1 GENERELT 2
2 KOBBERKABEL 3
2.1 Primærkonstantene 3
2.2 Sekundærkonstantene 3
2.3 Pupinisert/upupinisert kabel 4
2.4 Karakteristisk impedans 5
2.4.1 Upuinisert linje 5
2.4.2 Pupiniserte linjer 5
2.5 Dempning 6
2.5.1 Upupiniserte linjer 6
2.5.2 Pupiniserte linjer 6
2.6 Faseforvrengning 7
2.6.1 Gruppetidsforsinkelse 7
2.6.2 Upupiniserte linjer 8
2.6.3 Pupiniserte linjer 8
2.6.4 Intersymbolinterferense (ISI) 9
2.6.4.1 Generelt om ISI 9
2.6.5 Digital transmisjon på kabel. 9
2.6.6 Måling av øyekurve med oscilloskop. 9
2.7 Isolasjon 10
2.8 Krysstale 10
2.8.1 Nær ende krysstale. 10
2.8.2 Fjern-ende krysstale. 10
2.9 Støy 11
2.10 Måling av kobberkabel 12
2.10.1 Måling under/etter kabelproduksjon 12
2.10.2 Måling under/etter instalasjon 12
3 FIBERKABEL 13
3.1 Signaldempning 13
3.1.1 Material tap: 13
3.1.2 Rayleigh spredning: 13
3.1.3 Forurensing i glasset 13
3.1.4 Bøyning 13
3.1.4.1 Mikrobøyning 13
3.1.4.2 Makrobøyning 13
3.1.5 Radioaktiv stråling 14
3.1.6 Temperaturvariasjoner, strekk 14
3.1.7 Skjøtetap 14
3.1.8 Ekstrinsikke tap: 14
3.1.9 Intrinsikke tap: 14
3.2 Båndbredde/informasjonskapasitet 14
3.2.1 Modedispersjon 14
3.2.2 Spektral dispersjon 14
3.2.3 Dispersjon for multimodus fibre 15
3.2.4 Dispersjon for singelmodus fibre 15
3.3 Tilkopling av lyskilde 15
3.4 Måling av fiberkabel 15
3.4.1 Målinger under/etter fiberfremstilling: 16
3.4.2 Målinger under/etter kabelproduksjon 16
3.4.3 Målinger under/etter installasjon 16
3.4.4 Utførelse av målinger/krav til ytelse 16

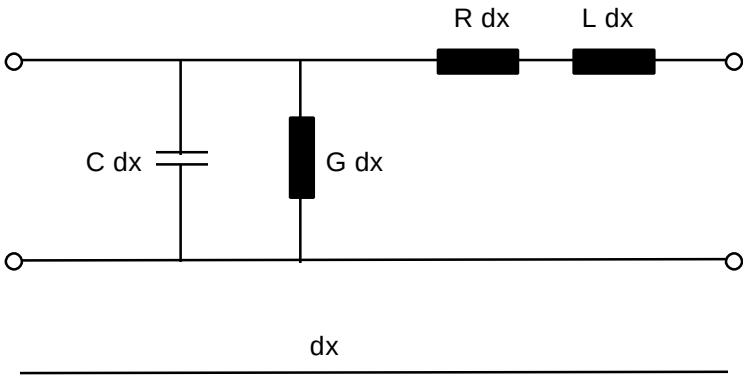
1 GENERELT

I dette vedlegget er det tatt med en del teori og en del om bakgrunnstoff om hva som bør utføres av målinger både på kobberkabel og fiberkabel.

2 KOBBERKABEL

2.1 Primærkonstantene

En transmisjonslinje er karakterisert ved de fire primærkonstantene. Primærkonstantene for en linje med lengde dx kan fremstilles som i figuren under.



- Resistansen pr enhet lengde, R. Den uttrykker serieresistansen av de to lederne pr enhet lengde hvor skinneffekten er tatt i betraktning. Bestemmes av ledernes materiale og dimensjon.

- Induktans pr enhet lengde, L. Den er sammensatt av to komponenter, en som oppstår pga det magnetiske feltet inne i lederne og en som oppstår pga det magnetiske feltet mellom lederne. Bestemmes av avstanden mellom lederne og isolasjonsmaterialet.

- Kapasitet pr enhet lengde, C. Bestemmes av avstanden mellom lederne og isolasjonsmaterialet (permitiviteten til dielektrikumet).

- Avledningen (lekasjekonduktans) pr enhet lengde, G. Oppstår pga feil i isolasjonen og dielektrisk tap som øker med frekvensen. Avledningen er den inverse av isolasjonsmotstanden.

2.2 Sekundærkonstantene

Ut fra de fire primærkonstantene kan vi komme frem til to størrelser som i særlig stor grad beskriver en linjes transmisjonsegenskaper. Disse to størrelsene er linjens karakteristiske impedans og transmisjonskonstant.

- Karakteristisk impedans: $Z_0 = [(R+j\omega L)/(G+j\omega C)]^{1/2}$

- Transmisjonskonstant: $\gamma = [(R+j\omega L)*(G+j\omega C)]^{1/2}$

  som også kan skrives

  $\gamma = \alpha + j\beta$

  der α er dempnings koeffisienten og
  β er faseskift koeffisienten.

Ut fra primær og sekundær konstantene kan vi komme frem til diverse størrelser som er med og beskriver hvordan en transmisjonslinje fungerer.

2.3 Pupinisert/upupinisert kabel

På grunn av kablenes oppbygging, vil kapasiteten for en kabel være stor i forhold til selvinduktiviteten. Pga at kabler forlegges i jord, vil den kapasitive virkningen mellom linjene og jord være langt større for kabler enn for f.eks. luftlinjer. Dette fører blant annet til stor dempning for lavere frekvenser.

Transmisjonsegenskapene blir forholdsvis dårlig. Det er mulig å bedre kabelens transmisjonsegenskaper ved å øke lederdimmensjonen. Hvis det gjelder lavfrekvenslinjer, kan transmisjonsegenskapene bedres ved kunstig å øke selvinduktiviteten.

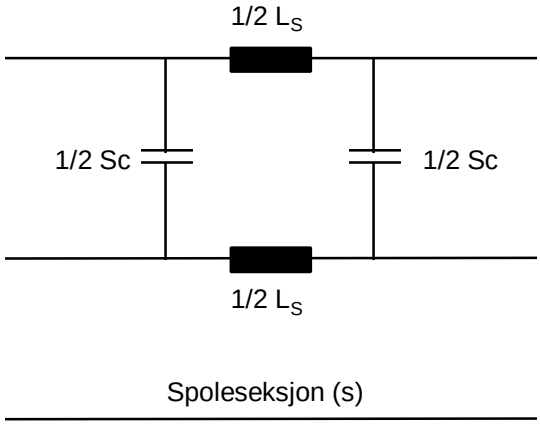
Ved å sette inn selvinduktivitetsspoler (pupinspoler) punktvis med jevne mellomrom, vil disse sammen med kabelkapasiteten ha samme virkning som et lavpassfilter. Vi får liten dempning for frekvenser fra null og oppover inntil den teoretisk øker mot uendelig for en karakteristisk frekvens som kalles grensefrekvensen (ω_∞). Spoleinduktiviteten og spoleavstanden velges slik at man får en tilstrekkelig høy grensefrekvens, rimelig demping og karakteristikk.

Pupiniserte kabler fungerer på samme måten som et lavpassfilter. Pga denne filtervirkningen må formlene for karakteristisk impedans og dempning, multipliseres med en korreksjonsfaktor k.

$$k = 1/(\sqrt{1-n^2})$$

der $n = \omega/\omega_\infty$

En pupinlinje kan betraktes som sammensatt av en rekke ledd, hver bestående av en spole og den tilstøtende halvseksjonen av kabel på hver side.



De upupiniserte parene som finnes i Jernbaneverkets kabler i dag, benyttes til BF-samband, overføring av PCM systemer og til spesielle tjenester som f.eks nødfrakobling som bruker likestrømspulser.

Behovet for å opprettholde enkelte par upupinisert i en ny kabel må vurderes i hvert enkelt tilfelle. BF-sambandene er nesten borte og PCM blir overført til fiber der slik kabel blir lagt. Da står vi igjen med enkelte spesielle tjenester. To upupiniserte par skulle derfor være nok i de fleste nye kabler, men det bør vurderes i hvert enkelt tilfelle.

For pupiniserte og upupiniserte linjer gjelder litt forskjellige forenklede formler for karakteristikk, dempning og faseforvrengning. Dette fører til at det blir noe forskjell i målingene for de to linjetypene.

2.4 Karakteristisk impedans

Karakteristisk impedans eller "karakteristikken" beskriver forholdet mellom spenning og strøm i en uendelig lang ledning. I praksis finnes det imidlertid ikke uendelig lange linjer, men en linje som er avsluttet med sin karakteristiske impedans vil oppfattes som uendelig lang.

2.4.1 Upuinisert linje

For en transmisjonslinje vil den karakteristiske impedansen være:

$$Z_0 = \sqrt{[(R+j\omega L)/(G+j\omega C)]}$$

Motstanden i en kobberkabel vil for lavere frekvenser (opp til ca 3000 Hz) være betydelig større enn induktiviteten. For talefrekvensbåndet kan en derfor se bort fra ωL. Tilsvarende vil avledningen være forsvinnende liten i forhold til kapasitansen for frekvenser i talefrekvensbåndet og oppover. For frekvenser i talebåndet vil en forenklet formel se slik ut:

$$Z_0 = \sqrt{[R/j\omega C]}$$

Karakteristisk impedans er som vi ser av formelen frekvensavhengig.

Høyfrekvente signaler skal sendes på upupiniserte par, da pupiniserte par virker som lavpassfiltre. Ved høye frekvenser vil den karakterisktiske impedansen for upupiniserte linjer være tilnærmet lik den karakteristiske impedansen for pupiniserte linjer.

2.4.2 Pupiniserte linjer

For pupinisert kabel vil induktiviteten være dominerende i forhold til motstanden i kabelen, og kapasiteten være dominerende i forhold til avledningen. Dette gir følgende forenklede formel for pupiniserte linjer:

$$Z_0 = \sqrt{[L_s/sC]}$$

På grunn av pupinspolenes lavpassvirkning, må vi som beskrevet tidligere innføre et korreksjonsledd i formelen:

$$Z_0 = [1/\sqrt{(1-n^2)}] * \sqrt{[L_s/sC]} \qquad \text{der } n = \omega/\omega_0$$

Ved test/godkjenning av et kabelanlegg skal det måles karakteristisk impedans for hele talefrekvensbåndet på alle pupiniserte par. Dette vil vise eventuelle feil i spoler eller ved montering av spoler.

2.5 Dempning

Dempningen er et mål for hvor mye signalet, spenning og strøm, svekkes ved å passere gjennom linjen fra sender til mottaker. Dempningen bestemmes av ledermotstand, kapasitet og ved høyere frekvenser av induktansen.

Spenning og strøm avtar langs linjen etter en eksponensialkurve slik at forholdet mellom amplitudene ved begynnelsen av linjen og i avstanden x er

$$E_0/E_x = I_0/I_x = e^{\alpha x}$$

Linjens dempning er definert som

$$\alpha = \ln(E_0/E_x) = \ln(I_0/I_x) = \alpha x$$

der α angir linjens demping i neper pr km.

Hvis vi dekomponerer ligningen for transmisjonskonstanten γ vil vi få forholdsvis kompliserte uttrykk for α og β. For de forskjellige linjetyper kan man som regel gjøre visse forenklinger i formlene og bring dem over på en mer oversiktlig form. Imidlertid vil man i alminnelighet finne at dempningen er frekvensavhengig. For at talegjengivelsen skal være korrekt, må alle frekvenser som overføres gjengis med riktig styrkeforhold. Dersom dempningen er frekvensavhengig, vil ikke denne betingelsen være oppfylt og man får en forvanskning av talen som kalles amplitudeforvrengning. Høye frekvenser dempes mer enn de lave og vi får et underskudd på høye frekvenser.

2.5.1 Upupiniserte linjer

Sammenlignet med en kobberlinje har kabelen lav induktivitet og høy kapasitet noe som skyldes den korte innbyrdes avstand mellom lederne. Samtidig er motstanden høy slik at vi kan se bort fra induktiviteten (ωL) for lavere frekvenser (opp til ca 3000 Hz). Likeså kan avledningen settes ut av betraktning i fordhold til kapasitansen (ωC). Vi kan da sette opp en forenklet formel for dempningen for frekvenser i talebåndet:

$$\alpha = \sqrt{}[\omega RC/2]$$

Dempningen varierer altså med kvadratroten av frekvensen over hele frekvensområdet, noe som gir dårlig transmisjonsforhold.

Når frekvensen blir så høy at ωL dominerer i forhold til R, vil formelen for dempning kunne skrives på samme form som for en kobberlinje.

$$\alpha = (R/2)*\sqrt{}(C/L) + (G/2)*\sqrt{}(L/C)$$

Dempningen for en kobberlinje er tilsynelatende uavhengig av frekvensen og sammensatt av to ledd hvorav det ene skyldes motstanden og det andre avledningen. Det er imidlertid slik at dempningen til tross for tilsynelatende frekvensuavhengighet, fremdeles vil øke pga strømfortrengning og hvirvelstrømstap i ledningen.

2.5.2 Pupiniserte linjer

Kabelen har altså i utgangspunktet dårlige transmisjonsegenskaper. Når kabel allikevel har fått slik utstrakt anvendelse i langlinjetransmisjon, skyldes det pupiniseringen. Ved å øke kabelens induktivitet med pupinspoler, vil man også ved de lave frekvensene kunne oppnå en lignende frekvensuavhengighet som ved en kobberlinje.

For pupinkabel gjelder samme formler som for en kobberlinje, men pga at pupiniserte par virker som et lavpassfilter, må formlene multipliseres med en korreksjonsfaktor k.

$$k = 1/(\sqrt{1-n^2})$$

der $n = \omega/\omega_\infty$

Forenklet formel for dempningen blir da:

$$\alpha = (R/2)*\sqrt{(Cs/L_s)}*k$$

Dempningen vokser mot uendelig når frekvensen nærmer seg grensefrekvensen. Dempningen kan gjøres liten ved å opprettholde en tilstrekkelig høy grensefrekvens ved å velge stor L_s og liten s. Dette påvirker imidlertid også hastigheten slik at det blir et kompromis mellom laver demping og høyere hastighet.

Ved test/godkjenning skal dempning måles. Det kan gjøres med nivåmålinger for frekvenser i talebåndetområdet. Ut fra dette skal dempningsforvrengning beregnes.

2.6 Faseforvrengning

2.6.1 Gruppetidsforsinkelse

Transmisjonskonstanten : $\gamma = \alpha + j\beta$

α = dempningskoeffisienten
β = fasevinkel i rad pr. km

Spenning og strøm varierer med tid og sted langs linja som signalet sendes.

Spenningen varierer med tid og sted langs linja etter en sinuskurve der amplituden avtar eksponensielt med linjelengden x. En linjelengde tilsvarer en periode av spenningens bølgelengde λ.

Hvis vi betrakter spenningen som en funksjon av tiden t, har den samme kurveform etter en linjelengde som den hadde ved starten av linjen, men amplituden har minsket og vi har en faseforskjøvet vinkel lik βx.

Hvis vi nå tenker oss at x og t varierer samtidig, vil man finne at spenning og strøm forplanter seg som en bølge utover langs linja. Den hastigheten bølgen forplanter seg med, fasehastigheten v_p, finnes ved å følge en fase av bølgen.

Fasehastigheten uttrykkes:

$$v_p = \omega/\beta$$

Vi ser av ligningen at dersom alle frekvenser skal forplante seg med samme hastighet, må fasevinkelen være proporsjonal med frekvensen. Hvis ikke får vi faseforvrengning. Den ytrer seg slik at de forskjellige elementærsvingningene som en spennings- eller strømbølge er sammensatt av vil skille lag etter hvert, slik at bølgen deformeres. En viss faseforvrengning kan tollereres uten at det skaper problemer. Hvis derimot forplantningstiden for de forskjellig elementærsvingningene innen hver enkelt gruppe blir for stor, vil de enkelte gruppene oppløses og blande seg med nabogrupper og gjengivelsen blir mer eller mindre uforståelig.

Gruppetidsforsinkelse

$$t_d = 1/v_p = \beta/\omega$$

Fasevinkelen

$$\beta = t_d\omega+\beta_0$$

Da har vi en linje med stigning t_d. For forvrengningsfri transmisjon, må stigningen av denne linjen være lineær. Dvs at den deriverte av t_d må være lik 0.

Vi har en sammenheng mellom gruppetidsforsinkelse t_d og gruppe hastighet v_g, som gjør at hvis gruppetidsforsinkelsen er lineær så er gruppehastigheten konstant og vi har forvrengningsfri transmisjon.

2.6.2 Upupiniserte linjer

Fasehastigheten for en upup. kabel vil være

$$v_p = \omega/\beta = \sqrt{}(2\omega/RC)$$

Hastigheten varierer med kvadratroten av frekvensen noe som gir dårlige transmisjonsforhold.

Når frekvensene blir så høye at ωL dominerer i forhold til R, blir hastigheten som for en kobberlinje, uavhengig av frekvensen

$$v_p = 1/\sqrt{}(\omega L)$$

Hastigheten vil nærme seg en konstant verdi.

2.6.3 Pupiniserte linjer

Fasehastigheten for en pup. kabel vil være

$$v_p = [\sqrt{}(s/(L_sC))]*[n/\arcsin n]$$

der $n = \omega/\omega_\infty$

Hastigheten avtar med frekvensen og ved grensefrekvensen har vi

$$v_\infty = 2\sqrt{}(s/(L_sC))/\pi$$

Hvis det ikke skal oppstå faseforvrengning, må grensefrekvensen legges en god del høyere enn det aktuelle frekvensbåndet. Dempningen kan holdes liten ved å velge L_s stor og s liten. Imidlertid avtar også hastigheten i samme grad som dempningen avhengig av L_s og s. Det er hensynet til hastighet og grensefrekvens som er bestemmende for pupiniseringsgraden. Det blir derfor nødvendig å redusere litt på kravet til dempningen til fordel for en større hastighet.

Gruppetidsforsinkelse skal måles på de pupiniserte linjene for frekvenser i talebåndet.

2.6.4 Intersymbolinterferense (ISI)

På upupiniserte linjer er det aktuelt å overføre en del informasjon digitalt. Dette stiller en del andre krav til linjen enn analog overføring. Målingene blir også forskjellig i forhold til pupiniserte linjer.

2.6.4.1 Generelt om ISI

Dispersjon er et fenomen som går igjen enten det gjelder kobberlinjer eller optiske fiber som transmisjonsmedium. Med dispersjon menes at ulike frekvenskomponenter i et signal forplanter seg med ulik hastighet.

En firkantpuls har et uendelig spektrum. Når vi sender en firkantpuls over et dispersivt transmisjonsmedium, vil pulsen forandre form og strekke seg ut i tid. Påfølgende pulser vil derfor tendere til å overlappe og lager en forvrengning som vi kaller intersymbolinterferens (ISI).

Hvis ISI blir for stor, vil det ikke være mulig å detektere hvilket binært tegn som ble sendt, og en vil kunne få bitfeil. I praksis vil en også få bidrag fra flere pulser enn den som ligger nærmest.

Amplitudeforstyrrelse, faseforstyrrelse, båndbredden til kommunikasjonemediet og unøyaktig sampling kan være noen av årsakene til at ISI kan oppstå.

2.6.5 Digital transmisjon på kabel.

For å kunne overføre informasjon digitalt på en kabel, kreves det regeneratorer med passe avstand langs linja. Hvor ofte vi må inn med regeneratorer er avhengig av kvaliteten på transmisjonsmediet. Anbefalt avstand mellom regeneratorer på det utstyret som Jernbaneverket bruker i dag er mellom 1 og 2 km. Dette vil avhenge av kvaliteten på transmisjonsmediet.

For at den orginale pulsen skal kunne regenereres, kreves det at signalet ikke er for mye forvrengt når det kommer inn til regeneratoren.

2.6.6 Måling av øyekurve med oscilloskop.

Øyekurven er et oscilloskopbilde som blir dannet av et mottatt digitalt pulstog . Tidsaksen innstilles da slik at bare noen få bitintervall kommer med på skjermen. Oscilloskopet trigges eksternt av et stabilt, synkront signal for hvert bitintervall. På den måten vil flest mulige signalforløp legge seg over hverandre og det fremkommer et bilde som kan minne om et øye.

Øyekurvemålingen utføres ved å sende et digitalt pulstog inn på et kabelpar og måle med oscilloskop i den fjerne enden. Ved å måle den største frie vertikale åpningen, og den største frie horisontale åpningen i øyet, kan vi få et bilde av hvor meget signalet blir deformert etter overføring på kabel.

Matematisk kan ISI deformeringen utrykkes

20 log H/h

H = ideell vertikal åpning
h = deformert vertikal åpnig

Når regeneratorer er på plass og kabelen ellers er ferdig skjøtet osv, bør det for linjer som er upupinisert tas bitfeilmålinger. Dette for å kontrolere om kabelen kan benyttes for digitalt samband med høye hastigheter.

2.7 Isolasjon

For å sikre at en kabel har tilstrekkelig isolerende virkning mellom lederne og mellom leder og jord, skal det utføres isolasjonsmålinger. Dette måles ved å sende høye spenninger med lav frekvens inn i en leder. Det skal da ikke være gjennomslag over i annen leder eller gå noe betydelig strøm.

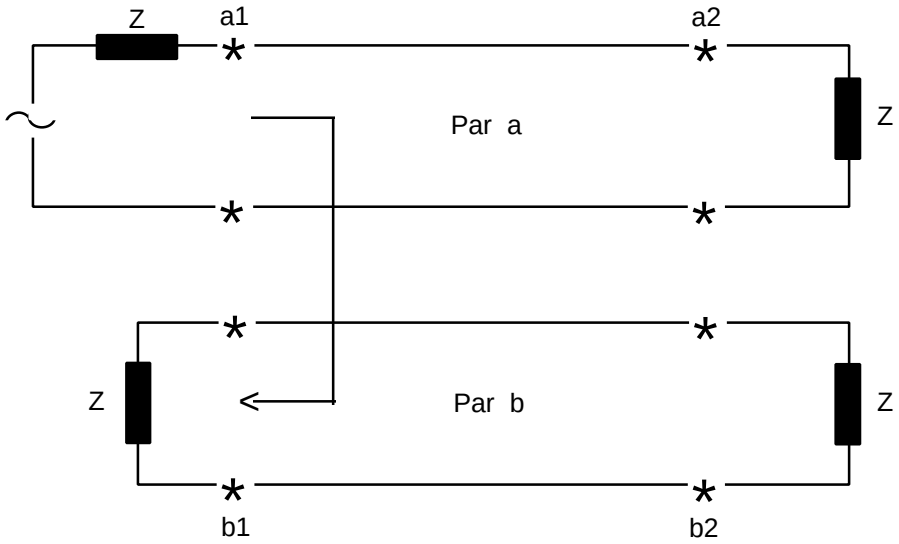
2.8 Krysstale

Krysstale oppstår ved at signal "lekker" fra et par over på et annet par i samme kabel. Krysstale øker med økende frekvens. Den skyldes i hovedsak usymmetri i kapasitans mellom de ulike trådene i en kabel. Ved å tvinne hvert par uavhengig av de andre søker man å utjevne denne usymmetrien

Normalt skiller man mellom to typer krysstale, nærende og fjernende krysstale.

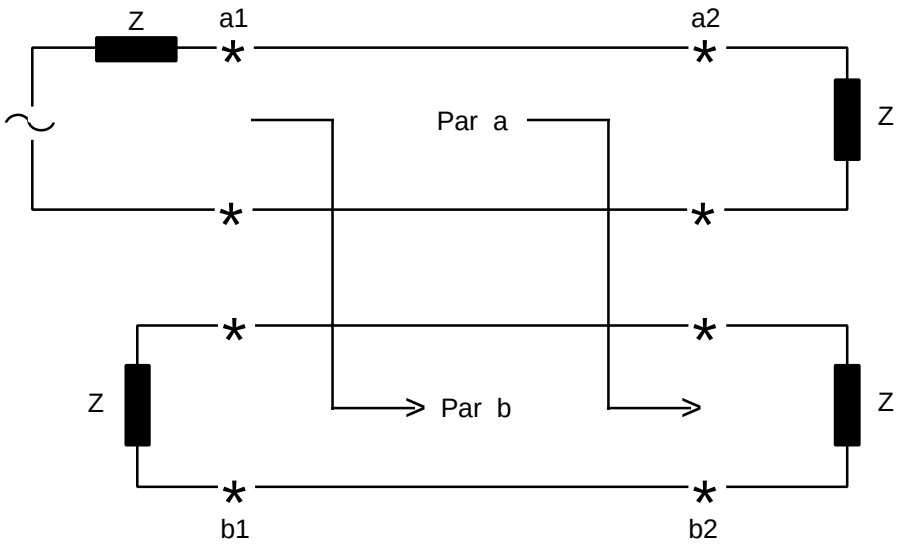
2.8.1 Nær ende krysstale.

Nærende krysstale er som regel dominerende. Denne oppstår ved at det i hvert linjeelement i par b induseres spenninger som setter opp bølger mot endepunktet b1.



2.8.2 Fjern-ende krysstale.

Tilsvarende nærende krysstale vil direkte fjernende krysstale oppstå på grunn av bølger som forplanter seg langs par b til endepunktet b2.



Virkningen av den kapasitive og den induktive koblingen mellom linjeparene vil adderes mot nærenden av par b, mens den vil subtraheres mot fjernenden. Dette fører til at nærende krysstale normalt vil bli dominerende.

2.9 Støy

Alle kobberkabler vil være utsatt for elektromagnetisk påvirkning fra omverdenen. Elektromagnetiske felt kan deles inn i følgende hovedgrupper:

* Nærfelt

- Elektrisk felt, eller høyimpedansfelt.
  Høy spenning fra en støykilde forårsaker et elektrisk nærfelt. Kapasitiv kobling vil indusere støyspenning i ledere som befinner seg i dette nærfeltet. Krysstale er et eksempel på denne type støy.

- Magnetisk nærfelt, eller lavimpedansfelt.
  Stor strømstyrke fra en støykilde forårsaker et magnetisk nærfelt. Varierende magnetiske felt som gjennomborer ledningssløyfer i nærliggende kretser, vil indusere støy-spenninger i disse kretsene.

* Fjernfelt, eller radierende felt

- I fjernfeltet til en støykilde vil det elektriske og magnetiske feltet være like stort, men med ulik retning. I fjernfeltet kan strålingsstøy gjøre seg gjeldende.

* Statisk elektrisitet

- ESD, electrostatic discharge, kan være pulser med høy spenning og store frekvensspekter. Dette kan være gnister fra mennesker som har oppbygd statisk elektrisitet eller atmosfæriske utladninger som lyn.

Grensene for nærfelt og fjernfelt er bestemt av Maxwell's ligninger.

Det skal måles støy på kabel ved test-/godkjenning av et anlegg. Det vil ikke være mulig å få testet støy under alle forhold da intern støy ikke vil bli målt her, men det er mulig å få et bilde av det elektromagnetiske miljøet som kabelen ligger i.

Støymålinger vil imidlertid være viktige ved en eventuell problemsituasjon under drift der feil-hyppighet og forstyrrelser er store.

2.10 Måling av kobberkabel

2.10.1 Måling under/etter kabelproduksjon

Her henvises til Televerkets utstyrsspesifikasjon for den kabeltypen det gjelder. Testresultater fra fabrikken skal være vedlagt ved levering.

2.10.2 Måling under/etter instalasjon

Målinger som bør utføres i forbindelse med test/godkjennings prosedyre:

- Karakteristisk impedans
- Dempning/dempningsforvrengning (Krav iht. ITU Rec. G.132 & M.1020)
- Faseforvrengning (Krav iht. ITU Rec. M.1020)
- Isolasjon
- Krysstaledemping (Krav iht. ITU Rec. G.151 & G.712)
- Støymåling (Krav iht. ITU Dir. V 1,2 & Rec. M.1020)

3 FIBERKABEL

Transmisjonskvaliteten på fiberkabel begrenses hovedsaklig av følgende punkter:

* Signal dempning

* Båndbredde/Informasjonskapasitet

* Tilkobling av lyskilde

3.1 Signaldempning

Signaldempning vil si forskjellen mellom innkoblet optisk effekt og mottatt optisk effekt. Dempning måles i dB/km.

De vanligste årsakene til dempning er følgende:

3.1.1 Material tap:

Infrarød absorpsjon. Absorpsjon av lavere frekvenser (Høyere bølgelengder) grunnet molekylære bevegelser i glasset.

3.1.2 Rayleigh spredning:

Tetthetsfluktasjoner. Dette er et fenomen som skyldes termiske bevegelser som sitter igjen når glasset tørker. (Dvs. ikke jevn tetthet i glasset) Dette fører til at lys blir reflektert i alle retninger ved sammenstøting med glassets molekyler.
Rayleigh spredning effekten minskes ved høyere frekvenser.

Infrarød absorpsjon og Rayleigh spredning kan man ikke gjøre noe med, og setter dermed den teoretiske grense for hvor lav dempning som kan oppnås.

3.1.3 Forurensing i glasset

Ved urenheter i glasset vil det oppstå absorpsjon av lys. Hovedsaklig har dette vært problemer med hydrogeninnholdet i glasset som har ført til økt dempning over tid.

3.1.4 Bøyning

Bøying av fiberkabel kan deles inn i mikro- og makro- bøyninger.

3.1.4.1 Mikrobøyning

Dette er mikroskopiske bøyninger på fiberaksen som oppstår som en følge av kablingsprosess og miljøpåvirkning. Det vil oppstå dempning i det optiske signalet da mikrobøyninger fører til kobling av effekt til kappemodi, dvs, modi som går i kappen.
Dette fører til effekttap.

3.1.4.2 Makrobøyning

Bøying av fiber slik at totalrefleksjonsprinsippet ikke lenger opprettholdes. Dette fører til tap av effekt, da lys forsvinner ut i kappen. Videre kan for stor bøyning forårsake mikrosprekker i glasset, som gir permanent høyere dempning pga. spredning av lys i sprekkene i glasset.

3.1.5 Radioaktiv stråling

Hvis fiberen utsettes for radioaktiv stråling kan det genereres lysabsorberende defekter i fiberkjernen.

3.1.6 Temperaturvariasjoner, strekk

Hvis fiber utsettes for store temperaturvariasjoner og/eller ved installasjon kan fiberen bli påført strekkskader som over tid vil gi utslag i økt dempning.

3.1.7 Skjøtetap

Årsakene til skjøtetap kan deles inn i to grupper. Ekstrinsikke tap, som kommer som følge av selve skjøte-arbeidet, og intrinsikke tap, som er en følge av fibernes parametre.

3.1.8 Ekstrinsikke tap:

- transversal forsyvning
- longitudinal forsyvning
- vinkelfeil
- ujevnheter i fibrenes endeflater
- Fresnel refleksjon (se pkt. 3.3.)

3.1.9 Intrinsikke tap:

- forskjell i kjernediameter/modefeltdiameter (MM/SM)
- forskjell i brytningsindeks

3.2 Båndbredde/informasjonskapasitet

Fiberens båndbredde er omvent proporsjonal med fiberens totale dispersjon.

Dispersjon er den effekten at en lyspuls vil spre seg ut i tidsplanet etter som den transmitteres ned en fiber. Dispersjon kan deles inn i to hoveddeler:

3.2.1 Modedispersjon

På grunn av at ulike modi vil ha ulik effektiv reiseveg fra en ende til en annen, vil en lyspuls spres ut i tid på strekningen.

3.2.2 Spektral dispersjon

Spektral dispersjon påvirkes av glassets brytningsindeks og av lyskildens spektrale linjebredde.

Material dispersjon:	Glassets brytningsindeks varierer med bølgelengde. På grunn av at lyskildens spektrale linjebredde inneholder flere frekvenser, vil dispersjon oppstå.
Bølgeleder dispersjon:	På grunn av bølgelederens utforming vil det gå noe lys i både fiberkjerne og kappe. Dette vil også avhenge av lyskildens spektrale linjebredde og vil variere med bølgelengde.

Material- og bølgeleder-dispersjon vil for enkelte bølge-lengder ha ulikt fortegn, og vil dermed tildels kansellere hverandres effekt på den totale dispersjon. For standard type fiber vil man kunne oppnå et minimum ved ca. 1300 nm.

Spektral dispersjon kan minimeres ved bruk av lyskilder med smal spektral linjebredde. Dette betyr at lasere vil være å foretrekke i forhold til LEDs sett utifra et dispersjons-synspunkt.

3.2.3 Dispersjon for multimodus fibre

For multimodus fibre som har forholdsvis stor kjernediameter og som dermed har mulighet for innkobling av flere modi, vil modedispersjon være framtredende. Ved bruk av laser som lys-kilde vil den spektrale dispersjonen være neglisjerbar i forhold. Benyttes derimot LED som lyskilde kan imidlertid den spektrale dispersjon være med å bidra til redusert båndbredde.

3.2.4 Dispersjon for singelmodus fibre

For singelmodus fibre er kjernediameteren eller modefelt-diameteren av en størrelse som kun tillater en mode å transmitteres over fiberen. Følgelig vil ikke modedispersjon oppstå på singelmodus fibre.

Ved standard singelmodus fiber vil det være et dispersjons-minimum ved ca. 1300 nm. Høy båndbredde kan imidlertid også oppnås ved 1550 nm ved bruk av såkalte dispersjonsskiftede fibre eller lasere med liten spektral linjebredde (singel modus laser).

ITU spesifiserer i Rec G.652 følgende grenseverdi for spektral dispersjon i singelmodus fiber (1285 - 1330 nm):

Spektral dispersjon: $D \leq 3{,}5$ ps / nm km

3.3 Tilkopling av lyskilde

Dette er et punkt som har nær sammenheng med dempning av signalene. Tilkobling av lyskilde er viktig for å overføre mest mulig av lyskildens effekt over på fiberen. Dette er avhengig av tre hovedpunkter.

- Spektral linjebredde på lyskilde.
  Desto smalere linjebredde desto større innkoblet effekt.

- Numerisk apertur
  Angir aksptabel vinkel på innkommende lys for at det skal kobles inn på fiber. (Stor sammenheng mellom lyskildens spektrale linjebredde og fiberens numeriske apertur)

- Fresnel refleksjon.
  Ved overgang fra et medium til et annet med ulik brytningsindeks, vil det alltid oppstå refleksjon i overgangen. Dette betyr at det vil være et betydelig tapsbidrag ved innkobling og utkobling av fiber.

3.4 Måling av fiberkabel

Til nå er det sagt endel om hvilke parametre som påvirker en fibers transmisjonskarakteristikk. Det er viktig at det i hele prosessen fra fiberproduksjon til idriftsettelse kontrolleres at kvaliteten på fiberen er som spesifisert. Vi vil her vise til hvilke målinger som bør foretas, og på hvilket nivå i prosessen de bør utføres.

3.4.1 Målinger under/etter fiberfremstilling:

- Strekkprøving
- Lengde
- Brytningsindeksprofil
- Geometri (Diameter/konsentrisitet)
- Numerisk apertur/brytningsindeksprofil
- Dempning
- Båndbredde (multimodus)
- Cut-off bølgelengde (Singelmodus)
- Modefelt diameter (Singelmodus)
- Kromatisk dispersjon (Singelmodus)
- Makro- og mikro-bøynings tap
- Bruddstyrke
- Evne til å motstå miljøpåvirkninger
  Temperatur, strekk, hydrogen, radioaktiv stråling etc.

3.4.2 Målinger under/etter kabelproduksjon

- Dempning
- Fiberforlengelse versus kabelforlengelse
- Skjøtetap (fabrikkskjøter)
- Miljøtester (dempning)
    * temperatur
    * hydrostatisk trykk
    * mekanisk strekk
- Mekaniske tester
    * bøyning
    * sammentrykning
    * støt
    * fleksibilitet
    * vridning
    * vibrasjon

3.4.3 Målinger under/etter installasjon

- Dempning
- Skjøtetap

3.4.4 Utførelse av målinger/krav til ytelse

Av alle de parametre som spiller inn på en fibers transmisjonskarakteristikk, er det kun et fåtall som det er praktisk at blir utført ved idriftsettelse av et kabelanlegg. Test av alle parametre (i den grad det hadde vært mulig) ville vært uoverkommelig kostnadskrevende. Det er derfor kun spesifisert noen målinger som skal utføres.