

IN 1080

Signalkondisjonering, AD-konvertering

Yngve Hafting, 2022



Kursinfo

- Labgrupper er generelt avsluttet
 - Husk å sjekke om dere har obligene godkjent.
 - Ikke mist sjanse til å ta eksamen
- Forelesning
 - Siste er 24.5
- Regneøvelse
 - Siste er 22.5

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:

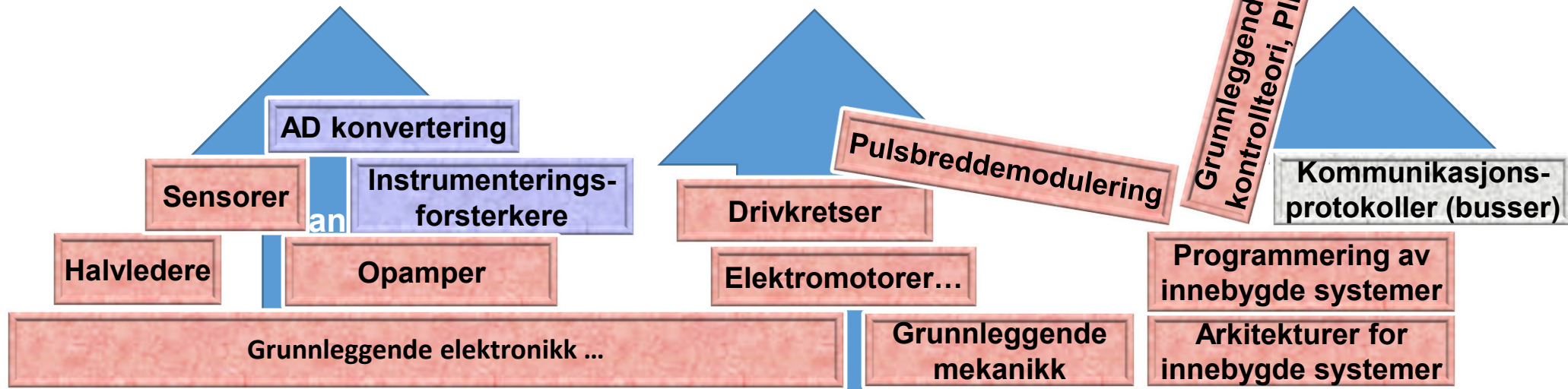
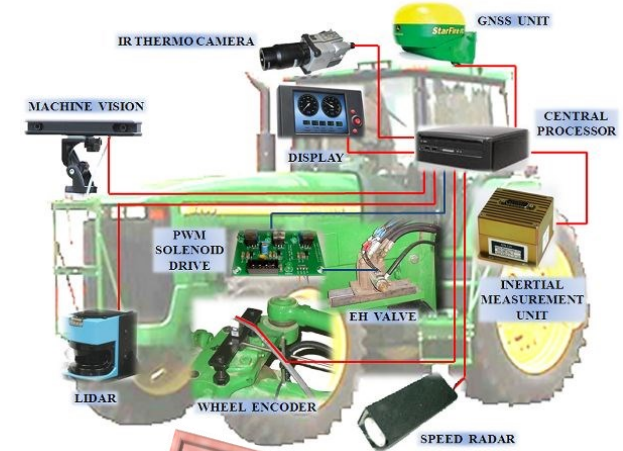
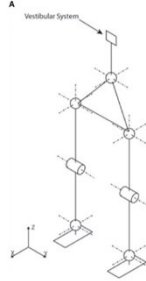
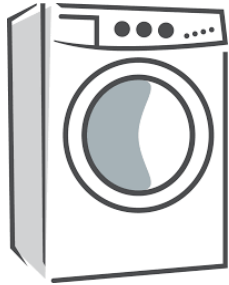
- *forstå virkemåten til analoge kretser. Aktuelle begreper er: strøm, spenning, motstand, effekt, impedans, likestrøm, vekselstrøm, RCL, MOS, FET, OPamp*
- *bruke klassiske analysemetoder basert på Kirchoff, Thevenin og Nortons teoremer*
- forstå og **anvende sensorer, signalkondisjonering og konvertering**,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

Forelesning

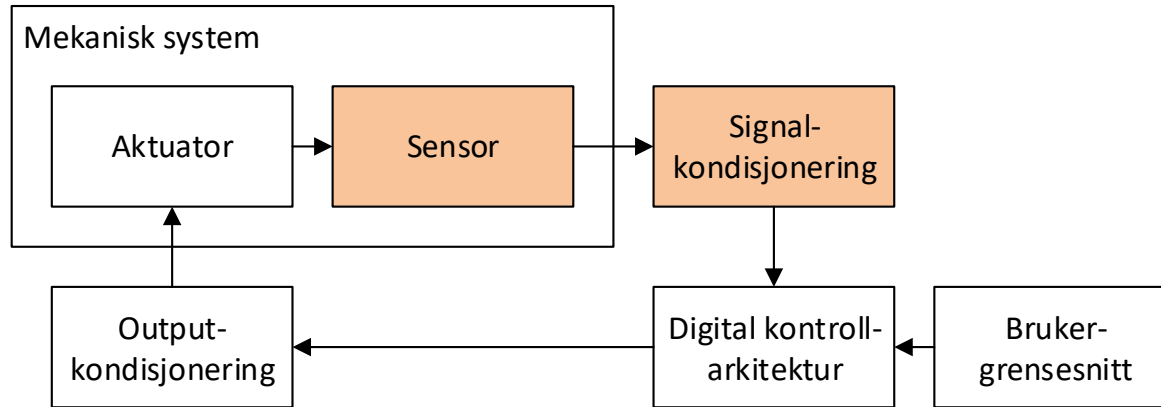
- *Kunne velge sensorsystemer for mekatronikk*
 - Hva begrenser kvalitetene på sensordata.
 - Linearitet
 - Dynamisk område
 - desibel
 - Hvordan oppnå presise måleresultater?
 - Signalkondisjonering
 - Differensiell forsterkning
 - Instrumenteringsforsterker
 - Avkoblingskondensatorer
 - Forstå digitalisering av måledata
 - Begreper
 - Kvantisering
 - Samplingsfrekvens
 - Nyquist
 - Aliasing

Hvor står vi – hvor går vi...

Formål: Å lage og programmere mekatroniske systemer



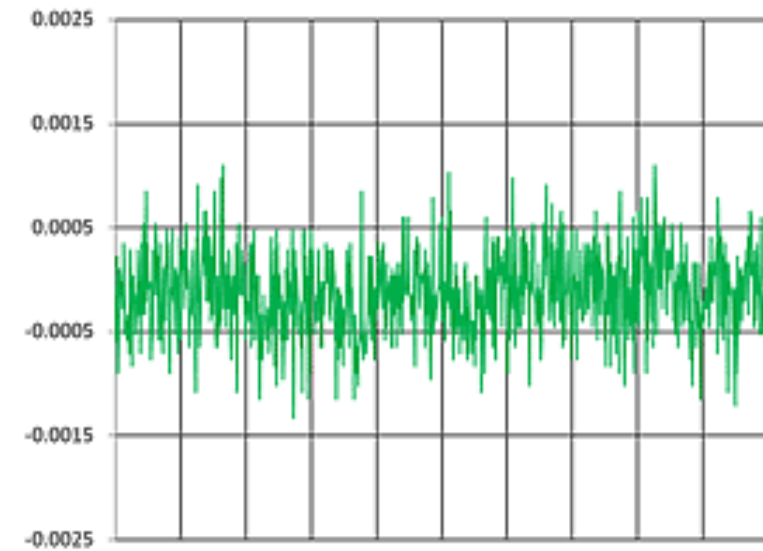
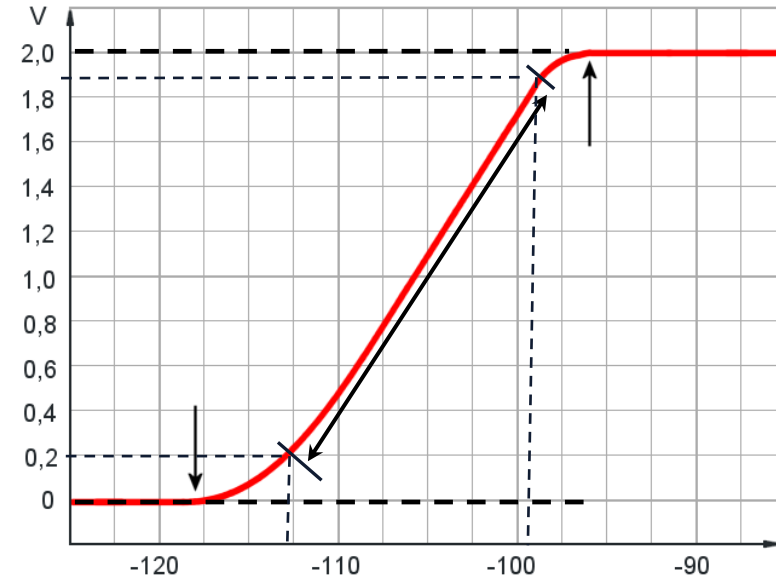
Systemperspektiv og oversikt



- Avlesing av sensorer
 - Linearitet, Dynamisk område
 - Desibel skala
- Signalkondisjonering
 - Differensiell forsterkning
 - Instrumentforsterker
 - *Avkoblingskondensatorer*
- AD konvertering
 - Samplingsfrekvens
 - Kvantisering
 - Aliasing
 - Arduino ADC

Hvor nøyaktig kan vi måle noe?

- Dynamisk område «Dynamic Range» (DR)
 - forskjellen mellom maks- og minimum verdier vi kan måle med sensoren.
 - angis ofte i desibel (dB) (neste side)
- Lineært dynamisk område «Linear Dynamic Range».
 - der måleverdiene synes å være på en rett linje (mer om litt...)
- Støy
 - Alle måleoppsett har støy..
 - temperatur, radiostøy, crosstalk, ground bounce, etc.
 - Oppgis gjerne i desibel..
 - *I noen tilfeller blir støyen så høy at vi må ty til statistiske metoder for å beregne styrken på et signal. (ikke eget tema for IN1080)*
- Alle sensorer påvirker det de skal måle...
 - Vi kan minimere påvirkning og maksimere målenøyaktighet før AD-konvertering...
 - *Wheatstone bro*
 - *Instrumenteringsforsterkere (recap kommer)*



Desibel – et effektmål

- dB er oppkalt etter Alexander Graham Bell (telefonen) fordi det var Bell Laboratories som først tok enheten i bruk ifht regning på tap i telefonlinjer.
- dB er i seg selv ett dimensjonsløst mål for å beskrive **forsterkning av effekt** (lyd/el.).
- praktisk til størrelser som endres eksponensielt (f.eks lyd).
- 1 Bel er s.a. $B = \log\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \Leftrightarrow \frac{P_2}{P_1} = 10^B$, der P_1 og P_2 er effektmål
- $1\text{dB} = 0,1\text{B}$, dvs, $\frac{P_2}{P_1} = 10^{\frac{\text{dB}}{10}}$, **$dB = 10\log\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$**
- eks: $3\text{dB} = 10^{\frac{3}{10}} \approx 2$ (forsterkning)
- eks2 : Hvor mye er en forsterkning på 35 ganger i dB?
 - $35 = 10^{\frac{x}{10}} \Rightarrow$
 - $\log 35 = \log(10^{\frac{x}{10}}) \Leftrightarrow$
 - $\log 35 = \frac{x}{10} \Leftrightarrow$
 - $10 \log 35 = x \Leftrightarrow$
 - $x \approx 15,4$
- Svar: En forsterkning (av effekt) på 35 ganger tilsvarer 15,4dB

Desibel notasjon: dB , L_{dB} (V_{dB} , I_{dB}), dBV

- dB har alltid utgangspunkt i effekt, men brukes til andre størrelser-
 - slik som spenning (V) og Strøm (I)
- Måler vi strøm eller spenning i dB, så får vi en **omregning som følge av at effekt følger kvadratet av strøm eller spenning** i en krets
 - $P = VI$, $V = RI \Rightarrow P = \frac{V^2}{R} \Leftrightarrow P = I^2R$
- EKS: øker vi (effekten) med 40 dB ved å endre spenning,
 - (Effektforsterkning = $\frac{P_2}{P_1} = 10^{\frac{40}{10}} = 10^4 = 10\ 000$)
 - Får vi spenningsforsterkning (strømforsterkning blir tilsvarende):
 - $F_V = \frac{V_2^2}{R} / (\frac{V_1^2}{R}) = \frac{V_2^2}{V_1^2} = 10^{\frac{40}{10}} \Leftrightarrow (\frac{V_2}{V_1})^2 = 10^4 \Leftrightarrow \frac{V_2}{V_1} = 10^2 = 100$

Generelt:

Vi bruker notasjon L_{db} for Level (nivå) siden det skiller seg fra effekt.

$$L_{dB} = 10 \log \left(\frac{P_2}{P_1} \right), \text{ der } P = k \cdot L^2, \text{ og } k \text{ er konstant}$$

$$\Rightarrow L_{dB} = 10 \log \left(\frac{k \cdot L_2^2}{k \cdot L_1^2} \right) \Rightarrow L_{dB} = 10 \log \left(\left(\frac{L_2}{L_1} \right)^2 \right)$$

$$\Rightarrow L_{dB} = 2 \cdot 10 \log \left(\frac{L_2}{L_1} \right) \Rightarrow L_{dB} = 20 \log \left(\frac{L_2}{L_1} \right)$$

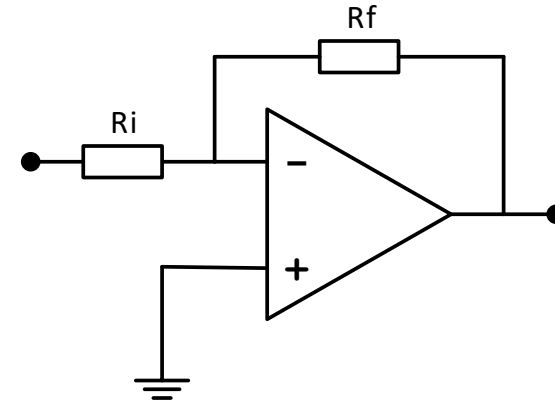
- MAO blir en forsterkningen av spenning eller strøm

$$L_{dB} = 20 \log \left(\frac{L_2}{L_1} \right) \text{ der } L \text{ kan være spenning (V) eller strøm (I).}$$

- $V_{dB} = 20 \log \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$
- $I_{dB} = 20 \log \left(\frac{I_2}{I_1} \right)$
- Eks: Hvis vi endrer en spenning med 6dB, hvor mye forsterkning i spenning er det?
 - $6\text{db} = 20 \log (V_2/V_1)$
 - $0,3 = \log (V_2/V_1)$
 - $V_2/V_1 = 10^{0,3} \approx 2$
- Oppgir vi en størrelse i **dBV**, så er det **alltid relativt til 1V**. (dbX er relativt til X)
 - Eks: Hva er størrelsen på et signal på a) -30dBV og b) -60dbV?
 - a) $-30\text{dbV} = 20 \log \left(\frac{V_2}{1V} \right) \Rightarrow -1,5 = \log(V_2)$
 - $V_2 = 10^{-1,5} \text{V} \approx 0,032 \text{V} = \underline{32\text{mV}}$
 - b) $-60\text{dbV} = 20 \log (V_2/1V) \Rightarrow -3 = \log(V_2)$
 - $V_2 = 10^{-3} \text{V} = \underline{1\text{mV}}$

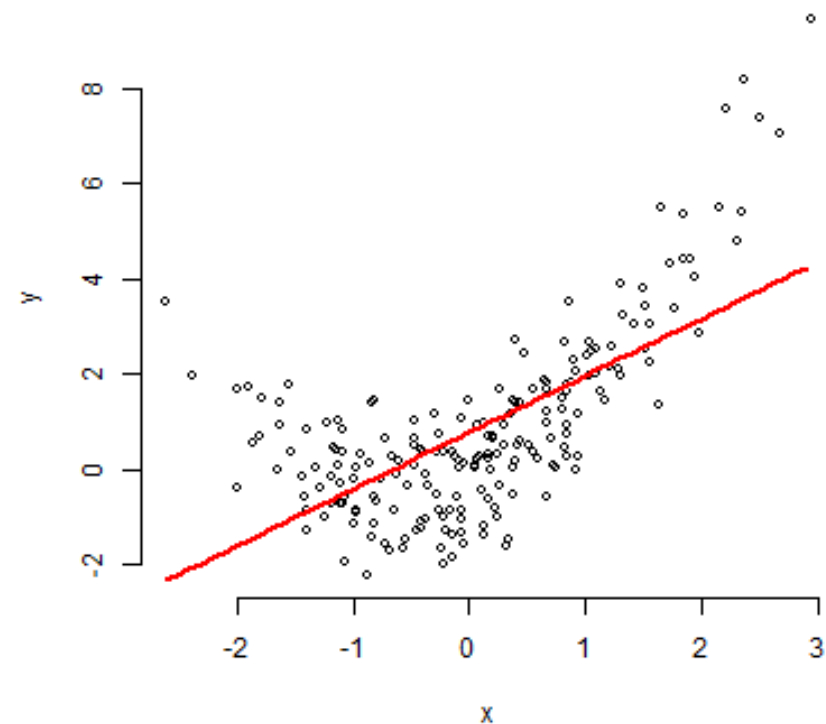
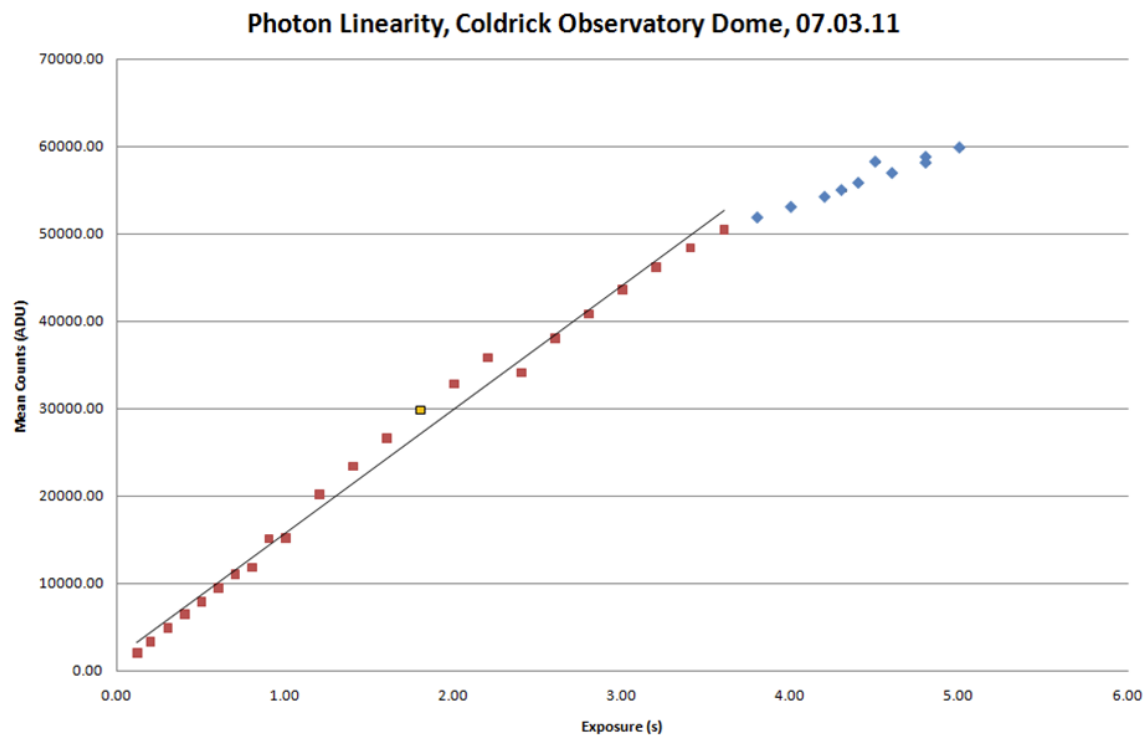
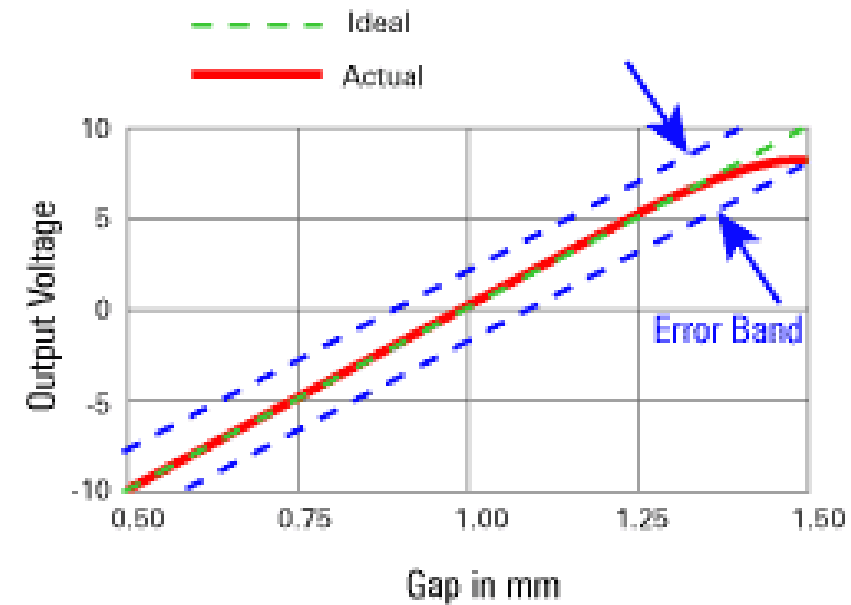
Regneøvelse: inverterende forsterker med 40dB forsterkning

Vi har $R_i = 1\text{k}\Omega$.
Finn R_f slik at vi får 40dB forsterkning



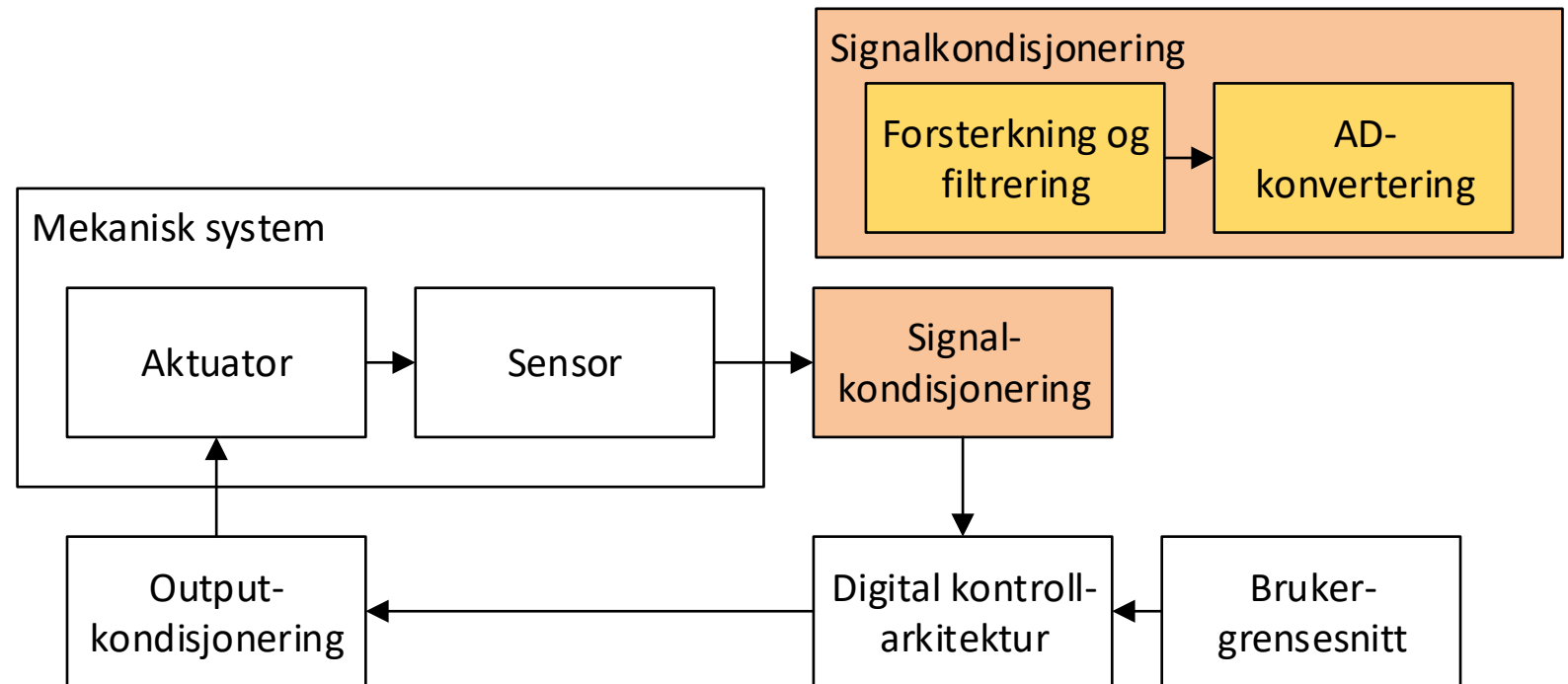
Linearitet

- Linearitet og avvik sier noe om
 - I hvilken grad måledata kan representeres som en rett linje (*Linearitet*)
 - hvor godt vi kan regne med at sensordata følger den størrelsen sensoren måler (*avvik*).
- Sensorer har typisk et begrenset område der de oppfører seg lineært.
 - Hvor stort område vi kaller linjært (*Linear dynamic range*) kommer an på hvilken *feilmargin* vi tillater oss
 - Feilmarginen kan være oppgitt på mange måter ...
 - absolutte mål, dB, %, el.



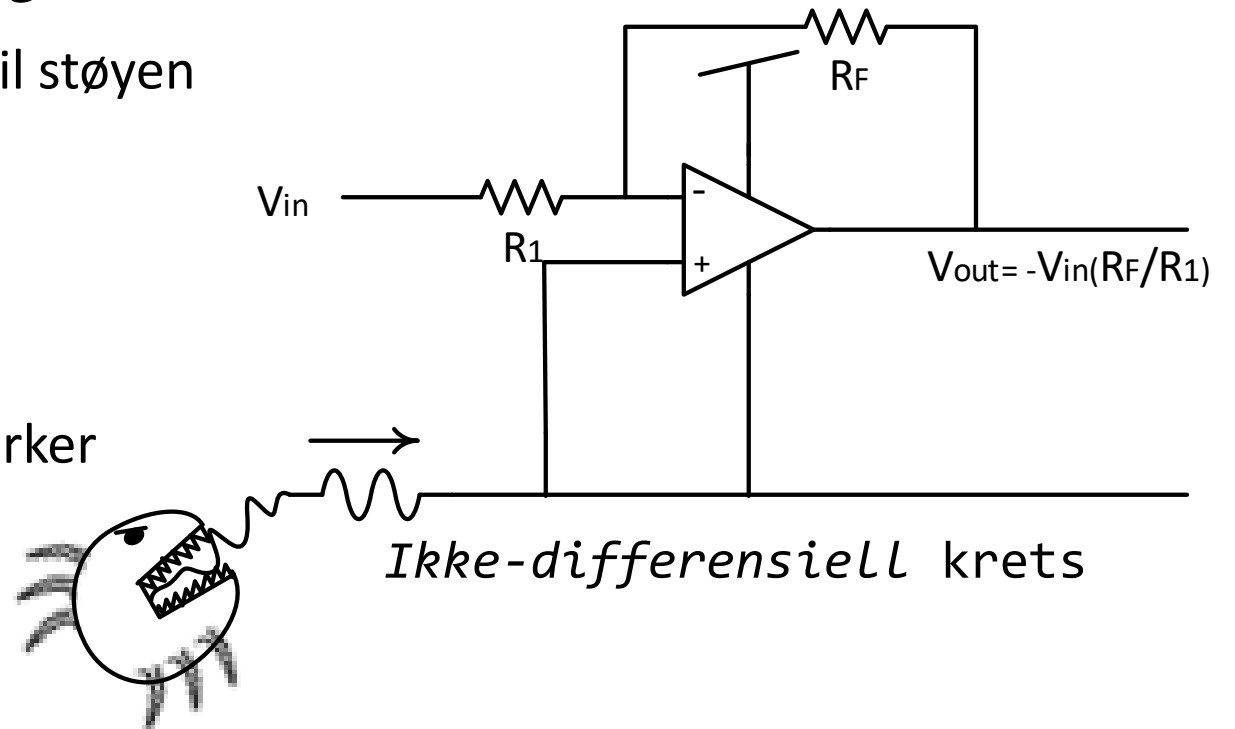
Signalkondisjonering og digitalisering (AD-konvertering)

- Differensiell forsterkning
- Instrumentforsterker
- Avkoblingskondensator
- *Eks. Opamp*
- AD-konvertering
 - Samplefrekvens
 - Kvantisering
 - Aliasing



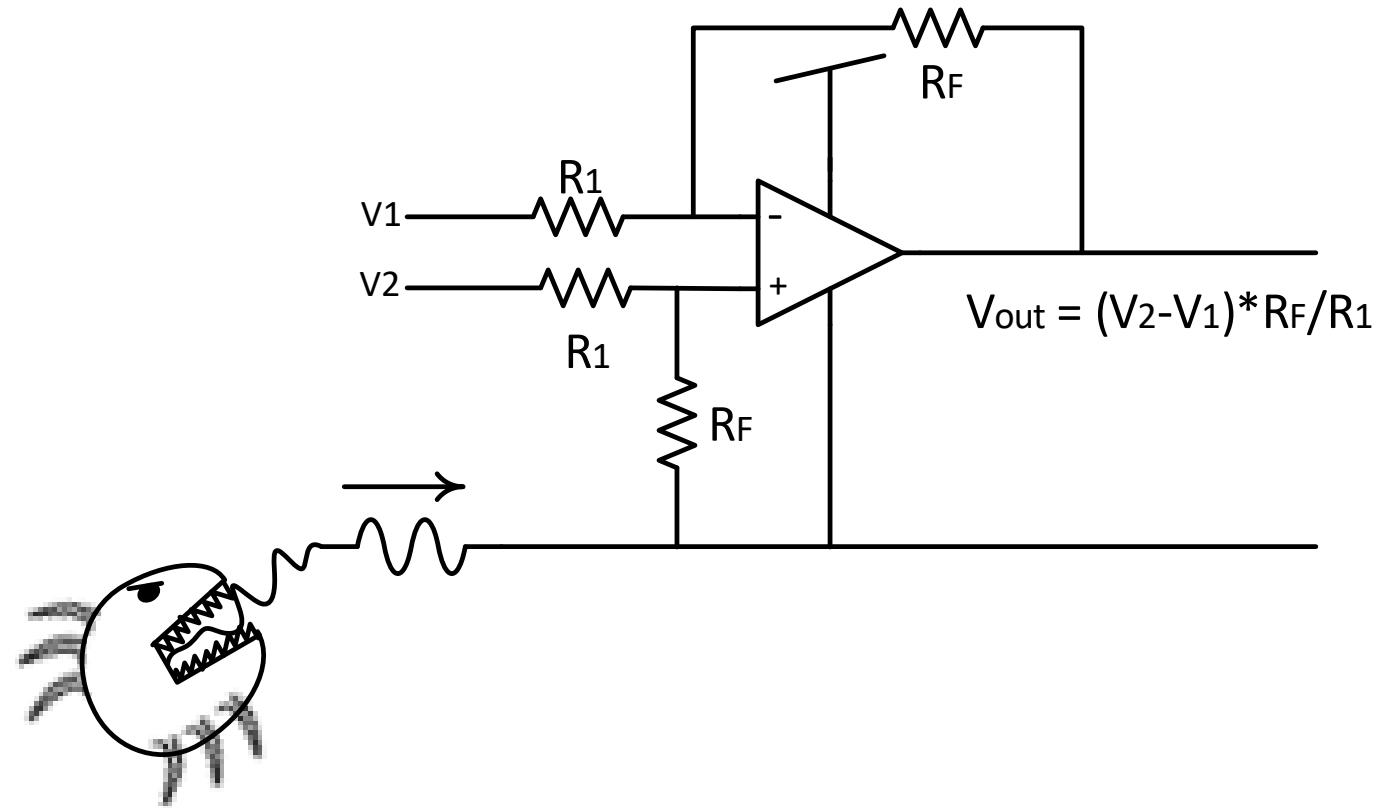
Hvorfor forsterke differensielt?

- Støy i strømtilførsel- «ground bounce»
 - I en ikke-differensiell forsterkerkrets, vil støyen forsterkes like mye som signalet
- Her: V_{in} blir høyere/lavere pga støy,
 - V_{out} følger V_{in} , i tillegg til at støyen påvirker forsyningsspenningen til opampen



Bedre: Ren Differensiell Krets

- Differensiell krets med én opamp,
 - Bedre enn en ikke-differensiell krets,
 - avhengige av at inngangsimpedansen R_1 er lav (i forhold til R_F).
 - Støyen propageres med 1 i gain.
- NB: *Lav inngangsimpedans-*
 - **Avlesingen påvirker måleresultatet!**
 - => Vi ønsker høyere inngangsimpedans...
 - Jobber vi med f.eks en wheatstone-bro, vil inngangssignalet være svakt (lav strøm)
 - Vi kan bare forsterke en begrenset mengde.
 - => Gjenværende støy er signifikant

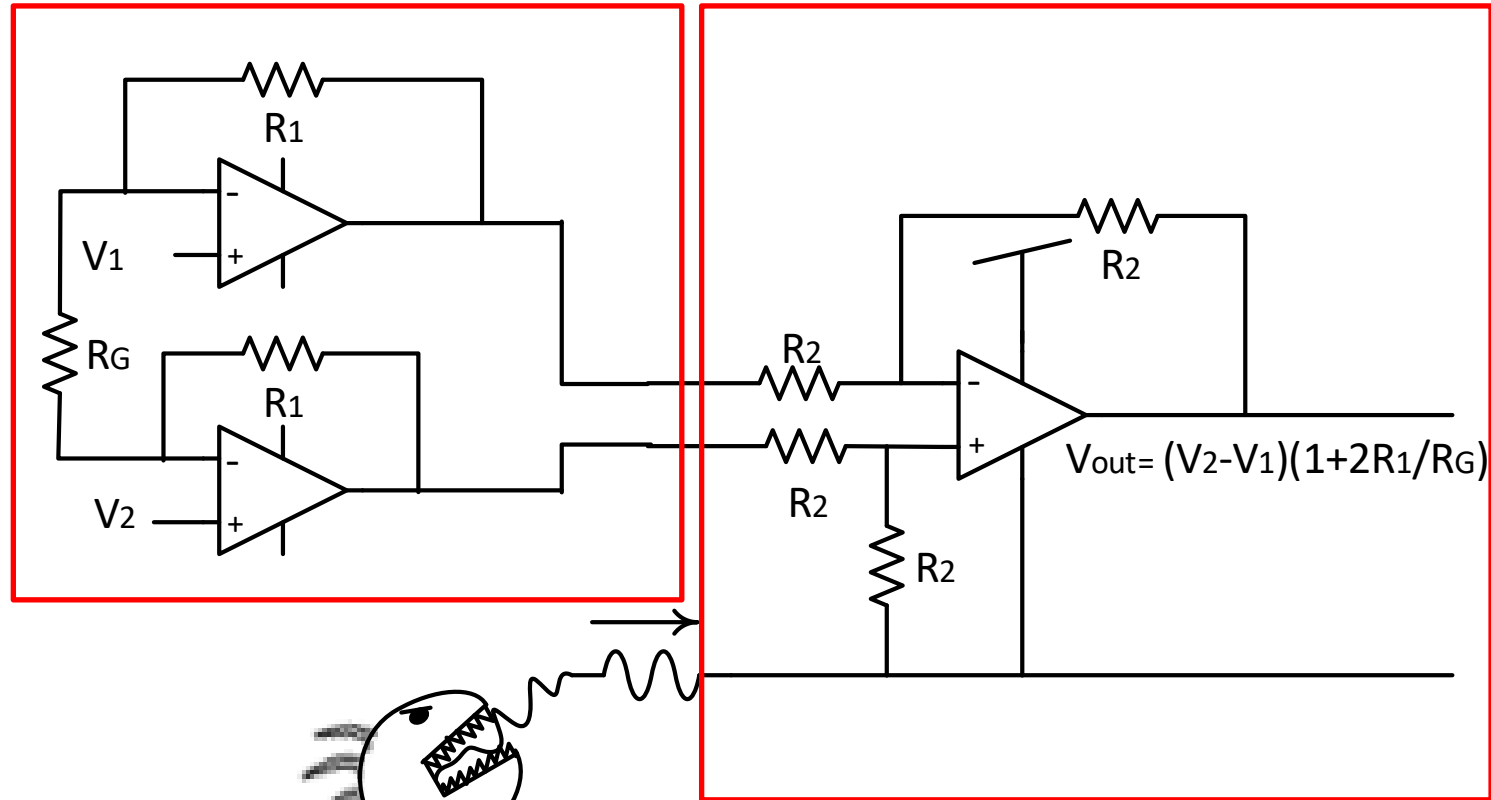


Best: Instrumenteringsforsterker

- Høy inngangsimpedans
 - V1 og V2 går rett inn i opamp
(=> ~0 strømtrekk)
- Signalene forsterkes like mye i det første steget.
 - Støy fra strømforsyning forsterkes likt i de to første opampene
- Det andre steget med forsterkes differensielt
(her: med gain på 1), slik at vi får én utgangsspenning.
- Instrumenteringsforsterker:

- **Høy inngangsimpedans**
 - Bra for svake inngangssignaler
- **Lav utgangsimpedans**
 - Kan drive annen elektronikk
 - AD-konvertere osv
 - (Ikke motorer/ induktive laster)
- =Høy, differensiell forsterkning og høy CMRR
CMRR = *common mode (noise) rejection ratio*

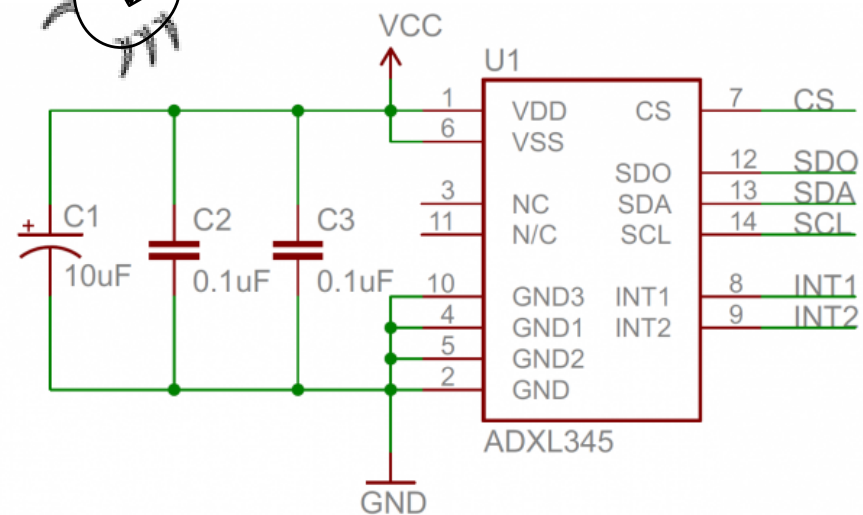
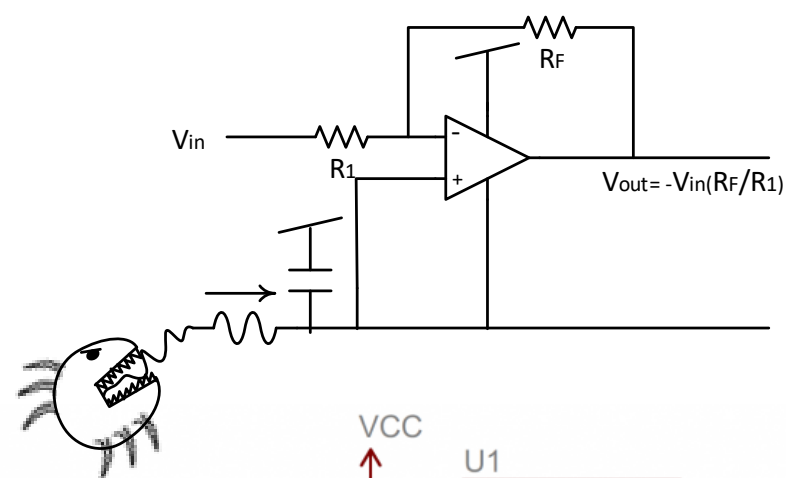
- Finnes i mange varianter, men har disse trekkene felles.



Avkoblingskondensator

Små endringer i strømforsyning kan gi utslag i form av støy når vi holder på med sensitive komponenter.

- **Avkoblingskondensatorer** («bypass» «decoupling capacitor») settes rett ved strømforsyningspinnene til integrerte kretser (IC'er).
 - Disse tar opp små svingninger i spenning, og glatter ut inngangsspenningen.
- Størrelsen på avkoblingskondensator varierer.
 - Hurtigswitchende komponenter benytter gjerne små, raske kondensatorer omkring 100nF- 10µF
 - Strømforsyninger bruker typisk mye større kondensatorer.
- Datablad sier ofte hva som er en fornuftig størrelse på avkoblingkondensatorer for en IC

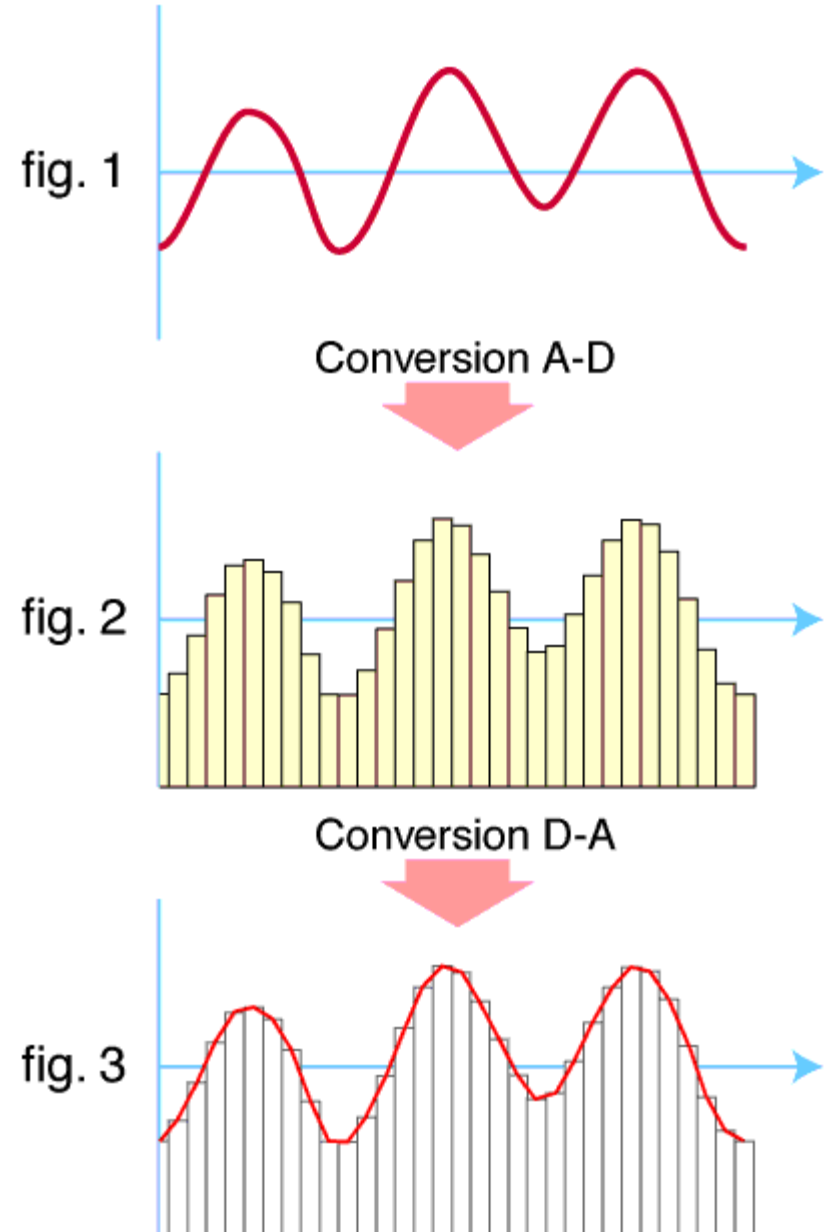


AD-konvertering

- Hvordan gjør vi et elektrisk signal om til digitale verdier (tall)?
- Synonymer
 - Digitalisering
 - Sampling

Analog til digital konvertering (AD-konvertering)

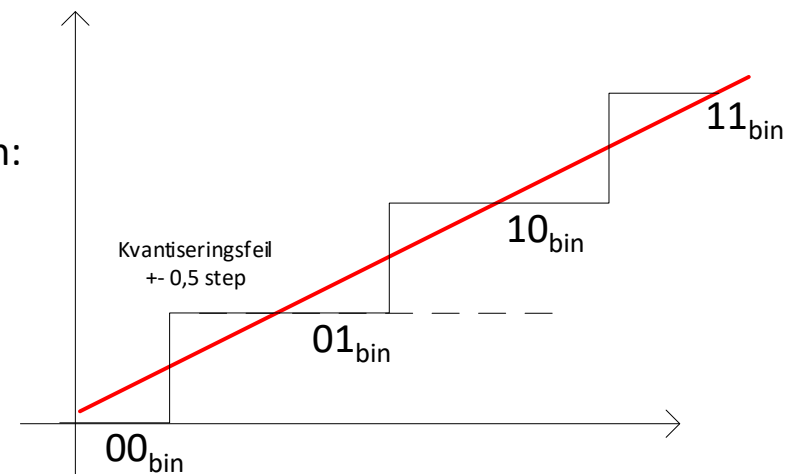
- Etter at en sensor har laget en fysisk måling til en spenning, kan vi konvertere det til et digitalt signal.
- Det finnes mange teknikker for å konvertere spenninger fra et analogt til et digitalt signal. Alt etter metode får man ulike samplingshastigheter, presisjon, kvantiseringsfeil osv.



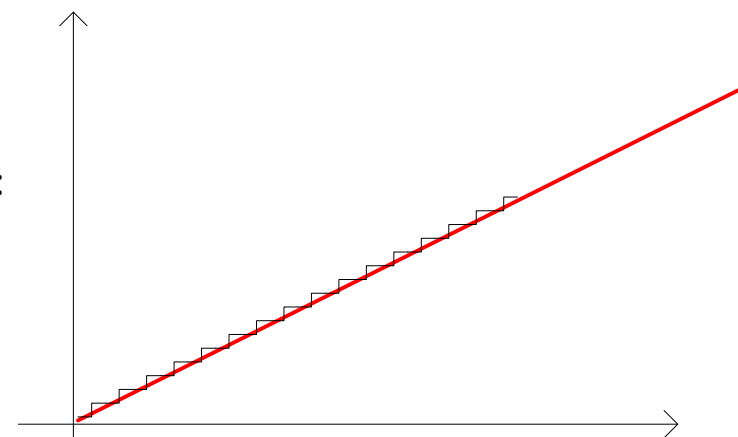
Kvantisering

- Kvantiseringen gir presisjonen vi sampler med.
 - = størrelsen på stegene i en måling
 - LSB «Least significant bit» – *stegstørrelsen* oppgis gjerne i milli- eller mikroVolt
 - og hvor mange nivåer vi har i det dynamiske området (*området vi måler*)
 - *Antallet nivåer oppgis gjerne som et antall bit, f.eks 10 bit*
- Kvantiseringsfeil er avviket mellom det vi måler og den faktiske verdien til signalet.
- Eks1: 4 Bits presisjon, betyr at vi har binærkode som kan ha verdier fra 0- ($2^4 - 1$) \Rightarrow 0 til 15 (0000_{bin} til 1111_{bin}).
- Eks2: Leser vi av en spenning mellom 0 og 5V med 6 bits presisjon, har vi 64 nivåer mellom 0 og 5V.
 - Hvert step (LSB) blir på $5V/64 = 78mV$
 - Kvantiseringsfeilen $\pm \frac{78mV}{2} = \pm 39mV$

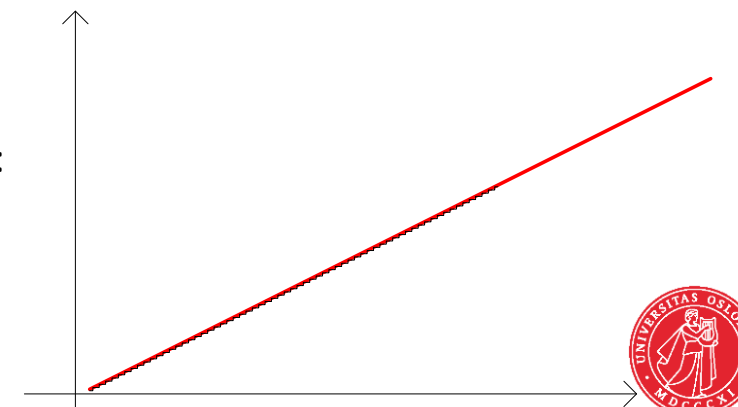
2 bits presisjon:
4 nivåer



4 bits presisjon:
16 nivåer



6 bits presisjon:
64 nivåer



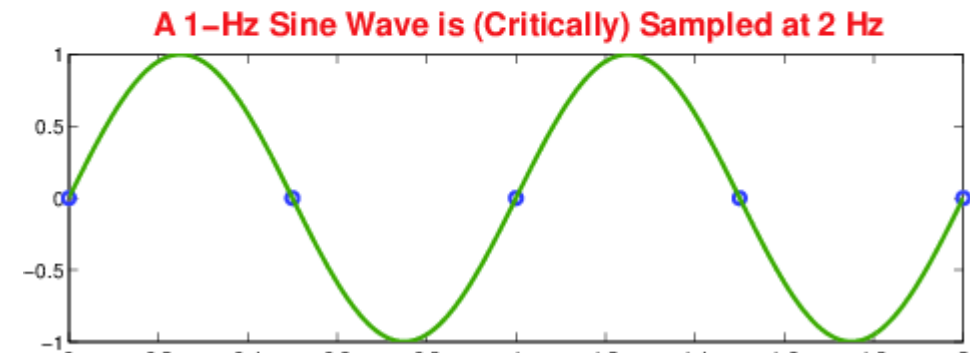
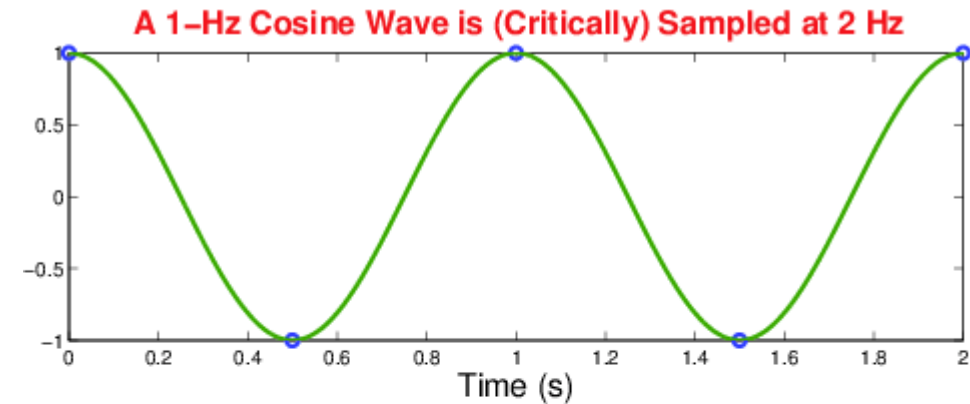
Samplingsfrekvens og Nyquist frekvens

- Samplingsfrekvens er den hyppigheten vi gjør analoge målinger med.
 - Skal vi måle en frekvens, må samplingshastigheten være **mer** enn 2 ganger så stor som signalfrekvensen, ellers risikerer vi **aliasing**.

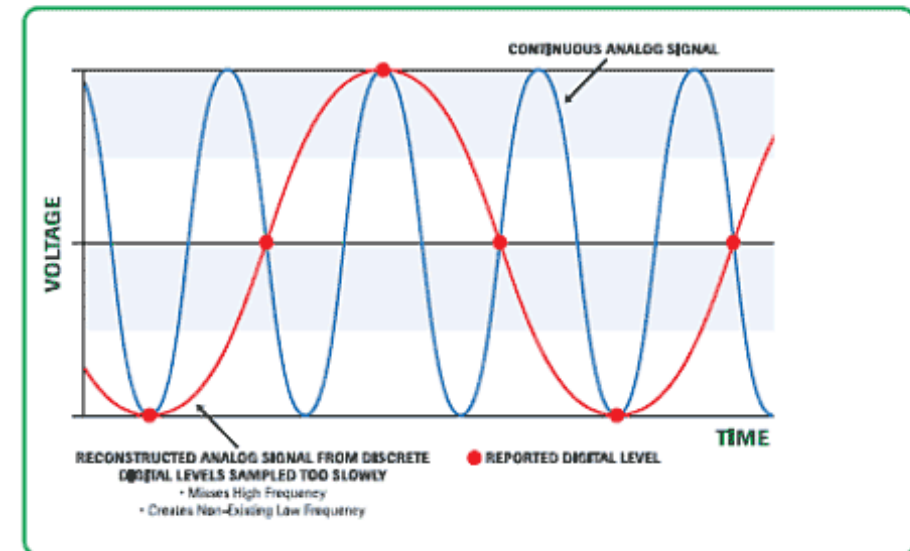
$$f_{Nyquist} = \frac{f_{sample}}{2}$$

- Vi kaller det kritisk sampling om vi sampler et signal som har halve samplingsfrekvensen (=Nyquist-frekvensen, se figur).
- For å kunne gjengi noenlunde riktig amplitude må samplingsfrekvensen være mye større enn signalfrekvensen (>10x).

$$f_{sample} \gg f_{signal}$$

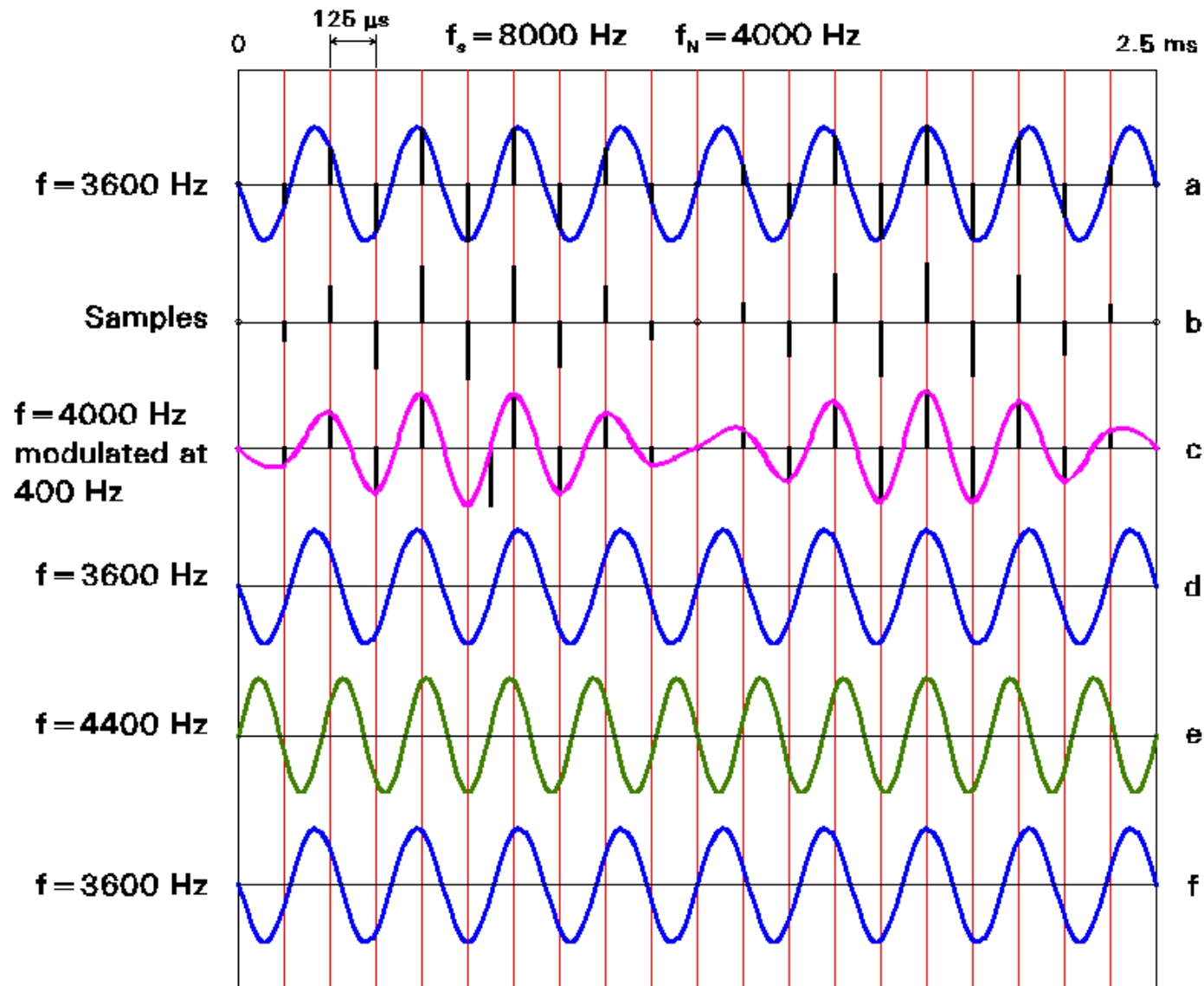


Nyquist Frequency (sampling too slow)

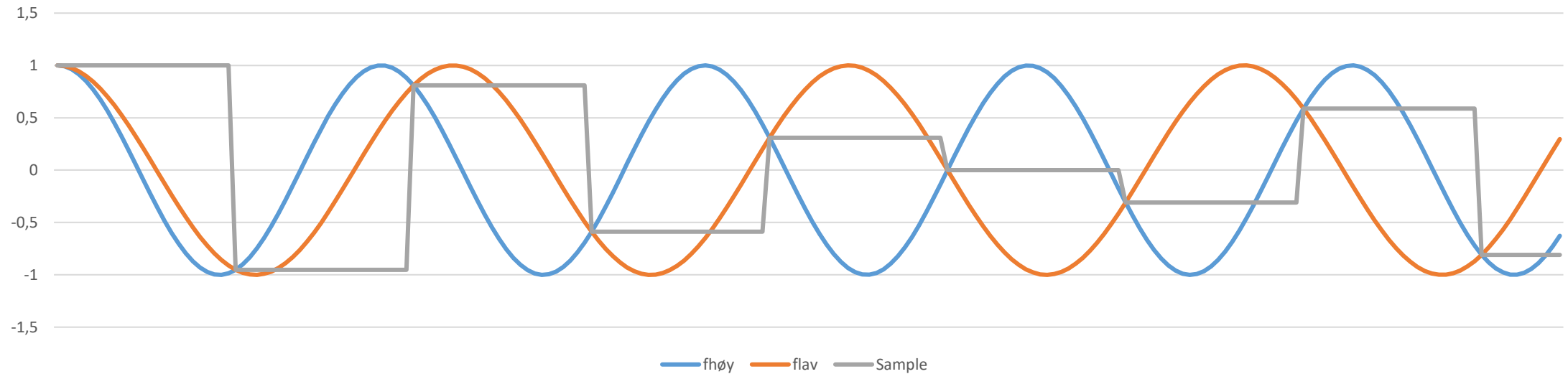


Aliasing

- 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.
- Ufiltrerte høyere frekvenser ved sampling vil synes som lavere frekvenser.
- For å unngå dette problemet, må vi filtrere bort frekvenser høyere enn halve samplingsfrekvensen. (F.eks med et lavpassfilter).



Visualisering av aliasing



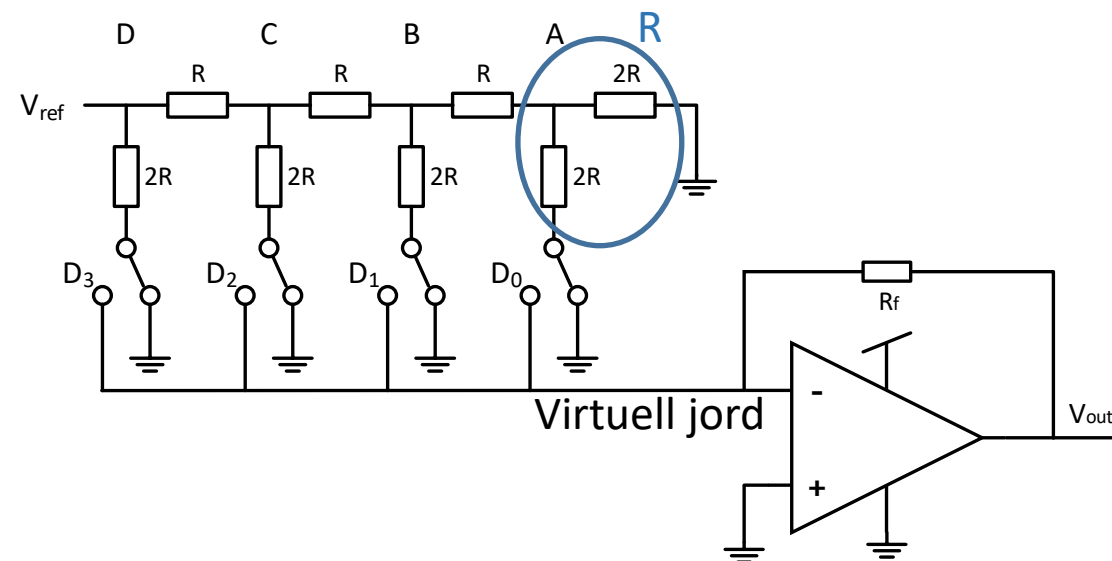
- Her: Vi ser at $f_{\text{høy}}$ og f_{lav} får samme samplingsverdier
- $f_{\text{høy}} = f_{\text{Nyquist}} \cdot 1,1$ $f_{\text{lav}} = f_{\text{Nyquist}} \cdot 0,9$
- $f_{\text{Nyquist}} = f_{\text{Sample}} \cdot 0,5$

AD-konvertering oppsummering

- AD konvertering er å gjøre om en elektrisk spenning til et digitalt tall
- En AD konverter har gjerne
 - Et dynamisk område (f.eks 0-3.3V)
 - En maksimal samplingsfrekvens (f.eks 22kHz)
 - En presisjon på et antall bit (f.eks 10 bit).
- Med denne informasjonen kan vi regne ut
 - Antall nivåer:
 - eks: $= 2^{10} = 1024$
 - Størrelsen på LSB , og kvantiseringsfeil:
 - eks: $LSB = 3.3V/1024 = 3.2mV$, Kvantiseringsfeil = 1.6mV
 - Hvilke frekvenser vi bør filtrere bort for å unngå aliasing:
 - eks.: alt over 11kHz bør filtreres bort, 11kHz er Nyquist frekvensen.
 - Hvilken forsterkning vi bør ha for at et signal av en gitt størrelse skal kunne gjengis slik vi ønsker...

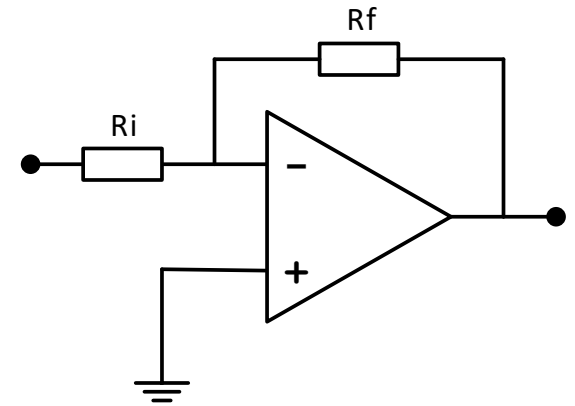
DA konvertering

- en digital tallverdi gjøres om til en (analog) spenning.
- Kan gjøres på mange måter
 - Eks: R2R inverterende summekrets
 - Vi kan regne ut motstand og strøm i kretsen slik
 - $R_{A\text{-jord}}$ er R ($2R$ i parallell med $2R$)
 - HUSK opamp-inngang har $V_+ = V_- = \text{GND}$ (her)
 - $I_{A-D0} = I_{A-B}/2$
 - $R_{B\text{-jord}}$ er R ($2R$ i parallell med $R+R_A$)
 - $I_{B-D1} = I_{A-B} = I_B/2$
 - $R_{C\text{-jord}}$ er R ($2R$ i parallell med $R+R_B$)
 - ...
 - $R_{D\text{-jord}}$ er R ($2R$ i parallell med $R+R_C$)
 - (... ved flere bit)
 - Strømbidraget dobles for hver (tilkoblede) port D_0 - D_3 ...
 - Strømmen gjennom R_f er summen av alle strømmene ...
 - $\Rightarrow V_{\text{out}}$ (spenningen over R_f) blir proporsjonal med verdien som er satt på D-porten (D_0 - D_3)



Regneoppgave til regneøvelse

- Oppgave fra slide
 - Inverterende forsterker med 40dB forsterkning
 - Vi har $R_i = 1\text{k}\Omega$.
 - Finn R_f slik at vi får 40dB forsterkning
- Eksamen V21 oppgave 28 (hele).
 - Se Canvas->filer->tidligere eksamensoppgaver
 - <https://uio.instructure.com/courses/37492/files/folder/Tidligere%20eksamensoppgaver>



Lesestoff + oppgaver:

- COK
 - AD-konvertere : 19.1 tom 19.4 (med underkapitler)
 - Oppgaver: 19: 1, 3, 4, 7, 8, 9
- Signalkondisjonering
 - Lese 14.5.1 (Instrumenteringsforsterker).
(ikke oppgaver fra dette kapitlet).
- Eksamensoppgaver
 - 2020 Oppgave 24
 - 2019 Oppgave 10, 11 (har med sensor+datablad)