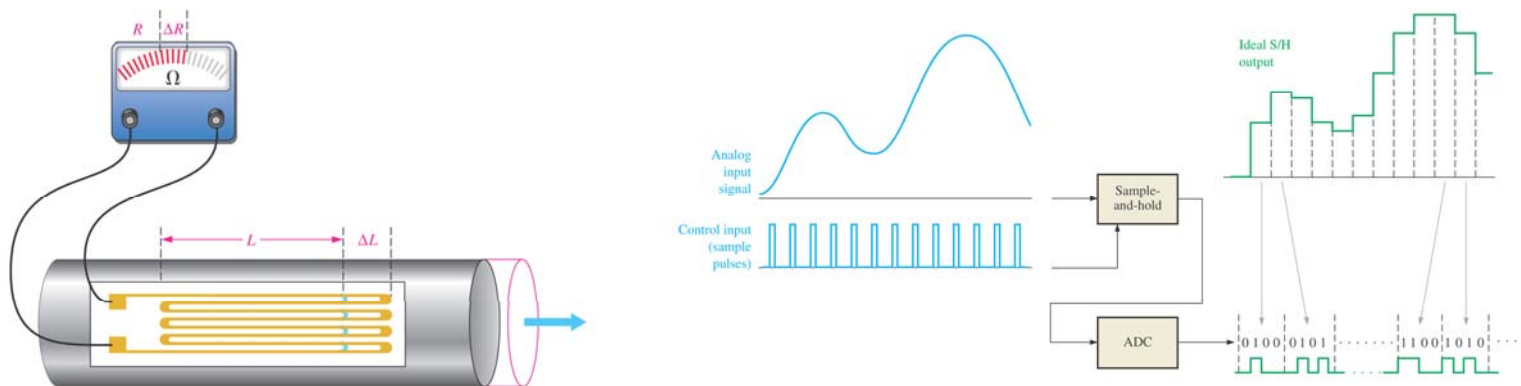


Sensorer, måleteknikk og signalbehandling

3 begreper som danner fundamentet for ”Instrumentering”

- Noen eksempler på sensorer og måleteknikk

- 3 sensorer for måling av temperatur
- Metoder for måling av strekk, trykk og “flow rate”
- Metoder for måling av bevegelse
- Forklare egenskapene til en “sample-and-hold” krets
- Eksempler på analog til digital konvertering - A/D



Sensorer, måleteknikk og signalbehandling

Precision and Accuracy – presisjon og nøyaktighet

Alle måleserier vil være beheftet med feil –

Det er viktig å skille mellom begrepene nøyaktighet og presisjon



High Accuracy
Low Precision

Høy nøyaktighet
Lav presisjon



Low Accuracy
High Precision

Lav nøyaktighet
Høy presisjon



High Accuracy
High Precision

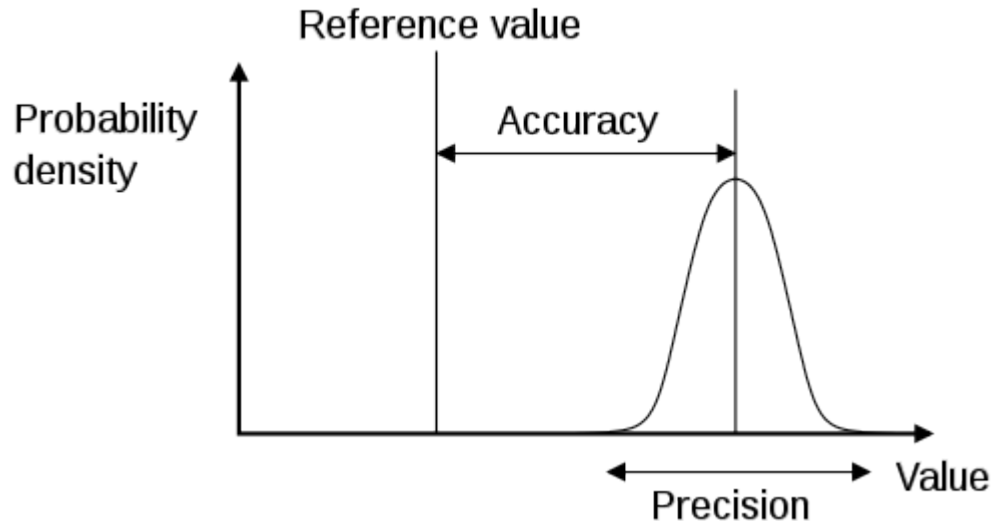
Høy nøyaktighet
Høy presisjon

Sensorer, måleteknikk og signalbehandling

Precision and Accuracy – presisjon og nøyaktighet

Alle måleserier vil være beheftet med feil –

Det er viktig å skille mellom begrepene nøyaktighet og presisjon



Sensorer, måleteknikk og signalbehandling

En sensor er en komponent som mottar et signal eller stimulering – og som svarer med et elektrisk signal.

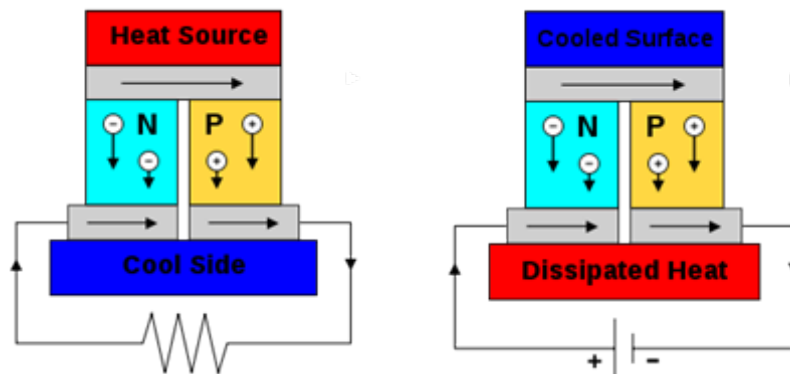
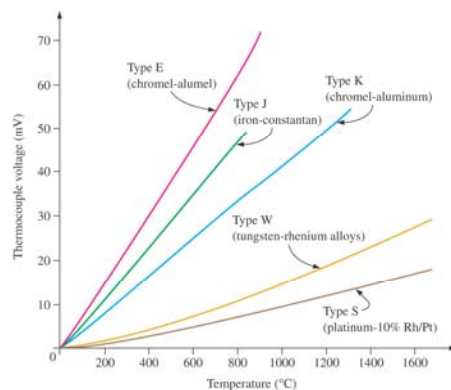
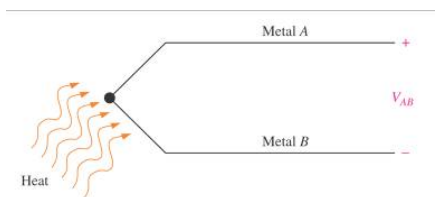
En stimulering - slik vi her bruker uttrykket – er en størrelse eller en tilstand som når den påtrykkes sensoren får denne til å svare med et elektrisk signal.

En god sensor må ha følgende egenskaper:

1. Sensoren må være følsom for det fysiske fenomen som skal måles
2. Sensoren må være ufølsom for andre fysiske fenomener
3. Sensoren må ikke påvirke fenomenet som måles

Termokopling – termisk generert spenning

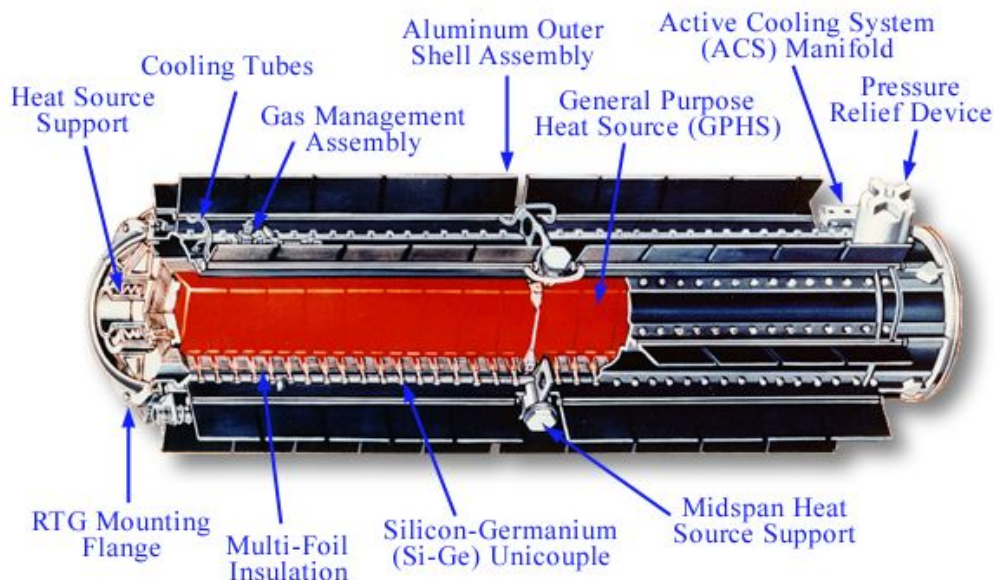
- Når to forskjellige metaller koples sammen dannes en termokopling (thermocouple).
- Varmer vi opp denne termokoplingen genereres en liten spenning - kalt *Seebeck voltage*
- Spenningen som oppstår er direkte proporsjonal med temperaturen – og den avhengig av hvilke metaller som sammenkoples
- Best effekt oppnås med halvledere
- Seebeck vs. Peltier



Termokopling – termisk generert spenning

Termisk energi konverteres direkte til elektrisk energi ved Seebeck effekt – størst effekt ved bruk av halvledere. En radioaktiv kilde sender ut stråling som genererer varme. Brukes ofte i romsonder. For eksempel i Voyager (1977) – tre termogeneratorene produserer fortsatt ca. 400 watt – etter 30 år. Avstand 2008 ca 15.80×10^9 km – signalene bruker nesten 15 timer på veien til Jorda. Regner med kontakt fram til ca. år 2020

GPHS-RTG

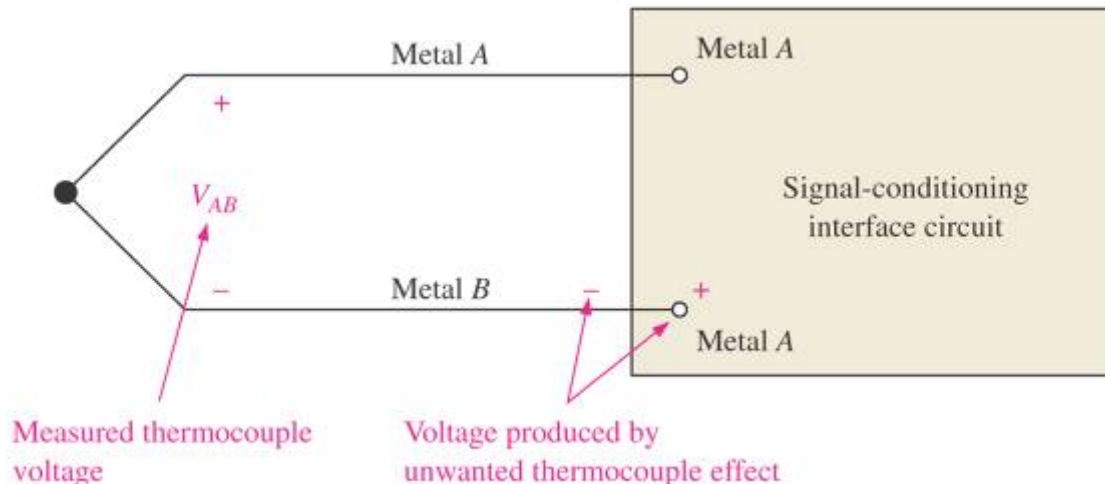


Bilde viser en termogenerator som er brukt i flere fartøyer: Pioner 10,11 Voyager 1,2 Galileo, Ulysses og Cassini

Radioaktiv isotop: Plutonium halveringstid 87,7 år

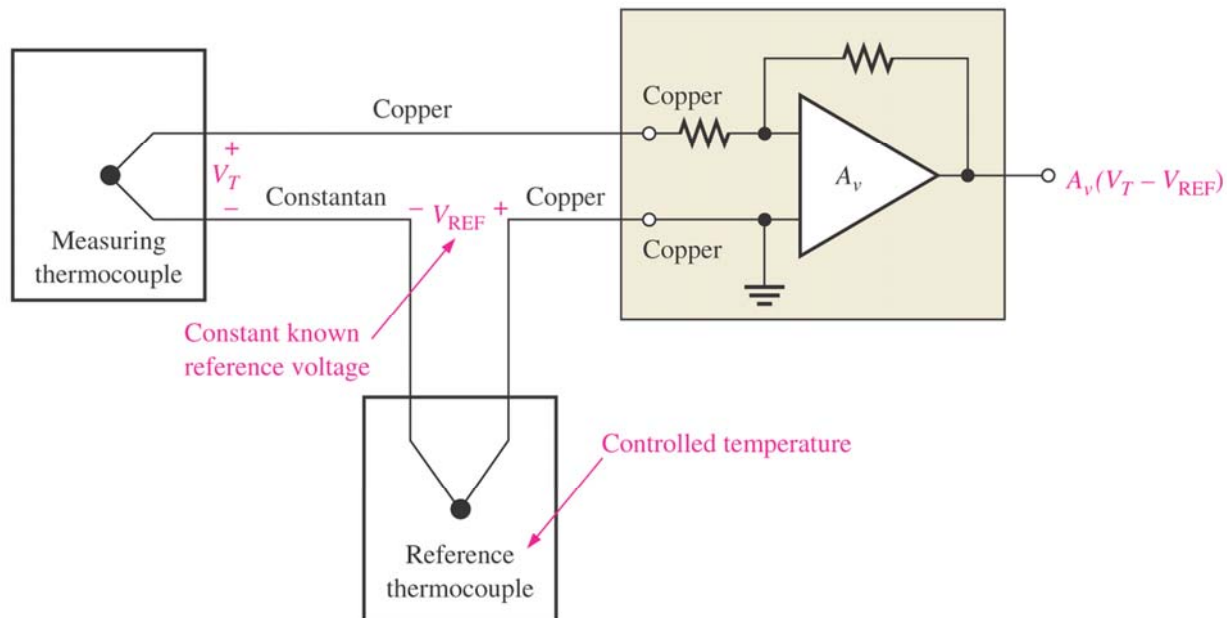
Temperatutmålinger - termokopling

- Når en termokopling koples til en signalbehandlingskrets oppstår en uønsket termokopling i tilkoplingspunktene hvis metallene er av forskjellig slag
- Denne uønskede termokopling kalles ofte for en “cold junction” – og den kan ofte skape feil / avvik i målingene.



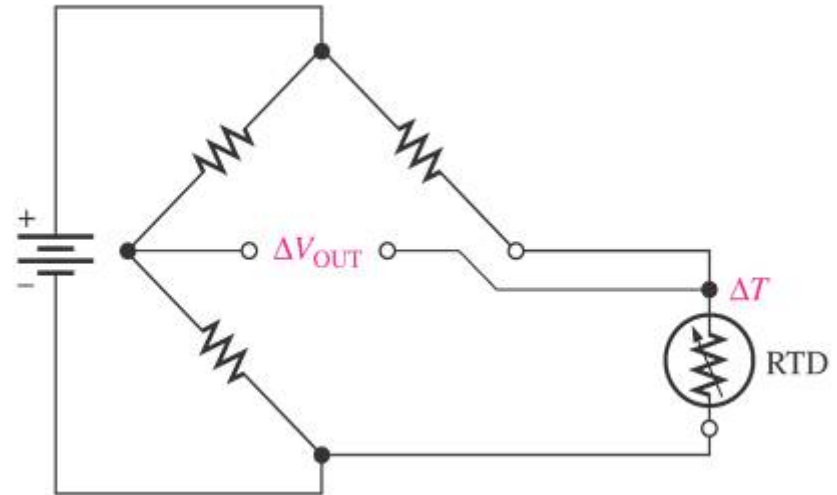
Temperatutmålinger - termokopling

- For å eliminere problemet med den uønskede termokoplingen legger man ofte på en ekstra termokopling med kjent temperatur (0°C – blanding is / vann) – Dette er ingen god løsning – den er kostbar og vanskelig å drifte
- En annen løsning kan være å tilkople en kompensasjonskrets basert på en integrert temperatur sensor (konstant temp. vha PTC)



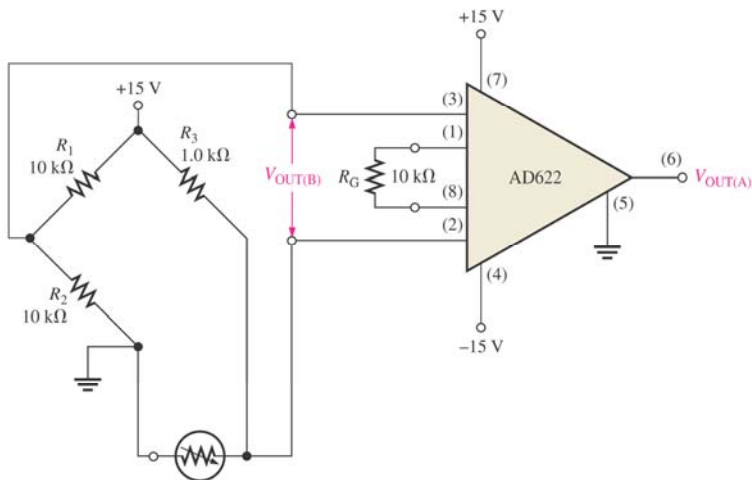
Temperatutmålinger – RTD sensor

- En annen type temperatur transducer/sensor - RTD sensor (RTD = resistance temperature detector)
 - RTD er en komponent hvor motstanden endrer seg direkte med temperaturen. RTD er mer lineær enn en termokopling - men
 - RTD har et mer begrenset temperaturområde enn en termokopling
 - RTD er enten trådviklet – eller laget med en metallfilmteknikk
 - De fleste RTD er laget av platina eller nikkel-legeringer



Temperatutmålinger – Termistor

- En tredje type temperatursensor er *termistoren* – Dette er en motstand (resistiv komponent) laget av et halvledermateriale – gjerne nikkel-oksyd eller kobolt-oksyd
- Resistansen (motstanden) til en termistor reduseres når temperaturen øker.
- Termistorer har bedre følsomhet enn termokoplinger og RTD-motstander, men -
 - Temperaturkarakteristikken er mer ulineær og temperaturområdet er mer begrenset



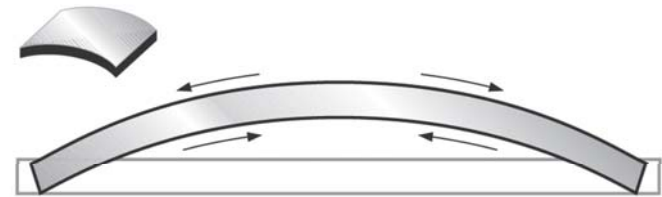
En termistor vil ofte inngå i bro-koplinger på samme måte
Som RTD motstander

Måling av strekk og trykk

- Strekk (*strain*) er deformasjon av et materialet, - enten i form av en ekspansjon / forlengelse eller en kompresjon – forårsaket av krefter som virker på materialet
 - hvis en metallplate bøyes får vi en ekspansjon på oversiden (*tensile strain*) – og en kompresjon på undersiden (*compressive strain*)
- En **strekkklapp** (*strain gauge*) er en meget lang og tynn ledning/stripe av motstandsmateriale som er festet (*bondet*) til objektet hvor man ønsker å måle belastningen



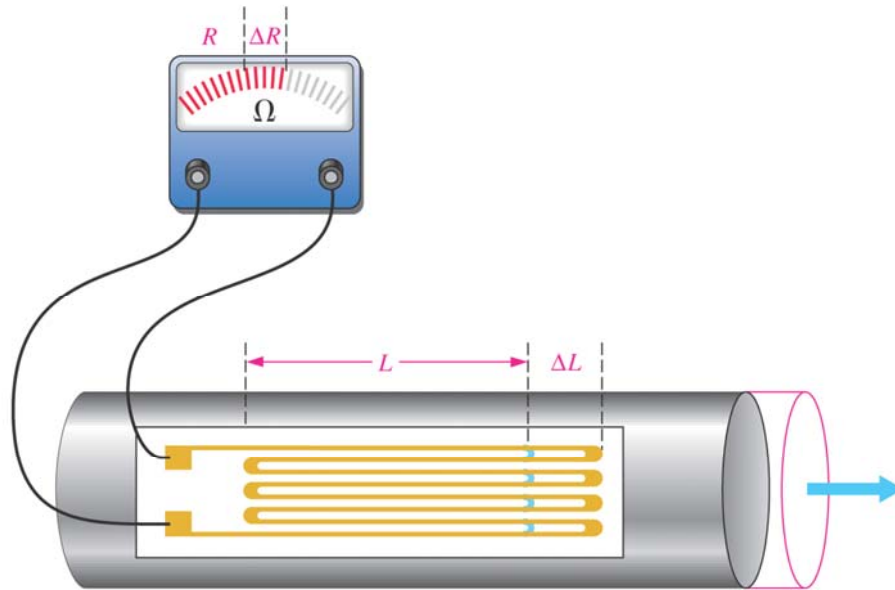
(a) Strain occurs as length changes from L to $L + \Delta L$ when force is applied.



(b) Strain occurs when the flat plate is bent, causing the upper surface to expand and the lower surface to contract.

Måling av strekk og trykk

- Når gjenstanden påvirkes av en ytre kraft vil det skje en liten deformasjon. Strekkklappen vil få en proporsjonal deformasjon – og motstanden endres tilsvarende
- Gauge Factor (GF) er et uttrykk for forholdet mellom endring i motstandsverdi og forholdet mellom endring i lengde langs strekkklappens

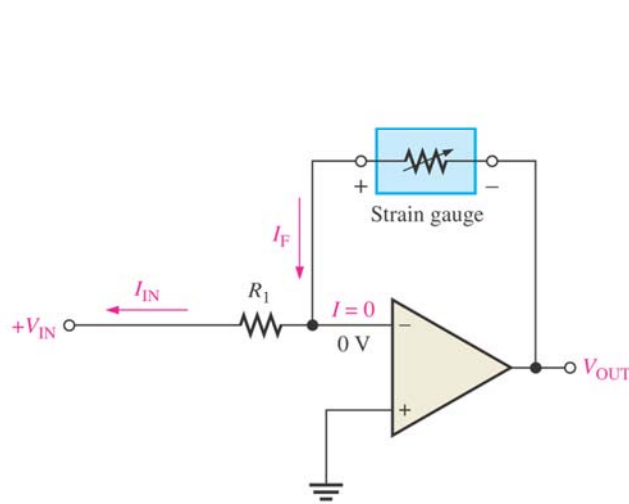


Måling av strekk og trykk

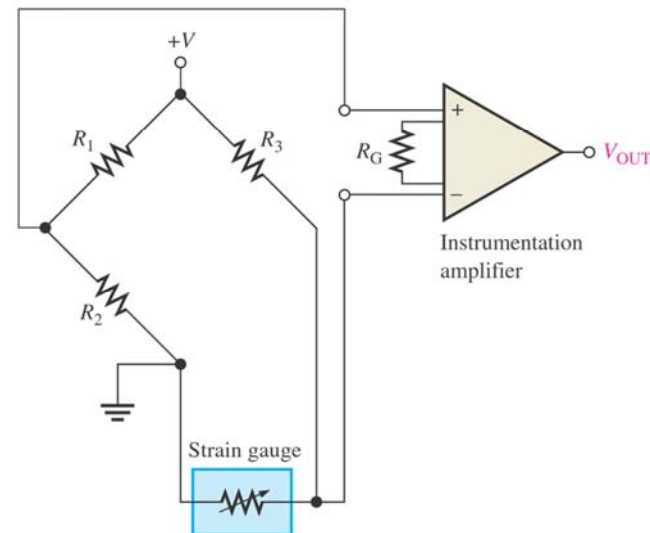
- Den fraksjonelle endring i lengde ($\Delta L/L$) har fått betegnelsen *strain* (ε) og er ofte uttrykt i part pr. million, kalt *microstrain* ($\mu\varepsilon$)

$$\text{Gauge Factor } GF = (\Delta R/R) / (\Delta L/L)$$

- Strekkklapper endrer motsandsverdi når de deformeres. De brukes derfor ofte i brokoblinger - eller i konstant-strøm-drevne kretser (se figurene under)



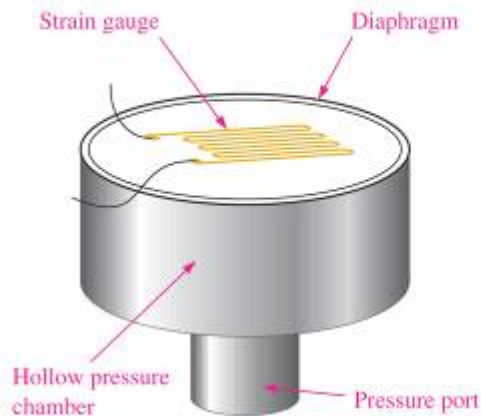
(a) Constant-current circuit



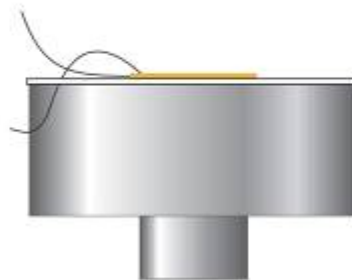
(b) Three-wire bridge circuit

Måling av strekk og trykk

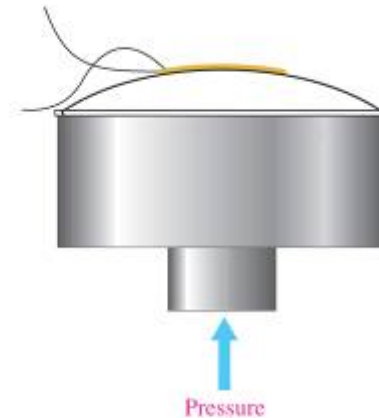
- Trykktransdusere / sensorer - er komponenter som endrer motstandsverdi proporsjonalt med endringen i trykk
 - Trykkfølsomheten oppnår vi ved å feste (bonde) en strekkklapp til et fleksibelt diafragma



(a) Basic pressure gauge construction



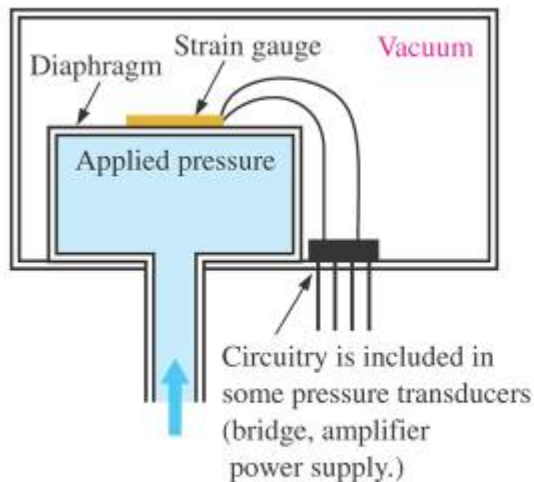
(b) With no net pressure on diaphragm, strain gauge resistance is at its nominal value (side view).



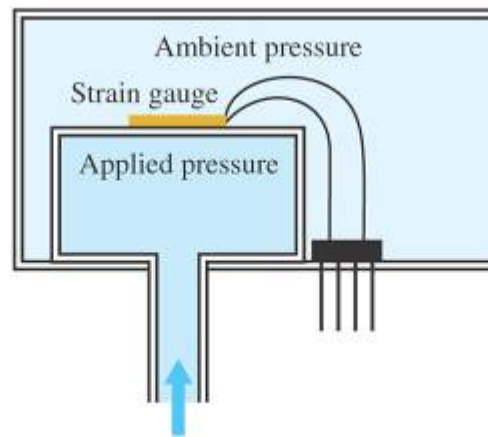
(c) Net pressure forces diaphragm to expand, causing elongation of the strain gauge and thus an increase in its resistance.

Måling av strekk og trykk

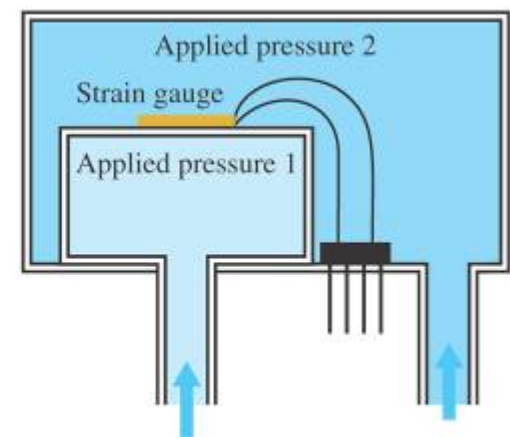
- En absolutt trykkmåling måler trykk relativt til vakuum
- En “normal” trykkmåling måler ofte trykk relativt til omgivelsene. (ambient pressure)
- En differensiell trykkmåling måler relativ trykkforskjell mellom to tilførte trykk



(a) Absolute pressure transducer



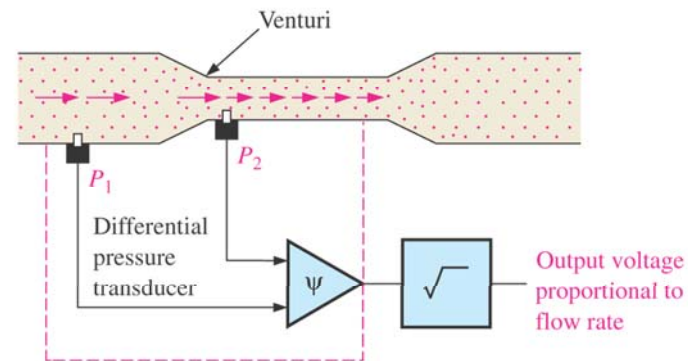
(b) Gauge pressure transducer



(c) Differential pressure transducer

Måling av strekk, trykk og flow rate (strømning)

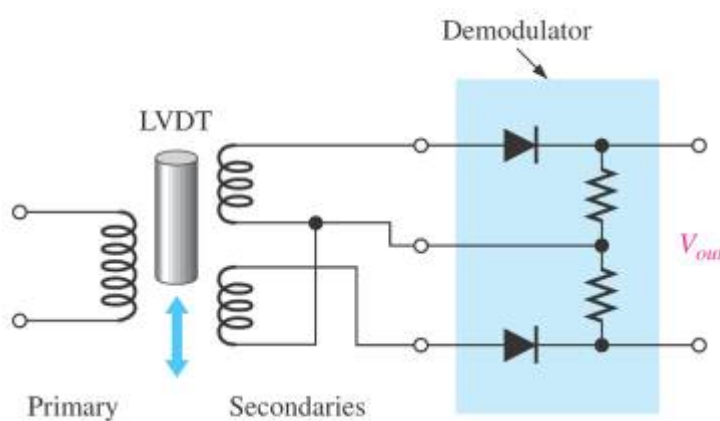
- Strømning (*flow*) av væske eller gass gjennom et rør kan måles vha to trykkmålere.
- Vi vet at $P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$ En liten innsnevring på røret vil skape en trykk-differans. Volumet som passerer må være det samme i begge deler av røret.
- Trykkdifferansen gir indirekte et uttrykk for flow. (Volum pr. tidsenhet)
- Hastigheten øker og trykket reduseres (Venturi - prinsippet)



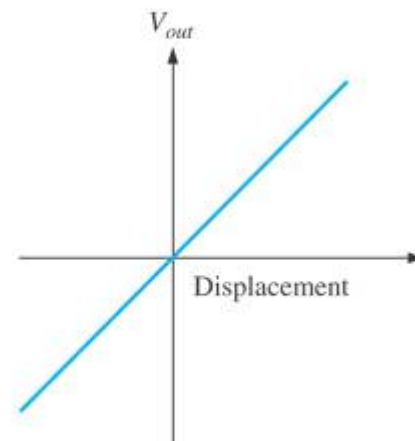
Måling av posisjon/forskyvning (displacement sensor)

Linear variable differential transformer (LVDT)

- Objektet som skal overvåkes koples til en bevegelig jernkjerne (som vist på figuren under). En forskyvning av jernkjernen i transformatoren vil endre induksjonsforholdet til de to spolene på sekundærsiden. Dette kalles en “Linear variable differential transformer (LVDT)”
- Når kjernen beveger seg ut fra senter - vil den ene av de to sekundærspolene få høyere spenning enn den andre. Hvilken som blir størst forteller retning på forskyvningen (displacement)



(a) Diagram of LVDT

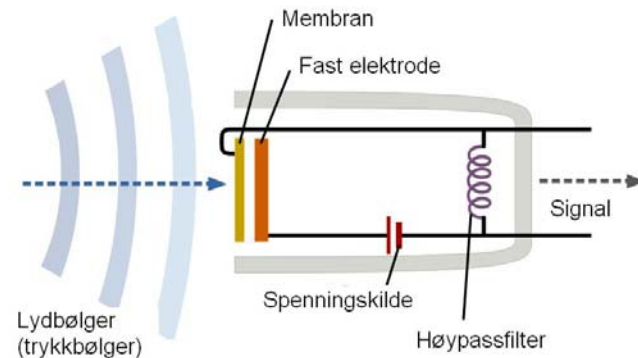
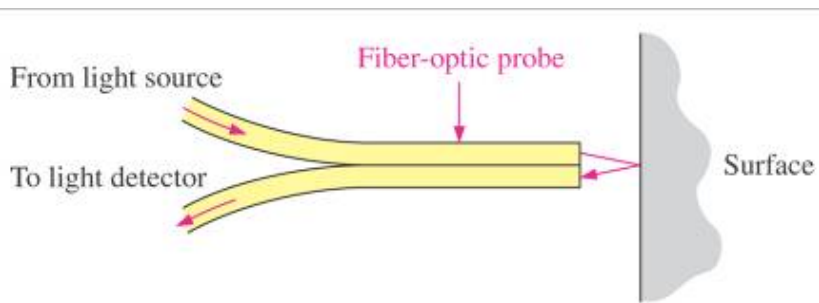


(b) Response

Måling av posisjon/forskyvning (displacement sensor)

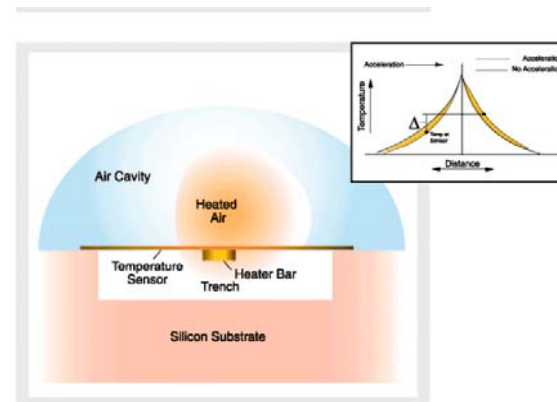
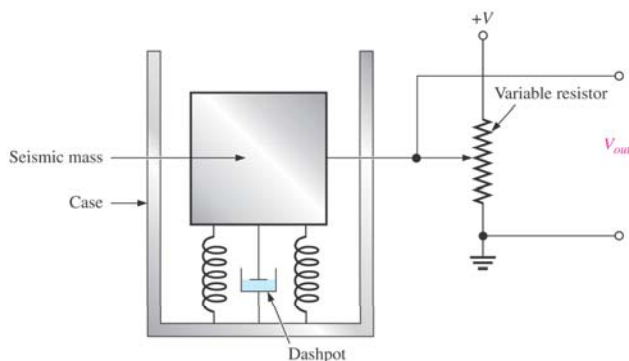
Displacement transducere (sensorer) er ofte bygget opp av optiske eller kapasitive elementer.

- Fotoceller kan observere endring i refleksjon på en bevegelig skive.
- Kapasitive sensorer kan gjøres meget følsomme for bevegelse. Kapasiteten bestemmes av arealet og avstanden mellom platene. Den ene plata kan være det følsomme elementet i sensoren. For eksempel membran i en kondensatormikrofon



Måling av hastighet

- HASTIGHETSTRANSDUCERE
 - Optisk registrering/telling av hull/mønstre på roterende skive
 - Direkte mål av vinkelhastighet kan bli gjort med en roterende spole i et magnetfelt. Måler industert spenning.
 - Akustisk måling av doplerskift på reflektert lyd
- Akselerometer – mange muligheter
 - Måler relativ forskyvning av masse
 - Måler fordeling av konveksjonsvarme i gass



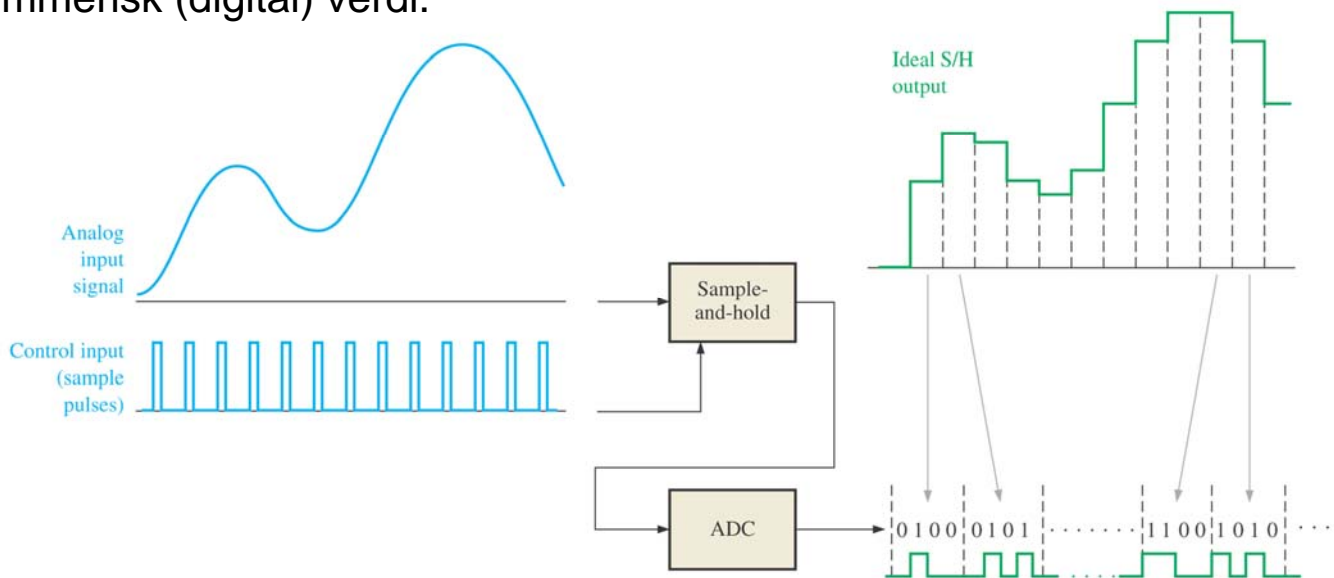
Den analoge verden blir digitalisert

Med bestemte tidsintervall går vi inn og avleser (digitaliserer) den analoge verdien til signalet.

Nyquist–Shannon sampling theorem: *Skal vi beholde all informasjonen i analogsignalet må vi avlese (sample) signalet med en frekvens som er dobbelt så høy som den høyeste analogfrekvensen.*

Det betyr at musikk med høyeste frekvens 20 kHz må samples med en frekvens ≥ 40 kHz . Musikk-CD har en "samplingsfrekvens" på 44,1 kHz.

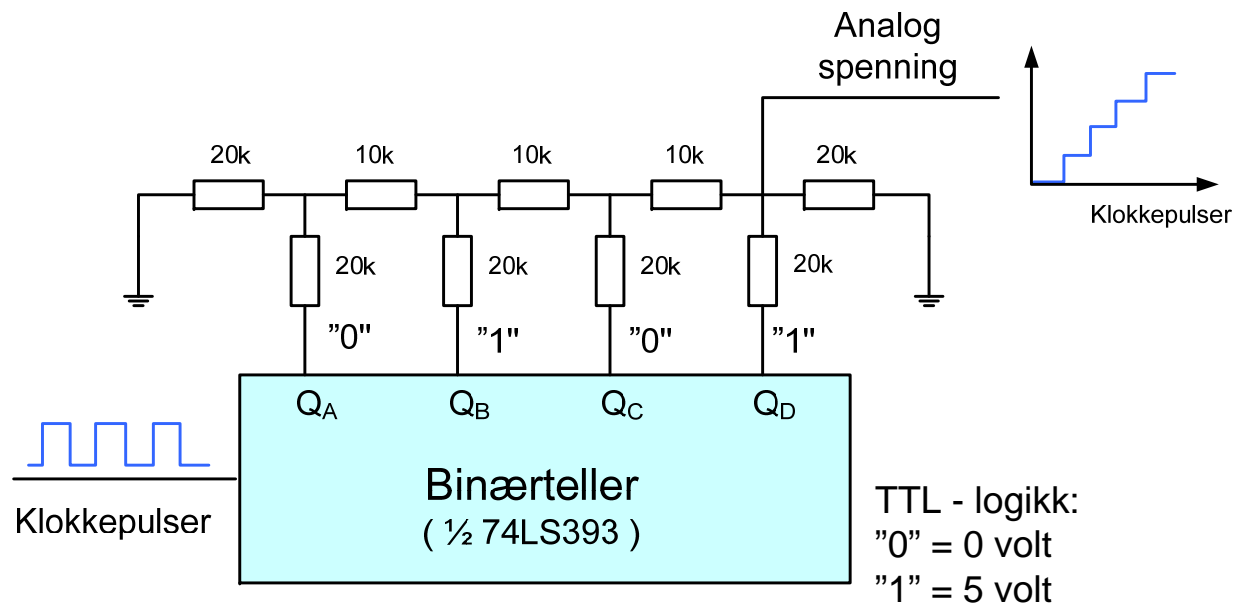
Ved hjelp av en "Sample and hold" holder vi den analoge spenningen fast slik at Analog til Digital - omformerer (ADC) får tid til å konvertere denne til en numerisk (digital) verdi.



Den analoge verden blir digitalisert

Digital til analog - 1

Før vi kan digitalisere et analogt signal må vi ha en metode som går motsatt vei. Vi må klare å gjenskape et analogt signal fra en binær tallverdi. Vi trenger en Digital til Analog Konverter (DAC). Kretsen under viser hvordan vi vha. et motstandsnettverk (R – 2R) kan bygge opp en DC-spenning som er prop. med binærverdien ut fra telleren. (Husk laboppgave # 6)



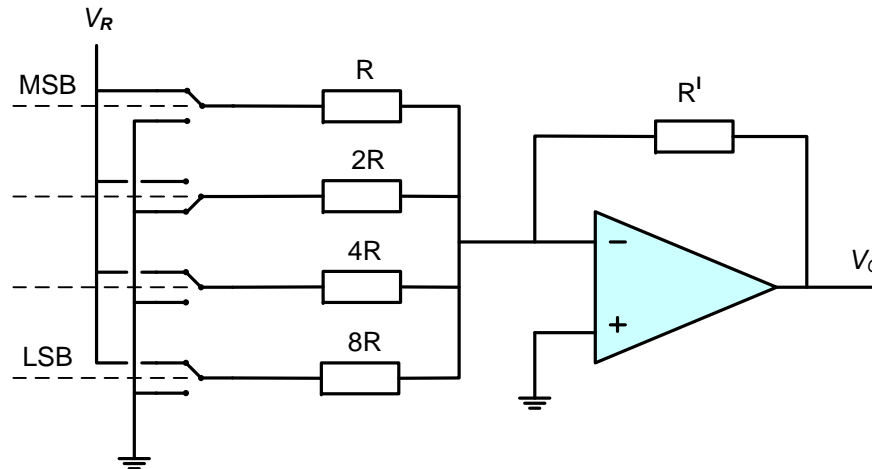
Den analoge verden blir digitalisert

Digital til analog - 2

Når et binært ord skal konverteres til en analog verdi (spenning) vil hvert bit ha forskjellig "vekt".

$$\begin{array}{cccc} 1 & 0 & 1 & 1 \\ \text{MSB} & & \text{LSB} & \end{array} \quad \begin{array}{cccc} \text{"1"} & \text{"0"} & \text{"1"} & \text{"1"} \end{array}$$
$$V_o = (8 \cdot a_3 + 4 \cdot a_2 + 2 \cdot a_1 + a_0) \cdot V_R$$

V_o er en analog verdi proporsjonal med det digitale tallet "1 0 1 1"



$$V_o = \left(1 + 0 + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} \right) \cdot \frac{V_R \cdot R^I}{R} \Rightarrow (8 + 0 + 2 + 1) \cdot \frac{V_R \cdot R^I}{8R}$$

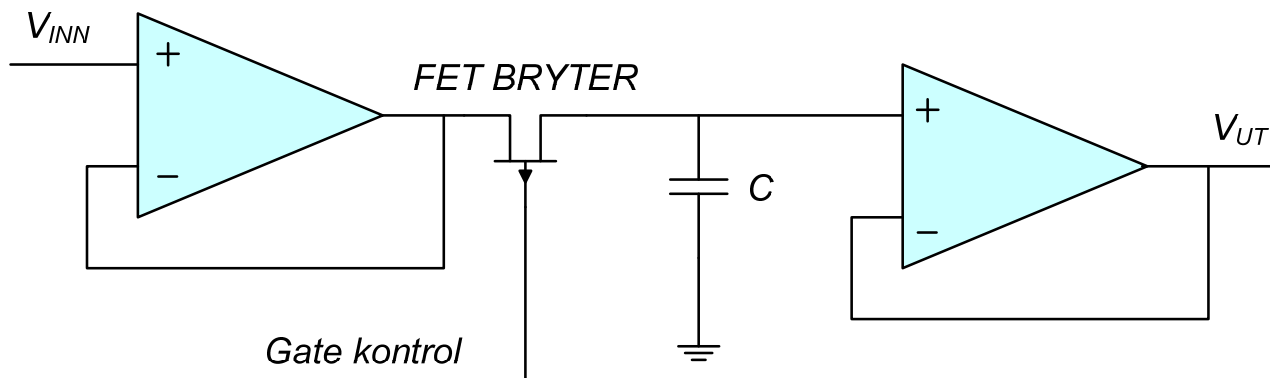
Sampel - Hold

Skal vi konvertere et varierende analogt signal til en digital verdi – må analogverdien holdes fast i konverteringstiden.

Så lenge FET-bryteren er "PÅ" vil spenningen på kondensatoren følge V_{INN} . I det øyeblikk vi skal "sample" analogsignalet skruer vi FET-bryteren "AV".

Kondensatoren er nå isolert fra "resten av verden" – ser en "uendelig" stor motstand til høyre og venstre. Ladningen holdes på plass – og V_{UT} fra spenningsfølgeren SF2 "speiler" spenningen over kondensatoren.

Kondensatoren holder spenningen tilnærmet konstant i den tiden det tar å digitalisere den analoge verdien.

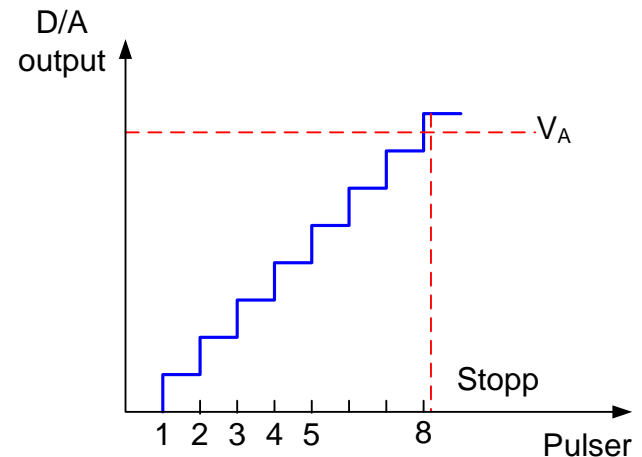
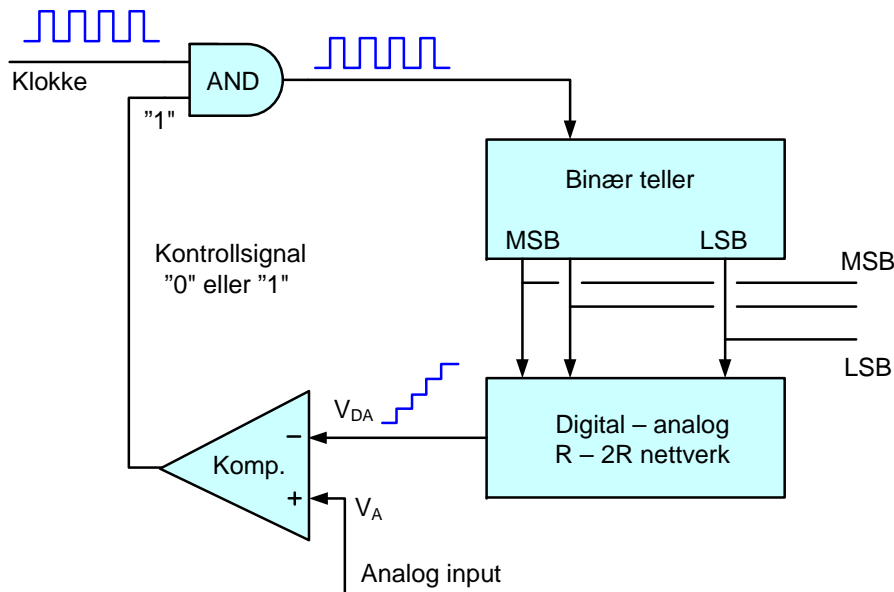


Analog til digitalomformer – A/D

Counting A/D converter

En binærteller er tilkopleet et R-2R nettverk. (se lab # 6)

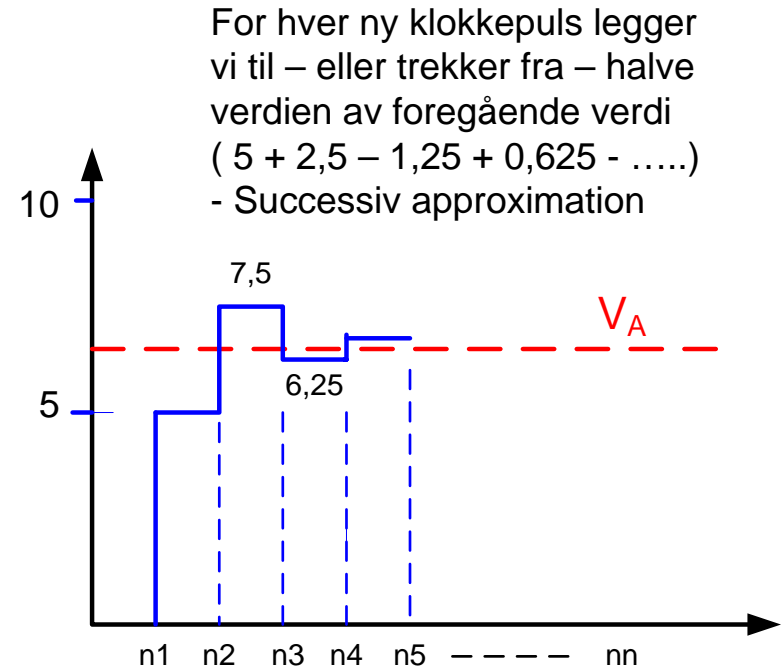
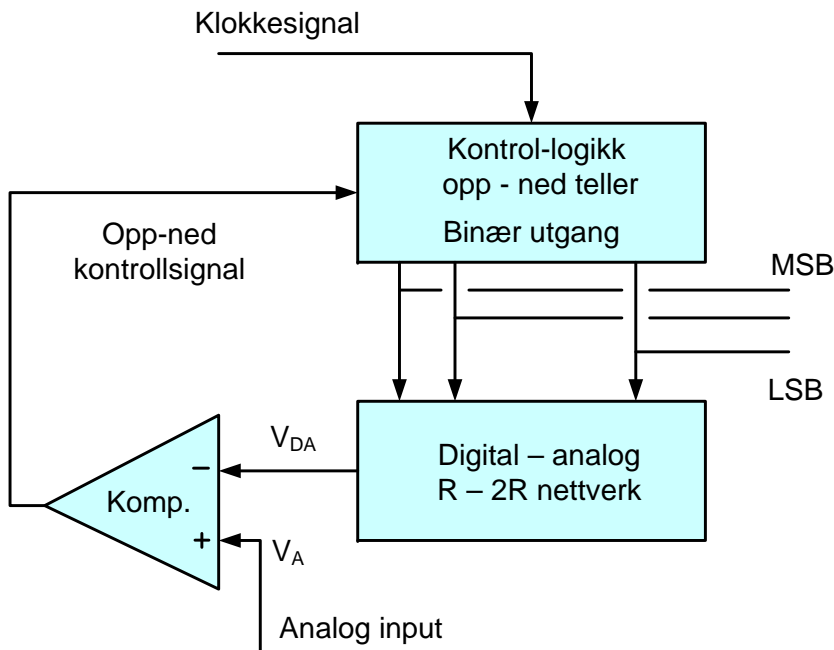
Komparatoren sammenlikner spenningen fra R-2R med analogspenningen som skal digitaliseres. Når spenningen fra R-2R nettverket overstiger signalspenningen skifter komparatorens utgang fra "1" til "0". AND-gaten stenger for flere klokkepulser inn til telleren. Telleren stopper - og vi kan avlese en digitalverdi på utgangen. Denne verdien representerer analogspenningen på inngangen.



*Et n-bit system trenger 2^n pulser før konverteringen er ferdig –
- et 8 bit system trenger 256 klokkepulser (konverteren er "langsom")*

Analog til digitalomformer – A/D

Successive approximation - A/D

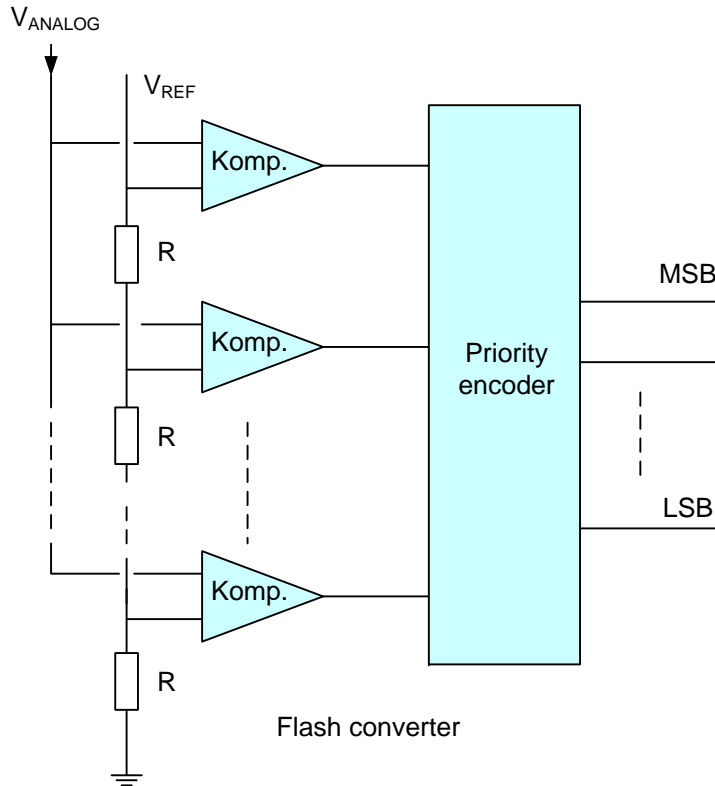


Successiv approximation: *n-bit system trenger N klokkepuls for en konvertering*
8-bit trenger 8 klokkepuls

Counting AD converter: *8 bit trenger 256 klokkepuls*

Analog til digitalomformer – A/D

Flash converter -



"Flash converter" - Den raskeste AD-konverter vi kjenner.

Signalet tilføres samtidig en rekke komparatorer med hver sin faste referansespenning.

Komparatorene er tilkopleet en encoder.

Vi får en instantan konvertering fra analog til digital verdi – begrenses kun av forsinkelsen i encoder.

(Encoder : se kompendium Digitale kretser og systemer)

8 bit "Flash" trenger 255 komparatorer.

Meget rask – men kostbar ..

Analog til digitalomformer – A/D

Det finnes en rekke andre typer AD -konvertere.

Teknologiene – og prisene varierer :

Tracking AD, Sigma-delta AD, Dual slope – integrerende AD osv.

Noen begreper rundt AD -konvertere

Oppløsning (resolution) – *Antall bit (binære siffer) brukt for å representere den analoge signalverdien i samplingstidspunktet.*

(8 bit – vil dele opp analogverdien i 255 nivåer)

Konverteringstid (Conversion time) – *Tiden det tar å konvertere den samlede analogverdien til en digital verdi.*

Kvantiseringsfeil (Quantization error) – *Endringen i det analoge signalet i løpet av konverteringstiden.*

Nyquist frekvensen – *Et analogt signal blir samlet og digitalisert 2 ganger pr. signalperiode (cycle)*