

# IN 1080

Sensorer

Yngve Hafting, 2022

# Beskjeder

- Forelesninger:
  - Ser ut som hele planen blir brukt (tom 24.mai)
- Regneøvelser
  - Tom 22. mai.
- Lab er prinsipielt ferdig
  - Oblig 6 frist i går
  - Normalt kun ut denne uken.
    - Reinnlevering / evt ny fremvisning kan være neste uke, men avtal med labveileder!
      - Det er ikke labveileders ansvar å sørge for avtaler for fremvisning
    - *Labveilederne skal ha tid til eksamensforberedelser i sine kurs!*
- *Trekkfrist for IN1080 V2023 er 31.mai*
  - *(Vi leverer lister med godkjente obliger før denne fristen)*
- *Eksamen er 14. juni 09:00-13:00 i Silurveien*

# Hvor står vi og hvor går vi...

## Kort om emnet

- *Grunnleggende analog elektronikk, sensorer og sensor grensesnitt, aktuatorer. Programmering av mekatroniske systemer.*

## Hva lærer du?

Etter å ha tatt IN1080 kan du:

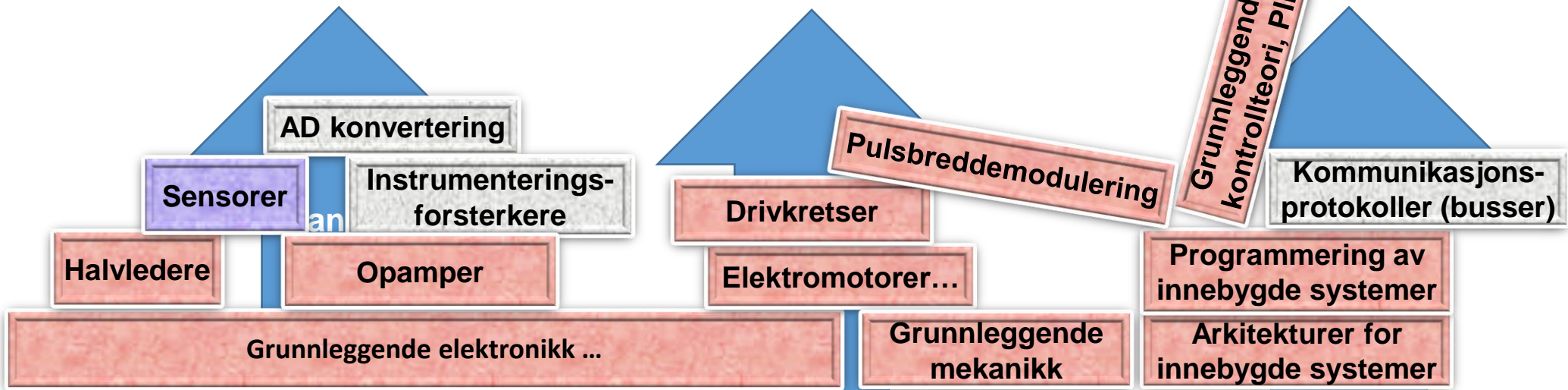
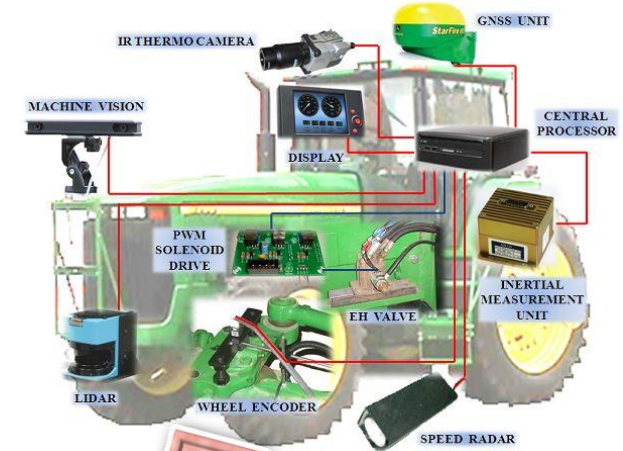
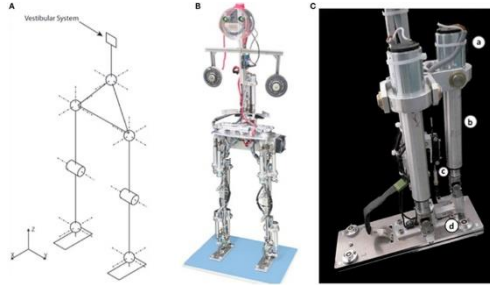
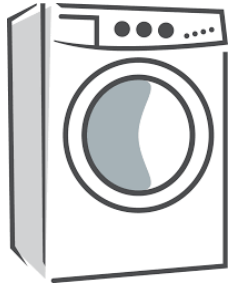
- *forstå virkemåten til analoge kretser. Aktuelle begreper er: strøm, spenning, motstand, effekt, impedans, likestrøm, vekselstrøm, RCL, MOS, FET, OPamp*
- *bruke klassiske analysemetoder basert på Kirchoff, Thevenin og Nortons teoremer*
- forstå og anvende sensorer, signalkondisjonering og konvertering, samt noen komponent-komponent busser
- *bygge og programmere enkle mekatroniske systemer med mikrokontroller, aktuatorer og sensorer*
- forstå grunnleggende kontrollteori og virkemåte for PIDkontrollere

## Forelesning

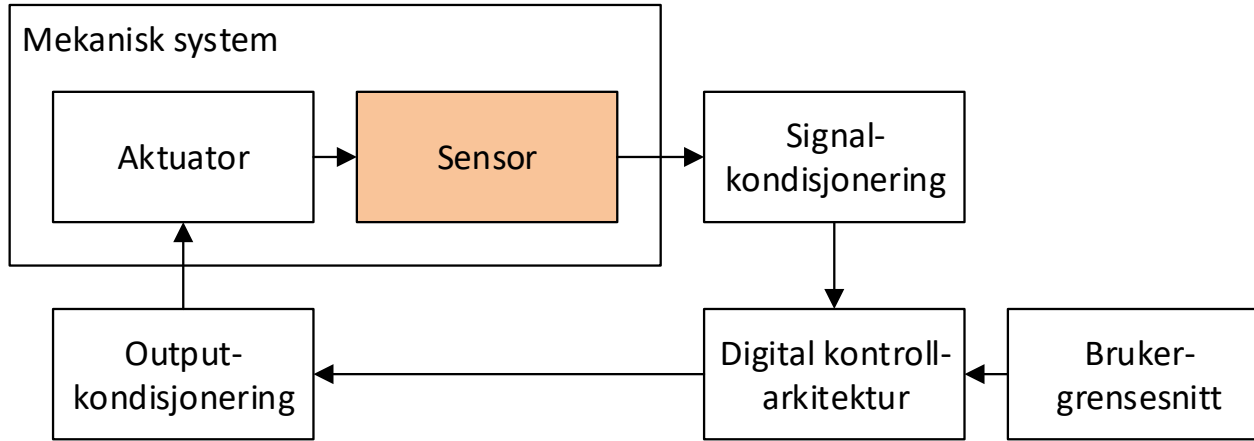
- *Kunne velge sensorsystemer for mekatronikk*
  - Hva er en sensor
  - Hvilke typer sensorer finnes
  - Hvordan virker sensorer?
-

# Hvor står vi – hvor går vi...

Formål: Å lage og programmere mekatroniske systemer



# Systemperspektiv og oversikt



- Sensor begreper

- Transducere, aktuatorer og sensorer
- Aktive og passive sensorer
- Hva slags sensorer kan vi få tak i?

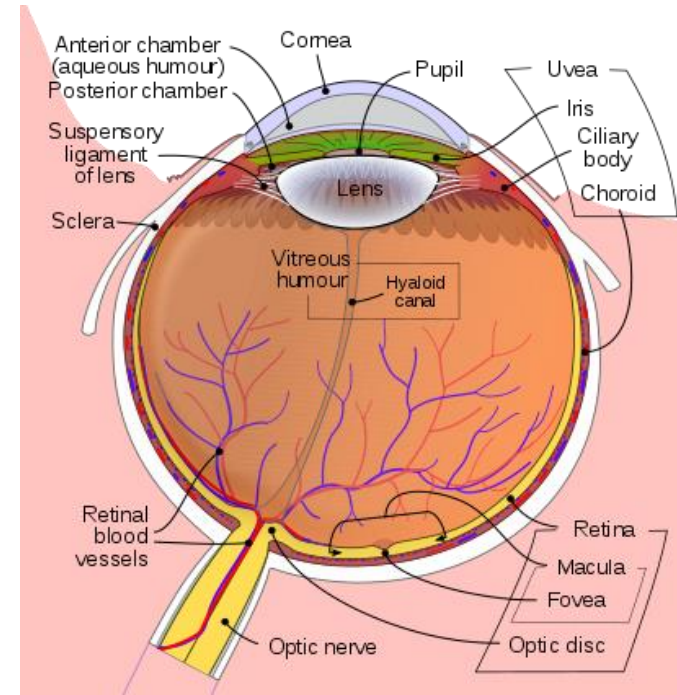
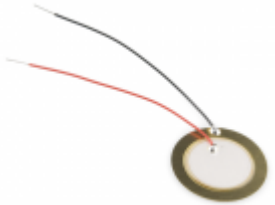
- Sensorer

- Brytere
  - Pullup kretser
- Resistive sensorer
  - Eks : Streklapp i wheatstone bru og datablad
- MEMS
- Piezoresistive
- Induktive
- Hall
- Optiske
- Laserbaserte
- Kapasitive

# Transducere, aktuatorer og sensorer



- En **transducer** er (per definisjon) en **gjenstand som overfører energi fra en form til en annen**.
  - En transducer som genererer et *elektrisk signal* kalles en *elektrisk transducer* (ofte sensor)
  - En transducer som genererer *mekanisk bevegelse* kalles en *aktuator*
- En **sensor** er noe som kan *føle* eller *måle*...
  - Sansene våre avhenger av sensorer slik som øyne, øre, smaksløker osv.
  - *Kan brukes om sensorsystemer*, som f.eks et ekkolodd eller en radar eller et fotoapparat, eller enkeltkomponenter som kan brukes til en måling.
- I mekatronikksystemer benyttes gjerne elektriske transducere som sensorer.
  - Vi omtalerer disse typisk bare som sensorer, medmindre de brukes den andre veien også. (Eks: ultralydstransducere)



# Aktive og Passive Sensorer

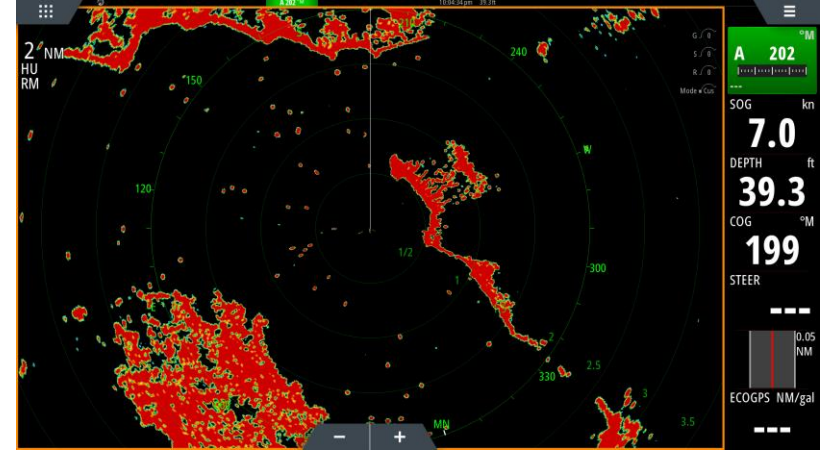
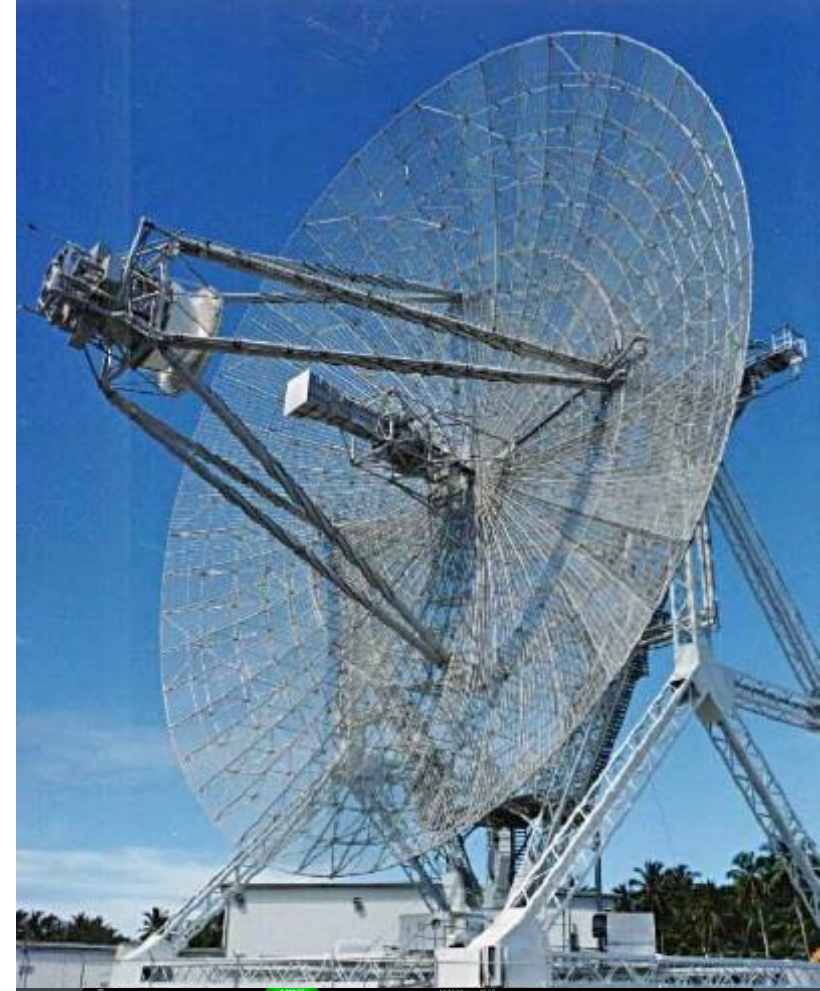
- To forskjellige definisjoner:

1. Sensorer som *bruker vs. ikke bruker* strømforsyning. (alle sensorsystemer der vi forsterker eller digitaliserer)

- Mye brukt, men *upraktisk* definisjon for mekatroniske systemer som omtrent utelukkende vil benytte sensorer som en del av en elektrisk krets.

2. Sensorer som *sender ut signaler* (energi) er *aktive*, i motsetning til de som bare passivt måler det som de tar inn.

- Hva er en sensor? Et helt sensor system (eks kamera + blits eller bare bildebrikken?)
- Aktive: Radar, Lidar, Ultralyd, Lasere,..
- Passive: Streklapp, antenne, pickups,..



# Hva kan vi måle fysisk?

## Hvilke Typer Sensorer har vi?

- Tid
  - Klokke
  - Frekvens
- Posisjon
  - Vinkel
  - Høyde
  - Lengde
  - Avstand
  - Hastighet
  - Rotasjon
  - Orientering
- Temperatur
- Luftfuktighet
- Gass
  - ...
- Lyd
  - Hørbar lyd
  - Ultralyd
  - Tonehøyde
- Lys
  - Fotodiode
  - Farge, bølgelengde
  - IR
  - Røntgen
- Kraft
  - Moment
  - Trykk
  - Strekk
- Magnetfelt
  - Hall effekt
  - Feltstyrke
  - MR
- Elektriske
  - Strøm
  - Spenning
  - Motstand
  - Brytere
- Ioniserende stråling
  - Geigertellere
- Massespektroskopi
  - *RAMAN spektrometer*
- Atomære størrelser
  - *Kvante-tunneleringsmikroskop..*
- OSV...



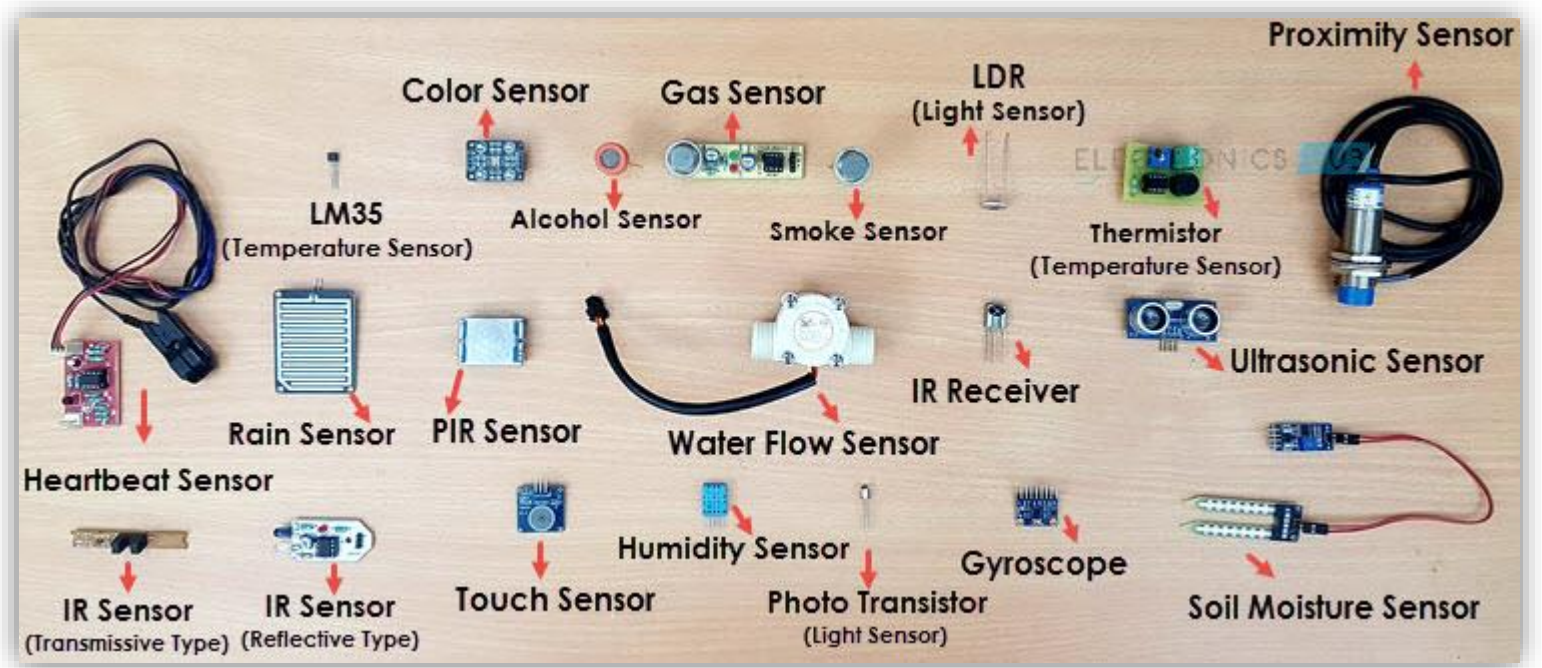
# Hva vi kan måle vs hvordan vi måler

- Hva vi kan måle avgjør hva slags funksjon systemene våre kan ha
- Hvordan vi måler avgjør hvordan vi bygger systemene
- Sensorer med ulik funksjon har ofte svært lik tilkobling elektrisk
  - Vi skal gå gjennom de mest brukte innenfor mekatronikk.

# Hvordan er sensorer bygd opp?

Vi skal gå gjennom...

- Brytere
- Motstand
- MEMS
- Induktive sensorer
- Hall sensor
- Optiske sensorer



# Brytere

- Bryterkonfigurasjoner

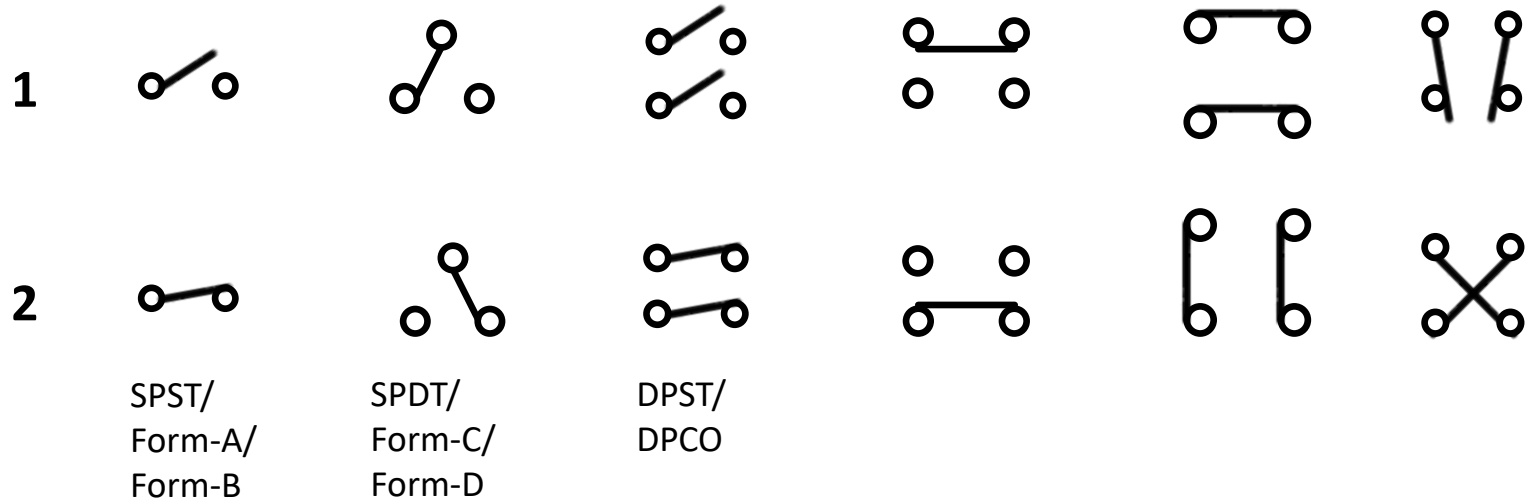
- Lett å avsløre med multimeter

- Terminologi

- Firebokstavers koder for brytere se

<https://en.wikipedia.org/wiki/Switch>

- P = «Pole» er antall brytere
- T = «Throw» er antall muligheter per pol
- S = «Single»
- D = «Double» *to brytere som aktueres samtidig*
- NO = Normally Open (av?)
- NC = Normally Closed (på?)



## Prell

Vanlig i mekaniske kontakter. Digitale systemer må ta høyde for at det forekommer.

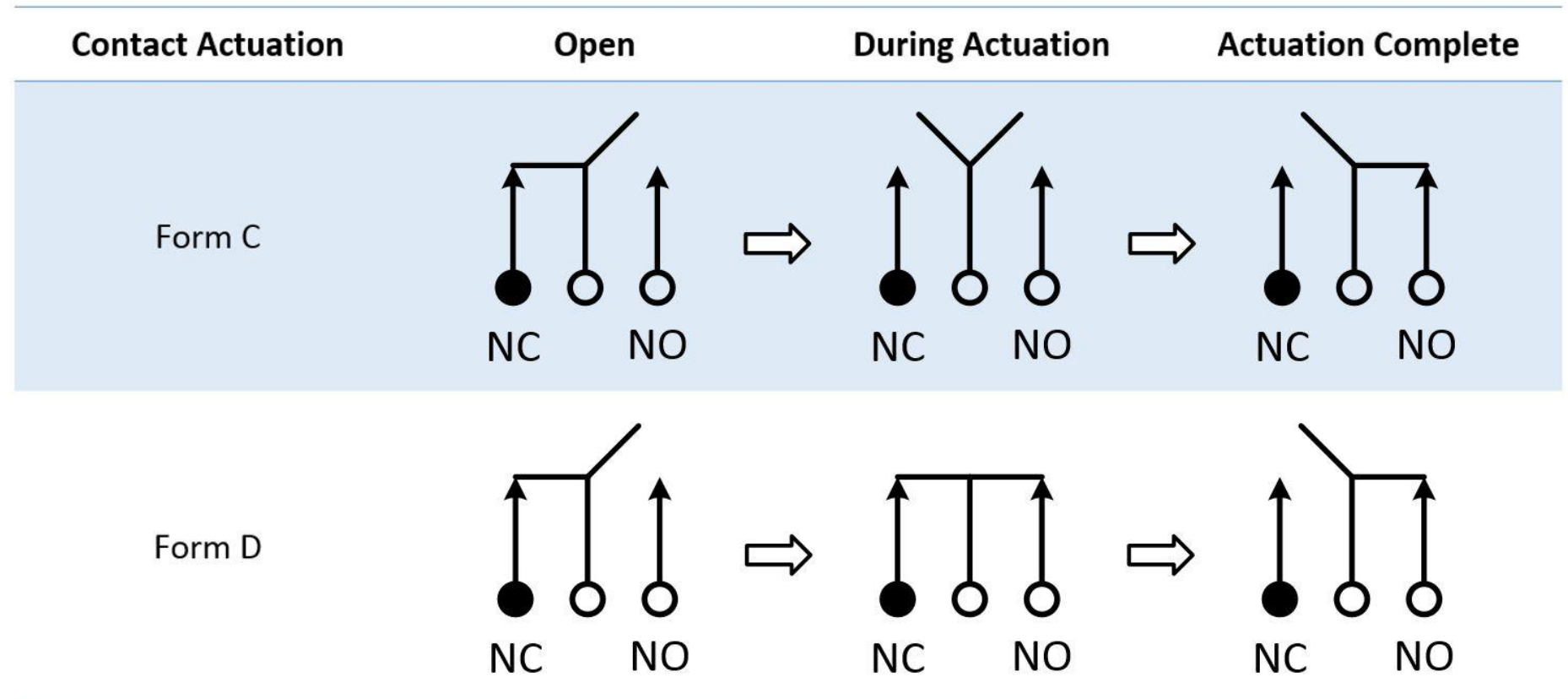
# Brytere-terminologi

Hver pinne kan beskrives som:

NC = Normally Closed

NO = Normally Open

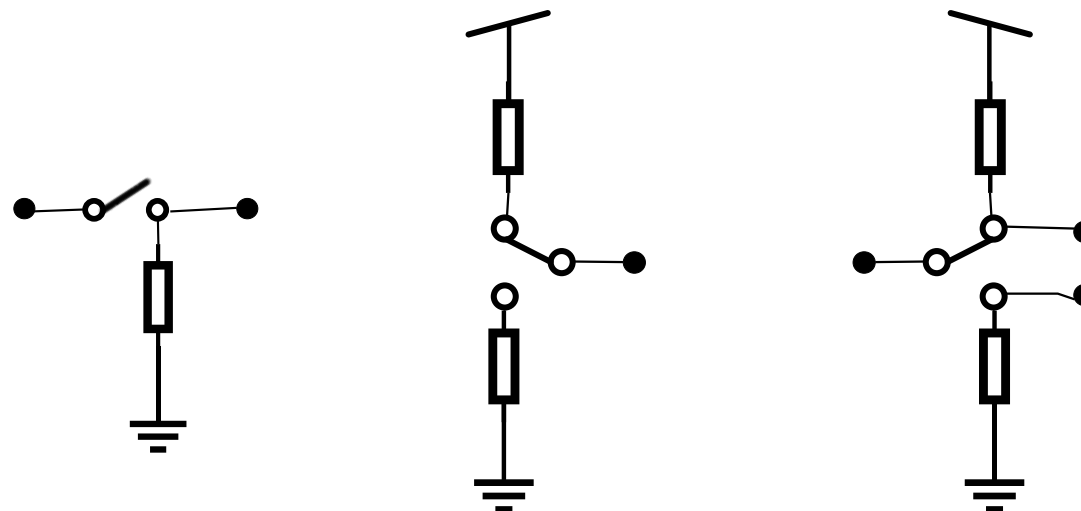
MERK forskjell på form D og form C før du har fullført aktivering



<http://www.ni.com/white-paper/3960/en/>

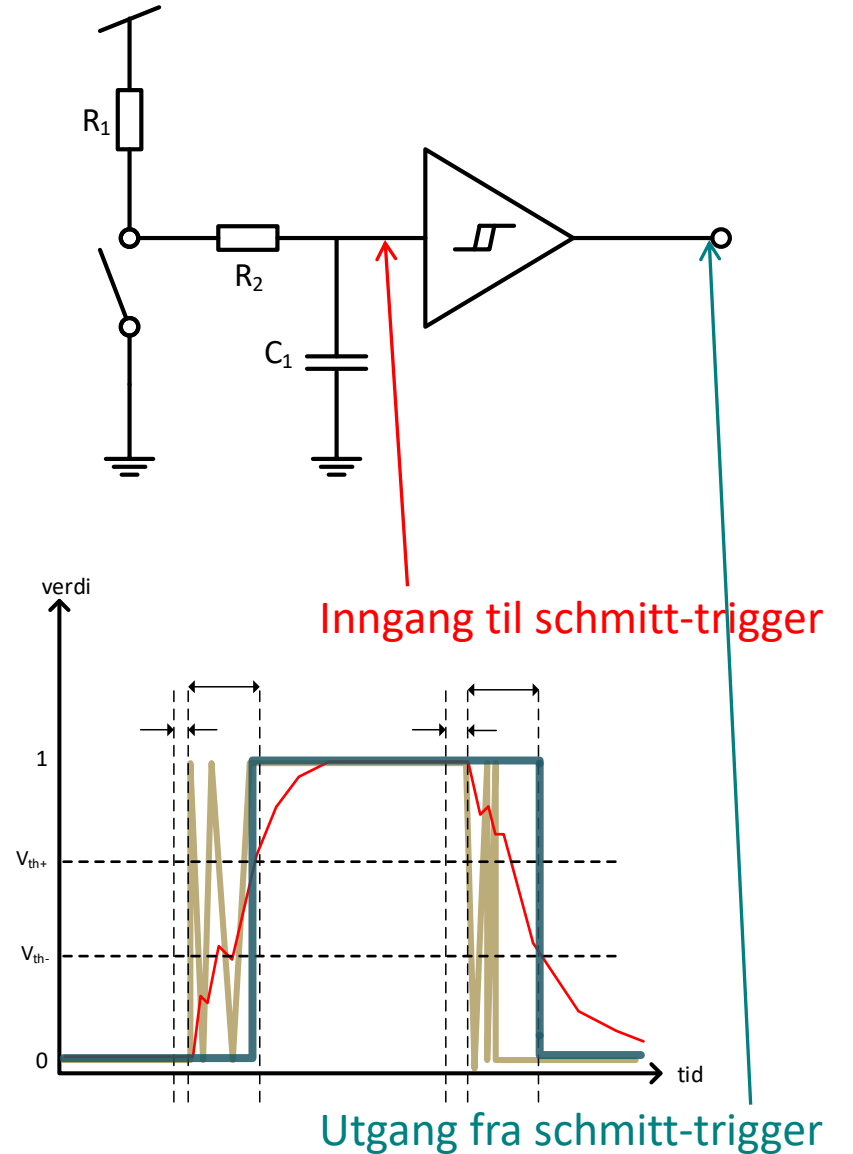
# Pull-up/-Down (sammen med brytere)

- Store motstander (typ  $1k\Omega$ -  $100k\Omega$  ++)
  - Gir verdi (høy/lav) til terminaler som ikke er koblet til
  - Lavt strømtrekk når terminalen kobles til
- Brukes i forbindelse med
  - Brytere
  - Busser
  - IO- porter
- Avgjør om en bryter er "På" Eller "av"
  - Eks:
    - NO koblet til pullup er gjerne på i utgangspunktet
      - Da er det naturlig at vi kobler til jord når vi lukker bryteren
    - NO koblet til pulldown er av i utgangspunktet
      - Da bør vi koble til VDD (evt VCC) for terminalen som kobles til når vi lukker bryteren.



# HW Prellbeskyttelse, Debouncing

- Håndtering av prell fra bryter med en krets:
- Filtrere med et lavpassfilter
  - Vi kan bestemme tidskonstanten  $\tau = RC$  ved valg av motstand og kondensator
- og bruke en schmitt trigger (krets med hysteres)
- Schmitt triggerer kan lages med opamper (Regneøvelse)
  - Kan være inverterende...
    - Her:...
    - diagram gir normalt høy,
    - Plott er normalt lav
    - $R_1$  og bryter vært byttet i diagram for å gi plott.

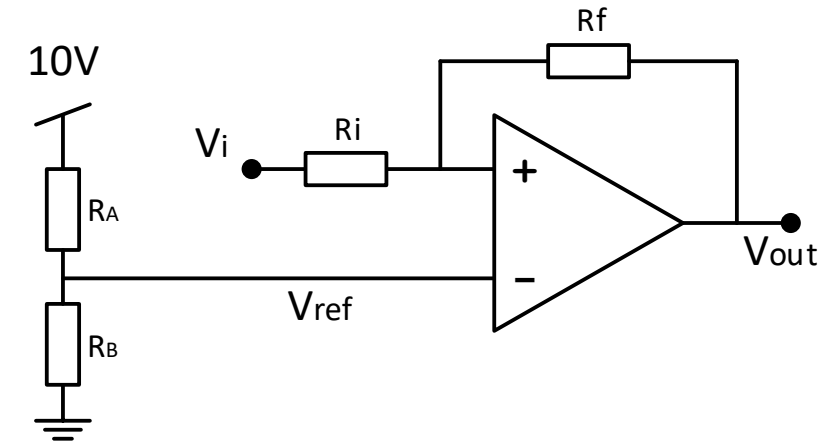


# Eksempel til regneøvelse

Vi har en schmitt trigger satt opp som vist på figuren.  
Maksimalt strømtrekk for inngangen er  $\pm 1\text{mA}$ .  
Alle spenninger forutsettes at kan varieres mellom 0 og 10V.  
Vi ønsker at triggeren skal trigge på 2,2V (opp) og 1,8V (ned)

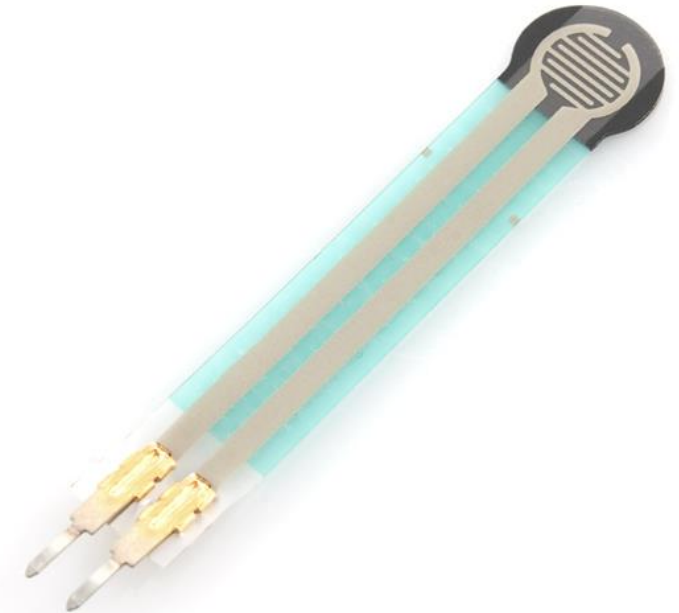
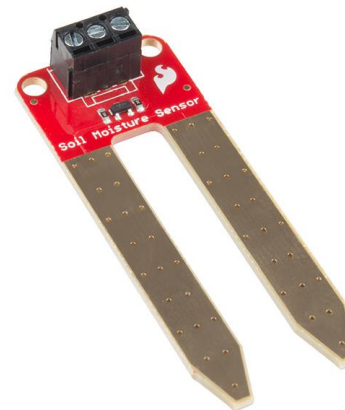
- a) Hva er minsteverdi for  $R_i$  og  $R_f$  tilsammen?
- Hint: Hva blir strømmen i det vi skifter mellom maksimale utslag?
- b) Hva er minste verdi for  $R_i$  og  $R_f$  og hvilken verdi må  $V_{ref}$  ha?

- Hint:
  - *Hva slags tilbakekobling har vi på opampen?*
  - *Hvilke virtuelle spenninger har vi?*



# Motstandsbaserte sensorer

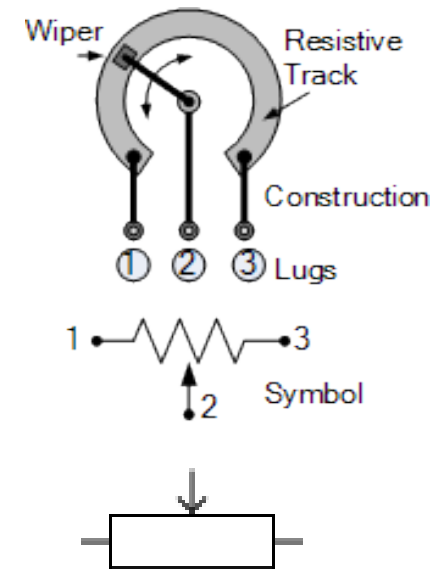
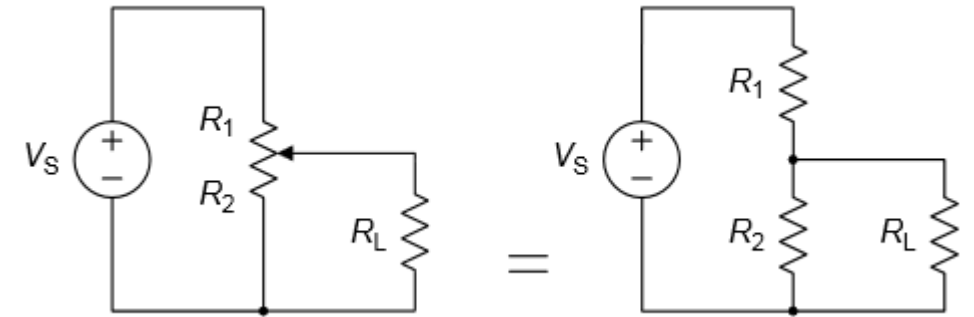
- *Krever at de inngår i en spenningsdeler som for eksempel en wheatstone bru.*
- FSR: «Force resistive sensor»
  - Inneholder en polymer som leder strøm bedre dess mer den er klemt sammen
  - Billige, men ikke spesielt nøyaktige i bruk
- Regnsensor og Fuktighetssensor for jord
  - Utnytter at vann senker resistansen mellom trådene
- Potensiometer
  - Måler gjerne vinkel ved å endre kontaktpunktet på et metallbånd
- Strekkklapper / Trykksensor
  - En motstandstråd der motstanden øker når sensoren strekkes (til å måle krefter/ vibrasjoner, ikke lange utslag)
  - Typisk brukt i en wheatstone bru (neste foil)
- Temperatursensor



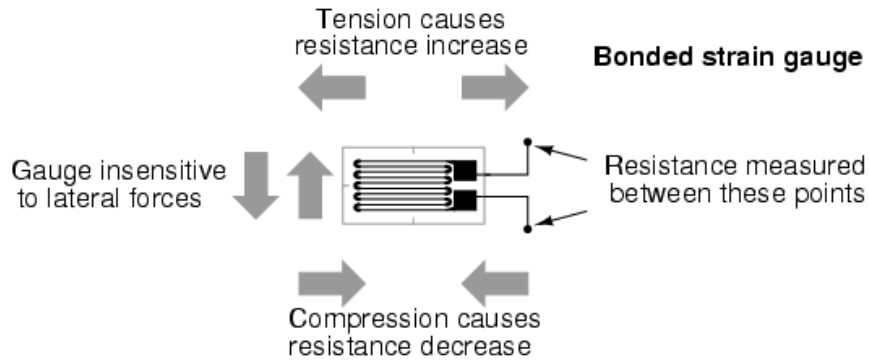


# Potentiometer

- Et potentiometer er en variabel spenningsdeler
  - Svært ofte er de dreibare, slik som vist på bilde/figur.
  - Kan også brukes som en variabel resistans
- Brukes f.eks i servoer



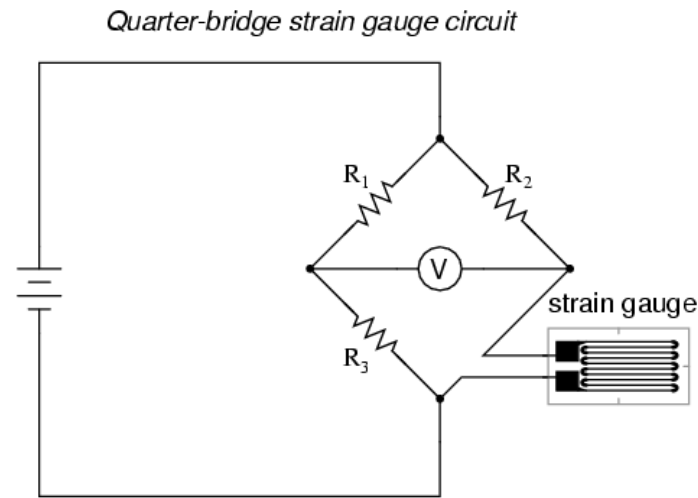
# Eks s1/2: Strekkklapp (Strain Gauge)



$$R = \rho \frac{l}{A}$$

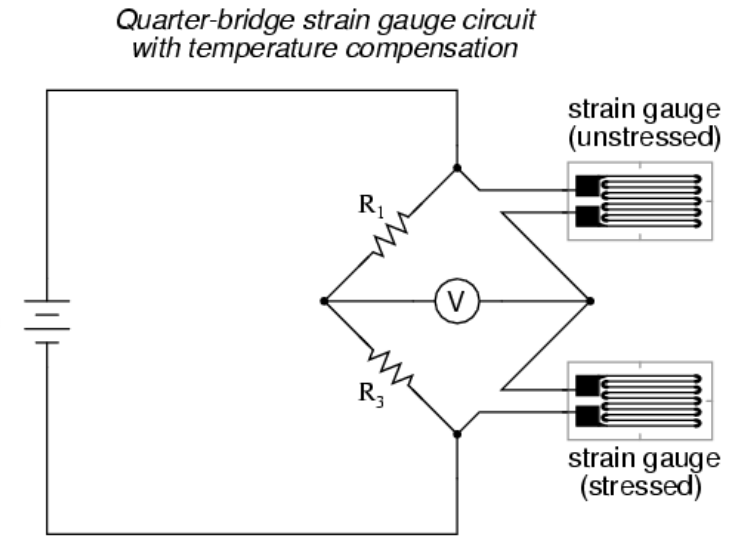
$\rho$  (Rho) er resistiviteten til det ledende materialet oppgitt i  $\Omega\text{m}$ ,  $l$  er lengden (m) og  $A$  er arealet av tversnittet ( $\text{m}^2$ ).

Ved kompresjon så minker  $l$  og  $A$  øker, omvendt ved strekk.



En Quarter Bridge (wheatstone bru) kan brukes.

Presisjonen blir dårlig: Strekkappen endrer resistans med temperatur og lineariteten ikke er allverdens, samt at utslaget er lite.

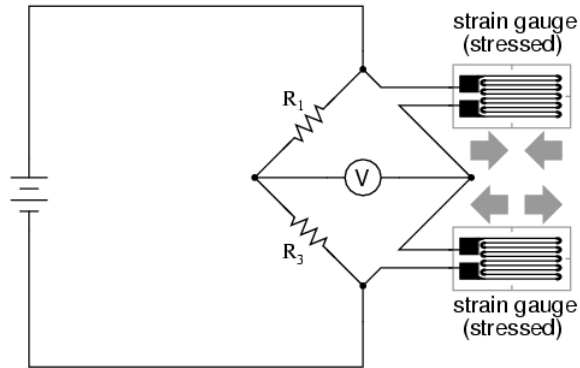


En strekkklapp som ikke strekkes, satt inn i samme bru, kan vi kompensere for temperatursvingninger.

Men utslaget er fremdeles lite og med dårlig linearitet

# Eks forts: Strekkklapp (Strain Gauge)

Half-bridge strain gauge circuit



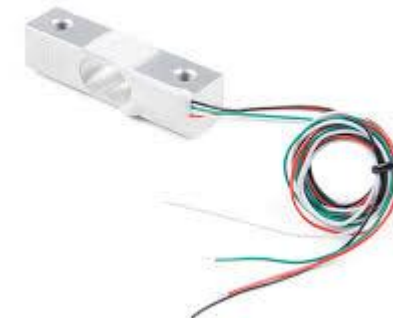
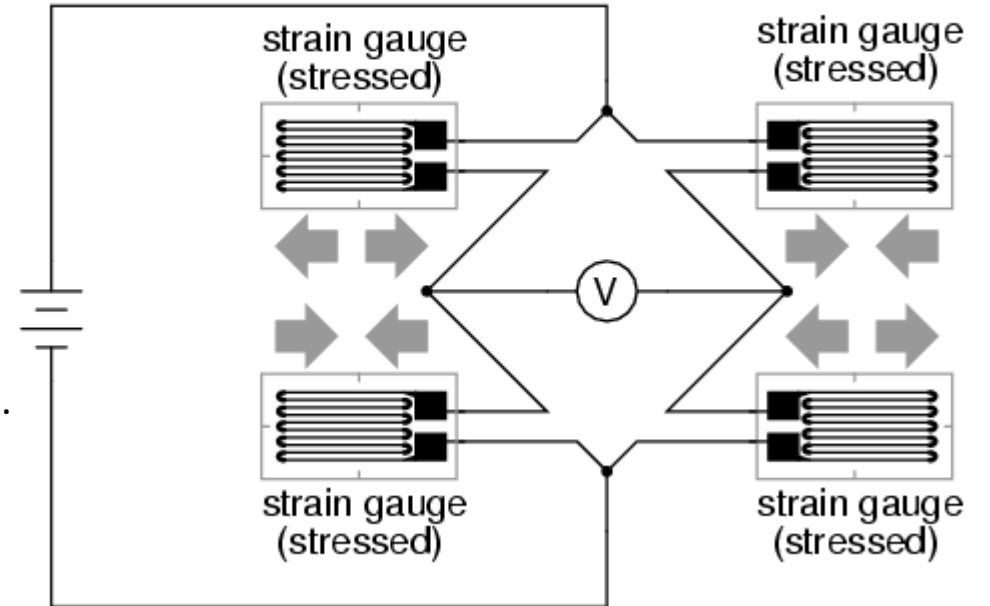
Hvis vi benytter begge strekkklappene i hver sin retning, får vi bedre linearitet, og noe bedre utslag, men det kan fremdeles forbedres...

Med en "Full bridge", så får vi maksimalt utslag, og god linearitet.

Tykkelsen på ledningsbanene kan kalibreres (trimmes) under produksjon.

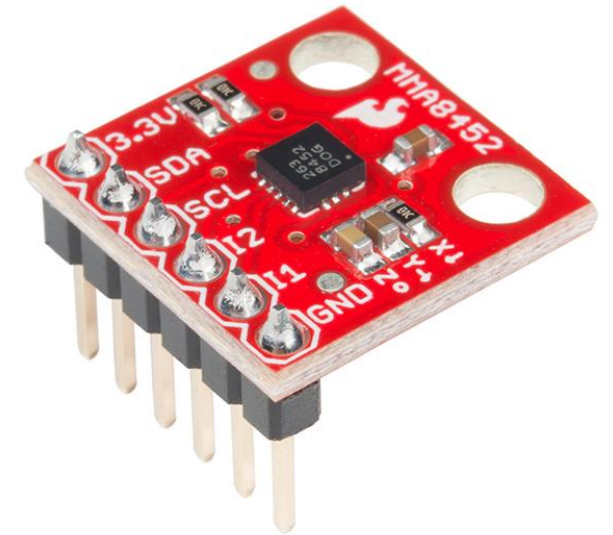
En "load cell" vil typisk bestå av en full bridge, ferdig kalibrert, beregnet for bestemte applikasjoner. Form kan variere...

Full-bridge strain gauge circuit



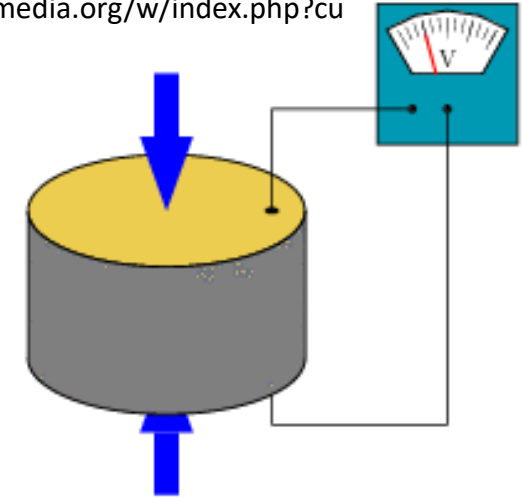
# MEMS-sensorer

- MEMS = Micro electro mechanical systems.
  - Bruker CMOS teknologi til å lage mekaniske strukturer for bestemte formål. Strukturene er vesentlig større enn vanlige transistorer (Mikro, ikke nano).
- Kommer typisk ferdig i en chip
  - Selges ofte i små moduler
  - Ofte kan disse kommunisere digitalt over en buss (*I2C, SPI* el.)
  - Kan lages i ASICs (Application Specific Integrated Circuit)
    - DVS de kan være på samme chip som en mikrokontroller
- Mest typiske eksempler er
  - Akselerometer
  - Gyroskop
  - Trykksensorer
  - Vibrasjonssensorer
  - Magnetometer
  - Lab on Chip – sensorer for medisinsk bruk.



# Piezoelektriske sensorer

- Piezoelektriske elementer genererer strøm i det de trykkes eller strekkes (avhengig av form).
- Piezoelementer brukes til å endre form avhengig av hvilken spenning de utsettes for (Transducer).
- Brukes typisk der man skal måle frekvens og amplitude:
  - Brukes i mikrofoner
  - Gitarpickups
  - Vibrasjonssensorer
  - Ultralydtransducere (Sonar, ekkolodd).
- Piezoelektriske elementer
  - er aktive i den forstand at de kan generere strøm
  - Er passive i den forstand at de ikke må tilføres spenning for å generere strøm.



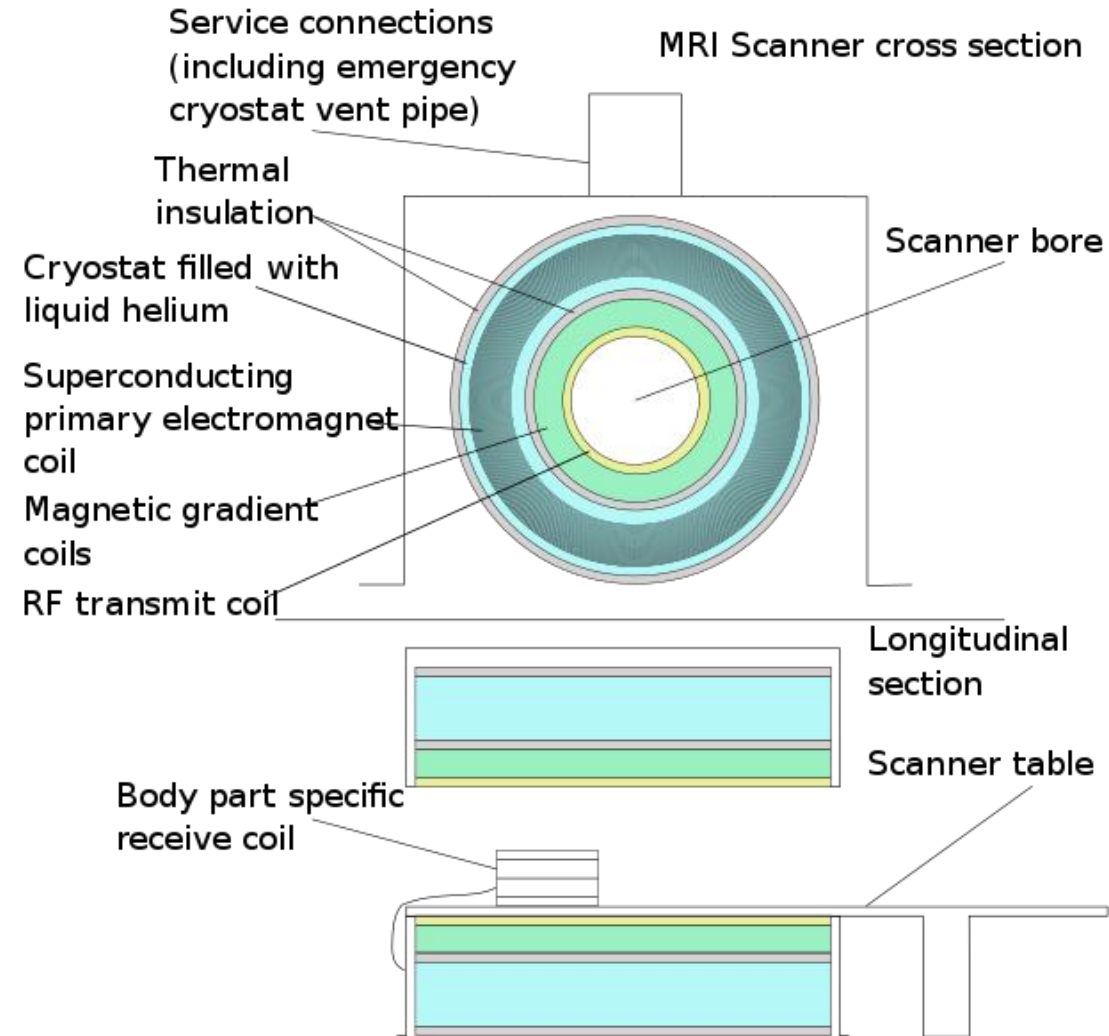
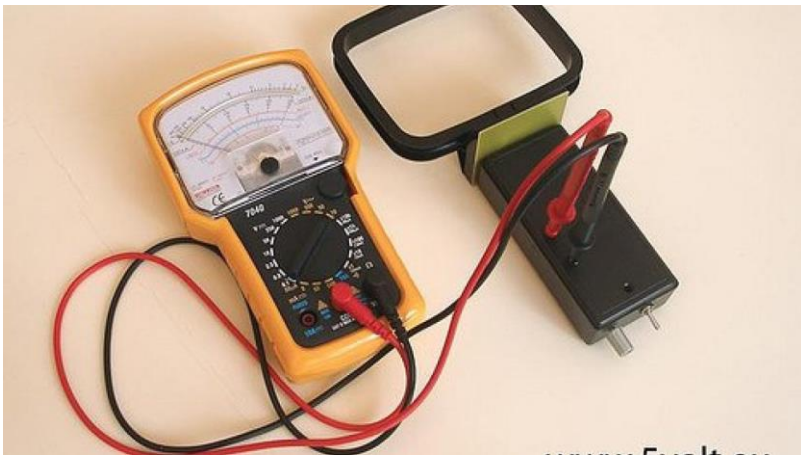
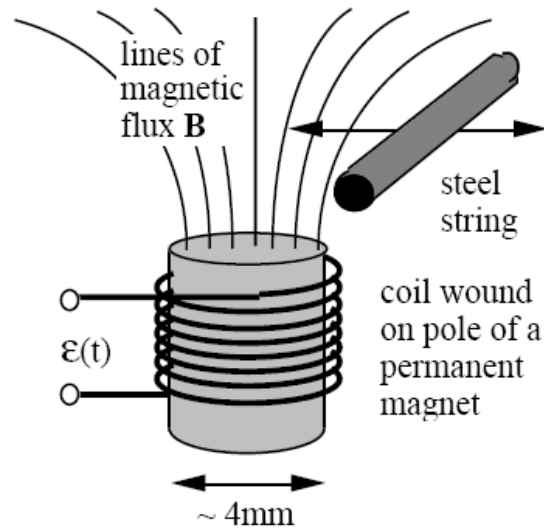
# Induktive / magnetiske sensorer

Består av spoler, måler vekslende magnetfelt

- Mikrofoner
- Gitar pickups
- MR -maskiner
- Flux-meter



Schematic diagram of a simple pickup.

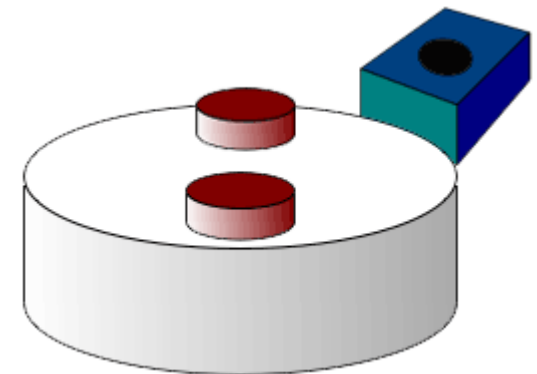
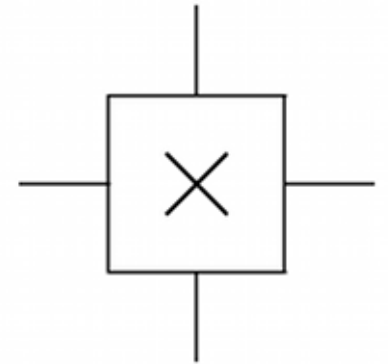


# Hall sensor

- En hall sensor måler absolutt magnetfeltstyrke

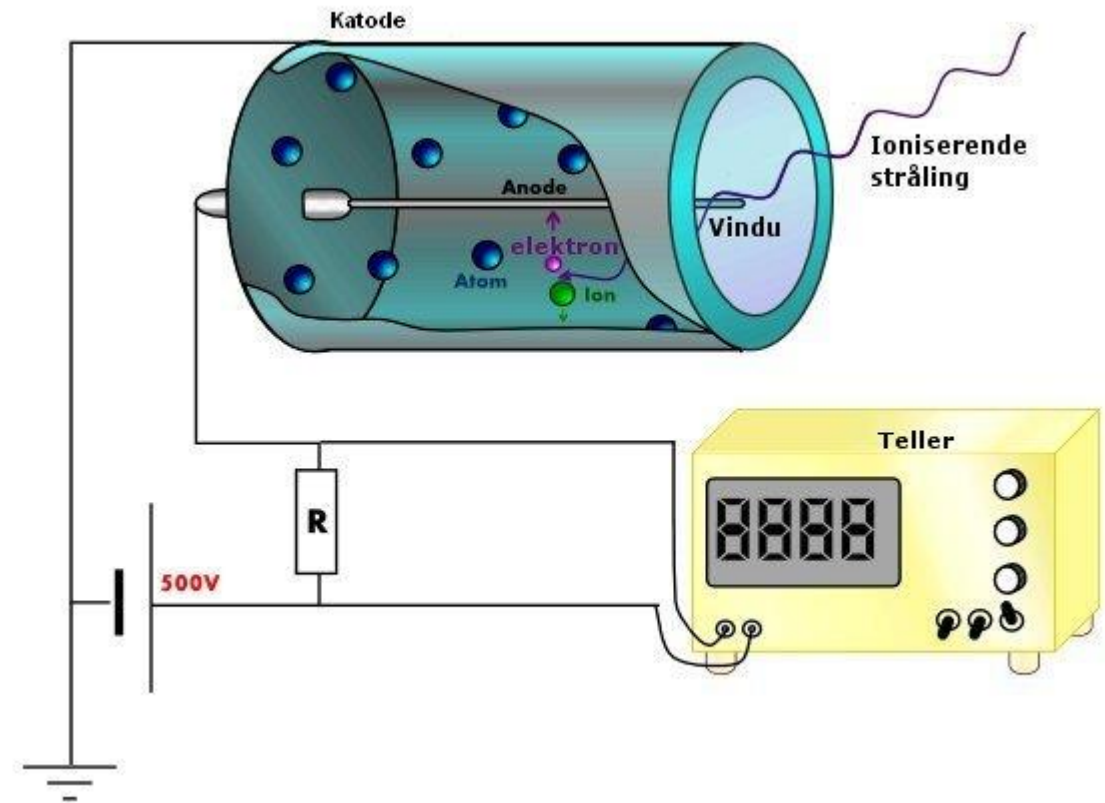
I Hall sensoren lar man strøm gå over en plate av et halvledermateriale. Dersom strømmen er 90 grader på magnetfeltet vil negative og positive ladninger trekkes til hver sin side, og generere en spenning.

- Spenningen er proporsjonal med magnetfeltet.
- Halvledermaterialet og dopingen bestemmer sensitiviteten



# Ioniske sensorer

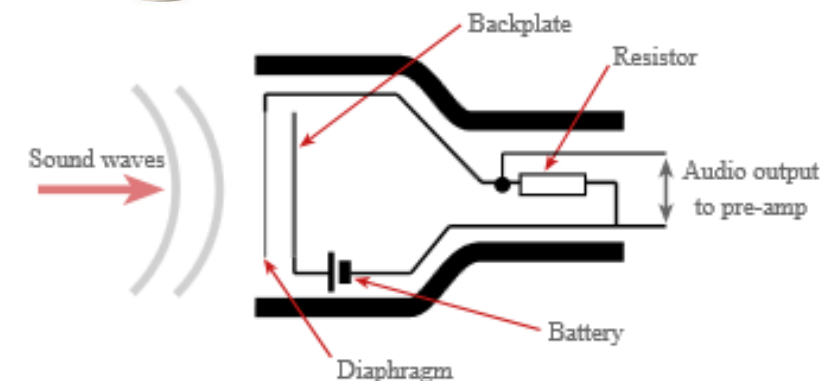
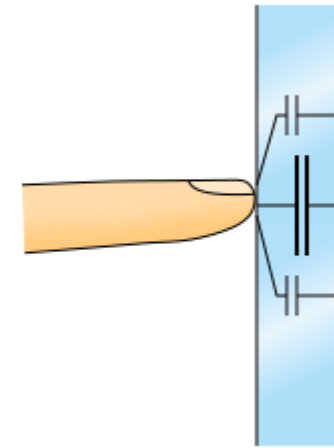
- Det går strøm gjennom en (forspent) krets når ioner fanges i kretsen
- Eks:
  - Røykvarsler
  - Geigerteller





# Kapasitive sensorer

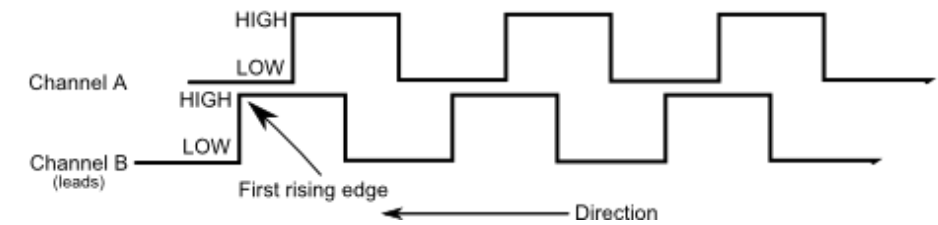
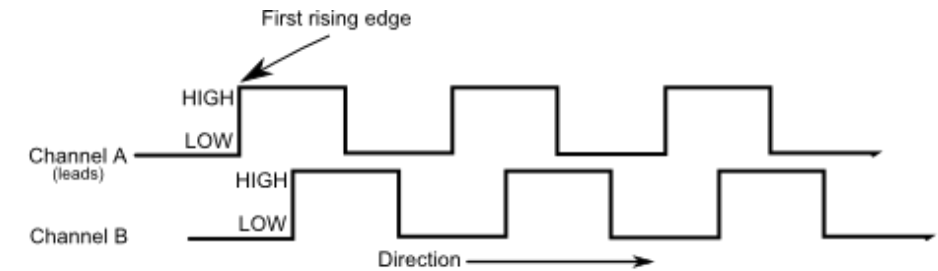
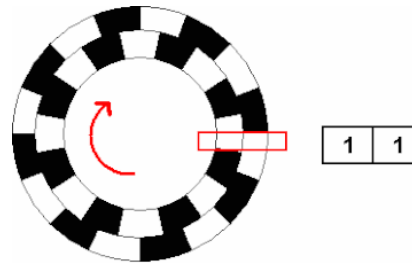
- Berøringsskjermer
- Trackpads ol.
- Kontakt/ Nærhetssensor
  - Brukes i industrisystemer / samlebånd ol.
  - Kan virker gjennom glass, plast, papp, ol.
    - Avhenger av hvordan jording skjer- i sensoren, eller utenfor.
- Kondensatormikrofoner
  - Kondensatoren forspennes typisk med 48V DC. Når membranen beveger seg genereres vekselspanning over motstanden. Utgangsimpedansen er høy, så forsterkerledd er gjerne nødvendig.





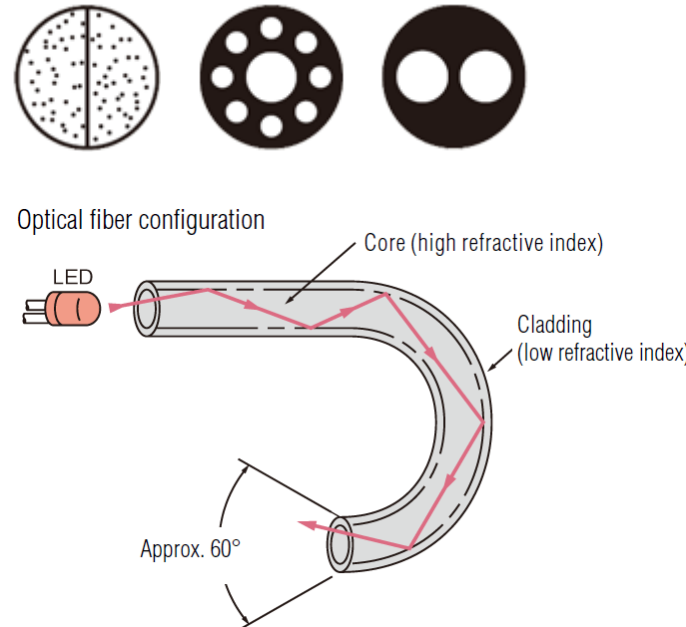
# Optiske sensorer

By Sidehack at English Wikibooks - Transferred from en.wikibooks to Commons., Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=61795514>



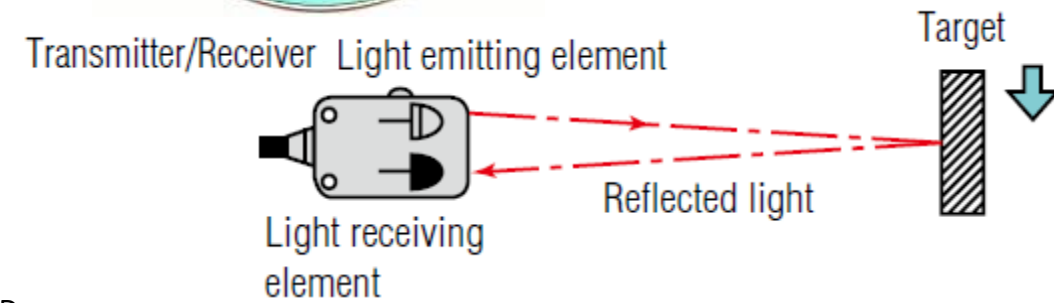
- Optiske enkodere
  - Quadrature enkoder
    - Bruker to spor
    - Viser hvilken retning
  - Absolutt enkoder
    - [Video](https://www.youtube.com/watch?v=CHE1imH9tdg) (3 min): <https://www.youtube.com/watch?v=CHE1imH9tdg>
      - NB: Gray code og Binærkode overskrift er forbyttet ved ca 1:57-2:20 min

- lesegaffel
- Laser sensorer (egen foil)
- Fiber optiske sensorer
- Kamera (Sensor bayer etc.)
- IR-kamera
- Røykvarsler



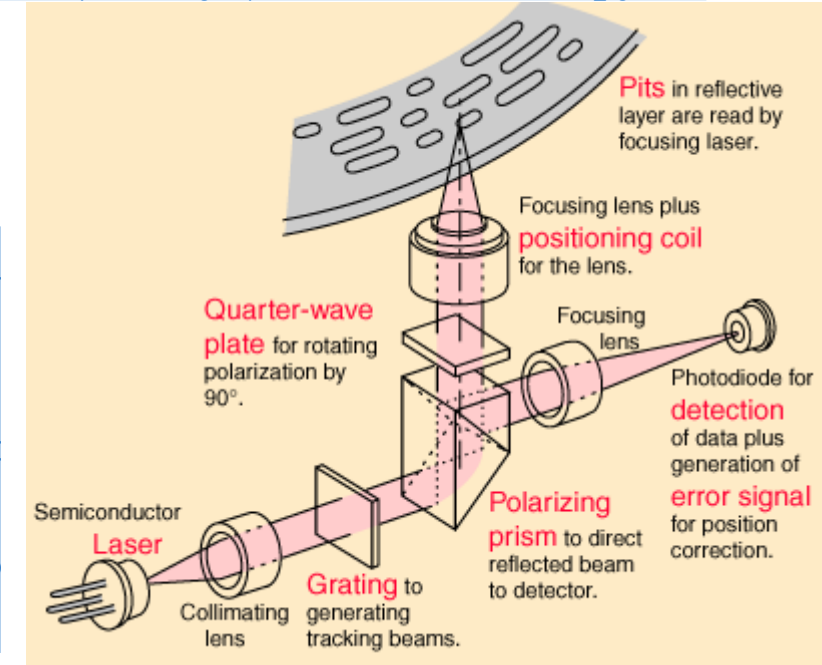
# Lasersensorer

- Lasere (Light amplification by stimulated emission of radiation) avgir (normalt) monokromatisk, koherent lys som kan fokuseres svært nøyaktig til en stråle.
- Lasermålere består gjerne av både en sender og en mottagerdel.
- Lasersensorer er på alle måter aktive sensorer,
  - de trenger strøm for å sende ut laserlys som de igjen måler ved retur
- Lasersensorer kan bruke forskjellige prinsipper:
  1. Ved å måle «Time of flight» fra lyssignalet sendes ut til det kommer tilbake (Lidar, avstandssensorer, 3D-scannere)
  2. Ved å måle variasjon i lysintensitet (hastighetsmålere for bil, mus ol, CD spillere)
  3. Ved å måle endringer i bølgelengde på det utsendte lyset (Raman spektroskopi)
- Lasersensorer virker bokstavelig talt med lysets hastighet, så en laser kan scanne store områder på kort tid.
- NB: Laserstråler på ca **1mw/cm<sup>2</sup> kan gi øyeskader.**
  - Bruk av lasere med høyere klasse enn 2 krever dispensasjon fra statens strålevern.



[https://www.keyence.com.sg/ss/products/sensor/sensorbasics/laser\\_light/info/](https://www.keyence.com.sg/ss/products/sensor/sensorbasics/laser_light/info/)

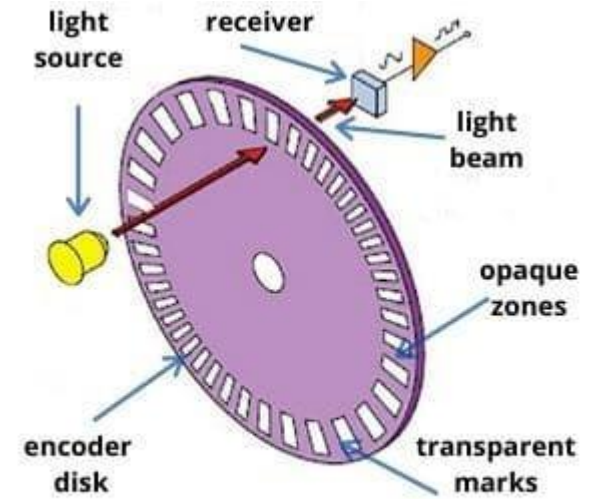
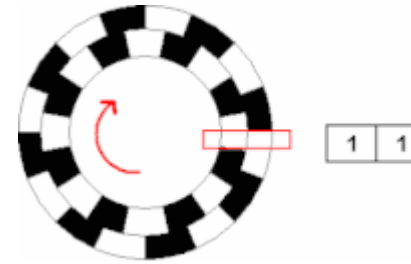
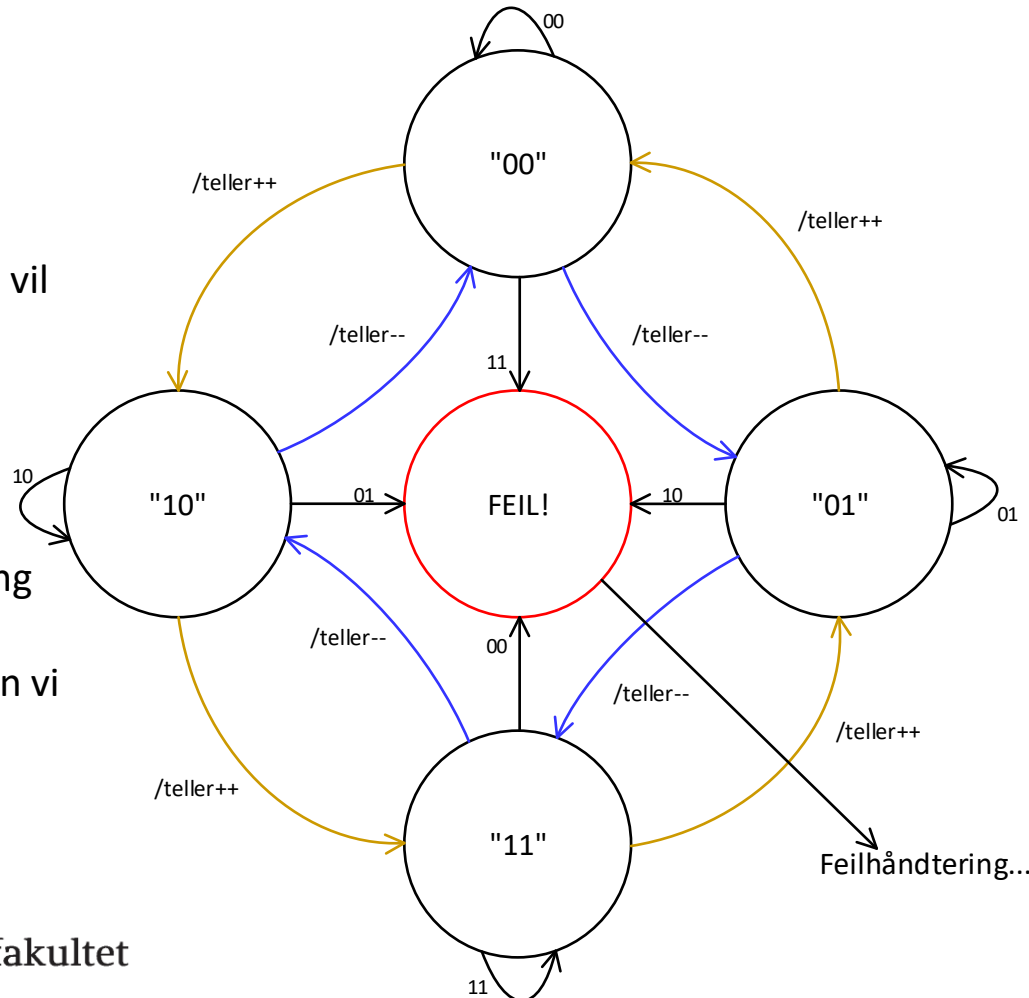
<http://chadorzel.com/principles/2010/02/23/amazing-laser-application-4-op-1/>



# Quadrature enkoder

**Tilstandsmaskin eksempel:** Quadrature enkoder  
*Q.E. brukes til å gi informasjon om rotasjon...*

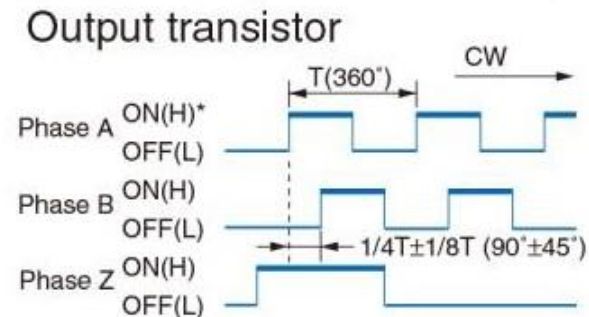
- Quadrature enkoder bruker
  - En eller to lyskilder
  - Et hjul med vinduer
  - To sensorer som registrerer lys.
- Sensorene står slik at om hjulet snurrer, så vil en sensor ha lys før den andre
  - Sensorene er
    - på når det er lyst
    - av når det er mørkt
- Leser vi av sensorene kan vi beregne retning og hvor fort hjulet snurrer-
  - Men det krever at vi husker tilstanden vi står i
- *Hvorfor har vi en feiltilstand?*



Optical encoder working principle



Direction of rotation: CW  
 (as viewed from end of shaft)



# Lesestoff og regneoppgaver:

- COK: Sensorer...

Lese: Hele kapittel 13. NB: Ikke alt trenger dybdeleses:

**Vektlegge** forståelse/ dybde i

13.4 tom 13.4.4.3 (**brytere, resistive sensorer**),

13.5.2 tom. 13.5.2.2 (**streklapp, load cell**),

13.5.6 tom 13.5.6.2 (**optiske enkodere**)

Oppgaver: 13: 7, 10

- Eksamensoppgaver

- 2020 -18 (Wheatstone bru)

- 2019 -16 (Quadrature enkoder, programmering)