



25kV / 50 Hz banestrømforsyning

Påvirkning på signal- og tele-anlegg

**NSB Bane**  
**Ingeniørtjenesten**

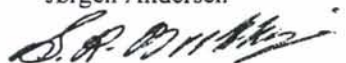
## 25kV / 50 Hz banestrømforsyning

### Påvirkning på signal- og tele-anlegg

Jernbaneverket  
Biblioteket

Versjon: 1.1  
Dato: 30.01.94.  
Utarbeidet av: Knut Bergem  
Sverre B.O. Eriksen  
Jørgen Andersen

Godkjent av:



Dato:

31/1 94

## Innhold

1	Innledning .....	4
2	Målsetning med dokumentet .....	4
3	Forutsetninger .....	4
4	Referansedokumenter .....	5
5	Kommunikasjons- og signalkabel .....	6
5.1	Optisk fiberkabel .....	6
5.1.1	Funksjon .....	6
5.1.2	Oppbygging .....	6
5.1.3	Koblingsfenomener .....	6
5.1.4	Grenseverdier .....	7
5.1.5	Problemområder .....	7
5.2	Langlinje kobberkabel .....	8
5.2.1	Funksjon .....	8
5.2.2	Oppbygging .....	8
5.2.3	Koblingsfenomener .....	8
5.2.4	Grenseverdier .....	9
5.2.5	Problemområder .....	9
5.3	Lokal kobberkabel med balanserte par .....	11
5.3.1	Funksjon .....	11
5.3.2	Oppbygging .....	11
5.3.3	Koblingsfenomener .....	11
5.3.4	Grenseverdier .....	12
5.3.5	Problemområder .....	12
5.4	Signalkabel med balanserte ledere .....	13
5.4.1	Funksjon .....	13
5.4.2	Oppbygging .....	13
5.4.3	Koblingsfenomener .....	13
5.4.4	Grenseverdier .....	14
5.4.5	Problemområder .....	14
5.5	Lokal kobberkabel med ubalansert ledere .....	15
5.5.1	Funksjon .....	15
5.5.2	Oppbygging .....	15
5.5.3	Koblingsfenomener .....	15
5.5.4	Grenseverdier .....	16
5.5.5	Problemområder .....	16
6	Signal- og teleutstyr plassert langs jernbanelinja .....	17
6.1	Utstyr innenfor kontakledningens slyngfelt .....	17
6.1.1	Funksjon .....	17
6.1.2	Oppbygging .....	17
6.1.3	Koblingsfenomener .....	17
6.1.4	Grenseverdier .....	17
6.1.5	Problemområder .....	17

6.2	Utstyr utenfor kontaktledningsanleggets slyngfelt .....	18
6.2.1	Funksjon .....	18
6.2.2	Oppbygging .....	18
6.2.3	Koblingsfenomener .....	18
6.2.4	Grenseverdier .....	18
6.2.5	Problemområder .....	18
<b>7</b>	<b>Signal- og teleutstyr plassert i bygninger .....</b>	<b>19</b>
7.1	Funksjon .....	19
7.2	Oppbygging .....	19
7.3	Koblingsfenomener .....	19
7.4	Grenseverdier .....	19
7.5	Problemområder .....	19
<b>8</b>	<b>Sporfelter .....</b>	<b>20</b>
8.1	Funksjon .....	20
8.2	Oppbygging .....	20
8.3	Koblingsfenomener .....	21
8.4	Grenseverdier .....	22
8.5	Problemområder .....	22
<b>9</b>	<b>ATC .....</b>	<b>23</b>
9.1	Funksjon .....	23
9.2	Oppbygging .....	23
9.3	Koblingsfenomener .....	24
9.4	Grenseverdier .....	24
9.5	Problemområder .....	24
<b>10</b>	<b>Diverse utstyr, som tilkoples kabel. ....</b>	<b>25</b>
10.1	Generelt .....	25
10.2	Signallamper med glødetråd .....	25
10.3	Lampekontroll .....	28
10.4	Signallamper med diodematrise .....	28
10.5	ATC strømtrafo .....	29
10.6	Endeutrustning linjeblokk .....	30
10.7	Sporfeltrele .....	30
10.8	Avspøringsindikator .....	31
10.9	CTC- understasjoner .....	31
	10.9.1 R-CTC .....	31
	10.9.2 E-CTC .....	32
10.8	Drivmaskin .....	32



## 1 Innledning

NSB vurderer overgang fra 16 kV / 16 2/3 Hz til 25 kV / 50 Hz banestrømsforsyning. I denne forbindelse skal det utredes hvilke konsekvenser dette kan få for signal- og teleanlegg.

Dokumentet er strukturert ut fra hvilke hovedgrupper utstyr innen signal- og teleanlegg som sannsynlig vil påvirkes av endring i banestrømforsyning. Innen den enkelte anleggsdel beskrives følgende:

- Funksjon: Beskriver typisk funksjonsområde for anleggsdel.
- Oppbygging: Beskriver relevant teknisk oppbygging av anleggsdel.
- Koblingsfenomener: Beskriver hvilke elektromagnetiske koblingsfenomener som er av størst betydning.
- Grenseverdier: Angir grenseverdier for farespenninger og støyspenninger. Det angis kun verdier på de områdene det er fastsatte verdier som gjelder for NSB i dag.
- Problemområder: Gir antagelse av hvilke problemområder som vil ha størst betydning ved endring av banestrømsforsyning.

I tillegg er det i siste kappittelet beskrevet grenseverdier for endel signalutstyr som tilkobles en kabel med ledet støy.

Det følger to vedlegg med dokumentet:

- Vedlegg A: Grove beregninger av påvirkning på kabelanlegg. Beregningene er brukt i vurdering av hvilke problemområder som antas å være av størst betydning.
- Vedlegg B: Utledning av uttrykk for tverrspenning i sporet. Benyttes som underlag for vurdering av koblingsfenomen for sporfelt.
- Vedlegg C: Måleresultat, datablad, mm.

## 2 Målsetning med dokumentet

Dokumentet skal gi en kort innledning i hvilke følger en overgang til 25 kV / 50 Hz banestrøm har på signal- og teleanlegg. Dokumentet er et underlag for videre arbeid.

## 3 Forutsetninger

Dokumentet er ment som et underlag for videre arbeid. Målet er å identifisere problemområder for signal og teleanlegg ved endring av banestrømsforsyningen. Dette dokumentet spesifiserer derfor problemområder og definerer grenseverdier for aktuelle systemer der grenseverdier finnes. Det foreslås imidlertid ikke tiltak til utbedring.

Det er ikke vurdert følger for signal- og teleanlegg ved elektrifisering av nye strekninger.

#### 4 Referansedokumenter

- [1] Returkretsens påvirkning på teleanlegg  
T. Madsveen, 27.11.90
- [2] EMC for elektriske anlegg  
En analyse av hvilke krav som bør stilles til EMC mellom elektriske anlegg ved NSB, utifra akseptabel påvirkning på signal- og tele-anlegg.  
NSB Ingeniørtjenesten, 01.12.92.
- [3] Interference in Railway Line-Side Telephone Cable Circuits from 25 kV 50 c/s Traction systems  
A. Rosen, 1958
- [4] Skjøteløse sporfelt Del 1 Norske forhold,  
NSB Bane, Teknisk kontor. Utarbeidet av NSB Bane Ingeniørtjenesten 24.02.94.
- [5] Forskrifter for elektriske anlegg, Forsyningsanlegg, FEA-F 1995  
Elektrisitetstilsynet
- [6] Forskrifter for elektriske bygningsinnstallasjoner, FEB 1991  
Elektrisitetstilsynet

## 5 Kommunikasjons- og signalkabel

### 5.1 Optisk fiberkabel

#### 5.1.1 Funksjon

Optisk fiberkabel benyttes for overføring av informasjonsmengder mellom knutepunkter i NSB's telenett.

#### 5.1.2 Oppbygging

Optisk fiberkabel er bygget opp med optiske fibre som transmisjonsmedium. Kablene kan ha metallisk armering.

#### 5.1.3 Koblingsfenomener

Optiske fibre er immune mot elektromagnetisk påvirkning.

Optiske fiberkabler med metallisk armering vil ved parallellføring med elektrifisert jernbanetrase bygge opp spenninger på grunn av induktiv påvirkning fra kontaktledningsstrømmen.

Indusert spenning på leder forårsaket av en parallellført strømførende leder med jord som retur kan uttrykkes:

$$u_{LS} = \omega * m * J * L$$

eller dersom det tas hensyn til demping:

$$u_{LS} = \omega * m * J * 1/\gamma * (1 - e^{-\gamma L})$$

der;

$u_{LS}$	= Indusert spenning
$J$	= induserende strøm
$\omega$	= $2\pi f$
$m$	= gjensidig induktivitet
$\gamma$	= transmisjonskonstanten, $\gamma = \alpha + j\beta$
$L$	= induserende lengde

Gjensidig induktivitet kan uttrykkes:

$$m = [12,98 - \ln(f * a^2 / \rho) - j\pi^2 / 2] * 10^{-1} \text{ mH/km}$$

der,

$a$	= avstand mellom påvirkende og påvirket leder
$\rho$	= spesifikk jordmotstand

#### 5.1.4 Grenseverdier

Farespenninger: Under normal drift tillates maksimalt 60 V (effektivverdi) induisert langsspenning i svakstrøms-anlegg.  
Ved kortslutning i kontaktledningsanlegget tillates maksimalt 430 V (effektivverdi) induisert langsspenning i svakstrømsanlegg.  
(Hentet fra [5] FEA-F-95 §80.3)

#### 5.1.5 Problemområder

Beregninger viser at ved NSB's plassering av kommunikasjonkabler blir gjensidig induktivitet tilnærmet konstant for de aktuelle frekvenser. Ved tredobbling av frekvensen vil imidlertid den induserte spenningen på armeringen tredobbles. (alle andre parametre er i prinsippet konstante.)  
Ved eventuell seksjonering av armering, kreves det langt hyppigere seksjonering ved 50 Hz enn ved 16 2/3 Hz.



## 5.2 Langlinje kobberkabel

### 5.2.1 Funksjon

Langlinje kobberkabel benyttes for overføring av informasjonsmengder mellom knutepunkter i NSB's telenett. Kabelens ledere kan bli meget lange, og kabelen kan dermed betraktes som gjennomgående parallellført med hele NSB's banestruktur.

### 5.2.2 Oppbygging

Langlinje kobberkabel inneholder ledere av kobber i form av randomisert snoede par. Parene benyttes til balansert overføring, og vil normalt inneholde linjetransformator i hver ende.

Langlinje kobberkabel er ved forlegning på elektrifiserte banestrekninger bygget opp med sammenhengende aluminiumsmantel (tråder) omsluttet av stålbandarmering. Det er elektrisk kontakt mellom mantel og armering.

Langlinje kobberkabel har halvledende eller isolerende ytterkappe.

- \* Kabler med halvledende ytterkappe har elektrisk kontakt mellom ytterkappe og mantel/armering. Mantel/armering jordes i hver ende.
- \* Kabler med isolerende ytterkappe jordes til separat jordelektrode for hver 700 m.

### 5.2.3 Koblingsfenomener

Kontaktledningsanlegget har høy spenning og strøm og omgir seg med et kraftig elektrisk og magnetisk felt.

Langlinje kobberkabel er forlagt i bakken og har metallisk skjerm. Dette vil effektivt stoppe elektriske felt.

Langlinje kobberkabel omslutes av kontaktledningsstrømmens magnetfelt. Dette induserer langsspenninger på ledere og mantel/armering. Induserte langsspenninger på lederne i kabelen kan uttrykkes:

$$u_{LS} = \omega * m * J * K * L$$

eller dersom det tas hensyn til demping:

$$u_{LS} = \omega * m * J * K * 1/\gamma * (1 - e^{-\gamma L})$$

der;	$u_{LS}$	= Indusert spenning
	$J$	= induserende strøm
	$\omega$	= $2\pi f$
	$m$	= gjensidig induktivitet
	$\gamma$	= transmisjonskonstanten, $\gamma = \alpha + j\beta$
	$L$	= induserende lengde

Gjensidig induktivitet kan uttrykkes:

$$m = [12,98 - \ln(f \cdot a^2 / \rho) - j\pi^2/2] \cdot 10^{-1} \text{ mH/km}$$

der,  $a$  = avstand mellom påvirkende og påvirket leder  
 $\rho$  = spesifikk jordmotstand

Mantel/armering er kontinuerlig eller punktvis jordet og vil sette opp en strøm som motvirker det magnetiske feltet fra kontaktledningsstrømmen. Dette resulterer i et motvirkende magnetisk felt som vil redusere resultantfeltet på lederne i kabelen.

Kabelens reduksjonsfaktor er gitt ved:

$$K = (R_m \cdot L + R_j) / (Z_k \cdot L + R_j)$$

der;  $R_m$  = mantelens likestrømsmotstand  
 $Z_k$  = impedans av mantel og armering  
 $R_j$  = kabelens totale overgangsmotstand til jord over strekningen L

Ubalanse mellom parets ledes kapasitet mot jord fører til tverrspenninger. Størrelsen avhenger av størrelsen på tverrspenninger på lederne. Erfaringsmessig har balanserte kabler en følsomhetsfaktor (forhold mellom tverrspenning og langspenning) på 1/1000.

#### 5.2.4 Grenseverdier

Farespenninger: Under normal drift tillates maksimalt 60 V (effektivverdi) indusert langspenning i en kommunikasjonslinje.  
 Ved kortslutning i kontaktledningsanlegget tillates maksimalt 430 V (effektivverdi) indusert langspenning i en kommunikasjonslinje.  
 (Hentet fra [5] FEA-F-95 §80.3)

Støyspenninger: 300 - 4000 Hz: Tillatt induktiv påvirkning fra KL:  $u_{TS} = 0,67 \text{ mV}_{\text{psof}}$   
 (Gjelder 1100  $\Omega$  avslutning)  
 4 kHz - 1 Mhz: Tillatt induktiv påvirkning fra KL:  $u_{TS} = 1,1 \text{ mV}$   
 (Gjelder 120  $\Omega$  avslutning)

(Verdiene er hentet fra beregninger i [2] "EMC mellom elektriske enlegg".)

#### 5.2.5 Problemområder

Beregninger viser at ved NSB's plassering av kommunikasjonskabler blir gjensidig induktivitet tilnærmet konstant for de aktuelle frekvenser. Kabelens reduksjonsfaktor vil være bedre ved høyere frekvenser på grunn av redusert impedans i mantel/armering. Ved øking av frekvens til 50 Hz vil imidlertid den induserte spenningen på lederne totalt sett øke med omlag 25% ved normal drift til tross for bedre reduksjonsfaktor.

Tverrspanninger er ikke beregnet da det ikke var tilgjengelige erfaringstall for endring av overtoneinnhold i kontaktledningsstrømmen som følge av økt frekvens på grunnharmoniske.

Det er ikke foretatt beregninger av induert spenning for kortslutningsstrømmer i kontaktledningsanlegget. Koblingsfenomenet er imidlertid tilsvarende normal drift. Imidlertid vil returstrømmen fordele seg i skinnegang, jordsmonn og eventuelle gjennomgående kabelkapper. Dette kan gi noe anderledes koblingsimpedanser.

### 5.3 Lokal kobberkabel med balanserte par

#### 5.3.1 Funksjon

Lokal kobberkabel benyttes for overføring av informasjon over korte strækninger, typisk noen 100 m til 4-5 km.

#### 5.3.2 Oppbygging

Lokal kobberkabel inneholder ledere av kobber i form av randomisert snoede par. Parene benyttes til balansert overføring.

Lokal kobberkabel vil normalt inneholde aluminiumsskjerm.

#### 5.3.3 Koblingsfenomener

Kontaktledningsanlegget har høy spenning og strøm og omgir seg med et kraftig elektrisk og magnetisk felt.

Lokal kobberkabel er forlagt i bakken og har metallisk skjerm. Dette vil effektivt stoppe elektriske felt.

Lokal kobberkabel omslutes av kontaktledningsstrømmens magnetfelt. Dette inducerer langsspenninger på ledere i kabelen.

$$u_{LS} = \omega * m * J * L$$

eller dersom det tas hensyn til demping:

$$u_{LS} = \omega * m * J * 1/\gamma * (1 - e^{-\gamma L})$$

der;

$u_{LS}$	= Indusert spenning
$J$	= induserende strøm
$\omega$	= $2\pi f$
$m$	= gjensidig induktivititet
$\gamma$	= transmisjonskonstanten, $\gamma = \alpha + j\beta$
$L$	= induserende lengde

Gjensidig induktivititet kan uttrykkes:

$$m = [12,98 - \ln(f * a^2 / \rho) - j\pi^2 / 2] * 10^{-1} \text{ mH/km}$$

der,

$a$	= avstand mellom påvirkende og påvirket leder
$\rho$	= spesifikk jordmotstand

Ubalanse mellom parets ledes kapasitet mot jord fører til tverrspenninger. Størrelsen avhenger av størrelsen på langsspenninger på lederne. Erfaringsmessig har balanserte kabler en følsomhetsfaktor (forhold mellom tverrspenning og langsspenning) på 1/1000.

### 5.3.4 Grenseverdier

Farespenninger: Under normal drift tillates maksimalt 60 V (effektivverdi) induisert langsspenning i en kommunikasjonslinje.  
Ved kortslutning i kontaktledningsanlegget tillates maksimalt 430 V (effektivverdi) induisert langsspenning i en kommunikasjonslinje.  
(Hentet fra [5] FEA-F-95 80.3)

Støyspenninger:	300 - 4000 Hz:	Tillatt induktiv påvirkning fra KL: $u_{TS} = 0,5 \text{ mV}_{\text{psol}}$ (Gjelder 600 $\Omega$ avslutning)
	4 kHz - 1 Mhz:	Tillatt induktiv påvirkning fra KL: $u_{TS} = 1,1 \text{ mV}$ (Gjelder 120 $\Omega$ avslutning)

(Verdiene er hentet fra beregninger i [2] "EMC mellom elektriske enlegg".)

### 5.3.5 Problemområder

Beregninger viser at ved NSB's plassering av kommunikasjonskabler blir gjensidig induktivitet tilnærmet konstant for de aktuelle frekvenser. Ved tredobbling av frekvensen vil imidlertid den induserte spenningen på lederne og armering tredobbles ved normal drift. (alle andre parametre er i prinsippet konstante.)

Tverrspenninger er ikke beregnet da det ikke var tilgjengelige erfaringstall for endring av overtoneinnhold i kontaktledningsstrømmen som følge av økt frekvens på grunnharmoniske.

Det er ikke foretatt beregninger av induisert spenning for kortslutningsstrømmer i kontaktledningsanlegget. Koblingsfenomenet er imidlertid tilsvarende normal drift. Imidlertid vil returstrømmen fordele seg i skinnegang, jordsmonn og eventuelle gjennomgående kabelkapper. Dette kan gi noe anderledes koblingsimpedanser.



## 5.4 Signalkabel med balanserte ledere

### 5.4.1 Funksjon

Signalkabel benyttes for overføring av energi, typisk noen 10 m til 4-5 km

### 5.4.2 Oppbygging

Signalkabel inneholder ledere av kobber som er revolvete. Lederene benyttes til balansert overføring.

Signalkabelen har aluminiumsskjerm. Balanseringen blir enten gjort ved å plassere en transformator i begge endene av kabelene eller ved at det i den ene enden av kabelen er to polet brudd mens det i den andre enden er transformator.

### 5.4.3 Koblingsfenomener

Kontaktledningsanlegget har høy spenning og strøm og omgir seg med et kraftig elektrisk og magnetisk felt.

Signalkabel er forlagt i bakken og har metallisk skjerm. Dette vil effektivt stoppe elektriske felt.

Signalkabel omslutes av kontaktledningsstrømmens magnetfelt. Dette induserer langsspenninger på ledere i kabelen. Induserte langsspenninger på lederne i kabelen kan uttrykkes:

$$u_{LS} = \omega * m * J * L$$

eller dersom det tas hensyn til demping:

$$u_{LS} = \omega * m * J * 1/\gamma * (1 - e^{-\gamma L})$$

der;

$u_{LS}$	= Indusert spenning
$J$	= induserende strøm
$\omega$	= $2\pi f$
$m$	= gjensidig induktivitet
$\gamma$	= transmisjonskonstanten, $\gamma = \alpha + j\beta$
$L$	= induserende lengde

Gjensidig induktivitet kan uttrykkes:

$$m = [12,98 - \ln(f*a^2/\rho) - j\pi^2/2] * 10^{-1} \text{ mH/km}$$

der,

$a$	= avstand mellom påvirkende og påvirket leder
$\rho$	= spesifikk jordmotstand

Ubalanse mellom parets ledes kapasitet mot jord fører til tverrspenninger. Størrelsen avhenger av størrelsen på langsspenninger på lederne. Ved NSB i dag har man ingen erfaringstall for følsomhetsfaktor (forhold mellom tverrspenning og langsspenning) for denne type kabel.

#### 5.4.4 Grenseverdier

- Farespenninger: Grenseverdi ved normaldrift for induisert langsspenning på skjerm er 50V (effektivverdi). ([6] FEA-F-95 §413.1 1.4)
- Grenseverdi ved kortslutning i kontaktledningsanlegget er 110V (effektivverdi) ([6] FEA-F-95 §413 Tabell 41 A) induisert langsspenning på skjerm i en signalkabel.
- Støyspenninger: For støyspenninger vet man i dag ikke noen tallverdier, men man må se på lavfrekvent støy som er slik at den kan trekke opp reléer eller gi falske signalbilder.

#### 5.4.5 Problemområder

Beregninger viser at ved NSB's plassering av kabler blir gjensidig induktivitet tilnærmet konstant for de aktuelle frekvenser. Ved tredobbling av frekvensen vil imidlertid den induserte spenningen på ledere og armering tredobbles ved normal drift. (alle andre parametre er i prinsippet konstante.)

Tverrspenninger er ikke beregnet da det ikke var tilgjengelige erfaringstall for endring av overtoneinnhold i kontaktledningsstrømmen som følge av økt frekvens på grunnharmoniske.

Det er ikke foretatt beregninger av induisert spenning for kortslutningsstrømmer i kontaktledningsanlegget. Koblingsfenomenet er imidlertid tilsvarende normal drift. Imidlertid vil returstrømmen fordele seg i skinnegang, jordsmonn og eventuelle gjennomgående kabelkapper. Dette kan gi noe anderledes koblingsimpedanser.

## 5.5 Lokal kobberkabel med ubalansert ledere

### 5.5.1 Funksjon

Lokal kobberkabel med ubalanserte ledere er normalt signalkabel. Disse kabler benyttes for overføring av informasjon og energi på strekninger som typisk er noen 10 m til 4-5 km.

### 5.5.2 Oppbygging

Det som kjennertegeer disse kabelene er at de ikke er balansert.

### 5.5.3 Koblingsfenomener

Kontaktledningsanlegget har høy spenning og strøm og omgir seg med et kraftig elektrisk og magnetisk felt.

Lokal kobberkabel er forlagt i bakken og har metallisk armering. Dette vil effektivt stoppe elektriske felt.

Lokal kobberkabel omslutes av kontaktledningsstrømmens magnetfelt. Dette induserer langsspenninger på ledere i kabelen. Induserte langsspenninger i kabelen kan uttrykkes:

$$u_{LS} = \omega * m * J * L$$

eller dersom det tas hensyn til demping:

$$u_{LS} = \omega * m * J * 1/\gamma * (1 - e^{-\gamma L})$$

der;

$u_{LS}$	= Indusert spenning
$J$	= induserende strøm
$\omega$	= $2\pi f$
$m$	= gjensidig induktivitet
$\gamma$	= transmisjonskonstanten, $\gamma = \alpha + j\beta$
$L$	= induserende lengde

Gjensidig induktivitet kan uttrykkes:

$$m = [12,98 - \ln(f^2 a^2 / \rho) - j\pi^2 / 2] * 10^{-1} \text{ mH/km}$$

der,

$a$	= avstand mellom påvirkende og påvirket leder
$\rho$	= spesifikk jordmotstand

Ubalanse mellom parets ledere mot jord fører til tverrspenninger. Størrelsen avhenger av størrelsen på langsspenninger på lederne. Ubalanserte kabler vil ha en leder referert til jord mens den andre er flytende. Dette gir grovt sett en følsomhetsfaktor (forhold mellom tverrspenning og langsspenning) på 1/2.

#### 5.5.4 Grenseverdier

Farespenninger for kabel som brukes til

kommunikasjon: Under normal drift tillates maksimalt 60 V (effektivverdi) induisert langsspenning i en kommunikasjonslinje.  
Ved kortslutning i kontaktledningsanlegget tillates maksimalt 430 V (effektivverdi) induisert langsspenning i en kommunikasjonslinje.  
(Hentet fra [5] FEA-F-95 80.3)

Farespenninger for kabel som brukes til

energioverføring: Grenseverdi ved normaldrift for induisert langsspenning på skjerm er 50V (effektivverdi). ([6] FEB-91 §413.1.1.4)  
  
Grenseverdi på ved kortslutning i kontaktledningsanlegget er 110V (effektivverdi) ([6] FEB-91 §413 Tabell 41 A) induisert langsspenning på skjermen i en signalkabel.

Støyspenninger: Det er ikke spesifiserte verdier for støyspenninger. Lavfrekvent støy som er slik at den kan trekke opp reléer eller gi falske signalbilder må vurderes. I tillegg må generell støy som kan forstyrre kommunikasjon vurderes.

#### 5.5.5 Problemområder

Beregninger viser at ved NSB's plassering av kommunikasjonskabler blir gjensidig induktivitet tilnærmet konstant for de aktuelle frekvenser. Ved tredobbling av frekvensen vil imidlertid den induserte spenningen på lederne og armering tredobles ved normal drift. (alle andre parametre er i prinsippet konstante.)

Tverrspenninger er ikke beregnet da det ikke var tilgjengelige erfaringstall for endring av overharmoniske i kontaktledningsstrømmen som følge av økt frekvens på grunnharmoniske. Imidlertid vil flere samband være påvirket av grunnharmoniske. Dette fører til økt støyspenning.

Det er ikke foretatt beregninger av induisert spenning for kortslutningsstrømmer i kontaktledningsanlegget. Koblingsfenomenet er imidlertid tilsvarende normal drift. Imidlertid vil returstrømmen fordele seg i skinnegang, jordsmonn og eventuelle gjennomgående kabelkapper. Dette kan gi noe anderledes koblingsimpedanser.

Antageligvis må flere av signalkabelene ved NSB gjøres om til balanserte (ved topolet brudd). Kabelene som går fra ATC koder til baliser er spesifisert til å være maksimalt 300meter parallellført med sporet. De steder hvor kabelen er opp mot denne lengden, må det antageligvis gjennomføres tiltak.



## **6 Signal- og teleutstyr plassert langs jernbanelinja**

### **6.1 Utstyr innenfor kontakledningens slyngfelt**

#### **6.1.1 Funksjon**

Teleutstyr plassert langs jernbanelinja vil typisk omfatte blokktelefonapparater, høyttalere, antenneanlegg, o.l. Signalutstyret er som oftest signallamper, sporfeltutstyr, sporvekseldrivmaskiner mm.

#### **6.1.2 Oppbygging**

Utstyr plassert langs jernbanelinja vil være tilkoblet langlinje eller lokal kobberkabel. (Sporfeltutstyret tilkobles sporet, dette behandles i eget kapittel.

Utstyr plassert innenfor kontakledningens slyngfelt vil være beskyttelsesjordet til skinnegang.

#### **6.1.3 Koblingsfenomener**

Utstyr plassert langs jernbanelinja innenfor kontakledningens slyngfelt vil påvirkes av endringer i spenningsnivå i kontaktleidningsanleggets returkrets. Videre vil utstyret kunne påvirkes av ledningsbundet støy induisert inn på kraft- og telekabler, samt strålt støy fra kontaktleidningen. (Se kap. 5.)

#### **6.1.4 Grenseverdier**

Kablers isolasjonsnivå må være 1000V.

Det er finnes ikke grenseverdier for alle typer signal- og teleutstyr plassert langs jernbanelinja. Det er vanskelig å sette et felles krav for alt utstyr. Det anbefales at kontaktleidningsanlegget skal overholde grenseverdier for utstrålt støy spesifisert i EN 50 081-2.

#### **6.1.5 Problemområder**

Isolasjonsnivå mellom utstyr og kabel må tåle returkretsens spenningsnivå. Returkretsens isolasjonsnivå er 1000V i dag, det antas også er av det samme ved endring av matesystem.

Ledningsbundet støy fra kabler på grunn av induksjon fra kontaktleidningsanlegget er beskrevet i kap. 5 og vurderes ikke her.



## 6.2 Utstyr utenfor kontaktledningsanleggets slyngfelt

### 6.2.1 Funksjon

Utstyr plassert langs jernbanelinja vil typisk omfatte høyttalere, antenneanlegg, o.l.

### 6.2.2 Oppbygging

Utstyr plassert langs jernbanelinja vil være tilkoblet langlinje eller lokal kobberkabel.

### 6.2.3 Koblingsfenomener

Utstyr plassert langs jernbanelinja utenfor kontaktledningens slyngfelt vil påvirkes av ledningsbundet støy induisert inn på kraft- og telekabler, samt strålt støy fra kontaktledningen.

### 6.2.4 Grenseverdier

Det er finnes ikke grenseverdier for alle typer signal- og teleutstyr plassert langs jernbanelinja. Det er vanskelig å sette et felles krav for alt utstyr. Det anbefales at kontaktledningsanlegget skal overholde grenseverdier for utstrålt støy spesifisert i EN 50 081-2.

### 6.2.5 Problemområder

Ledningsbundet støy fra kabler på grunn av induksjon fra kontaktledningsanlegget er beskrevet i kap. 5 og vurderes ikke her.

## 7 Signal- og teleutstyr plassert i bygninger

### 7.1 Funksjon

Teleutstyr plassert i bygninger vil typisk omfatte telefonsentraler, blokktelefonsentraler, radio basis-stasjoner, transmisjonsutstyr, datautstyr, osv. Signalutstyret vil omfatte sikringsanlegg (reléer, datamaskiner eller PLS'er) og diverse strømforsyninger deriblant 220V omformere fra  $16^{2/3}$  Hz til 95 og 105Hz.

### 7.2 Oppbygging

Oppbygging av jordnettstruktur varierer sterkt i ulike bygninger i NSB. Det er ikke gjennomført enhetlig praksis for utforming av jordnettstruktur signal- og teletekniske rom. Ofte vil det eksistere ulike potensialer i bygninger på grunn av ulike valgte referanser.

### 7.3 Koblingsfenomener

Utstyr plassert i bygninger vil påvirkes av ledningsbundet støy induisert inn på kraft- og kommunikasjonskabler, samt strålt støy fra kontaktledningen.

### 7.4 Grenseverdier

Det er finnes ikke grenseverdier for alle typer signal- og teleutstyr. Det er vanskelig å sette et felles krav for alt utstyr. Det anbefales at kontaktledningsanlegget skal overholde grenseverdier for utstrålt støy spesifisert i EN 50 081-2.

### 7.5 Problemområder

Ledningsbundet støy fra kabler på grunn av induksjon fra kontaktledningsanlegget er beskrevet i kap. 5 og vurderes ikke her.

Omkobling av omformere for signalanlegg fra  $16^{2/3}$  Hz til 50Hz må gjøres.

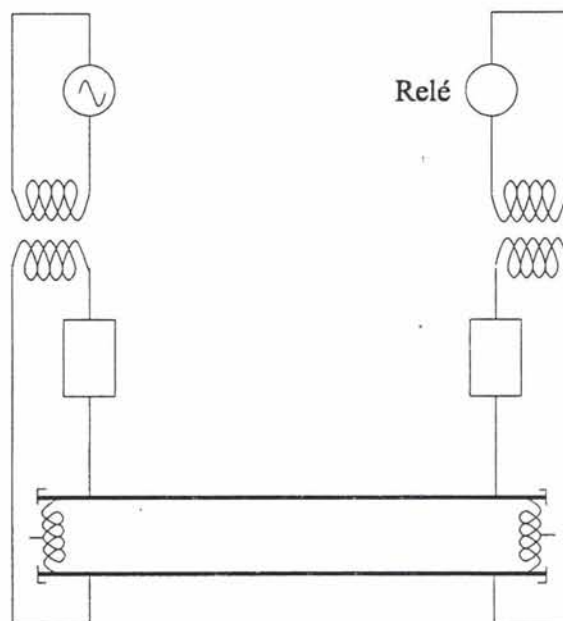
## 8 Sporfelter

### 8.1 Funksjon

Sporfelt har som funksjon og detektore tog. 95Hz/105Hz dobbelteiserte sporfelt skal i tillegg detektore skinnebrudd.

### 8.2 Oppbygging

Sporfelter består av spenningskilde, relé, diverse passive komponenter og kabel. I grove trekk kan sporfeltet beskrives ved at en spenning påtrykkes en seksjon av skinnegangen. Hvis det er en kortslutning mellom skinnene (togaksel) vil spenningen forsvinne og dette registreres av reléet. Figur 1 viser prinsipiell oppkobling for et 95Hz/105Hz dobbelt isolert sporfelt. Sporfeltet er bygd opp etter Fail-Safe prinsippet.



Figur 1 Eksempel på sporfelt 95/105Hz.

Ved NSB finnes idag følgende typer sporfelt:

Typer	Lengder	Bruksområde
95/105Hz dobbeltisolert	0-1000m	Brukes for detektering av tog på områder der det ikke er vekslers.
95/105Hz enkeltisolert	0-800m	Brukes for detektering av tog på områder der det ikke er mulig å bruke dobbeltisolert sporfelter.
Likestrøm	0-2500m	Brukes for detektering av tog samt togpasasje i forbindelse med planoverganger og ankomstvarsling.
10/50kHz	0-20m	Brukes for detektering av togpasasje i forbindelse med planoverganger og sidespor. Denne type sporfelt er ofte overlappet andre sporfelt.

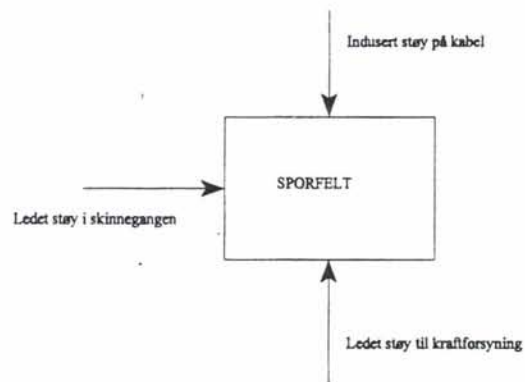
### 8.3 Koblingsfenomener

Kretsen består av en del magnetiske komponenter, ubalanse i strømmen mellom skinnene vil kunne medføre metning i det magnetiske materialet og dermed føre til driftsforstyrrelser.

Ledet støy i frekvensområdet de respektive sporfeltene opererer i vil medføre en farlig feilfunksjon.

Indusert støy i kabler vil kunne medføre driftsforstyrrelser.

Følgende formel angir tverrspenningen i skinnegangen uten noen form for utjevningforbindelser.



Figur 2 Koblingsfenomener for sporfelt

$$U_{\text{tverrspenning}} = \sum_{n=1}^2 -I^{(n-1)} \cdot [U_{nj} (\cosh(\gamma_n \cdot l)) - I_n (\zeta_n \cdot \sinh(\gamma_n \cdot l))]$$

$$\gamma_n = \sqrt{(R \cdot j\omega L) \cdot G_n}$$

$$\zeta_n = \sqrt{\frac{R \cdot j\omega L}{G_n}}$$

- der; R resistans i skinne [ $\Omega/\text{km}$ ]
- L induktans i skinne [ $\text{H}/\text{km}$ ]
- $G_n$  avledning fra skinnestreng n til jord [ $\Omega^{-1}/\text{km}$ ]
- $\omega$  vinkelfrekvensen til spenningen i sporet [ $\text{s}^{-1}$ ]

---

$U_{nj}$	spenning mellom skinnestreng n og jord (ved begynnelsen av sporfeltet) [V]
$I_n$	strømmen i skinnestreng n (ved begynnelsen av sporfeltet) [A]
$\gamma_n$	skinnestrengens gangkonstant
$\zeta_n$	skinnestrengens karakteristiske impedans [ $\Omega$ ]
$l$	avstand i sporet fra begynnelse av sporfeltet [m]

Hvis man ser på to grenseverdibetraktninger.

1. frekvensen går mot null ( $\omega \rightarrow 0$ )

Når frekvensen går mot null, avtar tverrspenningen til en endelig verdi.

2. frekvensen går mot uendelig ( $\omega \rightarrow \infty$ )

Når frekvensen går mot uendelig går også tverrspenningen mot uendelig.

Dette betyr at økt frekvens gir økt tverrspenning.

Videre ser man at en økt spenning mellom jord og skinnestrengen vil ha innvirkning på tverrspenningen.

#### 8.4 Grenseverdier

Ved 95/105Hz sporfelte må man ikke ha en tverrspenning i sporet som overstiger 1V. Ved andre frekvenser er det metning i komponenter som er kritiske grenseverdier. Sporfelteområdet er nærmere beskrevet i kapittel 10.7

Ved likestrømsfelte og 10kHz/50kHz sporfelte er grenseverdiene ikke kjente.

#### 8.5 Problemområder

Kabler i forbindelse med sporfelte behandles under kabel generelt. En økning av spenning og frekvens vil antageligvis ikke ha noen innvirkning på ledningsbundet støy på nettilkobling av strømforsyninger for sporfelt.

Likestrømssporfelte brukes i dag på strekninger som ikke er elektrifiserte med unntak av noen få steder på elektrifiserte strekninger. På de stedene brukes likestrømsfelte i forbindelse med planoverganger, varseltelt ol. Disse sporfeltene er såpass korte og inneholder ingen magnetiske komponenter i tilknytningen til skinnegangen. Det vil antageligvis ikke bli noe problem å øke spenningen og frekvensen på matesystemet.

En økning av frekvens vil gi en økning av tverrspenningen i sporet. En økning av spenningen i sporet iforhold til jord vil kunne øke tverrspenningen i sporet.

For 95Hz/105Hz sporfelte vil metning i jernkjerner i transformatorer kunne være et problem. Dette betyr at sporfelte kanskje må nedkortes eller at man må bytte ut noen av de elektriske komponentene. Følgende trafoer har man: Tilførseltrafo, returtrafo, overdragtrafo og filterimpedans. For 95Hz/105Hz sporfelte er det et høypassfilter i tilførsel/retur krets. Dette må kanskje bygges om på grunn av andre overharmoniske frekvenskomponenter.

For 10kHz/50kHz sporfelte vil kanskje metning i jernkjerner i transformatorer i tilførsel/retur kretser kunne være et problem.



## 9 ATC

### 9.1 Funksjon

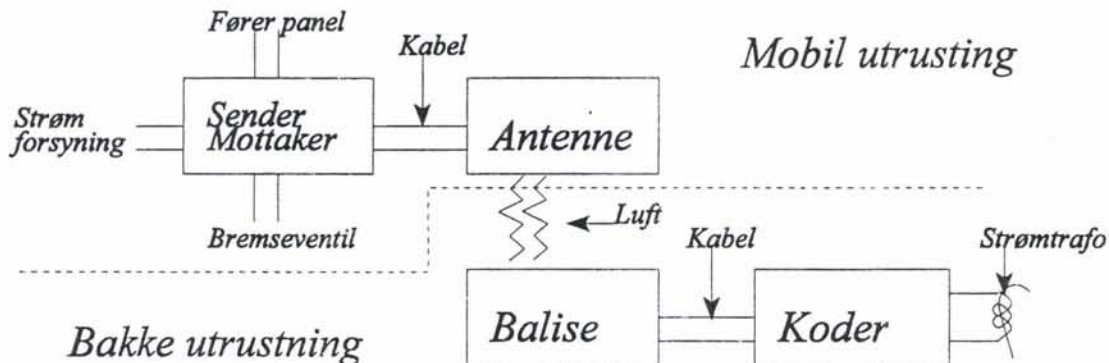
ATC (Automatic Train Control) har som funksjon å overvåke/styre togframføringen mhp hastighet og/eller signalbeskjeder.

### 9.2 Oppbygging

ATC systemet består av en mobil del og en fast del. Den mobile delen består av en sender og en mottaker som er tilknyttet brukerpanel (MMI), strømforsyning, bremseventil, kabel og antenne. Den mobile delen er plassert om bord på lokomotivet.

Den faste delen består av en koder (AD omformer), sender, mottaker, kabel og en antenne. Den faste delen er plassert i og ved sporet. Sender, mottaker og antenne er plassert i samme enhet og kalles balise.

Ved passering av en balise vil toget få informasjon fra faste koder i balisen og/eller informasjon fra koderen (AD omformer) om strømmen som går i signallampekretser. Denne informasjonen blir oversendt til lokomotivet ved overføring mellom antennen i balisen og antennen på lokomotivet. Figur 3 viser prinsipiell oppkobling.

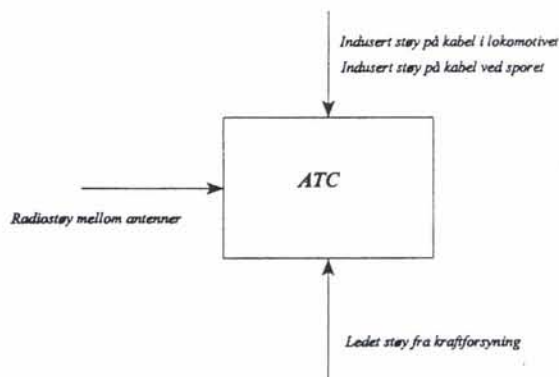


Figur 3 ATC, skjematisk oppbygging

### 9.3 Koblingsfenomener

Utstyret bruker både kabel og luft som transmisjonsmedium. Ved å utsette disse for induisert støy/radiostøy vil man få driftsforstyrrelser.

Selve "lokenheten" er en mikroprosessorstyrt enhet som også vil være påvirkelig av støy.



Figur 4 Koblingsfenomener ATC

### 9.4 Grenseverdier

ATC leverandører opererer med krav om bestemte minste avstander mellom ATC kabler og kabler for ulike andre systemer/funksjoner på lokomotiv. Disse verdiene må kontrolleres ved endring av banestrømsforsyningen. Videre må det også settes grenser for induisert støy på bakkekabelen. Strømtransformatoren i forbindelse med signalet vil kunne gi feilinformasjon. Dette er nærmere beskrevet i kapittel 10.5.

### 9.5 Problemområder

Indusert støy på kabelen mellom koderen og balisen vil være et problem. Dette er behandlet under kapitlet om ubalansert lokalkabel (kap 5.5). Feilaktig informasjon pga av induisert støy i kabelen ut til signalet.

## 10 Diverse utstyr, som tilkoples kabel.

### 10.1 Generelt

Dette kapitlet belyser signalutstyr som kan være kritisk med hensyn på støy ledet fra kabelen til utstyret.

### 10.2 Signallamper med glødetråd

Problemet her består i at når frekvensen på kjørestrømmen øker, kan det induseres så høy spenning i tilførselskablene til signalene at signalene begynner å lyse når de skulle ha vært slukket. Spesielt farlig er det om et signal viser falsk grønt lys.

Tilførselskablene til signalene fører enten 0 eller 220 V vekselspenning. Ved signalet transformeres spenningen ned til 12 V ( omsetningsforhold 18,3:1 ), og det brukes 12 V glødelamper.

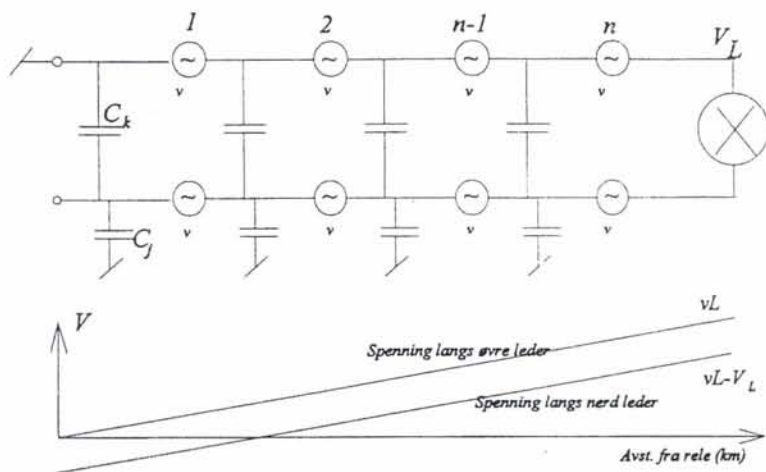
Det som får glødelampen til å lyse er den effekten som lampen opptar. Effekten er kvadratisk avhengig av spenningen :  $P=U^2 / R$ . Man skulle derfor vente at lampen ikke lyser synlig før spenningen er blitt bortimot nominell spenning. Men motstanden R i glødetråden er lav ved lav temperatur, slik at denne egenskapen kompenseres. Erfaring viser ( Observasjon i forbindelse med utarbeidelse av vedlegg C1) at lampen gløder slik at den nattestid kan oppfattes som tent ved 4 V. Tilstrekkelig spenning i kabelen for å få lampen til å lyse blir da :

$$4V \cdot 18,3 = \underline{73,3V}$$

Ved Lodalen, Oslo S og Skøyen stasjoner brukes 60 V i kabelen. For å få lampene på disse stasjonene til å gløde synlig må spenningen på deres 60 V tilførselskabler være :

$$V = 73,3V \times 60/220 = \underline{20V}$$

Noen signaler har en- polet brudd og noen har 2- polet brudd i det releet som styrer signalet. Ved 2- polet brudd får begge lederne i signalets tilførselskabel praktisk talt samme støyfelt. Da forventes ingen problemer med falske signaler forårsaket av influens fra kontaktledninger. Et unntak er ved jordslutning ute ved signalet. Dersom kjørestrømmen da inducerer en langsspenning i kabelen, vil spenningen i den ledere som ikke har jordslutning få samme spenning som ved enpolet brudd. En strømkrets slutes gjennom denne lederens kapasitet mot jord.



Figuren illustrerer spenningsforholdene langs en signalkabel med enpolet brudd hvor kjørestømmen inducerer støyspenning, representert ved de distribuerte spennings-generatorene  $v$  (volt pr km). I relé-enden er den øvre lederen forbundet med et så stivt nett at den betraktes tilnærmet som jordet i støysammenheng. I signalenden er støyspenningen akkumulert til  $(v \cdot L)$ , hvor  $L$ = kabellengden og  $v$  = induisert støyspenning pr km. Motstanden i kablen er så lav at vi ikke regner med spenningsfall. De parasittære kapasitetene fra den øvre lederen mot jord kan neglisjeres, fordi deres impedans er stor i forhold til motstanden i kablen. Den nedre lederen får i signal- enden spenningen  $(v \cdot L - V_L)$ , hvor  $V_L$  er spenningen over lampen. Bortover mot relé-enden synker støyspenningen med samme gradient som langs den øvre lederen, grunnet de samme spenningsgeneratorene  $v$ . Utilstrekkelig symmetri i kablen og utilstrekkelig revolvering av lederne neglisjeres her. Transformatorene betraktes som ideell.

Mekanismen som får feilstrom til å gå i signalets lampe er at den støyspenningen som kjørestømmen inducerer forårsaker en strøm gjennom lampen og kapasiteten mellom lederne, som flyter videre gjennom den nedre lederens kapasitet mot jord. Spenningen mellom lederne er konstant lik lampespenningen  $V_L$  hele veien. Spenningen mellom nedre leder og jord er lineært avhengig av avstanden, og kan derfor erstattes av aritmetisk middel mellom spenningene i endepunktene :

$$V \cdot \frac{(v \cdot L - V_L) + (-V_L)}{2} = \frac{v \cdot L}{2} - V_L$$

- Strøm fra øvre til nedre leder gjennom  $C_k$  :  $I = V_L \cdot j\omega C_k \cdot L$
- Strøm fra øvre til nedre leder gjennom lampen :  $I = V_L / R_L$
- Strøm fra nedre leder til jord via  $C_j$  :  $I = (v \cdot L / 2 - V_L) \cdot j\omega C_j \cdot L$

Dette gir flg. Kirchhoff- likning :



$$(v \cdot L / 2 - V_L) j\omega C_j L = V_L j\omega C_k L + V_L / R_L$$

Løst og ordnet :

$$V_L = \frac{vL}{2 \left( 1 + \frac{C_k}{C_j} \frac{1}{j\omega R_L C_j L} \right)}$$

Den kabelen som brukes til dette formålet er EEBE 750V som er spesifisert av NSB i TBS2-90-7 ( eller tilsvarende PVC- kabel på eldre anlegg ). Se vedlegg C3. Av spesifikasjonen kan man lese at kapasiteten mellom 2 ledere,  $C_k = 50 \text{ nF/km}$ , og kapasiteten mellom en leder og alle andre  $C_j = 80 \text{ nF/km}$ .

I denne rapportens vedlegg A, punkt 7.1 kan man lese at induert langsspenning på lokal kobberkabel  $v = 28 \text{ V/km}$  ved 50 Hz og 500 A kjørestrom. Lampemotstanden er målt. Se vedlegg C1. Den er 6 Ohm ved 12V, og synker til 2,5Ohm ved 2,5V hvor lampen slutter å gløde. Synlig lys i signalet kommer ved 4V, hvor motstanden er ca 3,3 Ohm. Det interessante området for lampemotstanden er derfor 3,3...6 Ohm.

Da er motstanden sett fra kabelen (gjennom transformator) for 24W lampe og

$$220\text{V nominell kabelspenning : } R_L = 1100 \dots 2000 \text{ Ohm}$$

$$60\text{V nominell kabelspenning : } R_L = 82.5 \dots 150 \text{ Ohm}$$

Setter man inn verdiene (lamper som gløder), viser det seg at formelens siste ledd i nevneren dominerer for alle aktuelle kabellengder. Formelen kan derfor forenkles til :

$$V_L = \frac{1}{2} v R_L \omega C_j L^2$$

Den induerte spenningen i signalkabelen med enpolet brudd og 500A/50Hz kjørestrom blir:

$$\text{Ved } 220 \text{ V nominell kabelspenning : } V_L = 0,24 \text{ V/km}^2$$

$$\text{Ved } 60 \text{ V nominell kabelspenning : } V_L = 0,018 \text{ V/km}^2$$

For at den induerte spenningen fra 500A/50Hz kjørestrom skal komme opp i de spenninger som kan gi synlig lys er :

$$\text{Ved } 220 \text{ V kabelspenning : } L = 13 \text{ km}$$

$$\text{Ved } 60 \text{ V kabelspenning : } L = 26 \text{ km}$$

Noen få steder brukes 50 Hz til signalene i stedet for 95/105 Hz. Den støyen som indueres på signalenes kabler er da korrelert med den effekten som signalene bruker. De summeres derfor slik :  $P = P_1 + P_2$ .

Signaler og støy fra kilder som er ukorrelerte summeres slik :

$$P = \sqrt{P_1^2 + P_2^2}$$

Derfor kan eventuelle signaler med 50 Hz i samme kabel kunne adderes til å gi problemer. Dette forholdet blir værre dersom induksjon fra kjørestrommen også er 50 Hz, fordi korrelerte signaler summeres  $P_1 + P_2$ .



**Konklusjon :**

Hvis man i dag har kritisk lengde på kabelen m.h.p. induert støy fra andre signaler som forsynes med 95 eller 105 Hz i samme kabel, vil ikke en overgang til 25 kV / 50 Hz gi fare for falsk signalbilde. Eventuelle signaler med 50 Hz i samme kabel vil kunne adderes til å gi problemer.

**10.3 Lampekontroll**

På tilførselskabelen til signallampene sitter en transformator med et rele på sekundærsiden. Dersom lampen er utbrent, går det ingen strøm i primærsiden, og releet trekker ikke til når det settes spenning på lampen. Dette gir et varsel om at lampen er utbrent.

En potensielt farlig situasjon kan oppstå dersom induert støy på kabelen i tillegg til tomgangstap i transformatoren i signalet forårsaker nok strøm til at releet henger selv om lampen brenner ut.

På sikkerhetskritiske signallamper (rødt og gult) brukes likeretter, kondensator og likestrømsrele av type RC0229 fra ABB-DSI etter transformatoren. Se vedlegg C2. Det er garantert å trekke til ved 15,7V og falle ved 3,8V. Ved nominell strøm i lampen (2A) skal det være 18V på releet. Tomgangstapet vil se ut som en ohmsk motstand som sitter i parallel med lampen. Dersom det er slik at den forårsaker 3,8V spenning i kontrollreleet, må den føre strømmen :

$$2A * 3,8V / 18V = 0,422 A$$

Da er tomgangstapet i transformatoren  $0,422 A * 12 V = \underline{5,1W}$ . Dette er ifølge Noratel et urealistisk tomgangstap. Tomgangstapet vil maksimum være ca 2...3W.

Tomgangstapet alene vil følgelig ikke kunne forårsake feil. Dersom det føres andre signaler i samme kabel, kan det indueres spenninger som sammen med tomgangstapet kan forårsake feil (varsel for avbrent lampe uteblir). Signalene forsynes som regel med 95 eller 105 Hz vekselspenning. Indusert spenning fra kjørestømmen vil ha en annen frekvens ( 50Hz eller  $16 \frac{2}{3}$  Hz ), og er derfor ukorrelerte. Derfor vil overgang til 25kV/50Hz influere lite på dette forholdet.

På de lampene som ikke er sikkerhetskritiske brukes telefonreleer. De er ment å fungere på samme måte som RC0229, og det antas at forholdet blir det samme her.

**10.4 Signallamper med diodematrise**

Lysemitterende dioder som brukes i signallys lyser ved strøm i lederetning, og sperrer for strøm i sperreretning. Strøm / spenningskarakteristikken er eksponensiell :

$$I = I_0 (e^{\frac{Vq}{kT}} - 1)$$

Her er  $I_0$  lekkstrøm i sperreretning,  $q$ =elektronets ladning,  $k$ =Bolzmans konstant,  $T$ =absolutt temperatur. Ved 27 grader er  $kT/q=25mV$ .

Knespenningen for lysemitterende dioder er ca 1,5...2,5 V. Det koples vanligvis 5 dioder i serie til grupper, og så mange grupper i parallell at det passer med 2 A totalt i signalet. Det er en liten motstand i serie med diodematrisen for å dempe overspenninger. Et signal som er bygget opp på denne måten lyser normalt ved 12 V, og slipper praktisk talt ingen strøm gjennom under ca 5...7 V. Mellom signalet og dets tilførselskabel står en 220V / 12 V transformator. Kabelen fører 220 V.

Mekanismen som får lysdiodene til å gløde som følge av induksjon fra kjørestømmen er den samme som ved glødelamper. Man kan bruke den samme formelen :

$$V_L = \frac{vL}{2(1 + \frac{C_k}{C_j} \frac{1}{j\omega R_L C_j})}$$

Vesensforskjellig er her motstanden  $R_L$ . Når lysdioden nesten ikke lyser fører den praktisk talt ingen strøm, og motstanden er meget stor. Da faller det siste leddet i nevneren bort, og spenningen over lysdiodene blir:

$$V_L = \frac{vL}{2(1 + \frac{C_k}{C_j})}$$

Setter man inn de verdiene for kabelen og den forventede induserte spenningen som er referert i punktet om glødelamper, får man ved 500A/50Hz kjørestrøm:

$$V_L = 8,6 \text{ V/km} \quad (\text{på 220V- siden av transformatoren})$$

Konklusjon:

Heller ikke signal med lysemittende dioder vil påvirkes til å gi falsk signal ved overgang til 25 kV/50 Hz, dersom den kritiske lengden på kabelen er satt ut fra industert støy fra andre signaler i samme kabel.

### 10.5 ATC strømtrafo

Informasjon om lys / ikke lys i den grønne lampen i det signalet som passerer sendes fra ATCens balise til lokomotivet. Det er en strømtransformator i serie med lampen som måler strømmen og gir den informasjonen. Målingen kvantifiseres etter følgende kriterier:

0 A... 0,8 A	betyr ikke strøm
0,8A...1,5A	er ikke definert område
1,5 A...2 A	betyr strøm i lampen.

Farlig situasjon kan oppstå dersom kjørestømmen kan indusere nok utilsiktet strøm i lampen og strømtransformatoren til at ATCen definerer det som "strøm" når det ikke skulle ha vært. Merk at det er tilstrekkelig med en kortvarig feilstrom idet lokomotivet passerer balisen. Det er bare da at informasjonen sendes.

Ved interpolering i vedlegg C1 finner man at ved 0,8A lampestrøm er spenningen 1,6V og motstanden 2 Ohm. På primærsiden av trafoen ser lampemotstanden ut som 672 Ohm, og 1,6v lampespenning som 29,33V. Ved å sette inn i den forenklede formelen fra avsnitt 10.1 får man:

$$V_L = \frac{1}{2} v R_L \omega C_j^2$$

$$29,33V = V_L = \frac{1}{2} 28 \cdot 672 \cdot 314 \cdot 50 \cdot 10^9 \cdot L^2$$

$$L = \sqrt{\frac{2 \cdot 29,33 \cdot 10^9}{28 \cdot 672 \cdot 314 \cdot 50}}$$

$$L = 14 \text{ km}$$

Beregningen viser at den induserte spenningen i kabelen til signalet kommer opp i det området hvor ATCens strømtransformator detekterer udefinert lampetilstand ved kabellengde på 14 km ved enpolet brudd og 500A/50Hz kjørestrom. Bemerk at støyspenningen er kvadratisk avhengig av linjelengden, slik at en liten økning av linjelengden gir stor økning i støy.

Det bør kontrolleres at det er tilstrekkelig margin til denne grensen, fordi en kortvarig feilsituasjon av denne typen kan gi feil signal til lokomotivet med farlige følger. Det er ingen sikring som detekterer om lokomotivet har fått feil signal. Dersom dette blir et problem, vil det hjelpe signifikant å gå over til topolet brudd.

### 10.6 Endeutrustning linjeblokk

Linjeblokkens kommunikasjonslinjer mellom stasjoner er 2 totråds linjer. Den ene fører 55V vekselspenning, og den andre +/- 36V likespenning. Dette er rent differensielle linjer. Selv om det induseres store langsspenninger i dem, er tverrspenningen neglisjerbar i forhold til signalnivåene, også ved 50 Hz.

Dersom de induserte langsspenningene på lange strekninger når opp i den spenningen hvor overspenningsbeskyttelsene på inngangene begynner å lede, vil strøm flyte til jord, og jordfeildetektorer vil få anlegget til gå i feilmodus. Faren for det vil øke ved overgang til 25kV/50Hz. De kablene som brukes er enten 0,9mm parkabel eller 2 x 1,5 mm<sup>2</sup>. Dette er et generelt problem som også gjelder annet utstyr.

### 10.7 Sporfeltrele

I sporfelt injiseres en 95Hz eller 105Hz spenning differensielt på skinnegangen, og denne detekteres med et spesielt rele i den andre enden av sporfeltet. Dersom det finnes materiell på skinnegangen innenfor sporfeltet, kortsluttes tonen, og releet faller.

Skinneledningene er isolerte fra de videregående skinnesrengene i endene av sporfeltet. Kjørestømmens retur tas ut av midttappen på impedansspoler som forbinder de to skinnesrengene. Dette er for å sørge for at kjørestømmen fordeler seg likt på de to skinnene, og at det ikke oppstår vesentlige spenningsdifferenser mellom skinnene.

Spenningen til sporfeltet injiseres og plukkes opp via transformatorer koplet mellom skinnene (se fig. 1 i pkt. 8.2). Dersom det blir for store differensspenninger fra kjørestømmen (mer enn ca 17V, 16 2/3Hz), vil kjørestømskomponenter ta veien gjennom koplingstransformatorene til sporfeltreleet og mette kjernen. Da vil releet falle, selv om det ikke er materiell på skinnen innenfor sporfeltet. Dessuten vil 16 2/3Hz transformeres over i koplingstransformatoren, og forårsake en uønsket oppvarming av sporfeltreleet.

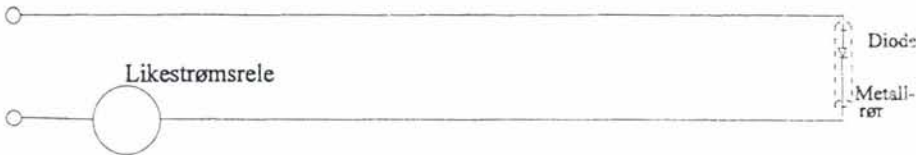
Spørsmålet er om dette vil forandre på seg ved en eventuell overgang til 25kV/50Hz.

- Metningsfenomenene i koplingstransformatoren vil intre ved høyere skjevstrøm ved 50Hz, så det er mindre sjanse for metning og at sporfeltreleet faller på grunn av det. Dette vil bli bedre.
- Den uønskede oppvarmingen av sporfeltreleet ved grov skjevspenning i skinnene ventes å kunne bli værre, fordi den skjevspenningen hvor koplingstransformatoren går i metning øker. Målinger utført hos LM Erichsson 12.12.1966 viser en overtemperatur på 41 grader C ved 20 VA innslag av 16 2/3Hz. Dette er det grunn til å gjøre driftspersonell oppmerksomme på, og kontrollere over en viss tid etter en eventuell overgang til 25kV/50Hz.



- Ved overgang til 50Hz kjørestrom vil differensfrekvensen mellom tonen i sporfeltet og 2. harmoniske bli 5 Hz. Innholdet av 2. harmoniske ventes å være meget lav. De forvrengningene som eventuelt vil oppstå er mest av symmetrisk natur, og gir derfor odde harmoniske. Dersom differensfrekvenser på 5Hz når sporfelteleet, vil det kunne oppstå vibrasjoner som kan slite på lager. Resonansfenomenerer ikke kjent, og ville sannsynligvis ha vært rapportert.

## 10.8 Avsporingsindikator



Ovenfor er tegnet et prinsippkjema for avsporingsindikatoren. Detektoren består av en tynn koppertråd som er lagt inni et metallrør. I serie med tråden i røret er koplet en diode. Tråden og dioden er isolert fra røret med et isolerende fyllmateriale. Denne detektoren legges på sviller hvor det er øket fare for avsporing, i hele svillens lengde, og forbindes med kabel til stasjonen. Inne i stasjonen forsynes avsporingsindikatoren med svakstrøm strømforstyrning, og der er koplet et likestrømsrele i serie med den.

Dersom et tog sporer av, kjøres metallrøret flatt på to steder av et hjulpar. Koppertråden inni klippes enten av, eller kortsluttes til metallrøret på begge sider av dioden. Klippes tråden, så faller releet. Kortsluttes dioden, så får likestrømsreleet vekselspanning, som også får det til å falle.

Dersom detektoren kortsluttes til jord, kan det induseres strømmer av noen størrelse i kabelen. Men releet faller ved vekselspanning, og da har det ingen virkning.

Det kan ikke sees noen feilmekanismer som endres ved overgang til 25kV/50Hz.

## 10.9 CTC- understasjoner

### 10.9.1 R-CTC

R-CTC'er kommuniserer over parkabler. I sentralen sender Manøver-Senderen (MS) seriedata som positive og negative 220 V pulser til Manøver Mottakerne (MM) i understasjonene. Alle MM'er lytter på samme bus med sine to 11 k Ohm releer M1+ og M1- i serie. I understasjonene sender Indikator Senderen (IS) differensielle +/-24 V seriedata. Alle IS står i serie på samme bus. (Når de ikke sender er de kortsluttet). I sentralen lytter Indikator Mottaker (IM) på denne linjen med sine to 350 Ohm releer M1+ og M1- i serie. For å unngå buskollisjon er det en bus-arbitrasje-linje som fører 75 V = når linjen er ledig, og 0 når linjen er opptatt.

Det er en prinsipiell forskjell på linjekoden på datalinjen MS-MM, som sender ternær differensiell + eller - 220V informasjon (-220V, 0 eller +220V) og linjekoden på datalinjen IS-IM, som sender binær differensiell +/- 24V informasjon (-24V eller +24V).

Av denne grunnen viser det seg vanskeligere å nå frem på lange strekk med manøver- informasjonen enn med indikator- informasjonen.

I R-CTC er det bare balanserte linjer og datarater under 50 Baud. Signalnivåene er meget høye. De induserte feilspanningene vi forblir langt under fargrensen ved en eventuell overgang til 25 kV/50Hz.

På spesielt lange strekninger brukes spesial-modem fra Telox. Den sender og mottar fasemodulerte PCM-

signaler i talebåndet på balanserte langlinjer. Det er transformatorer på inngangene. Det som begrenser hva modemene tåler av induisert støy på kablene antas å være metningsfenomener i inngangstransformatorene ved for store tverrspenninger.

Av denne rapportens punkt 5.1 og 6 ser man at induisert tverrspenning på balansert langlinjekabel øker relativt lite fra 16 2/3 Hz til 50 Hz. Transformatorene på modemenes inngang tåler 3 ganger så kraftig støy på 50 Hz som ved 16 2/3 Hz. Derfor forventes overgang til 50 Hz å bedre tåligheten mot induisert støy fra kjørestrømmen.

### 10.9.2 E-CTC

I E-CTC anvendes X25 og RS232 modem på lengre strekninger. Det brukes parkabler (METF og METE) til slike forbindelser.

På lange strekninger kan den spenningen som kjørestrømmen inducerer bli meget høy. Foruten berøringsfare kan det være fare for at både langsspenningen overstiger modemenes overslagsspenning, og at tverrspenningen forårsaker transmisjonsfeil.

På telefonen opplyser Dagfinn Sevik, Semafor at deres modem er utsyrt med linjetransformatorer, optokoplerer og releer på inngangene som alle tåler 3750 V. Så høy spenning kan ikke induseres fra 25 kV kjørestrøm, men muligens dersom kontaktledningen faller ned. Semafor modem har tilfredsstillende Bit Error Rate (BER) med overlagret 50 Hz tverrspenning opptil 200-300mV RMS. Over denne spenningen går linjetransformatorene i metning, og man får blandingsprodukter som ikke tas av filtrene. Ingen ting går i sykker før ved flere volt tverrspenning.

I denne rapportens vedlegg A, avsnitt 5.1 kan man lese at induisert langsspenning i langlinje kobberkabel (METE, isolert ytterkappe, jordet hver 700 m) ved dårlig ledningsevne i jord (1000 Ohm) ved 50 Hz, 500 A banestrøm kan bli 173 V. I parkabler er den induerte tverrspenningen ca 1/1000-del av langsspenningen. Når langsspenningen er 173 V er derfor tverrspenningen ca 173 mV, som er betenkelig nær den grensen hvor modemet gir økt BER.

Dette støybidraget kan komme i tillegg til impulsstøy fra omformere, atmosfære og andre støykilder. Dessuten er dette ikke helt eksakte beregninger, og toleransene er relativt store. Når banestrømmen er høy og jordingsmotstanden dårlig er det derfor ikke utenkelig at BER kan øke merkbart på lange distanser ved overgang til 25 kV / 50 Hz.

Dersom slike problemer oppstår er overgang til fiberoptiske datalinjer å foretrekke.

### 10.8 Drivmaskin

En potensielt farlig følge av overgang til 25kV/50Hz vil oppstå dersom det kan induseres så høy spenning i tilførselskabelen til sporvekslenes drivmaskiner at de kan bevege seg ut av endestilling under ekstremer forhold. Siemens er blitt bedt om å uttale seg, har forespurt morselskapet, og svarer i fax av 26.01.95 at dette er lite sannsynlig. Se vedlegg C4.

Siemens har et stort antall drivmaskiner i drift hvor der er 50 Hz, og har åpenbart ingen tilfeller av denne art



## **Vedlegg A:**

**Beregning av påvirkning på kabelanlegg**

---

## Innhold

1	Generelt .....	3
2	Forutsetninger .....	3
3	Grunnleggende formelverk .....	3
4	Induserte langsspenninger på armert optisk fiberkabel .....	6
4.1	Normal drift .....	6
4.2	Kortslutning .....	6
5	Induserte langsspenninger på langlinje kobberkabel .....	7
5.1	Normal drift .....	8
5.2	Kortslutning .....	8
6	Induserte tverrspanninger på langlinje kobberkabel .....	9
7	Induserte langsspenninger på lokal kobberkabel .....	10
7.1	Normal drift .....	10
7.2	Kortslutning .....	10
8	Induserte tverrspanninger på lokal kobberkabel (balansert) .....	11
9	Induserte tverrspanninger på lokal kobberkabel (ubalansert) .....	12

## 1 Generelt

Dette vedlegget gir grove beregningsanslag for induisert spenning på kabler parallelført med elektrisk jernbaneanlegg. Beregningene skal underbygge de påstander som er framsatt i hoveddokumentet.

Beregningene er meget grovt utarbeidet og er ikke egnet til verifisering om grenseverdier overholdes. Imidlertid vil det gi en klar indikasjon på forholdet mellom banestrøm ved 16 2/3 Hz og 50 Hz.

## 2 Forutsetninger

Beregningene bygger i hovedsak på tidligere arbeider utført ved NSB.

Det antas strømstyrke i kontaktledningsanlegget på 500 A (Normalstrøm).

Beregninger er foretatt for strekninger uten returledning. Returledning vil gi betraktelig bedre resultat enn de verdiene som framgår av disse beregningene. Erfaringer fra Sverige tilsier 90% lavere induksjon ved bruk av returledning.

Jordmotstand varierer sterkt avhengig av geologiske grunnforhold. For beregningene er det antatt en middelvei for spesifikk jordmotstand på 2500  $\Omega$ m.

Langsspenninger vil, på grunn av ulik kapasitans mot jord for den enkelte leder i et par, være opphav til spenningsforskjell mellom lederne; tverrspenninger. Forholdet mellom langsspenninger og tverrspenninger er valgt ut fra erfaring å være ca. 1/1000. Dette forholdstallet omtales som parets følsomhetsfaktor. Det er forutsatt at paret er avsluttet med transformator i begge ender.

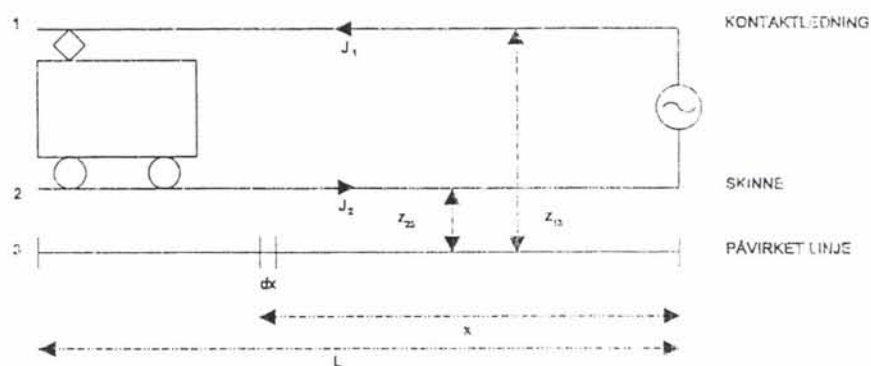
Gjensidig induktivitet mellom kontaktledningsanlegget (KL + skinner) og en kabel forlagt 2,5 m fra spormidt er beregnet i [2] "EMC mellom elektriske anlegg". Det viser seg at ved disse avstandene vil gjensidig induktans bli tilnærmet 0,18 mH/km for alle aktuelle frekvenser. Dette resultatet vil benyttes ved de påfølgende beregninger.

## 3 Grunnleggende formelverk

Formelverket benyttet for beregninger er i hovedsak hentet fra tidligere arbeid av T. Madsveen [1] "Returkretsens påvirkning på teleanlegg". Endel av dette arbeidet er utdypet i [2] "EMC for elektriske anlegg".

De fleste beregningsformler som er brukt kan finnes i de fleste relevante lærebøker, og er derfor ikke nærmere spesifisert.

Uttrykket for gjensidig induktans mellom ledere med jordretur (som er aktuell ved induksjonsberegninger for kabler parallelført elektrifisert jernbane) er en "praktisk formel" basert på formelverk utviklet av Carson, Pollaczek og Haberland. Den "praktiske formelen" som T. Madsveen benytter for beregning av gjensidig induktans er derfor sammenlignet med beregningsmetode benyttet av A. Rosen i [3] "Interference in Railway Line-Side Telephone Cable Circuits from 25 kV 50 c/s Traction Systems". De ulike beregningsmetodene gir samme verdier for gjensidig induktans.



Figur 1 Påvirkning på transmisjonslinje fra elektrifisert bane

NSB's kontaktledningsanlegg er i prinsippet en 1-faset kraftledning. Hoveddelen av returstrømmen går i skinnegangen. Indusert spenning i linjestykket  $dx$  av en parallellført transmisjonslinje (se figur 1) vil være:

$$du = (z_{23h} J_2 / 2 + z_{23v} J_2 / 2 - z_{13} J_1) dx$$

- $z_x$  = koblingsimpedans fra hhv kontaktledning, høyre og venstre skinnestreng,  $z_x = \omega m_x$   
 $m$  = gjensidig induktans  
 $J_1$  = kontaktledningsstrøm  
 $J_2$  = returstrøm i skinnegangen

Det antas 2% lekkasjestrøm fra skinnegangen som ugunstigste tilfelle. Dette gir følgende forhold mellom kontaktledningsstrøm og returstrømandel i skinnegangen:

$$J_1 = J_1 - (2 * J_1 / 100) = 0.98 * J_1$$

Dette gir videre:

$$du = \omega * J_1 * [0.49 * (m_{23h} + m_{23v}) - m_{13}] dx$$

Tar man hensyn til demping langs linja blir uttrykket følgende:

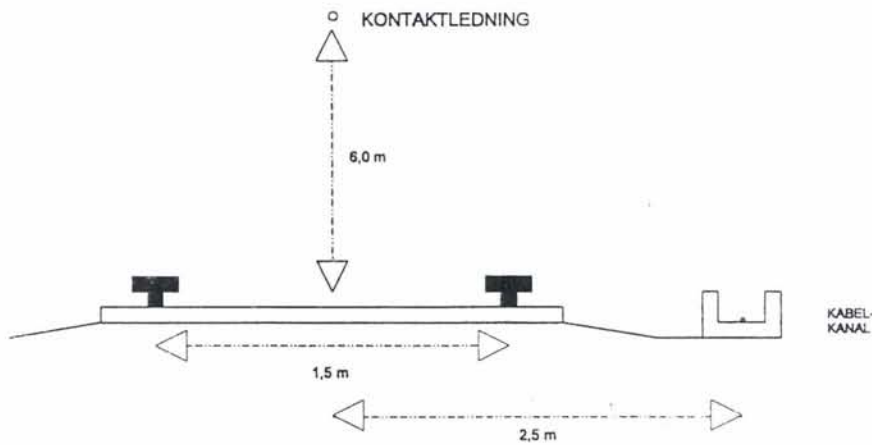
$$du = \omega * J_1 * [0.49 * (m_{23h} + m_{23v}) - m_{13}] * e^{-\gamma x} dx$$

$$- u = \omega * J_1 * [0.49 * (m_{23h} + m_{23v}) - m_{13}] * 1/\gamma * (1 - e^{-\gamma l})$$

Gjensidig induktans er gitt ved:

$$m = [12,98 - \ln(f \cdot a^2 / \rho) - j\pi^2/2] \cdot 10^{-1} \text{ mH/km}$$

$$|m| = \sqrt{[12,98 - \ln(f \cdot a^2 / \rho)]^2 + \pi^2/4} \cdot 10^{-1} \text{ mH/km}$$



Figur 2 Avstander mellom påvirkende og påvirkedeledere

Gitt avstander spesifisert i figur 2, vil total induktivitet være  $m = 0,18 \text{ mH/km}$ . (Ref. [2] "EMC mellom elektriske anlegg".)

Total induktivitet er gitt ved:

$$m = 0,49 \cdot (m_{23h} + m_{23v}) - m_{13}$$

Dette gir følgende uttrykk for induisert spenning på leder parallellført med elektrifisert jernbane:

- Normale linjer:  $u = \omega \cdot m \cdot J_1 \cdot 1/\gamma \cdot (1 - e^{-\gamma L})$

- Korte linjer:  $u = \omega \cdot m \cdot J_1 \cdot L$

- Lange linjer:  $u = \omega \cdot m \cdot J_1 \cdot 1/\gamma$

Det bemerkes at kort eller lang linje vil avhenge av frekvens på det feltet som vurderes.



#### 4 Induserte langsspenninger på armert optisk fiberkabel

Optisk fiberkabel er i utgangspunktet immun mot elektromagnetisk påvirkning. Imidlertid vil enkelte optiske fiberkabler ha armering av metall.

For en kabellengde på 10 km vil det induseres følgende langsspenninger på armering for hhv 16 2/3 Hz og 50 Hz banestrøm:

For lave frekvenser vil 10 km være en kort linje, og følgende uttrykk kan benyttes:

$$u_{LS} = \omega * m * J_1 * L$$

##### 4.1 Normal drift

Dette gir:

$$16 \frac{2}{3} \text{ Hz: } u_{LS} = 2\pi * 16,67 \text{ Hz} * 0,18 \text{ mH/km} * 500 \text{ A} * 10 \text{ km} = 94 \text{ V}$$

$$50 \text{ Hz: } u_{LS} = 2\pi * 50 \text{ Hz} * 0,18 \text{ mH/km} * 500 \text{ A} * 10 \text{ km} = 282 \text{ V}$$

Dersom armering seksjoneres for å forhindre opparbeidelse av induserte langsspenninger, vil maksimal lengde for ikke å overskride spesifisert spenningsnivå, bli følgende for hhv 16 2/3 Hz og 50 Hz banestrøm:

	50 V	60 V	125 V	250 V
16 2/3 Hz	5,3 km	6,4 km	13,3 km	26,5 km
50 Hz	1,8 km	2,1 km	4,4 km	8,8 km

##### 4.2 Kortslutning

Det er ikke foretatt beregninger av indusert spenning for kortslutningsstrømmer i kontaktledningsanlegget. Koblingsfenomenet er imidlertid tilsvarende normal drift. Imidlertid vil returstrømmen fordele seg i skinnegang, jordsmonn og eventuelle gjennomgående kabelkapper. Dette kan gi noe anderledes koblingsimpedanser.

## 5 Induserte langsspenninger på langlinje kobberkabel

Det antas en induserende lengde på 40 km. Dette vil for lave frekvenser være normal linje, og følgende uttrykk kan benyttes:

$$u_{LS} = \omega * m * J_1 * K * 1/\gamma * (1 - e^{-\gamma L})$$

$$u_{LS} = \omega * m * J_1 * K * 1/(\sqrt{\omega RC}) * \sqrt{[1 - 2e^{-L * \sqrt{\omega RC/2}} \cos(L * \sqrt{\omega RC/2}) + e^{-2L * \sqrt{\omega RC/2}}]}$$

der; K = Kabelens reduksjonsfaktor  
 R = Ohmsk motstand av parets ledere i parallell.  
 For lederdiameter på 0,9 mm vil R = 14 Ω/km.  
 C = Parets kapasitet mot jord, C = 0,1 μF

Kabelens reduksjonsfaktor er gitt ved:

$$K = (R_m * L + R_j) / (Z_k * L + R_j)$$

der; R<sub>m</sub> = mantelens likestrømsmotstand  
 Z<sub>k</sub> = impedans av mantel og armering  
 R<sub>j</sub> = kabelens totale overgangsmotstand til jord over strekningen L

Impedans av mantel og armering er avhengig frekvens og påtrykt spenning. Følgende opplysninger er gitt for en typisk kabel benyttet ved NSB, for påtrykt spenning i området rundt 100 V:

R<sub>m</sub> = 0,7 Ω/km  
 Z<sub>k</sub> = 2,37 Ω/km (for 16 2/3 Hz)  
 Z<sub>k</sub> = 5,08 Ω/km (for 50 Hz)

Overgangsmotstand til jord vil variere med jordsmonn og kabeltype:

	METF kontinuerlig	METE 100 ohm	METE 200 ohm	METE 500 ohm	METE 1000 ohm
16 2/3 Hz	0,297	0,308	0,330	0,355	0,405
50 Hz	0,139	0,145	0,152	0,173	0,206

METF - kabel med halvledende ytterkappe forlagt i jord, og gir dermed kontinuerlig jording

METE - kabel med isolert ytterkappe punktjordnet for hver 700 m

### 5.1 Normal drift

Ved normal drift anslås banestrøm å være 500 A.

Dette gir følgende verdier for induisert spenning ved ulike overgangsmotstand til jord (40 km strekning):

	METF kontinuerlig	METE 100 ohm	METE 200 ohm	METE 500 ohm	METE 1000 ohm
16 2/3 Hz	94 V	98 V	102 V	113 V	129 V
50 Hz	117 V	122 V	129 V	145 V	173 V

### 5.2 Kortslutning

Det er ikke foretatt beregninger av induisert spenning for kortslutningsstrømmer i kontaktledningsanlegget. Koblingsfenomenet er imidlertid tilsvarende normal drift. Imidlertid vil returstrømmen fordele seg i skinnegang, jordsmonn og eventuelle gjennomgående kabelkapper. Dette kan gi noe anderledes koblingsimpedanser.

## 6 Induserte tverrspenninger på langlinje kobberkabel

Tverrspenninger påvirker samband i kabelen. Disse sambandene vil normalt ligge i talefrekvensbåndet eller høyere, og linje vil dermed kunne betraktes som en lang linje.

$$u_{TC} = \omega * m * J_1 * K * K_f * l / \gamma$$

$$\rightarrow u_{TS} = \omega * m * J_1 * K * K_f * l / (\sqrt{\omega RC})$$

der K er kabelens reduksjonsfaktor. Verdier for K er gitt i kapittel 5.  
K<sub>f</sub> er kabelens følsomhetsfaktor, 1/1000.

Imidlertid er overtoneinnholdet i kontaktledningsstrømmen sterkt påvirket av type lokomotiv som benyttes. Det finnes ved NSB ikke erfaringstall for økning av overtoneinnhold i kontaktledningsstrøm som følge av overgang fra 16 2/3 Hz til 50 Hz banestrøm.

## 7 Induserte langsspenninger på lokal kobberkabel

For lave frekvenser vil kabellengder opp til 10 km være en kort linje, og følgende uttrykk kan benyttes:

$$u_{LS} = \omega * m * J_1 * L$$

### 7.1 Normal drift

Ved normal drift gir dette følgende verdier ( $J = 500 \text{ A}$ ):

	1 km	3 km	5 km	10 km
16 2/3 Hz	9 V	28 V	46 V	90 V
50 Hz	28 V	83 V	136 V	263 V

### 7.2 Kortslutning

Det er ikke foretatt beregninger av induisert spenning for kortslutningsstrømmer i kontaktledningsanlegget. Koblingsfenomenet er imidlertid tilsvarende normal drift. Imidlertid vil returstrømmen fordele seg i skinnegang, jordsmonn og eventuelle gjennomgående kabelkapper. Dette kan gi noe anderledes koblingsimpedanser.



## 8 Induserte tverrspenninger på lokal kobberkabel (balansert)

Tverrspenninger påvirker samband i kabelen. Disse sambandene vil normalt ligge i talefrekvensbåndet eller høyere. For disse frekvensene vil alle aktuelle linjelengder kunne betraktes som normale, og følgende uttrykk kan benyttes:

$$u_{TS} = \omega * m * J_1 * K_f * l/\gamma * (1 - e^{-\gamma l})$$

$$- \quad u_{TS} = \omega * m * J_1 * K_f * l/(\sqrt{\omega RC}) * \sqrt{[1 - 2e^{-i \cdot \sqrt{\omega RC} l/2} \cos(L * \sqrt{\omega RC}/2) + e^{-2L * \sqrt{\omega RC}/2}]}$$

der  $K_f$  er kabelens følsomhetsfaktor, for kommunikasjonskabel er denne erfaringsmessig 1/1000.

For lokal kobberkabler med samband ved lavere frekvenser vil følgende forenklede uttrykk kunne benyttes:

$$u_{TS} = \omega * m * J_1 * K_f * L$$

$$- \quad u_{TS} = \omega * m * J_1 * K_f * L$$

der  $K_f$  er kabelens følsomhetsfaktor, for signalkabler finnes ikke erfaringstall for ubalanse.

Imidlertid er overtoneinnholdet i kontaktledningsstrømmen sterkt påvirket av type lokomotiv som benyttes. Det finnes ved NSB ikke erfaringstall for økning av overtoneinnhold i kontaktledningsstrøm som følge av overgang fra 16 2/3 Hz til 50 Hz banestrøm.

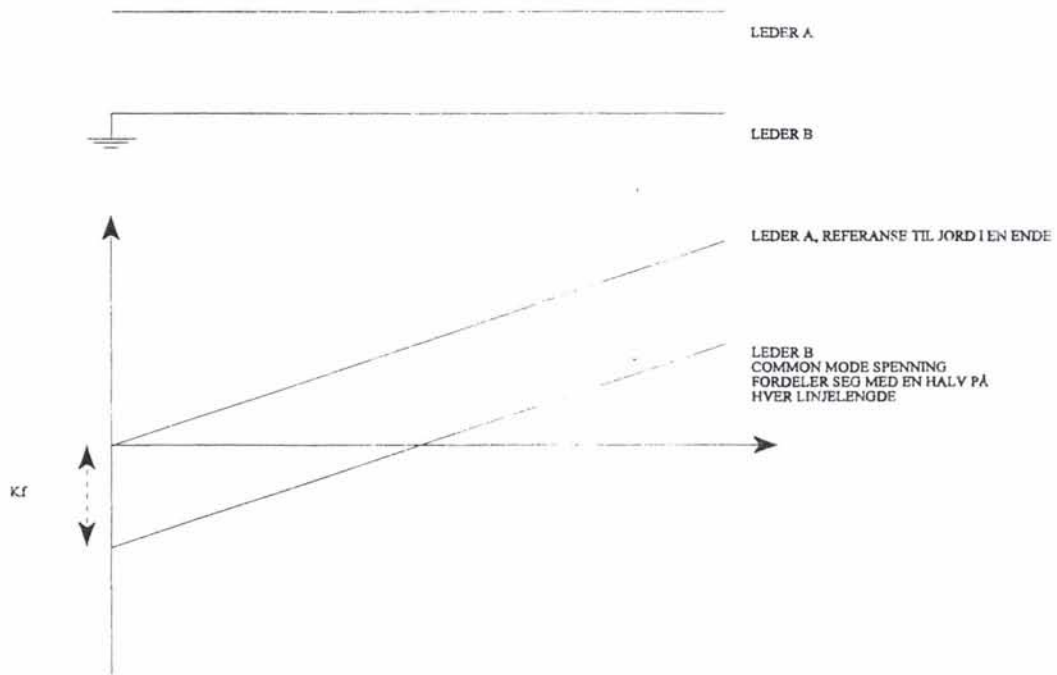
## 9 Induserte tverrspanninger på lokal kobberkabel (ubalansert)

Tverrspanninger påvirker samband i kabelen. Disse sambandene vil normalt ligge i frekvensområdet 50 - 100 Hz. For disse frekvensene vil alle aktuelle linjelengder kunne betraktes som korte, og følgende uttrykk kan benyttes:

$$u_{TS} = \omega * m * J_1 * K_f * L$$

$$- u_{LS} = \omega * m * J_1 * K_f * L$$

der  $K_f$  er kabelens følsomhetsfaktor, beskrevet nedenfor.



Figur 3 Ubalansert transmisjon

Av figur 3 framgår det at følsomhetsfaktor for ubalansert kabel kan uttrykkes:

$$K_f = u_{TS} / u_{LS} = 1/2$$

Dette gir følgende tverrspanning for ulike frekvenser og kabellengder:

	1 km	3 km	5 km	10 km
16 2/3 Hz (J = 500 A)	5 V	14 V	24 V	47 V
50 Hz (J = 500 A)	14 V	42 V	70 V	141 V
100 Hz (J = ?)	0,057 J	0,170 J	0,283 J	0,565 J

Tabellen gir eksempel på induksjon i ubalansert lokalkabel ved  $J = 500$  A. Det er da forutsatt at dette er grunnharmoniske. Det er ikke foretatt vurdering av antatt endring i overharmoniske ved overgang til 50 Hz banestrøm.

## **Vedlegg B:**

- **Utleddning av tverrspanning i sporet**

## Innhold

1	Generelt .....	3
2	Primære komponenter .....	3
3	Tverrspanningen i sporet .....	4



## 1 Generelt

Denne utledningen viser den generelle sammenhengen mellom de elektriske parameterene og tverrspenningen i sporet.

## 2 Primære komponenter

Formelene for de primære komponentene er hentet fra [4].

$$R = 1000 \frac{r K_R}{2 \cdot A} \cdot \sqrt{\pi \cdot \mu \cdot f \cdot \rho}$$

$$C = 1000 \frac{\pi \cdot \epsilon}{\ln \frac{D}{r}}$$

$$L = 1000 \frac{\mu_0}{\pi} \cdot \left[ \ln \frac{D}{r} \cdot \frac{\mu_r}{4} \cdot K_L \right]$$

$$G \leq 0.5$$

R	motstand i skinnestrengen [ $\Omega/\text{km}$ ]
C	kapasitans mellom skinnestrengene [ $\text{F}/\text{km}$ ]
L	induktans i skinnestrengen [ $\text{H}/\text{km}$ ]
G	konduktansen mellom skinnestrengene [ $\text{S}/\text{km}$ ]
$\rho$	spesifikk motstand i skinnestrengen [ $\Omega\text{m}$ ]
$\mu$	permeabiliteten i skinnestrengen [ $\text{H}/\text{m}$ ]
$\mu_0$	permeabiliteten i vakum
f	frekvens [ $\text{Hz}$ ]
r	radius i en sylinder med samme tverrsnitt som skinna [ $\text{m}$ ]
$K_R$	Korreksjonsfaktor for strømfortregning (øker ved økende frekvens)
$K_L$	Korreksjonsfaktor for strømfortregning (minker ved økende frekvens)
D	avstanden mellom skinnene [ $\text{m}$ ]
$\epsilon$	permitivitet mellom skinnene [ $\text{F}/\text{m}$ ]

Kapasitansen vil normalt være liten i forhold til konduktansen slik at man kan se bort ifra denne.

Av uttrykkene for primærkomponentene ser man at motstanden vil øke med økende frekvens mens induktansen vil avta med økende frekvens.

### 3 Tverrspenningen i sporet

I hbt [4] er langsspenningen uttrykt som følger:

$$u_{\text{st}} = U_{\text{bn}}(\cosh(\gamma \cdot l)) - I_{\text{bn}}(\zeta \cdot \sinh(\gamma \cdot l))$$

$$\gamma = \sqrt{(R \cdot j \omega L) \cdot G}$$

$$\zeta = \sqrt{\frac{R \cdot j \omega L}{G}}$$

Dette uttrykket beskriver spenningsforskjellen mellom skinnestreng og jord. Tverrspenningen mellom skinnene kan uttrykkes som forskjellen mellom spenningene på skinnestrengene i forhold til jord.

$$u_{\text{tverrspenning}} = u_1 - u_2$$

Hvis man setter inn uttrykket for langsspenningen i denne formel og antar at det er kun forskjell på konduktansen til jord vil man få følgende uttrykk for tverrspenningen: skinnegangen uten noen form for ujevningforbindelser.

$$u_{\text{tverrspenning}} = \sum_{n=1}^2 -1^{(n-1)} \cdot [U_{\text{nj}}(\cosh(\gamma_n \cdot l)) - I_n(\zeta_n \cdot \sinh(\gamma_n \cdot l))]$$

$$\gamma_n = \sqrt{(R \cdot j \omega L) \cdot G_n}$$

$$\zeta_n = \sqrt{\frac{R \cdot j \omega L}{G_n}}$$

---

der,	R	resistans i skinne [ $\Omega/\text{km}$ ]
	L	induktans i skinne [ $\text{H}/\text{km}$ ]
	$G_n$	avledning fra skinnestreng n til jord [ $\Omega^{-1}/\text{km}$ ]
	G	avledning mellom skinnestrengene
	$\omega$	vinkelfrekvensen til spenningen i sporet [ $\text{s}^{-1}$ ]
	$U_{nj}$	spenning mellom skinnestreng n og jord (ved begynnelsen av sporfeltet) [V]
	$U_{inn}$	spenning mellom skinnestrengene i begynnelsen av sporet
	$I_{inn}$	strømmen inn i begynnelsen av sporet
	$I_r$	strømmen i skinnestreng n (ved begynnelsen av sporfeltet) [A]
	$\gamma_n$	skinnestrengens dempning
	$\zeta_n$	skinnestrengens karakteristiske impedans
	$\gamma$	sporets gangkonstant
	$\zeta$	sporets karakteristiske impedans
	i	avstand i sporet fra begynnelse av sporfeltet
	$u_{1j}$	spenning i skinnestreng 1 i forhold til jord
	$u_{2j}$	spenning i skinnestreng 2 i forhold til jord

## **Vedlegg C:**

**Måledata, datablad, mm**

## Innhold

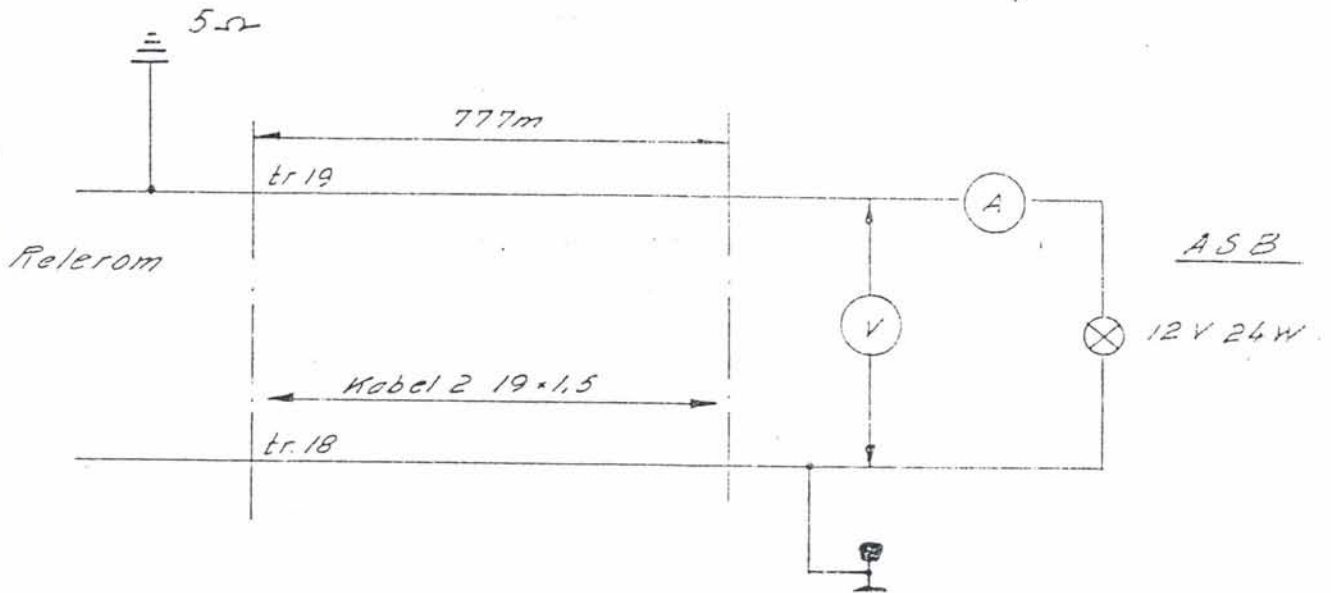
C1	Måleprotokoll signallampe av Arvid Solheim, NSB .....	3
C2	Telefax med datablad for Rødlisrelé, DSI RC 0229 .....	4
C3	Datablad for signalkabel EEBE 750V, NSB spesial (TBS 2-90-7) .....	7
C4	Telefax fra Siemens, Norge datert 26.01.95, gjelder drivmaskiner .....	8



KABEL U/SKJERM.

PRÖVE NR. 4

Utført 14.11.77



16 <sup>2</sup> / <sub>3</sub> Banestrøm		Måleserie			Anm.
Fra	Omf.	Ved Imp.	Volt	Amp.	
100	100	100	3,5	1,05	I
200	190	190	7,8	1,7	I Lampen lyser
300	270	270	13,8	2,2	I " "
400	365	365	20,3	2,7	I " "
500	450	450	0,16	5,4	I Lampe kortsl.
100	90	90	2	0,8	II Gløder
200	170	170	6	1,4	II Lyser
300	270	270	11	2	II "
400	350	350	16,5	2,5	II "
500	450	450	140 mV <sup>x</sup> )	4,8	II Lampe kortsl. (Uten lampe = 68V) <sup>x</sup> )

TELEFAX

66 84 33 00  
+47 66 84 33 00ABB Strømmen AS  
Division SignalBergerveien 12 - Box 33 - 1361 Billingstad  
Tlf.: 66 84 10 00  
+47 66 84 10 00 NORWAY

Sendt av: <i>T. E. Ulid</i>	Date: <i>25/1-95</i>
Sent by:	Date:
Sendt til: <i>Lars J. Andersen</i>	Klokkeslett:
Sent to:	Time:
Firma: <i>NSB</i>	Telefax nr.: <i>22366831</i>
Company: <i>Ingeniørtjenesten</i>	Telefax no.:

*Rele for nødlys kontroll*  
*RC0229*

Side 1 av <i>3</i>	Signature: <i>[Signature]</i>
Page no. 1 of	

Relæ type	Kontak-ter		Spole			Begynd-værdi B	Frafald min. F	Garanti-værdi på skilt	Tiltrækning max. T	Garanti-værdi på skilt
	s	b	+5%	$\Omega$	+5%					
RCo127	5	1	618	650	683	0,1V		2,1V		11,4V
o128			788	830	872	0,1V		2,7V		13,1V
o130			1283	1350	1418	56V		3,5V		16,7V
o145			2,1	2,2	2,3	0,5A		60mA		274mA
o147			28,5	30	31,5	10V		1,4V		3,8V
RCo223	4	2	47,4	50	52,5	11V		0,80V		3,28V
o226			285	300	315	28V		2,0V		8,3V
o227			618	650	683	0,1V		3,0V		12,4V
o229			998	1050	1102	53V		3,8V		15,7V
o230			1283	1350	1418	60V		4,4V		18,0V
o231			1670	1760	1850	69V		5,0V		20,6V
o232			2235	2350	2470	80V		5,8V		23,8V
o233			3040	3200	3360	93V		6,8V		27,8V
o235			6170	6500	6830	130V		7,7V		40V
o236			12,3	13	13,7	5,5V		0,39V		1,63V
o237			2,1	2,2	2,3	1A		75mA		295mA
o238			404	425	446	34V		2,5V		10,0V
o245			2,1	2,2	2,3	0,5A		75mA		295mA
o247			28,5	30	31,5	10V		1,9V		4,0V
o248			35,5	38	40,5	16V		2,20V		5,7V
o249			1670	1760	1850	75V		8V		24V
o256			2,1	2,2	2,3	1,5A		250mA		575mA
o271			47,4	50	52,5	(11V)		0,8V		3,3V
o296			3040	3200	3360	50V		6,8V		27,8V
o246			12,3	13	13,7	7V		1,7V		3,1V
o276			12,3	13	13,7	0,4A		30mA		121mA
o277			2,1	2,2	2,3	1,5A		250mA		575mA

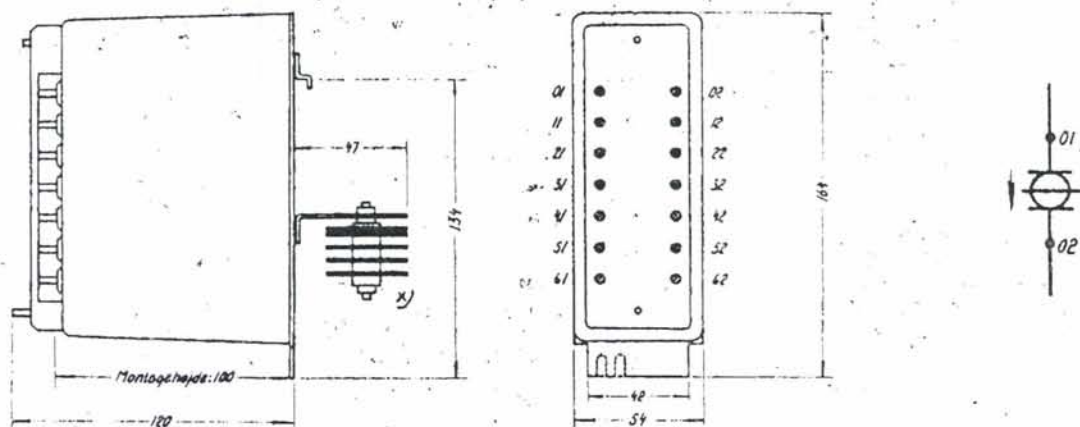
UDFORT AF LL- HJ FA  
 KONTIP AF BFA/HJ FA  
 .17/HJ FA

DANSK SIGNAL INDUSTRI A/S	Godk. <i>[Signature]</i>	Godk. <i>[Signature]</i>	Godk. <i>[Signature]</i>
Godk. <i>[Signature]</i>		Godk. <i>[Signature]</i>	
DANSK SIGNAL INDUSTRI A/S		Afprenningsdata	
Godk. <i>[Signature]</i>		Relæ RC	
TNR		750440-090	

VEDLEGG C2

55





\*) Evt. ensretterventil, spærreventil el. kondensator, RC-relæer med tyk magnelkerne, se blad 143.1

Kontaktbesætning		55 16	45 26	35 36	25 46	15 56	
Max. watt-forbrug ved tillækning	Spoler 2,2-90Ω	W	0,169	0,194	0,272	0,376	0,376
	Spoler 185-15000Ω	W	0,192	0,220	0,310	0,427	0,427
Min. watt-forbrug ved fratagelse	Spoler 2,2-90Ω	W	0,008	0,014	0,014	0,014	0,008
	Spoler 185-15000Ω	W	0,010	0,016	0,016	0,016	0,010
Kode nr.			01	02	03	04	05
Sidste cifre i typebetegnelse			Se skema for spoletyper				

Spoletyper											
Spole Ω	Ventil type	Sidste cifre	Spole Ω	Ventil type	Sidste cifre	Spole Ω	Ventil type	Sidste cifre	Spole Ω	Kond. μF	Sidste cifre
028	—	15	50	DS4	71	1050	—	29	1350	500	97
2,2	—	37	90	—	22	1350	—	30	2350	250	94
2,2	D2	45	90	D1	48	1350	D3	55	2350	500	98
2,2	D1 ≠ 8n type H	56	185	—	25	1760	—	31	3200	250	96
9,2	D1	50	300	—	26	1760	D3	49			
13	—	36	300	D3	57	2350	—	32			
13	D1	46	425	—	38	3200	—	33			
30	—	24	650	—	27	6500	—	35			
30	D1	47	650	D3	53	16000	—	34			
50	—	23	830	—	28						
50	D1	52	830	D3	51						

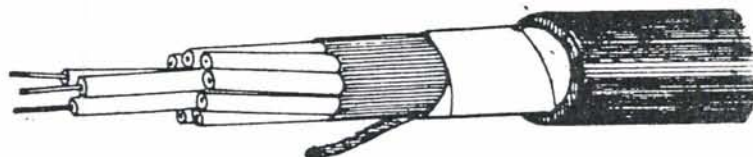
D. S. I %s		57145-000
	Jævnstrøms-normalrelæ med 6 kontakter	Blad 143.2
	Type RC	

Dansk Signal Industri %s

RC 032 56

Denne TBS gjelder for kabel type EEBE som skal nyttes i signalanlegg ved NSB. Kabelen er bygget opp etter NEMKO's forskrifter og kan legges i jord uten ekstra beskyttelse.

Betegnelsen står for: E = etylenisolerte ledere  
E = etylen indre kappe  
B = båndstålarmert  
E = etylen ytre kappe



Elektriske data

Isolasjonsmotstand	1,5 mm <sup>2</sup> /2,5 mm <sup>2</sup> - mellom en leder og de andre	ca. 10 000 Mohm/km
Ledermotstand	ved 20° C (maks. :) 1,5 mm <sup>2</sup> (maks. :) 2,5 mm <sup>2</sup>	12,1 ohm/km 7,28 ohm/km
Kapasiteter	1,5 og 2,5 mm <sup>2</sup> - mellom to nærliggende ledere	ca. 50 nF/km
	mellom en leder og resten	ca. 80 nF/km

Materialer

Isolasjon, fyllkappe og ytre kappe	Polyetylen
Farge, ytre kappe	Sort
Galvanisert stålband	Sinktykkelse 250 g/m <sup>2</sup> (min. 13/u på hver side)
Jordleder	Parallell under armeringen
Lederne	Har en rød og en sort tellerleder i hvert lag, forøvrig ingen merking

Leveringslengder: ca. 1 000 m

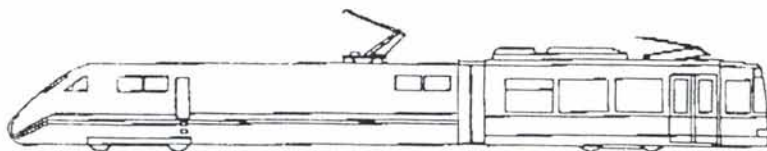
VEDLEGG C3

57



**SIEMENS****Baneteknikk**

Postboks 10 Veitvet N-0518 Oslo

**TELEFAX**

Til/An/To:	<b>NSB - Bane</b>	Fra/Von/From:	<b>Siemens A/S</b>
Avd./Abt./Dept.:		Avd./Abt./Dept.:	<b>Baneteknikk</b>
Sted/Ort/Place:	<b>Oslo</b>	Sted/Ort/Place:	<b>Oslo</b>
Navn/Name:	<b>Jørgen Andersen</b>	Navn/Name:	<b>Erling Gjertsen</b>
Tel./Phone:		Tel./Phone:	<b>+47 22 633698</b>
Fax Nr./Fax No.:	<b>22 36 68 31</b>	Fax Nr./Fax No.:	<b>+47 22 639399</b>
		Side/Seite/Page:	<b>1 av/von/of</b>

Deres Ref./  
Ihr Zeichen/ Your  
Reference:

Vår Ref./  
Unser Zeichen/ Our  
Reference: **jljo nsb/f950246**

Vedr./Betr./Subject: **SPORVEKSELDRIVMASKINER/INDUSERTE  
SPENNINGER**

Dato/Datum **26.01.1996**

Vi viser til telefonsamtale 11. ds. og bekrefter følgende:

Våre koplingsmålinger refererer seg til en isolasjons- og induksjonsspenning på 1500 V. Alt utstyr blir prøvet med 2000 V i henhold til DIN VDE 0831.

Deretter må all kabling utføres slik at induksjonsspenning ikke overskrides.

Kabling beregnes i henhold til DIN VDE 0228.

Opptredende induksjonsspenninger er avhengig av kjørestrommen, frekvensen, omgivelsene og den kabel som benyttes.

Hver sporvekseldrivmaskin er mekanisk forriglet i sin endeposisjon. Forriglingen oppheves kun når motoren løper med riktig dreieretning og med tilhørende dreiemoment.

For å bringe sporvekseldrivmaskinen ut av sin endeposisjon, må induksjonsenergien (lengde - EMK) være tilstrekkelig stor, vare lenge nok og innvirke med riktig faserekkefølge på motoren.

Dette er dog lite sannsynlig.

Utover dette ville i såfall overvåkingskretsen omgående trekke til, og en oppkjør- henholdsvis feilmelding gis.

Sporvekseldrivmaskinene er ikke utstyr med overspenningssikring.

Med vennlig hilsen  
Siemens A/S

Fnr. 915 826 946  
Hovedkontor

FAX ØVT 01 03.93/F950246.DOC/1

VEDLEGG C4

JERNBANEVERKET  
BIBLIOTEKET



104276