget for signalkabel, jfr. tabell 3.1.3.

Sted	Uten over-spenningsvern	Overspenningsvern ved hhv.:					
		Reservestrøms-trafoer			Reservestrøms- og suge-trafoer		
		Impulsmotstand ved overspenningsvern på hhv:			Impulsmotstand ved over-spenningsvern på hhv:		
		10 ohm	30 ohm	100 ohm	10 ohm	30 ohm	100 ohm
Oggevatn	59 kV Figur 3.1.11	59 kV	59 kV	59 kV	59 kV	59 kV	61 kV
1760 meter sør for Oggevatn	74 kV Figur 3.1.12	74 kV	74 kV	74 kV	70 kV	74 kV	80 kV
Sugetrafo S71	100 kV	107 kV	107 kV	107 kV	93 kV	96 kV	107 kV
Vatnestraumen	153 kV Figur 3.1.13	153 kV	153 kV	153 kV	148 kV	148 kV	153 kV
Sugetrafo S72	82 kV	72 kV	72 kV	72 kV	82 kV	82 kV	82 kV
Kiosk 258c	92 kV Figur 3.1.14	92 kV	92 kV	92 kV	85 kV	88 kV	92 kV
Sugetrafo S73	77 kV	77 kV	77 kV	77 kV	72 kV	74 kV	78 kV
Kvarehei blokkpost	57 kV Figur 3.1.8	41 kV	57 kV	57 kV	56 kV	57 kV	58 kV

Tabell 3.1.3

Maksimalt teoretisk spenningsoppsving i kV mellom signalkabel og "sann" jord på ulike steder som følge av lynnedslag i kontaktledningen på Vatnestraumen. Spenningsoppsving som følge av den elektromagnetiske kobling mellom kontaktledning/skinner og signalkabel. I tabellen er det henvist til figurer i vedlegg 1 som viser typiske overspenningsforløp. Det er forutsatt et lynnedslag på 10 kA 14/250 μs støt. Det er forutsatt en kontinuerlig signalkabel uten avgreninger hvor skjermen ikke er jordet.

Sted	Uten over-spenningsvern	Overspenningsvern ved hhv.:					
		Reservestrøms-trafoer			Reservestrøms- og suge-trafoer		
		Impulsmotstand ved overspenningsvern på hhv:			Impulsmotstand ved over-spenningsvern på hhv:		
		10 ohm	30 ohm	100 ohm	10 ohm	30 ohm	100 ohm
Oggevatn	73 kV Figur 3.1.15	51 kV	51 kV	51 kV	51 kV	51 kV	51 kV
1760 meter sør for Oggevatn	86 kV Figur 3.1.16	86 kV	86 kV	86 kV	86 kV	86 kV	86 kV
Sugetrafo S71	110 kV Figur 3.1.17	95 kV	95 kV	95 kV	91 kV	95 kV	96 kV
Vatnestraumen	2230 kV Figur 3.1.18	2230 kV	2230 kV	2230 kV	2230 kV	2230 kV	2240 kV
Sugetrafo S72	150 kV Figur 3.1.19	102 kV	102 kV	102 kV	84 kV	97 kV	102 kV
Kiosk 258c	140 Figur 3.1.20	52 kV	52 kV	52 kV	52 kV	52 kV	52 kV
Sugetrafo S73	98 kV Figur 3.1.21	47 kV	47 kV	47 kV	47 kV	47 kV	47 kV
Kvarehei blokkpost	82 kV Figur 3.1.22	41 kV	41 kV	41 kV	41 kV	41 kV	41 kV

Tabell 3.1.4

Maksimalt teoretisk spenningsoppsving i kV mellom kontaktledning og "sann" jord på ulike steder som følge av lynnedslag i kontaktledningen på Vatnestraumen. I tabellen er det henvist til figurer i vedlegg 1 som viser typiske overspenningsforløp. Det er forutsatt et lynnedslag på 10 kA 14/250 μs støt.

3.2 Lynnedslag til dobbeltspor (Brakerøya - Eriksrud).

Beregningene referert i dette kapittel er utført på en modell som vist på figur 2.2 i vedlegg 1. Skisse av sportverrsnitt og aktuelle sporlengder fremgår av side 6 og side 24 i vedlegg 2. Med unntak av reservestrømtrafo tilkoblet spor B ved blokkpost Huseby, er spor A og B tilnærmet identiske. For å kunne sammenligne beregningene fra enkeltspor og dobbeltspor, er det i det etterfølgende benyttet samme lynstrømimpuls som i kap. 3.1, dvs. 10 kA - 14/250 μs. Videre er det forutsatt lynnedslag til kontaktledning for spor A ved AS 464, jfr. figur 2.2, vedlegg 1.

Beregningene viser at også ved dobbeltspor, vil de største spenningspåkjenninger skyldes spenningsoppsvinget mellom skinner og "sann" jord. Tabell 3.2.1 på neste side viser de maksimale spenningsoppsving på ulike steder. Videre er det henvist til figurer i vedlegg 1 som viser typiske overspenningsforløp.

Overspenningspåkjenningene ved dobbeltspor er noe lavere enn tilsvarende påkjenninger ved enkeltspor. Dette skyldes at det ved dobbeltspor er flere parallelle ledninger som overspenningen kan fordeles på. De anbefalinger mht. overspenningsbeskyttelse som er gitt for enkeltspor bør imidlertid også følges for dobbeltspor.

Modellen som er benyttet ovenfor, er senere korrigert og utvidet slik at også strekningen Drammen stasjon - Brakerøya er tatt med, jfr. kap. 5.

Sted	Uten overspenningsvern	Overspenningsvern ved hhv.:	
		Reservestrøms-trafoer	Reservestrøms- og suge-trafoer
Brakerøya	34 kV - Fig. 3.2.1 (15 kV-Fig. 3.2.2)	34 kV (16 kV)	1 kV
Tlf. 451/461 Sugetr. S29/S30	80 kV - Fig. 3.2.3 (23 kV-Fig. 3.2.4)	82 kV (27 kV)	13 kV
AS 464	65 kV - Fig.3.2.5 (28 kV-Fig. 3.2.6)	64 kV (27 kV)	48 kV
Blokkpost Huseby	34 kV - Fig. 3.2.7 (11 kV-Fig. 3.2.8)	33 kV (18 kV)	77 kV
AS 446 Sugetr. S27/S28 (Tunnelport)	59 kV - Fig. 3.2.9 (22 kV-Fig. 3.2.10)	61 kV (27 kV)	71 kV

Tabell 3.2.1

Maksimalt teoretisk spenningsoppsving i kV mellom togskinner for spor A og "sann" jord på ulike steder som følge av lynnedslag i kontaktledningen for spor A ved AS 464, jfr. figur 2.2, vedlegg 1. Videre er det i tabellen henvist til figurer i vedlegg 1 som viser typiske overspenningsforløp. Tall i parentes viser spenningsoppsving i kV og figurhenvisning på tilsvarende steder for spor B. Det er forutsatt et lynnedslag på 10 kA - 14/250 μs støt. Det angitte maksimale overspenningsnivå vil påkjenne alt utstyr som er tilkoblet / jordet til skinnene. Dette gjelder også for utstyr som er tilkoblet/jordet via filterimpedans da det er stor sannsynlighet for spenningsoverslag via filterimpedansen. Det fremgår at bruken av overspenningsvern mellom kontaktledning og skinner/jord bare i liten grad påvirker det maksimale spenningsoppsving.

3.3 Kommentarer til beregningsresultatene.

Isolasjonsholdfastheten mellom kontaktledning og jord (mast/skinner), er bestemmende for overspenningsnivået som genereres ved lynnedslag. Hvis ikke overspenningsvern trer i funksjon og begrenser spenningsforskjellen, vil overslag mest sannsynlig skje over isolator(er) i nærheten av det sted hvor lynet slår ned i kontaktledningen.
Som følge av at skjerm for telekabel er jordet for ca. hver 700 meter, vil signalkabler være mere utsatt for overspenninger enn telekabler. Behovet for overspenningsbeskyttelse er tilnærmet det samme for strekninger med enkeltspor som for dobbeltspor.
Overgang fra isolatorer av glass/porselen til komposittisolatorer medfører at isolasjonsnivået og dermed overspenningsnivået på kontaktledningen øker. Dette har imidlertid mindre betydning da en uansett vil få overslag til skinner/jord via isolator(er), sugetrafoer eller reservestrømstrafoer hvis det ikke skjer en spenningsutjevning via overspenningsvern. Strekninger med separat opphengt returledning vil gi et lavere overspenningsnivå på kontaktledningsanlegget sammenlignet med strekninger hvor returstrømmen går i skinner.

Det fremgår av beregningene at et lynnedslag vil gi betydelige overspenningsoppsving på ulike steder i kontaktledningsanlegget. Spenningsoppsvinget mellom skinner og "sann" jord vil påvirke alt utstyr som er tilkoblet / jordet til skinnene. Dette gjelder spesielt for tele- og signalkabler da det er vanskelig å redusere spenningen mellom skinner og "sann" jord. Dagens systemløsning med hensyn til sporfelt, skinnebruddsdeteksjon og returstrøm medfører at en ikke kan velge en optimal løsning for overspenningsbeskyttelse av kabler og utstyr som er tilkoblet/jordet via skinnene. For å unngå store spenningsdifferanser og spenningsoverslag med påfølgende feil på komponenter og utstyr, er det derfor behov for spenningsutjevning ved bruk av overspenningsvern. Et betydelig usikkerhetsmoment er at overgangsmotstanden mellom skinner og "sann" jord kan variere mye avhengig av konsistens på ballast i skinnegangen, vær- og temperaturforhold. Det vises her til utførte målinger [Ref. 8.11]. Lynnedslag og tordenvær opptrer normalt i perioder med mye nedbør. Dette bedrer jordingsforholdene og reduserer overspenningsnivået. Det kan imidlertid være en lav (god) 16 2/3 Hz jord (beskyttelsesjord) uten at en dermed har en

lav impulsmotstand til jord. Etablering av jordelektroder med lavohmig impulsmotstand langs skinnegangen i form av kråkefot/jordspyd kan komme i konflikt med dagens systemløsning for sporfelt og returstrøm. Det bør imidlertid vurderes/prøves om det kan etableres en jordelektrode med lavohmig impulsmotstand for hvert sporfelt, f.eks. på en av skinnene i overgangen mellom retur for sporfelt og skinneskjøt. Dette vil redusere spenningsoppsvinget mellom skinner og "sann" jord. Samtidig reduseres energipåkjenningen på overspenningsvern og dermed faren for at overspenningsvern havarerer og komponenter blir liggende ubeskyttet.

Reservestrømtransformatorer bør beskyttes med overspenningsvern. Overspenningsvern av metalloksydtypen bør ha en merkespenning i området 25 kV - 28 kV ref. $TOV_{10\ sek}$. For beskyttelse av 230 volt utstyr som kan forsynes fra reservestrømstransformatoren, er det imidlertid en forutsetning at jordsiden av overspenningsvernet kan tilkobles en jordelektrode med lavohmig impulsmotstand (kråkefot / impulsjord). I tillegg må tilkoblet 230 volt utstyr beskyttes slik det er angitt i studien for stasjoner [Ref. 8.1].

Hvis det ikke benyttes overspenningsvern ved sugetrafoer, vil et lynnedslag forårsake overslag mot jord (skinner) via isolatorer / kasse på sugetrafoer. Dette kan medføre skader utvendig på isolatorer og innvendig i sugetrafo. Bruk av gnistgap vil gi tilfredsstillende beskyttelse av sugetrafo, men vil forårsake automatisk utkobling og vellykket prøveinnkobling av kontaktledning for å slukke lysbuen i gnistgapet (stående lysbue). Jernbaneverket har faste rutiner for automatisk prøveinnkobling av kontaktledning etter utfall, men selv kortvarige utkoblinger av kontaktledningen medfører driftsproblemer og er derfor uønsket. Et gnistgap med gaplengde på 10 cm vil ha en overslagsspenning på ca. 90 kV for et 1.2/50 μs støt (50% sannsynlighetsverdi). Det må understrekes at tennspenning for gnistgapet er avhengig av steilheten på overspenningen. I tillegg vil tennspenningen normalt øke over tid i samband med at gaplengden øker som følge av avbrenning. Til sammenligning har en metalloksydavleder med merkespenning 27 kV (ABB EXLIMQ) et garantert avledningsnivå på 71 kV referert 20 kA. Bruk av metalloksydavleder istedenfor gnistgap vil derfor gi bedre beskyttelse av sugetrafo og i tillegg forhindre kortvarig utkobling av kontaktledningen.

Beregningene viser at.det er behov for overspenningsvern for tele og signalkabler iht. det som er vanlig praksis i Jernbaneverket (NSB). Jfr. kopier i vedlegg 3. Øvrige kabler som ligger parallelt med skinnene (blokk-kabler, tilførselskabler til signallys, etc.) bør beskyttes med overspenningsvern på tilsvarende måte. Signal- og telekabler må videre beskyttes med overspenningsvern ved inntak i reléhus.

Beregningene viser at det er størst sannsynlighet for skader og feil som følge av overspenninger som ledes inn i reléhuset fra kontaktledning via reservestrømtransformatoren. En fase på reservestrømstransformatoren er direkte jordet til skinnejord både på 16 kV og 230 volt siden, kap. 5.2.11, ref. 8.5. Det er derfor svært viktig at overspenningsvern mellom kontaktledning og jord (skinner) jordes via kortest mulig tilkoblingsledninger til jordelektroder som har lavohmig impulsmotstand til jord, jfr. kap. 2.3. Det vises forøvrig til kap. 5.2.8 i Forskrifter for elektriske jernbaneanlegg, ref. 8.5. Hvis det er mulig å slå ned jordspyd i det aktuelle jordsmonnet, anbefales en kombinasjon av kråkefotjording og jordspyd. Spenningsoppsvinget og spenningspåkjenningen vil øke ved steilere støt (kortere fronttid) og lengere halvverditid. I samband med overslag mot skinner/jord kan det genereres svært steile overspenninger som kan gi store spenningspåkjenninger på tele- og signalkabler.

3.4 Overspenningsvern ved sugetransformator.

Iht. Forskrifter for elektriske jernbaneanlegg, kap. 4.2.4, ref. 8.5, skal det over sugetransformatorens primærvikling monteres overspenningsvern med tennspenning på maksimalt 1500 volt. En overspenning som forplanter seg langs kontaktledningen, vil tilnærmet totalreflekteres når den kommer frem til høyspent gjennomføring på primærsiden av sugetrafo. Spenningsdifferansen mellom de to isolatorene på primærsiden vil umiddelbart overskride 1500 volt. Vernet vil da tenne og begrense spenningen over primærviklingen iht. strøm- / spenningskarakteristikken for vernet. Fabrikat og merkedata for primærvernet er så langt i studien ikke kjent. Energipåkjenningen på vernet kan være betydelig, spesielt hvis det er tog som trekker laststrøm på den samme strekning hvor lynnedslaget skjer. Ifølge opplysninger som er gitt i prosjektgruppen, er det problemer med at 1500 volt vernet på primærside av sugetrafoene havarerer.

Vernet med tennspenning 1500 volt forhindrer ikke at det oppstår store spenningsdifferanser mellom kontaktledning og sugetransformatorkasse som gir overslag og skader på isolator. Iht. opplysninger gitt i prosjektgruppen er isolatorhavari på høyspentsiden av sugetransformatoren en vanlig feilårsak. Det er utført endel beregninger med overspenningsvern mellom kontaktledning og kasse på sugetransformator, dvs. over de to isolatorene på primærside av sugetransformator. Overspenningsvern vil forhindre overslag mot kasse. Oppe ved sugetrafo er det viktig at overspenningsvern tilkobles med kortest mulig tilkoblingsledninger både på kontaktledningssiden og på kassesiden, jfr. kap. 2.3. Jordside av overspenningsvern og transformatorkasse sammenkobles mot et felles jordingspunkt oppe i mast. Jordingspunkt føres via jordline ned langs mast og tilkobles skinne eventuelt langsgående jordline. I tilkoblingspunktet bør det være en jordelektrode med lavohmig impulsmotstand.
Hvis vernet på primærsiden av sugetrafo med tennspenning 1500 volt sløyfes, er det behov for overspenningsvern på begge sider av primærviklingen. Hvis 1500 volt primærvern benyttes, vil det teoretisk være tilstrekkelig med ett vern på primærside av sugetrafo, montert mellom kontaktledning og kasse.

Beregningene viser at overnevnte løsning vil gi god beskyttelse på primærsiden av sugetrafo. Avhengig av hvordan trafokasse er jordet og hvordan forbindelsene mot skinner er tilkoblet, kan det imidlertid være en fare for at overspenningsproblemet overføres til sekundærsiden av sugetrafoen. Hvis returstrøm går i skinner og det er lavohmig impulsmotstand til "sann" jord ved mastefoten, vil det lokale spenningsoppsving være begrenset og det er liten sannsynligheten for overslag fra trafokasse til sekundærsiden på sugetrafo. Hvis det benyttes langsgående jordline som trafokasse / overspenningsvern tilkobles, vil overspenningsforholdene bli verre. Overspenningsvernet er på jordsiden koblet mot et felles jordingspunkt der også kasse for sugetrafo er jordet. Dette kan gi spenningsoppsving på transformatorkassen som kan medføre overslag (tilbakeslag) fra kasse til sekundærside av trafo.
Tilsvarende vurdering gjelder for reservestrømstransformatorene der overspenningsvern kobles mellom kontaktledning og transformatorkasse, dvs. over transformatorgjennomføringen. Transformatorkasse for reservestrømtransformator er med dagens konstruksjon koblet til skinnejord, jfr. kap. 4.4.5, ref. 8.1.

Det må understrekes at overspenningsvern skal gi spenningsutjevning mellom kontaktledning og de øvrige deler av kontaktledningsanlegget. Dette vil forhindre overslag over isolator(er) med påfølgende kortvarig strømbrudd. I tillegg må det være lavohmig impulsmotstand til jord ved mastefoten som sammenkobles med jordledning fra overspenningsvern og langsgående jordline / skinner, avhengig av hvilken systemløsning som er valgt. Strømmen i overspenningsvernet vil da i størst mulig grad avledes til "sann" jord. Dermed kan en unngå at det genereres store overspenninger som forplanter seg utover langs jordline eller skinner og påkjenner utstyr som er forlagt langs eller punktvis tilkoblet jordline / skinner.

3.5 Overspenningsvern foran tunnelmunninger.

Erfaringsmessig er det endel skader på isolatorer i første kontaktledningsmast foran tunnelmunningene. Bølgeimpedansen for kontaktledningen er noe forenklet gitt av:

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} = 60 * \ln \frac{4*h}{d}$$

Her er : L - ledningens induktivitet pr.meter
C - ledningens kapasitet til jord pr. meter
h - lederens høyde over jord (meter)
d - lederens diameter (meter)

Ved tunnelmunningen endres de geometriske forhold og kapasiteten mot jord. Dermed endres også bølgeimpedansen. Overspenningen vil oppfatte tunnelmunningen som et refleksjonspunkt og overspenningen vil reflekteres og absorberes iht. det som er beskrevet i kap. 2.2, ref. 8.1. En overspenning vil gi overslag mot skinner/jord der isolasjonsholdfastheten er lavest eller der det skjer en spenningsoppbygging. Det er her nærliggende å trekke en sammenligning mht. overspenningsproblematikk for en kabel som er innskutt i luftlinje. Det er iht. avtale, ikke utført konkrete beregninger for å finne hvordan bølgeimpedansen ved tunnelmunningen endres avhengig av dimensjon på tunnel og føring av kontaktledning. Ved beregninger kan en eventuelt vise hvordan spenningsoppbyggingen skjer i begge ender av tunnelen. Tunnelmunninger må imidlertid oppfattes som et refleksjonspunkt. Det er derfor behov for overspenningsvern for å hindre overslag og skader på isolatorer foran tunnelmunninger.
Overspenningsvern ved tunnelmunningene vil begrense spenningen mellom kontaktledning og skinner. Behovet for ekstra beskyttelse av sugetransformatorer som er plassert inne i tunnelen, vil være avhengig av avstand mellom tunnelmunning og sugetrafo, impulsmotstand til jord ved tunnelmunningen samt bølgehastighet og bølgeimpedans i kontaktledning og skinner. Det er imidlertid ikke utført beregninger for å finne forventet overspenningsnivå på sugetransformatorer som står inne i tunnelen, avhengig av de angitte parametre.

3.6 Jording av skjerm for telekabel.

Skjerm for telekabler er jordet for ca. hver 700 meter. I tillegg er skjermen direkte jordet i reléhus hvor telekabel normalt er beskyttet med overspenningsvern. I prosjektgruppen er det stilt spørsmål ved om det ut fra en vurdering av lynoverspenninger, bør være en minsteavstand fra reléhus og ut til første jording av skjerm for telekabel.

Bølgeimpedansen for telekabelskjerm er antatt å være i området 30 - 60 ohm. Bølgeimpedans for blank leder forlagt i jord er ca. 120 ohm. Bølgehastigheten er 90 - 100 meter/μsek for begge, jfr. forøvrig tabell 2.2, ref. 8.1. Lynoverspenningen vil gi en lokal heving av jordpotensialet når overspenningen søker mot "sann" jord. Hvis det skjer en heving av jordpotensialet f.eks. på et stasjonsområde eller i nærheten av et reléhus, vil overspenningen lettere søke mot "sann" jord via skjerm på telekabel enn via blank jordleder. Forholdet vil forverres ytterligere da overspenningen vil "se" en svært lavohmig impulsmotstand i reléhuset pga. mange parallelle utgående kabler. Hvis en antar at overspenningen har en fronttid på 3 μs, tilsvarer dette en ledningslengde på 300 meter, forutsatt en bølgehastighet på 100 meter pr. μs. Hvis mulig bør en derfor unngå å jorde skjerm for telekabel innenfor en avstand på 300 - 400 meter i begge retninger ut fra reléhuset. Videre bør skjerm for telekabel ikke jordes i nærheten av sugetrafoer, reservestrømtrafoer og tunnelmunninger, dvs. på steder der det er stor sannsynlighet for lokalt spenningsoppsving av jordpotensialet pga. overslag/spenningsutjevning mellom kontaktledning og skinner/jord.

Det overstående vil også i større grad forhindre problemer med at en del av returstrømmen kan gå i skjerm for telekabel.

4. BEREGNINGSRESULTATER, KOBLINGSOVERSPENNINGER.

Spenning mellom kontaktledning og skinner kan variere mellom hhv. 17.25 kV og 13.5 kV. Det er derfor antatt at det er lynoverspenninger og ikke koblingsoverspenninger som gir de største påkjenninger i kontaktledningsanlegget. Lynoverspenninger vil følgelig være dimensjonerende mht. isolasjonskoordineringen i anlegget. Etter ønske fra Jernbaneverket er det foretatt beregninger for å klarlegge hvilke koblingsoverspenninger som genereres når tog passerer en sonegrensebryter. Strekningene Vatnestraumen - Nelaug og Vatnestraumen - Krossen er i modellen innlagt som sammenhengende strekninger på hhv. 34 km og 45 km. Omformere er lagt inn i Krossen ved Kristiansand og i Nelaug. Det er videre forutsatt at toget passerer sonegrensebryter ved Vatnestraumen. Kopi av tegning som viser sonegrensebryter på Vatnestraumen er vist på side 25 i vedlegg 1. Det er gjort beregninger med forskjellige kortslutningsytelser i Krossen og Nelaug og med varierende grad av faseforskyvning i omformerstasjonene. Omformerstasjonene vil normalt være sammenkoblet på 15 kV nivå, men de kan også være delt i samband med utkobling og revisjonsarbeid. Beregningene viser at det kan genereres relativt høye overspenninger i signal- og telekabler når et tog passerer Vatnestraumen. Overspenningsnivået er avhengig av de forutsetninger som legges inn med hensyn til kortslutningsytelse, uttak av effekt og hvor på spenningskurven innkobling skjer. Det verste tilfelle vil være hvis overgang skjer ved spenningens maksimale amplitudeverdi (24.4 kV). Videre er det av stor betydning hvordan toget passerer sonegrensebryter, dvs. om toget i en kort periode sammenkobler de to omformerstasjonene samt spenningsdifferanse og fasevridning over dødseksjonen. Hvis det er andre tog på strekningen kan det også være betydelig forskjell både mht. spenning og fasevinkel. De høyeste overspenninger oppstår når strømavtager går fra en seksjon uten spenning og inn på en seksjon som er spenningssatt.

Figur 4.1 - 4.8 i vedlegg 1 viser typiske strøm og overspenningsforløp når et tog passerer sonegrensebryter på Vatnestraumen på veg fra Nelaug mot Krossen (Kristiansand). Det er forutsatt at toget (strømavtaker) går fra en seksjon uten spenning og inn på en seksjon som er spenningssatt fra Krossen. Figur 4.1 - 4.2 viser strømforløp ved Vatnestraumen.

Figur 4.3 - 4.4 viser spennings- og strømforløp ved omformer på Krossen. Figur 4.5 - 4.8 viser spenningsoppsving mot "sann" jord og mellom skinner og signalkabel ved Vatnestraumen. Det fremgår at spenningen mellom skinner og signal- / telekabel kan gå opp imot en maksimalverdi på 5 kV. Signalkabler vil være mere utsatt for overspenninger sammenlignet med telekabler da disse er jordet for ca. hver 700 meter.

Beregningsresultatene viser at det ved sonegrensebrytere er behov for å beskytte signal- og telekabler ved bruk av overspenningsvern. Det må understrekes at det innenfor den avtalte tidsramme ikke har vært mulig å undersøke alle forhold som er knyttet til togpassering ved sonegrensebryter. Det kan derfor ikke utelukkes at det under gitte forutsetninger kan opptre overspenninger som overskrider 5 kV.

5. NYTT JORDLINEKONSEPT MED LANGSGÅENDE JORDLINE.

Beregningsmodellen for dobbeltspor referert i kap. 3.2, er korrigert og utvidet iht. bygge- og sporplan-tegning for Drammensbruene (Brakerøya - Drammen stasjon). Avstander og forlegning av langsgående jordline mellom Drammen stasjon og Brakerøya, fremgår av skisser vist på side 23, 24 og 28 i vedlegg 1. Videre er det tatt hensyn til nytt mastefundamentkonsept på Lierstranda mellom mastene 4338 - 4370 for venstre spor og 4339 - 4371 for høyre spor, jfr overnevnte skisser i vedlegg 1. Mastene er av stål. Mastefundamentene som er ca. 4 meter lange, består av perforerte stålrør med aktuell fyllmasse. Mastene er sammenkoblet med langsgående jordline.
Ved beregningene er det forutsatt at overspenningsvern skal kobles mellom kontaktledning og jordline. Videre vil jordline være tilkoblet en jordelektrode med lavohmig impulsmotstand på steder hvor overspenningsvern er montert. Mastene kobles til langsgående jordline. Langsgående jordline kobles til skinner via filterimpedansene. Det er normalt satt en begrensning på maksimum 5 filterimpedanser pr. sporfelt, dvs. i gjennomsnitt ca. 200 meter mellom hver filterimpedans.

Beregningene viser at løsningen med langsgående jordline reduserer overspenningspåkjenningen på signal- og telekabler. Det er da en forutsetning at det er etablert en lavohmig impulsmotstand til jord på stedet, slik at strømmen i overspenningsvernet i størst mulig grad ledes direkte til "sann" jord og ikke ut på jordlinen. Dette er spesielt viktig hvis jordline og signal-/telekabler er forlagt i felles kanal med kort innbyrdes avstand. Det nye mastefundament- og jordlinekonseptet som er benyttet på Lierstranda, bør i utgangspunktet gi en lavohmig impulsmotstand til jord, da mastefundamentene kan betraktes som konsentrerte jordelektroder som går ned under telenivå. Oppbygging av mastefundament, hvilken fyllmasse som benyttes og jordsmonnets karakter på stedet er imidlertid ikke kjent i detalj.

Løsningen med langsgående jordline vil øke overspenningspåkjenningene på sugetransformatorer, reservestrømstransformatorer og isolatorer mellom kontaktledning og mast. Dette skyldes at det vil oppstå spenningsdifferanser mellom langsgående jordline og

skinner som kan gi overslag der hvor det er kortest avstand, dvs. over de komponenter som er angitt ovenfor.

Vurderingen som er gitt ovenfor, gjelder både for enkeltspor og dobbeltspor.

Utjevningsforbindelser mellom langsgående jordliner på dobbeltspor vil være gunstig mht. overspenningsproblematikk. Normalt antas at det bør være en minimum avstand mellom jordelektroder på 20 meter hvis de i praksis skal være adskilte. Avstand mellom skinner/jordliner er mindre enn dette. Det vil derfor uansett være vanskelig å opprette separate jordingsanlegg for hvert spor. Utjevningsforbindelser vil i tillegg redusere sannsynligheten for ukontrollerte overslag mellom jordlinene.

6. LYNNEDSLAG I RETURLEDNING ELLER KONTAKTLEDNING.

Ved elektrisk jernbanedrift i Norge har togskinnene tradisjonelt vært benyttet som returledning for 16 2/3 Hz strømmen. Ved dobbeltspor og ved nye anlegg er det tatt i bruk en løsning med to stk. fritt opphengte returledninger. Opptak fra skinner til returledningene er ca. midt mellom to sugetransformatorer. De to returledningene vil normalt henge symmetrisk på masta om øvre konsoll til staget som holder bærelinen. Anbefalt minsteavstand mellom de to returledningene er 0.5 meter. Returledningene har en isolasjonsholdfasthet på 1 kV i forhold til mast hvor de er festet.
I prosjektgruppen er det stilt spørsmål om i hvilken grad plassering av returledningene har betydning mht. overspenningsproblematikken. Dvs. hvor stor er sannsynligheten for lynnedslag i bæreline/kontaktledning sammenlignet med lynnedslag i returledningene avhengig av høyde over bakken og innbyrdes avstand. Beregninger viser at opphengshøyde for returledning har liten betydning mht. overspenningsproblematikk. Ved et direkte lynnedslag er det svært stor sannsynlighet for overslag mellom returledning og kontaktledning. Videre må returledningen henge minst 1 meter høyere enn kontaktledningen, hvis en statistisk skal greie å påvirke sannsynligheten for lynnedslag.

De induserte overspenninger i ledningene er tilnærmet proporsjonal med ledningenes høyde over bakken. Ved lynnedslag i nærheten av kontaktledningsanlegget, vil derfor spenningspåkjenningen være tilnærmet lik i returledning og kontaktledning. Bruk av isolert returledning har liten eller ingen betydning for den spenning som induseres i returledningene. Ut fra et overspenningsmessig synspunkt anbefales blank returledning. Eventuell isolasjon rundt returledning vil være utsatt for punktering i samband med direkte lynnedslag. Videre vil induserte overspenninger medføre overslag i isolasjonen mellom leder og festepunkter i mastene. Den ekstra isolasjonsholdfasthet som isolasjonen representerer mht. lynoverspenninger, vil være svært liten.

7. KONKLUSJON

Ved lynnedslag i kontaktledningsanlegget vil det oppstå store spenningsdifferanser mellom skinner og "sann" jord. Dette vil spesielt gi store spenningspåkjenninger på signal- og tele- utstyr som er forlagt parallelt med skinnegangen og som også kan være tilkoblet/jordet til skinnegangen. Dagens systemløsning med hensyn til sporfelt og ønsket om at størst mulig del av returstrømmen skal gå i skinnene, medfører at en ikke kan velge en optimal løsning for overspenningsbeskyttelse. For beskyttelse mot overspenninger er det ønskelig at overspenningene ledes direkte til "sann" jord, umiddelbart etter overslag til skinner. Dette krever etablering av jordelektroder med lavohmig impulsmotstand til jord (kråkefot/jordspyd) på de steder hvor overspenningsvern er montert. Dersom dette ikke er mulig, er det nødvendig med utstrakt bruk av overspenningsvern for spenningsutjevning mellom leder-skjerm og mellom ledere. De vernetiltak for tele- og signalutstyr som Jernbaneverket (NSB) tidligere har foreskrevet, vil gi relativt god beskyttelse mot overspenninger. Signal- og telekabler må videre beskyttes med overspenningsvern ved inntak i reléhus. Også i lavspentanleggene dvs. lavspentkabler, blokk-kabler og andre lavspente elektriske installasjoner, kan det være behov for overspenningsvern på tilsvarende måte som for signal- og telekabler. Overspenningsvern må monteres nærmest mulig den komponent som skal beskyttes, med kortest mulig tilkoblingsledninger både på spenning- og jordside.

Det nye jordlinekonseptet med langsgående jordline reduserer overspenningspåkjenningen på signal- og telekabler. Det er da en forutsetning at det er etablert en lavohmig impulsmotstand til jord på stedet hvor overspenningsvern er montert og hvor jordlinen også er tilkoblet. Strømmen i overspenningsvernet må i hovedsak ledes direkte til "sann" jord og ikke ut på jordlinen. Dette er spesielt viktig hvis jordline og signal-/telekabler er forlagt i felles kanal med kort innbyrdes avstand. Det antas at det nye mastefundament- og jordlinekonseptet som er benyttet på Lierstranda, vil gi en lavohmig impulsmotstand, da mastefundamentene kan betraktes som konsentrerte jordelektroder som går ned under telenivå. Det nye jordlinekonseptet vil imidlertid øke overspenningspåkjenningene på sugetransformatorer, reservestrømstransformatorer og isolatorer da det

vil oppstå relativt store spenningsdifferanser mellom langsgående jordline og skinner / separat returledning.

Ved utbedring av eksisterende anlegg der skinnene benyttes som returledning, bør det vurderes/prøves om det kan etableres en jordelektrode med lavohmig impulsmotstand for hvert sporfelt, f.eks. på en av skinnene i overgangen mellom retur for sporfelt og skinneskjøt. Dette vil redusere spenningsoppsvinget mellom skinner og "sann" jord. Samtidig reduseres energipåkjenningen på overspenningsvern og dermed faren for at overspenningsvern havarerer og komponenter blir liggende ubeskyttet.

Reservestrømstrafoer og sugetrafoer bør beskyttes med overspenningsvern. Overspenningsvern av metalloksydtypen bør ha en merkespenning i området 25 kV - 28 kV ref. $TOV_{10\ sek}$. Jordsiden av overspenningsvernet bør tilkobles en jordelektrode med lavohmig impulsmotstand til jord (kråkefot / jordspyd). Tilkoblingsledningene både på spenning- og jordsiden må være kortest mulig. Da selv kortvarige utkoblinger av kontaktledningen (strømbrudd) er uønsket, er det ikke aktuelt å benytte gnistgap for beskyttelse mot overspenninger. Hvis vernet på primærsiden av sugetrafo med tennspenning 1500 volt sløyfes, er det behov for overspenningsvern på begge sider av primærviklingen.

Det er behov for overspenningsvern i kontaktledningsanlegget ved tunnelmunninger.
Det kan være behov for at signal- og telekabler beskyttes med overspenningsvern ved sonegrensebrytere.
Skjerm for telekabler bør ikke jordes innenfor en avstand på 300 - 400 meter i begge retninger fra reléhus, sugetrafoer, reservestrømtrafoer og tunnelmunninger.

Opphengshøyde for returledning i forhold til høyde på bæreline/kontaktledning har liten betydning mht. overspenningsproblematikk.

Behovet for overspenningsbeskyttelse er tilnærmet det samme for strekninger med enkeltspor som for dobbeltspor.

8. REFERANSER

8.1 Teknisk Rapport nr. 504.450.01
Overspenningsbeskyttelse i NSB Banes faste tekniske anlegg. Del 1: Stasjoner.
Utført av TransiNor As på oppdrag for NSB Bane Region Sør, Teknisk kontor Strømforsyning.

8.2 Strategi for jording og skjerming av elektroanlegg.
Juni 1994. NSB Bane. Ingeniørtjenesten

8.3 Overspenningsbeskyttelse Togradio. Internt NSB skriv.
Hk. Estr. 22.09.89 / 26.09.89.

8.4 NSB's Elektrifiseringssystem. Signaling. KL / sporfelter.
A. Solheim, Utgave A2 / B1. Internt NSB skriv.

8.5 Elektrisitetstilsynet ved NSB. 1992.
Forskrifter for elektriske jernbaneanlegg.

8.6 EMTP/ATP Theory Book (Electromagnetic Transients Program reference manual). August 1986.
Prepared by H. W. Dommel for Bonneville Power Administration, U.S.A.

8.7 Alternative Transients Program (ATP) Rule Book.
K. U. Leuven EMTP Centre, Belgium

8.8 IEC Publication 71. Recommendations for Insulation Co-ordination.

8.9 Elektrisitetsforsyningens Forskningsinstitutt, EFI.
Teknisk rapport nr. 2025. Juni 1976. Vern mot lynoverspenninger i fordelingsnett.
A.Schei, K.Markussen, J.Huse

8.10 25 kV / 50 Hz banestrømforsyning. Påvirkning på signal- og tele-anlegg.
NSB Bane. Ingeniørtjenesten. Januar 1995

8.11 Hovedoppgave NTH, Fakultet for elektro- og datateknikk.
Strømfordeling, impedans og felt i NSB's kontaktledningsanlegg.
Utført av Kjetil Storset, desember 1995.

8.12 Overspenningsvern og isolasjonsovervåkning i elektroinstallasjoner.
Faglig kurs TransiNor As - 1995.

VEDLEGG - 1

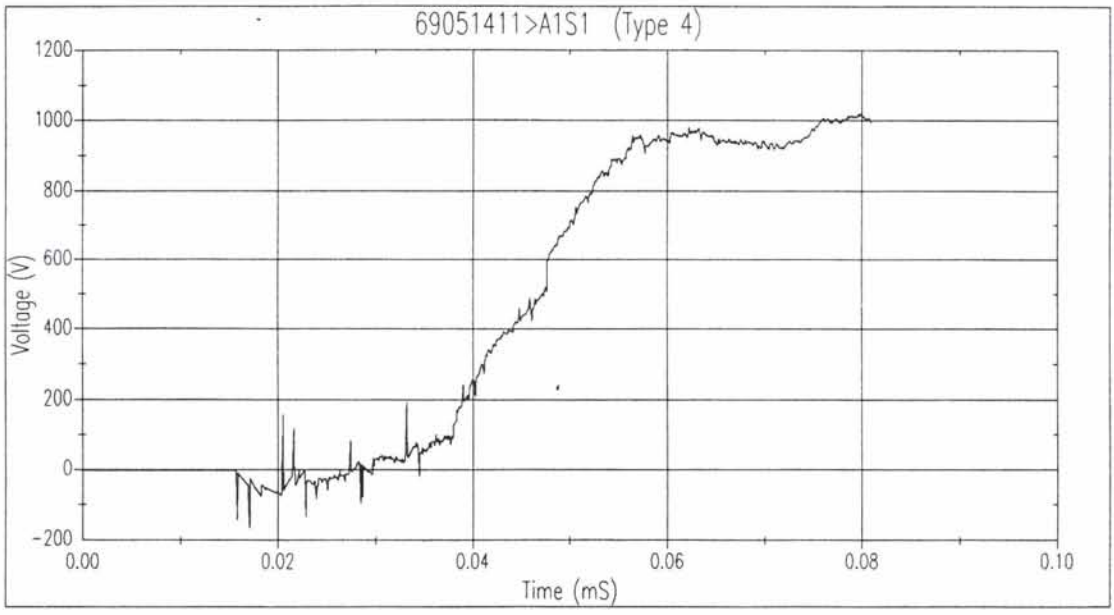
FIGURER - SKISSER

			Side nr.
Figur 3.1.1	-	Figur 3.1.8	1 - 4
Figur 3.1.9	-	Figur 3.1.10	- 5
Figur 3.1.11	-	Figur 3.1.14	6 - 7
Figur 3.1.15	-	Figur 3.1.22	8 - 13
Figur 3.2.1	-	Figur 3.2.10	14 - 18
Figur 4.1	-	Figur 4.8	19 - 22

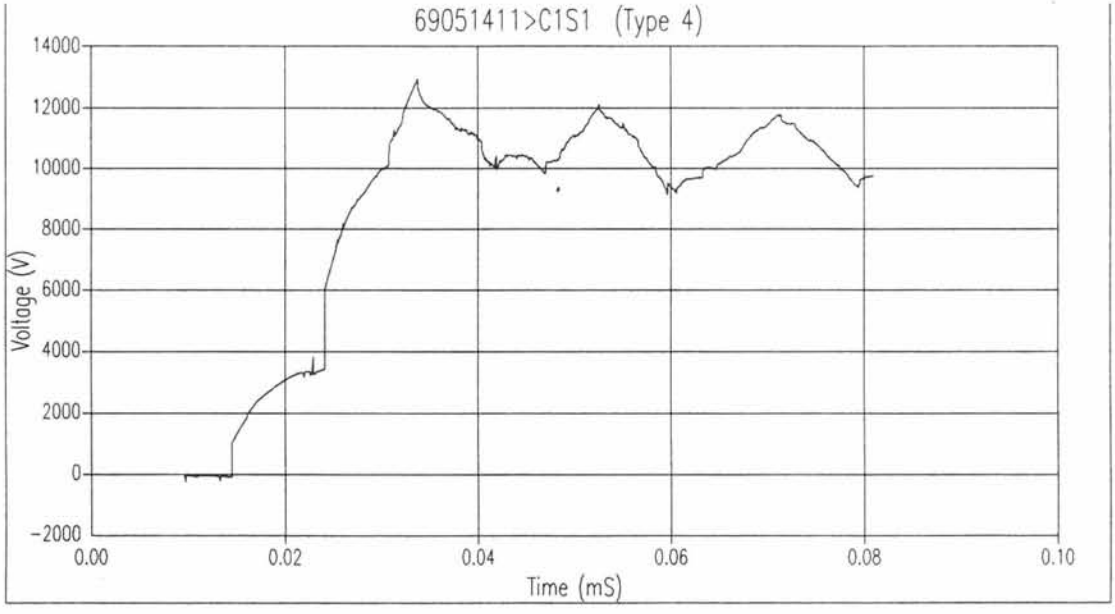
Figur 2.4	Skisse langsgående jordline Drammen - Brakerøya	23
Figur 2.5	Sporplan Brakerøya - Eriksrud	24
Figur 2.6	Sonegrensebryter ved Vatnestraumen	25

Figur 2.1	Skisse for enkeltspor	26
Figur 2.2	Skisse for dobbeltspor, Brakerøya - Eriksrud	27
Figur 2.3	Skisse for dobbeltspor, Brakerøya - Eriksrud	28

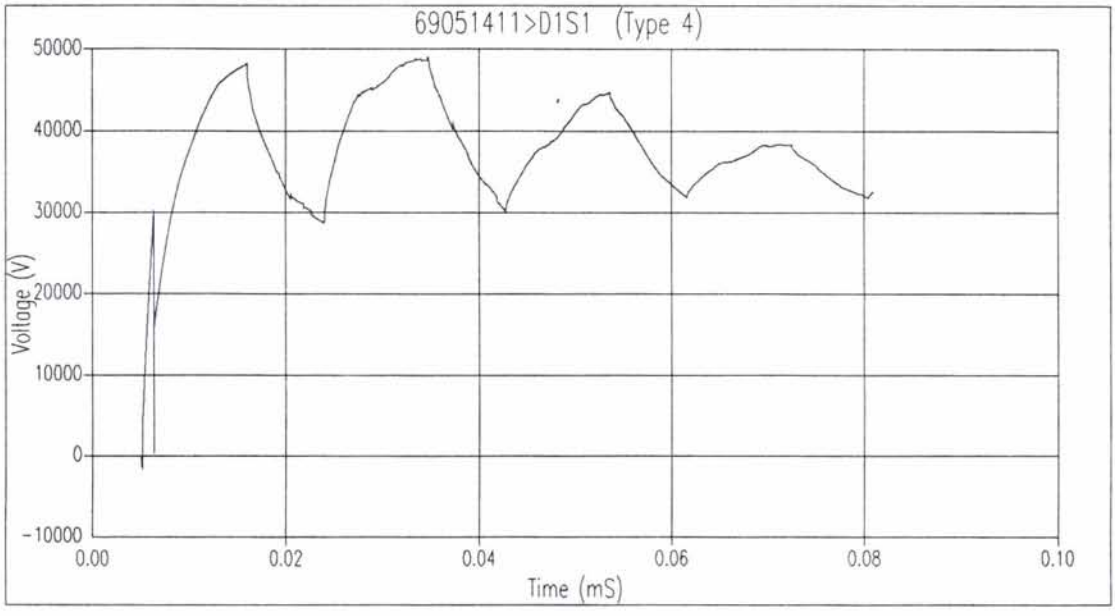
Figurene 2.1, 2.2 og 2.3 er plassert til slutt slik at de kan trekkes ut også når figurer som viser overspenningsforløp, skal studeres.



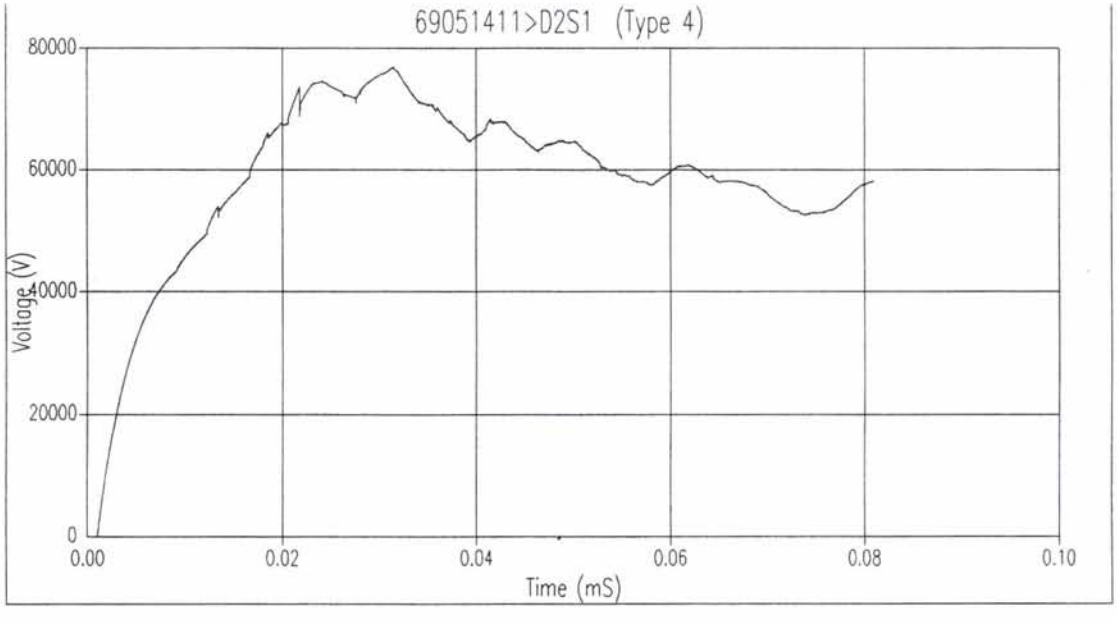
Figur 3.1.1 *(Enheter: Vertikalt 200 volt / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom togskinner og "sann" jord ved Oggevatn som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen på Vatnestraumen.



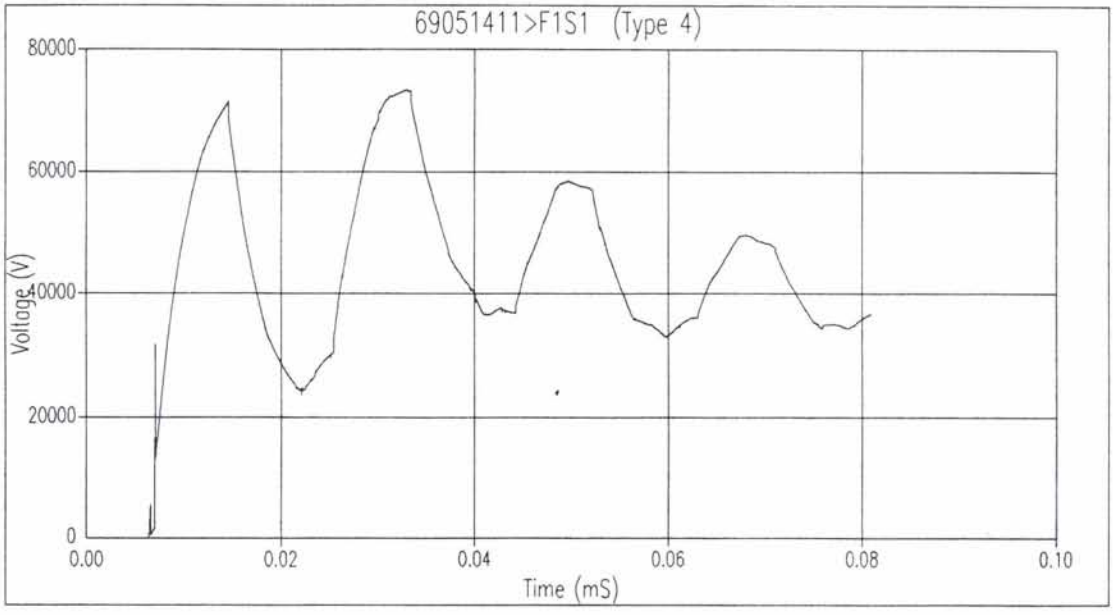
Figur 3.1.2 *(Enheter: Vertikalt 2 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom togskinner og "sann" jord 1760 meter sør for Oggevatn som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen på Vatnestraumen.



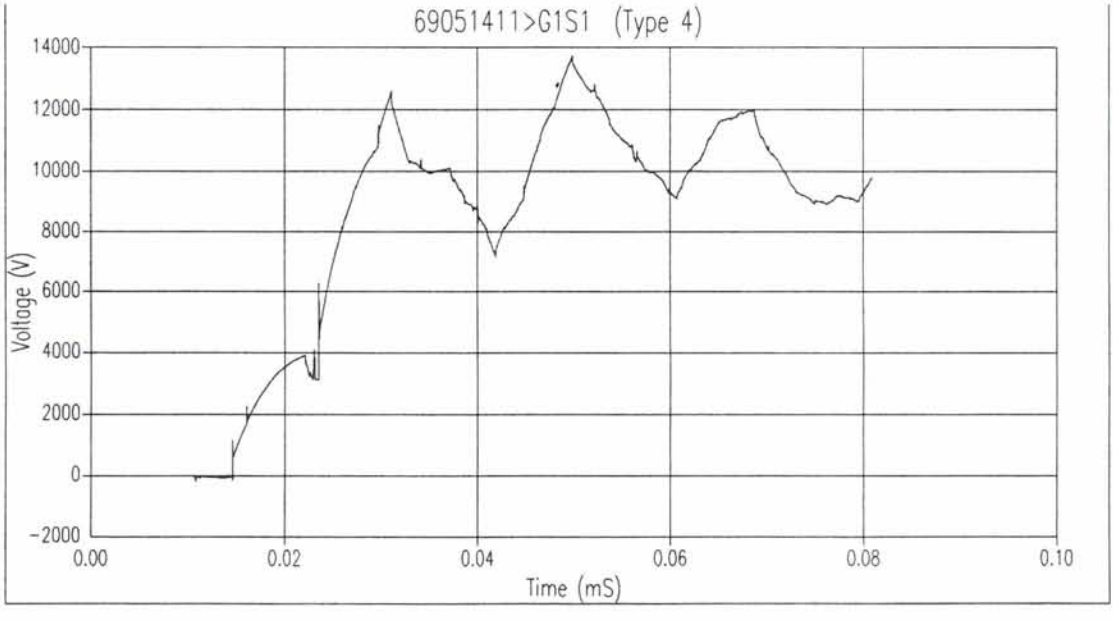
Figur 3.1.3 *(Enheter: Vertikalt 10 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom togskinner og "sann" jord ved sugetrafo S71 som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen på Vatnestraumen.



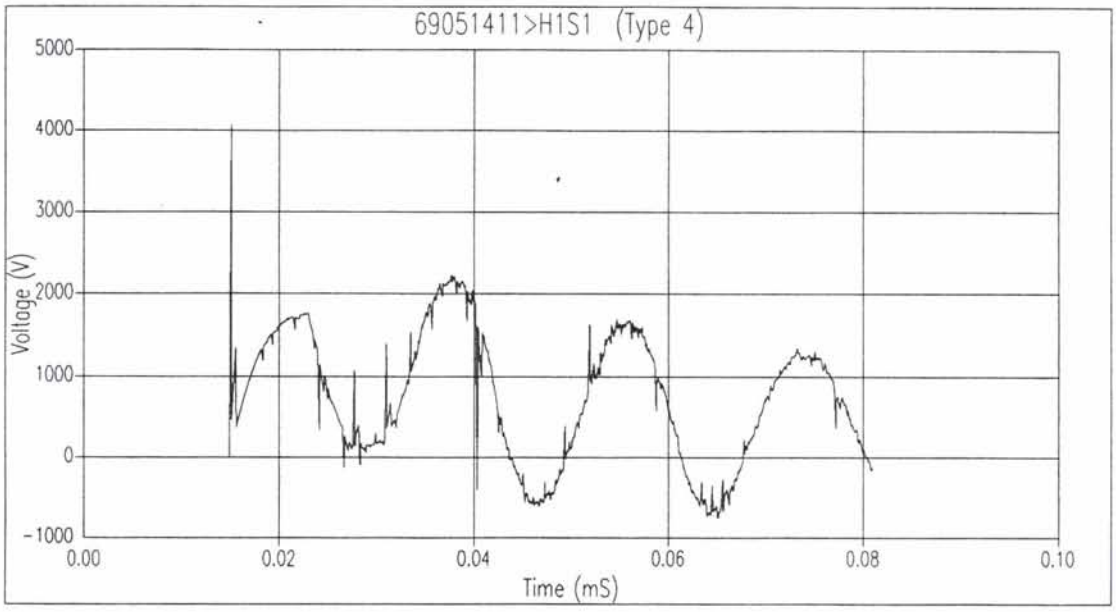
Figur 3.1.4 *(Enheter: Vertikalt 20 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom togskinner og "sann" jord ved Vatnestraumen som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen på samme sted.



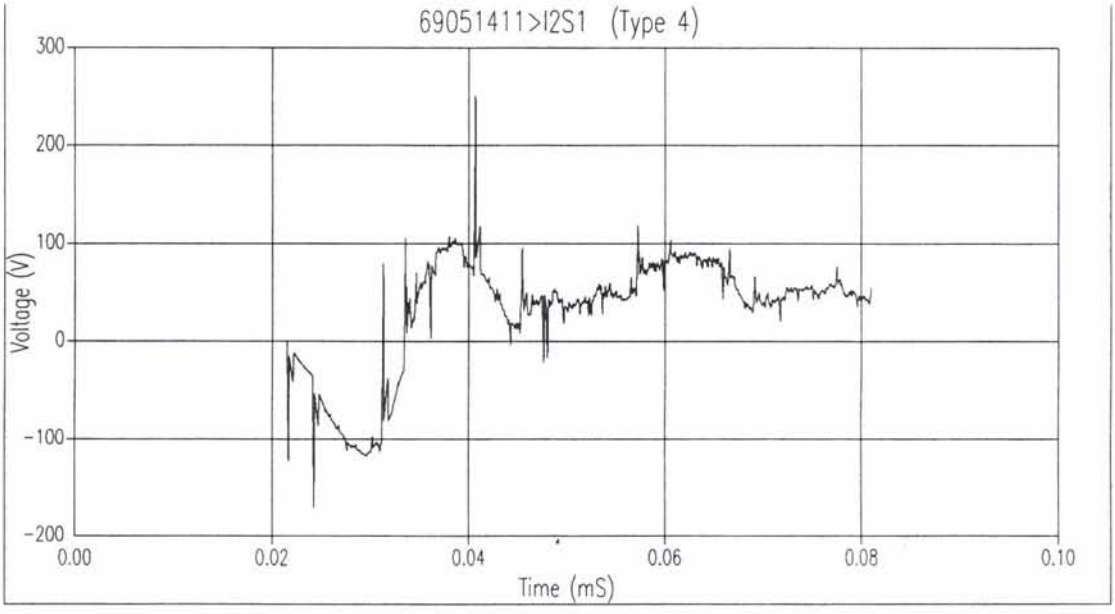
Figur 3.1.5 *(Enheter: Vertikalt 20 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom togskinner og "sann" jord ved sugetrafo S72 som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen på Vatnestraumen.



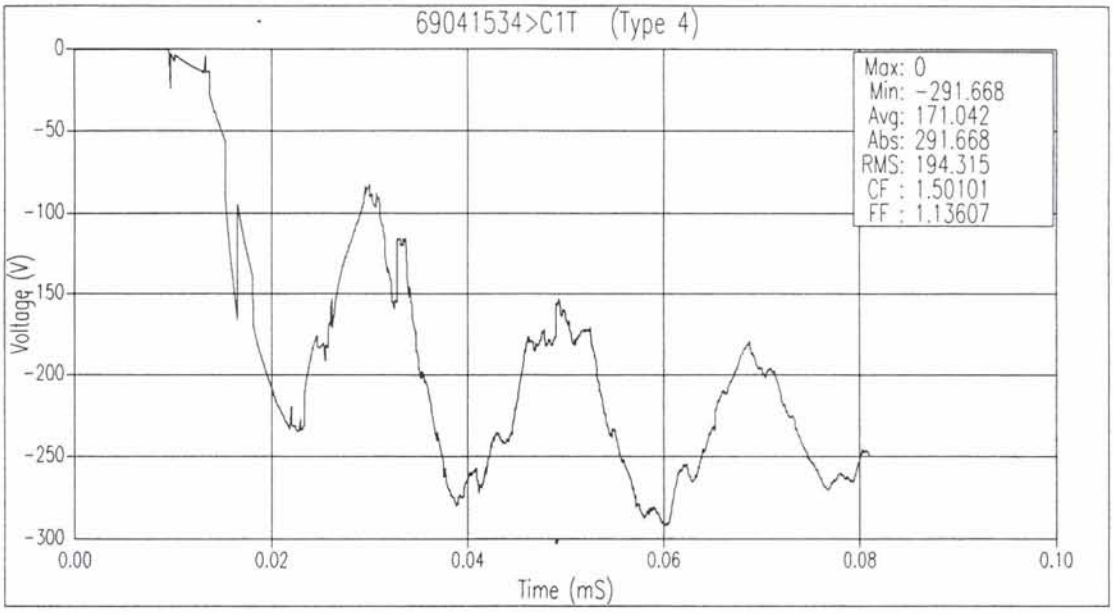
Figur 3.1.6 *(Enheter: Vertikalt 2 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom togskinner og "sann" jord ved kiosk 258c som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen på Vatnestraumen.



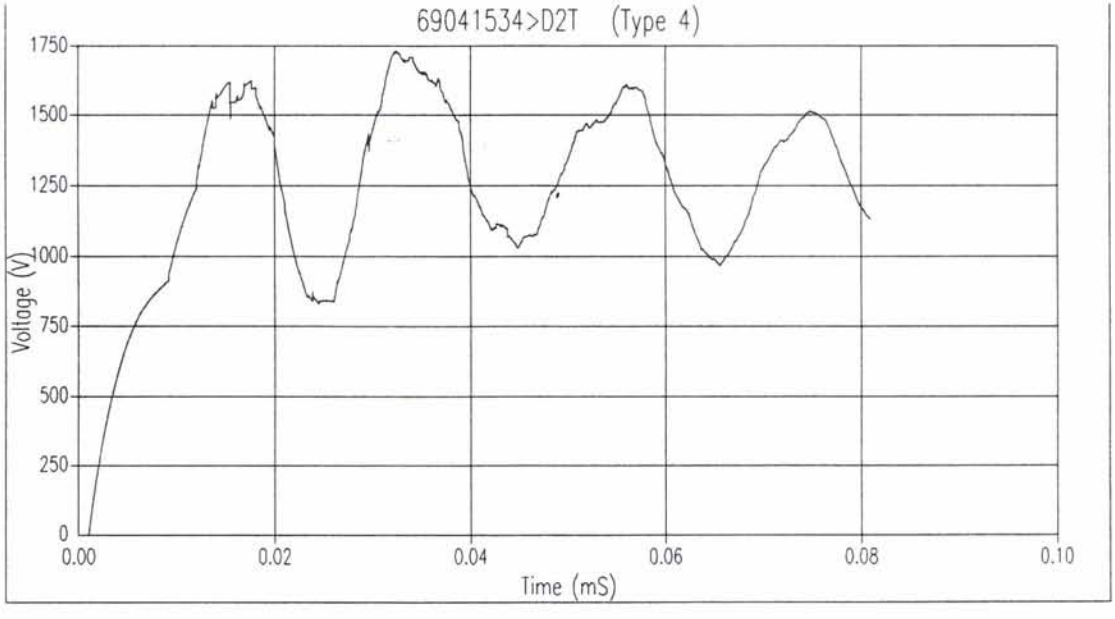
Figur 3.1.7 *(Enheter: Vertikalt 1 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom togskinner og "sann" jord ved sugetrafo S73 som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen på Vatnestraumen.



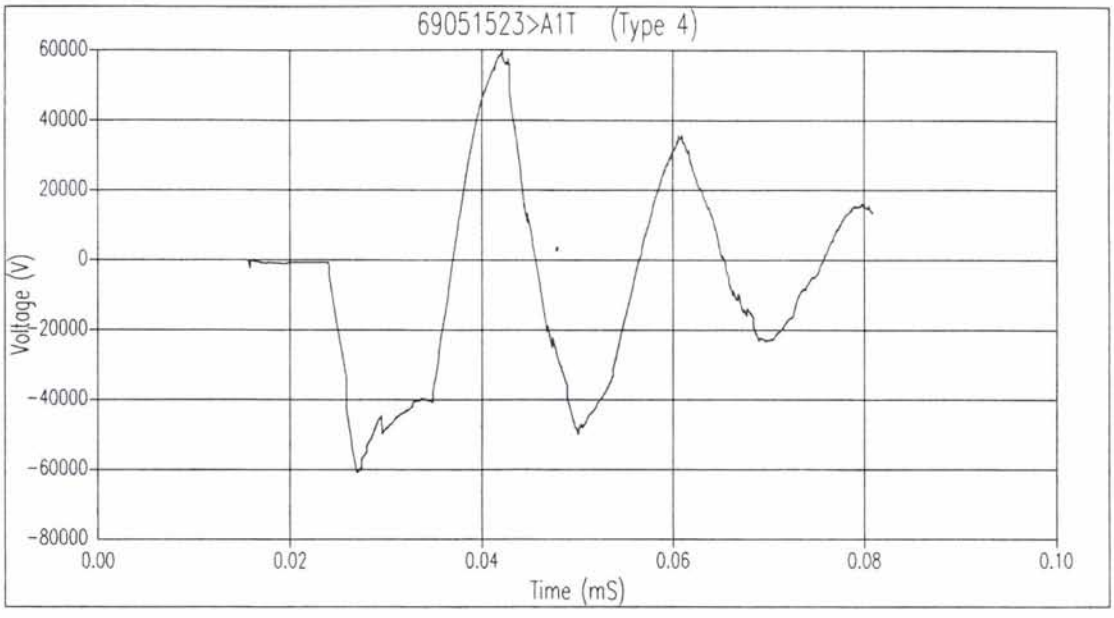
Figur 3.1.8 *(Enheter: Vertikalt 100 volt / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom togskinner og "sann" jord ved Kvarehei blokkpost som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen på Vatnestraumen.



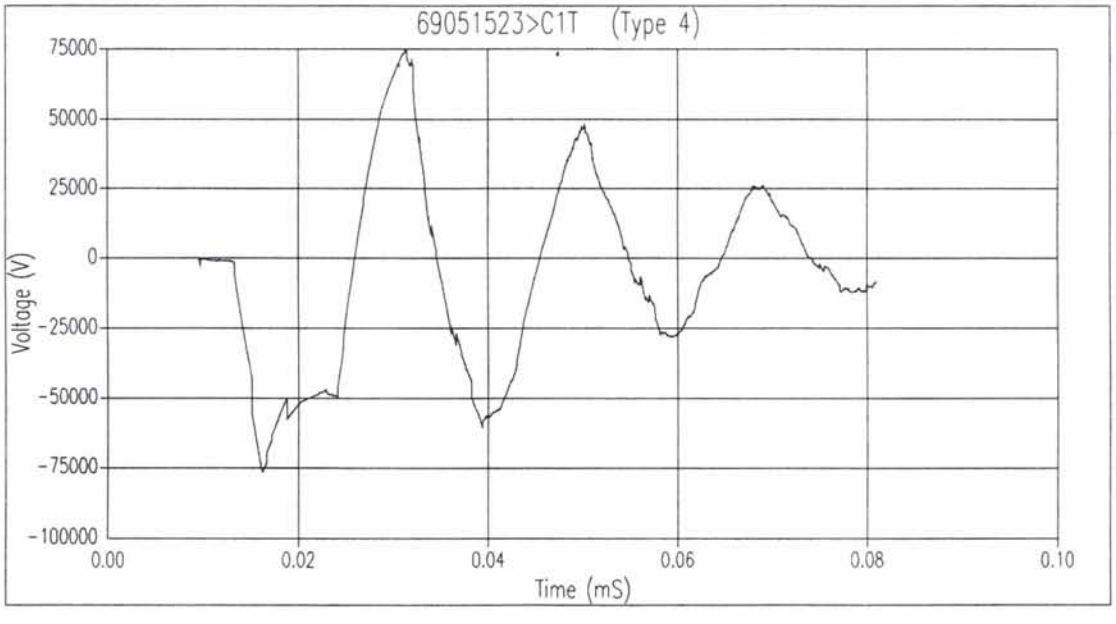
Figur 3.1.9 *(Enheter: Vertikalt 50 volt / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom telekabel og "sann" jord 1760 meter sør for Oggevatn som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen på Vatnestraumen.



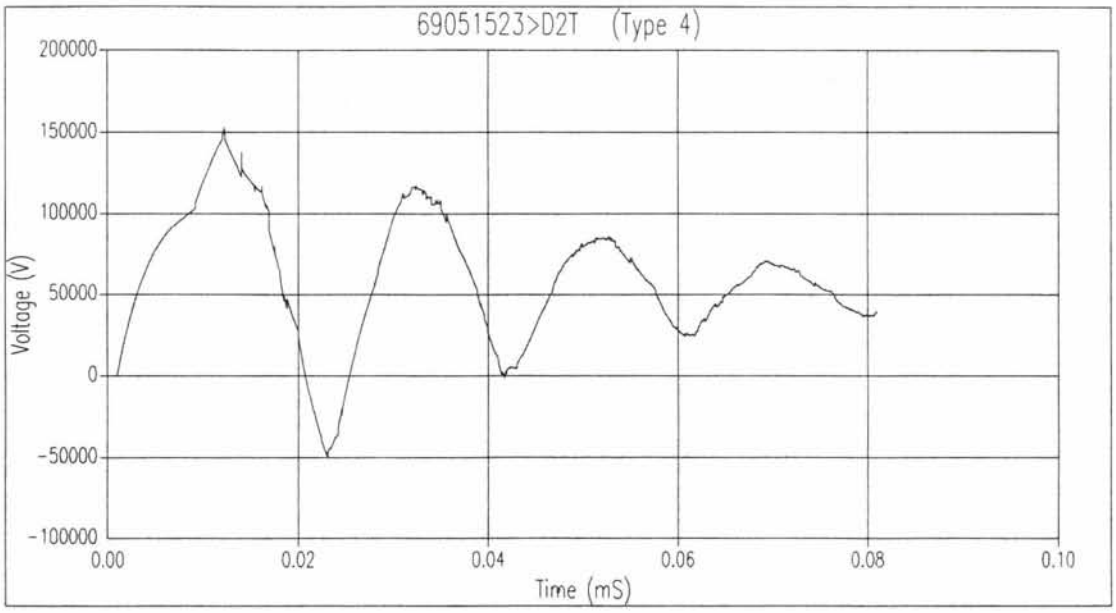
Figur 3.1.10 *(Enheter: Vertikalt 250 volt / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom telekabel og "sann" jord ved Vatnestraumen som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen på det samme sted.



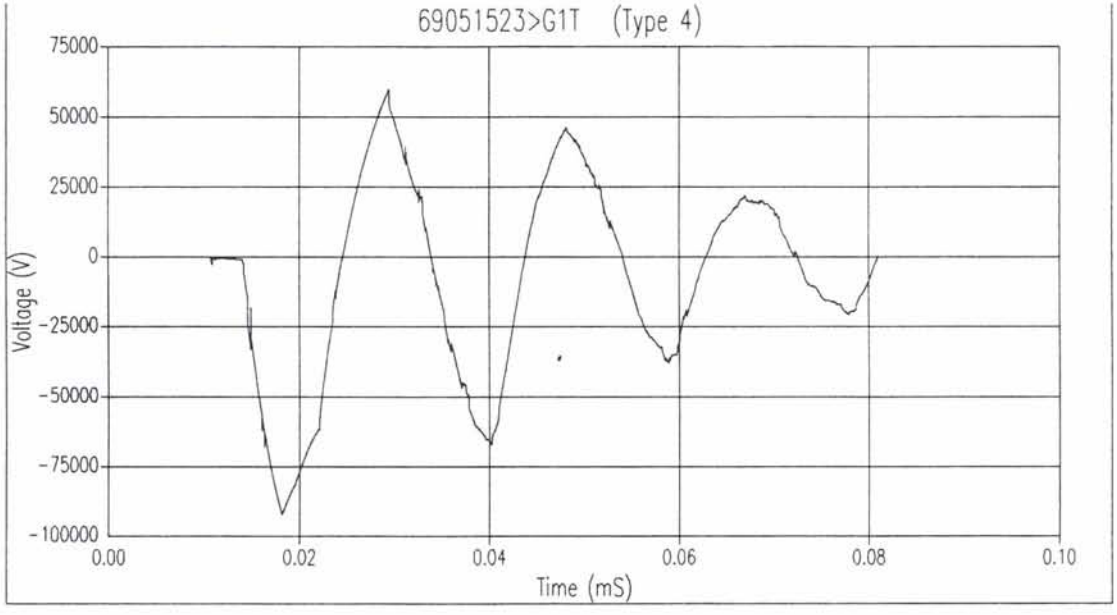
Figur 3.1.11 *(Enheter: Vertikalt 20 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom signalkabel og "sann" jord ved Oggevatn som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen på Vatnestraumen.



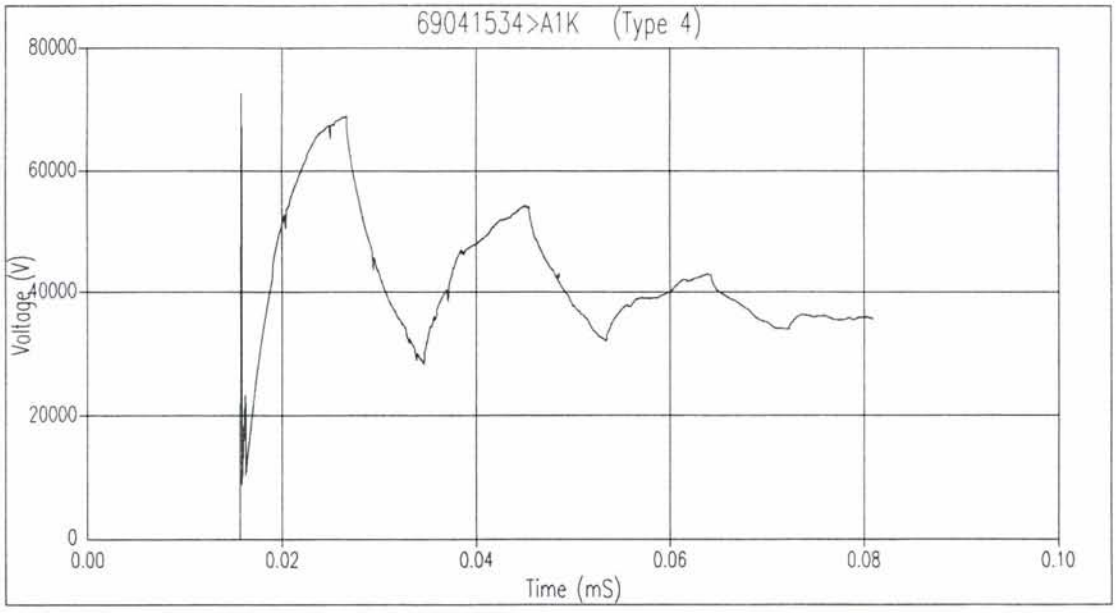
Figur 3.1.12 *(Enheter: Vertikalt 25 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom signalkabel og "sann" jord 1760 meter sør for Oggevatn som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen på Vatnestraumen.



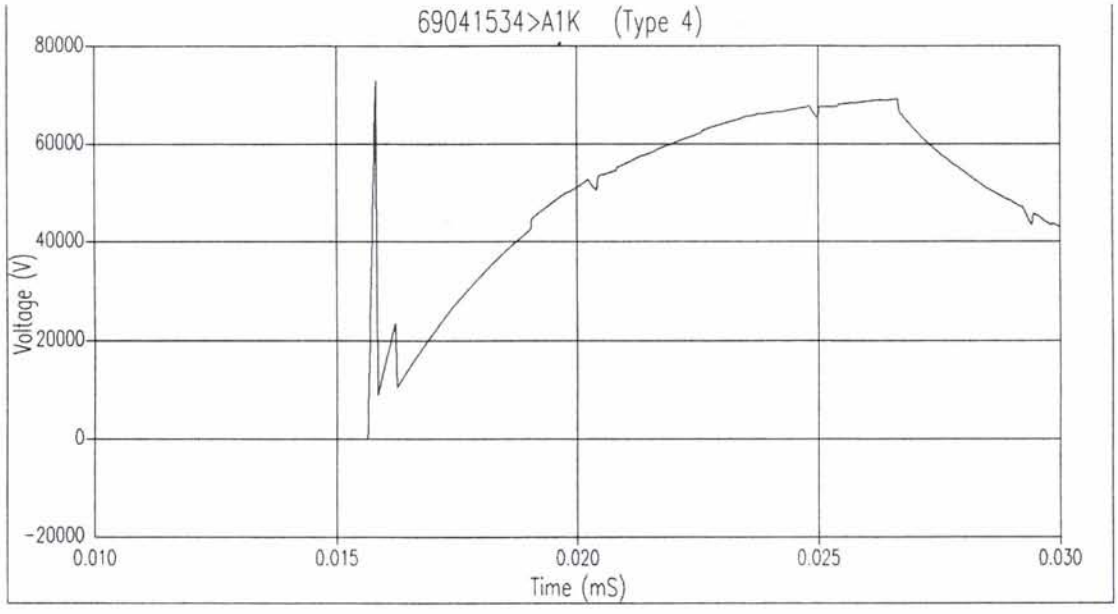
Figur 3.1.13 *(Enheter: Vertikalt 50 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom signalkabel og "sann" jord på Vatnestraumen som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen på samme sted.



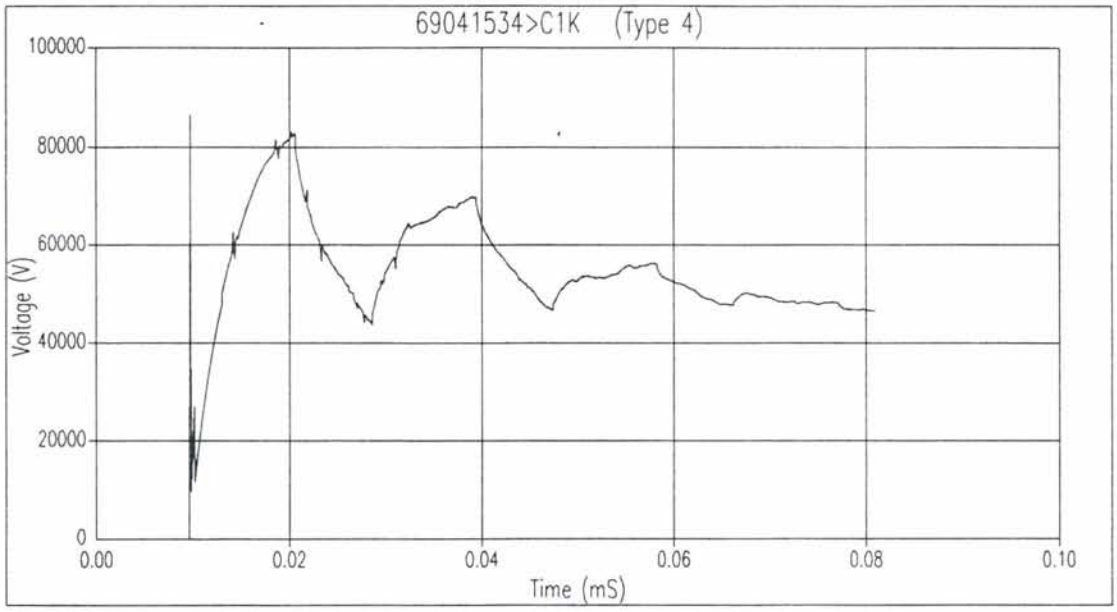
Figur 3.1.14 *(Enheter: Vertikalt 25 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom signalkabel og "sann" jord ved kiosk 258c som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen på Vatnestraumen.



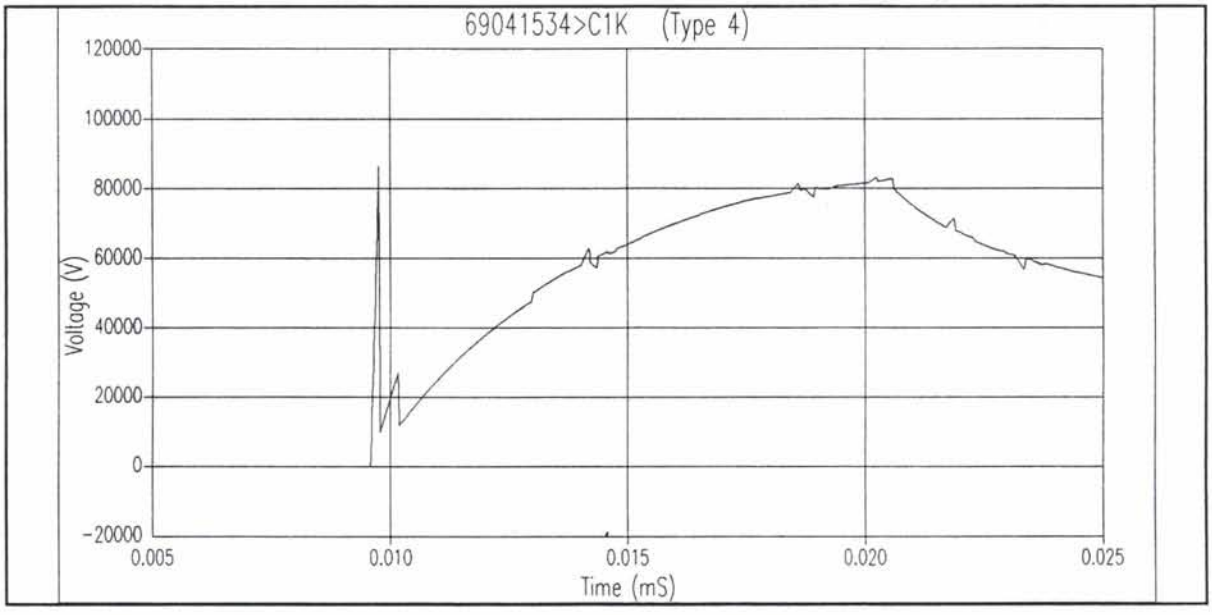
Figur 3.1.15 *(Enheter: Vertikalt 20 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom kontaktledning og "sann" jord ved Oggevatn som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen på Vatnestraumen.



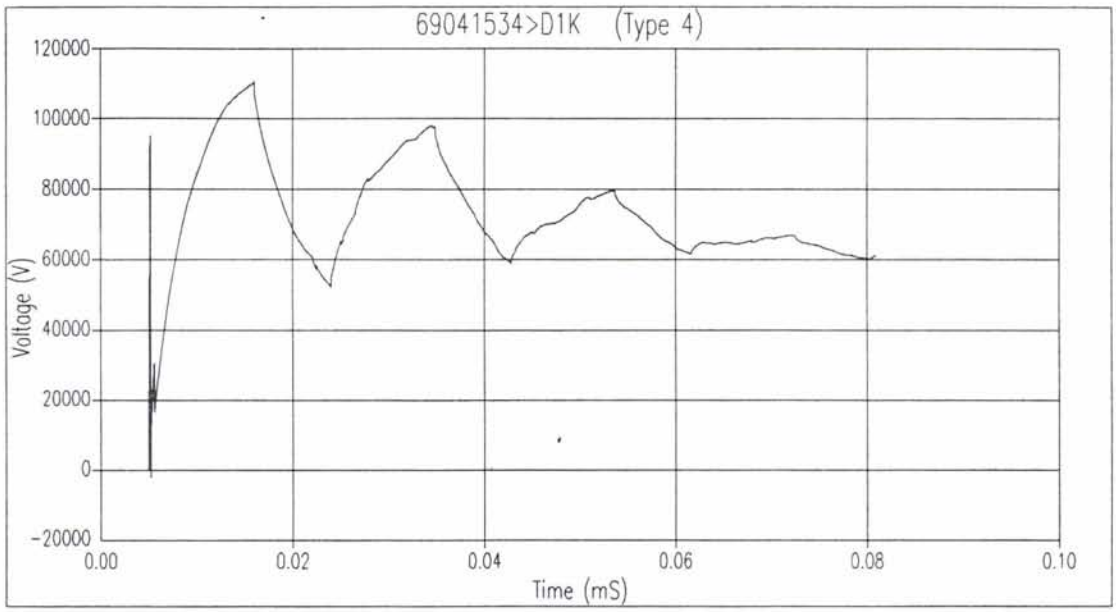
Figur 3.1.15B *(Enheter: Vertikalt 20 kV / rute, Horisontalt 5 µs / rute).*
Samme overspenningsforløp som vist i figur 3.1.15 ovenfor, men i tidsintervallet 10 µs - 30 µs.



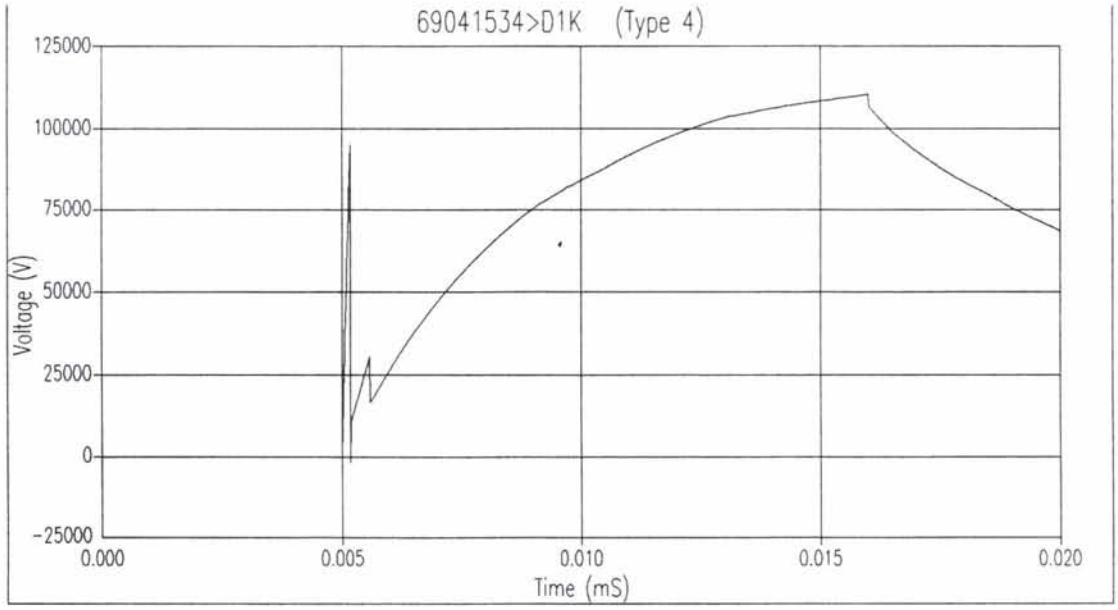
Figur 3.1.16 *(Enheter: Vertikalt 20 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom kontaktledning og "sann" jord 1760 meter sør for Oggevatn som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen på Vatnestraumen.



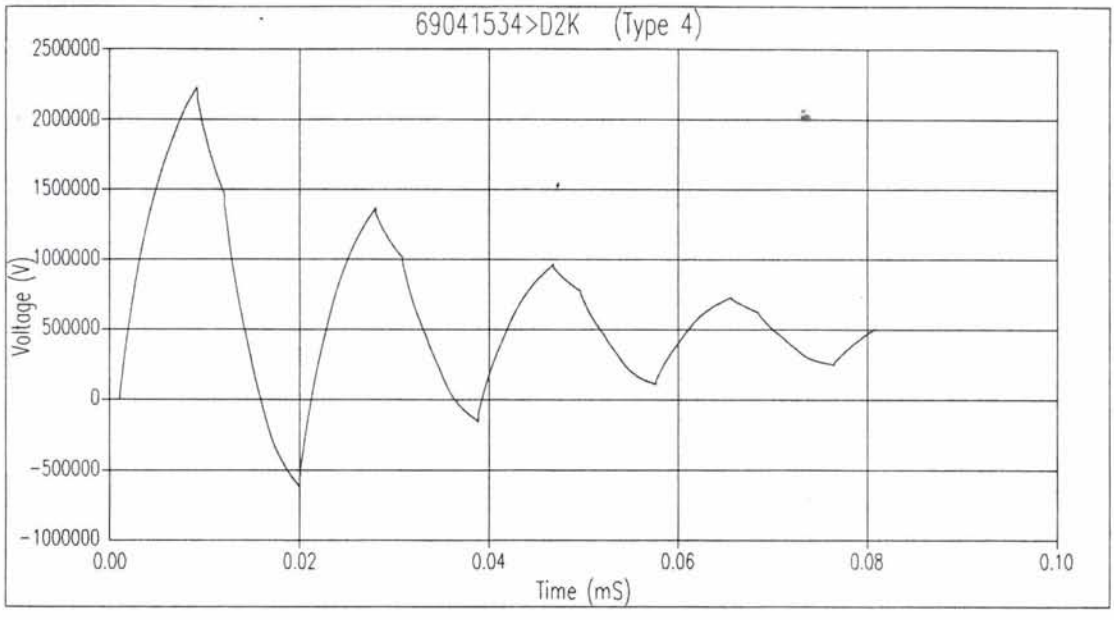
Figur 3.1.16B *(Enheter: Vertikalt 20 kV / rute, Horisontalt 5 µs / rute).*
Samme overspenningsforløp som vist i figur 3.1.16 ovenfor, men i tidsintervallet 5 µs - 25 µs.



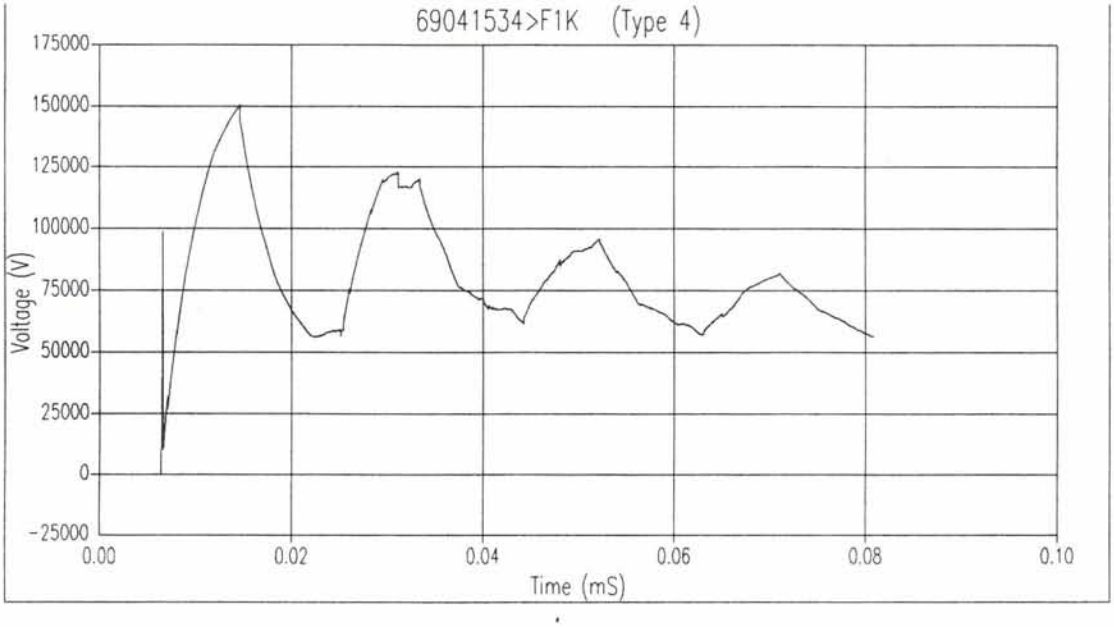
Figur 3.1.17 *(Enheter: Vertikalt 20 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom kontaktledning og "sann" jord ved sugetrafo S71 som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen på Vatnestraumen.



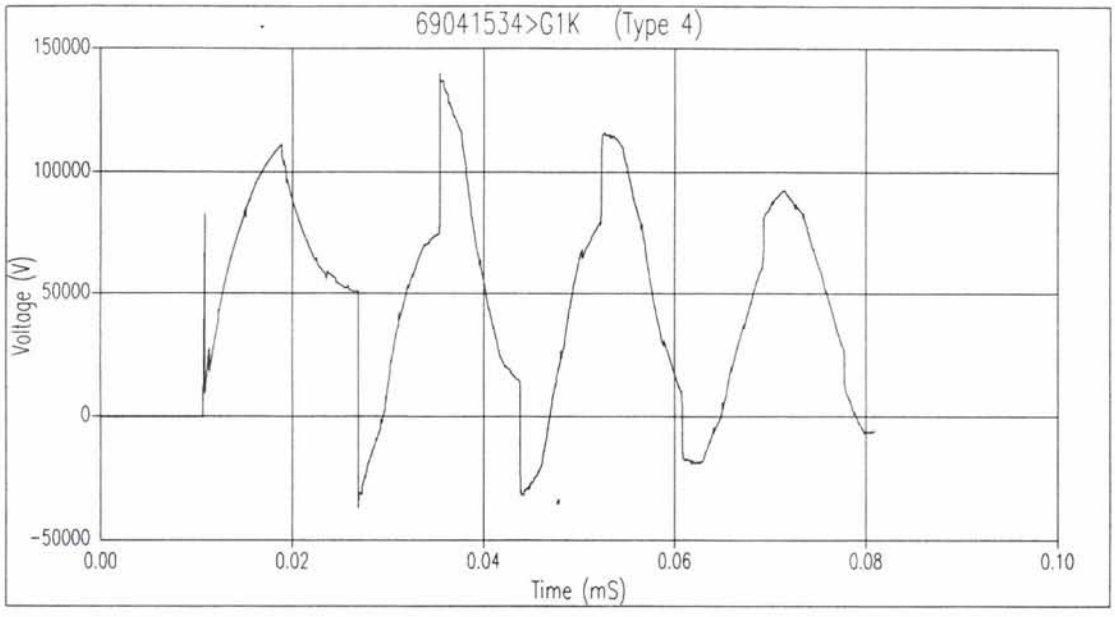
Figur 3.1.17B *(Enheter: Vertikalt 25 kV / rute, Horisontalt 5 µs / rute).*
Samme overspenningsforløp som vist i figur 3.1.17 ovenfor, men i tidsintervallet 0 µs - 20 µs.



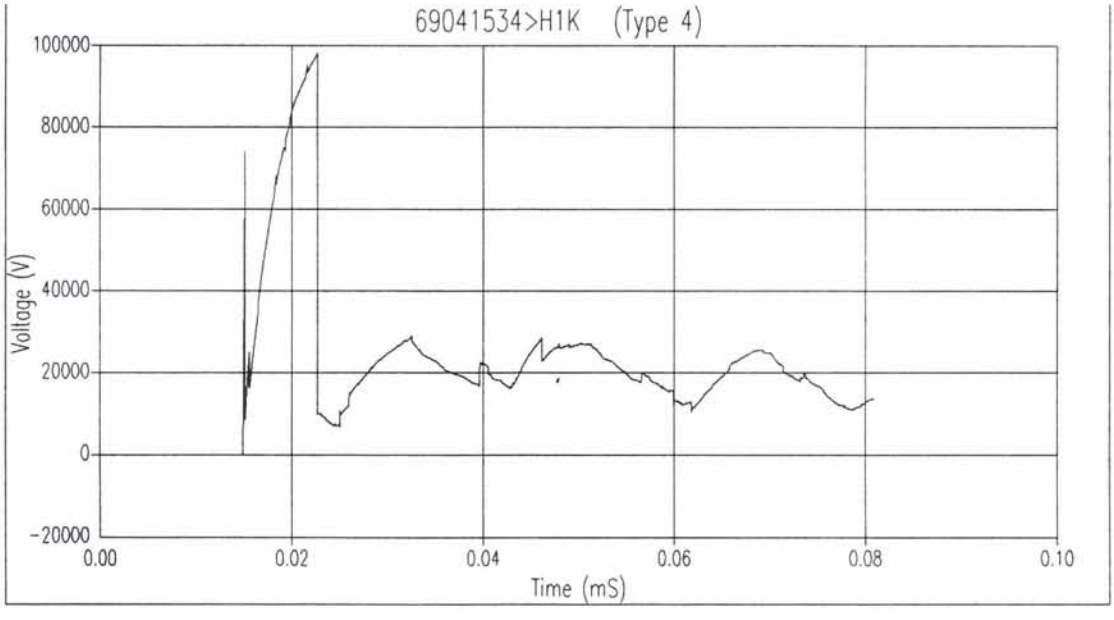
Figur 3.1.18 *(Enheter: Vertikalt 500 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom kontaktledning og "sann" jord ved Vatnestraumen som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen på samme sted.



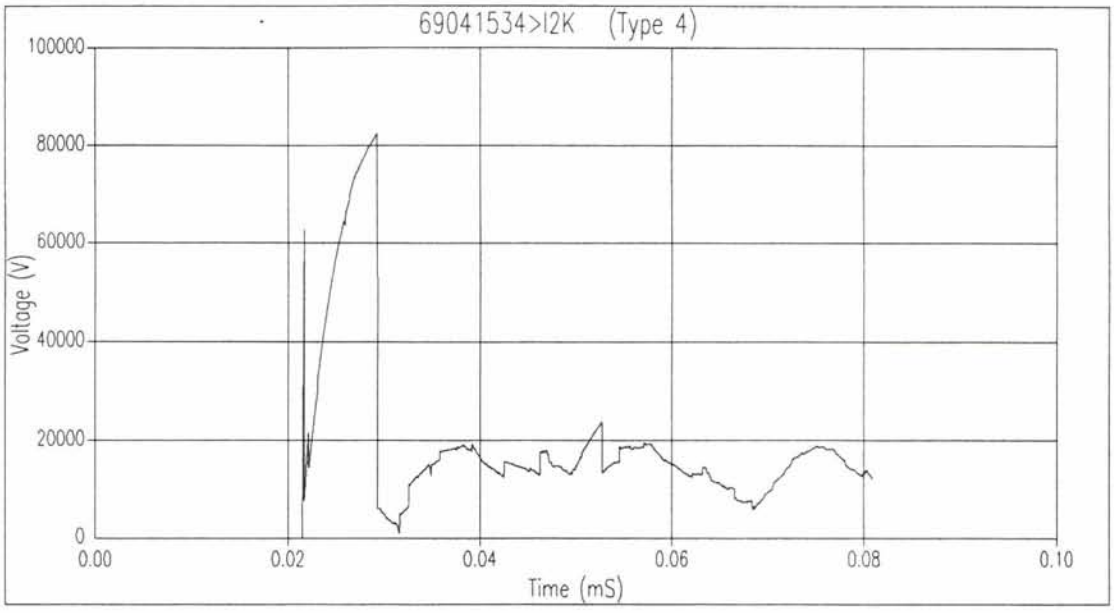
Figur 3.1.19 *(Enheter: Vertikalt 25 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom kontaktledning og "sann" jord ved sugetrafo S72 som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen på Vatnestraumen.



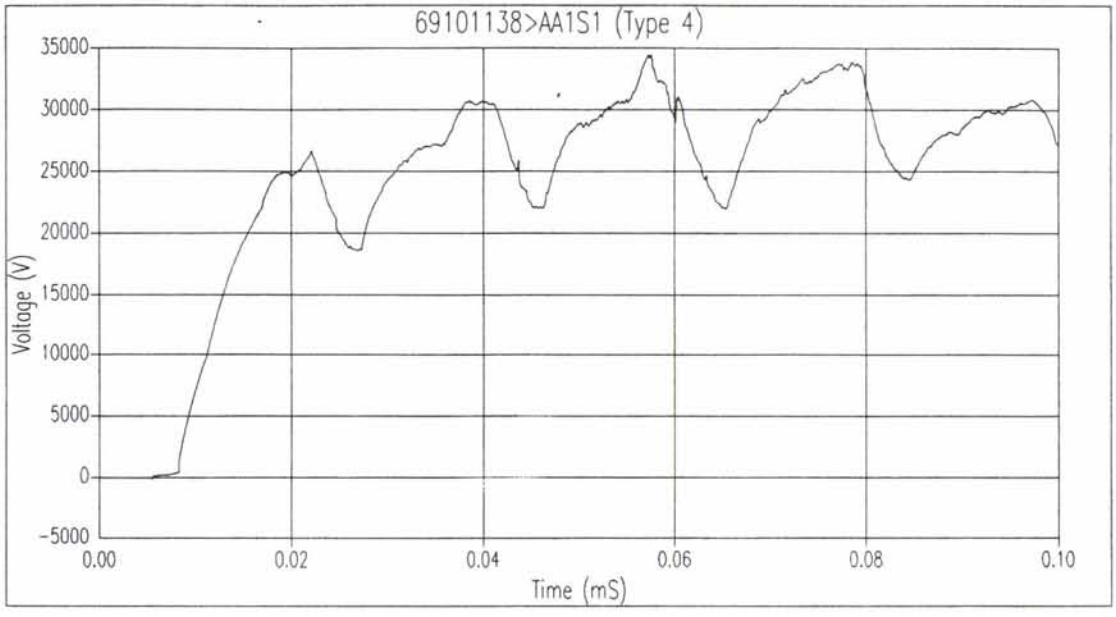
Figur 3.1.20 *(Enheter: Vertikalt 50 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom kontaktledning og "sann" jord ved kiosk 258c som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen på Vatnestraumen.



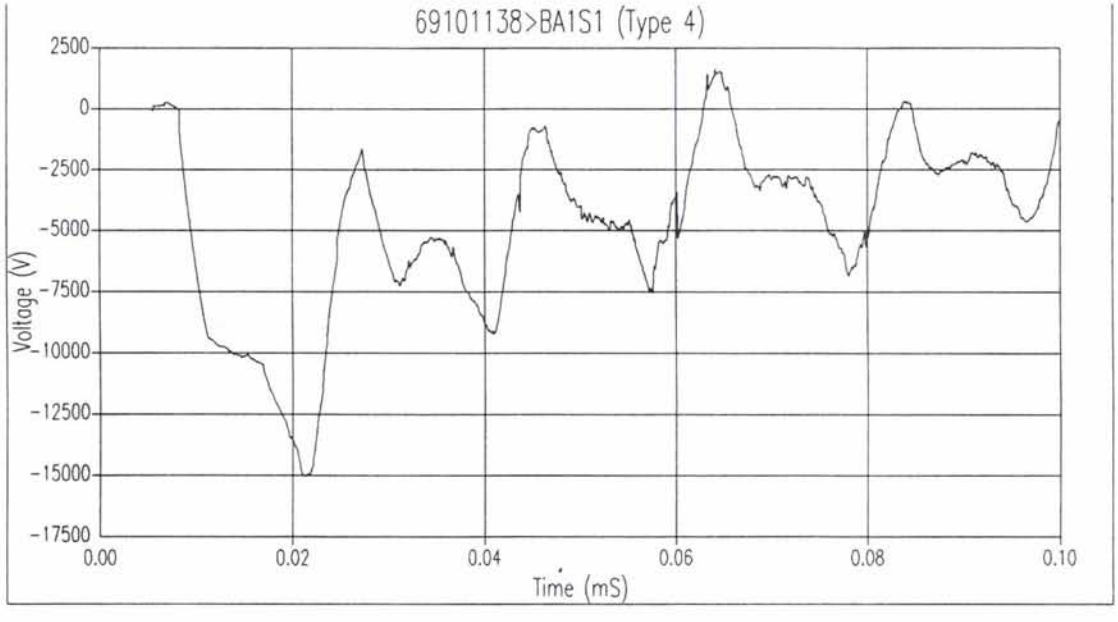
Figur 3.1.21 *(Enheter: Vertikalt 20 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom kontaktledning og "sann" jord ved sugetrafo S73 som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen på Vatnestraumen.



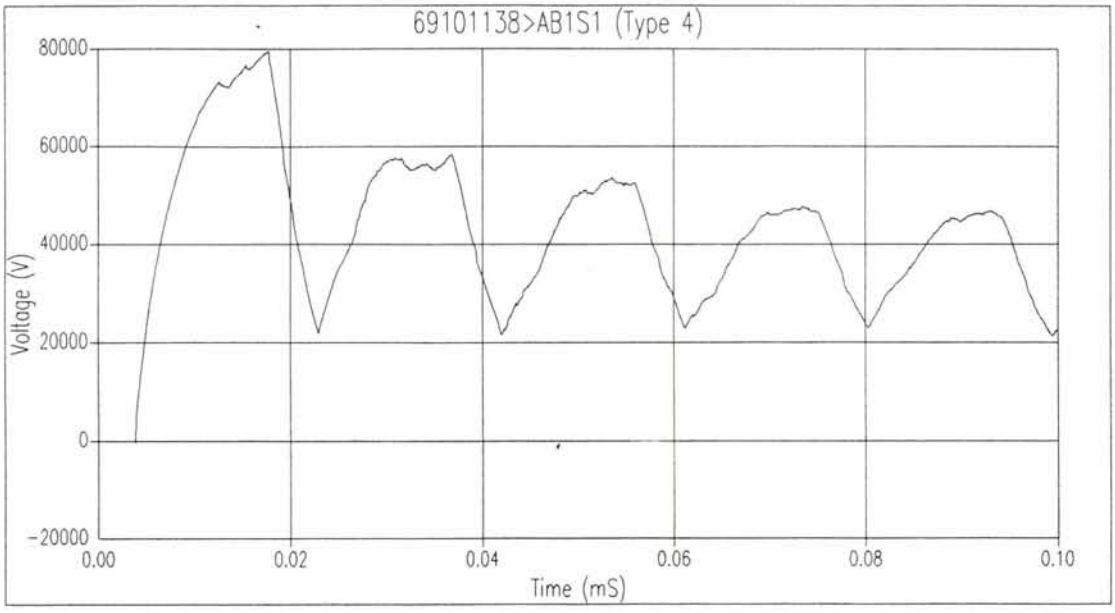
Figur 3.1.22 *(Enheter: Vertikalt 20 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom kontaktledning og "sann" jord ved Kvarehei Blokkpost som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen på Vatnestraumen.



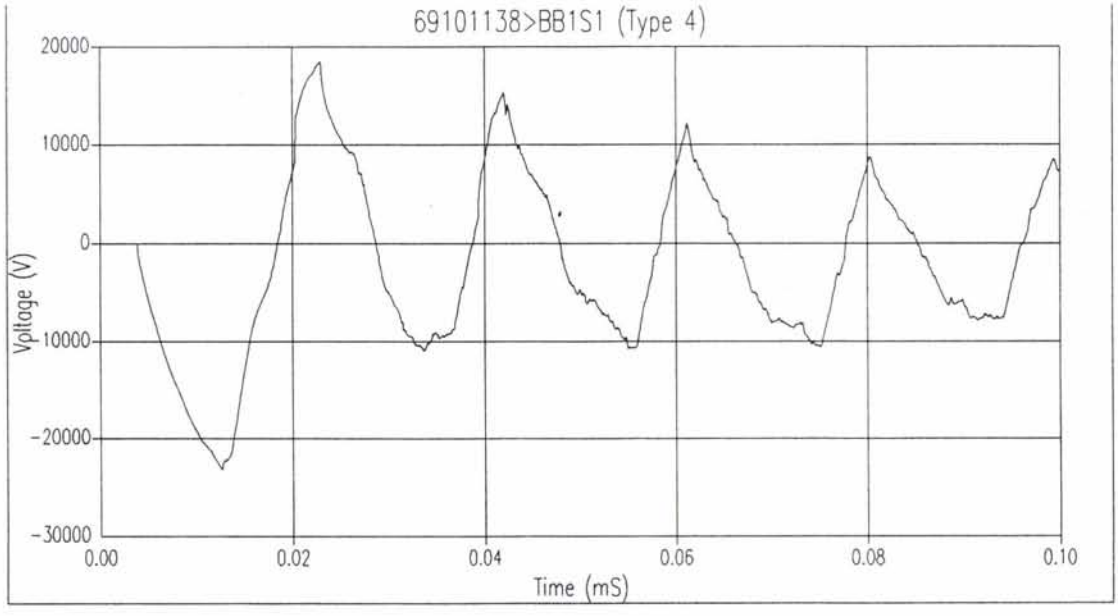
Figur 3.2.1 *(Enheter: Vertikalt 5 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom togskinner (spor A) og "sann" jord, ved Brakerøya som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen for spor A ved AS 464, jfr. figur 2.2.



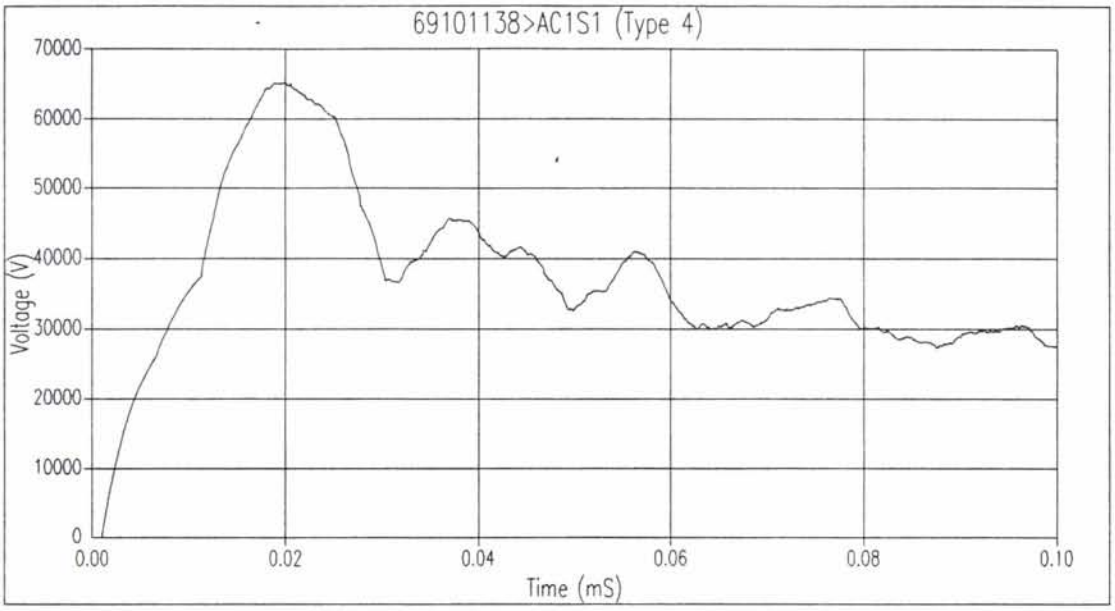
Figur 3.2.2 *(Enheter: Vertikalt 2.5 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom togskinner (spor B) og "sann" jord, ved Brakerøya som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen for spor A ved AS 464, jfr. figur 2.2.



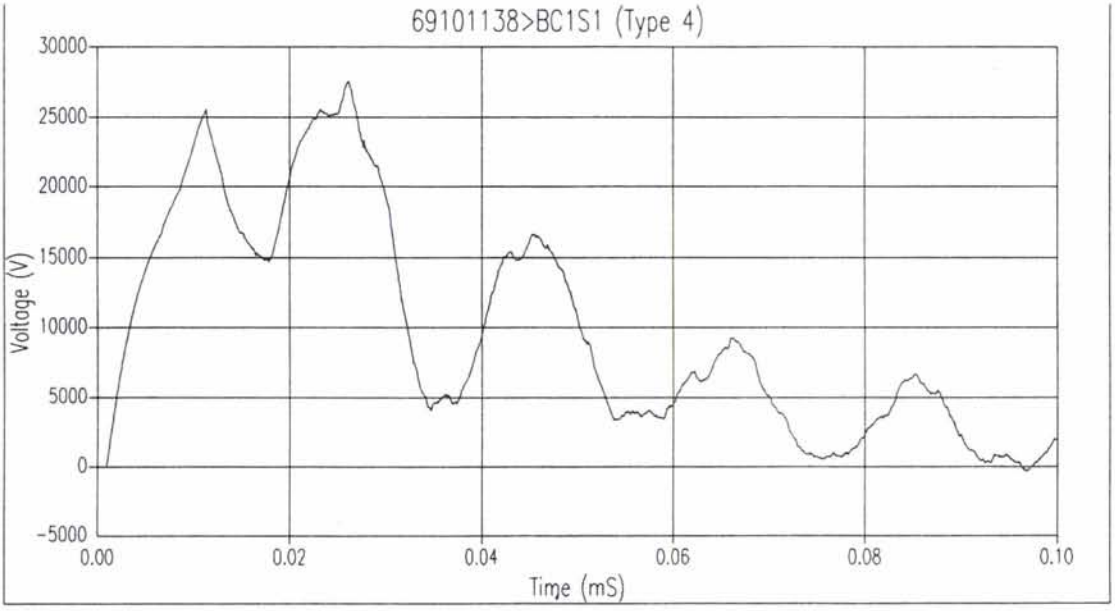
Figur 3.2.3 *(Enheter: Vertikalt 20 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom togskinner (spor A) og "sann" jord ved Sugetrafo S29 som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen for spor A ved AS 464, jfr. figur 2.2.



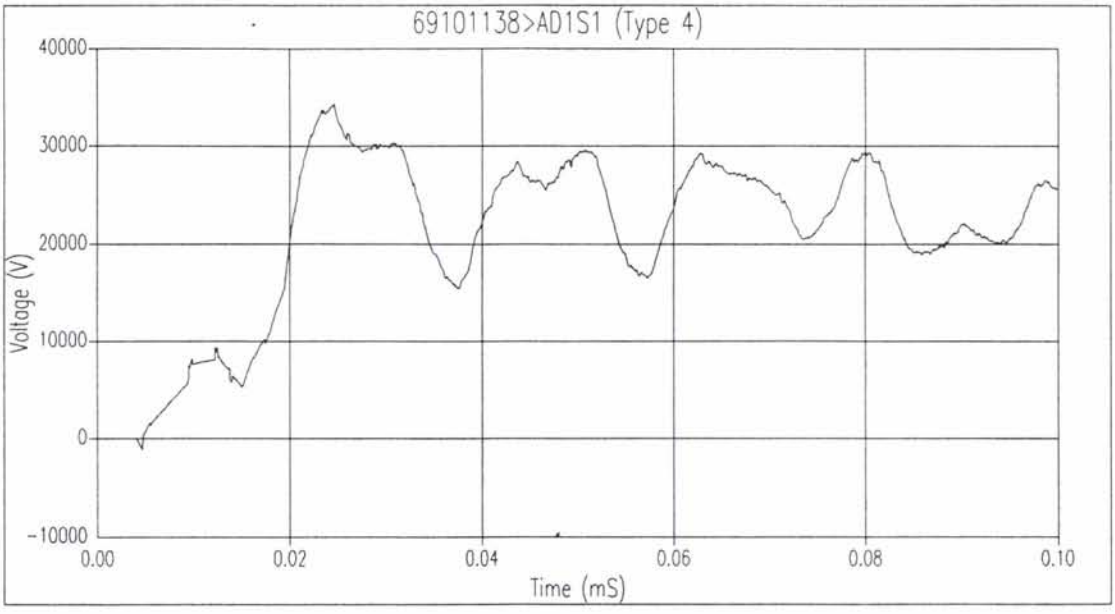
Figur 3.2.4 *(Enheter: Vertikalt 10 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom togskinner (spor B) og "sann" jord ved Sugetrafo S30 som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen for spor A ved AS 464, jfr. figur 2.2.



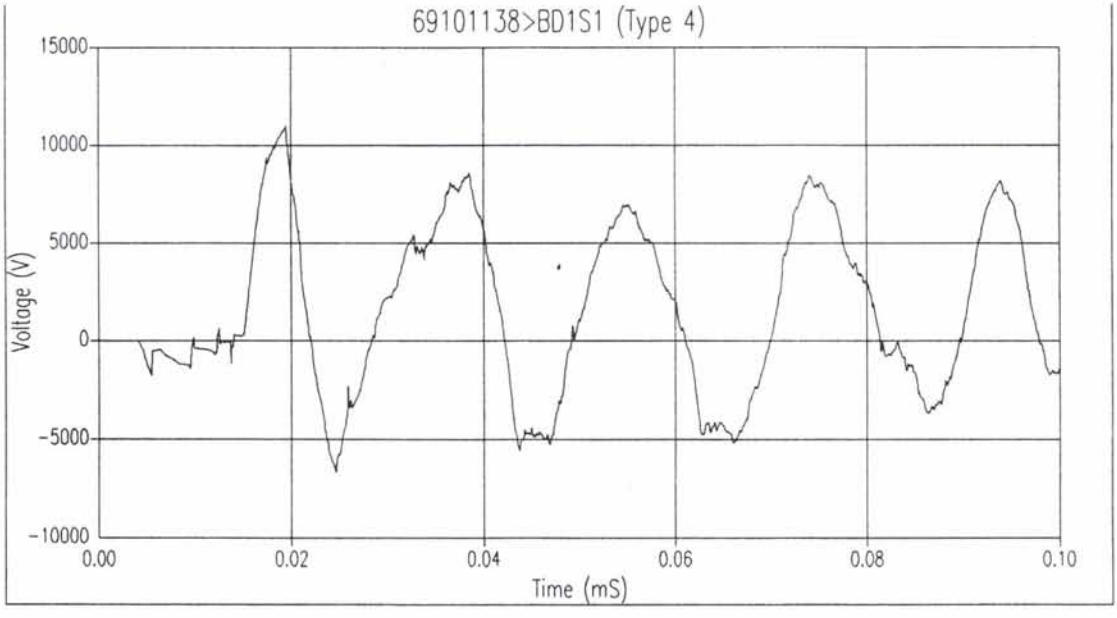
Figur 3.2.5 *(Enheter: Vertikalt 10 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom togskinner (spor A) og "sann" jord ved AS 464 som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen for spor A på samme sted, jfr. figur 2.2.



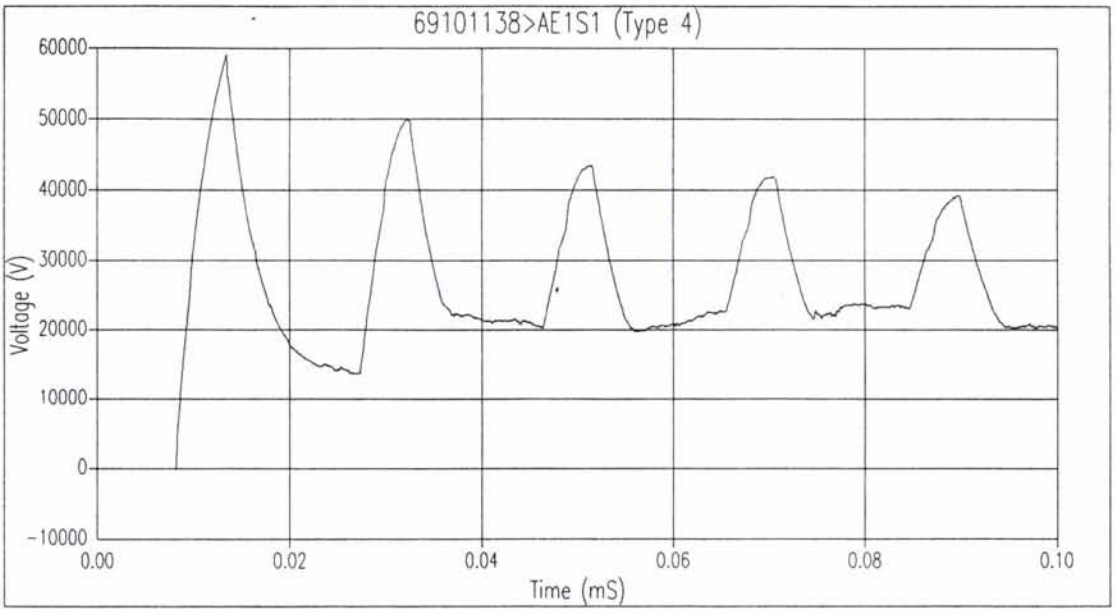
Figur 3.2.6 *(Enheter: Vertikalt 5 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom togskinner (spor B) og "sann" jord ved AS 464 som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen for spor A på samme sted, jfr. figur 2.2.



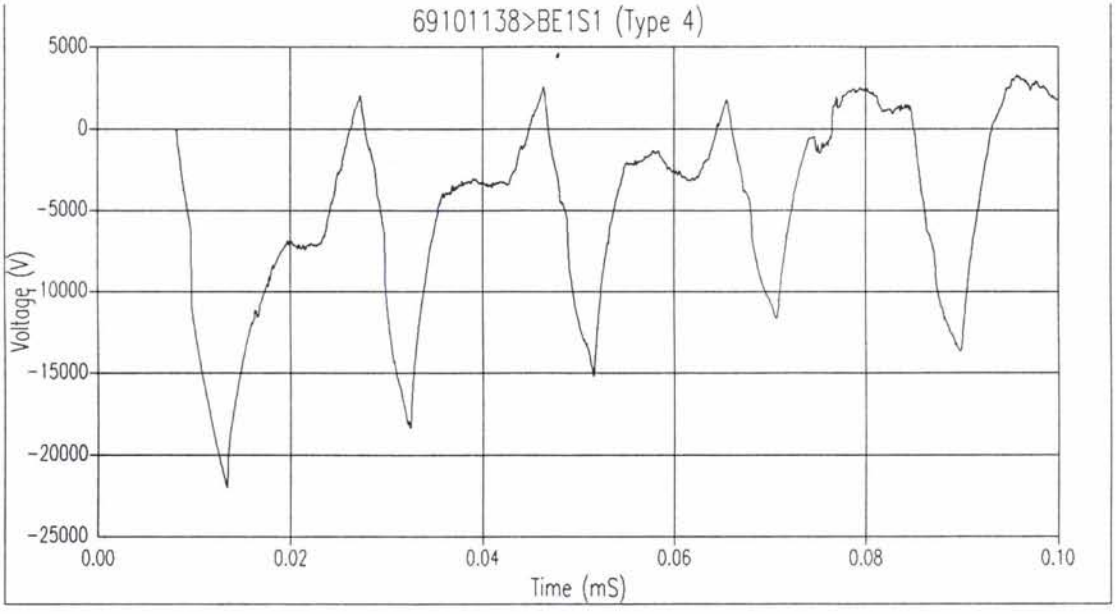
Figur 3.2.7 *(Enheter: Vertikalt 10 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom togskinner (spor A) og "sann" jord ved Blokkpost Huseby som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen for spor A ved AS 464, jfr. figur 2.2.



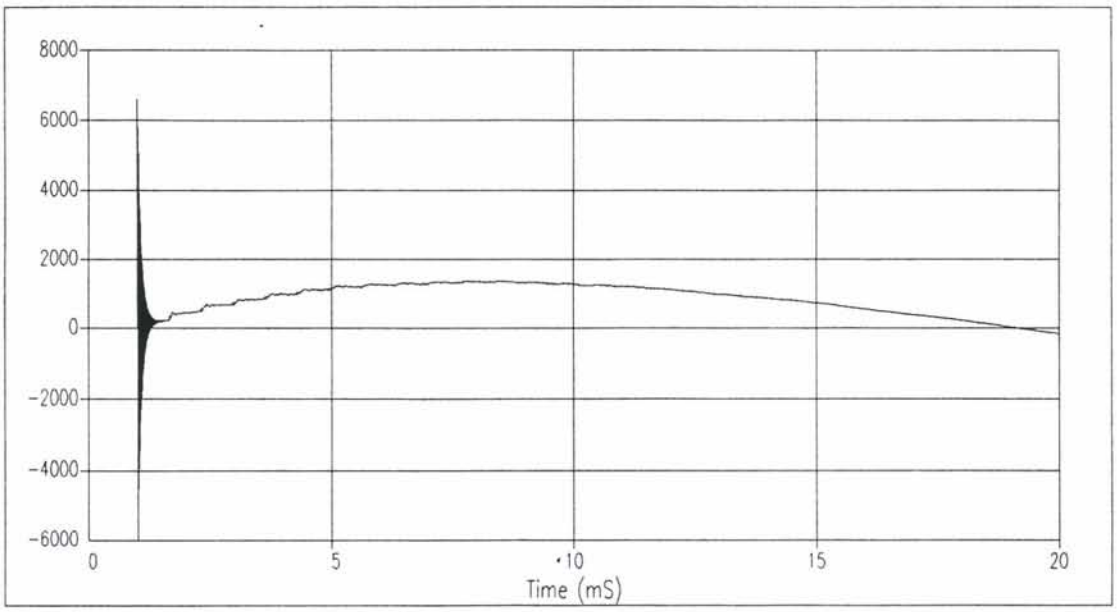
Figur 3.2.8 *(Enheter: Vertikalt 5 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom togskinner (spor B) og "sann" jord ved Blokkpost Huseby som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen for spor A ved AS 464, jfr. figur 2.2.



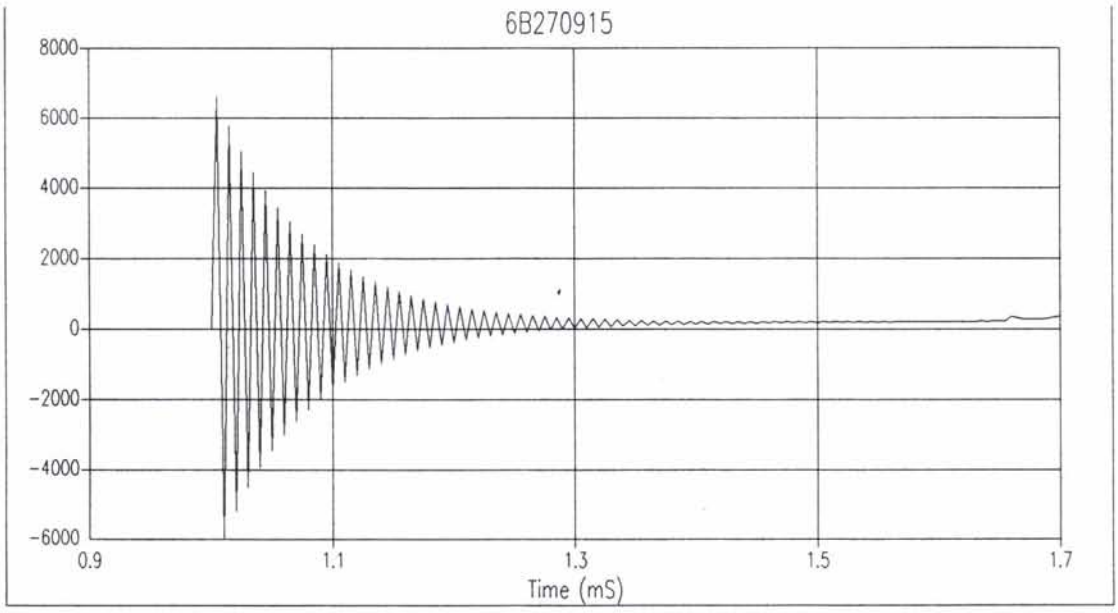
Figur 3.2.9 *(Enheter: Vertikalt 10 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom togskinner (spor A) og "sann" jord ved sugetrafo S27, som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen for spor A ved AS 464, jfr. figur 2.2.



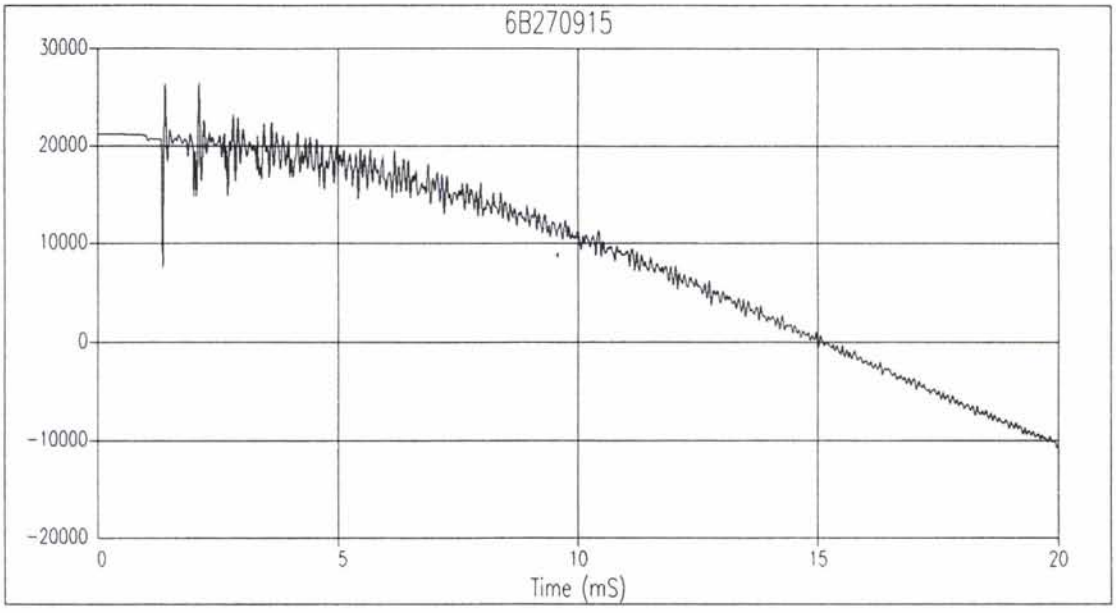
Figur 3.2.10 *(Enheter: Vertikalt 5 kV / rute, Horisontalt 20 µs / rute).*
Spenningsoppsving mellom togskinner (spor B) og "sann" jord ved sugetrafo S28), som følge av lynnedslag (10 kA - 14/250 µs) til kontaktledningen for spor A ved AS 464, jfr. figur 2.2.



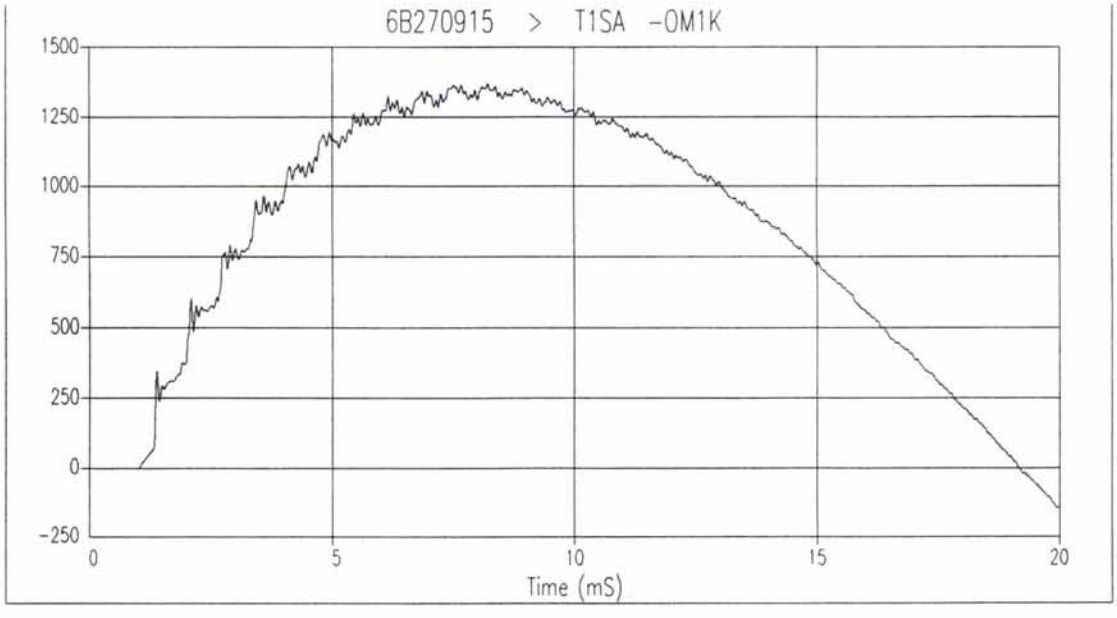
Figur 4.1 *(Enheter: Vertikalt 2 kA / rute, Horisontalt 5 ms / rute).*
Strømforløp ved sonegrensebryter på Vatnestraumen når et tog kjører fra en seksjon uten spenning og inn på en seksjon som er spenningssatt fra Krossen.
Innkobling etter 1 ms, tidsintervall 0 - 20 ms.



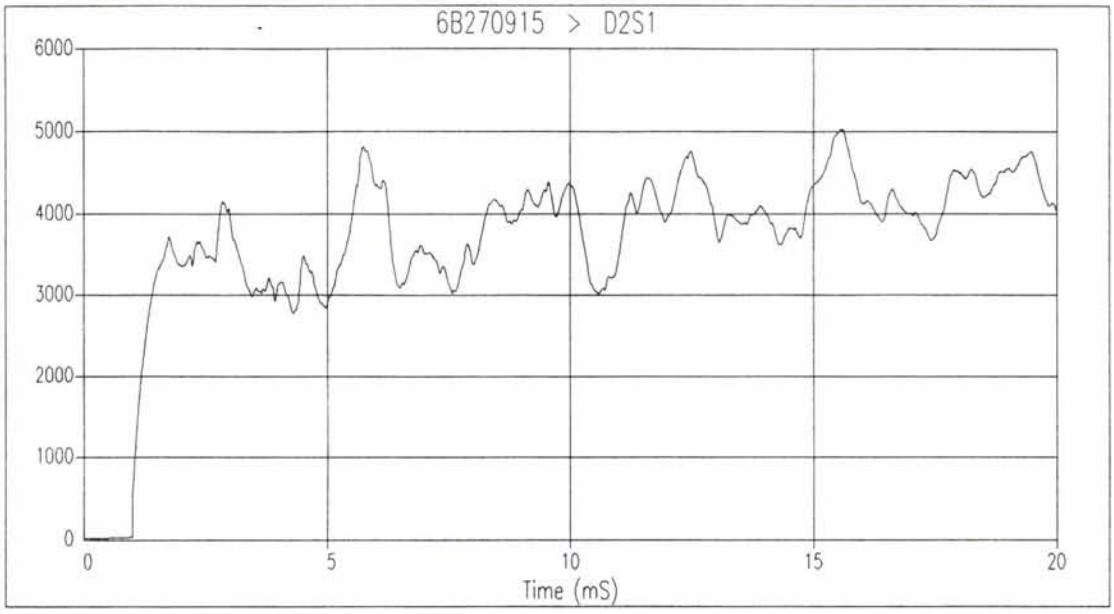
Figur 4.2 *(Enheter: Vertikalt 2 kA / rute, Horisontalt 0.2 ms / rute).*
Samme strømforløp som vist på figur 4.1 i tidsintervallet 0.9 ms - 1.7 ms.



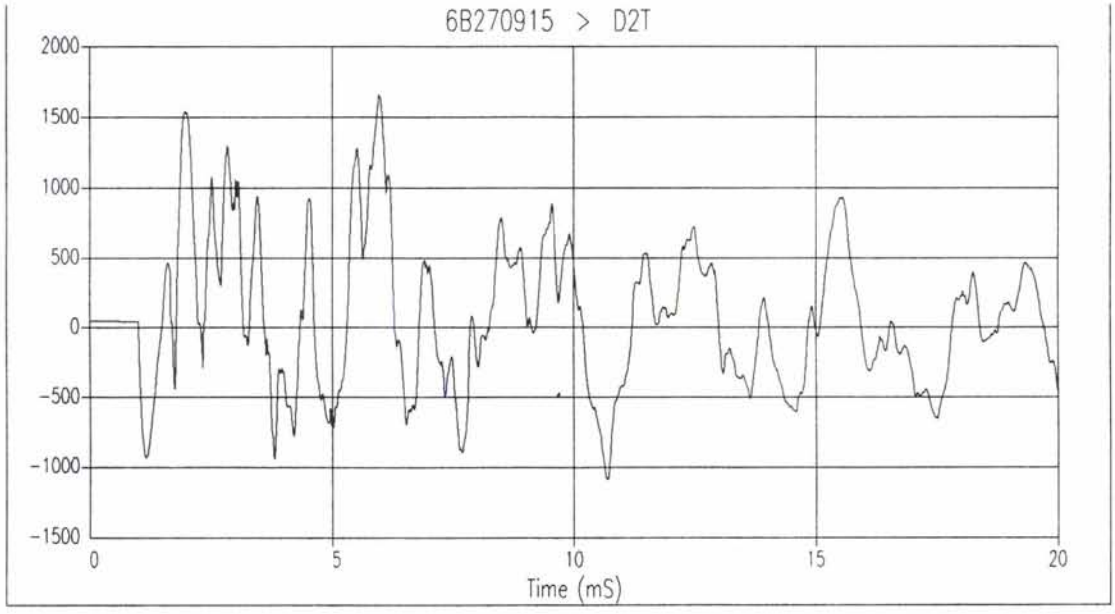
Figur 4.3 *(Enheter: Vertikalt 10 kV / rute, Horisontalt 5 ms / rute).*
Spenningsforløp mellom kontaktledning og skinner ved Krossen (0 - 20 ms). Samme situasjon som angitt i figur 4.1, dvs. ved sonegrensebryter på Vatnestraumen kjører et tog fra en seksjon uten spenning inn på en seksjon som er spenningssatt fra Krossen.



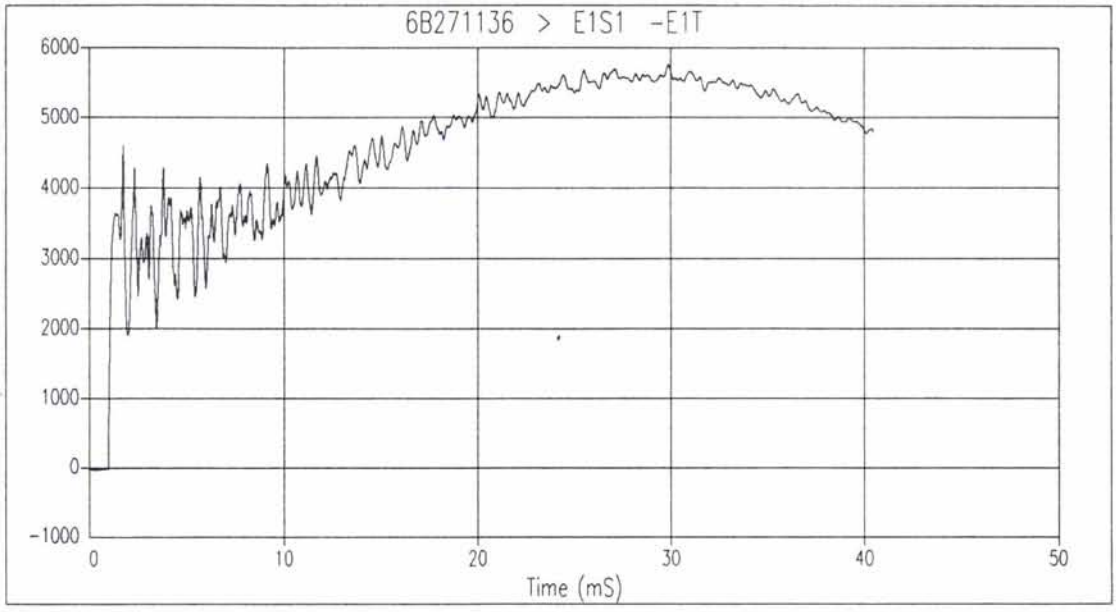
Figur 4.4 *(Enheter: Vertikalt 250 ampere / rute, Horisontalt 5 ms / rute).*
Strømuttak fra omformer ved Krossen (0 - 20 ms). Samme situasjon som angitt i figur 4.1, dvs. ved sonegrensebryter på Vatnestraumen, kjører et tog fra en seksjon uten spenning inn på en seksjon som er spenningssatt fra Krossen.



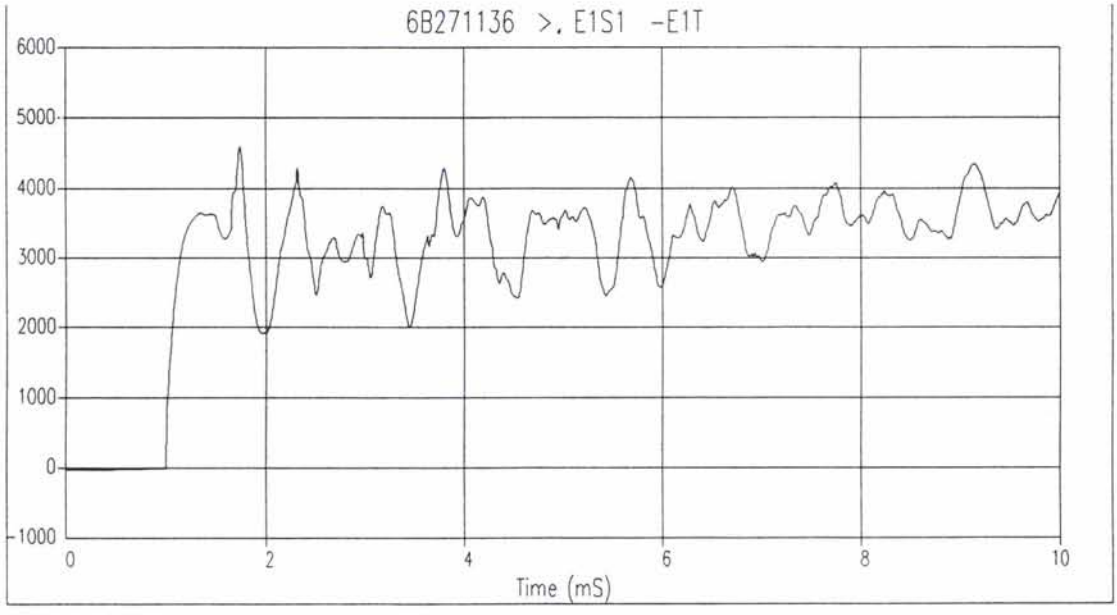
Figur 4.5 *(Enheter: Vertikalt 1 kV / rute, Horisontalt 5 ms / rute).*
Overspenningsoppsving mellom skinner og "sann" jord ved sonegrensebryter, Vatnestraumen. Samme situasjon som angitt i figur 4.1, dvs. ved sonegrensebryter på Vatnestraumen kjører et tog fra en seksjon uten spenning inn på en seksjon som er spenningssatt fra Krossen.



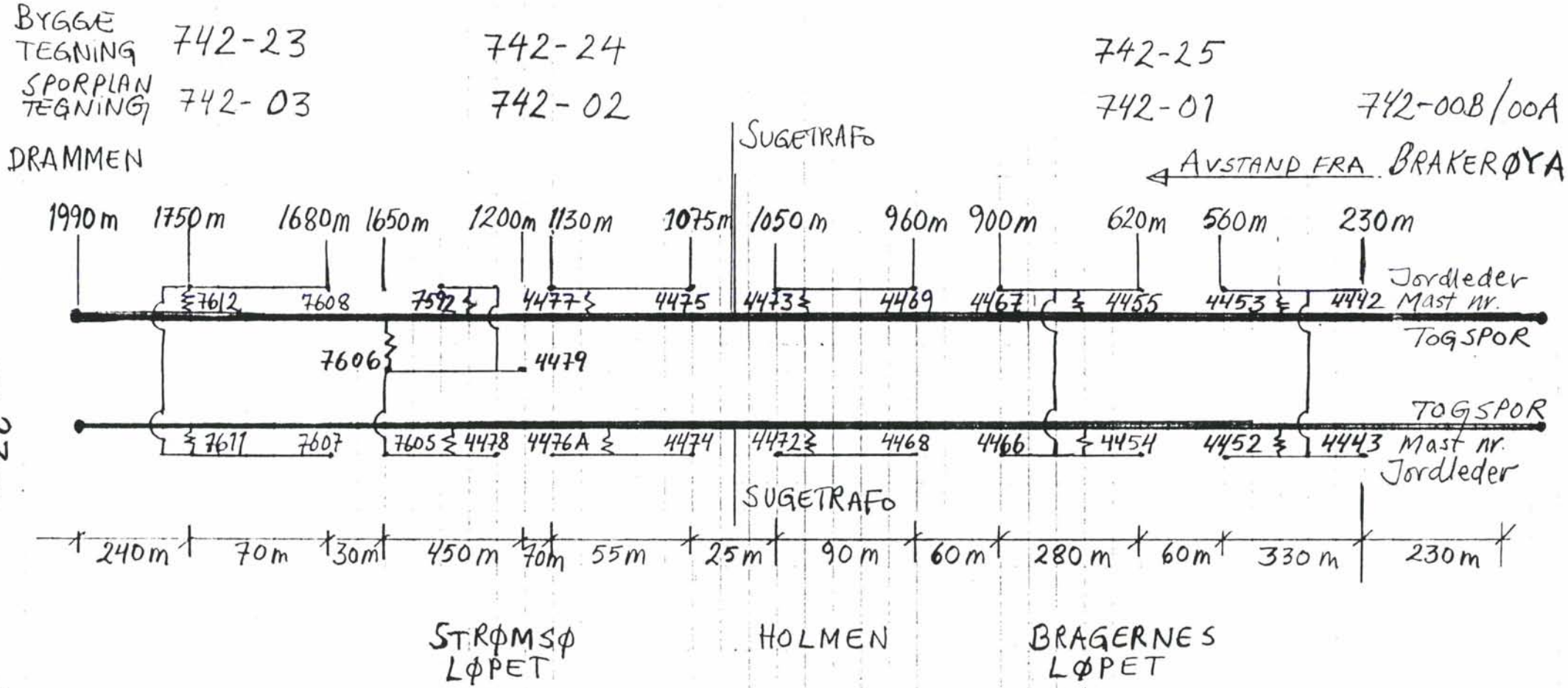
Figur 4.6 *(Enheter: Vertikalt 0.5 kV / rute, Horisontalt 5 ms / rute).*
Overspenningsoppsving mellom signalkabel og "sann" jord ved sonegrensebryter, Vatnestraumen. Samme situasjon som angitt i figur 4.1, dvs. ved sonegrensebryter på Vatnestraumen, kjører et tog fra en seksjon uten spenning inn på en seksjon som er spenningssatt fra Krossen.



Figur 4.7 *(Enheter: Vertikalt 1.0 kV / rute, Horisontalt 10 ms / rute).*
Overspenningsoppsving mellom skinner og signalkabel ved sonegrensebryter, Vatnestraumen. Prinsipielt samme situasjon som angitt i figur 4.1, dvs. ved sonegrensebryter på Vatnestraumen kjører et tog fra en seksjon uten spenning inn på en seksjon som er spenningssatt fra Krossen. Sammenlignet med figur 4.1 er det imidlertid en annen kortslutningsytelse og belastning. Innkobling etter 1 ms, tidsintervall 0 - 40 ms.



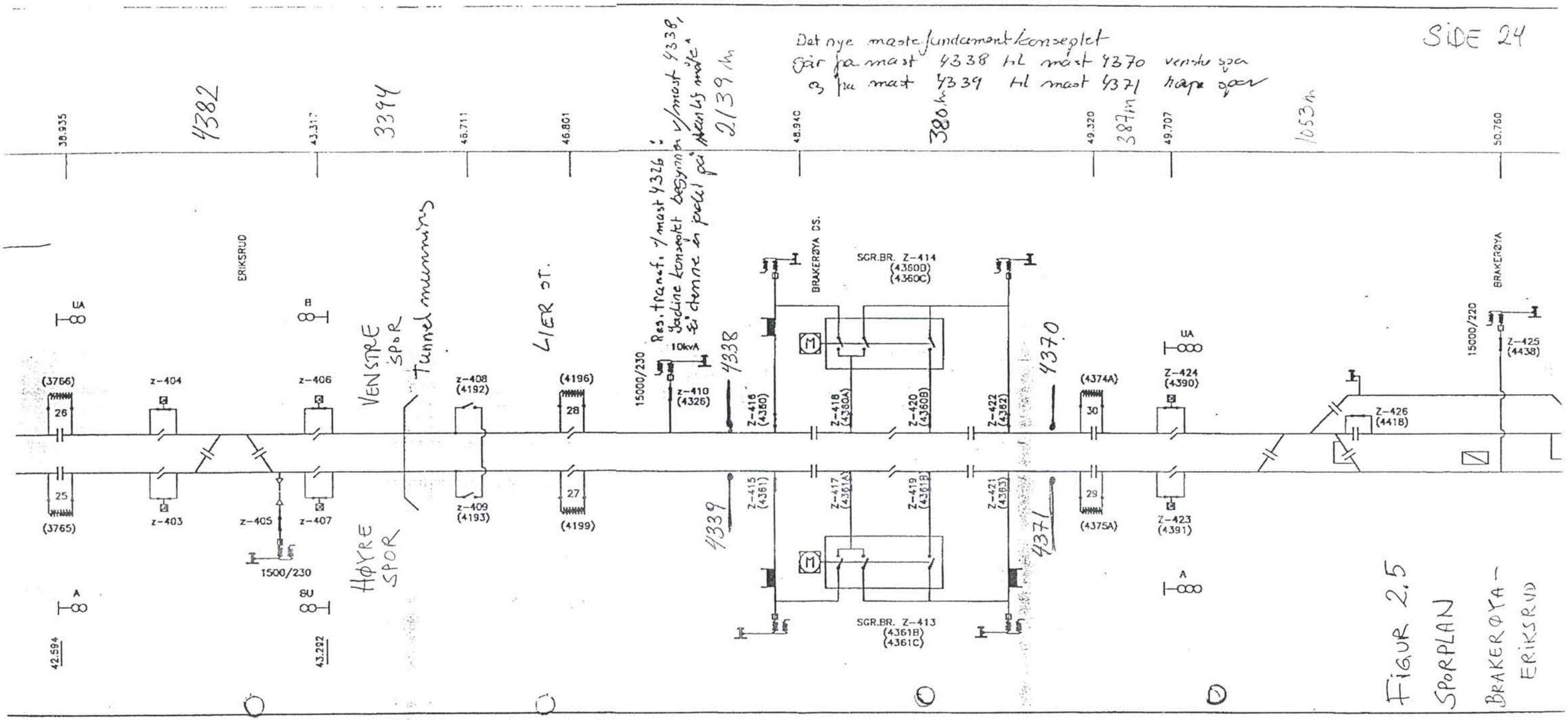
Figur 4.8 *(Enheter: Vertikalt 1.0 kV / rute, Horisontalt 2 ms / rute).*
Samme situasjon som angitt i figur 4.7, i tidsintervallet 0 - 10 ms.



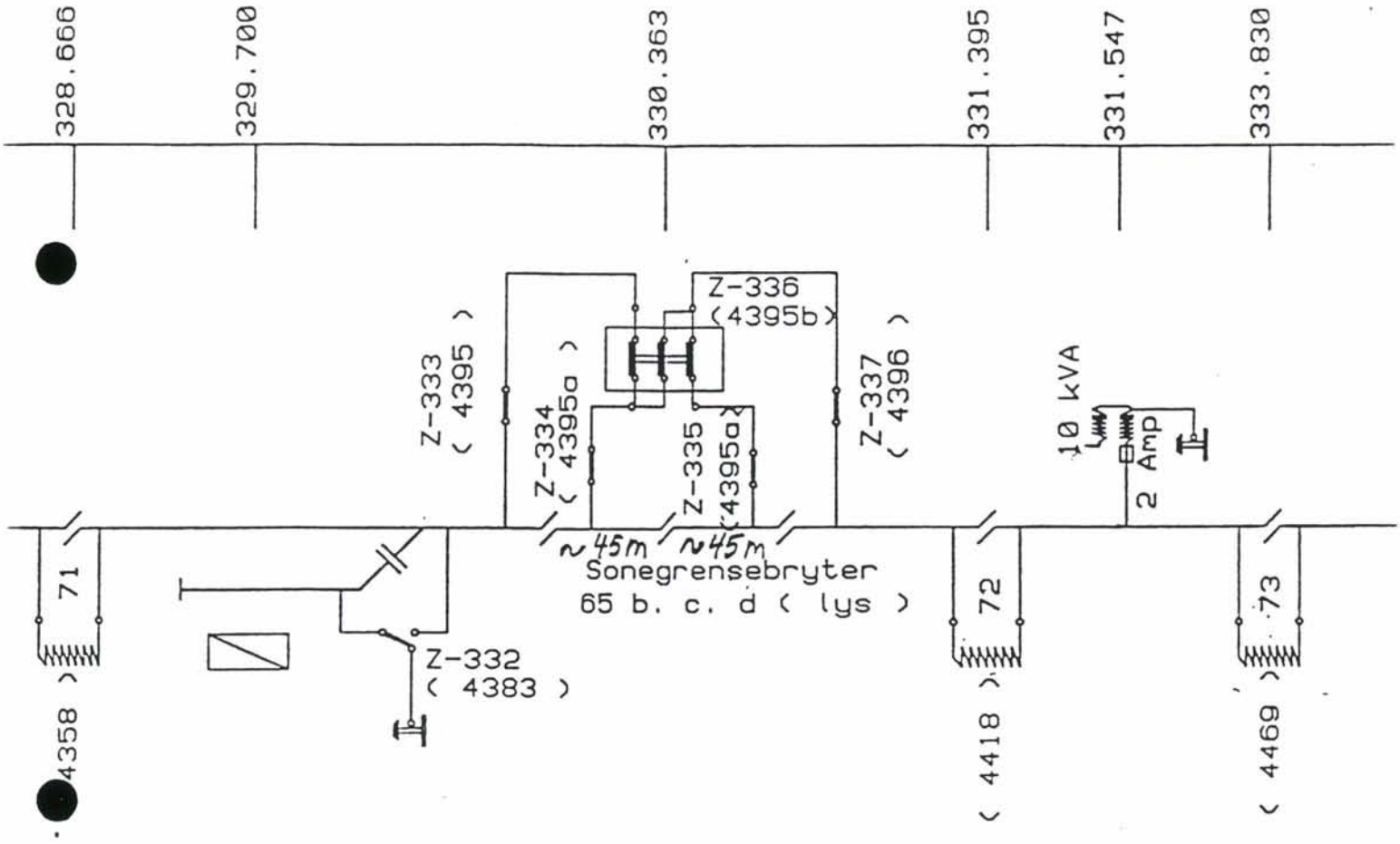
Skisse som viser avstander og forlegning av langsgående jordline mellom Drammen stasjon og Brakerøya. Referanse er de angitte bygge- og sporplantegninger.

FIGUR 2.4

Det nye maste-fundament-konseptet
går fra mast 4338 til mast 4370 venstre spor
og fra mast 4339 til mast 4371 høyre spor

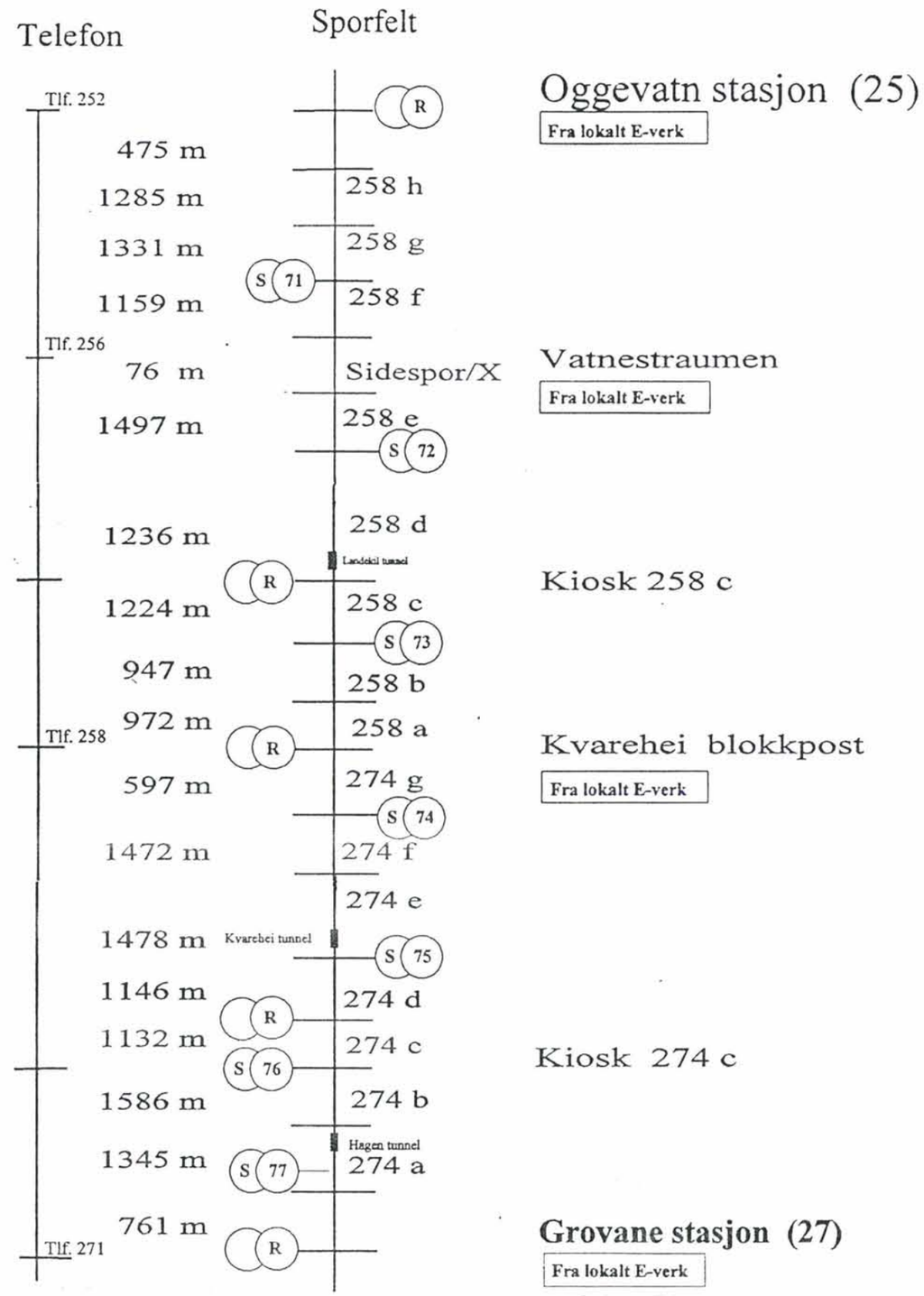


FIGUR 2.5
SPORPLAN
BRAKERØYA - ERIKSRUD

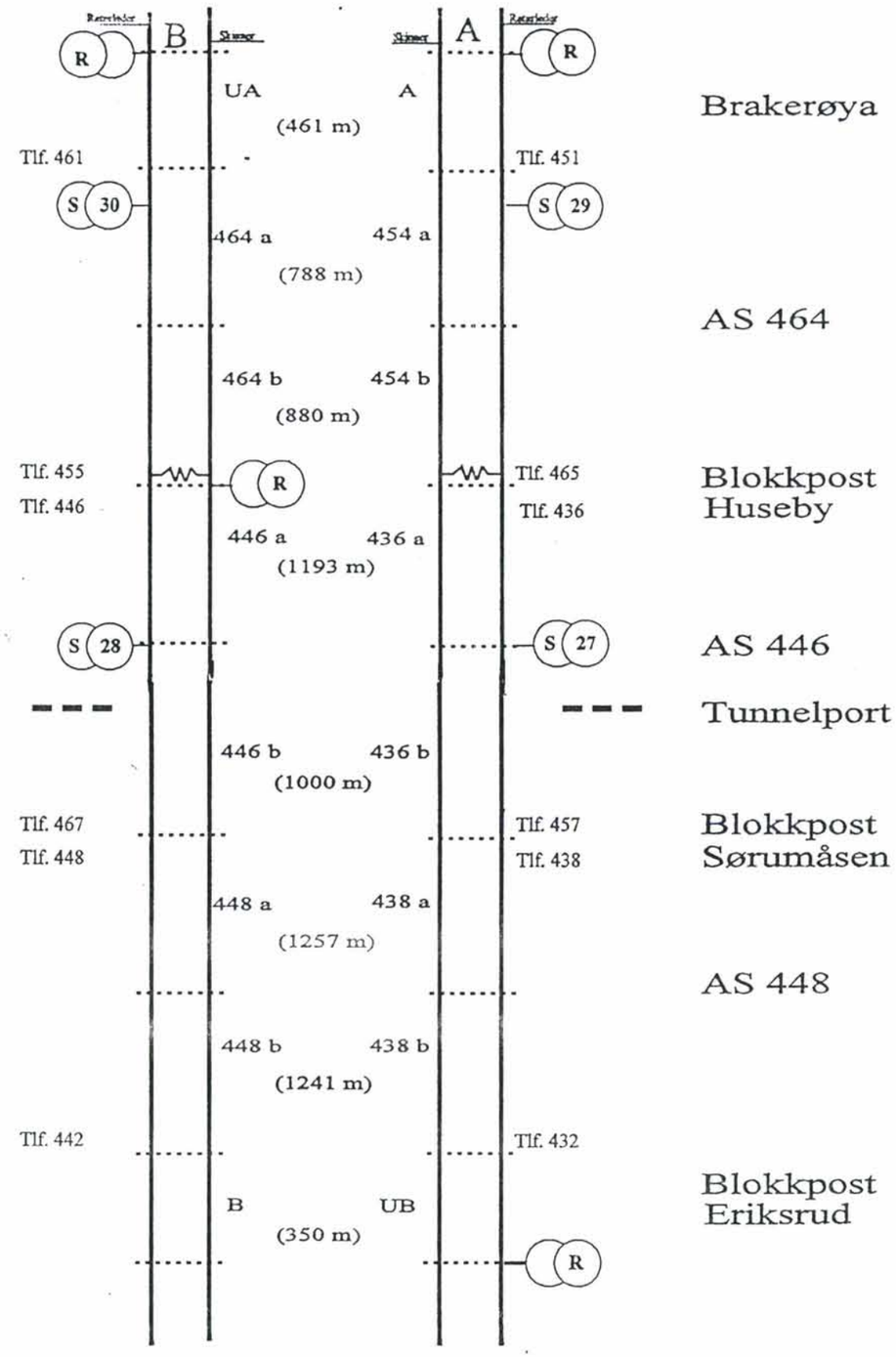


Vatnestraum hp

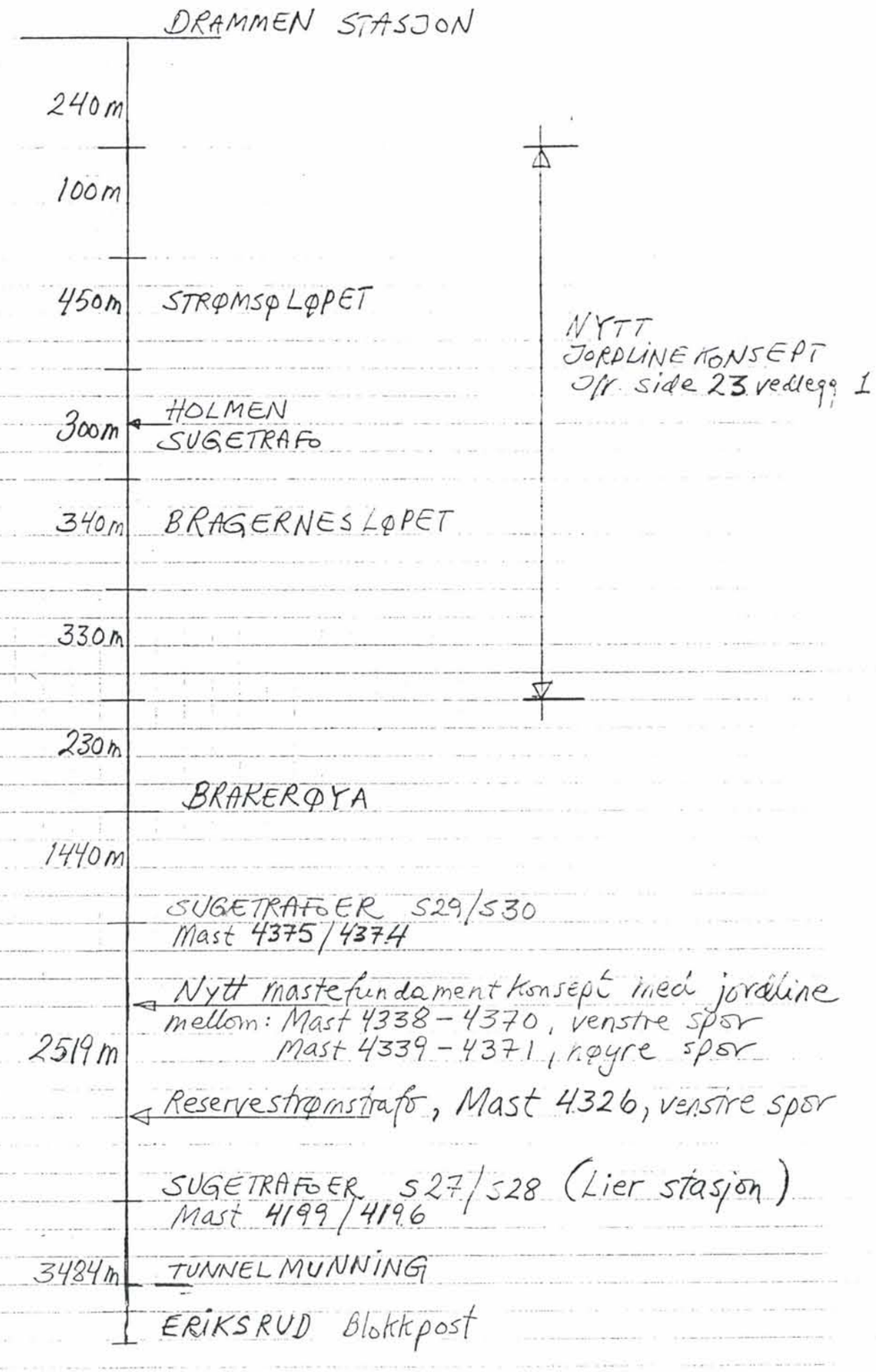
FIGUR 2.6
Sonegrensebryter Vatnestraumen.



Figur 2.1
Skisse av beregningsmodell for strekningen Oggevatn - Kvarehei - Grovane. Avstander i meter samt inntak av telekabel, oppdeling i sporfelter og blokkposter. Skjerm for telefonkabel er jordet for ca. hver 700 meter. Tilkobling av sugetransformatorer (S), uttak via reservestrømstransformator (R) og innmating fra lokalt E-verk er angitt.



Figur 2.2
Skisse av beregningsmodell for 2 spors strekningen Brakerøya - Blokkpost Eriksrud. Avstander i meter samt inntak av telekabel, oppdeling i sporfelter og blokkposter. Skjerm for telefonkabel er jordet for ca. hver 700 meter. Tilkobling av sugetransformatorer (S) og uttak via reservestrømstransformator (R) er angitt.

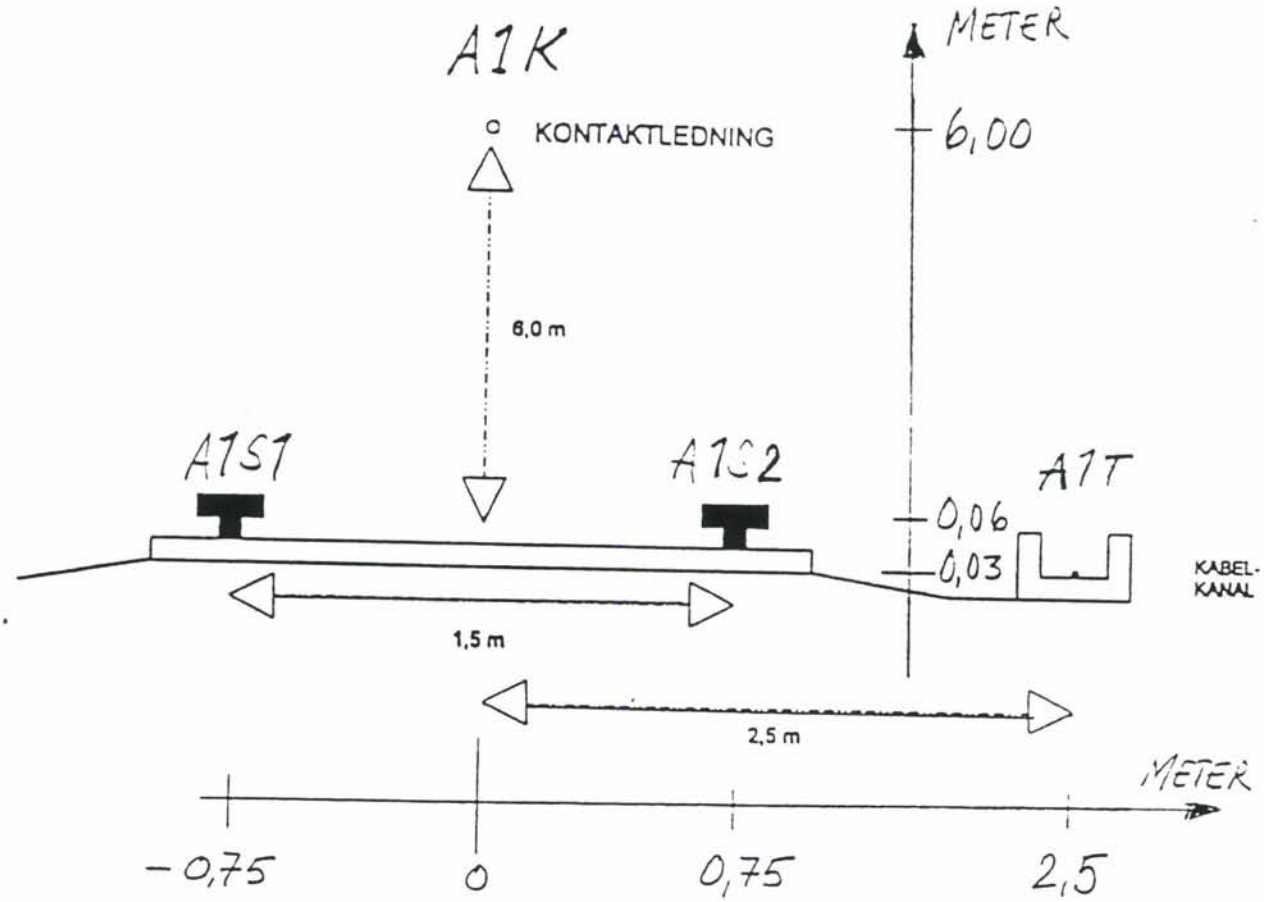

DRAMMEN STASJON
240m
100m
450m STRØMSØ LØPET
NYTT
JORDLINEKONSEPT
jfr. side 23 vedlegg 1
300m HOLMEN
SUGETRAFO
340m BRAGERNES LØPET
330m
230m
BRAKERØYA
1440m
SUGETRAFOER S29/S30
Mast 4375/4374
Nytt mastefundament konsept med jordline
mellom: Mast 4338 - 4370, venstre spor
Mast 4339 - 4371, høyre spor
2519m
Reservestrømstrafo, Mast 4326, venstre spor
SUGETRAFOER S27/S28 (Lier stasjon)
Mast 4199/4196
3484m TUNNELMUNNING
ERIKSRUD Blokkpost

FIGUR 2.3

VEDLEGG - 2

	Side nr.
"LINE CONSTANTS" FOR ENKELT-SPOR	1 - 5
"LINE CONSTANTS" FOR DOBBELT-SPOR	6 - 12
EMTP BEREGNINGSMODELL FOR ENKELT-SPOR	13 - 23
EMTP BEREGNINGSMODELL FOR DOBBELT-SPOR	24 - 34

"LINE CONSTANTS" FOR ENKELT-SPOR



Tverrsnitt av enkeltspor er hentet fra ref. 6.10.

Avstander og knutepunktnummer (noder) er påført.

Sporlengder er nummerert fortløpene A1-A2, B1-B2, C1-C2 etc.

Sporlengdene kobles sammen ved brytere, jfr. utlisting av EMTP modell.

"LINE CONSTANTS" FOR ENKELT-SPOR

```
BEGIN NEW DATA CASE
C
LINE CONSTANTS
C
METRIC
BRANCH  A1K   A2K   A1S1  A2S1  A1S2  A2S2  A1T   A2T
C
C ENKELTSPOR
C Leder 1 = Kjoereledning:                  A1K   A2K     1*150 MM*MM Cu
C Leder 2 = Skinne 1, lengst fra kabel:     A1S1  A2S1    0.38 + j0.1665 OHM
C Leder 3 = Skinne 2, nærmest kabel:       A1S2  A2S2            ref. 16 2/3 Hz
C Leder 4 = Parallell kabel:                A1T   A2T     LANGLINJE KOBBERKABEL
C
$ERASE
C CONDUCTOR CARDS
C                                                   W
C              R         R              H          t
C      S       e         e       D      o          o        W
C N    k       s         a       i      r          w        m
C p    i       i I       c       a      i          e        i
C h    n       s x       t       m      z          r        d
C ><   ><      ><><      ><      ><      ><        ><       ><
  1 .500  0.124  4            1.38      0.    6.000
  2 .500  0.38   4           12.00   -0.75   0.060
  3 .500  0.38   4           12.00    0.75   0.060
  4 .500  0.70   4            2.00    2.50   0.030
C
C
BLANK CARD TERMINATING CONDUCTOR CARDS
C
C Frekvens-card: Nominal PI-CIRCUIT output (IKKE REVOLVERT)
C + CLARKE (REVOLVERT 0, +, - systemet, symmetriske komponenter / revolvert)
C
C                                          I            I
C                                          C            S
C                                          A            E
C                                          P            G
C  RHO >< FREQ   >< FCAR                    < DIST > <IP>        <P>
  2500.0  16.6667                          1    .475     0        44
  2500.0  95.0000                          1    .475     0        44
  2500.0  500000.                          1    .475     0        44
C
C Frekvenskort for constant parameter travelling wave model
C K.C.LEE - (IKKE REVOLVERT)
C                                                                   M
C                                                        I          o
C                                                        S          d
C                                                        E          a T
C                                                        G          l r
C  RHO >< FREQ   >< FCAR   >                   < DIST >            <><>
  2500.0  16.6667                                .475     0          1 0
  2500.0  95.0000                                .475     0          1 0
  2500.0  500000.0                               .475     0          1 0
C
BLANK CARD TERMINATING FREQUENCY CARD
$PUNCH
BLANK CARD ENDING ALL LINE CONSTANTS CASES
BEGIN NEW DATA CASE
END ALL EMTP CASES
C
```

C Nominal PI-CIRCUIT output (IKKE REVOLVERT)

```
C
C C  RHO >< FREQ   >< FCAR                          < DIST > <IP>        <P>
C
C           16 2/3 HZ
C   2500.0  16.6667                                 1    .475     0        44
C
$VINTAGE, 1
 1A1K   A2K                    6.67356150E-02  1.41499332E-01  3.54229649E-03
 2A1S1  A2S1                   7.80696650E-03  7.16970749E-02 -1.00170603E-04
                               1.88324762E-01  1.19970551E-01  3.81275584E-02
 3A1S2  A2S2                   7.80696650E-03  7.16970749E-02 -1.00150365E-04
                               7.81333753E-03  8.54608089E-02 -1.72602520E-04
                               1.88324762E-01  1.19970551E-01  3.81275960E-02
 4A1T   A2T                    7.80699621E-03  7.09218930E-02 -1.67607805E-05
                               7.81336528E-03  7.77683383E-02 -6.66009920E-06
                               7.81336934E-03  8.39257599E-02 -2.44683963E-05
                               3.40319605E-01  1.37795712E-01  1.47484405E-02
$VINTAGE, 0
C
C           95 HZ
C   2500.0  95.0000                                 1    .475     0        44
$VINTAGE, 1
 1A1K   A2K                    1.04383017E-01  7.57168820E-01  3.54229649E-03
 2A1S1  A2S1                   4.44484921E-02  3.59376767E-01 -1.00170603E-04
                               2.25405452E-01  6.34470436E-01  3.81275584E-02
 3A1S2  A2S2                   4.44484921E-02  3.59376767E-01 -1.00150365E-04
                               4.45348822E-02  4.37779402E-01 -1.72602520E-04
                               2.25405452E-01  6.34470436E-01  3.81275960E-02
 4A1T   A2T                    4.44488590E-02  3.54957992E-01 -1.67607805E-05
                               4.45351898E-02  3.93932163E-01 -6.66009920E-06
                               4.45353076E-02  4.29029386E-01 -2.44683963E-05
                               3.77237178E-01  7.36083076E-01  1.47484405E-02
$VINTAGE, 0
C           500 KHZ
C   2500.0  500000.                                 1    .475     0        44
$VINTAGE, 1
 1A1K   A2K                    1.88253797E+02  2.69496222E+03  3.54229649E-03
 2A1S1  A2S1                   2.06637045E+02  6.44666149E+02 -1.00170603E-04
                               2.37453733E+02  1.99047156E+03  3.81275584E-02
 3A1S2  A2S2                   2.06637045E+02  6.44666149E+02 -1.00150365E-04
                               2.33212919E+02  1.02622612E+03 -1.72602520E-04
                               2.37453733E+02  1.99047156E+03  3.81275960E-02
 4A1T   A2T                    2.06267918E+02  6.21474507E+02 -1.67607805E-05
                               2.31829837E+02  7.95667896E+02 -6.66009920E-06
                               2.33202836E+02  9.80045788E+02 -2.44683963E-05
                               2.39134700E+02  2.52620098E+03  1.47484405E-02
$VINTAGE, 0
C
C
```

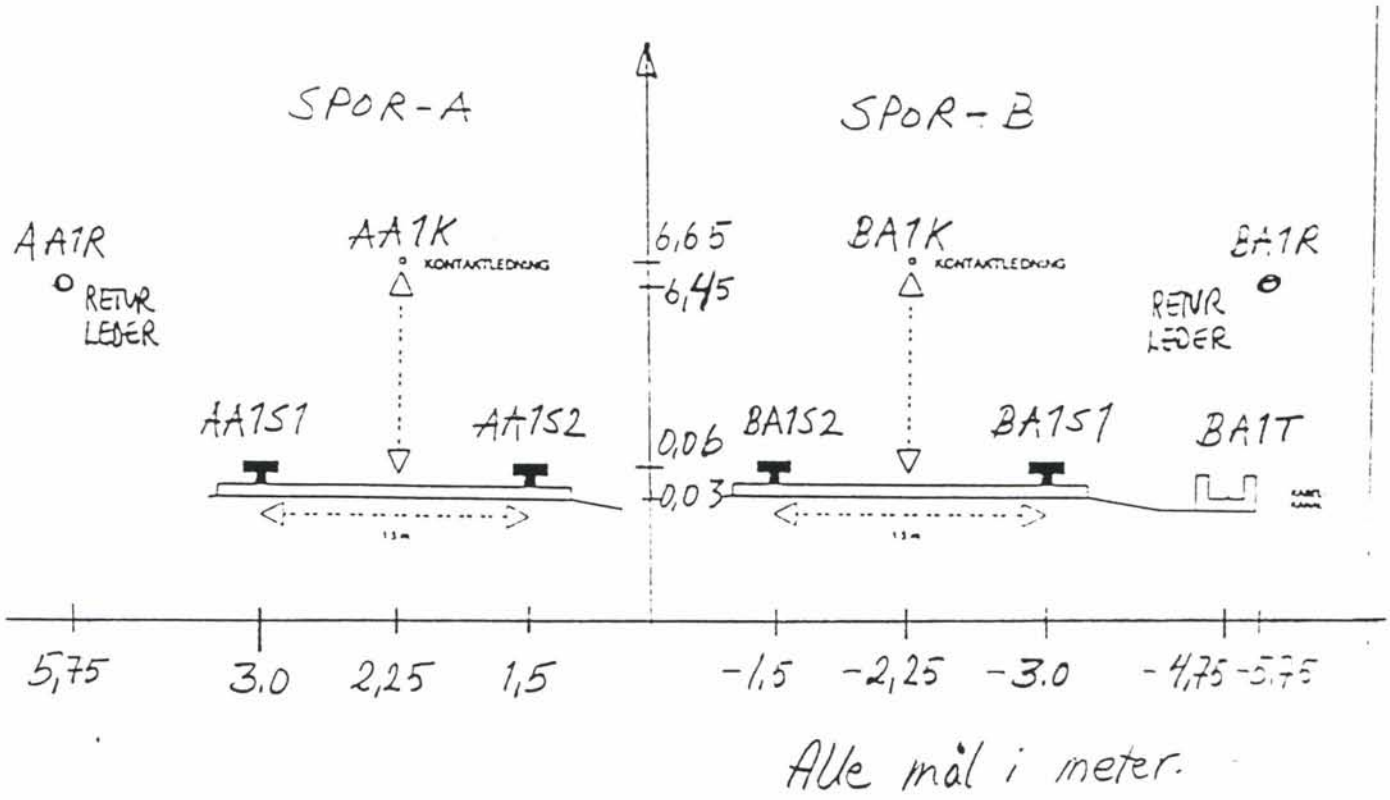
C K.C.LEE - (IKKE REVOLVERT)

C **** UNTRANSPOSED K.C. Lee line ****

```
C
C           16 2/3 HZ
C   2500.0  16.6667                                     .475     0            1 0
$VINTAGE, 1
-1A1K   A2K                   4.37137E-01 2.64985E+02 4.81370E+04-4.75000E-01 1  4
-2A1S1  A2S1                  1.66860E-01 4.85012E+02 2.36955E+05-4.75000E-01 1  4
-3A1S2  A2S2                  6.15429E-01 1.76016E+02 8.67615E+04-4.75000E-01 1  4
-4A1T   A2T                   3.79756E-01 9.27863E+01 7.51995E+04-4.75000E-01 1  4
$VINTAGE, 0
 -0.02665830  0.95498267  0.01134212 -0.00004178
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
 -0.68532078 -0.19548027 -0.35536413 -0.70974019
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
 -0.69186944 -0.19736127 -0.37932514  0.70444382
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
 -0.22570209 -0.10413502  0.85422487  0.00526972
```

```
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
C
C           95 HZ
C   2500.0  95.0000                                .475     0           1 0
$VINTAGE, 1
-1A1K   A2K                 6.53142E-01 2.58529E+02 5.33045E+04-4.75000E-01 1  4
-2A1S1  A2S1                1.82140E-01 4.17689E+02 2.75608E+05-4.75000E-01 1  4
-3A1S2  A2S2                5.99176E-01 1.63411E+02 1.44247E+05-4.75000E-01 1  4
-4A1T   A2T                 3.82009E-01 9.45063E+01 1.22774E+05-4.75000E-01 1  4
$VINTAGE, 0
  0.04108157  0.92042746  0.01809199  0.00021060
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.68273312 -0.25596936 -0.20385116 -0.74585051
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.69036288 -0.24478338 -0.53370228  0.65995112
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.23576872 -0.16545111  0.82053596  0.09039637
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
C
C
C           500 KHZ
C   2500.0  500000.0                                .475     0           1 0
$VINTAGE, 1
-1A1K   A2K                 1.29080E+03 1.79710E+02 7.49336E+04-4.75000E-01 1  4
-2A1S1  A2S1                7.09306E+01 4.26788E+02 2.90216E+05-4.75000E-01 1  4
-3A1S2  A2S2                2.98462E+01 1.54795E+02 1.63738E+05-4.75000E-01 1  4
-4A1T   A2T                 9.89482E+00 9.40918E+01 1.37071E+05-4.75000E-01 1  4
$VINTAGE, 0
  0.02779735 -0.95614740  0.02200524  0.00133055
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.68315815  0.19442970 -0.04817145 -0.76470574
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.69888271  0.15658338 -0.58864286  0.62483109
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.20996480  0.15316946  0.80665660  0.15751022
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
```

"LINE CONSTANTS" FOR DOBBELT-SPOR



Tverrsnitt av dobbeltspor med returleder er hentet fra ref. 6.11.

Avstander og knutepunktnummer (noder) er påført.

Sporlengder er nummerert fortløpene AA1-AA2, AB1-AB2, AC1-AC2 etc. for spor A.

Tilsvarende BA1-BA2, BB1-BB2, BC1-BC2 etc. for spor B.

Sporlengdene kobles sammen ved brytere, jfr. utlisting av EMTP modell.

"LINE CONSTANTS" FOR DOBBELT-SPOR

```
BEGIN NEW DATA CASE
C
LINE CONSTANTS
C
METRIC
BRANCH  BA1K  BA2K  BA1S1 BA2S1 BA1S2 BA2S2 BA1T  BA2T  BA1R  BA2R  AA1K  AA2K
BRANCH  AA1S1 AA2S1 AA1S2 AA2S2 AA1R  AA2R
C
C DOBBELT-SPOR, HHV. SPOR B (VENSTRE) OG SPOR A (HØYRE)
C SPOR B
C Leder 1 = Kjoereledning:                  BA1K  BA2K    1*150 MM*MM Cu
C Leder 2 = Skinne 1, lengst fra kabel:     BA1S1 BA2S1   0.38 + j0.1665 OHM
C Leder 3 = Skinne 2, naermest kabel:       BA1S2 BA2S2           ref. 16 2/3 Hz
C Leder 4 = Parallell kabel:                BA1T  BA2T    LANGLINJE KOBBERKABEL
C LEDER 5 = Separat returleder              BA1R  BA2R    2*1*240 MM*MM Al
C
C SPOR A
C Leder 6 = Kjoereledning:                  AAIK  AA2K    1*150 MM*MM Cu
C Leder 7 = Skinne 1, lengst fra kabel:     AA1S1 AA2S1   0.38 + j0.1665 OHM
C Leder 8 = Skinne 2, naermest kabel:       AA1S2 AA2S2           ref. 16 2/3 Hz
C Leder 9 = Parallell kabel: SLØYFES        AA1T  AA2T    LANGLINJE KOBBERKABEL
C           på grunn av full symmetri med spor B (og memory saving)
C LEDER 9 = Separat returleder              AA1R  AA2R    2*1*240 MM*MM Al
C
$ERASE
C CONDUCTOR CARDS
C                                                   W
C              R         R              H          t
C     S        e         e       D      o          o        W
C N   k        s         a       i      r          w        m
C p   i        i I       c       a      i          e        i
C h   n        s x       t       m      z          r        d
C >< ><        ><><      ><      ><      ><        ><       ><
C SPOR B
  1 .500  0.124  4          1.38   -2.25   6.650
  2 .500  0.38   4         12.00   -3.00   0.060
  3 .500  0.38   4         12.00   -1.50   0.060
  4 .500  0.70   4          2.00   -4.75   0.030
  5 .500  .0625  4          1.75   -5.75   6.450
C SPOR A
  6 .500  0.124  4          1.38    2.25   6.650
  7 .500  0.38   4         12.00    3.00   0.060
  8 .500  0.38   4         12.00    1.50   0.060
C 9 .500  0.70   4          2.00    4.75   0.030
  9 .500  .0625  4          1.75    5.75   6.450
C
C
BLANK CARD TERMINATING CONDUCTOR CARDS
C
C Frekvens-card: Nominal PI-CIRCUIT output (IKKE REVOLVERT)
C + CLARKE (REVOLVERT 0, +, - systemet, symmetriske komponenter / revolvert)
C
C                                           I            I
C                                           C            S
C                                           A            E
C                                           P            G
C  RHO >< FREQ    >< FCAR                   < DIST > <IP>        <P>
  2500.0  16.6667                           1    .461     0        44
  2500.0  105.000                           1    .461     0        44
  2500.0  500000.                           1    .461     0        44
C
C
C Frekvenskort for constant parameter travelling wave model
C K.C.LEE - (IKKE REVOLVERT)
C                                                                   M
C                                                           I       o
C                                                           S       d
```

```
C                                                                  E          a T
C                                                                  G          l r
C  RHO >< FREQ    >< FCAR    >                  < DIST >                     <><>
  2500.0  16.6667                                   .461    0                1 0
  2500.0  105.000                                   .461    0                1 0
  2500.0  500000.0                                  .461    0                1 0
C
BLANK CARD TERMINATING FREQUENCY CARD
$PUNCH
BLANK CARD ENDING ALL LINE CONSTANTS CASES
BEGIN NEW DATA CASE
END ALL EMTP CASES
C C
```

C Nominal PI-CIRCUIT output (IKKE REVOLVERT)

```
C
C            16 2/3 HZ
C   2500.0  16.6667                          1    .461     0        44
$VINTAGE, 1
 1BA1K  BA2K                  6.47673270E-02  1.37330181E-01  3.58582840E-03
 2BA1S1 BA2S1                 7.57619158E-03  6.85961677E-02 -6.87595525E-05
                              1.82774137E-01  1.16434577E-01  3.70049937E-02
 3BA1S2 BA2S2                 7.57619158E-03  6.85961677E-02 -6.90272326E-05
                              7.58304969E-03  8.29419640E-02 -1.66424229E-04
                              1.82774137E-01  1.16434577E-01  3.70049664E-02
 4BA1T  BA2T                  7.57622043E-03  6.79707987E-02 -1.12885862E-05
                              7.58308056E-03  8.14521586E-02 -2.34801440E-05
                              7.58307662E-03  7.54762188E-02 -6.23358094E-06
                              3.30289132E-01  1.33734364E-01  1.43138129E-02
 5BA1R  BA2R                  7.56957041E-03  7.47589422E-02 -6.12991737E-04
                              7.57639636E-03  6.81353471E-02 -6.26643128E-05
                              7.57639214E-03  6.71873945E-02 -4.69680853E-05
                              7.57643016E-03  6.87946665E-02 -1.51244935E-05
                              3.64495618E-02  1.35034241E-01  3.65340208E-03
 6AA1K  AA2K                  7.56936094E-03  7.23483980E-02 -4.50064889E-04
                              7.57618078E-03  6.62858173E-02 -3.52704493E-05
                              7.57618616E-03  6.73040831E-02 -4.79269903E-05
                              7.57620342E-03  6.49912079E-02 -4.64508550E-06
                              7.56955187E-03  6.67899195E-02 -2.02147492E-04
                              6.47673270E-02  1.37330181E-01  3.58582100E-03
 7AA1S1 AA2S1                 7.57618078E-03  6.62858173E-02 -3.52774956E-05
                              7.58303294E-03  6.95570165E-02 -7.53358088E-06
                              7.58304049E-03  7.23346436E-02 -1.54248966E-05
                              7.58305308E-03  6.70858261E-02 -7.27034492E-07
                              7.57636898E-03  6.38573599E-02 -1.68094536E-05
                              7.57619158E-03  6.85961677E-02 -6.87778342E-05
                              1.82774137E-01  1.16434577E-01  3.70049552E-02
 8AA1S2 AA2S2                 7.57618616E-03  6.73040831E-02 -4.79279750E-05
                              7.58304049E-03  7.23346436E-02 -1.54230538E-05
                              7.58304612E-03  7.62494897E-02 -3.89209716E-05
                              7.58306279E-03  6.91627296E-02 -1.31641967E-06
                              7.57637842E-03  6.49614665E-02 -2.37645258E-05
                              7.57619158E-03  6.85961677E-02 -6.90317215E-05
                              7.58304969E-03  8.29419640E-02 -1.66434388E-04
                              1.82774137E-01  1.16434577E-01  3.70049638E-02
 9AA1R  AA2R                  7.56955187E-03  6.67899195E-02 -2.02150622E-04
                              7.57636898E-03  6.38573599E-02 -1.68065235E-05
                              7.57637842E-03  6.49614665E-02 -2.37649349E-05
                              7.57638698E-03  6.26271472E-02 -2.25455869E-06
                              7.56973414E-03  6.32888055E-02 -1.11560488E-04
                              7.56957041E-03  7.47589422E-02 -6.13002933E-04
                              7.57639636E-03  6.81353471E-02 -6.26890082E-05
                              7.57639214E-03  6.71873945E-02 -4.69744646E-05
                              3.64495618E-02  1.35034241E-01  3.65338646E-03
$VINTAGE, 0
C
C            105 HZ
C   2500.0  105.000                          1    .461     0        44
$VINTAGE, 1
 1BA1K  BA2K                  1.06044613E-01  8.09160900E-01  3.58582840E-03
 2BA1S1 BA2S1                 4.76638941E-02  3.76243491E-01 -6.87595525E-05
```

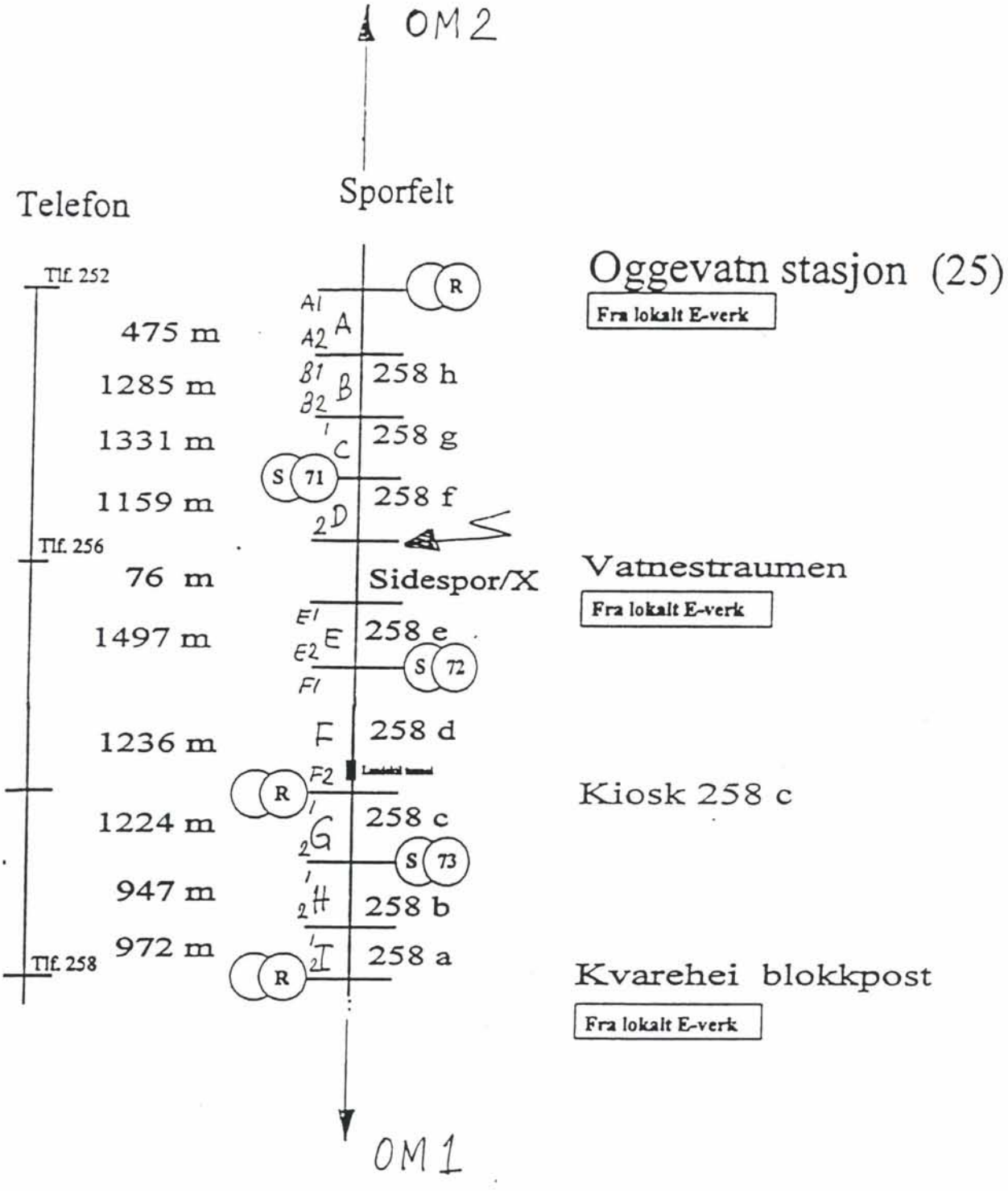
```
                                2.23391075E-01  6.77540902E-01  3.70049937E-02
 3BA1S2 BA2S2                   4.76638941E-02  3.76243491E-01 -6.90272326E-05
                                4.77718875E-02  4.66556442E-01 -1.66424229E-04
                                2.23391075E-01  6.77540902E-01  3.70049664E-02
 4BA1T  BA2T                    4.76643053E-02  3.72303387E-01 -1.12885862E-05
                                4.77723665E-02  4.57170389E-01 -2.34801440E-05
                                4.77722277E-02  4.19522057E-01 -6.23358094E-06
                                3.70711653E-01  7.86541840E-01  1.43138129E-02
 5BA1R  BA2R                    4.75601604E-02  4.15132179E-01 -6.12991737E-04
                                4.76670576E-02  3.73338357E-01 -6.26643128E-05
                                4.76669144E-02  3.67366284E-01 -4.69680853E-05
                                4.76676367E-02  3.77491752E-01 -1.51244935E-05
                                7.88677123E-02  7.94228033E-01  3.65340208E-03
 6AA1K  AA2K                    4.75568395E-02  3.99947772E-01 -4.50064889E-04
                                4.76635280E-02  3.61688358E-01 -3.52704493E-05
                                4.76637103E-02  3.68103397E-01 -4.79269903E-05
                                4.76637294E-02  3.53532073E-01 -4.64508550E-06
                                4.75595439E-02  3.64927522E-01 -2.02147492E-04
                                1.06044613E-01  8.09160900E-01  3.58582100E-03
 7AA1S1 AA2S1                   4.76635280E-02  3.61688358E-01 -3.52774956E-05
                                4.77713010E-02  3.82231497E-01 -7.53358088E-06
                                4.77715642E-02  3.99730487E-01 -1.54248966E-05
                                4.77714081E-02  3.66662771E-01 -7.27034492E-07
                                4.76661307E-02  3.46387206E-01 -1.68094536E-05
                                4.76638941E-02  3.76243491E-01 -6.87778342E-05
                                2.23391075E-01  6.77540902E-01  3.70049552E-02
 8AA1S2 AA2S2                   4.76637103E-02  3.68103397E-01 -4.79279750E-05
                                4.77715642E-02  3.99730487E-01 -1.54230538E-05
                                4.77717613E-02  4.24393949E-01 -3.89209716E-05
                                4.77717448E-02  3.79747201E-01 -1.31641967E-06
                                4.76664497E-02  3.53343023E-01 -2.37645258E-05
                                4.76638941E-02  3.76243491E-01 -6.90317215E-05
                                4.77718875E-02  4.66556442E-01 -1.66434388E-04
                                2.23391075E-01  6.77540902E-01  3.70049638E-02
 9AA1R  AA2R                    4.75595439E-02  3.64927522E-01 -2.02150622E-04
                                4.76661307E-02  3.46387206E-01 -1.68065235E-05
                                4.76664497E-02  3.53343023E-01 -2.37649349E-05
                                4.76661758E-02  3.38636640E-01 -2.25455869E-06
                                4.75619615E-02  3.42868683E-01 -1.11560488E-04
                                4.75601604E-02  4.15132179E-01 -6.13002933E-04
                                4.76670576E-02  3.73338357E-01 -6.26890082E-05
                                4.76669144E-02  3.67366284E-01 -4.69744646E-05
                                7.88677123E-02  7.94228033E-01  3.65338646E-03
$VINTAGE, 0
C
C           500 KHZ
C   2500.0  500000.                              1    .461     0        44
$VINTAGE, 1
 1BA1K  BA2K                    1.78901418E+02  2.62137335E+03  3.58582840E-03
 2BA1S1 BA2S1                   1.98127675E+02  5.99204979E+02 -6.87595525E-05
                                2.30455096E+02  1.93180503E+03  3.70049937E-02
 3BA1S2 BA2S2                   1.98127675E+02  5.99204979E+02 -6.90272326E-05
                                2.26339276E+02  9.95979454E+02 -1.66424229E-04
                                2.30455096E+02  1.93180503E+03  3.70049664E-02
 4BA1T  BA2T                    1.97793086E+02  5.80503244E+02 -1.12885862E-05
                                2.26329489E+02  9.51160228E+02 -2.34801440E-05
                                2.24996957E+02  7.72216632E+02 -6.23358094E-06
                                2.32086519E+02  2.45174453E+03  1.43138129E-02
 5BA1R  BA2R                    1.76823888E+02  8.14081206E+02 -6.12991737E-04
                                1.98310050E+02  5.84661386E+02 -6.26643128E-05
                                1.97496039E+02  5.56602305E+02 -4.69680853E-05
                                1.98940798E+02  6.04057140E+02 -1.51244935E-05
                                1.79456339E+02  2.55019432E+03  3.65340208E-03
 6AA1K  AA2K                    1.75871991E+02  7.42888233E+02 -4.50064889E-04
                                1.96073812E+02  5.30864277E+02 -3.52704493E-05
                                1.97084773E+02  5.60928180E+02 -4.79269903E-05
                                1.94626026E+02  4.92647169E+02 -4.64508550E-06
                                1.74356298E+02  5.76561395E+02 -2.02147492E-04
                                1.78901418E+02  2.62137335E+03  3.58582100E-03
 7AA1S1 AA2S1                   1.96073812E+02  5.30864277E+02 -3.52774956E-05
```

```
                                2.21200413E+02  5.95925420E+02 -7.53358088E-06
                                2.23362158E+02  6.78559993E+02 -1.54248966E-05
                                2.18377191E+02  5.22682784E+02 -7.27034492E-07
                                1.93270468E+02  4.58797393E+02 -1.68094536E-05
                                1.98127675E+02  5.99204979E+02 -6.87778342E-05
                                2.30455096E+02  1.93180503E+03  3.70049552E-02
 8AA1S2 AA2S2                   1.97084773E+02  5.60928180E+02 -4.79279750E-05
                                2.23362158E+02  6.78559993E+02 -1.54230538E-05
                                2.25110618E+02  7.95506312E+02 -3.89209716E-05
                                2.20936075E+02  5.84071522E+02 -1.31641967E-06
                                1.94948450E+02  4.91064288E+02 -2.37645258E-05
                                1.98127675E+02  5.99204979E+02 -6.90317215E-05
                                2.26339276E+02  9.95979454E+02 -1.66434388E-04
                                2.30455096E+02  1.93180503E+03  3.70049638E-02
 9AA1R  AA2R                    1.74356298E+02  5.76561395E+02 -2.02150622E-04
                                1.93270468E+02  4.58797393E+02 -1.68065235E-05
                                1.94948450E+02  4.91064288E+02 -2.37649349E-05
                                1.91114549E+02  4.22941980E+02 -2.25455869E-06
                                1.71780869E+02  4.72683278E+02 -1.11560488E-04
                                1.76823888E+02  8.14081206E+02 -6.13002933E-04
                                1.98310050E+02  5.84661386E+02 -6.26890082E-05
                                1.97496039E+02  5.56602305E+02 -4.69744646E-05
                                1.79456339E+02  2.55019432E+03  3.65338646E-03
$VINTAGE, 0
C
C
C              K.C.LEE - (IKKE REVOLVERT)
C          **** UNTRANSPOSED K.C. Lee line ****
C
C           16 2/3 HZ
C   2500.0  16.6667                                  .461    0           1 0
$VINTAGE, 1
-1BA1K  BA2K                4.67591E-01 3.37253E+02 3.86417E+04-4.60000E-01 1  9
-2BA1S1 BA2S1               1.99303E-01 5.65752E+02 2.22220E+05-4.60000E-01 1  9
-3BA1S2 BA2S2               1.22005E-01 3.78879E+02 2.70958E+05-4.60000E-01 1  9
-4BA1T  BA2T                9.01472E-02 3.78431E+02 2.76722E+05-4.60000E-01 1  9
-5BA1R  BA2R                6.36136E-02 4.37030E+02 2.83107E+05-4.60000E-01 1  9
-6AA1K  AA2K                6.45169E-01 1.87404E+02 8.73360E+04-4.60000E-01 1  9
-7AA1S1 AA2S1               3.79419E-01 1.19644E+02 7.12086E+04-4.60000E-01 1  9
-8AA1S2 AA2S2               3.79833E-01 9.35196E+01 7.50890E+04-4.60000E-01 1  9
-9AA1R  AA2R                3.79937E-01 9.12471E+01 7.54102E+04-4.60000E-01 1  9
$VINTAGE, 0
  0.01781350  0.44153576 -0.69633733 -0.45053977 -0.06689527  0.00537677
  0.00049534 -0.00016376  0.00005130
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.49155825 -0.25915754  0.00156845 -0.03658102  0.00501063 -0.27197901
 -0.56620143 -0.50540536 -0.41296376
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.49791725 -0.26040375  0.00106209 -0.03597461  0.00287816 -0.24086395
 -0.40129777  0.50096084  0.56923164
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.17176961 -0.13955180  0.00077675 -0.02189740  0.00279779  0.90467792
 -0.03779951 -0.00410041 -0.00305502
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.02147238  0.39753043  0.13062127  0.54037312 -0.70545735  0.00574794
  0.00057327  0.00011526  0.00014894
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.01781331  0.44613330  0.69350044 -0.45101570  0.06607964  0.00495230
 -0.00065134 -0.00018207 -0.00004362
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.48447492 -0.25708534 -0.00096996 -0.03761849 -0.00468162 -0.15015930
  0.57806208 -0.50303378  0.42023158
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
```

```
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.49464435 -0.25988473 -0.00055703 -0.03646703 -0.00285393 -0.16404706
  0.42753956  0.49045263 -0.57343902
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.02143414  0.39987549 -0.13078265  0.54381873  0.70243658  0.00491080
 -0.00063270  0.00005817 -0.00014128
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
C
C           105 HZ
C   2500.0  105.000                                  .461    0           1 0
$VINTAGE, 1
-1BA1K  BA2K                 9.07546E-01 3.23233E+02 4.19043E+04-4.60000E-01 1  9
-2BA1S1 BA2S1                3.85273E-01 1.23281E+02 1.00971E+05-4.60000E-01 1  9
-3BA1S2 BA2S2                6.06435E-01 1.66148E+02 1.46618E+05-4.60000E-01 1  9
-4BA1T  BA2T                 3.82084E-01 9.49304E+01 1.23611E+05-4.60000E-01 1  9
-5BA1R  BA2R                 3.81480E-01 9.17979E+01 1.26082E+05-4.60000E-01 1  9
-6AA1K  AA2K                 2.13104E-01 4.74541E+02 2.61851E+05-4.60000E-01 1  9
-7AA1S1 AA2S1                7.31275E-02 4.33337E+02 2.89537E+05-4.60000E-01 1  9
-8AA1S2 AA2S2                1.24736E-01 3.77617E+02 2.92939E+05-4.60000E-01 1  9
-9AA1R  AA2R                 1.00318E-01 3.81169E+02 2.93030E+05-4.60000E-01 1  9
$VINTAGE, 0
  0.02150374 -0.00182678  0.01063934  0.00128489  0.00036551  0.34215774
 -0.08028049 -0.69988910  0.51051794
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.49123457 -0.55057694 -0.52493815  0.50032550  0.32757406 -0.25905417
  0.04913602  0.01450495 -0.01298797
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.49829389 -0.36514530 -0.13139084 -0.59087177 -0.53056034 -0.24867048
  0.02411209  0.00854877 -0.01976428
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.17414061 -0.12074416  0.83518750  0.08248697  0.05150257 -0.19803622
  0.04208980  0.00932000  0.00303270
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.02559927 -0.00435861  0.01590156  0.00204686  0.00083581  0.44014328
 -0.71956044  0.13871654 -0.47561757
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.02146067  0.00206038  0.00681971  0.00119720 -0.00026182  0.36246980
  0.06965584  0.68628696  0.51738848
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.48302495  0.59129159 -0.07398903  0.45891493 -0.47041136 -0.29853347
 -0.04804807 -0.01283745 -0.00957047
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.49449695  0.44641101 -0.06086117 -0.42793355  0.62230234 -0.26721526
 -0.02287360 -0.00716765 -0.01874059
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.02546005  0.00443634  0.00687017  0.00188143 -0.00070365  0.47867209
  0.68068845 -0.13905633 -0.49442613
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
C
C           500 KHZ
C   2500.0  500000.0                                 .461    0           1 0
$VINTAGE, 1
-1BA1K  BA2K                 2.33651E+03 2.10574E+02 6.25719E+04-4.60000E-01 1  9
-2BA1S1 BA2S1                2.71296E+01 1.21405E+02 1.05944E+05-4.60000E-01 1  9
-3BA1S2 BA2S2                2.67972E+01 1.55374E+02 1.63838E+05-4.60000E-01 1  9
-4BA1T  BA2T                 1.14705E+01 9.35547E+01 1.36489E+05-4.60000E-01 1  9
-5BA1R  BA2R                 8.60775E+00 8.90880E+01 1.40554E+05-4.60000E-01 1  9
-6AA1K  AA2K                 1.64239E+02 5.10928E+02 2.80059E+05-4.60000E-01 1  9
-7AA1S1 AA2S1                1.46280E+01 4.36514E+02 2.94991E+05-4.60000E-01 1  9
```

```
-8AA1S2 AA2S2                3.91459E+00 3.75302E+02 2.99488E+05-4.60000E-01 1  9
-9AA1R  AA2R                 4.27512E+00 3.60501E+02 2.99611E+05-4.60000E-01 1  9
$VINTAGE, 0
  0.01571573 -0.00265508  0.01336261  0.00241038  0.00102665  0.33705466
 -0.23880755  0.51462593 -0.67020566
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.49184303 -0.54716574 -0.58454454  0.49491477  0.27200925 -0.17256620
  0.05937439 -0.01971163  0.00809167
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.50965680 -0.35956605 -0.01010357 -0.62480961 -0.49789211 -0.18258757
  0.03011730 -0.03153874  0.00592690
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.15525089 -0.13175392  0.80831169  0.13391152  0.07723835 -0.19789639
  0.08937083 -0.00626389  0.00511392
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.01740074 -0.00628455  0.02258240  0.00492334  0.00239078  0.45763847
 -0.70766479 -0.45748231  0.26753050
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.01552242  0.00319551  0.00680670  0.00173652 -0.00072591  0.37994448
  0.19612349  0.54024746  0.64508270
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.47217509  0.59296399 -0.04282866  0.44605875 -0.50000732 -0.25796066
 -0.06360250 -0.02097595 -0.00782240
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.50021143  0.44973111 -0.04727929 -0.38435537  0.64971480 -0.20330793
 -0.01901374 -0.03178846 -0.00424137
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.01691264  0.00645661  0.00577237  0.00308290 -0.00217095  0.56784264
  0.62200543 -0.48075959 -0.25082699
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
```

EMTP BEREGNINGSMODELL FOR ENKELTSPOR



EMTP BEREGNINGSMODELL FOR ENKELTSPOR

```
BEGIN NEW DATA CASE
C       JULI - SEPTEMBER 1996. NSB - BEREGNINGER PÅ FRI LINJE.
C     LYNOVERSPENNINGER  ENKELTSPOR
C     STREKNINGEN OGGEVATN - KVAREHEI - ( GROVANE ) ER MODELLERT
C     LINJE VIDERE SØROVER/NORDOVER MOT OMFORMERSTASJONER ER INNLAGT MED 40 KM
C
C     REF.  NSB BANE, REGION SØR, TEKNISK KONTOR STRØMFORSYNING
C     STRØMSØ TORG 1, 3006 DRAMMEN / H.S. FADUM TLF. 32 27 58 57
C
C    THE STUDY IS PERFORMED BY TRANSINOR AS
C    THE EMTP CALCULATION MODEL IS DEVELOPED BY:
C    TRANSINOR, REF. HELGE JOHANSEN
C
C
C DELTA>< TMAX >< XOPT >< COPT ><EPSILN><TOLMAT><TSTART>
  .01E-6 100.E-6     50.
     500       1       0       0       0       0       0       1
C
C BRANCH CARDS:
C
C LIGHTNING TO NODE NAMED "LYN" (D2K = VATNESTRAUMEN)
C <BUS1><BUS2><BUS1><BUS2><  R >< X >< C >
  LYN   D2K                 0.01                                          1
C
C STRØMAVLEDNING FRA SKINNER, MAX 2%. ANTAR CA. 50 OHM PR. KM. SKINNE
C <BUS1><BUS2><BUS1><BUS2><  R >< X >< C >
  A1S1                      50.0                                     {    1
  A1S2        A1S1
  A2S1        A1S1
  A2S2        A1S1
  B2S1        A1S1
  B2S2        A1S1
  C2S1        A1S1
  C2S2        A1S1
  D2S1        A1S1
  D2S2        A1S1
  D1S1        A1S1
  D1S2        A1S1
  E2S1        A1S1
  E2S2        A1S1
  F2S1        A1S1
  F2S2        A1S1
  G2S1        A1S1
  G2S2        A1S1
  H2S1        A1S1
  H2S2        A1S1
  I2S1        A1S1
  I2S2        A1S1
C $DISABLE
C KABELSKJERMER / JORDING SOM ER KOBLET MOT SKINNER REPRESENTERER CA. 120
OHM/KOBLINGSPUNKT
C <BUS1><BUS2><BUS1><BUS2><  R >< X >< C >
  A1S1                     120.0                                     {    1
  B1S1        A1S1
  C1S1        A1S1
  D1S1        A1S1
  E1S1        A1S1
  F1S1        A1S1
  G1S1        A1S1
  H1S1        A1S1
  I1S1        A1S1
  J1S1        A1S1
C $ENABLE
C
C SKINNER ER I PRAKSIS SAMMENKOBLET VED UT/INN FRA SPORFELTUTSTYR VIA OVERSP.VERN
C <BUS1><BUS2><BUS1><BUS2><  R >< X >< C >
```

```
C $DISABLE
  A1S1  A1S2                    0.01
  B1S1  B1S2  A1S1  A1S2
  C1S1  C1S2  A1S1  A1S2
  D1S1  D1S2  A1S1  A1S2
  E1S1  E1S2  A1S1  A1S2
  F1S1  F1S2  A1S1  A1S2
  G1S1  G1S2  A1S1  A1S2
  H1S1  H1S2  A1S1  A1S2
  I1S1  I1S2  A1S1  A1S2
  J1S1  J1S2  A1S1  A1S2
C PUNKTJORDING VED RESERVESTRØMTRAFOER
C <BUS1><BUS2><BUS1><BUS2><  R >< X >< C >
C $DISABLE
  A1S1                          40.0
  G1S1        A1S1
  J1S1        A1S1
C SKJERM PÅ TELEKABEL ER JORDET FOR CA. HVER 700 METER. SIGNALKABEL UJORDET ?
C <BUS1><BUS2><BUS1><BUS2><  R >< X >< C >
$DISABLE
  A2T                           1.0
  A1T         A2T
  B2T         A2T
  C2T         A2T
  D2T         A2T
  E2T         A2T
  F2T         A2T
  G2T         A2T
  H2T         A2T
  I2T         A2T
$ENABLE
C
C $DISABLE
C OVERSPENNINGS-VERN, ABB EXLIM Q MED MERKESPENNING 27 KV
C C
C BRANCH  A1K   A1S1 (OGGEVATN)
C C       NEXP      IPHASE      ERRLIM      IPRZNO        VREF      VFLASH
C           -1           3         .05           1      54000.
C C
C C         A1          A2          A3          A4          A5        AMIN
C          1.0         1.0         1.0         1.0          .0        .001
C C
C         .001      42000.
C         500.      52600.
C        1000.      53600.
C        5000.      61300.
C       10000.      64800.
C       20000.      71300.
C       60000.      95000.
C BLANK card bounds points of the ZnO characteristic
C  Rating =      1.0   V-mult =  1.00000E+00   I-mult =  1.00000E+00    Gapless
92A1K   A1S1                                5555.                                  1
C             V-reference                   V-flashover
   5.4000000000000000E+04  -1.0000000000000000E+02
C              Multiplier                     Exponent                       V-min
   2.3129509556586172E+03   5.8309563989020589E+01   7.7777777777777890E-01
   1.3147474413850734E+03   3.6805027460412482E+01   9.7407407407407542E-01
   1.0902925865170159E+03   1.2107716748770287E+01   9.9244894170404208E-01
   2.6658835740196778E+03   7.2511970942935617E+00   1.2021370687166690E+00
   6.9021639278567527E+03   3.8281766286372130E+00   1.3203703703703711E+00
                      9999
92G1K   G1S1  A1K   A1S1                    5555.                                  1
92J1K   J1S1  A1K   A1S1                    5555.                                  1
C $ENABLE
C $DISABLE
C VERN VED SUGETRAFOER
92D1K   D1S1  A1K   A1S1                    5555.                                  3
92F1K   F1S1  A1K   A1S1                    5555.                                  1
92H1K   H1S1  A1K   A1S1                    5555.                                  1
C $ENABLE
```

```
C $DISABLE
C VERN VED OMFORMERE I NORD (OM2K) OG SØR (OM1K)
92OM2K  OM2S1                          5555.                                {        1
C             V-reference              V-flashover
   5.4000000000000000E+04  -1.0000000000000000E+02
C              Multiplier                  Exponent                          V-min
   2.3129509556586172E+03   5.8309563989020589E+01   7.7777777777777890E-01
   1.3147474413850734E+03   3.6805027460412482E+01   9.7407407407407542E-01
   1.0902925865170159E+03   1.2107716748770287E+01   9.9244894170404208E-01
   2.6658835740196778E+03   7.2511970942935617E+00   1.2021370687166690E+00
   6.9021639278567527E+03   3.8281766286372130E+00   1.3203703703703711E+00
                      9999
92OM1K  OM1S1 OM2K  OM2S1               5555.                                {        1
C $ENABLE
C
$UNITS,    500000,    0
C
C    I K.C.LEE LINJE-MODELLEN ER RESISTANS/KM REDUSERT,
C    DA TOTAL RESISTANS MÅ VÆRE MINDRE ENN  4*BØLGEIMPEDANS.
C    INGEN BETYDNING FOR LYNOVERSPENNINGER, PÅVIRKER DEMPNINGEN I LITEN GRAD.
C
C ENKELTSPOR UT FRA OGGEVATN NORDOVER MOT NESTE OMFORMERSTASJON (30 KM)
C   2500.0  500000.                            1    30.0     0        44
$DISABLE
C NOMINAL PI CIRCUIT REPRESENTATION (SHORT-LINE EQUIVALENT)
$VINTAGE, 1
 1A1K   OM2K                 1.18897135E+04  1.70208140E+05  2.23723989E-01
 2A1S1  OM2S1                1.30507607E+04  4.07157568E+04 -6.32656438E-03
                             1.49970779E+04  1.25713993E+05  2.40805632E+00
 3A1S2  OM2S2                1.30507607E+04  4.07157568E+04 -6.32528619E-03
                             1.47292370E+04  6.48142812E+04 -1.09012118E-02
                             1.49970779E+04  1.25713993E+05  2.40805869E+00
 4A1T   OM2T                 1.30274475E+04  3.92510215E+04 -1.05857561E-03
                             1.46418844E+04  5.02527092E+04 -4.20637844E-04
                             1.47286002E+04  6.18976287E+04 -1.54537240E-03
                             1.51032442E+04  1.59549536E+05  9.31480452E-01
$VINTAGE, 0
$ENABLE
C    **** UNTRANSPOSED K.C. Lee line calculated at   5.000E+05 HZ. ****
C   2500.0  500000.0                                30.0     0           1 0
$VINTAGE, 1
-1A1K   OM2K                1.29080E+01 1.79710E+02 7.49336E+04-3.00000E+01 1  4
-2A1S1  OM2S1               7.09306E+00 4.26788E+02 2.90216E+05-3.00000E+01 1  4
-3A1S2  OM2S2               2.98462E+00 1.54795E+02 1.63738E+05-3.00000E+01 1  4
-4A1T   OM2T                9.89482E+00 9.40918E+01 1.37071E+05-3.00000E+01 1  4
$VINTAGE, 0
  0.02779735 -0.95614740  0.02200524  0.00133055
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.68315815  0.19442970 -0.04817145 -0.76470574
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.69888271  0.15658338 -0.58864286  0.62483109
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.20996480  0.15316946  0.80665660  0.15751022
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
C
C ENKELTSPOR FRA KVAREHEI (J1) SØROVER MOT NESTE OMFORMERSTASJON (30 KM)
C   2500.0  500000.                            1    30.0     0        44
$DISABLE
C NOMINAL PI CIRCUIT REPRESENTATION (SHORT-LINE EQUIVALENT)
$VINTAGE, 1
 1J1K   OM1K                 1.18897135E+04  1.70208140E+05  2.23723989E-01
 2J1S1  OM1S1                1.30507607E+04  4.07157568E+04 -6.32656438E-03
                             1.49970779E+04  1.25713993E+05  2.40805632E+00
 3J1S2  OM1S2                1.30507607E+04  4.07157568E+04 -6.32528619E-03
                             1.47292370E+04  6.48142812E+04 -1.09012118E-02
                             1.49970779E+04  1.25713993E+05  2.40805869E+00
 4J1T   OM1T                 1.30274475E+04  3.92510215E+04 -1.05857561E-03
                             1.46418844E+04  5.02527092E+04 -4.20637844E-04
                             1.47286002E+04  6.18976287E+04 -1.54537240E-03
                             1.51032442E+04  1.59549536E+05  9.31480452E-01
```

```
$VINTAGE, 0
$ENABLE
C    **** UNTRANSPOSED K.C. Lee line calculated at   5.000E+05 HZ. ****
C   2500.0  500000.0                                 30.0     0           1 0
$VINTAGE, 1
-1J1K   OM1K                1.29080E+01 1.79710E+02 7.49336E+04-3.00000E+01 1  4
-2J1S1  OM1S1               7.09306E+00 4.26788E+02 2.90216E+05-3.00000E+01 1  4
-3J1S2  OM1S2               2.98462E+00 1.54795E+02 1.63738E+05-3.00000E+01 1  4
-4J1T   OM1T                9.89482E+00 9.40918E+01 1.37071E+05-3.00000E+01 1  4
$VINTAGE, 0
  0.02779735 -0.95614740  0.02200524  0.00133055
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.68315815  0.19442970 -0.04817145 -0.76470574
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.69888271  0.15658338 -0.58864286  0.62483109
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.20996480  0.15316946  0.80665660  0.15751022
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
C
C
C SEKSJON A: 1. LENGDE: 475 METER SØROVER FRA OGGEVATN STASJON (25)
$DISABLE
C   2500.0  500000.                                1    .475     0        44
$VINTAGE, 1
 1A1K   A2K                 1.88253797E+02  2.69496222E+03  3.54229649E-03
 2A1S1  A2S1                2.06637045E+02  6.44666149E+02 -1.00170603E-04
                            2.37453733E+02  1.99047156E+03  3.81275584E-02
 3A1S2  A2S2                2.06637045E+02  6.44666149E+02 -1.00150365E-04
                            2.33212919E+02  1.02622612E+03 -1.72602520E-04
                            2.37453733E+02  1.99047156E+03  3.81275960E-02
 4A1T   A2T                 2.06267918E+02  6.21474507E+02 -1.67607805E-05
                            2.31829837E+02  7.95667896E+02 -6.66009920E-06
                            2.33202836E+02  9.80045788E+02 -2.44683963E-05
                            2.39134700E+02  2.52620098E+03  1.47484405E-02
$VINTAGE, 0
$ENABLE
C    **** UNTRANSPOSED K.C. Lee line calculated at   5.000E+05 HZ. ****
C   2500.0  500000.0                                 .475     0           1 0
$VINTAGE, 1
-1A1K   A2K                 1.29080E+02 1.79710E+02 7.49336E+04-4.75000E-01 1  4
-2A1S1  A2S1                7.09306E+01 4:26788E+02 2.90216E+05-4.75000E-01 1  4
-3A1S2  A2S2                2.98462E+01 1.54795E+02 1.63738E+05-4.75000E-01 1  4
-4A1T   A2T                 9.89482E+00 9.40918E+01 1.37071E+05-4.75000E-01 1  4
$VINTAGE, 0
  0.02779735 -0.95614740  0.02200524  0.00133055
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.68315815  0.19442970 -0.04817145 -0.76470574
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.69888271  0.15658338 -0.58864286  0.62483109
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.20996480  0.15316946  0.80665660  0.15751022
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
C
C SEKSJON B:  258h  -  1285 METER
$DISABLE
C   2500.0  500000.                                1   1.285     0        44
$VINTAGE, 1
 1B1K   B2K                 5.09276061E+02  7.29058201E+03  9.58284418E-03
 2B1S1  B2S1                5.59007585E+02  1.74399158E+03 -2.70987841E-04
                            6.42374835E+02  5.38474938E+03  1.03145079E-01
 3B1S2  B2S2                5.59007585E+02  1.74399158E+03 -2.70933092E-04
                            6.30902319E+02  2.77621171E+03 -4.66935238E-04
                            6.42374835E+02  5.38474938E+03  1.03145181E-01
 4B1T   B2T                 5.58008999E+02  1.68125209E+03 -4.53423221E-05
                            6.27160716E+02  2.15249105E+03 -1.80173210E-05
                            6.30875040E+02  2.65128176E+03 -6.61934511E-05
                            6.46922292E+02  6.83403845E+03  3.98984127E-02
$VINTAGE, 0
$ENABLE
C    **** UNTRANSPOSED K.C. Lee line calculated at   5.000E+05 HZ. ****
```

```
C   2500.0  500000.0                                1.285     0           1 0
$VINTAGE, 1
-1B1K   B2K                 1.29080E+02 1.79710E+02 7.49336E+04-1.28500E+00 1  4
-2B1S1  B2S1                7.09306E+01 4.26788E+02 2.90216E+05-1.28500E+00 1  4
-3B1S2  B2S2                2.98462E+01 1.54795E+02 1.63738E+05-1.28500E+00 1  4
-4B1T   B2T                 9.89482E+00 9.40918E+01 1.37071E+05-1.28500E+00 1  4
$VINTAGE, 0
  0.02779735 -0.95614740  0.02200524  0.00133055
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.68315815  0.19442970 -0.04817145 -0.76470574
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.69888271  0.15658338 -0.58864286  0.62483109
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.20996480  0.15316946  0.80665660  0.15751022
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
C
C SEKSJON C:  258g - 1331 METER
$DISABLE
C   2500.0  500000.                            1   1.331     0        44
$VINTAGE, 1
 1C1K   C2K                 5.27506955E+02  7.55156783E+03  9.92588763E-03
 2C1S1  C2S1                5.79018752E+02  1.80642241E+03 -2.80688573E-04
                            6.65370354E+02  5.57751084E+03  1.06837432E-01
 3C1S2  C2S2                5.79018752E+02  1.80642241E+03 -2.80631864E-04
                            6.53487149E+02  2.87559361E+03 -4.83650429E-04
                            6.65370354E+02  5.57751084E+03  1.06837537E-01
 4C1T   C2T                 5.77984419E+02  1.74143699E+03 -4.69654714E-05
                            6.49611606E+02  2.22954520E+03 -1.86622990E-05
                            6.53458894E+02  2.74619146E+03 -6.85630221E-05
                            6.70080600E+02  7.07868108E+03  4.13266827E-02
$VINTAGE, 0
$ENABLE
C  <+++++++>  Cards punched by support routine on  31-Aug-96  10.13.11  <+++++++>
C     **** UNTRANSPOSED K.C. Lee line calculated at   5.000E+05 HZ. ****
C   2500.0  500000.0                                1.331     0           1 0
$VINTAGE, 1
-1C1K   C2K                 1.29080E+02 1.79710E+02 7.49336E+04-1.33100E+00 1  4
-2C1S1  C2S1                7.09306E+01 4.26788E+02 2.90216E+05-1.33100E+00 1  4
-3C1S2  C2S2                2.98462E+01 1.54795E+02 1.63738E+05-1.33100E+00 1  4
-4C1T   C2T                 9.89482E+00 9.40918E+01 1.37071E+05-1.33100E+00 1  4
$VINTAGE, 0
  0.02779735 -0.95614740  0.02200524  0.00133055
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.68315815  0.19442970 -0.04817145 -0.76470574
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.69888271  0.15658338 -0.58864286  0.62483109
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.20996480  0.15316946  0.80665660  0.15751022
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
C
C SEKSJON D:  1159 METER FREM TIL VATNESTRAUMEN
$DISABLE
C   2500.0  500000.                            1   1.159     0        44
$VINTAGE, 1
 1D1K   D2K                 4.59339264E+02  6.57570782E+03  8.64320342E-03
 2D1S1  D2S1                5.04194390E+02  1.57298540E+03 -2.44416271E-04
                            5.79387108E+02  4.85675061E+03  9.30312425E-02
 3D1S2  D2S2                5.04194390E+02  1.57298540E+03 -2.44366890E-04
                            5.69039524E+02  2.50399173E+03 -4.21150148E-04
                            5.79387108E+02  4.85675061E+03  9.30313342E-02
 4D1T   D2T                 5.03293720E+02  1.51639780E+03 -4.08963045E-05
                            5.65664802E+02  1.94142967E+03 -1.62506420E-05
                            5.69014919E+02  2.39131172E+03 -5.97028870E-05
                            5.83488667E+02  6.16393040E+03  3.59861948E-02
$VINTAGE, 0
$ENABLE
C     **** UNTRANSPOSED K.C. Lee line calculated at   5.000E+05 HZ. ****
C   2500.0  500000.0                                1.159     0           1 0
$VINTAGE, 1
-1D1K   D2K                 1.29080E+02 1.79710E+02 7.49336E+04-1.15900E+00 1  4
```

```
-2D1S1  D2S1                7.09306E+01 4.26788E+02 2.90216E+05-1.15900E+00 1  4
-3D1S2  D2S2                2.98462E+01 1.54795E+02 1.63738E+05-1.15900E+00 1  4
-4D1T   D2T                 9.89482E+00 9.40918E+01 1.37071E+05-1.15900E+00 1  4
$VINTAGE, 0
  0.02779735 -0.95614740  0.02200524  0.00133055
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.68315815  0.19442970 -0.04817145 -0.76470574
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.69888271  0.15658338 -0.58864286  0.62483109
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.20996480  0.15316946  0.80665660  0.15751022
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
C
C SEKSJON E:  258e - 1573 METER
$DISABLE
C   2500.0  500000.                          1   1.573     0        44
$VINTAGE, 1
 1E1K   E2K                 6.23417310E+02  8.92458016E+03  1.17305945E-02
 2E1S1  E2S1                6.84294889E+02  2.13486285E+03 -3.31722859E-04
                            7.86346782E+02  6.59160372E+03  1.26262420E-01
 3E1S2  E2S2                6.84294889E+02  2.13486285E+03 -3.31655839E-04
                            7.72302994E+02  3.39842881E+03 -5.71586871E-04
                            7.86346782E+02  6.59160372E+03  1.26262544E-01
 4E1T   E2T                 6.83072495E+02  2.05806189E+03 -5.55046480E-05
                            7.67722807E+02  2.63491705E+03 -2.20554443E-05
                            7.72269602E+02  3.24549900E+03 -8.10290261E-05
                            7.91913437E+02  8.36571400E+03  4.88406251E-02
$VINTAGE, 0
$ENABLE
C    **** UNTRANSPOSED K.C. Lee line calculated at   5.000E+05 HZ. ****
C   2500.0  500000.0                            1.573     0          1 0
$VINTAGE, 1
-1E1K   E2K                1.29080E+02 1.79710E+02 7.49336E+04-1.57300E+00 1  4
-2E1S1  E2S1               7.09306E+01 4.26788E+02 2.90216E+05-1.57300E+00 1  4
-3E1S2  E2S2               2.98462E+01 1.54795E+02 1.63738E+05-1.57300E+00 1  4
-4E1T   E2T                9.89482E+00 9.40918E+01 1.37071E+05-1.57300E+00 1  4
$VINTAGE, 0
  0.02779735 -0.95614740  0.02200524  0.00133055
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.68315815  0.19442970 -0.04817145 -0.76470574
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.69888271  0.15658338 -0.58864286  0.62483109
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.20996480  0.15316946  0.80665660  0.15751022
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
C SEKSJON F:  258d - 1236 METER FREM TIL KIOSK 258c
$DISABLE
C   2500.0  500000.                          1   1.236     0        44
$VINTAGE, 1
 1F1K   F2K                 4.89856195E+02  7.01257538E+03  9.21742833E-03
 2F1S1  F2S1                5.37691343E+02  1.67748918E+03 -2.60654453E-04
                            6.17879608E+02  5.17941652E+03  9.92119204E-02
 3F1S2  F2S2                5.37691343E+02  1.67748918E+03 -2.60601791E-04
                            6.06844565E+02  2.67034839E+03 -4.49129925E-04
                            6.17879608E+02  5.17941652E+03  9.92120182E-02
 4F1T   F2T                 5.36730835E+02  1.61714209E+03 -4.36133153E-05
                            6.03245639E+02  2.07041162E+03 -1.73302792E-05
                            6.06818326E+02  2.55018230E+03 -6.36693428E-05
                            6.22253660E+02  6.57344088E+03  3.83769946E-02
$VINTAGE, 0
$ENABLE
C    **** UNTRANSPOSED K.C. Lee line calculated at   5.000E+05 HZ. ****
C   2500.0  500000.0                            1.236     0          1 0
$VINTAGE, 1
-1F1K   F2K                1.29080E+02 1.79710E+02 7.49336E+04-1.23600E+00 1  4
-2F1S1  F2S1               7.09306E+01 4.26788E+02 2.90216E+05-1.23600E+00 1  4
-3F1S2  F2S2               2.98462E+01 1.54795E+02 1.63738E+05-1.23600E+00 1  4
-4F1T   F2T                9.89482E+00 9.40918E+01 1.37071E+05-1.23600E+00 1  4
$VINTAGE, 0
  0.02779735 -0.95614740  0.02200524  0.00133055
```

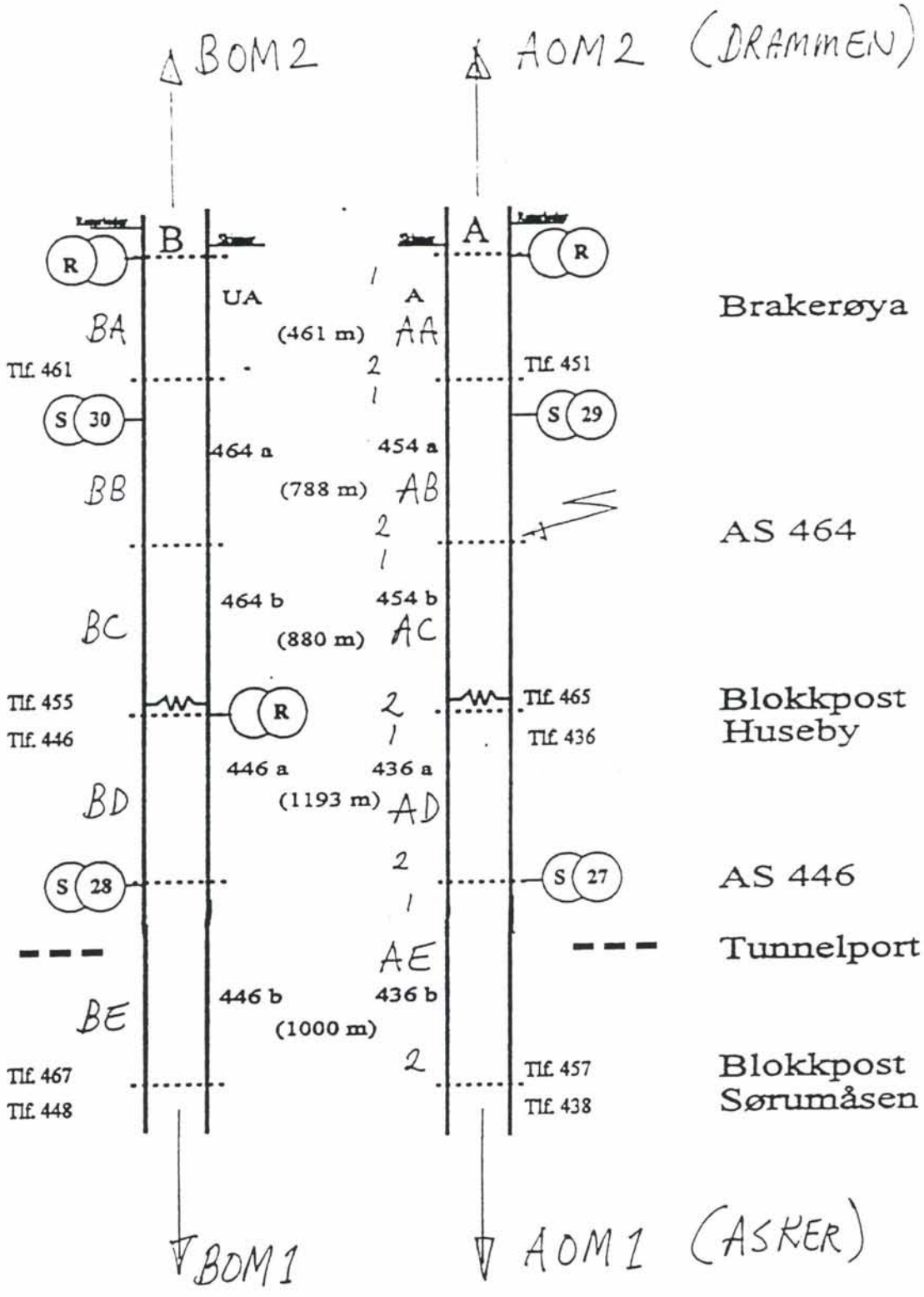
```
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.68315815  0.19442970 -0.04817145 -0.76470574
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.69888271  0.15658338 -0.58864286  0.62483109
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.20996480  0.15316946  0.80665660  0.15751022
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
C
C SEKSJON G:  258c - 1224 METER SØROVER FRA KIOSK 258c
$DISABLE
C   2500.0  500000.                          1   1.224     0        44
$VINTAGE, 1
 1G1K   G2K                  4.85100310E+02  6.94449213E+03  9.12793873E-03
 2G1S1  G2S1                 5.32471038E+02  1.66120288E+03 -2.58123827E-04
                             6.11880777E+02  5.12913093E+03  9.82486978E-02
 3G1S2  G2S2                 5.32471038E+02  1.66120288E+03 -2.58071676E-04
                             6.00952870E+02  2.64442267E+03 -4.44769440E-04
                             6.11880777E+02  5.12913093E+03  9.82487947E-02
 4G1T   G2T                  5.31519856E+02  1.60144168E+03 -4.31898850E-05
                             5.97388885E+02  2.05031054E+03 -1.71620240E-05
                             6.00926886E+02  2.52542325E+03 -6.30511939E-05
                             6.16212363E+02  6.50962106E+03  3.80044025E-02
$VINTAGE, 0
$ENABLE
C    **** UNTRANSPOSED K.C. Lee line calculated at   5.000E+05 HZ. ****
C   2500.0  500000.0                              1.224     0           1 0
$VINTAGE, 1
-1G1K   G2K                1.29080E+02 1.79710E+02 7.49336E+04-1.22400E+00 1  4
-2G1S1  G2S1               7.09306E+01 4.26788E+02 2.90216E+05-1.22400E+00 1  4
-3G1S2  G2S2               2.98462E+01 1.54795E+02 1.63738E+05-1.22400E+00 1  4
-4G1T   G2T                9.89482E+00 9.40918E+01 1.37071E+05-1.22400E+00 1  4
$VINTAGE, 0
  0.02779735 -0.95614740  0.02200524  0.00133055
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.68315815  0.19442970 -0.04817145 -0.76470574
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.69888271  0.15658338 -0.58864286  0.62483109
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.20996480  0.15316946  0.80665660  0.15751022
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
C
C SEKSJON H:  258b - 947 METER
$DISABLE
C   2500.0  500000.                          1   0.947     0        44
$VINTAGE, 1
 1H1K   H2K                  3.75318622E+02  5.37290363E+03  7.06222057E-03
 2H1S1  H2S1                 4.11969014E+02  1.28526072E+03 -1.99708549E-04
                             4.73407758E+02  3.96837172E+03  7.60143112E-02
 3H1S2  H2S2                 4.11969014E+02  1.28526072E+03 -1.99668201E-04
                             4.64952915E+02  2.04597081E+03 -3.44114918E-04
                             4.73407758E+02  3.96837172E+03  7.60143861E-02
 4H1T   H2T                  4.11233091E+02  1.23902391E+03 -3.34157035E-05
                             4.62195485E+02  1.58631052E+03 -1.32781346E-05
                             4.64932812E+02  1.95390181E+03 -4.87822554E-05
                             4.76759075E+02  5.03644702E+03  2.94037329E-02
$VINTAGE, 0
$ENABLE
C    **** UNTRANSPOSED K.C. Lee line calculated at   5.000E+05 HZ. ****
C   2500.0  500000.0                              0.947     0           1 0
$VINTAGE, 1
-1H1K   H2K                1.29080E+02 1.79710E+02 7.49336E+04-9.47000E-01 1  4
-2H1S1  H2S1               7.09306E+01 4.26788E+02 2.90216E+05-9.47000E-01 1  4
-3H1S2  H2S2               2.98462E+01 1.54795E+02 1.63738E+05-9.47000E-01 1  4
-4H1T   H2T                9.89482E+00 9.40918E+01 1.37071E+05-9.47000E-01 1  4
$VINTAGE, 0
  0.02779735 -0.95614740  0.02200524  0.00133055
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.68315815  0.19442970 -0.04817145 -0.76470574
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.69888271  0.15658338 -0.58864286  0.62483109
```

```
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.20996480  0.15316946  0.80665660  0.15751022
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
C SEKSJON I:  258a - 972 METER INN TIL KVAREHEI BLOKKPOST
$DISABLE
C   2500.0  500000.                                1   0.972     0        44
$VINTAGE, 1
 1I1K   I2K                  3.85226717E+02  5.51474375E+03  7.24865723E-03
 2I1S1  I2S1                 4.22844648E+02  1.31919052E+03 -2.04980686E-04
                             4.85905323E+02  4.07313338E+03  7.80210247E-02
 3I1S2  I2S2                 4.22844648E+02  1.31919052E+03 -2.04939272E-04
                             4.77227279E+02  2.09998271E+03 -3.53199261E-04
                             4.85905323E+02  4.07313338E+03  7.80211017E-02
 4I1T   I2T                  4.22089298E+02  1.27173310E+03 -3.42978499E-05
                             4.74397056E+02  1.62818778E+03 -1.36286661E-05
                             4.77206645E+02  2.00548317E+03 -5.00700657E-05
                             4.89345111E+02  5.16940496E+03  3.01799667E-02
$VINTAGE, 0
$ENABLE
C    **** UNTRANSPOSED K.C. Lee line calculated at   5.000E+05 HZ. ****
C   2500.0  500000.0                                0.972     0           1 0
$VINTAGE, 1
-1I1K   I2K                1.29080E+02 1.79710E+02 7.49336E+04-9.72000E-01 1  4
-2I1S1  I2S1               7.09306E+01 4.26788E+02 2.90216E+05-9.72000E-01 1  4
-3I1S2  I2S2               2.98462E+01 1.54795E+02 1.63738E+05-9.72000E-01 1  4
-4I1T   I2T                9.89482E+00 9.40918E+01 1.37071E+05-9.72000E-01 1  4
$VINTAGE, 0
  0.02779735 -0.95614740  0.02200524  0.00133055
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.68315815  0.19442970 -0.04817145 -0.76470574
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.69888271  0.15658338 -0.58864286  0.62483109
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.20996480  0.15316946  0.80665660  0.15751022
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
C
BLANK CARD TERMINATING BRANCHES
C
C *BREAKERS*
C BRYTERE FOR SAMMENKOBLING AV DE ENKELTE SEKSJONER
C <BUS1><BUS2>< T-CLOSE>< T-OPEN >
  A2K   B1K          -1.        1.                                    {         1
  A2S1  B1S1         -1.        1.                                    {         1
  A2S2  B1S2         -1.        1.                                    {         1
  A2T   B1T          -1.        1.                                    {         1
C <BUS1><BUS2>< T-CLOSE>< T-OPEN >
  B2K   C1K          -1.        1.                                    {         1
  B2S1  C1S1         -1.        1.                                    {         1
  B2S2  C1S2         -1.        1.                                    {         1
  B2T   C1T          -1.        1.                                    {         1
C SUGETRAFO (S71) ER TILKOKOBLET MELLOM SEKSJON C OG D
C TENNSPENNING OVER PRIMÆRVIKLINGER 1500 VOLT.
C ANTATT ISOLASJONSHOLDFASTHET MOT TRAFOKASSE/SKINNER 100 KV
C ANTATT ISOLASJONSHOLDFASTHET OVER ISOLERT SKINNESKJØT 30 KV
C <BUS1><BUS2>< T-CLOSE>< T-DELAY><  IE    >< FLASH  >
  C2K   D1K          -1         1.
C C2K   D1K                     1.     0.0       1500.                  {         2
  D1K   D1S1                    1.     0.0      100.E3                  {         2
  C2S1  D1S1                    1.     0.0       30.E3                  {         3
  C2S2  D1S2                    1.     0.0       30.E3                  {         3
  C2T   D1T          -1.        1.                                      {         1
  D1S1  D1S2          1.        1.                                      {         2
  D1S1  D1T           1.        1.                                      {         2
  D1S2  D1T           1.        1.                                      {         2
C <BUS1><BUS2>< T-CLOSE>< T-OPEN >
  D2K   E1K          -1.        1.                                    {         1
  D2S1  E1S1         -1.        1.                                    {         1
  D2S2  E1S2         -1.        1.                                    {         1
  D2T   E1T          -1.        1.                                    {         1
C <BUS1><BUS2>< T-CLOSE>< T-OPEN >
```

```
C SUGETRAFO (S72) ER TILKOBLET MELLOM SEKSJON E OG F
C <BUS1><BUS2>< T-CLOSE>< T-DELAY><  IE    >< FLASH  >
  E2K   F1K          -1.        1.
C E2K   F1K         0.0         1.     0.0     1500.                  {         1
  E2K   E2S1        0.0         1.     0.0    100.E3                  {         1
  E2S1  F1S1        0.0         1.     0.0     30.E3                  {         1
  E2S2  F1S2        0.0         1.     0.0     30.E3                  {         1
  E2T   F1T          -1.        1.                                    {         1
C <BUS1><BUS2>< T-CLOSE>< T-OPEN >
  F2K   G1K          -1.        1.                                    {         1
  F2S1  G1S1         -1.        1.                                    {         1
  F2S2  G1S2         -1.        1.                                    {         1
  F2T   G1T          -1.        1.                                    {         1
C <BUS1><BUS2>< T-CLOSE>< T-OPEN >
C SUGETRAFO (S73) ER TILKOBLET MELLOM SEKSJON G OG H
C <BUS1><BUS2>< T-CLOSE>< T-DELAY><  IE    >< FLASH  >
  G2K   H1K          -1.        1.
C G2K   H1K         0.0         1.     0.0     1500.                  {         1
  G2K   G2S1        0.0         1.     0.0    100.E3                  {         1
  G2S1  H1S1        0.0         1.     0.0     30.E3                  {         1
  G2S2  H1S2        0.0         1.     0.0     30.E3                  {         1
  G2T   H1T          -1.        1.     0.0                            {         1
C <BUS1><BUS2>< T-CLOSE>< T-OPEN >
  H2K   I1K          -1.        1.                                    {         1
  H2S1  I1S1         -1.        1.                                    {         1
  H2S2  I1S2         -1.        1.                                    {         1
  H2T   I1T          -1.        1.                                    {         1
C <BUS1><BUS2>< T-CLOSE>< T-OPEN >
C TILKOBLING MOT 30 KM LINJE MOT OMFORMERSTASJON
  I2K   J1K          -1.        1.                                    {         1
  I2S1  J1S1         -1.        1.                                    {         1
  I2S2  J1S2         -1.        1.                                    {         1
  I2T   J1T          -1.        1.                                    {         1
C MEASURING SWITCH FOR THE LIGHTNING STROKE
C LYN1  D2K                                          MEASURING                   1
C ISOLASJONSHOLDFASTHET FOR RESERVESTRØMTARFOENE.
C ANTAR 190 KV, I.E. 25 CM. LUFTAVSTAND. LANGE ISOLATORER ! OVERSLAG I FRILUFT ?
C <BUS1><BUS2>< T-CLOSE>< T-DELAY><  IE    >< FLASH  >
  A1K   A1S1        0.0         1.     0.0    190.E3                  {         1
  G1K   G1S1        0.0         1.     0.0    190.E3                  {         1
  J1K   J1S1        0.0         1.     0.0    190.E3                  {         1
C
C
BLANK CARD TERMINATING SWITCHES
C   NETWORK SOURCES (TYPE 14) 94% generation.
C |NAME |S|AMPLITUDE|FREQUENCY|PHASE SHF|PHSE UNIT|          |TSTART   |TSTOP
C       PHSE UNIT: = 0 Means units in degrees.
C       PHSE UNIT: > 0 Means units in seconds.
C       TSTART & TSTOP define the limits where the source is active.
C       A negative TSTART indicates precomputing values for steady state and
C       use them as initial conditions for the time step simulation.
C
C LIGHTNING STROKE TO THE OVERHEAD RAILWAY LINE
C
C  3.8/77.8 µSEC. - 10 kA   FACTOR 1.0511
C <NAME>ST<AMPLITU.><   A   >     B  >                    < TSTART >< TSTOP  >
C 15LYN   -1     10.E3   -9800.   -114.E4                        1.E-6        1.
C
C 1.0/200.0 µS - 20 kA
C <NAME>ST<AMPLITU.><   A   >     B  >                    < TSTART >< TSTOP  >
C  300 KV INN FRA LUFTLINJE. MAKS INDUSERT SPENNING. 99.5% SANNSYNLIGHET.
C 15LYN   -1    1333.     -2.E6    -6.5E3                        1.E-6        1.
C 15LYN   -1    2700.     -2.E6    -6.5E3                        1.E-6        1.
C
C  5000 KV INN FRA LUFTLINJE. 1.0/200 µS. EKVIVALENT MED 22 KA TIL LINJE.
C  ANTATT MAKS VERDI VED DIREKTE LYNNEDSLAG. STOLPEHØYDE 7 METER.
C <NAME>ST<AMPLITU.><   A   >     B  >                    < TSTART >< TSTOP  >
C 15LYN   -1   22000.     -2.E6    -6.5E3                        1.E-6        1.
C
C  14.0/250.0 µSEC. - 20 kA  FACTOR 1.07
```

```
C <NAME>ST<AMPLITU.><   A   >     B  >                          < TSTART >< TSTOP  >
15LYN   -1     10.E3   -3100.   -25.0E4                            1.E-6        1.
C
$DISABLE
C 16 2/3 HZ FEEDING SIDE, GENERATORS BEHIND A SHORT CIRCUIT IMPEDANCE
C      (15 KV - RMS)
C         < AMPL   >< FREQ.  ><PH. ANG >                          <TSTART  >< TSTOP  >
14G1A      21213.   16.66667  0.                                  -1.       1.
14G1B      21213.   16.66667  -120.                               -1.       1.
14G1C      21213.   16.66667  120.                                -1.       1.
C
C 95 HZ SPORFELTINDIKERING
C  11 VOLT MELLOM SKINNER, TRAFO ER TREKANT / STJERNE KOBLET
C  SPENNING PÅ PRIMÆRSIDE ER NORMALT 20 - 30 VOLT. VALGT TRAFO 1:1
14G2A       5.185      95.    0.                                  -1.       1.
14G2B       5.185      95.    -120.                               -1.       1.
14G2C       5.185      95.    120.                                -1.       1.
$ENABLE
C
BLANK CARD ENDING SOURCES
C
$DISABLE
C  OUTPUT REQUEST CARDS
  A1S1                  {  OGGEVATN
  C1S1                  {  1760 METER SØR FOR OGGEVATN
  D1S1                  {  SUGETRAFO S71
  D2S1                  {  VATNESTRAUMEN
  F1S1                  {  SUGETRAFO S72
  G1S1                  {  KIOSK 258 c
  H1S1                  {  SUGETRAFO S73
  I2S1                  {  KVAREHEI BLOKKPOST
$ENABLE
C
C $DISABLE
  A1K   A1T   A1S1  A1S2                 {  OGGEVATN
  C1K   C1T   { C1S1  C1S2                 {  1760 METER SØR FOR OGGEVATN
  D1K   D1T   { D1S1  D1S2                 {  SUGETRAFO S71
  D2K   D2T   D2S1  D2S2                 {  VATNESTRAUMEN
  F1K   F1T   { F1S1  F1S2                 {  SUGETRAFO S72
  G1K   G1T   { G1S1  G1S2                 {  KIOSK 258 c
  H1K   H1T   { H1S1  H1S2                 {  SUGETRAFO S73
  I2K   I2T   { I2S1  I2S2                 {  KVAREHEI BLOKKPOST
C $ENABLE
C OM1K  OM1T  { OM1S1 OM1S2                {  OMFORMER I SØR
C OM2K  OM2T  { OM2S1 OM2S2                {  OMFORMER I NORD
C
BLANK CARD  { Terminating output request.
BLANK CARD  { Terminating plotting request.
BEGIN NEW DATA CASE
BLANK CARD ENDING ALL CASES
```

EMTP BEREGNINGSMODELL FOR DOBBELTSPOR



EMTP BEREGNINGSMODELL FOR DOBBELTSPOR

```
BEGIN NEW DATA CASE
C       JULI - SEPTEMBER 1996. NSB - BEREGNINGER PÅ FRI LINJE.
C     LYNOVERSPENNINGER  DOBBELTSPOR
C     STREKNINGEN BRAKERØYA - BLOKKPOST SØRUMÅSEN ER MODELLERT
C     LINJE VIDERE VESTOVER/ØSTOVER MOT OMFORMERSTASJONER ER INNLAGT MED
C     3 KM (DRAMMEN) OG 11 KM (ASKER) AVSLUTTET MED OVERSPENNINGSVERN
C
C     REF.  NSB BANE, REGION SØR, TEKNISK KONTOR STRØMFORSYNING
C     STRØMSØ TORG 1, 3006 DRAMMEN / H.S. FADUM TLF. 32 27 58 57
C
C    THE STUDY IS PERFORMED BY TRANSINOR AS
C    THE EMTP CALCULATION MODEL IS DEVELOPED BY:
C    TRANSINOR, REF. HELGE JOHANSEN
C
C
C DELTA>< TMAX >< XOPT >< COPT ><EPSILN><TOLMAT><TSTART>
  .03E-6 100.E-6     50.
     500       1       0       0       0       0       0       1
C
C BRANCH CARDS:
C
C LIGHTNING TO NODE NAMED "LYN" (AB2K = KONTAKTLEDNING SKINNE A VED AS464
C <BUS1><BUS2><BUS1><BUS2><  R >< X >< C >
  LYN   AB2K                0.01                                                1
C
C STRØMAVLEDNING FRA SKINNER, MAX 2%. ANTAR CA. 50 OHM PR. KM. SKINNE
C <BUS1><BUS2><BUS1><BUS2><  R >< X >< C >
C SKINNE A
  AA1S1                     50.0                                          {     1
  AA1S2       AA1S1
  AB1S1       AA1S1
  AB1S2       AA1S1
  AC1S1       AA1S1
  AC1S2       AA1S1
  AD1S1       AA1S1
  AD1S2       AA1S1
  AE1S1       AA1S1
  AE1S2       AA1S1
C SKINNE B
  BA1S1       AA1S1
  BA1S2       AA1S1
  BB1S1       AA1S1
  BB1S2       AA1S1
  BC1S1       AA1S1
  BC1S2       AA1S1
  BD1S1       AA1S1
  BD1S2       AA1S1
  BE1S1       AA1S1
  BE1S2       AA1S1
C $DISABLE
C KABELSKJERMER / JORDING SOM ER KOBLET MOT SKINNER REPRESENTERER CA. 120
OHM/KOBLINGSPUNKT
C <BUS1><BUS2><BUS1><BUS2><  R >< X >< C >
C SKINNE A
  AA2S1                    120.0                                          {     1
  AB2S1       AA2S1
  AC2S1       AA2S1
  AD2S1       AA2S1
  AE2S1       AA2S1
C SKINNE B
  BA2S1       AA2S1
  BB2S1       AA2S1
  BC2S1       AA2S1
  BD2S1       AA2S1
  BE2S1       AA2S1
C $ENABLE
```

```
C
C SKINNER ER I PRAKSIS SAMMENKOBLET VED UT/INN FRA SPORFELTUTSTYR VIA OVERSP.VERN
C <BUS1><BUS2><BUS1><BUS2><  R >< X >< C >
C $DISABLE
C SKINNE A
  AA1S1 AA1S2                0.01
  AB1S1 AB1S2 AA1S1 AA1S2
  AC1S1 AC1S2 AA1S1 AA1S2
  AD1S1 AD1S2 AA1S1 AA1S2
  AE1S1 AE1S2 AA1S1 AA1S2
C SKINNE B
  BA1S1 BA1S2 AA1S1 AA1S2
  BB1S1 BB1S2 AA1S1 AA1S2
  BC1S1 BC1S2 AA1S1 AA1S2
  BD1S1 BD1S2 AA1S1 AA1S2
  BE1S1 BE1S2 AA1S1 AA1S2
C PUNKTJORDING VED RESERVESTRØMTRAFOER
C <BUS1><BUS2><BUS1><BUS2><  R >< X >< C >
C $DISABLE
  AA1S1                      40.0
  BA1S1       AA1S1
  BC1S1       AA1S1
C SKJERM PÅ TELEKABEL ER JORDET FOR CA. HVER 700 METER. SIGNALKABEL UJORDET
C <BUS1><BUS2><BUS1><BUS2><  R >< X >< C >
$DISABLE
C SKINNE A
  AA1T                        1.0
  AB1T        AA1T
  AC1T        AA1T
  AD1T        AA1T
  AE1T        AA1T
C SKINNE B
  BA1T        AA1T
  BB1T        AA1T
  BC1T        AA1T
  BD1T        AA1T
  BE1T        AA1T
$ENABLE
$DISABLE
C TERMINERING AV "ÅPNE" ENDER I HHV. DRAMMEN (OM2) OG ASKER (OM1).
C <BUS1><BUS2><BUS1><BUS2><  R >< X >< C >
C SKINNE A
  AOM2R                       1.0
  BOM2R       AOM2R
  AOM1R       AOM2R
  BOM1R       AOM2R
  BOM2T       AOM2R
  BOM1T       AOM2R
$ENABLE
C
C $DISABLE
C OVERSPENNINGS-VERN, ABB EXLIM Q MED MERKESPENNING 27 KV
C C
C BRANCH  AA1K   AA1S1 (BRAKERØYA)
C C       NEXP      IPHASE      ERRLIM      IPRZNO        VREF      VFLASH
C           -1           3         .05           1      54000.
C C
C C         A1          A2          A3          A4          A5        AMIN
C          1.0         1.0         1.0         1.0          .0        .001
C C
C         .001      42000.
C         500.      52600.
C        1000.      53600.
C        5000.      61300.
C       10000.      64800.
C       20000.      71300.
C       60000.      95000.
C BLANK card bounds points of the ZnO characteristic
C  Rating =      1.0   V-mult =  1.00000E+00   I-mult =  1.00000E+00    Gapless
92AA1K  AA1S1                          5555.                                    1
```

```
C             V-reference                V-flashover
   5.4000000000000000E+04  -1.0000000000000000E+02
C              Multiplier                  Exponent                        V-min
   2.3129509556586172E+03   5.8309563989020589E+01   7.7777777777777890E-01
   1.3147474413850734E+03   3.6805027460412482E+01   9.7407407407407542E-01
   1.0902925865170159E+03   1.2107716748770287E+01   9.9244894170404208E-01
   2.6658835740196778E+03   7.2511970942935617E+00   1.2021370687166690E+00
   6.9021639278567527E+03   3.8281766286372130E+00   1.3203703703703711E+00
                      9999
92BA1K  BA1S1 AA1K  AA1S1                5555.                                    1
92BD1K  BD1S1 AA1K  AA1S1                5555.                                    1
C $ENABLE
C $DISABLE
C VERN VED SUGETRAFOER
C SKINNE A
92AB1K  AB1S1 AA1K  AA1S1                5555.                                    3
92AE1K  AE1S1 AA1K  AA1S1                5555.                                    3
C SKINNE B
92BB1K  BB1S1 AA1K  AA1S1                5555.                                    3
92BE1K  BE1S1 AA1K  AA1S1                5555.                                    3
C $ENABLE
C
C $DISABLE
C VERN VED OMFORMERE I VEST (OM2K) OG ØST (OM1K)
C SKINNE A
92AOM2K AOM2S1                           5555.                            {       1
C             V-reference                V-flashover
   5.4000000000000000E+04  -1.0000000000000000E+02
C              Multiplier                  Exponent                        V-min
   2.3129509556586172E+03   5.8309563989020589E+01   7.7777777777777890E-01
   1.3147474413850734E+03   3.6805027460412482E+01   9.7407407407407542E-01
   1.0902925865170159E+03   1.2107716748770287E+01   9.9244894170404208E-01
   2.6658835740196778E+03   7.2511970942935617E+00   1.2021370687166690E+00
   6.9021639278567527E+03   3.8281766286372130E+00   1.3203703703703711E+00
                      9999
92AOM1K AOM1S1AOM2K AOM2S1               5555.                            {       1
C SKINNE B
92BOM2K BOM2S1AOM2K AOM2S1               5555.                            {       1
92BOM1K BOM1S1AOM2K AOM2S1               5555.                            {       1
C $ENABLE
C
$UNITS,    500000,    0
C
C    I K.C.LEE LINJE-MODELLEN ER RESISTANS/KM REDUSERT,
C    DA TOTAL RESISTANS MÅ VÆRE MINDRE ENN  4*BØLGEIMPEDANS.
C    INGEN BETYDNING FOR LYNOVERSPENNINGER, PÅVIRKER DEMPNINGEN I LITEN GRAD.
C
C    **** UNTRANSPOSED K.C. Lee line calculated at   5.000E+05 HZ. ****
C   2500.0  500000.0                                 1.0     0           1 0
C    The transformation matrix was calculated at  5.00000000E+05 Hz.
C FØRSTE LENGDE UT FRA BRAKERØYA - 461 METER (LENGDE A).
$VINTAGE, 1
-1BA1K  BA2K              2.33651E+01 2.10574E+02 6.25719E+04-0.46100E+00 1  9
-2BA1S1 BA2S1             2.71296E+01 1.21405E+02 1.05944E+05-0.46100E+00 1  9
-3BA1S2 BA2S2             2.67972E+01 1.55374E+02 1.63838E+05-0.46100E+00 1  9
-4BA1T  BA2T              1.14705E+01 9.35547E+01 1.36489E+05-0.46100E+00 1  9
-5BA1R  BA2R              8.60775E+00 8.90880E+01 1.40554E+05-0.46100E+00 1  9
-6AA1K  AA2K              1.64239E+02 5.10928E+02 2.80059E+05-0.46100E+00 1  9
-7AA1S1 AA2S1             1.46280E+01 4.36514E+02 2.94991E+05-0.46100E+00 1  9
-8AA1S2 AA2S2             3.91459E+00 3.75302E+02 2.99488E+05-0.46100E+00 1  9
-9AA1R  AA2R              4.27512E+00 3.60501E+02 2.99611E+05-0.46100E+00 1  9
$VINTAGE, 0
  0.01571573 -0.00265508  0.01336261  0.00241038  0.00102665  0.33705466
 -0.23880755  0.51462593 -0.67020566
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.49184303 -0.54716574 -0.58454454  0.49491477  0.27200925 -0.17256620
  0.05937439 -0.01971163  0.00809167
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
```

```
  0.50965680 -0.35956605 -0.01010357 -0.62480961 -0.49789211 -0.18258757
  0.03011730 -0.03153874  0.00592690
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.15525089 -0.13175392  0.80831169  0.13391152  0.07723835 -0.19789639
  0.08937083 -0.00626389  0.00511392
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.01740074 -0.00628455  0.02258240  0.00492334  0.00239078  0.45763847
 -0.70766479 -0.45748231  0.26753050
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.01552242  0.00319551  0.00680670  0.00173652 -0.00072591  0.37994448
  0.19612349  0.54024746  0.64508270
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.47217509  0.59296399 -0.04282866  0.44605875 -0.50000732 -0.25796066
 -0.06360250 -0.02097595 -0.00782240
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.50021143  0.44973111 -0.04727929 -0.38435537  0.64971480 -0.20330793
 -0.01901374 -0.03178846 -0.00424137
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.01691264  0.00645661  0.00577237  0.00308290 -0.00217095  0.56784264
  0.62200543 -0.48075959 -0.25082699
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
C
C ANDRE LENGDE UT FRA BRAKERØYA - 788 METER (LENGDE B).
$VINTAGE, 1
-1BB1K  BB2K                2.33651E+01 2.10574E+02 6.25719E+04-0.78800E+00 1  9
-2BB1S1 BB2S1               2.71296E+01 1.21405E+02 1.05944E+05-0.78800E+00 1  9
-3BB1S2 BB2S2               2.67972E+01 1.55374E+02 1.63838E+05-0.78800E+00 1  9
-4BB1T  BB2T                1.14705E+01 9.35547E+01 1.36489E+05-0.78800E+00 1  9
-5BB1R  BB2R                8.60775E+00 8.90880E+01 1.40554E+05-0.78800E+00 1  9
-6AB1K  AB2K                1.64239E+02 5.10928E+02 2.80059E+05-0.78800E+00 1  9
-7AB1S1 AB2S1               1.46280E+01 4.36514E+02 2.94991E+05-0.78800E+00 1  9
-8AB1S2 AB2S2               3.91459E+00 3.75302E+02 2.99488E+05-0.78800E+00 1  9
-9AB1R  AB2R                4.27512E+00 3.60501E+02 2.99611E+05-0.78800E+00 1  9
$VINTAGE, 0
  0.01571573 -0.00265508  0.01336261  0.00241038  0.00102665  0.33705466
 -0.23880755  0.51462593 -0.67020566
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.49184303 -0.54716574 -0.58454454  0.49491477  0.27200925 -0.17256620
  0.05937439 -0.01971163  0.00809167
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.50965680 -0.35956605 -0.01010357 -0.62480961 -0.49789211 -0.18258757
  0.03011730 -0.03153874  0.00592690
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.15525089 -0.13175392  0.80831169  0.13391152  0.07723835 -0.19789639
  0.08937083 -0.00626389  0.00511392
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.01740074 -0.00628455  0.02258240  0.00492334  0.00239078  0.45763847
 -0.70766479 -0.45748231  0.26753050
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.01552242  0.00319551  0.00680670  0.00173652 -0.00072591  0.37994448
  0.19612349  0.54024746  0.64508270
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.47217509  0.59296399 -0.04282866  0.44605875 -0.50000732 -0.25796066
 -0.06360250 -0.02097595 -0.00782240
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.50021143  0.44973111 -0.04727929 -0.38435537  0.64971480 -0.20330793
```

```
 -0.01901374 -0.03178846 -0.00424137
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.01691264  0.00645661  0.00577237  0.00308290 -0.00217095  0.56784264
  0.62200543 -0.48075959 -0.25082699
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
C
C TREDJE LENGDE UT FRA BRAKERØYA - 880 METER TIL BLOKKPOST HUSEBY (LENGDE C).
$VINTAGE, 1
-1BC1K  BC2K                2.33651E+01 2.10574E+02 6.25719E+04-0.88000E+00 1  9
-2BC1S1 BC2S1               2.71296E+01 1.21405E+02 1.05944E+05-0.88000E+00 1  9
-3BC1S2 BC2S2               2.67972E+01 1.55374E+02 1.63838E+05-0.88000E+00 1  9
-4BC1T  BC2T                1.14705E+01 9.35547E+01 1.36489E+05-0.88000E+00 1  9
-5BC1R  BC2R                8.60775E+00 8.90880E+01 1.40554E+05-0.88000E+00 1  9
-6AC1K  AC2K                1.64239E+02 5.10928E+02 2.80059E+05-0.88000E+00 1  9
-7AC1S1 AC2S1               1.46280E+01 4.36514E+02 2.94991E+05-0.88000E+00 1  9
-8AC1S2 AC2S2               3.91459E+00 3.75302E+02 2.99488E+05-0.88000E+00 1  9
-9AC1R  AC2R                4.27512E+00 3.60501E+02 2.99611E+05-0.88000E+00 1  9
$VINTAGE, 0
  0.01571573 -0.00265508  0.01336261  0.00241038  0.00102665  0.33705466
 -0.23880755  0.51462593 -0.67020566
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.49184303 -0.54716574 -0.58454454  0.49491477  0.27200925 -0.17256620
  0.05937439 -0.01971163  0.00809167
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.50965680 -0.35956605 -0.01010357 -0.62480961 -0.49789211 -0.18258757
  0.03011730 -0.03153874  0.00592690
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.15525089 -0.13175392  0.80831169  0.13391152  0.07723835 -0.19789639
  0.08937083 -0.00626389  0.00511392
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.01740074 -0.00628455  0.02258240  0.00492334  0.00239078  0.45763847
 -0.70766479 -0.45748231  0.26753050
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.01552242  0.00319551  0.00680670  0.00173652 -0.00072591  0.37994448
  0.19612349  0.54024746  0.64508270
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.47217509  0.59296399 -0.04282866  0.44605875 -0.50000732 -0.25796066
 -0.06360250 -0.02097595 -0.00782240
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.50021143  0.44973111 -0.04727929 -0.38435537  0.64971480 -0.20330793
 -0.01901374 -0.03178846 -0.00424137
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.01691264  0.00645661  0.00577237  0.00308290 -0.00217095  0.56784264
  0.62200543 -0.48075959 -0.25082699
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
C FJERDE LENGDE UT FRA BRAKERØYA - 1193 METER TIL TUNNELPORT (LENGDE D).
$VINTAGE, 1
-1BD1K  BD2K                2.33651E+01 2.10574E+02 6.25719E+04-1.19300E+00 1  9
-2BD1S1 BD2S1               2.71296E+01 1.21405E+02 1.05944E+05-1.19300E+00 1  9
-3BD1S2 BD2S2               2.67972E+01 1.55374E+02 1.63838E+05-1.19300E+00 1  9
-4BD1T  BD2T                1.14705E+01 9.35547E+01 1.36489E+05-1.19300E+00 1  9
-5BD1R  BD2R                8.60775E+00 8.90880E+01 1.40554E+05-1.19300E+00 1  9
-6AD1K  AD2K                1.64239E+02 5.10928E+02 2.80059E+05-1.19300E+00 1  9
-7AD1S1 AD2S1               1.46280E+01 4.36514E+02 2.94991E+05-1.19300E+00 1  9
-8AD1S2 AD2S2               3.91459E+00 3.75302E+02 2.99488E+05-1.19300E+00 1  9
-9AD1R  AD2R                4.27512E+00 3.60501E+02 2.99611E+05-1.19300E+00 1  9
$VINTAGE, 0
  0.01571573 -0.00265508  0.01336261  0.00241038  0.00102665  0.33705466
 -0.23880755  0.51462593 -0.67020566
```

```
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.49184303 -0.54716574 -0.58454454  0.49491477  0.27200925 -0.17256620
  0.05937439 -0.01971163  0.00809167
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.50965680 -0.35956605 -0.01010357 -0.62480961 -0.49789211 -0.18258757
  0.03011730 -0.03153874  0.00592690
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.15525089 -0.13175392  0.80831169  0.13391152  0.07723835 -0.19789639
  0.08937083 -0.00626389  0.00511392
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.01740074 -0.00628455  0.02258240  0.00492334  0.00239078  0.45763847
 -0.70766479 -0.45748231  0.26753050
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.01552242  0.00319551  0.00680670  0.00173652 -0.00072591  0.37994448
  0.19612349  0.54024746  0.64508270
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.47217509  0.59296399 -0.04282866  0.44605875 -0.50000732 -0.25796066
 -0.06360250 -0.02097595 -0.00782240
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.50021143  0.44973111 -0.04727929 -0.38435537  0.64971480 -0.20330793
 -0.01901374 -0.03178846 -0.00424137
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.01691264  0.00645661  0.00577237  0.00308290 -0.00217095  0.56784264
  0.62200543 -0.48075959 -0.25082699
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
C FEMTE LENGDE UT FRA BRAKERØYA - 1000 METER TIL BLOKKPOST SØRUMÅSEN (LENGDE E).
$DISABLE
$VINTAGE, 1
-1BE1K  BE2K                2.33651E+01 2.10574E+02 6.25719E+04-1.00000E+00 1  9
-2BE1S1 BE2S1               2.71296E+01 1.21405E+02 1.05944E+05-1.00000E+00 1  9
-3BE1S2 BE2S2               2.67972E+01 1.55374E+02 1.63838E+05-1.00000E+00 1  9
-4BE1T  BE2T                1.14705E+01 9.35547E+01 1.36489E+05-1.00000E+00 1  9
-5BE1R  BE2R                8.60775E+00 8.90880E+01 1.40554E+05-1.00000E+00 1  9
-6AE1K  AE2K                1.64239E+02 5.10928E+02 2.80059E+05-1.00000E+00 1  9
-7AE1S1 AE2S1               1.46280E+01 4.36514E+02 2.94991E+05-1.00000E+00 1  9
-8AE1S2 AE2S2               3.91459E+00 3.75302E+02 2.99488E+05-1.00000E+00 1  9
-9AE1R  AE2R                4.27512E+00 3.60501E+02 2.99611E+05-1.00000E+00 1  9
$VINTAGE, 0
  0.01571573 -0.00265508  0.01336261  0.00241038  0.00102665  0.33705466
 -0.23880755  0.51462593 -0.67020566
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.49184303 -0.54716574 -0.58454454  0.49491477  0.27200925 -0.17256620
  0.05937439 -0.01971163  0.00809167
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.50965680 -0.35956605 -0.01010357 -0.62480961 -0.49789211 -0.18258757
  0.03011730 -0.03153874  0.00592690
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.15525089 -0.13175392  0.80831169  0.13391152  0.07723835 -0.19789639
  0.08937083 -0.00626389  0.00511392
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.01740074 -0.00628455  0.02258240  0.00492334  0.00239078  0.45763847
 -0.70766479 -0.45748231  0.26753050
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.01552242  0.00319551  0.00680670  0.00173652 -0.00072591  0.37994448
  0.19612349  0.54024746  0.64508270
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
```

```
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.47217509  0.59296399 -0.04282866  0.44605875 -0.50000732 -0.25796066
 -0.06360250 -0.02097595 -0.00782240
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.50021143  0.44973111 -0.04727929 -0.38435537  0.64971480 -0.20330793
 -0.01901374 -0.03178846 -0.00424137
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.01691264  0.00645661  0.00577237  0.00308290 -0.00217095  0.56784264
  0.62200543 -0.48075959 -0.25082699
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
$ENABLE
C
C $DISABLE
C AVSTAND MELLOM BRAKERØYA OG DRAMMEN (OM2K) - ANTAR 3 KM.
$VINTAGE, 1
-1BA1K  BOM2K              2.33651E+01 2.10574E+02 6.25719E+04-3.00000E+00 1  9
-2BA1S1 BOM2S1             2.71296E+01 1.21405E+02 1.05944E+05-3.00000E+00 1  9
-3BA1S2 BOM2S2             2.67972E+01 1.55374E+02 1.63838E+05-3.00000E+00 1  9
-4BA1T  BOM2T              1.14705E+01 9.35547E+01 1.36489E+05-3.00000E+00 1  9
-5BA1R  BOM2R              8.60775E+00 8.90880E+01 1.40554E+05-3.00000E+00 1  9
-6AA1K  AOM2K              1.64239E+02 5.10928E+02 2.80059E+05-3.00000E+00 1  9
-7AA1S1 AOM2S1             1.46280E+01 4.36514E+02 2.94991E+05-3.00000E+00 1  9
-8AA1S2 AOM2S2             3.91459E+00 3.75302E+02 2.99488E+05-3.00000E+00 1  9
-9AA1R  AOM2R              4.27512E+00 3.60501E+02 2.99611E+05-3.00000E+00 1  9
$VINTAGE, 0
  0.01571573 -0.00265508  0.01336261  0.00241038  0.00102665  0.33705466
 -0.23880755  0.51462593 -0.67020566
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.49184303 -0.54716574 -0.58454454  0.49491477  0.27200925 -0.17256620
  0.05937439 -0.01971163  0.00809167
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.50965680 -0.35956605 -0.01010357 -0.62480961 -0.49789211 -0.18258757
  0.03011730 -0.03153874  0.00592690
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.15525089 -0.13175392  0.80831169  0.13391152  0.07723835 -0.19789639
  0.08937083 -0.00626389  0.00511392
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.01740074 -0.00628455  0.02258240  0.00492334  0.00239078  0.45763847
 -0.70766479 -0.45748231  0.26753050
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.01552242  0.00319551  0.00680670  0.00173652 -0.00072591  0.37994448
  0.19612349  0.54024746  0.64508270
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.47217509  0.59296399 -0.04282866  0.44605875 -0.50000732 -0.25796066
 -0.06360250 -0.02097595 -0.00782240
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.50021143  0.44973111 -0.04727929 -0.38435537  0.64971480 -0.20330793
 -0.01901374 -0.03178846 -0.00424137
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.01691264  0.00645661  0.00577237  0.00308290 -0.00217095  0.56784264
  0.62200543 -0.48075959 -0.25082699
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
C $DISABLE
C AVSTAND MELLOM BLOKKPOST SØRUMÅSEN OG ASKER (ANTAR 11 KM SOM ER TUNELL-LENGDEN).
C NB! PGA. "ARRAY OVERFLOW" ER INNLAGT FRA AS 446 (TUNNELPORT).
C STARTER DERFOR PÅ BD2 / AD2 ISTEDENFOR BE2 / AE2. INGEN BETYDNING FOR MAX
SPENNNG.
$VINTAGE, 1
```

```
-1BD2K  BOM1K              2.33651E+01 2.10574E+02 6.25719E+04-1.00000E+01 1  9
-2BD2S1 BOM1S1             2.71296E+01 1.21405E+02 1.05944E+05-1.00000E+01 1  9
-3BD2S2 BOM1S2             2.67972E+01 1.55374E+02 1.63838E+05-1.00000E+01 1  9
-4BD2T  BOM1T              1.14705E+01 9.35547E+01 1.36489E+05-1.00000E+01 1  9
-5BD2R  BOM1R              8.60775E+00 8.90880E+01 1.40554E+05-1.00000E+01 1  9
-6AD2K  AOM1K              1.64239E+02 5.10928E+02 2.80059E+05-1.00000E+01 1  9
-7AD2S1 AOM1S1             1.46280E+01 4.36514E+02 2.94991E+05-1.00000E+01 1  9
-8AD2S2 AOM1S2             3.91459E+00 3.75302E+02 2.99488E+05-1.00000E+01 1  9
-9AD2R  AOM1R              4.27512E+00 3.60501E+02 2.99611E+05-1.00000E+01 1  9
$VINTAGE, 0
  0.01571573 -0.00265508  0.01336261  0.00241038  0.00102665  0.33705466
 -0.23880755  0.51462593 -0.67020566
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.49184303 -0.54716574 -0.58454454  0.49491477  0.27200925 -0.17256620
  0.05937439 -0.01971163  0.00809167
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.50965680 -0.35956605 -0.01010357 -0.62480961 -0.49789211 -0.18258757
  0.03011730 -0.03153874  0.00592690
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.15525089 -0.13175392  0.80831169  0.13391152  0.07723835 -0.19789639
  0.08937083 -0.00626389  0.00511392
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.01740074 -0.00628455  0.02258240  0.00492334  0.00239078  0.45763847
 -0.70766479 -0.45748231  0.26753050
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.01552242  0.00319551  0.00680670  0.00173652 -0.00072591  0.37994448
  0.19612349  0.54024746  0.64508270
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.47217509  0.59296399 -0.04282866  0.44605875 -0.50000732 -0.25796066
 -0.06360250 -0.02097595 -0.00782240
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.50021143  0.44973111 -0.04727929 -0.38435537  0.64971480 -0.20330793
 -0.01901374 -0.03178846 -0.00424137
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.01691264  0.00645661  0.00577237  0.00308290 -0.00217095  0.56784264
  0.62200543 -0.48075959 -0.25082699
  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000
  0.00000000  0.00000000  0.00000000
$ENABLE
BLANK CARD TERMINATING BRANCHES
C
C *BREAKERS*
C BRYTERE FOR SAMMENKOBLING AV DE ENKELTE SEKSJONER
C SKINNE A
C <BUS1><BUS2>< T-CLOSE>< T-OPEN >
  AA2K  AB1K          -1.         1.                                    {          1
  AA2S1 AB1S1         -1.         1.                                    {          1
  AA2S2 AB1S2         -1.         1.                                    {          1
  AA2R  AB1R          -1.         1.                                    {          1
C <BUS1><BUS2>< T-CLOSE>< T-OPEN >
  AB2K  AC1K          -1.         1.                                    {          1
  AB2S1 AC1S1         -1.         1.                                    {          1
  AB2S2 AC1S2         -1.         1.                                    {          1
  AB2R  AC1R          -1.         1.                                    {          1
C <BUS1><BUS2>< T-CLOSE>< T-OPEN >
C <BUS1><BUS2>< T-CLOSE>< T-OPEN >
  AC2K  AD1K          -1.         1.                                    {          1
  AC2S1 AD1S1         -1.         1.                                    {          1
  AC2S2 AD1S2         -1.         1.                                    {          1
  AC2R  AD1R          -1.         1.                                    {          1
C <BUS1><BUS2>< T-CLOSE>< T-OPEN >
  AD2K  AE1K          -1.         1.                                    {          1
```

```
  AD2S1 AE1S1        -1.        1.                                    {         1
  AD2S2 AE1S2        -1.        1.                                    {         1
  AD2R  AE1R         -1.        1.                                    {         1
C
C SKINNE B
C <BUS1><BUS2>< T-CLOSE>< T-OPEN >
  BA2K  BB1K         -1.        1.                                    {         1
  BA2S1 BB1S1        -1.        1.                                    {         1
  BA2S2 BB1S2        -1.        1.                                    {         1
  BA2R  BB1R         -1.        1.                                    {         1
C <BUS1><BUS2>< T-CLOSE>< T-OPEN >
  BB2K  BC1K         -1.        1.                                    {         1
  BB2S1 BC1S1        -1.        1.                                    {         1
  BB2S2 BC1S2        -1.        1.                                    {         1
  BB2R  BC1R         -1.        1.                                    {         1
C <BUS1><BUS2>< T-CLOSE>< T-OPEN >
C <BUS1><BUS2>< T-CLOSE>< T-OPEN >
  BC2K  BD1K         -1.        1.                                    {         1
  BC2S1 BD1S1        -1.        1.                                    {         1
  BC2S2 BD1S2        -1.        1.                                    {         1
  BC2R  BD1R         -1.        1.                                    {         1
C <BUS1><BUS2>< T-CLOSE>< T-OPEN >
  BD2K  BE1K         -1.        1.                                    {         1
  BD2S1 BE1S1        -1.        1.                                    {         1
  BD2S2 BE1S2        -1.        1.                                    {         1
  BD2R  BE1R         -1.        1.                                    {         1
C $DISABLE
C SUGETRAFO (S29-SKINNE A OG S30-SKINNE B) ER TILKOKOBLET MELLOM LENGDE A OG B
C SUGETRAFO (S27-SKINNE A OG S28-SKINNE B) ER TILKOKOBLET MELLOM LENGDE D OG E
C TENNSPENNING OVER PRIMÆRVIKLINGER 1500 VOLT.
C ANTATT ISOLASJONSHOLDFASTHET MOT TRAFOKASSE/SKINNER 100 KV
C ANTATT ISOLASJONSHOLDFASTHET OVER ISOLERT SKINNESKJØT 30 KV
C <BUS1><BUS2>< T-CLOSE>< T-DELAY><  IE    >< FLASH  >
  AB1K  AB1S1                  1.     0.0      100.E3                {         2
  BB1K  BB1S1                  1.     0.0      100.E3                {         3
  AE1K  AE1S1                  1.     0.0      100.E3                {         3
  BE1K  BE1S1                  1.     0.0      100.E3                {         3
C OPPTAK FRA SKINNER TIL RETURLEDNING VED BLOKKPOST HUSEBY
C ANTAR ISOLASJONSHOLDFASTHET FOR FILTERIMPEDANS PÅ 30 KV.
  AD1S1 AD1R                   1.     0.0       30.E3                {         3
  BD1S1 BD1R                   1.     0.0       30.E3                {         3
C $ENABLE
C <BUS1><BUS2>< T-CLOSE>< T-OPEN >
$DISABLE
C MEASURING SWITCH FOR THE LIGHTNING STROKE
C LYN1  D2K                                          MEASURING                 1
C ISOLASJONSHOLDFASTHET FOR RESERVESTRØMTARFOENE.
C ANTAR 190 KV, I.E. 25 CM. LUFTAVSTAND. LANGE ISOLATORER ! OVERSLAG I FRILUFT ?
C RESERVESTRØMTRAFOER PÅ BRAKERØYA, SKINNE A OG B SAMT SKINNE B, BLOKKPOST HUSEBY
C <BUS1><BUS2>< T-CLOSE>< T-DELAY><  IE    >< FLASH  >
  AA1K  AA1S1       0.0        1.     0.0    190.E3                {         1
  BA1K  BA1S1       0.0        1.     0.0    190.E3                {         1
  BD1K  BD1S1       0.0        1.     0.0    190.E3                {         1
$ENABLE
C
C
BLANK CARD TERMINATING SWITCHES
C   NETWORK SOURCES (TYPE 14) 94% generation.
C |NAME |S|AMPLITUDE|FREQUENCY|PHASE SHF|PHSE UNIT|          |TSTART   |TSTOP
C       PHSE UNIT: = 0 Means units in degrees.
C       PHSE UNIT: > 0 Means units in seconds.
C       TSTART & TSTOP define the limits where the source is active.
C       A negative TSTART indicates precomputing values for steady state and
C       use them as initial conditions for the time step simulation.
C
C LIGHTNING STROKE TO THE OVERHEAD RAILWAY LINE
C
C  3.8/77.8 µSEC. - 10 kA   FACTOR 1.0511
C <NAME>ST<AMPLITU.><   A   >     B  >                    < TSTART >< TSTOP  >
C 15LYN   -1     10.E3   -9800.   -114.E4                        1.E-6        1.
```

```
C
C 1.0/200.0 µS - 20 kA
C <NAME>ST<AMPLITU.><   A   >     B  >                          < TSTART >< TSTOP  >
C 15LYN   -1    1333.     -2.E6    -6.5E3                            1.E-6        1.
C 15LYN   -1    2700.     -2.E6    -6.5E3                            1.E-6        1.
C
C  14.0/250.0 µSEC. - 20 kA  FACTOR 1.07
C <NAME>ST<AMPLITU.><   A   >     B  >                          < TSTART >< TSTOP  >
15LYN   -1     10.E3   -3100.   -25.0E4                             1.E-6        1.
C
$DISABLE
C 16 2/3 HZ FEEDING SIDE, GENERATORS BEHIND A SHORT CIRCUIT IMPEDANCE
C      (15 KV - RMS)
C          < AMPL   >< FREQ.  ><PH. ANG >                          <TSTART  >< TSTOP  >
14G1A       21213.   16.66667  0.                                  -1.       1.
14G1B       21213.   16.66667  -120.                               -1.       1.
14G1C       21213.   16.66667  120.                                -1.       1.
C
C 105 HZ SPORFELTINDIKERING
C  11 VOLT MELLOM SKINNER, TRAFO ER TREKANT / STJERNE KOBLET
C  SPENNING PÅ PRIMÆRSIDE ER NORMALT 20 - 30 VOLT. VALGT TRAFO 1:1
14G2A        5.185     105.    0.                                 -1.       1.
14G2B        5.185     105.    -120.                              -1.       1.
14G2C        5.185     105.    120.                               -1.       1.
$ENABLE
C
BLANK CARD ENDING SOURCES
C
C  OUTPUT REQUEST CARDS
C
C $DISABLE
C SKINNE A
  AA1K  AA1S1 AA1R                  {  SKINNE A - BRAKERØYA
  AB1K  AB1S1 AB1R                  {  SKINNE A - S29
  AC1K  AC1S1 AC1R                  {  SKINNE A - AS 464
  AD1K  AD1S1 DA1R                  {  SKINNE A - HUSEBY
  AE1K  AE1S1 AE1R                  {  SKINNE A - AS 446
C SKINNE B
  BA1K  BA1S1 BA1R                  {  SKINNE B - BRAKERØYA
  BB1K  BB1S1 BB1R                  {  SKINNE B - S29
  BC1K  BC1S1 BC1R                  {  SKINNE B - AS 464
  BD1K  BD1S1 BA1R                  {  SKINNE B - HUSEBY
  BE1K  BE1S1 BE1R                  {  SKINNE B - AS 446
C OM1K  OM1T  { OM1S1 OM1S2               {  OMFORMER I ØST
C OM2K  OM2T  { OM2S1 OM2S2               {  OMFORMER I VEST
C
BLANK CARD  { Terminating output request.
BLANK CARD  { Terminating plotting request.
BEGIN NEW DATA CASE
BLANK CARD ENDING ALL CASES
```

VEDLEGG - 3

Endel kopier av mottatt underlag fra NSB

VEDLEGG 4.1 · DRIFTSFORHOLD FOR SPORFELTER

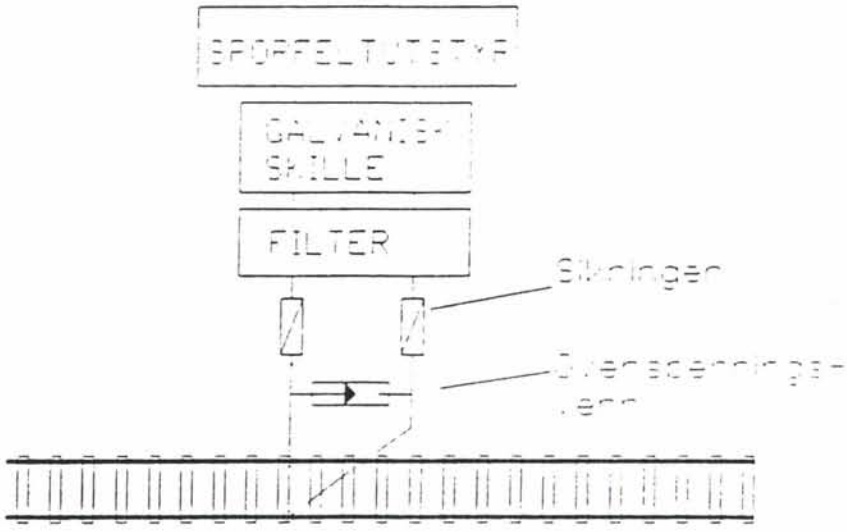
Dette vedlegget beskriver hvilke tiltak man kan gjøre for å bedre driftsforholdene for sporfelter.

Skinnegangen

For å få best mulig driftsforhold for sporfeltene bør ballasten byttes så ofte som mulig, og man må bruke sviller med lav konduktivitet. Det må brukes et isolerende belegg mellom skinnelegeme og svilla. Forøvrig bør all isolasjon mellom skinnene og i skinnegangen med jevne mellomrom inspiseres.

Beskyttelse mot forstyrrelser fra returstrømmen

Ved tilknytting til sporet anbefales det bruk av et filter for å redusere ledet støy fra sporet. I tillegg bør man ha sikringer som er dimensjonert i forhold til maksimal belastningsstrøm, og overspenningsvern som ligger mellom isolasjonsnivået og driftsspenningen., se figur 1.



Figur 1 *Vern ved tilkoblinger til sporet*

Isolasjonsholdfastheten til det galvaniske skille må være dimensjonert i forhold til isolasjonsnivået i returkretsen. Man må gjøre en vurdering på nødvendigheten av et overspenningsvern da en transformator i det galvaniske skille vil fungere som et overspenningsvern.

Togradio

Overspenningsbeskyttelse.

220 Volt nett.

Radiostasjoner i kjosker med togradioinstallasjoner skal overspenningsbeskyttes med 220 volt vern.

Som ordinær overspenningsbeskyttelse skal benyttes vern i sikringsskap med min. 10 kA avledningsevne.

Ved nyinstallasjon av radiosystemer og innmontering av togradio skal vern type PHOENIX VALVETRAB benyttes.

Valvetrab er et moduloppbygget overspenningsvern med en belastningsgrense ved gjentatte overslag på 10 kA. Engangsbelastningen er 40 kA.

Restspenningen etter overspenningsvernet VALVETRAB er 3,8 x merkespenningen . For 220V blir det 220 x 3,8 = 836 Volt. Innkoblingstiden er ca. 25 nS.

Ved overbelastning eller for høy varmeutvikling i vernet utløser en sikring som kobler vernet fra kursen. Deffekt vern varsles med skilt på fronten (DEFECT), og fjernmeldekontakt i sokkelen. Meldekontakten kan tilkobles vedlikeholdsradiosystemets overvåkingsystem.

Vernet kan benyttes med hovedsikringer opptill 63 A og monteres etter hovedsikring i sikringskap. Vernene kobles bare mellom hver fase og jord.

Vernet kan byttes av ikke autorisert personale og medfører ingen berøringsfare.

Dersom stedet er svært utsatt for direkte lynnedslag skal PHOENIX POWERTRAB benyttes. Dette har en avledningstrøm på 100 kA. erstattes av FLASHTRAB

Restspenningen etter POWERTRAB er 10 x merkespenningen. Det vil for 220 volt gi maksimalt 2 - 3 kV ved full belastning.

POWERTRAB kan benyttes med hovedsikringer intill 100 A og kan brukes i hovedtavler og i tilførselsskap foran kjosken. Skal POWERTAB kombineres med VALVETRAB elementer må det minimum være en kabel mellom vernene på 20 meter.

VALVETRAB BASISELEMENT	VAL- BE/FM	Best.nr.:	27 83 25 7
VALVETRAB STIKKER	VAL- ST220	"	27 83 26 0
JORDBRYGGE 2 POL	VAL - LB2	"	27 83 37 0
POWERTRAB	FM / 2	"	27 82 42 3

Leverandør: Phoenix Contact A/S

Postboks 41 - Risløkka, 0516 OSLO 5 Telefon 02 65 35 30

Hk. Estr. 22.09.89

Togradio

Generell instruks for jording av radiokjosker.

Jordledningen.

I henhold til "Forskrifter for elektriske anlegg" skal jordledninger av kopper som legges i jord ha et tverrsnitt på minst 25 mm2, eller kobbervelt 20 mm2 stål og 6 mm2 kopper. Utrangert bærelinje kan benyttes. Jordledning fra elektroden skal ha samme tverrsnitt og føres frem til felles jordskinne i kjosken. Fra bakken og opp til jordskinne skal jordlederen være issolert. Forbindelser i bakken skal være presset.

Jordelektroden.

Som jordelektrode brukes jordspyd og / eller kråkefot nedgravd i bakken.

Jordelektrodene plasseres så nær kjosken som mulig, men ved planleggingen må det tas hensyn til eventuelle myrdrag, bekker osv. Avstanden mellom jordelektroden og kjosken bør ikke overstige 100 m. Dersom avstander mellom mast og kjosk er mere enn 20 meter bør to separate jordnett vurderes.

Jordnettet må på ingen deler være nærmere skinnejord enn 5 m og bør fortrinnsvis legges lå langt fra skinnegang som mulig.

Målt jordmotstand på 10 - 15 ohm bør tilstrebes. Jordmotstand skal ikke overstige 30 ohm uten spesiell godkjenning.

Antennemast skal jordes sammen med jordnettet til nærmeste antenneben. Spesielt klammer for mastetypen skal benyttes. Sammenkoblingen av jorkabel fra antennemasten skal skje mest mulig i senter av jordnettet.

Jordskinne i kjosk.

Jordledning skal tilkobles felles jordskinne i kjosk. Alle andre jordledninger fra sikringstavle, 220 volt vern, telekabel mantel / armering, linjevern, basisstasjonskap vedlikeholdsradio og togradio og antennekabler skal føres til felles jordskinne. Jordleder fra disse elementene skal være minimum 6 mm2.

Hk. Estr 26.09.89

Linjevern.

Styrelinjer på telekabel for togradiosystemet skal vernes med linjevern.

Vern av typen PHOENIX PLUGTRAB skal benyttes. Linjevernet er en kombinasjon av parallellkoblede gassfylte overspenningsavledere, varistorer og supressordioder, med mellomliggende drossler.

Linjevernet har en avledingsstrøm på 10 kA. Restspenningen er merkespenningen x 1,8 mellom paret. Mellom partrådene og jord er restspenningen ca 600 volt.

For 12 volt vern vil restspenningen bli 12 x 1,8 = 21,6 volt ved maksimal avledning 10 kA. Reaksjonstiden mellom partrådene er 0,1 ns og til jord 100 ns.

Vernet kan megges med 500 volt mot jord.

Vernet består av en underdel og en pluggbar stikker. Alle avledningskomponentene er plassert i den pluggbare delen som enkelt kan skiftes ved overbelastet (defekt) vern. Drosslene er plassert i basiselementet (sokkelen). Det er spesielle måleinstrumenter for testing av vernet. (Plugtrab-tester I -1)

Vernet skal innkobles på alle linjer ut fra sentralenheten og ved alle skilletransformatorer på linjen. Dessuten skal vern plasseres umiddelbart foran alle linjekort i basisstasjonene på linjen. Som en galvanisk skille mellom linjen og linjekortet benyttes en linjetransformator med minimum 4 kV overslagspenning.

Vernet leveres standard for spenninger mellom 5 volt og 220 volt.

PLUGTRAB BASISELEMENT	UFBK 2-PE-12 AC-BE	27 97 79 3
PLUGTRAB STIKKER	UFBK 2-PE-12 AC-ST	27 92 24 8

Leverandør:

Phoenix Contact A/S

Postboks 41 - Risløkka, 0516 OSLO 5 Telefon 02 65 35 30

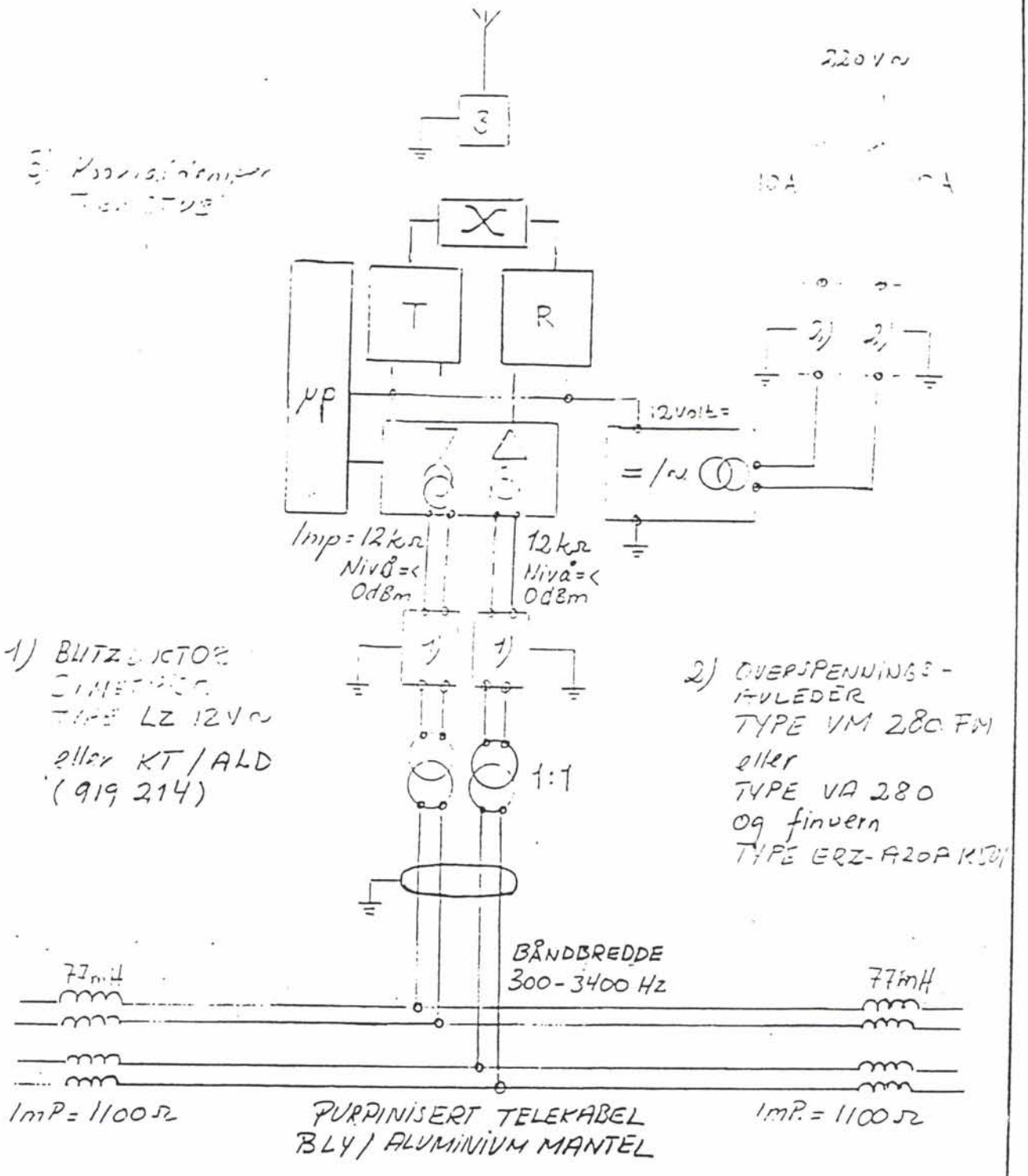
Som skilletransformator fra sentralutstyret, som skilletransformator på linjen og mot basisstasjone benyttes type 1833 - 12 kV.

Trafoen har viklinger for omsetningsforholdene 1100 : 1100 ohm, 1100 : 600 ohm, 600 : 600 ohm. Dempning for talebåndet 300 - 3400 Hz = 0,3 dB. Testspenning mellom primær og sekundærviklingene og mot skjerm (jord) = 14 kV.

Leverandør er

Enebakk Transformator Verksted, Boks 27, 1911 FLATEBY.

Tlf. 09 92 85 40.



G				TOERADIO	Målestokk		Dato	Sign.
F				OVERSP. BESKYTTELSE		Tegnet	19.09.89	GB
E				PRINSIPP		Kfr.		
D					Erstatning for:			
C				NSB				
B				HOVEDKONTORET				6.
A				ENGINEERINGAVDELINGEN				
	Dato	Rettelser	Sign.		Erstattet av:			

5.2.8. Jordelektroder

Jordelektroder skal ha en overgangsmotstand mot jord som er så lav at utillatelig høye berøringsspenninger (125 V, kortvarig 250 V) ikke oppstår.

For jordelektroder som skal benyttes som vanlig beskyttelsesjording mot berøringsfare, kan ulike typer jordelektrode benyttes. Dette kan være plater, utstrakte liner, spyd, trådkveil, kråkefot e.l.

For jording av overspenningsavledere benyttes kråkefot. Jordleder mellom overspenningsavleder og jordelektrode må gjøres så kort som mulig.

Jordelektroder som tilhører ulike jordingssystemer, adskilt fra hverandre, må ha en innbyrdes avstand av minimum 20 meter.

5.2.9. Spenningsmessig udefinerte komponenter

Spenningsmessig udefinerte komponenter er ikke tillatt innenfor avstand 5,0 m fra spormidt, horisontalt målt. Dette betyr at komponenter enten skal være spenningsførende eller jordet.

Unntak: Beskyttelsesseksjoner, dødseksjoner og avspenningsliner i loddavspenninger samt barduner under bardunisolator tillates spenningsmessig udefinert.

5.2.10. Seriejording

Utsatte anleggsdeler skal jordes direkte. Seriejording er normalt ikke tillatt. Anleggsdeler som på forsvarlig måte er festet til stålmaster/åk anses jordet når masten/åket er jordet. ET NSB kan i særskilte tilfelle tillate annen sammenkobling av ledende gjenstander som jordes felles, men det stilles da strenge krav til forbindelsenes ledningsevne og mekaniske sikkerhet.

5.2.11. Jording av transformatorer

Transformator for togvarme eller reservestrømsforsyning, skal foruten driftsjord ha den ene høyspennings- og lavspenningspol jordet til egen jordelektrode.

5.2.12. Jording av jordingsbrytere

Jordingsbryter skal ha 2 separate jordforbindelser til spor, som forbindes til forskjellige skinnestrenger (i samme eller forskjellig spor). Den ene jordleder skal legges direkte fra bryterens jordede pol, den andre som ren beskyttelsesjord koblet til jordingsbryter på vanlig måte.

5.2.13. Jording av kabelføringer

Kabelføringer i systemer med driftsjord skal utføres med armering eller skjerm jordet bare i en ende.

4.2. RETURKRETS

4.2.1. Oppbygging

Returstrøm for banedrift kan føres gjennom

- Jernbaneskinner
- Egen returledning eller -kabel
- Ulike typer forbindelser
- Sugetransformatorer
- Filterimpedanser

Ledertverrsnitt og oppbygging av returleder og komponenter i returkretsen forøvrig, må være tilpasset de største forekommende belastninger i vedkommende anlegg. Dette gjelder såvel for kortslutninger som for kortvarige og varige belastninger.

I returkrets tillates ikke brytere eller sikringer.

4.2.2. Jording av returkrets

Banedrift med driftsjord skal ha god, ledende forbindelse mellom returkrets og jord.

Minst for hver 5. km skal returkretsen tilkobles jordelektrode.

Driftsjord må ikke tilkobles andre jordingssystemer eller ledende konstruksjoner.

4.2.3. Vagabonderende strømmer

Det tillates ikke vagabonderende strømmer som kan gi farlige berøringsspenninger eller som kan virke forstyrrende på elektroniske anlegg.

Vagabonderende strømmer kan begrenses ved bruk av sugetransformatorer og egen returledning.

4.2.4. Sugetransformatorer

Innbyrdes avstand mellom sugetransformatorer skal ikke være større enn at varig spenningen over den isolerende skjøten ikke overstiger 125 V.
Kortvarig kan tillates 250 V.

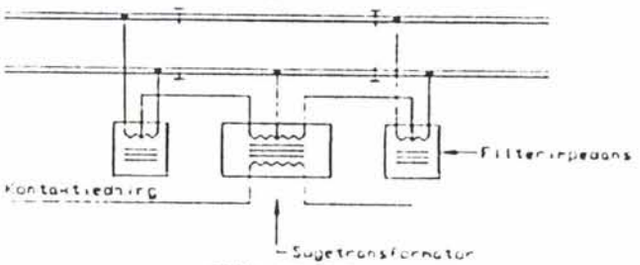
Over primærviklingen (mellom kontaktledningstilkoblingene) på sugetransformator skal det være montert overspenningsvern med tennspenning max 1500 V.

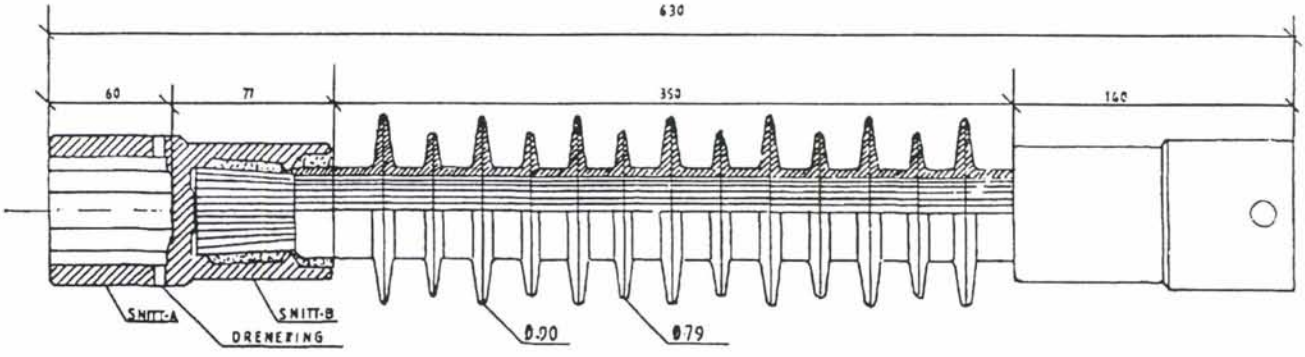
Sugetransformator skal ikke plasseres nærmere hovedsignal enn 300 meter.

Sugetransformatorer må være godkjent for alle forekommende belastninger.

SUGETRANSFORMATOR PÅ STREKNING MED DOBBELT-ISOLERT FELT SKJEMATISK

Fig. 4.5.





Revisjon	Antall	Beskrivelse	Dato	Utarbeidet	Fagkontr.	Godkjent

Oppdragsgiver

Jernbaneverket Region Sør - Isolatorer

Sak

Isolatorer i

kontaktledningsanlegget

Mars 1997

Utarbeidet
Geir Rismyhr

Fagkontrollert
Carl Erik Hillesund

Godkjent
Thore Trolsås

Dato
5. mars 1997

Berdal Strømme

Oppdragsnr. - Dokumentnr.
2935500-ET30500

Revisjon

c:\oppdrag\2935500\dok\et30500a.doc

Innledning

Dette dokumentet består av 4 deldokumenter som omhandler følgende emner:

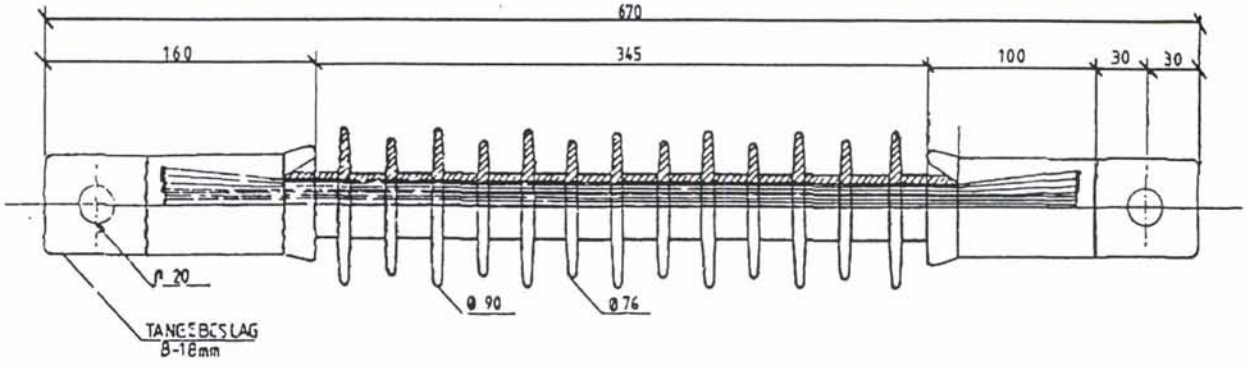
Deldokument 1: Krav til tester, prøver og dokumentasjon
Beskriver hvilke krav som isolatorene i kontaktledningsanlegget skal tilfredsstille og hvilken dokumentasjon det er naturlig å stille krav om.

Deldokument 1 oppsummerer deldokumentene 2, 3 og 4.

Deldokument 2: Bruksområder
Beskrivelse av hvor i Jernbaneverkets's kontaktledningsanlegg isolatorer benyttes og hvilken type isolator benyttes.

Deldokument 3: Forskrifter og normer
Oversikt over internasjonale og nasjonale forskrifter og normer

Deldokument 4: Påkjenninger
Beskrivelse av hvilke elektriske, mekaniske og andre påkjenninger isolatorene utsettes for.



Revisjon	Antall	Beskrivelse	Dato	Utarbeidet	Fagkontr.	Godkjent

Oppdragsgiver

Jernbaneverket Region Sør - Isolatorer

Sak

Deldokument 1

Isolatorer i kontaktledningsanlegget

Krav til tester, prøver og dokumentasjon

Mars 1997

Utarbeidet: G. Rismyhr

Fagkontrollert: Carl Erik Hillesund

Godkjent: Thore Trolsås

Dato: 13. mars 1997

Berdal Strømme

Oppdragsnr. - Dokumentnr.: 2935500-ET30501

Revisjon:

Innholdsfortegnelse

1. INNLEDNING 3

2. MEKANISKE KRAV ---------- 3

2.1 Isolatorer i kontakttråd og bæreline ---------- 3

2.2 Isolatorer i utligger ---------- 3

2.3 Isolatorer i retur-, mate-, forbigangs- og forsterkningsledning ---------- 5

2.4 Isolatorer i bardunwire ---------- 5

2.5 Vandalisme ---------- 6

3. ELEKTROTEKNISKE KRAV ---------- 6

3.1 Generelt ---------- 6

3.2 Overspenninger ---------- 7

3.3 Forurensing ---------- 7

3.4 Isolasjonskoordinering - krav til isolator ---------- 7

4. KRAV TIL DOKUMENTASJON ---------- 8

4.1 Generelt ---------- 8

4.2 Vedlikehold ---------- 10

Vedlegg: Literaturreferanse

1. Innledning

Med utgangspunkt i deldokument 2; Bruksområder , deldokument 3; Forskrifter og normer og deldokument 4; Påkjenninger vil dette deldokumentet definere hvilke mekaniske, elektrotekniske og andre krav, forskrifter og normer som skal stilles til isolatorer. Det vil også diskuteres krav til dokumentasjon.

2. Mekaniske Krav

2.1 *Isolatorer i kontakttråd og bæreline*

Forskriftskrav(Forskrifter for elektriske anlegg - forsyningsanlegg 1995, § 73.2.3; Strekkisolatorer):
"Strekkisolatorer skal ha en elektrotekniske bruddstyrke som skal være 4 ganger den belastningen som isolatoren må oppta som følge av aktuelle belastnings tilfeller".
"Isolatorer på forankringsmaster og endemaster skal dog ha en elektromekanisk bruddstyrke som minst skal være 1,6 ganger ledningens bruddstyrke"

Isolatorer i kontakttråd og bæreline må dimensjoneres for følgende mekanisk påkjenninger:

Kontaktledningssystem	Strekkrefter i kontakttråd og bæreline kN	4xbelastning kN	1,6 x linens bruddstyrke Kontakttråd kN	1,6 x linens bruddstyrke bæreline kN
System 35	7,2	28,8	56,0	45,8
System 20 A	10	40,0	56,0	45,8
System 20 B	10	40,0	56,0	45,8
System 20 C_1	13	52,0	56,0	45,8
System 25	15	60,0	67,2	61,8
System 25 tunnel	15	60,0	67,2	61,8

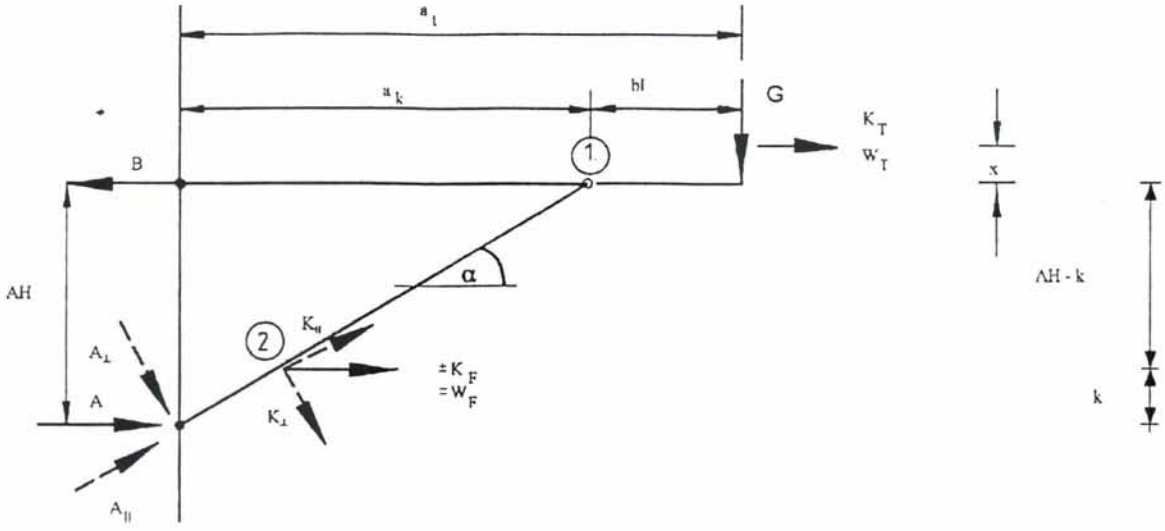
Tabell 1: Mekaniske krav til isolatorer i kontakttråd og bærline

Isolatorer i kontakttråd og bæreline utsettes for strekkrefter. Det skal derfor utføres strekkprøver på isolatorene som beskrevet i deldokument 3.

2.2 *Isolatorer i utligger*

Forskriftskrav(Forskrifter for elektriske anlegg - forsyningsanlegg 1995, § 73.2.4; Stavisolatorer):
"For mekaniske belastninger av stavisolatorer gjelder samme bestemmelser som for strekkisolatorer"

Isolatorer i utliggere må dimensjoneres for følgende mekaniske påkjenninger (Se figur 1).



Figur 1: Krefter og belastninger på utligger

Kontaktledningssystem	Strekk-/ trykkrefter i isolatorer i strekkutligger		4xbelastning	
	B [N]	A_{II} [N]	B [N]	A_{II} [N]
System 20 A	6024	4993	24096	19972
System 20 B	6015	4780	24060	19120
System 20 C_1	7789	5325	31156	21300
System 25	6339	5014	25356	20056
System 25 - Tunnel	7903	4475	31612	17900
System 35	5306	4253	21224	17012

Tabell 2: Mekaniske krav til isolatorer i strekkutligger

Kontaktledningssystem	Strekk-/ trykkkrefter i isolatorer i trykkutliggere		4xbelastning	
	B [N]	A_{II} [N]	B [N]	A_{II} [N]
System 20 A	3594 / -3385	5420	14373 / -13540	21680
System 20 B	3516 / -2868	5402	14064 / -11472	21608
System 20 C_1	2011 / -5164	5485	8004 / -20656	21940
System 25	2660 / -4570	5073	10640 / -18280	20292
System 25 - Tunnel	1228 / -4848	5318	4912 / -19392	21272
System 35	2831 / -2102	4463	11324 / -8408	17852

Tabell 3: Mekaniske krav til isolatorer i trykkutligger

Isolatorer i utliggere utsettes for strekk- / trykk- og bøyekrefter. De skal derfor utføres strekk- /trykk og bøyeprøve som beskrevet i deldokument 3.

2.3 *Isolatorer i retur-, mate-, forbigangs- og forsterkningsledning*

Belastninger	Maksimale krefter krefter [kp]	3 x belastninger [kp]
Vertikale krefter	2,81	8,43
Horisontale sidekrefter	1,11	3,33

Tabell 4: Mekaniske krav til isolatorer i retur-, mate, forbigang- og forsterkningsledninger

Ovennevnte krefter er for returledning, som vil være noe større enn for de øvrige ledningene. Dette skyldes at returledningen er isolert, og har dermed en noe større diamanter. Forskriftskrav (Forskrifter for elektriske anlegg - Forsyningsanlegg 1995 §73.2.3 Strekkisolatorer:

"Strekkisolatorer skal ha en elektromekanisk bruddstyrke som minst skal være 4 ganger den belastning som isolatoren må oppta som følger av aktuelle belastningstilfelle".

"Isolatorer på forankringsmaster og endemaster skal dog ha en elektromekanisk bruddstyrke som minst skal være 1.6 ganger ledningens bruddstyrke.

Iht. FEA-F §72 c og d beregnes maksimalt strekk i ledningen lik 40 % av linens bruddlast. Krav til isolatorens elektromekaniske bruddstyrke blir 4 ganger 40 % av linens bruddlast 4x0,4 lik 1,6 ganger linens bruddlast.

Line	Bruddlast [kN]	1,6 x bruddlast [kN]
Feral nr. 150	36,29	58,06

Tabell 5: Bruddstyrke Feral nr. 150

2.4 *Isolatorer i bardunwire*

Forskriftskrav(Forskrifter for elektriske anlegg - forsyningsanlegg 1995, § 73.2.5; Bardunisolator):
"Bardunisolatorer skal ha en sikkerhet mot brudd på 3."

Forutsettes en vinkel på 45 ^{0} mellom mast og bardunwire fås følgende belastning

Kontaktledning-system	Strekkkrefter kontakttråd og bæreline [kN]	Strekkrefter i bardunwire [kN]	3xbelastningen [kN]
System 35	2x7,2	20,4	60,6
System 20	10,0	14,1	42,3
System 20 C	13,0	18,4	55,2
System 25	15,0	21,2	63,3

Tabell 6: Mekaniske krav til bardunisolatorer

Bardunisolatorer utsettes for strekkrefter. Det skal derfor utføres strekkprøver på isolatorene som beskrevet i deldokument 3.

2.5 *Vandalisme*

Isolatorene kan utsettes for vandalisme. Vanlig former for vandalisme er knusing av isolator med hjelp av skudd fra skytevåpen/sprettert eller gjenstand kastet mot isolator. For å sikre seg best mulig mot følgeskader av hærverk kan det velges materiale som står best mot hærverk. Av erfaring har det vist seg at glassisolatorer har bedre egenskaper enn porselen når det gjelder drift med ødelagte isolatorskjørt. Ved å velge glassisolatorer framfor porselenisolatorer er det letter å opprettholde normal drift frem til isolatoren kan byttes ut.

Når det gjelder komposittisolatorer har de også gode egenskaper med hensyn til vandalisme. Ulempen med komposittisolatorer, spesielt eldre typer, i forhold til glassisolatorer er at skader ofte kan være vanskelig å oppdage.

3. Elektrotekniske krav

3.1 *Generelt*

Kontaktledningsanlegget er et enfase 16 2/3 Hz anlegg med systemspenning 15 kV mellom fase og jord. Driftsspenning for anlegget er minimum 12 kV og maksimum 17,25 kV mellom fase og jord.
Som beskrevet i deldokument 3 er minimum dynamisk isoalsjonsavstand for kontaktledningsanlegget 150 mm og minimum statisk isolasjonsavstand 250 mm. Dynamisk og statisk isolasjonsavstand har betydning for utformingen av isolatorene spesielt på steder der det er begrensninger mhp plass, f.eks i skjæringer og i tunneler.

Når det gjelder minimum krypstrømsavstand er den avhengig av hvilken forurensingsklasse omgivelsene er klassifiseret. Se forøvrig deldokument 3.

Kontaktledningsanlegget har en frekvens som er 16 2/3 Hz. Ved utarbeidelsen av dette deldokument er det ikke fremkommet underlag som tyder på at frekvensen har avgjørende betydning for de elektriske påkjenningene isolatorene utsettes for.

For anleggets driftsspenning er 1 min. holdespenning den dimensjonerende test. Som det fremgår i Tabell 7 (gjengitt fra NEK 391 (1989)) skal holdespenningsfastheten være:

Høyeste spenning for matr./utsyr U_m (eff. verdi) [kV]	Merkelynimpuls holdespenning (maks verdi) [kV]	Merkeholdespenning ved driftsfrekvens (eff.verdi) [kV]	
		Fase-jord	Fase-fase
24	125	50	50
36	170	70	70
52	325(*	95	95

*) Tremaster 250 kV

Tabell 7: Standard merke-holdespenning for isolasjon fase-jord

Som det fremgår stilles det samme krav til merkeholdespenning for fase-fase og fase-jord. Dette gjør at isolatorer for Jernbaneverkets kontaktledningsanlegg med driftsspenning på 17,25 kV fase-jord kan benytte isolatorer godkjent for driftsspenning 24 kV fase-fase.

Det har ikke fremkommet dokumentasjon som tyder på at frekvensen har noen vesentlig betydning for de elektrotekniske egenskapene. 1 min. holdespenningsprøven kan utføres med frekvens 50 Hz på isolatorer som skal brukes i Jernbaneverkets 16 2/3 Hz kontaktledningssystem.

3.2 *Overspenninger*

I underlaget til dette deldokumentet er det ikke fremkommet opplysninger som tyder på at kontaktkledningsanlegget utsettes for større eller flere overspenning enn konvensjonelle trefase fordelingsanlegg med tilsvarende driftsspenning. Det gjør at isolatorer som benyttes skal minimum tilfredstille 1,2/50 impulsholdespenning hvor U= 125 kV (IEC 60-1 og IEC 60-2). Prøven skal utføres som angitt i deldokument 3.

3.3 *Forurensing*

Isolatorene i kontaktledningsanlegget utsettes for følgende forurensing (se også beskrivelse i deldokument 4):

- salt p.g.a sjøvann
- bremsestøv fra tog
- Forurensing fra dieselgående lokomotiver og arbeidsmaskiner
- Forurensing fra industri

Dette gjør at det er naturlig å dele isolatorene inn i forhold til de forurensingene som forekommer i omgivelsene. En naturlig inndeling er (Se deldokument 3):

- I tunneler Forurensingsklasse III
- Nær kyst Forurensingsklasse II[1]
- liten forurensing Forurensingsklasse I

Isolatorene benyttet i de forskjellige forurensingsklassene må ha en krypstrømsvei som angitt i Tabell 8:

Forurensingsklasse	Minste nominelle krypstrømsvei Driftsspenning Fase - jord [mm/kV]	Minste krypstrømsvei 17,25 kV Driftsspenning Fase-jord [mm]
I	28	483
II	35	604
III	43	742
IV	54	932

Tabell 8: Forurensingsklasser - Minimum nominell krypstrømsvei angitt i forhold til enfase drift

3.4 *Isolasjonskoordinering - krav til isolator*

I dag er det ingen internasjonale eller nasjonale normer som stiller krav til isolasjonskoordinering i kontaktledningsanlegg. Den nasjonale normen NEK 391 "Isolasjon av luftledninger" som bygger på bl.a. IEC-publikasjon 71-1 "Insulation coordination" gjelder ikke for kontaktledninger for elektriske baner.

NEK 391 stiller ikke andre krav til isolatoren enn de krav som er gitt i andre normer, med et unntak; Bardunisolatorer skal ha en merkeholdespenning som minimum er like høy som systemspenning for aktuell luftlinje.

[1] Hva som defineres som "nær kysten" må bygge på de erfaringer som Jernbaneverket har med driften av kontaktledningsanlegget.

4. Krav til dokumentasjon

4.1 *Generelt*

Ved leveranser av isolatorer er det naturlig å kreve typeprøvesertifikater. De typerprøvene som er naturlig å utføre på isolatorer er gitt i Tabell 9.

Det bør også vedlegges dokumentasjon av de rutine og stikkprøver som er utført. Ved større leveranser er det naturlig at kunden deltar ved rutine og stikkprøvene. I tillegg til dokumentasjon av prøver bør leverandør fremlegge dokumentasjon om sitt kvalitetssikringssystem.

Isolatortype	Støtte isolator[1]				Linjeisolator[2]			
IEC-publ.	168				383 og 305			
Prøvens art *	T	S	R	Merkn.	T	S	R	Merkn.
1,2/50 impuls holdespenning	x				x			
50 Hz 1 min. holdespenning	x				x			
50 Hz spenningsprøve			x	(3			x	(3
50 Hz gjennomslagsprøve		x		(3		x	x	(3
Radiostøy					x	x		
Mekanisk bøyespenning	x	x	x	(9	x	x	x	(5og 9
Kontroll av utbøying	x			(4 og 9				(9
Mekanisk vridningsprøve	x	x		(4 og 9				(9
Mekanisk strekkprøve	x	x	x	(4 og 9	x	x	x	(6 og 9
Innvendig trykkprøve								
Ultralydprøve			x				x	
Visuell kontroll		x	x			x	x	
Dimensjonskontroll		x				x		
Temperaturvekselprøve		x				x		
Temperatursjokkprøve						x		(7
Porøsitetsprøve		x				x		(8
Kontroll av sinkprøve		x				x		
Forurensingsegenskaper								

Tabell 9: Oversikt over prøver som vanligvis utføres på forskjellige isolator-kategorier

*) T: typeprøve, S: stikkprøve, R: Rutineprøve
1) Stavisolator
2) Kappe- og piggisolatorer
3) Bare isolatorer med forskjellige skåler; hvor gjennomslagsveien er mindre enn halvparten av slagvidden
4) Bare etter nærmere avtale
5) T & S bare for piggisolatorer og linje-støtteisolatorer. R bare for linjestøtte-isolatorer
6) Bare glassisolatorer og stavisolatorer
7) Bare glassisolatorer
8) Bare porselenisolatorer
9) Utføres ikke på kompsittisolatorer

Deretter skal isolatorene utsettes for strekkrefter tilsvarende S.M.L i 1 min.

Mekanisk rutineprøve (R.L.T):
Isolatoren skal prøves ved romtemperatur med strekkrefter lik R.L.T i minst 10 s. . R.L.T skal minimum tilsvare 50 % av S.M.L.

Dagligbelastning (O.M.L):
O.M.L der den belastningen som isolatoren er dimensjonert for å utsettes for kontinuerlig. Lasten består av vekt av line, bendsling o.s.v.

Når det gjelder andre mekaniske belastningsprøver, slik som bøying, vridning og trykk, er det ikke spesifisert prøver. I dag er det ikke utarbeidet prøver for nevnte belastningstyper, men den enkelte leverandør har selv utarbeidet sine prøveprosedyrer. Ofte bygger disse prøvene på tester beskrevet i amerikanske normer, f.eks. IEEE.

4.2 Vedlikehold

Vedlikehold av isolatorer er bl.a. avhengig av

- hvilket miljø isolatoren skal brukes i
- hva som må gjøres for at isolatoren skal opprettholde sine egenskaper (f.eks overflatebehandling)
- Isolatorens selvrensende egenskaper

Ved bestilling av isolatorer bør det derfor bes om dokumentasjon som beskriver hvordan isolatorer skal vedlikeholdes under forskjellige driftsformer og forurensningsgrader.