

# FYS 2150. ØVELSE 5

## OPTOELEKTRONIKK

Fysisk institutt, UiO

### Mål

Etter å ha gått gjennom denne øvelsen skal du kjenne til en del bruksområder for optoelektronikk. Du skal også kunne forklare hvordan lys kan brukes både til å framskaffe og formidle informasjon. Du skal også kjenne til forskjeller mellom analog og digital overføring av informasjon.

### Innledning

I denne øvelsen skal vi leke oss litt med optoelektronikk. Optoelektronikk er egentlig en gammel gren innen elektronikk, men på grunn av mange nyvinninger har optoelektronikk fått et kraftig oppsving de siste ti årene eller så. I dag brukes optoelektronikk i svært mange sammenhenger, og vi skal vise noen få som du lett kan få bruk for dersom du senere skal fortsette med eksperimentalfysikk eller elektronikk.

Optoelektronikk er, som navnet sier, en kobling mellom elektronikk og optikk. Med 'optikk' mener vi ofte i denne sammenhengen rett og slett 'lys'. Både synlig lys og infrarød stråling benyttes.

Et optoelektronikk system består svært ofte av en lyskilde og en detektor som er følsom for det lyset vi bruker. Som lyskilde ble det i gammel tid brukt lypærer av ymse slag. I dag brukes gjerne en lysemitterende diode eller en halvleder laser. Som detektor brukes gjerne en fotodiode eller en fototransistor. I dag kobles ofte mange fotodioder sammen i lange rekker, f.eks. 128 dioder like etter hverandre. Slike dioderekker (diode arrays) gjør det mulig å *samtidig* detektere lysforhold langs en hel linje.

Optoelektronikken har blitt populær av mange grunner. En av grunnene er at vi, på grunn av vår egen synssans, er vant med å bruke lys for å oppnå eller videreformidle informasjon. Det er da ikke så vanskelig å ta i bruk optoelektronikk for noen av de samme oppgavene når informasjonsinnsamling eller informasjonsoverføring skal automatiseres.

En annen grunn til optoelektronikkens popularitet henger sammen med at lys er *elektromagnetiske bølger* som kan forplante seg gjennom isolerende stoffer, til og med vakuum. Lys kan sendes fra et sted til et annet uten at sender og mottaker er i fysisk eller elektrisk kontakt med hverandre. Det betyr at en sender gjerne kan ligge på tusener av volt i forhold til mottakeren uten at dette har noe som helst å si for overføringen av lys mellom disse. Noe liknende er vanskelig å få til med tradisjonelle elektroniske koblinger.

Lys er dessuten elektromagnetiske bølger *med høy frekvens*. Vi kan bruke modulasjon eller multipleksing for å overføre flere signaler over en og samme “linje”. Ved modulasjon må “bærebølgen” ha en frekvens som er flere ganger så stor som den maksimale frekvensen på signalet som skal overføres. Når lys benyttes som “bærebølge”, betyr dette at vi i prinsippet kan modulere dette med svært høye frekvenser. En optisk fiber kan derfor ofte overføre langt høyere frekvenser (eller sagt med andre ord: Langt flere telefonlinjer) enn en tradisjonell kabel laget av metall.

♣ *For de mest interesserte:*

---

**Båndbredde for en metallkabel.**

Hvor høye frekvenser kan vi egentlig overføre i en kabel? Det er flere forhold som gjør at enhver kabel bare klarer å overføre frekvenser opp til en viss grenseverdi. Grenseverdien kaller vi “båndbredden”.

Når vi sender elektrisk likestrøm gjennom en metalledning, er resistansen omvendt proporsjonal med tverrsnittet i kabelen, se øvelse 5. Det vil si at dersom tverrsnittet i en kabel er  $0.5 \text{ mm}^2$ , så er resistansen dobbelt så stor som i en kabel med tverrsnitt  $1.0 \text{ mm}^2$  og samme lengde.

Dersom vi sender vekselstrøm gjennom en kabel, blir forholdene noe anderledes. Strømmen vil da gå lettere i den ytre del av kabelen enn i den indre. Vi snakker om en “skinndybde”  $d$ , og for kobber er denne gitt ved:

$$[d] = 6.5 \cdot 10^{-2} [n]^{-1/2} \quad (1)$$

hvor  $[d]$  er skinndybden i meter, og  $[n]$  er frekvensen i Hz (ubenevnte måltall). Skinndybden gir et mål for hvor langt inn i metallet strømmen går, og vi har illustrert dette i figur 1. Merk at det ikke er en skarp overgang i dybden mellom strøm og ikke strøm --- naturen oppfører seg sjelden slik.



Figur 1: Effektivt tverrsnitt for den elektriske strømmen er avhengig av tykkelsen på kabelen i forhold til den såkalte “skinndybden”. For likestrøm og lave frekvenser, vil hele tverrsnittet av kabelen benyttes (a), mens for høyere frekvenser vil bare en ytre del av kabelen lede strøm (b).

Fra likning (1) ser du at jo høyere frekvens, desto mindre blir skinndybden. For mikrobølger f.eks. med frekvens omkring 10 GHz, er skinndybden i kobber bare  $0.65 \mu\text{m}$ , mens ved 50 Hz er skinndybden ca. 9.2mm. Dette har betydning for hvor lett en kabel klarer å overføre signaler av forskjellig frekvens. Når frekvensen stiger, blir det *effektive* tverrsnittet (skravert område i figur 1b), mindre og mindre. Følgelig vil resistansen stige med frekvensen.

Det er også andre grunner til at vanlige ledninger ikke egner seg til overføring av høye frekvenser. Sender du vekselstrøm gjennom en ledning som har en lengde i størrelsesorden 10 % av bølgelengden (eller lengre), vil ledningen stråle ut en god del effekt som elektromagnetiske bølger. Ledningen virker da som en antenne. Bølgene forlater ledningen for godt, og strålingen vil føre til tap i overføringen langs ledningen. Siden bølgelengden avtar med høyere frekvens, vil også dette tapet øke med frekvensen.

Vi kan forhindre en vesentlig del av utstrålingen med å legge en skjerm rundt ledningen, slik vi gjør det i en coax-kabel. Av denne grunn vil en coax-kabel kunne brukes til høyere frekvenser enn en uskjernet kabel.

---

## Båndbredde for en optisk kabel.

I en elektrisk kabel overfører vi informasjon ved hjelp av elektronstrømmer. Variasjon i strømstyrke (eller spenning) er grunnlaget for "kodingen" av informasjon i vid forstand.

I en optisk fiber brukt for kommunikasjon er det ikke elektronstrømmer som er informasjonsbærere, men elektromagnetisk stråling i form av lys. Endring i lysintensitet danner basis for informasjonsoverføringen i en optisk kabel. Dempingen av lyset i kabelen er imidlertid uavhengig av hvor raskt lysintensiteten endrer seg, det vil si uavhengig av frekvensen på signalet som overføres. Vi får altså ingen skinndybdeeffekt ved høye frekvenser slik vi har i metallkabler. Dessuten holder lyset seg like godt inne i kabelen (fiberen) uansett hvor raskt lysintensiteten forandrer seg. Vi får altså ingen ekstra utstråling ved høye frekvenser slik som ved metallkabler. Av denne grunn vil en optisk kabel prinsipielt kunne overføre frekvenser helt opp til lysets frekvens, og denne er meget høy ( $3 \cdot 10^{14}$  Hz ved en mye brukt bølgelengde på 1000 nm innenfor infrarødt).

I optiske kabler kommer det imidlertid inn andre begrensinger når det gjelder den høyeste signalfrekvensen som kan overføres. Noen av begrensingene skyldes et fenomen kalt dispersjon (forklares siden). Dessuten er det vanskelig å få lyskilden og lysmottakeren til å reagere så raskt som en ønsker. Båndbredden blir derfor i praksis ikke så stor som antydnet ovenfor. Likevel kan en med dagens teknologi oppnå en vesentlig bedre båndbredde ved en optisk kabel enn for en metallkabel. Dette betyr at vi kan overføre flere signaler på en optisk kabel enn over en metallkabel.

Vi kan oppsummere fordeler med optiske kabler slik:

- Tilgjengelig båndbredde for gode optiske fibere er meget større enn for tradisjonelle metallkabler siden den optiske bærebølgen har frekvens i området  $10^{13}$ - $10^{16}$  Hz (mest vanlig i det nære infrarøde området omkring  $10^{14}$  Hz eller  $10^5$  GHz).
- Liten størrelse og vekt.
- Elektrisk isolasjon mellom sender og mottaker.
- Signalsikkerhet: en optisk fiber stråler ikke, og et fysisk inngrep vil nesten alltid oppdages.
- Lite tap: i dag er fibere tilgjengelig med tap ned på  $10^{-1}$  dB/km.
- Et optisk fibersystem er svært robust og fleksibelt, det har lang levetid og krever minimalt vedlikehold.
- Råmaterialet er billigere for optiske fibere (kvarts) enn for metallkabler (oftest kobber).

For de mest interesserte gir vi nå en kort historikk om utviklingen av optiske kabler og optoelektronikk brukt i kommunikasjon.

♣ *For de mest interesserte:*

---

### **Kort historikk om optiske kabler.**

Bruk av optiske bæreølger, eller lys, til kommunikasjon har vært vanlig i mange år. Enkle systemer som f.eks. signalbål, speil og signallamper har vært brukt med suksess. Så tidlig som i 1880 forteller Alexander Graham Bell om overføring av tale ved bruk av en lysstråle. En "fotofon" ble foreslått og fremstilt av Bell for overføring av tale over en avstand på 200m ved hjelp av sollys reflektert i en membran. Men av mangel på passende lyskilder, og pga. at atmosfæren egner seg dårlig til overføring av lys (begrenset fri siktelinje, dårlig vær etc.), stoppet utviklingen opp.

I 1960 våknet interessen på nytt idet laseren kom på markedet. Dette førte til en storstilt forskningsinnsats for å finne et passende medium til overføring av lys, og i 1966 ble de første optiske bølgelederne laget. Disse første kablene hadde meget høy dempning (ca. 1000dB/km), og kunne ikke konkurrere med koaksialkabler. I løpet av få år ble imidlertid denne dempningen brakt ned på samme nivå som for koaksialkabler, ca. 5dB/km. Imidlertid viste det seg å være et stort problem å skjote de optiske kablene på en enkel og pålitelig måte uten for stort tap i skjøten.

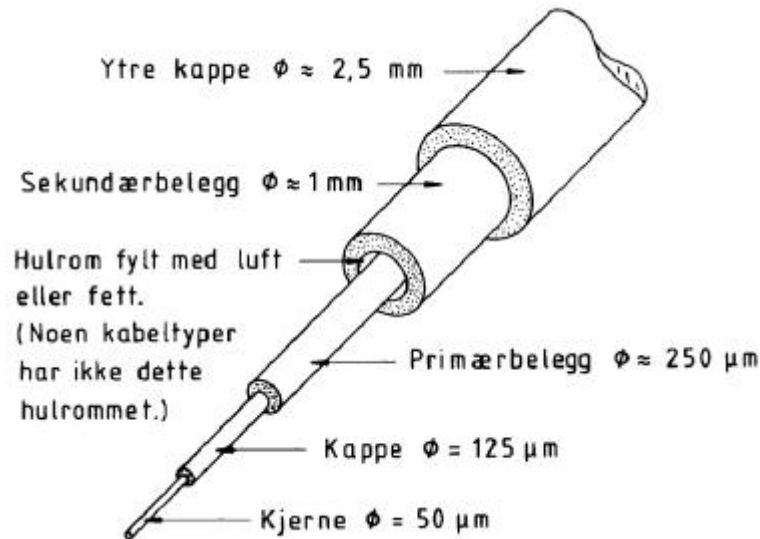
Parallelt med utviklingen av bølgeledere ble det også arbeidet mye med optiske komponenter som er nødvendige for å lage et optisk fiberkommunikasjonssystem. Ny teknologi var nødvendig idet de aktuelle bølgelengdene er ekstremt små (noen hundre nanometer). Halvlederteknologien ble introdusert også her, både for lyskilder (lasere, lysdioder) og detektorer (fotodioder, og til en viss grad fototransistorer). Stabile enheter med levetid på flere tusen timer var tilgjengelig på slutten av 70-tallet.

---

## **Oppbyggingen av en optisk kabel.**

En optisk fiber er en tynn tråd av glass eller plastmateriale. Materialet må være *svært* rent for at lyset skal slippe så uhindret som mulig gjennom kabelen. Andelen av forurensninger må være mindre enn  $10^{-9}$ . Dette er et uhyre lite tall, det tilsvarer ett gram pr. 1000 tonn, eller en middels skipslast, med kvarts. De beste fibre (glassfibere) som lages i dag har en dempning ned mot 0.1dB/km. Til sammenlikning kan det nevnes at på en meget klar dag langt fra Oslo vil atmosfæren gi en dempning på mer enn 20 dB/km.

En optisk kabel er satt sammen av mange lag forskjellig materiale. Likevel er den meget fleksibel og kan bøyes temmelig kraftig uten å ta skade. Den tynne innerste tråden kalles kjernen og er omgitt av et lag av glass eller plast (se figur 2) som kalles kappen. Disse har forskjellig brytningsindeks, og det er denne kombinasjonen av kjerne og kappe som danner den lysledende optiske fiberen. Kappen er dekket av et primærbelegg, som regel av silikongummi. Dessuten kan det være forskjellige beskyttelseslag utenpå dette igjen som skal hindre at fiberen (kjernen) blir utsatt for strekk, trykk eller andre ytre påkjenninger.



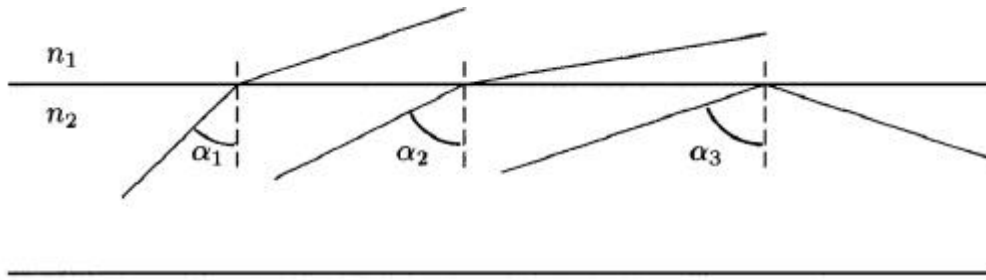
Figur 2: Skjematisk oppbygging av en fiberoptisk kabel. Lyset vil holde seg i kjernen på grunn av totalrefleksjon. Kjernen er omgitt av en kappe som har mindre brytningsindeks. Ytterst ligger diverse beskyttelseslag for å hindre mekaniske skader. (Figuren er hentet fra Tell og Østhus: Optoelektronikk, 1987.)

Vi deler optiske fibre inn i tre hovedkategorier etter hvilke materialer som blir brukt i henholdsvis kjerne og kappe. Tabellen nedenfor viser noen data som grovt karakteriserer de forskjellige typene. De beste kablene ligger på “topp” i tabellen, men disse er vanskeligst å produsere og bruke, og er også dyrest. Kablene som er billige og enkle å bruke er nederst i tabellen.

Fibertype kjerne/kappe	Kjerner diameter μm	Dempning dB/km	Båndbredde MHz · km
Glass/glass	5-50	<5	>1000
	80-200	5-20	>100
Glass/plast	100-1000	5-50	<50
Plast/plast	>300	>300	<1

Glass/glass typen blir brukt til telekommunikasjon, der det stilles krav til liten dempning og stor båndbredde fordi signalene skal sendes over store avstander. Glass/plast typen nyttes i transmisjonssystemer over avstander som er mindre enn 2-3 km. Plast/plast typen er den fibertypen vi skal bruke siden den er enklest og billigst. Prisen er ca. 6 kr. pr. meter, og dempningen ca. 250 dB/km. Den kan bare brukes til intern kommunikasjon over korte avstander, for eksempel i datamaskiner, biler etc.

Prinsippet bak optiske fibre har vært kjent lenge, selv om vi ikke kunne produsere brukbare fibre før ca. 1966. Prinsippet består i at lys kan ledes (“guides”) i tynne glassfibre langs krumme baner ved hjelp av total refleksjon (se figur 3).



Figur 3: Skisse av lysbrytning mellom to medier med brytningsindekser  $n_1$  og  $n_2$  ( $n_1 < n_2$ ) for tre forskjellige innfallsvinkler  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  og  $\alpha_3$ . Disse er henholdsvis mindre enn, nær og større enn den kritiske vinkelen ?.

Optikken forklarer dette slik: Når lys går fra kjernen med brytningsindeks  $n_2$  mot kappen med en noe lavere brytningsindeks  $n_1$ , endrer det retning. Hvis innfallsvinkelen  $\alpha$  (definert i figur 3) er større enn den såkalte kritiske vinkel ?, får vi totalrefleksjon. Den kritiske vinkel ? avhenger altså av forholdet mellom brytningsindeksene, og er gitt ved:

$$\sin g = \frac{n_1}{n_2}.$$

Enkle fibre består gjerne av en kappe med brytningsindeks  $n_1$  som er ca. 1% mindre enn brytningsindeksen  $n_2$  i kjernen. Det betyr at alt lys som beveger seg i fiberen med en vinkel relativt til aksene mindre enn ca.  $8^\circ$  blir totalreflektert og ledet langs fiberen. For at dette skal inntreffe, må lyset sendes inn i fiberen innenfor en forholdsvis smal lyskjegle kalt lysåpningen N.A. (numerical aperture) til fiberen (litt større enn  $\pm 8^\circ$  pga. brytning mellom luft og kjernen).

#### ♣ For de mest interesserte:

##### Tap i optiske fibre.

Tap i optiske fibre kan skyldes tap når lys sendes inn i fiberen og/eller tap når lys forplanter seg langs fiberen. Disse to typer tap kan ikke minimaliseres samtidig. Økes lysåpningen og fiberens diameter, reduseres tapene når lys sendes inn mot kabelen, men tapene når lys går langs kabelen vil da øke. Hva er viktigst å legge vekt på? Det viser seg at det er tap i selve kabelen som er viktigst for brukbar overføring. Dette kan en se dersom en setter opp uttrykket for optisk intensitet innover i en kabel. Hvis  $P(0)$  er intensiteten ("lysstyrken") av lyset vi får inn i kabelen, vil intensiteten langs kabelen være:

$$P(L) = P(0) \times 10^{-\frac{aL}{10}}$$

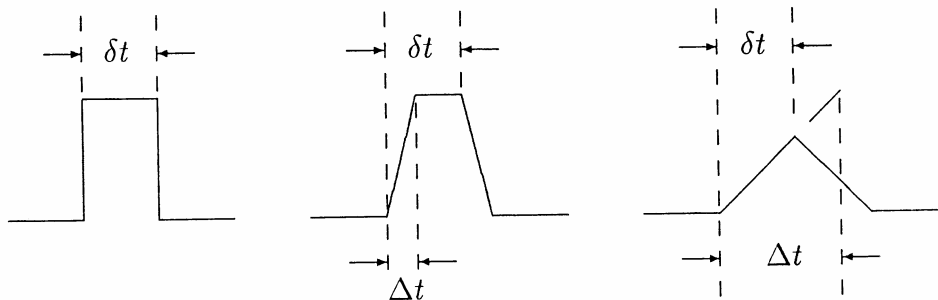
Den optiske intensiteten er altså proporsjonal med  $P(0)$ , men avtar så eksponensielt med produktet av dempingen (eller tapskoeffisienten, attenuation coefficient)  $a$  til fiberen og avstanden  $L$  innover i fiberen. Tapet angis i dB/km. (Tap kan beregnes i B (Bel) ved at en tar logaritmen til forholdet mellom utsendt effekt og mottatt effekt. Multipliserer vi med 10, får vi tapet i desibel.)

Også rent mekaniske forhold kan gi tap i en optisk fiber. Dersom vi skader fiberen eller bøyer den for mye, kan lyset lekke ut, noe som gir kraftig demping. Skjøting av fibre gir alltid en viss demping av signalet. Det er flere effekter som spiller inn. I enden av fiberen får vi en viss grad av refleks, og ujevne ender (dårlig polering) vil spre noe lys. Dersom fibre settes sammen med en vinkel mellom dem, vil noe lys kunne lekke ut. Det samme skjer dersom senterlinjene ikke treffer hverandre, eller dersom det er mellomrom mellom fibre. Du skal i denne øvelsen få prøve deg på å skjote og polere en optisk fiber.

## Dispersjon.

Vi vil alltid få mindre lys ut av en fiber enn det vi sender inn på grunn av den type tap som er beskrevet ovenfor. En annen form for “tap” i en optisk fiber er tap i “signalform”. Sender vi en skarpt tidsavgrenset puls inn i en kabel, vil pulsen ha en tendens til å “flyte ut” ettersom lypulsen forplanter seg langs fiberen. Denne effekten kaller vi *dispersjon*.

Betegnelsen dispersjon ble opprinnelig kun brukt om effekter som skyldes at elektromagnetiske bølger med forskjellig frekvens (forskjellig farget lys) forplanter seg med forskjellig hastighet. I fiberoptikken samles imidlertid *alle* effekter som bidrar til å øke bredden på pulsene i begrepet dispersjon. I figur 4 har vi forsøkt å vise hva dispersjon innebærer. For å forstå figuren, må du innse at noe lys vil gå raskere i fiberen enn annet lys. Det er to grunner til dette:



Figur 4: En firkantpuls som sendes inn på en optisk fiber vil ha en tendens til å “flyte ut” ettersom pulsen beveger seg langsetter fiberen. Dette skyldes at ikke alt lyset går med samme hastighet, enten på grunn av forskjell i gangvei (lys i forskjellig retning relativt til aksene) eller forskjell i hastighet (lys med forskjellig bølgelengde). De tre skissene viser lypulsen med opprinnelig lengde  $\delta t$  etter hvert som forskjellen i tid ( $\Delta t$ ) mellom den raskeste og den langsomste lysstrålen øker.

Lyset som beveger seg nøyaktig parallelt med fiberen, vil bruke kortere tid enn lys som går mest mulig i sik-sak (tilsvarende kritisk vinkel). Lys som sendes inn i kabelen er heller ikke helt monokromatisk (kun én frekvens). Hastigheten til lyset varierer med frekvensen. Også av denne grunn vil noe lys gå raskere enn annet.

Det er forskjellen i tidsforbruk som gir utflytingen av pulsene som er karakteristisk for dispersjon, slik som vist i figur 4.

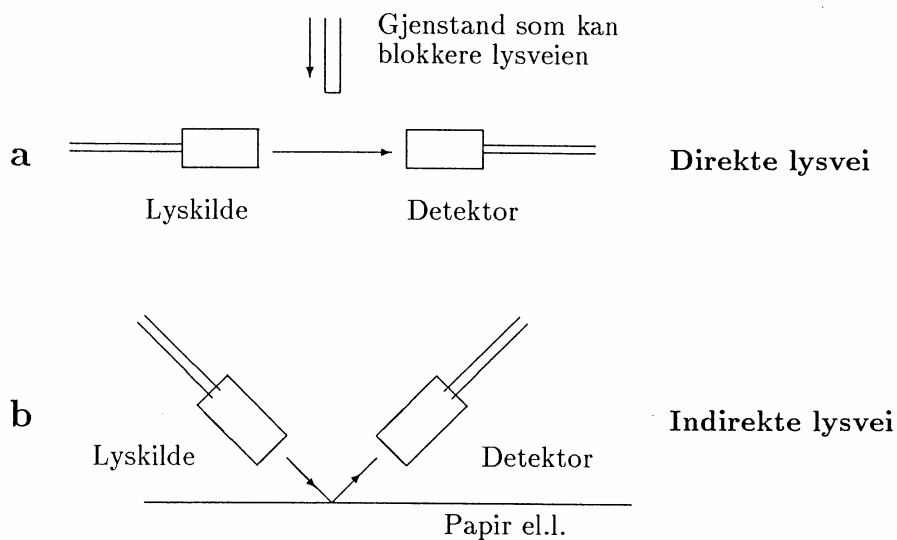
Dispersjon fører til at båndbredden på en optisk kabel må gis som f.eks. båndbredde pr. km kabel. Korte kabler kan overføre høyere frekvenser enn lengre.

## Oppgave 1 : Optoelektronikk ved innsamling av informasjon om lokale forhold.

Vi har nå sett mye på optiske fibere slik de brukes i kommunikasjon. Optoelektronikk brukes likevel ofte uten optiske fibere, og vi skal starte opp med å se på den enkleste bruk av optoelektronikk. Til tross for sin enkelhet, eller kanskje nettopp på grunn av sin enkelhet, er denne form for optoelektronikk svært mye brukt i dagens samfunn.

Systemer vi tenker på består generelt av en lyskilde og en detektor, og detektoren brukes kun for å avgjøre om lyset fra lyskilden når fram til detektoren eller ikke.

Som lyskilde brukes gjerne lysdioder. Disse er på sett og vis vanlige dioder av et halvledermateriale, for alle slike dioder gir fra seg elektromagnetisk stråling ved kvantemekaniske prosesser i pn overgangen. Det spesielle med lysdioder er at energigapet (mellom lednings- og valensbånd) er i det synlige (eventuelt infrarøde) området. Bare spesielle materialer virker slik. Lysdioder fås i alle farger, og kalles ofte LED (light emitting diode)



Figur 5: To måter en lyskilde og en detektor kan plasseres i forhold til hverandre ved enkle optoelektronikk oppsett.

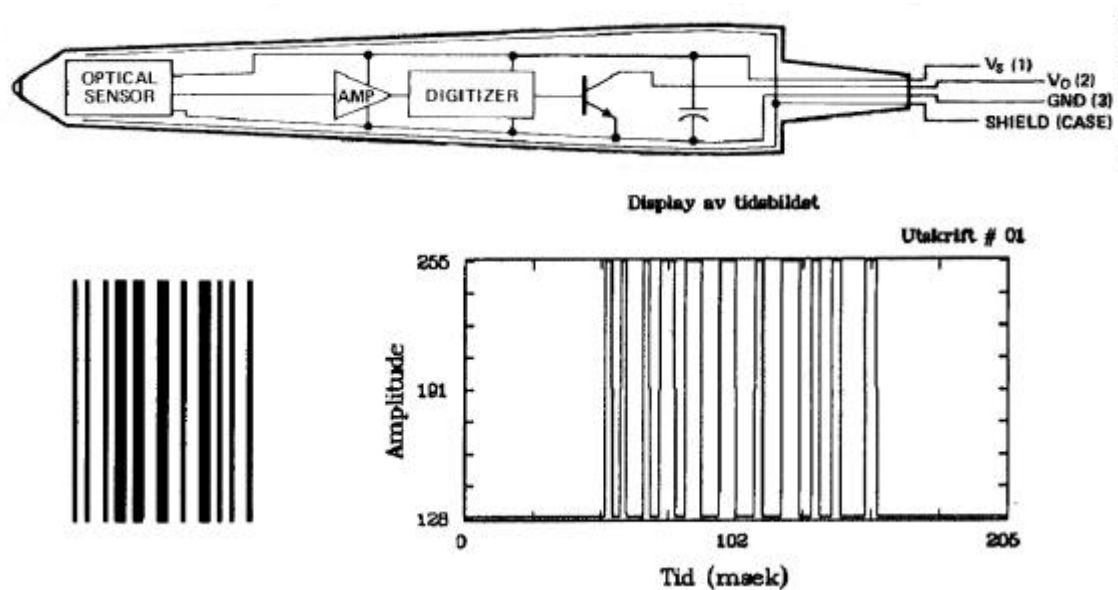
Som detektor brukes gjerne en fotodiode. En fotodiode er i prinsippet en miniatyrsolcelle (solcellen blir forklart i øvelse 11). På grunn av sitt begrensede areal egner den seg lite til strømproduksjon.

Lyskilden og detektoren kan være plassert på to prinsipielt forskjellige måter i forhold til hverandre. Dette er vist i figur 5. I det første tilfellet skinner lyset fra kilden *direkte* til detektoren (figur 5a). Oppstillingen kan brukes til å avgjøre hvorvidt det er kommet noen gjenstander i veien mellom lyskilde og detektor. Oppstillingen er velegnet i garasjeåpnere/lukkere, for tyverialarm, for posisjonering av mekaniske deler m.m.

I den andre oppstillingen når lyset fra kilden bare *indirekte* fram til detektoren, slik som vist i figur 5b. Lyset må skinne på f.eks. et hvitt papir for at detektoren skal sanse lyset. Denne oppstillingen



kan brukes f.eks. for å avgjøre når en papirstabel blir tom, den kan brukes i strekkode lesere, i Telefaks maskiner, i scannere (for å digitalisere bilder) m.m. De kan også brukes i servostyring av forskjellig slag for å overvåke rotasjonshastighet m.m. Oppstillingen brukes også på en raffinert måte i CD spillere.



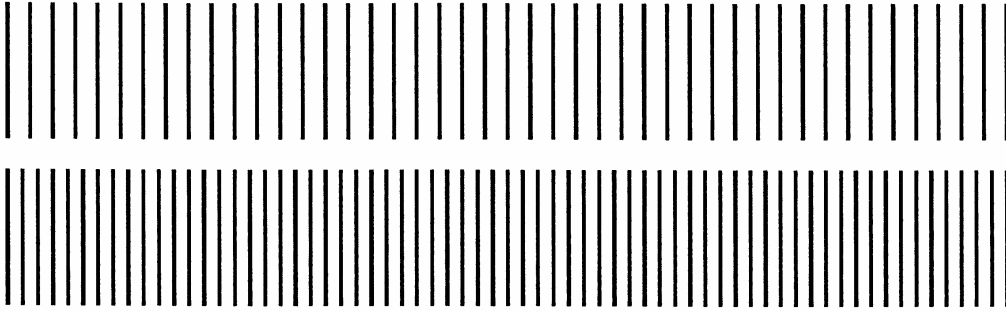
Figur 6: Strekkode leser (øverst) sammen med et eksempel på strekkode og tidbildet av signalet som kommer fra strekkode leseren når denne dras på tvers av koden (nederst).

I denne oppgaven skal du bruke en enkel strekkode leser (se figur 6) som nettopp er laget etter prinsippene i figur 5b. Inne i en litt tykk penn ligger både lysdioden (gir rødt lys) og fotodioden som er detektor. Det ligger også litt annen enkel elektronikk som vi ikke skal gå inn på her. Strekkode leseren ser forskjell på om den holdes ned mot en lys eller en mørk overflate. I figur 6 er det gitt en strekkode sammen med det signalet leseren gir fra seg når en trekker spissen på tvers av stripene. Signalet er registrert med ADC-en du brukte eller skal bruke i øvelsen "Digitalisering av lyd".

Dessverre har vi ikke anledning til å koble leseren mot en PC i denne øvelsen. Vi kan derfor ikke bruke leseren på vanlige strekkoder, og dekode mønsteret som kommer inn, selv om dette i prinsippet er temmelig enkelt.

Oppgaven er en del annerledes. Du har fått utlevert en vifte. Oppgaven er da rett og slett: *Bruk strekkode leseren for å bestemme omdreiningshastigheten til viften når denne er tilkoblet 6, 9 og 12V.* (Merk at rød plugg må tilkobles positiv spenning.) Svaret gis i omdreininger pr. minutt.

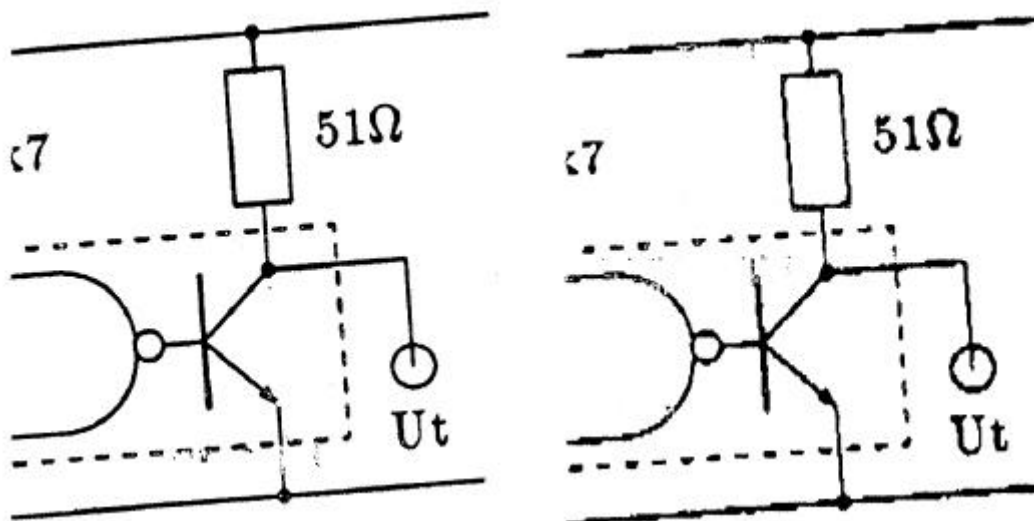
Vi kan gi følgende tips: Merk at det på viften finnes et hvitt merke som dreier rundt sammen med viftebladene. Strekkode leseren må kobles mot en spesiell koblingsboks. Denne boksen inneholder bare en motstand og plugger for diverse tilkoblinger. Kobles en coax-ledning mellom boksen og et oscilloskop, kan vi lese av hvilket signal leseren gir fra seg. For å stille inn oscilloskopet og teste at leseren fungerer, bør du føre spissen på leseren fram og tilbake over strekmønsteret i figur 7 og observere hva du ser på oscilloskopet.



Figur 7: Regelmessige striper som kan brukes for å teste strekkode leseren sammen med et oscilloskop.

Vi gir ingen flere opplysninger, men regner med at du er oppfinnsom nok til å se hvordan oppgaven kan løses. Vær imidlertid forsiktig med spissen på leseren så denne ikke blir ødelagt!

Til slutt i denne oppgaven spør vi om du kort kan foreslå en måte å lage en telefax maskin på. Anta at du har bare én leser tilgjengelig, og at den er omtrent maken til den du har her. Hvorfor tror du et telefax bilde er "hakkete" dersom du ser på det i forstørrelse, slik som vist i figur 8?



Figur 8: Forstørring av en originaltegning (til venstre) og det resulterende bildet etter telefax overføring (til høyre). Bildet ble med vilje sendt litt på skrå.

## Oppgave 2: En enkel optisk forbindelse

Vi skal nå se på en enkel optisk forbindelse for overføring av signaler. Oppstillingen består av en lysdiode (LED) som sender og en fotodiode med en etterfølgende forsterker som mottaker. LEDen som brukes gir gult lys (bølgelengde 585 nm) og fotodioden (type BS100C) reagerer på lys i den synlige del av spekteret. Størst følsomhet har denne dioden for lys i området 400 til 600 nm.

Start med å koble LEDen til en funksjonsgenerator. Bruk en BNC-banan overgang og la spenningen være av når du kobler opp. Slå på funksjonsgeneratoren. Betrakt nå lyset fra LEDen. Start med lav frekvens og lav amplitude. Juster funksjonsgeneratorens DC offset og amplitude til du ser at LEDen lyser godt. Hvorfor tror du at DC offset innstillingen er så viktig?

Ved lav frekvens (10-20 Hz) vil du se at lyset fra LEDen blinker. Øk frekvensen. Ved hvilken frekvens slutter du å se at lyset blinker?

Koble den ene oscilloscop-kanalen til den LED terminalen som er forbundet med signalterminalen på funksjonsgeneratoren (ikke jord). Av hensyn til senere justeringer av DC offset skal dette være den røde kontakten til LEDen. Bruk utlagt probe/koaksialkabel. Oscilloscopet jordes til funksjonsgeneratoren.

Sett så LEDen noen centimeter fra fotodioden. Koble fotodioden til en  $\pm 15$  V spenningsforsyning og koble jord på spenningsforsyningen til oscilloscopets jord. Den andre kanalen på oscilloscopet bruker du til å lese signalet ut fra fotodioden. Still frekvensen på funksjonsgeneratoren på 13 kHz, sinus. Juster så funksjonsgeneratorens DC offset og amplitude slik at begge signaler (inn på LED og ut fra fotodiode) er tilnærmet sinusformet og uten klipping eller tydelig misforming. (Tips: Forholdsvis stor offset og liten amplitude.) Skjerm om fotodioden mot lys fra rommet, spesielt fra taklyset. Hvilke forandringer ser du i utsignalet når du skjermer? Kan du forklare dette?

Tegn opp kurvform for signalet inn på LEDen og signal ut fra fotodioden. Velg så firkantpuls og trekantpuls som innsignal. Hvordan er formen på signalet ut fra fotodioden i disse to tilfellene? (Tegn) Kan du ut fra dette si noe om overføringssystemet LED-fotodiode-forsterkerkrets er lineært? Hvordan forandrer utsignalet seg når du øker frekvensen på innsignalet?

Den fotodioden som vi bruker er følsom for synlig lys. Dermed vil den også reagere på annet lys enn det som kommer fra den gule LEDen. Det kan gjøre eksperimentet foran litt vanskelig å gjennomføre, men dersom du skjermer LED-fotodioden går det bedre.

Nå skal du slå av den gule LEDen (fjern skjerming dersom du har brukt det). Taklyset skal være på. (Bruk eventuelt en bordlampe ved siden av dersom det er så lyst i rommet at du ikke ser noen effekt fra taklysene.) Se på signalet ut fra fotodioden. Tegn opp kurveforløpet. Hvilken frekvens har signalet. Er dette samme frekvens som på lysnettet? Kan du forklare eventuelle forskjeller i frekvens?

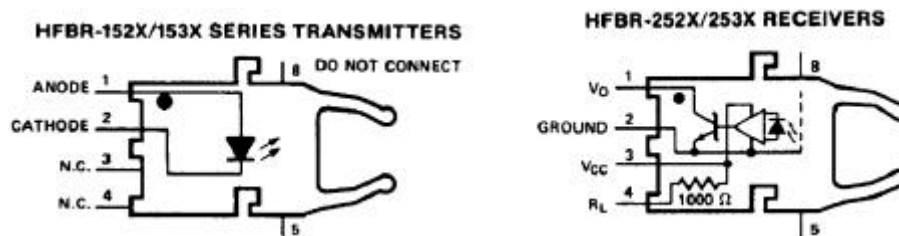
## Kommersielt utstyr for kommunikasjon ved hjelp av optoelektronikk.

I oppgave 1 så vi hvordan optoelektronikk kan brukes for å *skaffe* informasjon og i oppgave 2 så vi hvordan vi på en enkel måte fikk overført et signal ved hjelp av en LED og en fotodiode som hhv. sender og mottaker. I de resterende oppgavene skal vi se på forskjellige aspekter når optoelektronikk brukes for å *videreføre* informasjon, f.eks. over en optisk kabel. Vi skal bruke samme apparatur for alle de siste oppgavene, og vi vil først gi en innføring i denne apparaturen.

Apparaturen består av noen enkle optoelektronikksett fra Hewlett Packard (HP). Settene består av sender og mottager, optiske fibere, samt utstyr for tilkobling og skjøting av disse. Sender og mottager (transmitter, receiver) er innkapslet i hver sin "black box", men inneholder i praksis de samme komponentene som strekkode leseren, nemlig en lysemitterende diode i senderen, og en fototransistor m.m. i mottakeren. Enhetene er fargekodet med grått for sender og blått for mottager. Innmaten er vist skjematisk i figur 9.

Sender og mottaker er koblet i en enkel krets som vist i figur 10. Merk at vi foran senderen har en digitalkrets (NAND krets, se senere). Normalt vil et signal gå gjennom NAND kretsen før det ledes til selve senderen.

I figur 11 har vi skissert hvordan kretsene er koblet opp på et Brett. Det er montert klemskruer på brettet for enkel tilkobling ved hjelp av bananstikker. Merk at brettet har tre prinsipielt forskjellige deler, nemlig (fra venstre til høyre) en NAND/driver krets, en sender og en mottaker. Hver av disse delene har sin inngang og utgang (utgang fra sender og inngang til mottaker går gjennom fiberoptikk).



Figur 9: Skjema som viser innmaten i optoelektronikksettets sender og mottaker.

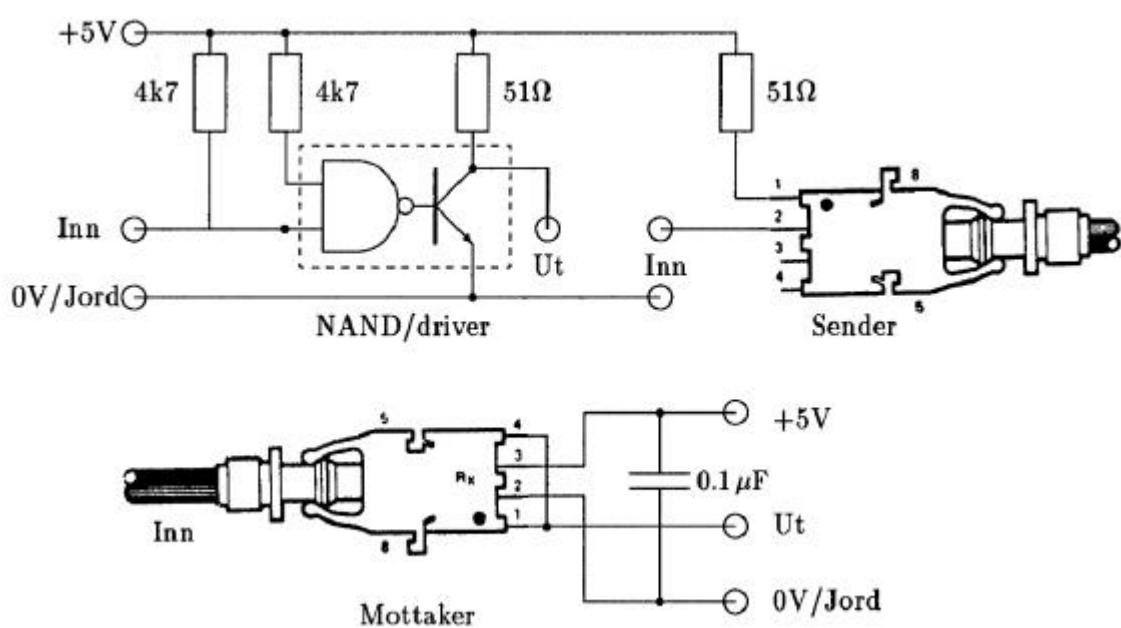
Vi har koblet NAND/driver og sender kretsene til ett ledningssett for driftspenning og jord, og mottakerkretsen til et annet ledningssett. Dette er gjort fordi disse sidene i prinsippet er to elektrisk adskilte systemer. Som det går fram av figur 11 kan vi imidlertid lett forbinde disse sidene med hverandre slik at strømforsyningen forenkles. (Vi lar det faktisk stå en fast ledningsstump i som forbinder de to sidene med hverandre.)

NAND kretsen i figur 10 og 11 er en krets du neppe har vært i kontakt med før. Dersom du har vært borti logiske operatører innen programmering, kan NAND kretsen lettest forstås slik: Kretsen gjennomfører en logisk *og* (AND) etterfulgt av en invertering (N -- negate).

Kretsen har to innganger og en utgang. Dersom spenningen på *begge* inngangene er "høy" (dvs. nær 5V), ville en AND krets gi "høy" på utgangen. (Egentlig holder det at spenningen er over en viss grenseverdi som gjerne ligger mellom 1 og 2V) Siden en NAND krets har invertering av signalet på

utgangen, vil utgangen fra NAND kretsen være “lav” (dvs. spenning nær 0V) når begge inngangene er “høye”. I alle andre tilfeller vil utgangen være “høy”.

NAND kretsen er koblet til en transistor (driver), begge deler er plassert i samme integrerte krets. Når utgangen fra NAND kretsen er “høy”, vil transistoren som følger like etter NAND kretsen lede strøm, og spenningen på kollektor synker mot null, dvs. “lav” (p.g.a. spenningsfall over 51Ω resistansen). Når utgangen fra NAND kretsen derimot går “lavt”, vil transistoren ikke lede strøm, og kollektorspenningen går mot 5V, dvs. “høy”.



Figur 10: Optokobler i Hewlett Packard optoelektronikk sett med tilgrensende elektronikk.

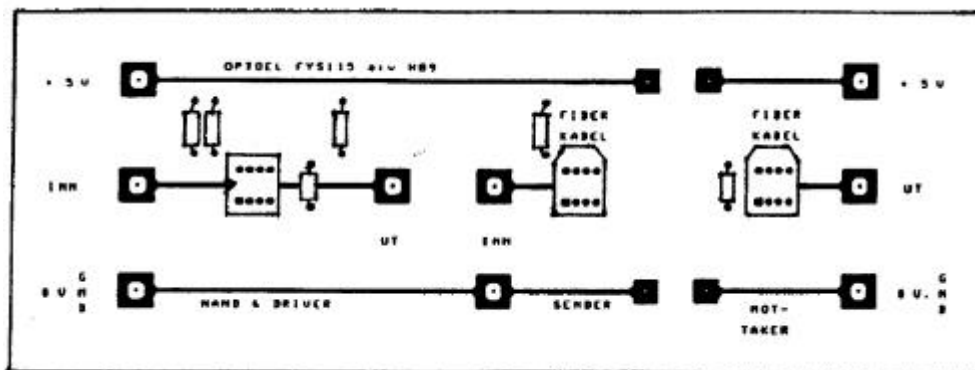
Dette ble mye “høyt” og “lavt”, og et par begreper kan nå være på sin plass.

- Kretser som praktisk talt kun har to stabile utgangsnivåer (“høy” og “lav”), vil vi kalle digitale i denne øvelsen (kanskje binære kretser ville vært bedre?).
- Kretser som har et kontinuerlig utgangsnivå der “uendelig” mange stabile nivåer er mulige, kaller vi her analoge.

Disse definisjonene vil du ha bruk for i flere av de følgende oppgavene.

### Oppgave 3 : NAND/driver : Eksempel på en logisk (og dermed også digital) krets.

Vi nevnte ovenfor at en NAND-krets foretok en logisk *og* operasjon etterfulgt av en invertering, og driveren (transistoren) gir nok en invertering. *Totalt sett vil derfor hele NAND/driver kretsen virke som en AND krets.* Den ene inngangen er koblet fast til “høy” (5V), den andre inngangen har vi mulighet for å variere spenningen på selv. Vi skal variere denne spenningen kontinuerlig i området 0 til 5V (nøyer oss i praksis med -0.5 til +3V) og se hvordan kretsen oppfører seg. Det er nemlig ikke opplagt hvilke spenninger kretsen vil oppfatte som “høy” og “lav” på inngangen. Det finnes faktisk ofte et område mellom disse som gir uforutsigbare (ofte oscillerende) signal på utgangen.



Figur 11: Fysisk utforming av sender og mottakerkretser for Hewlett Packard optoelektronikksett.

Koble kretsen i figur 10 til en 5V spenningskilde. Still funksjonsgeneratoren på 1kHz trekant, peak-to-peak amplitude 3.5V, og *DC offset satt slik at signalet går mellom -0.5 og 3V.* Først når du har oppnådd dette signalet kan du koble det til inngangen på NAND kretsen. Forsøk å bruke ett felles jordingspunkt for alle enheter i oppkoblingen (stjernekobling av jord). Bruk korte ledninger, og tvinn gjerne de to ledningene som hører sammen om hverandre (for å redusere “smitte” fra utgang til inngang).

Betrakt signalene på inngang og utgang av NAND/driver kretsen ved hjelp at et oscilloskop. Lag en skisse av disse signalene (bruk rutenettene bak). Beskriv med egne ord hvorfor denne kretsen kalles digital i motsetning til analog. Hvilke spenninger på inngangen til NAND kretsen blir betraktet som “lav” og hvilke spenninger som “høy”, og hvilke spenninger på inngangen gir ubestemt resultat på utgangen?

### Oppgave 4 : Sender og mottaker.

Du skal nå undersøke hvordan sender og mottaker for lys fungerer, og vi konsentrerer oss igjen om å se om de to kretsene oppfører seg analogt eller digitalt. Sett en fiberkabel (merket “OK”) inn i senderen, og koble en dekademotstand mellom inngangen på senderen og jord (midt på figur 11). Koble et multimeter slik at du måler spenningen på inngangen (meteret måler da spenning over dekademotstanden). Spenningskilden (5V) må selvfølgelig fortsatt være tilkoblet. Merk ellers at det *ikke* skal være noe ledning mellom utgang på NAND/driver og inngang til sender.

Ved håndtering av den optiske kabelen ber vi deg om å være litt forsiktig. **NB! Ikke dra i selve kabelen når du skal trekke et koblingsstykke ut av sender eller mottaker. Du drar i så fall hele fiberen ut av pluggen, og kabelen er ødelagt! Dra kun i koblingsstykkene. Vær også forsiktig slik at sender og mottaker ikke blir ødelagt.**

Still dekademotstanden etter tur på følgende verdier: 0O, 100O, 200O, 400O, 600O, 800O, 1kO, 1.5kO, 2kO, 3kO, 10kO, og noter hvilke spenninger dette tilsvarer på inngangen. Betrakt lysstyrken (for hver av disse resistansverdiene) fra enden på fiberen og beskriv hva du ser. Avgjør om senderen oppfører seg analogt eller digitalt (begrunn svaret).

Koble så fiberkabelen til mottakeren, flytt multimeteret slik at du måler spenningen på utgangen av mottakeren. Still igjen dekademotstanden på de samme 11 verdiene som i stad, og noter utgangsspenningene fra mottakeren. Avgjør om mottakeren oppfører seg analogt eller digitalt og begrunn svaret. (Merk: Det er selve mottakeren alene det her er snakk om. Du har ingen direkte måling av signalet *inn til mottakeren*. Likevel skulle du kunne gi et entydig svar, på grunn av målinger/observasjoner du gjorde på sendersiden.)

## Oppgave 5 : Om skader på fiberkabelen.

Funksjonsgeneratoren skal kobles til inngangen på NAND kretsen, men først etter at signal og DC offset er som det skal være. Vi bruker her et 10kHz sinus signal der det nederste nivået er -0.5V og det øvre nivået 3V (sjekkes på oscilloskopet før tilkobling til NAND kretsen).

Bruk igjen så korte ledninger som mulig, og tvinn gjerne de to ledningene som hører sammen omkring hverandre. Da får vi minst mulig "smitteeffekt" mellom inngang og utgang i systemet.

Kontroller at overføring av signal går greit med denne fiberkabelen (merket 'OK'). Sett dernest inn den utlagte kabelen merket "skadet", og forsikre deg om at den virker. Bøy den så forsiktig på midten i det området kappen er fjernet. Bøy den bare 90°. Følg med hva du observerer når kabelen bøyes, både med hensyn på signalet som overføres og når det gjelder utseende til selve kabelen. Noter dine observasjoner i labjournalen.

Hvorfor tror du at signalet fra mottakeren er uavhengig av bøyingen og det som da skjer? (Tips: Dette har noe med "digitalt" å gjøre.)

Det hevdes ofte at optiske kabler ikke kan "tappes" ("avlyttes") uten at det blir oppdaget. Hva vil *du* si etter å ha gjort dine observasjoner? Begrunn svaret.

For ordens skyld vil vi gjøre oppmerksom på at optiske fibre vanligvis er *langt* vanskeligere å skjøte enn den vi bruker her. Høykvalitets fibre, som brukes til telekommunikasjon over store avstander, har en meget tynn glasskjerne, og det kreves i praksis svært kostbart utstyr for å få en brukbar skjøt. De kablene vi har brukt i denne øvelsen egner seg ikke for overføringer over store avstander, både på grunn av tap og dispersjon. Likevel kan de være av stor nytte for mer lokale formål (i høykvalitets stereo utstyr og lokale datanett, og ikke minst i biomedisinsk instrumentering).

## Sluttbemerkning.

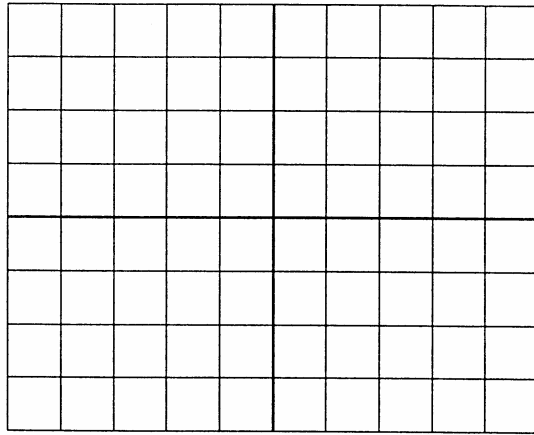
I både strekkode leseren og i fiberoptikk-settet hadde vi en digital mottaker. Dette skyldes at digital overføring ofte har store fordeler framfor analoge.

Likevel må vi poengtere at overføring av signal med lys også ofte skjer analogt. I så fall er gjerne sender og mottaker innbakt i en og samme stive hermetisk lukkede system. Da vil ikke skjøting, bøying, støv el. kunne forkludre det analoge signalet. Små "brikker" (integrerte kretser) laget på denne måten kalles gjerne *optokoblere*. Optokoblere brukes ofte for å isolere sender og mottaker elektrisk fra hverandre. F.eks. vil alle som skal begynne med biomedisinsk teknologi finne at alt måleutstyr som tilkobles pasienter må være elektrisk isolert fra el-nettet. I medisinen benyttes det derfor ofte optokoblere for å bryte den elektriske kontakten mellom pasienttilknyttet utstyr og utstyr tilknyttet lysnettet, samtidig som optokobleren tillater at signaler overføres mellom disse systemene.

## Utstysrliste:

- Oscilloskop
- Funksjonsgenerator, 4MHz, m. DC offset
- Koaksialkabel
- Multimeter
- Spenningskilde, 5V (kun én for alle oppsett)
- Variabel spenningskilde
- Koblingsboks for strekkode leser, med 5V uttak
- Strekkode leser
- Elektrisk vifte
- Fiberoptikksett på brett (laget ved FI)
- Div. BNC - bananstikk overganger
- Dekademotstand (10kO)
- Spesiell fiberkabel bit m. koblingsstykker
- mm papir

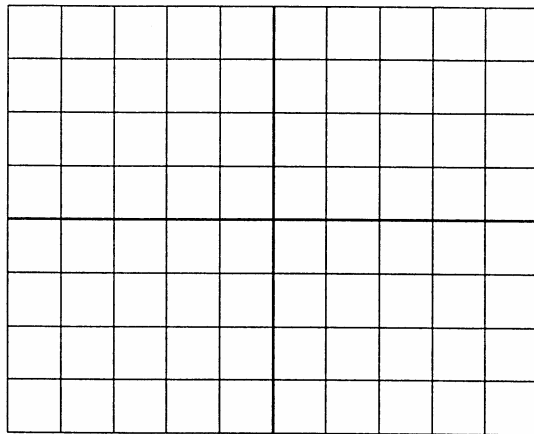




Signal:

V/div:

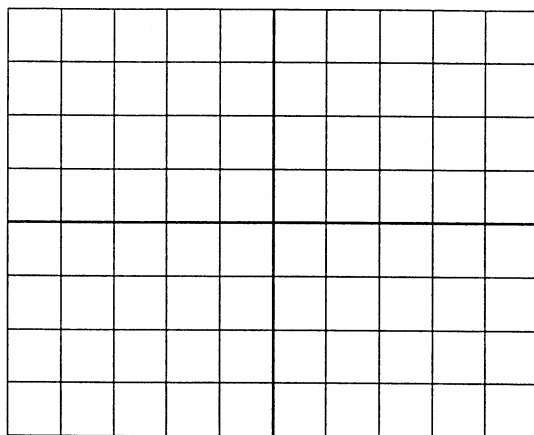
sec/div:



Signal:

V/div:

sec/div:



Signal:

V/div:

sec/div: