

# IN 1080

F-15: SENSORER, DIFFERENSIELL FORSTERKNING, AD-KONVERTERING

Yngve Hafting, Forelesning 15



UiO • **Institutt for informatikk**

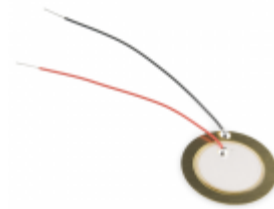
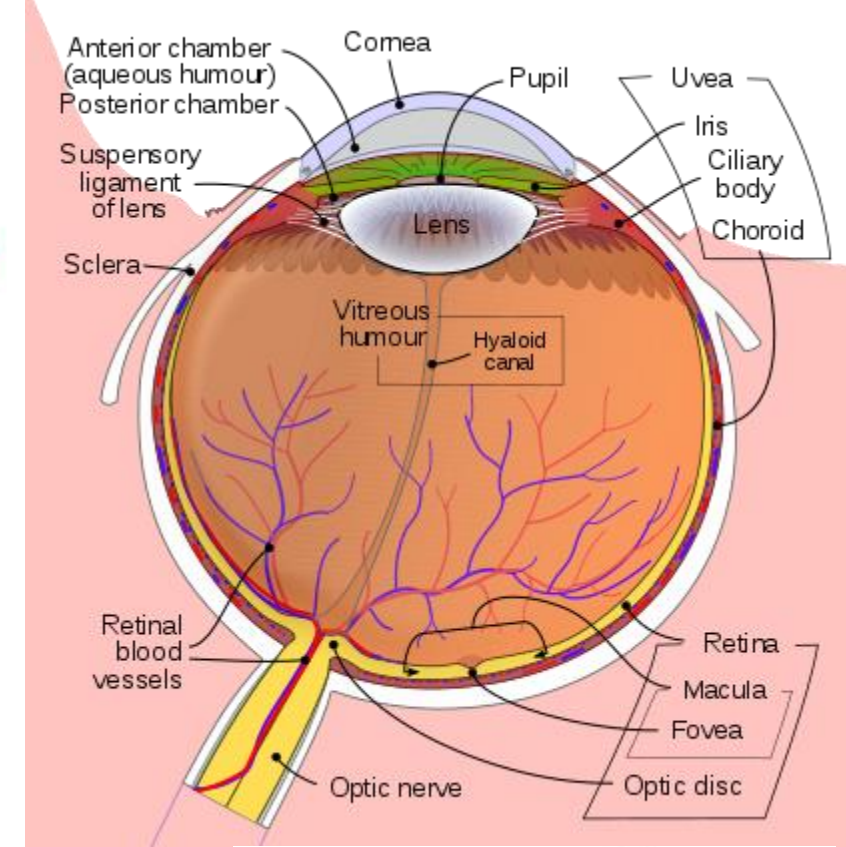
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

# OVERSIKT

- Hva er en sensor
- Hva kan vi måle fysisk
- Hvor nøyaktig kan vi måle noe med en sensor
  - Linearitet
  - Dynamisk område
  - Støy
- Hva skal vi med differensiell forsterkning?
- AD-konvertering
  - Samplingsfrekvens
  - Aliasing
- Hvorfor ønsker vi å måle differensielt?
- Hvordan noen sensorer bygd opp fysisk

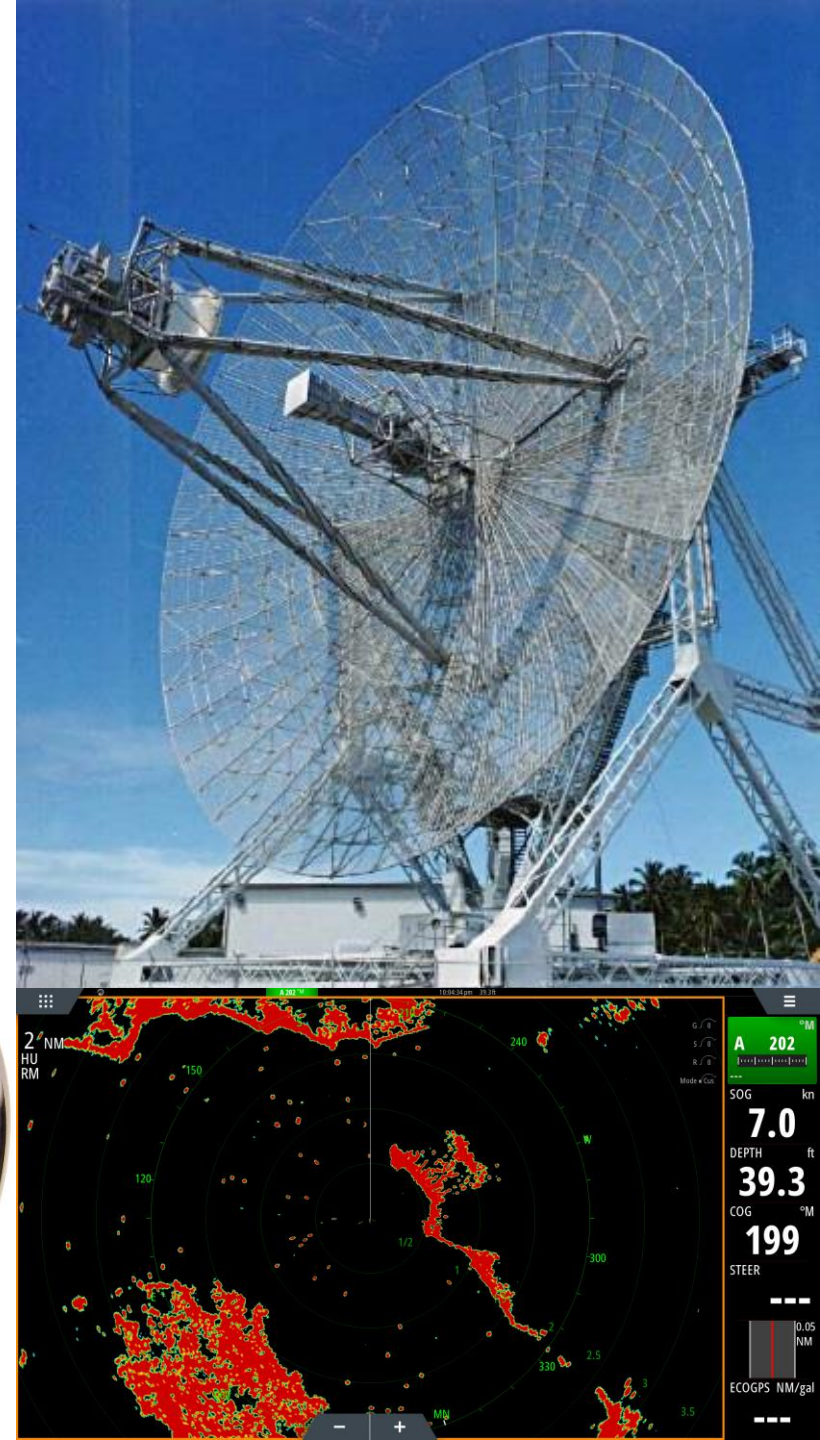
# HVA ER EN SENSOR

- Noe som kan måle noe...
  - 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 et mekatronikkssystem, så er en sensor noe som oversetter et fysisk fenomen til et elektrisk signal som vi kan lese av analogt eller digitalt.



# AKTIVE OG PASSIVE SENSORER

- Forskjellige definisjoner:
  1. Sensorer som bruker vs. ikke bruker strømforsyning.
    - Mye brukt, men upraktisk definisjon for mekatroniske systemer som omtrent utelukkende vil benytte sensorer der man tilfører energi.
  2. Sensorer som sender ut signaler (energi) er aktive, i motsetning til de som bare passivt måler det som de tar inn.
    - En grei definisjon for mekatronikk, men hva er en sensor? Et helt sensor system (eks kamera + blits) eller bare bildebrikken?
    - Aktive: Radar, Lidar, Ultralyd, Laser sensorer, etc
    - Passive: Strekkklapp, antenne.



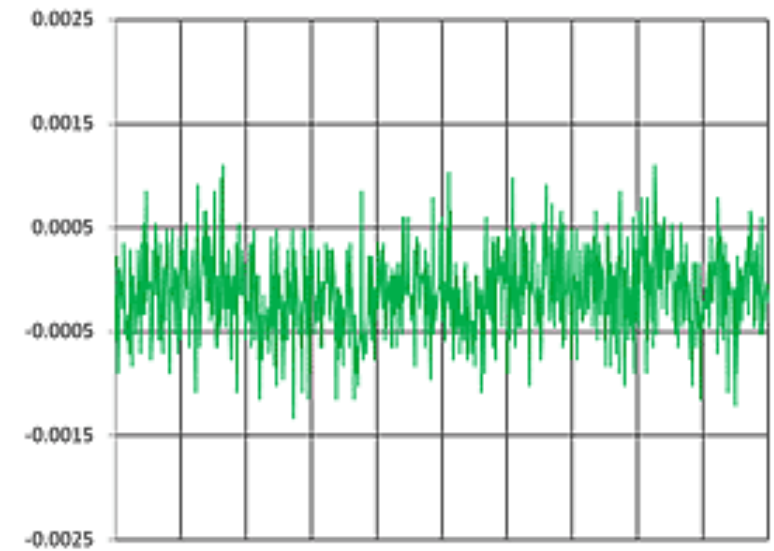
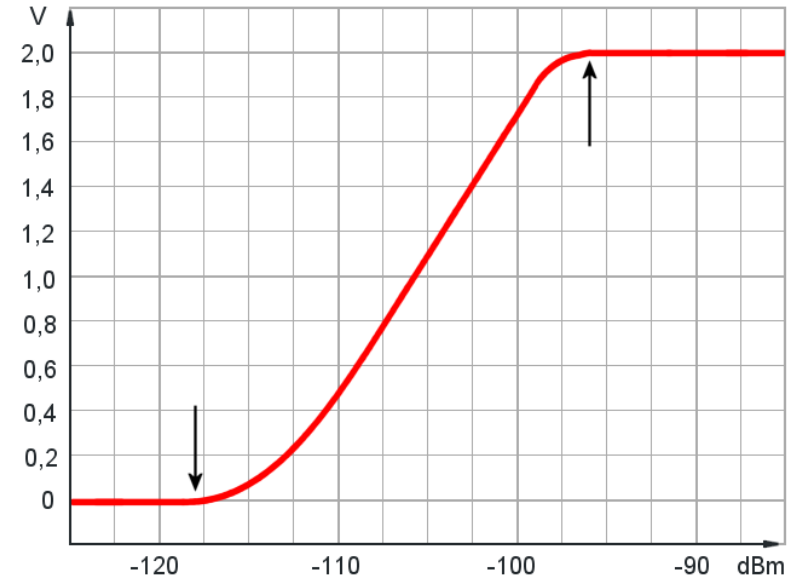
# HVA KAN VI MÅLE FYSISK?

## 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
- Ioniserende stråling
  - Geigertellere
- Massespektroskopi
  - RAMAN spektrometer
- Atomære størrelser
  - Kvante-tunneleringsmikroskop
  - ..
- OSV...

# HVOR NØYAKTIG KAN VI MÅLE NOE?

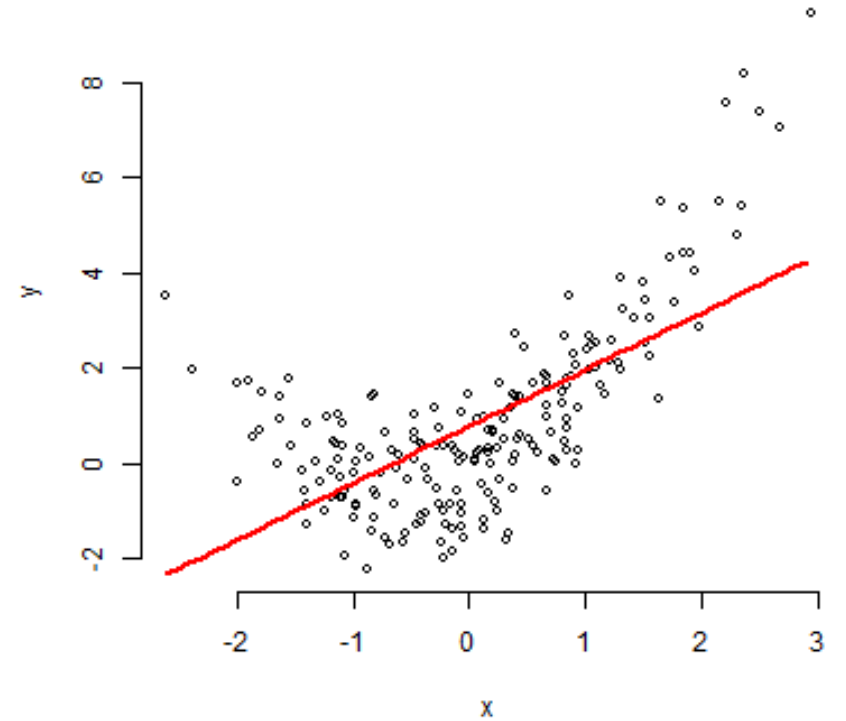
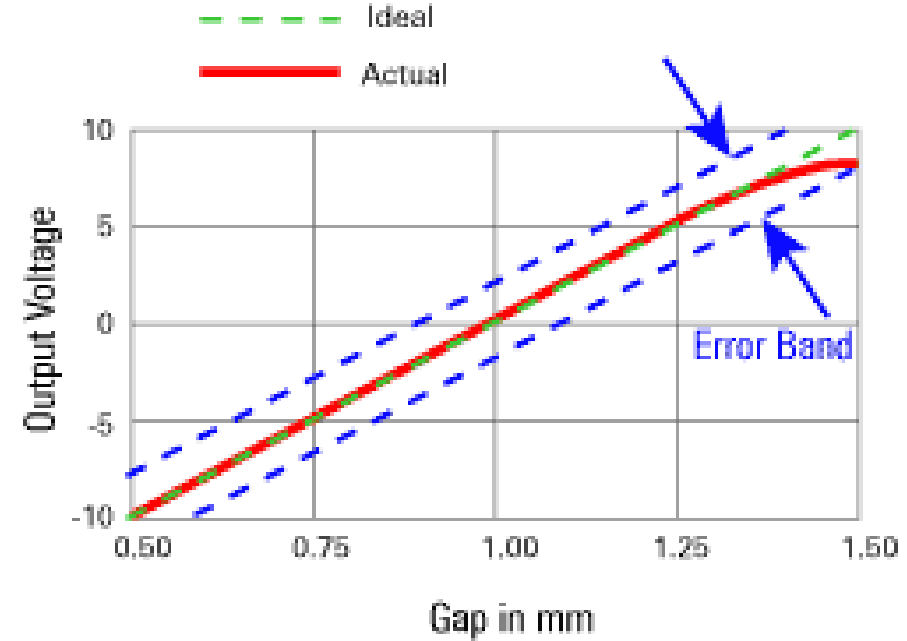
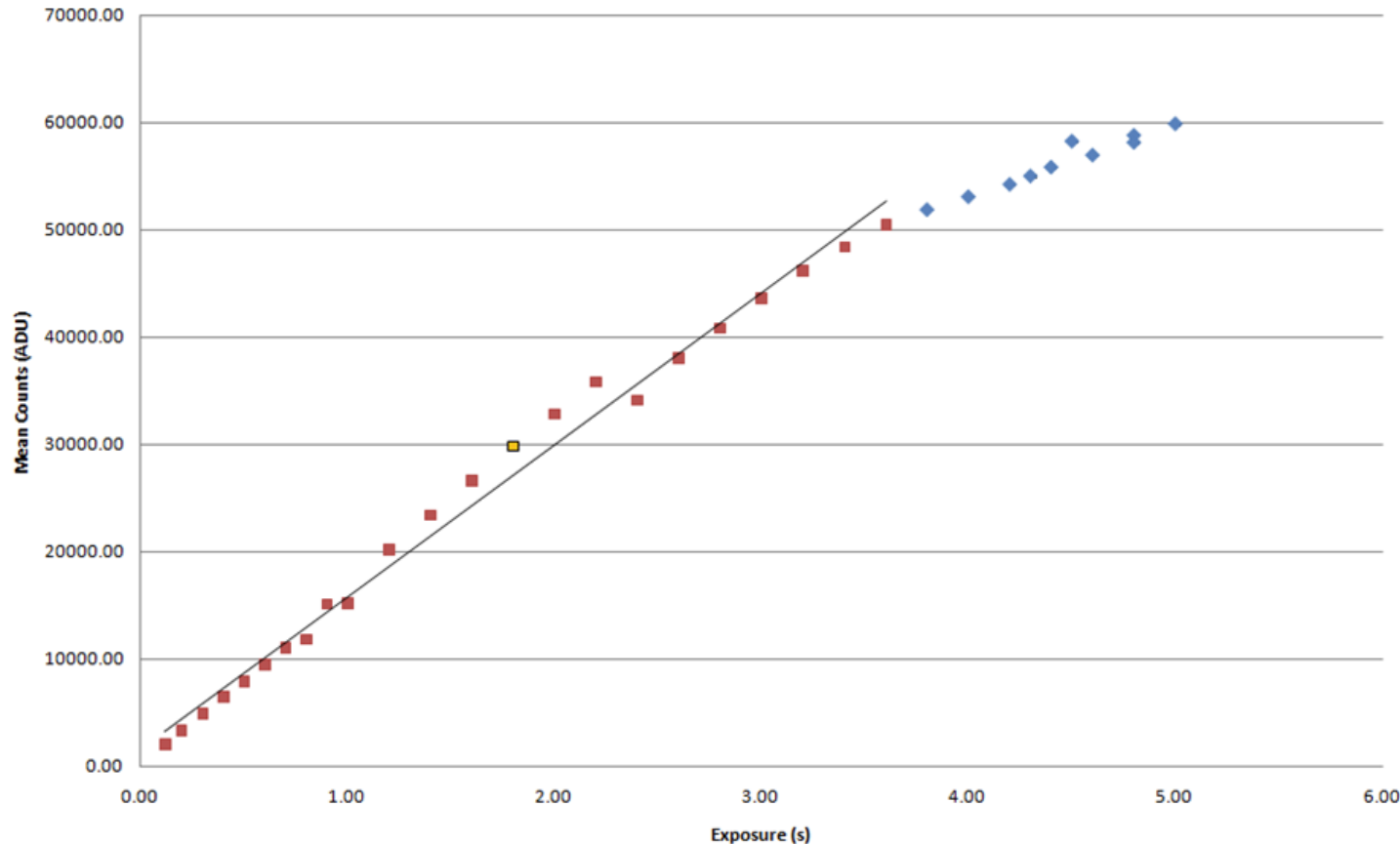
- Alle sensorer påvirker det de skal måle.
  - Vi kan f.eks ikke måle magnetfeltet rundt en strømførende kabel uten å tappe kabelen for energi. Dette tapet kan igjen måles hos den som bruker strømmen.
  - Mest viktig å tenke på dersom man holder på med eksperimenter i atomær skala eller svært lave temperaturer.
- Linearitet
  - Sensorer oppfører gjerne linjært kun innenfor et begrenset område
- Dynamisk område «Dynamic Range» (DR)
  - Dynamisk område angir hva som er forskjellen mellom maksimum og minimum verdier vi kan måle med sensoren.
    - Ofte er det mest nyttig å se på dynamisk område innenfor det området sensoren virker lineært.
  - Dynamisk område angis ofte i desibel (dB)
- Støy
  - I alle måleoppsett får vi støy på grunn av varierende elektromagnetiske felt (temperatur, radiostøy, crosstalk mv).
  - I noen tilfeller blir støyen så høy at vi må ty til statistiske metoder for å beregne styrken på et signal.
  - Støy oppgis også gjerne i desibel



# LINEARITET

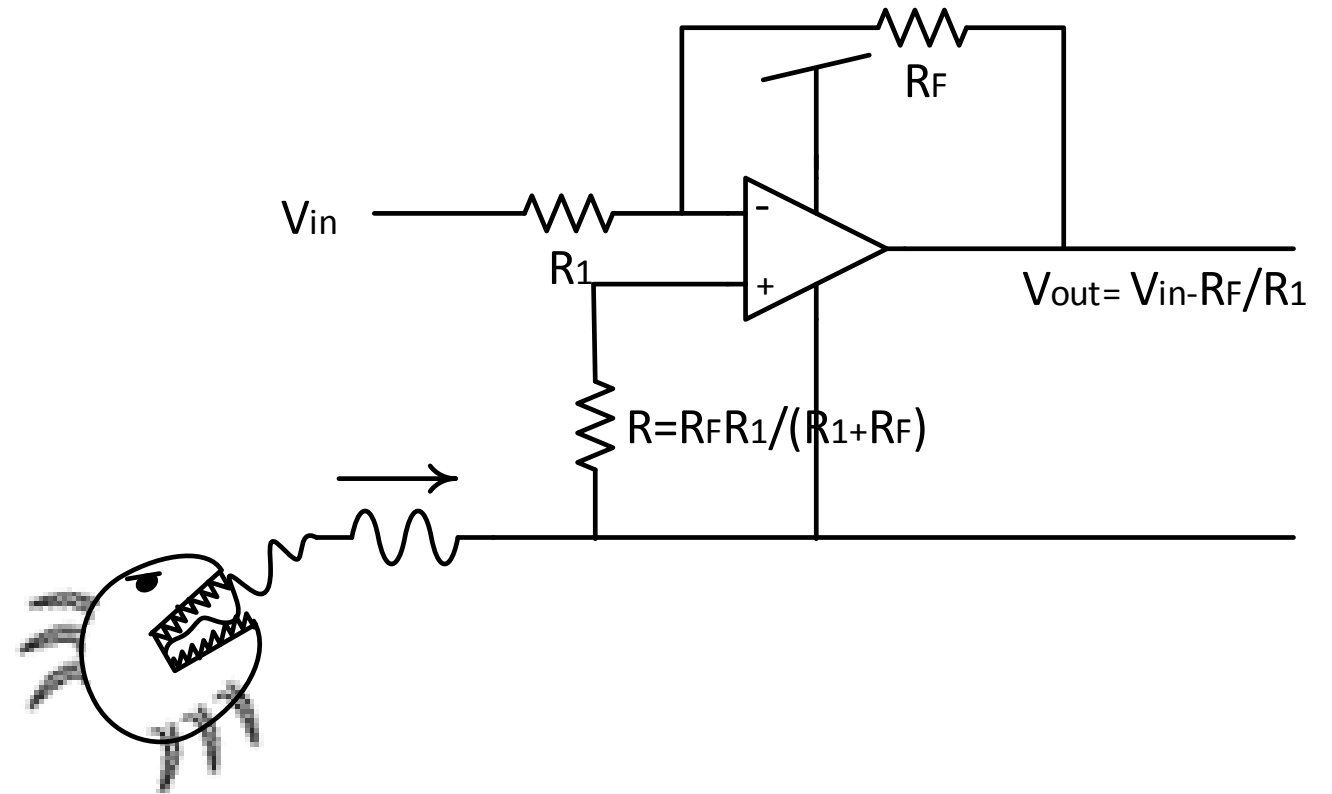
- Linearitet og avvik sier noe om hvor godt vi kan regne med at sensordata følger den størrelsen sensoren måler.
- Sensorer har typisk et (svært) begrenset område der de oppfører seg lineært.

Photon Linearity, Coldrick Observatory Dome, 07.03.11



# HVORFOR FORSTERKE DIFFERENSIELT?

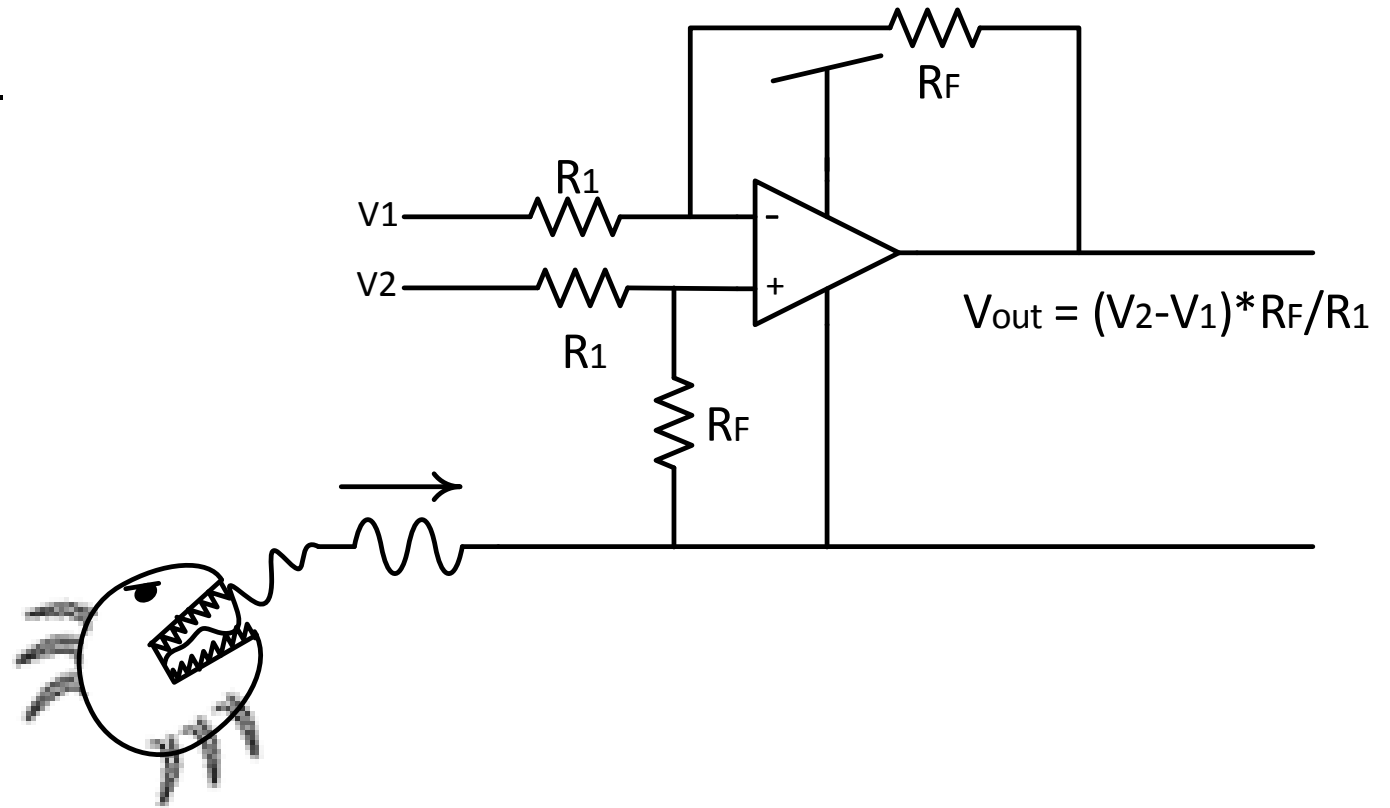
- Støy i strømtilførsel-  
«ground bounce»
- I en ikke-differensiell  
forsterkerkrets, vil  
støyen forsterkes like  
mye som signalet





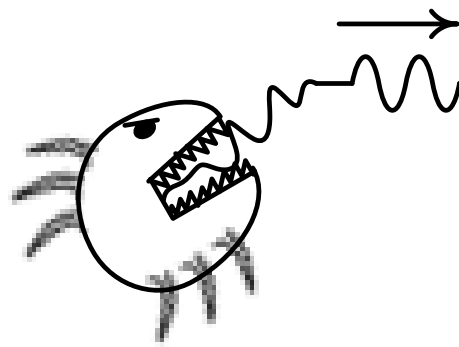
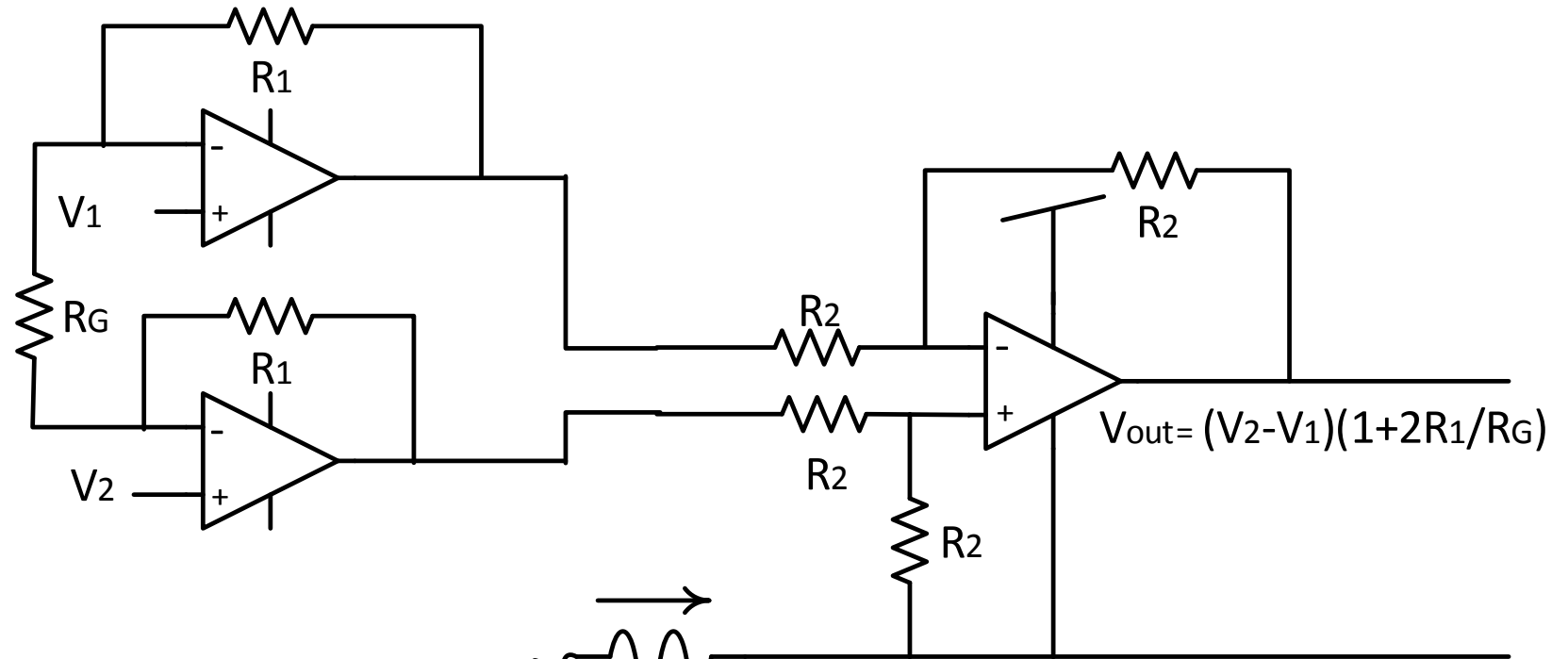
# BEDRE: REN DIFFERENSIELL KRETS

- En differensiell krets med én opamp, vil være bedre enn en ikke-differensiell krets, men vi er avhengige av at  $R_1$  er lav (i forhold til  $R_F$ ).
  - Støyen propageres med 1 i gain, noe som fremdeles ikke er bra, siden inngangssignalet ofte er lite.
- Lav inngangsimpedans!
  - Jobber vi med f.eks en wheatstonebro, har vi typisk en motstand som kan være ganske stor før forsterkerkretsen...



# BEST: INSTRUMENTERINGSFORSTERKER

- Høy inngangsimpedans
- Her forsterkes begge signalene likt i det første steget.
  - Støy fra strømforsyning forsterkes likt i de to første opampene
- Det andre steget med gain på 1, sørger for at vi ikke lengre jobber differensielt.
- Instrumenteringsforsterker:
  - Høy inngangsimpedans
  - Lav utgangsimpedans
  - Høy CMRR
  - Høy, differensiell forsterkning



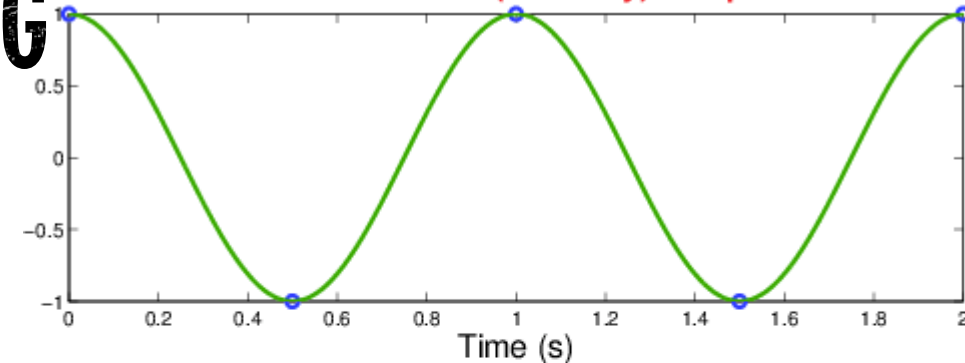
# MCP 601: EKSEMPEL PÅ OPAMP

- [dOPamp.pdf](#)
  - DR: Fig 2-1
  - CMRR Fig 2-16

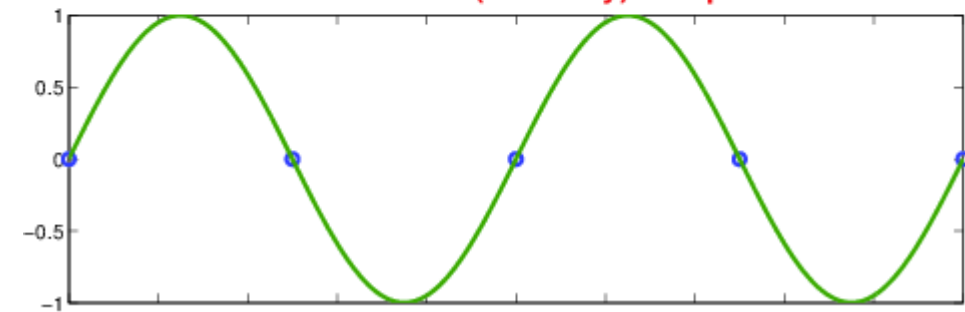
# ANALOG TIL DIGITAL KONVERTERING

- For å lese av analoge spenninger, må vi gjøre en konvertering fra analog til digital.
- Det finnes mange teknikker for å konvertere spenninger fra et analogt til et digitalt signal. Alt etter metode får man ulike samplingshastigheter, presisjon, kvantiseringsfeil osv.
- Samplingsfrekvens er den hastigheten vi kan gjøre analoge målinger med.
  - Skal vi måle en frekvens, må samplingshastigheten være mer enn 2 ganger så stor som frekvensen vi skal måles, ellers risikerer vi aliasing.
  - Ved 1-bits konvertering (pulsbredde) er det vanlig å ha samplingsfrekvenser større enn 10x frekvensen på det vi måler på.

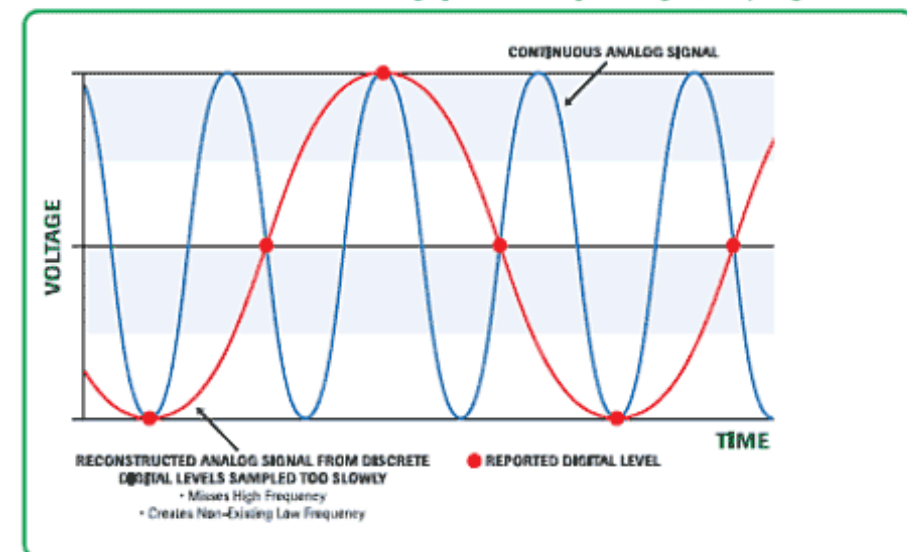
A 1-Hz Cosine Wave is (Critically) Sampled at 2 Hz



A 1-Hz Sine Wave is (Critically) Sampled at 2 Hz

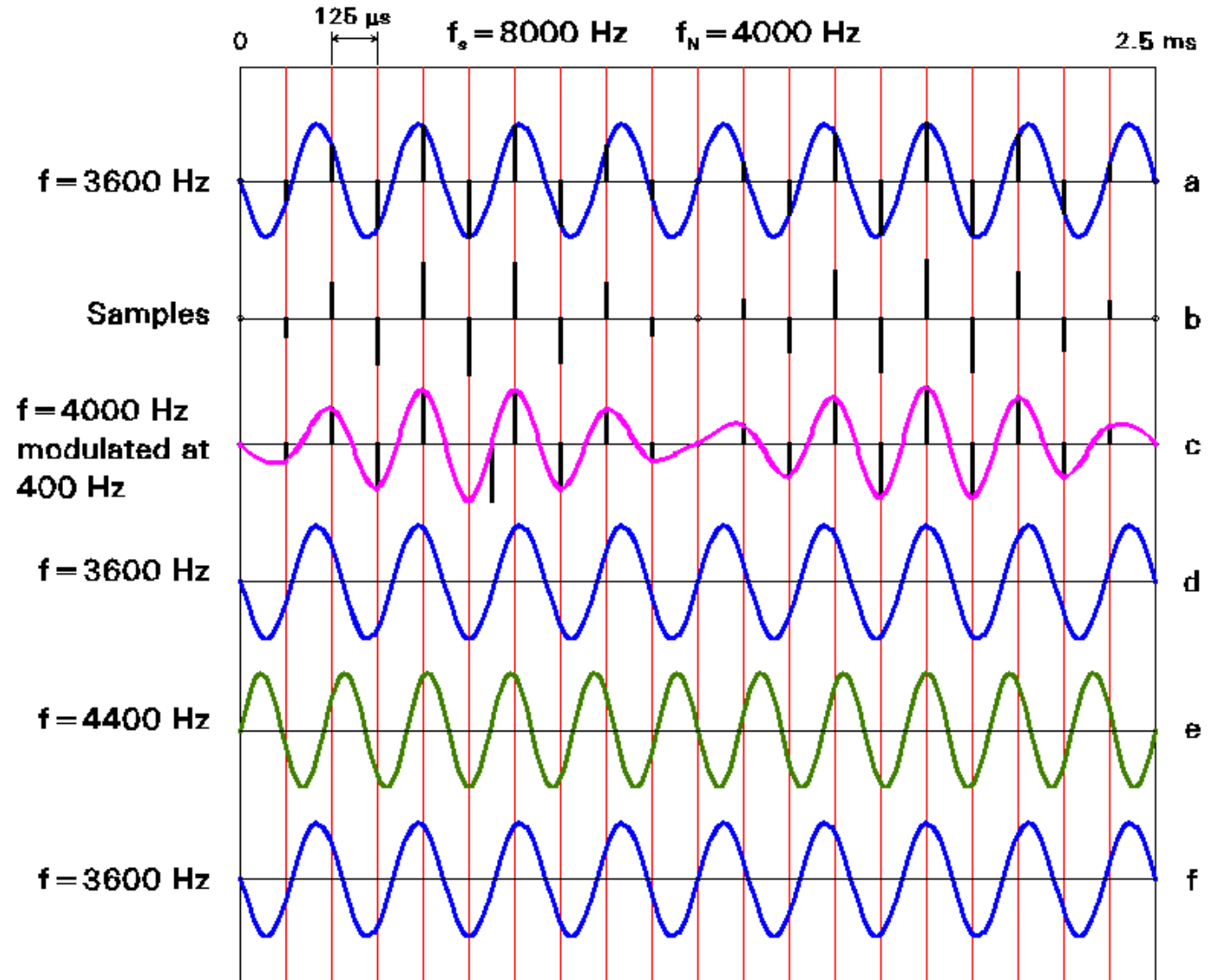


Nyquist Frequency (sampling too slow)



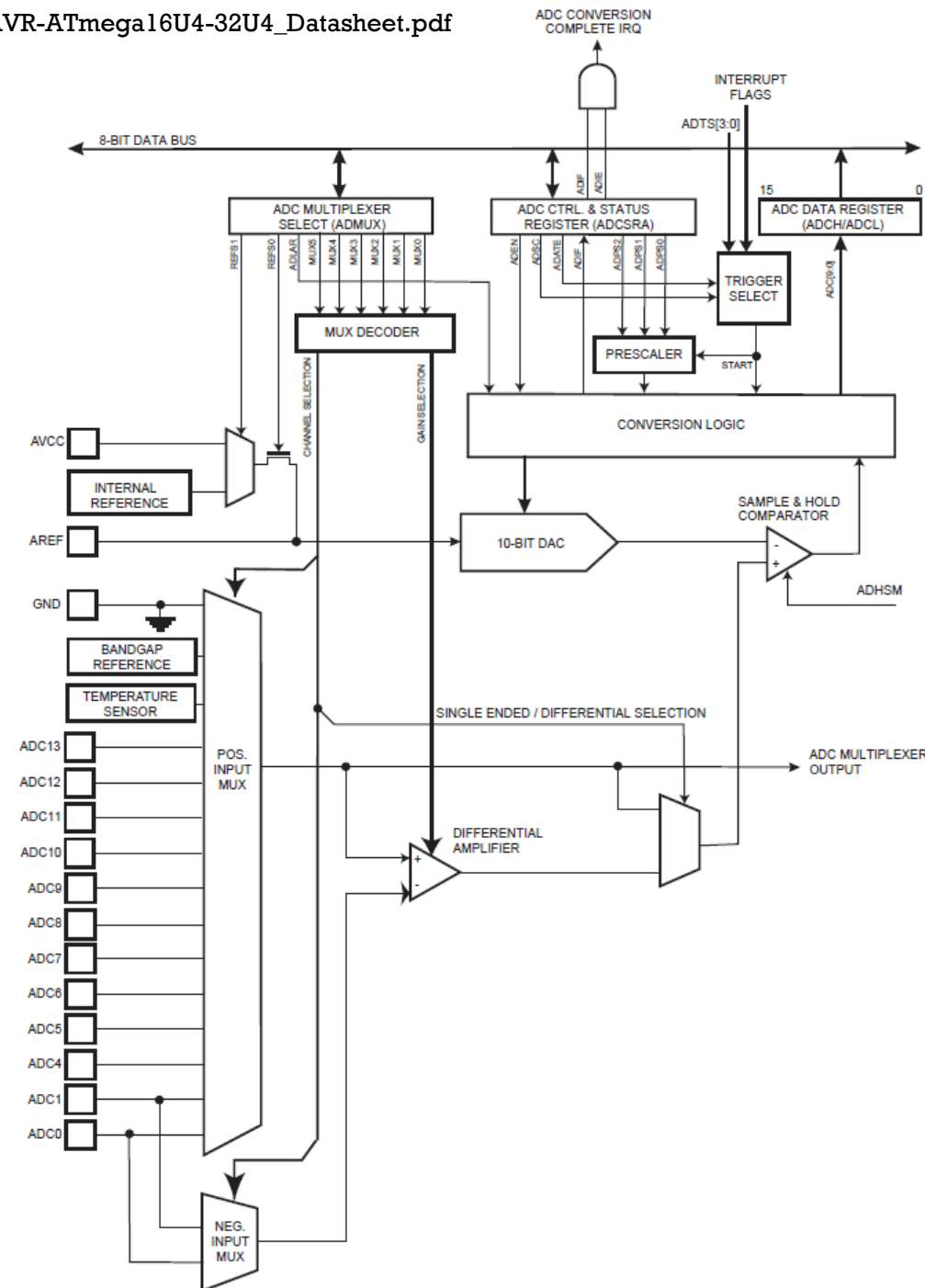
# ALIASING

- I det vi konverterer et signal fra analog til digitalt kan det samme digitale signalet brukes til å gjengi flere signaler enn det vi opprinnelig konverterte.
- For å unngå dette problemet, må vi filtrere bort frekvenser høyere enn nyquist-frekvensen (=1/2 part av samplingsfrekvens)
- Når vi sampler noe må vi filtrere bort frekvenser høyere enn nyquist frekvensen. (F.eks med et lavpassfilter).
- Ufiltrerte høyere frekvenser ved sampling vil synes som lavere frekvenser.



# ARDUINO ADC (ATMEGA32U4)

- 8-10 bit successive approximation ADC
  - +/-2 LSB absolute accuracy
- 12 channel multiplexer ( )
- 65-260µs sampletid (15 kHz-3,8kHz samplefrekvens)
- 0-VCC ADC voltage range
- Differential amplifier
  - amplification steps of 0dB(1x), 10dB(10x), 16dB(40x), or 23dB(200x)



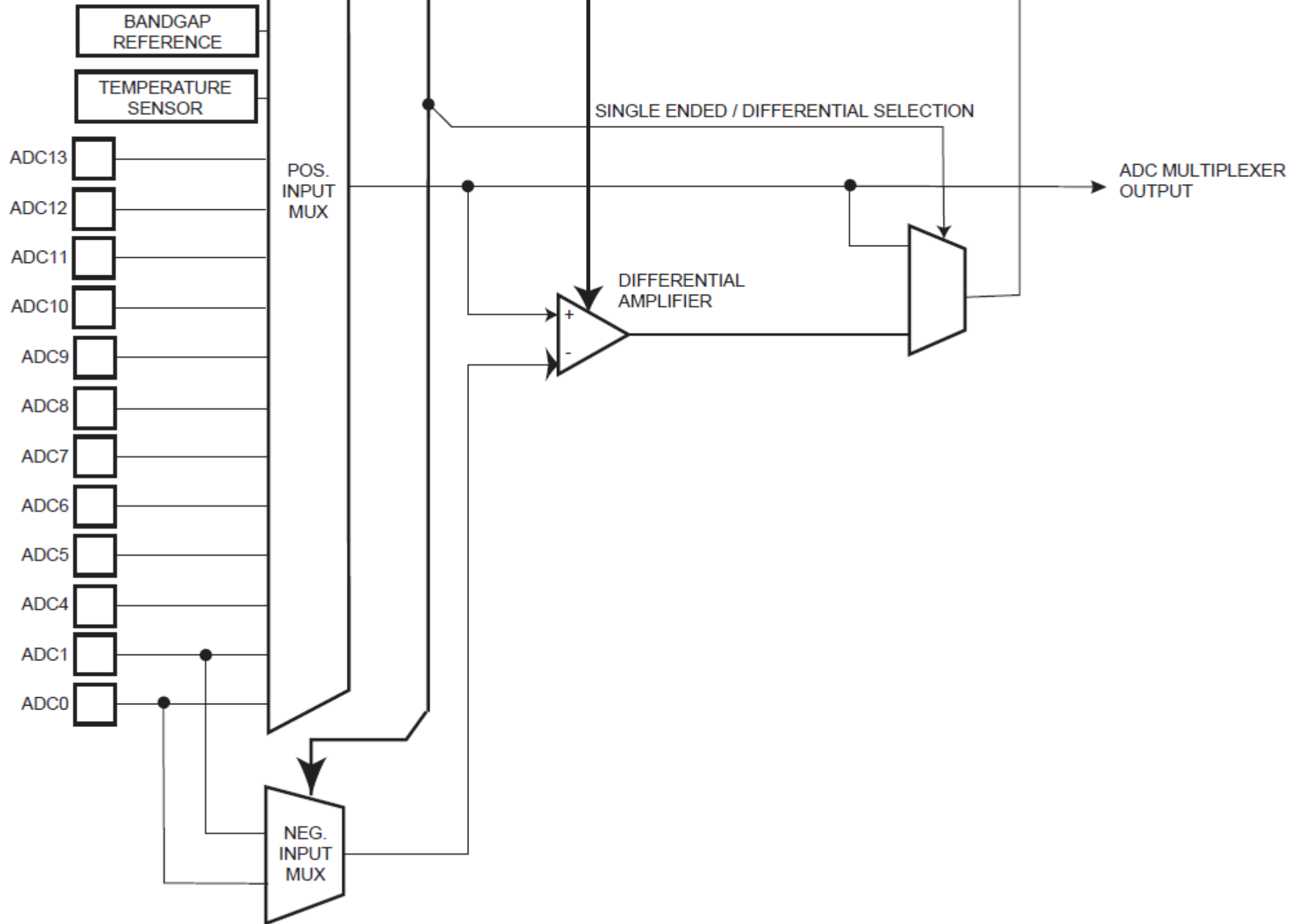
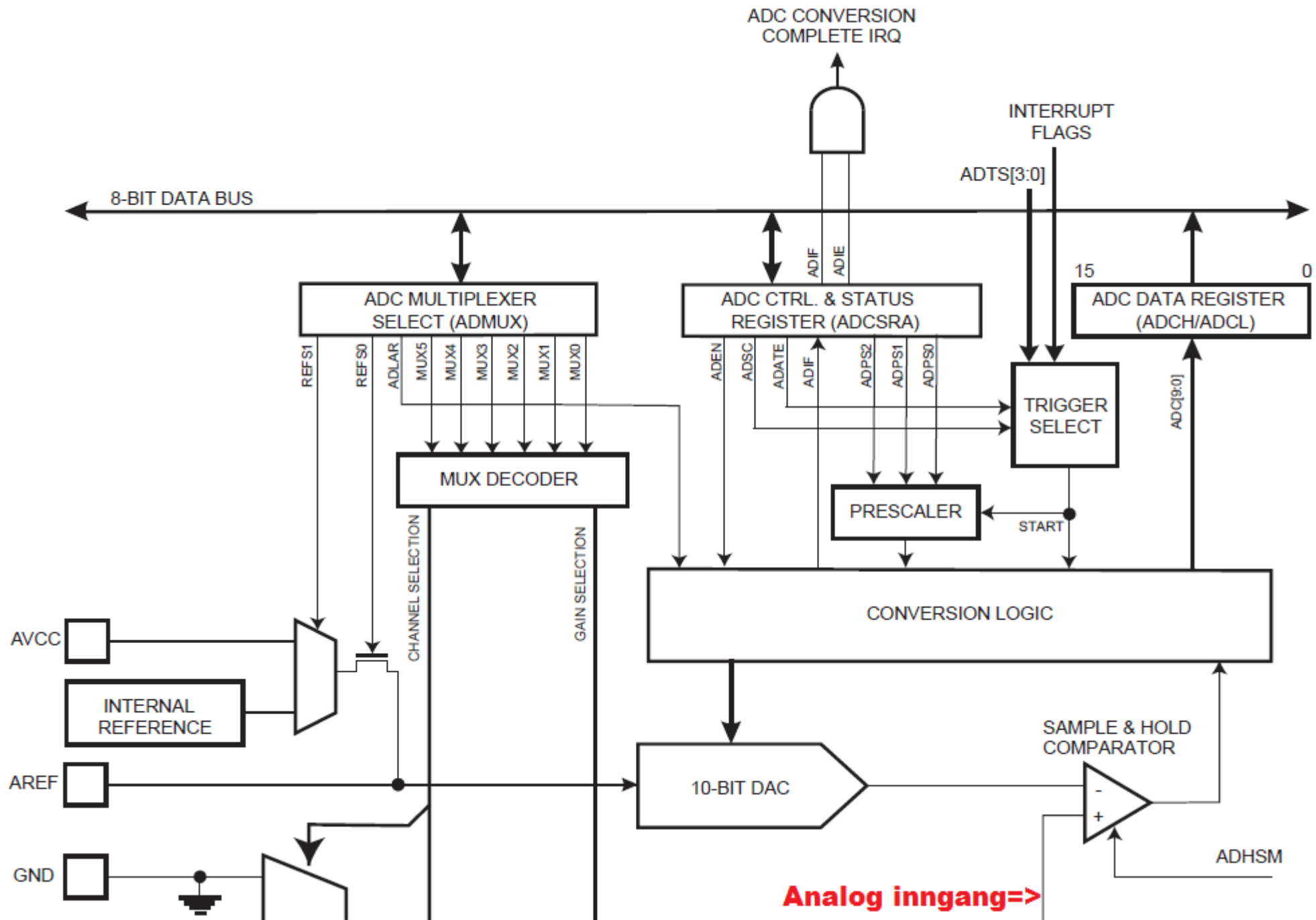


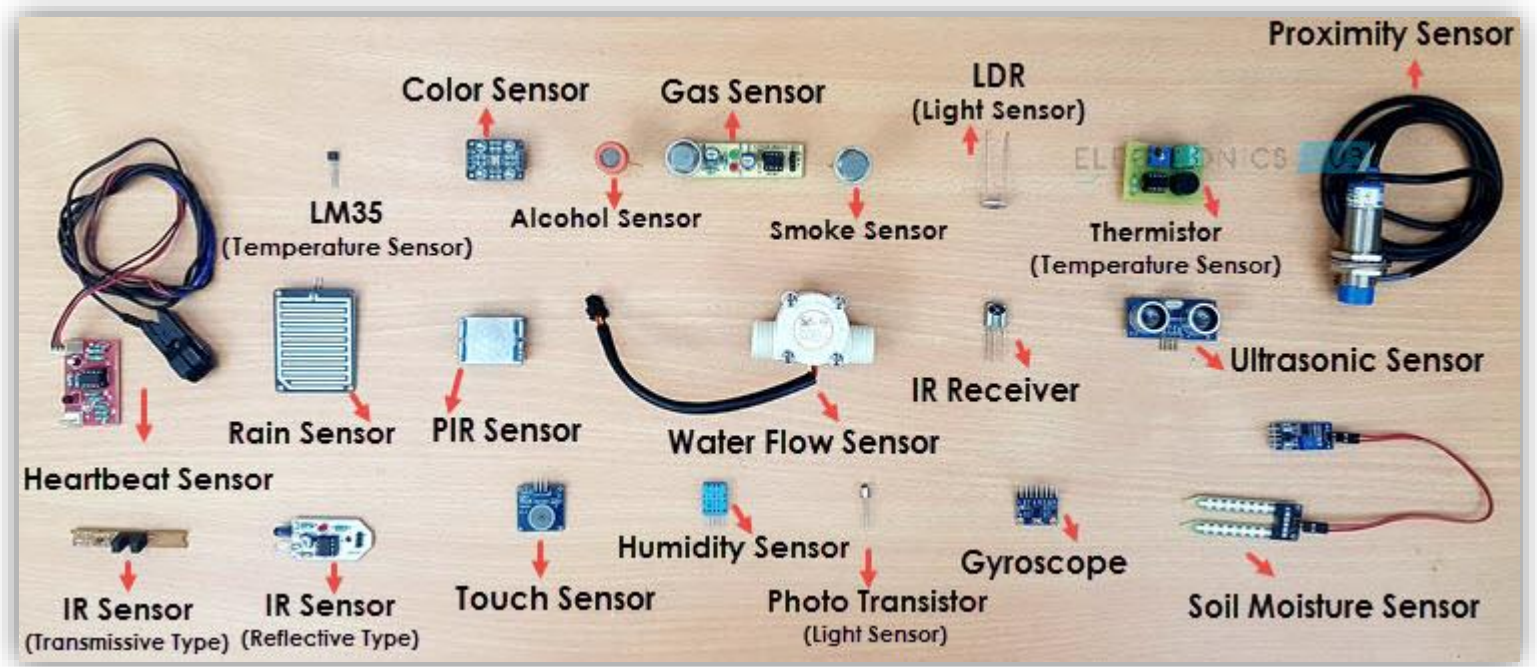
Figure 24-1. Analog to Digital Converter Block Schematic





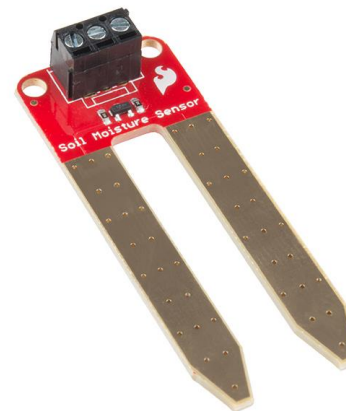
# HVORDAN ER SENSORER BYGD OPP?

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



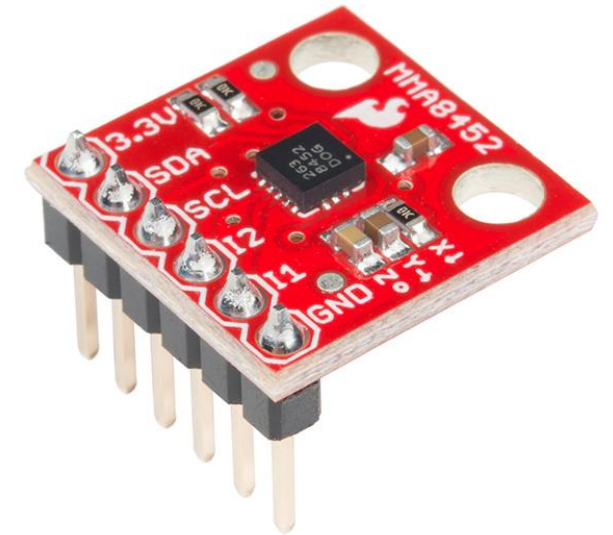
# MOTSTANDSBASERTE SENSORER

- 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
  - 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
- Temperatursensor
- Fuktighetssensor for jord



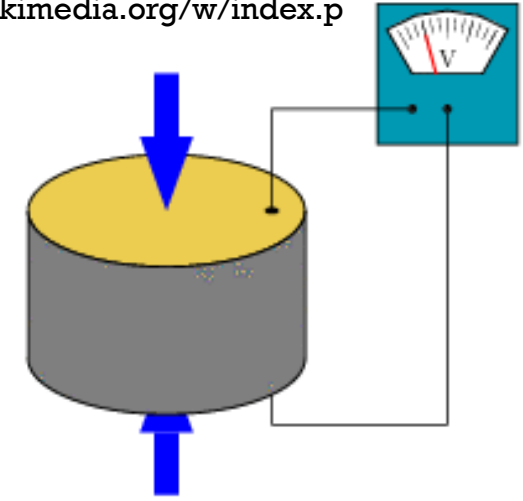
# MEMS-SENSORER

- 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 med I2C, SPI el.
  - Kan lages i ASICs (Application Specific Integrated Circuit)
    - DVS de kan være i mikrokontrolleren
- Mest typiske eksempler er
  - Aksellerometer
  - Gyroskop
  - Trykksensorer
  - Vibrasjonssensorer
  - Magnetometer
  - Lab on Chip – sensorer for medisinsk bruk.



# PIEZOELEKTRISKE SENSORER

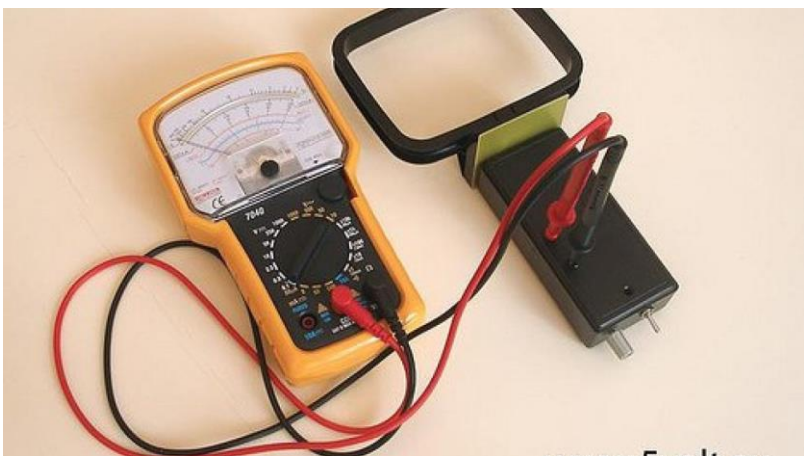
- Piezoelektriske elementer genererer strøm i det de trykkes eller strekkes (avhengig av form).
- Piezoelementer brukes til å endre form avhengig av hvilken spenning de utsettes for (Transducer).
- Brukes typisk der man skal måle frekvens og amplitude:
  - Brukes i mikrofoner
  - Gitarpickups
  - Vibrasjonssensorer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



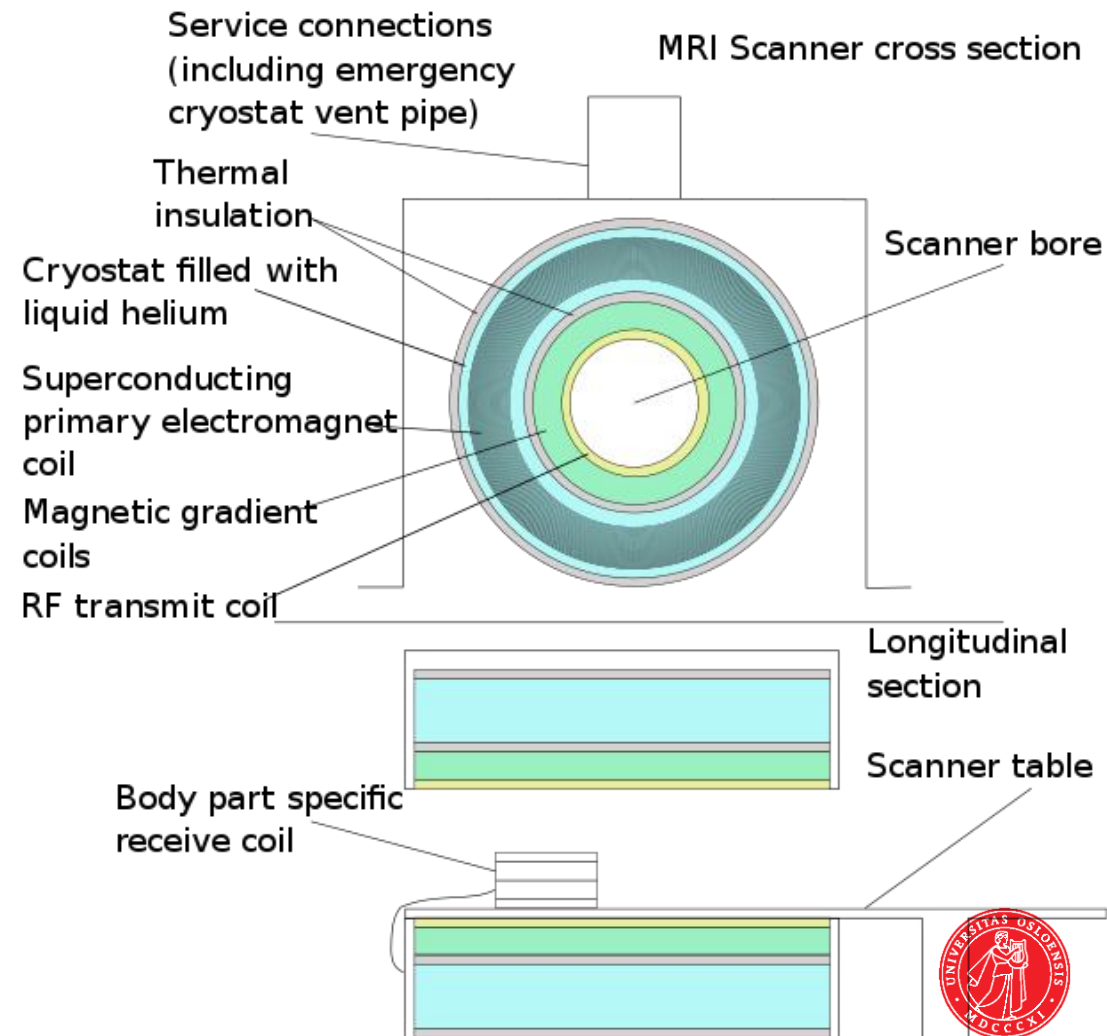
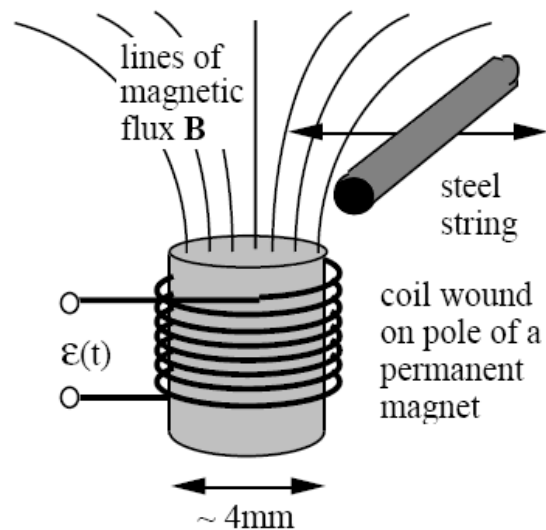
# INDUKTIVE / MAGNETISKE SENSORER

Består av spoler, måler vekslende magnetfelt

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



Schematic diagram of a simple pickup.

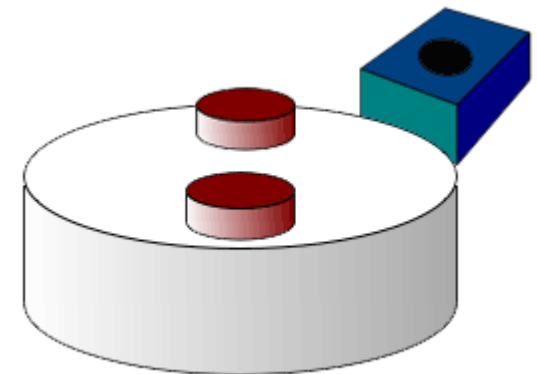
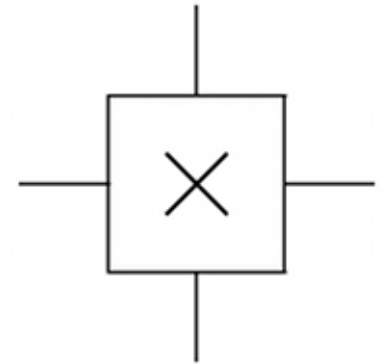


# HALL SENSOR

- En hall sensor måler absolutt magnetfeltstyrke

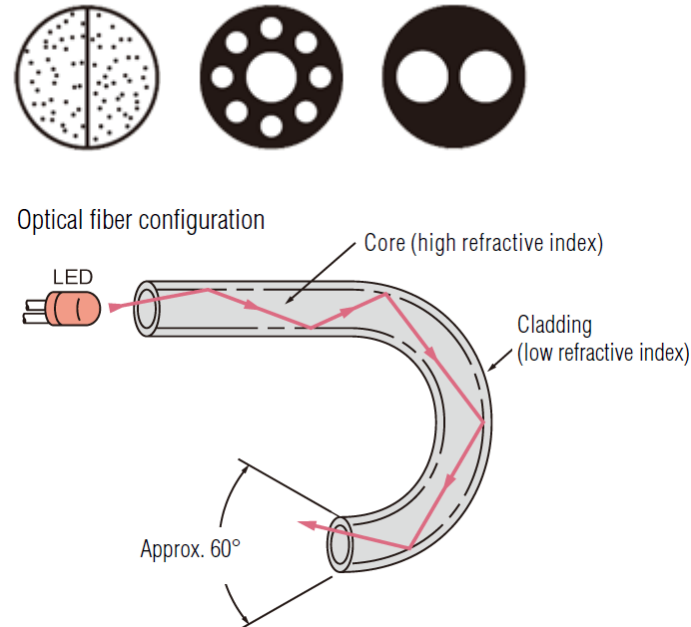
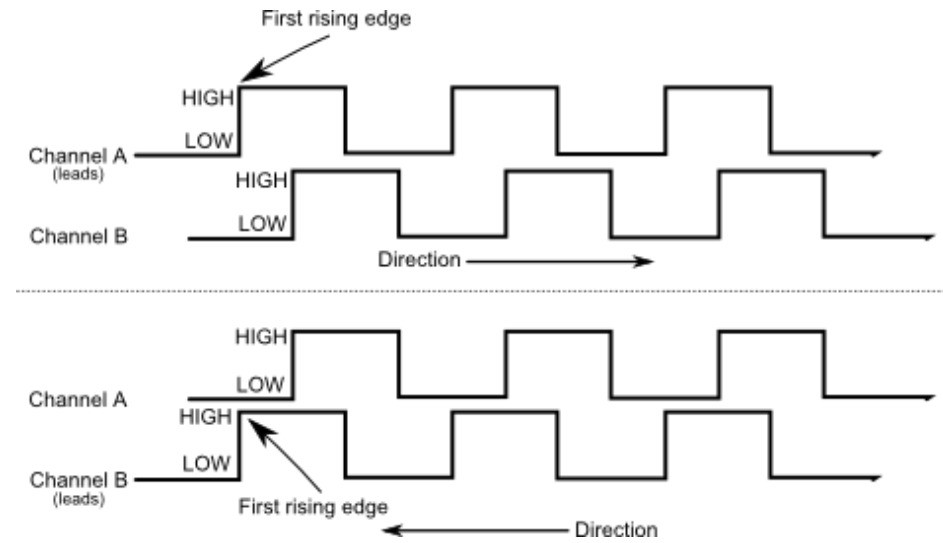
I Hall sensoren lar man strøm gå over en plate av et halvledermateriale. Dersom strømmen er 90 grader på magnetfeltet vil negative og positive ladninger trekkes til hver sin side, og generere en spenning.

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



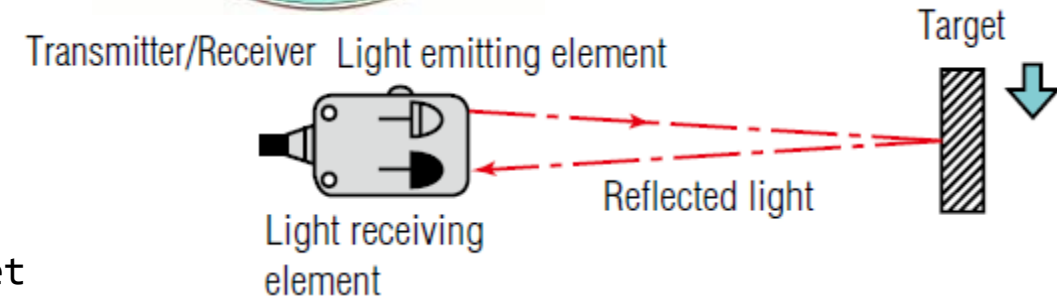
# OPTISKE SENSORER

- 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



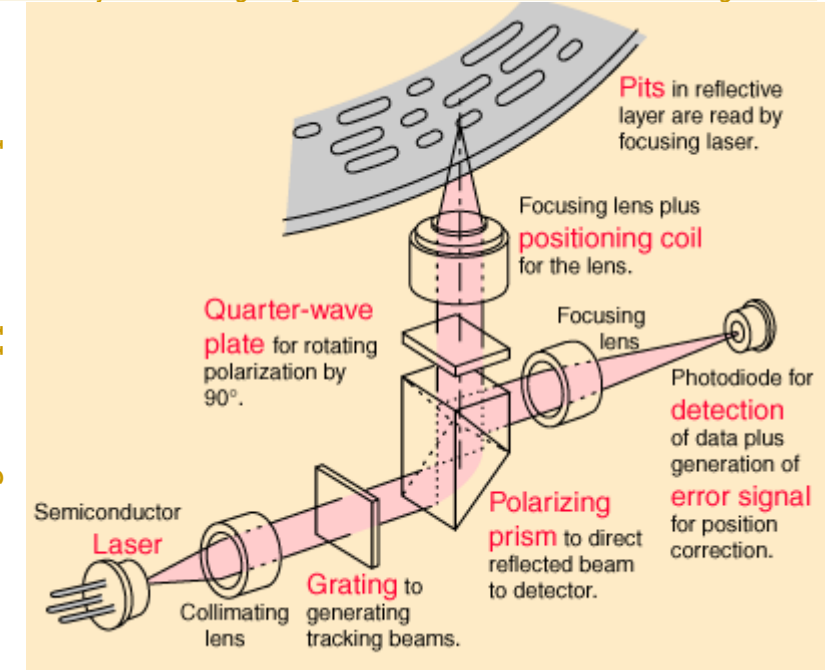
# LASER SENSORER

- 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, da de trenger strøm for å sende ut laserlys som de igjen måler på
- Lasersensorer kan brukes på forskjellige vis
  - Ved å måle «Time of flight» fra lyssignalet sendes ut til det kommer tilbake (Lidar, avstandssensorer, 3D-scannere)
  - Ved å måle variasjon i lysintensitet (hastighetsmålere for bil, mus ol, CD spillere)
  - 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  $1\text{mw}/\text{cm}^2$  kan gi øyeskader.
  - Bruk av lasere med høyere klasse enn 2 krever dispensasjon fra statens strålevern. <https://www.nrpa.no/fakta/90813/laserklasser#>



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

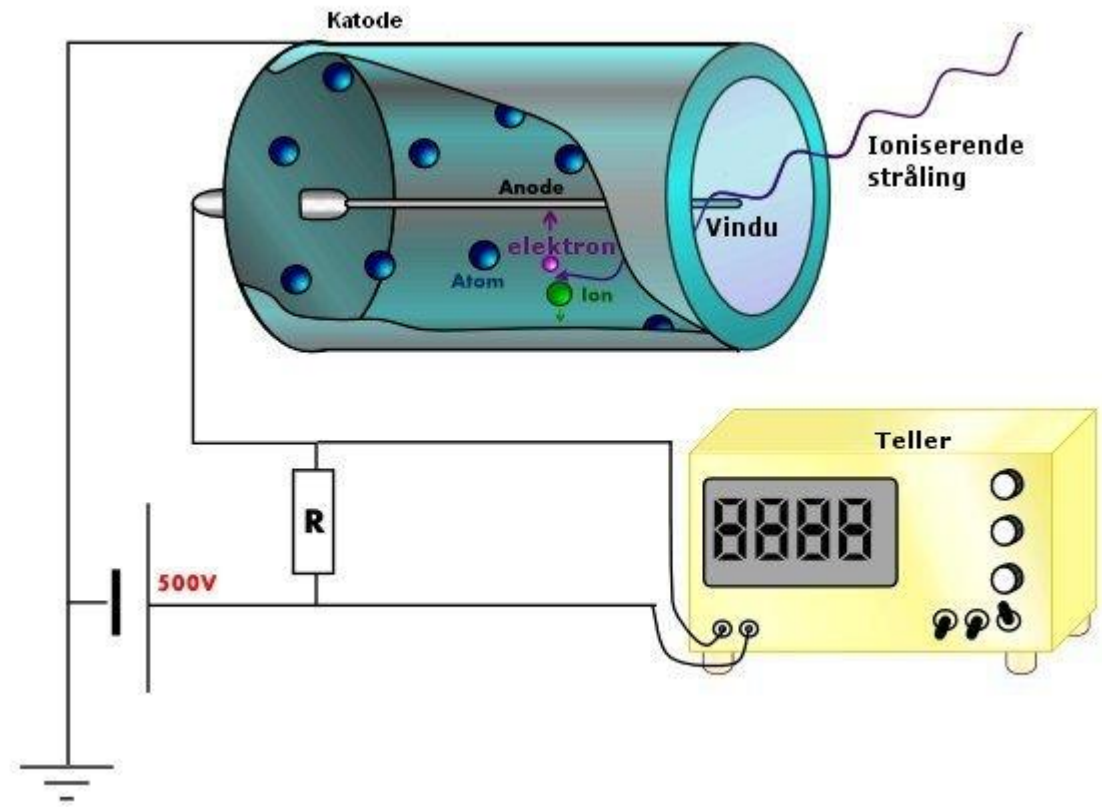
<http://chadorzel.com/principles/2010/02/23/amazing-laser-application-4-op-1/>





# IONISKE SENSORER

- Røykvarsler
- Geigerteller



# KAPASITIVE SENSORER

- Berørings-skjermer
- Trackpads ol.
- Kontakt/ Nærhetssensor
  - Brukes i industri-systemer / 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 vekselspenning over motstanden. Utgangsimpedansen er høy, så forsterkerledd er gjerne nødvendig.

