

Nils Kr. Rossing

Romteknologi CanSat – sensorteknologi



NTNU



Trondheim

Program for
lærerutdanning

Skolelaboratoriet
for matematikk, naturfag
og teknologi

| September 2011

Romteknologi

CanSat – sensorteknologi

Romteknologi CanSat – sensorteknologi

Trondheim 2011

Layout og redigering: Nils Kr. Rossing

Tekst og bilder: Nils Kr. Rossing, Skolelaboratoriet

Faglige spørsmål rettes til:

Skolelaboratoriet for matematikk naturfag og teknologi, NTNU

v/Nils Kr. Rossing, 73 55 11 91

nils.rossing@plu.ntnu.no

Realfagbygget, Høgskoleringen 5
7491 Trondheim

Skolelaboratoriet

Telefon: 73 55 11 43

Telefaks: 73 55 11 40

<http://www.skolelab.ntnu.no/>

■ Prøvetrykk 2.5, Rev 2.5 - 12.09.11

Romteknologi, CanSat – sensorteknologi

Nils Kr. Rossing

Skolelaboratoriet for matematikk, naturfag og teknologi, NTNU





Forord

Hensikten med dette heftet er å samle erfaringer fra utprøving av CanSat-kittet benyttet ved kurset Romteknologi (CanSat) - Teknologi og forskningslære modul III høsten 2011. Videre beskrive ulike sensorer.

Beskrivelsen av sensorer strekker seg ut over anvendelser i CanSat. Jeg har valgt en noe bredere tilnærming til feltet siden sensorer brukes i mange ulike sammenhenger og ikke bare innen romteknologi. Heftet kan derfor brukes som tilleggsstoff til Fysikk 1.

Det er forøvrig ikke meningen at heftet skal erstatte den eksisterende CanSat håndboken.

Revisjonsrapport:

- | | |
|-----------------------|---|
| Rev. 2.1 - 15.08.2011 | Rettet opp programmeringskommandoer (side 41)
Utdypet bruken av luftfukighetssensoren H25K5A (side 85 ff) |
| Rev. 2.2 - 16.08.2011 | Rettet feil i koden digitalWrite ... (side 39)
Nytt avsnitt om monitorering av data (side 26)
Nytt avsnitt om SPI-bussen (side 29) |
| Rev 2.3 - 18.08.2011 | Retting av kode (side 40)
Rettet ligning (side 68)
Nytt avsnitt som definerer sensorer og egenskaper ved dem (side 60)
Presisering i innledningen til avsnitt (side 63)
Beskrivelse av ballongslipp (side 30) |
| Rev 2.4 - 27.08.2011 | Rettet ligning (2.4) v^2 skal være v |
| Rev 2.5 - 27.08.2011 | Skrevet omtale på baksiden av heftet
Tilføyelse om toer's komplement side 54
Skiftet ut konstant i ligning (6.9) på side 64 |

Nils Kr. Rossing
Skolelaboratoriet ved NTNU
September 2011





Innhold

1 Innledning	13
2 Montering og installasjon	15
2.1 Kort beskrivelse av systemets deler	15
2.1.1 Kontrollkort	15
2.1.2 Senderkortet	17
2.1.3 Standard sensorkort	21
2.1.4 Montering av tilleggssensor	21
2.2 Montering	21
2.3 Installasjon av programvare	23
2.3.1 Arduino programeditor	23
2.3.2 AGW Packet engine	25
2.4 Montering av tilleggsutstyr	27
2.4.1 Arduino pro 368	27
2.4.2 Inn- og utganger	28
2.5 Beregning av fallhastighet	29
2.6 Ballongslipp	30
3 Telemetrimottakeren	33
3.1 Uniden radioscanner	33
3.2 En hjemmebygget mottaker (RRFQ2-433)	33
3.3	35
4 Programmering	37
4.1 Programstruktur	37
4.2 Viktige kommandoer	37
4.2.1 Generelle kommandoer	37
4.2.2 Avlesning av sensorer	39
4.2.3 Programmering av senderen	40
5 Noen utvalgte systemkomponenter	43
5.1 Operasjonsforsterkeren	43
5.1.1 Prinsipiell virkemåte og sentrale parametere for operasjonsforsterkeren	45
5.1.2 Praktiske oppkoblinger	47
5.1.3 Forsterker med enkel spenningsforskyning	49
5.1.4 Komparatoren	50



5.1.5	Differensialforsterkeren	50
5.1.6	Subtrasjons- og summasjonsforsterkere	52
5.2	AD-konverteren - fra analoge til digitale signaler	52
5.2.1	Sampling	52
5.2.2	AD-konverteren	54
6	Sensorer	57
6.1	Kontrollkortets og sensorkortets grensesnitt (CanSat)	57
6.1.1	Analogt grensesnitt:	57
6.2	Innledende betraktninger om sensorer	60
6.2.1	Hva er en sensor?	60
6.2.2	Egenskaper ved sensorer	61
6.3	Temperaturfølsomme sensorer	63
6.3.1	Temperaturfølsom motstand (NTC og PTC -motstander)	63
6.3.2	Integrert temperatursensor LM35DZ	66
6.3.3	IR-sensor	68
6.4	Lysfølsomme sensorer	70
6.4.1	Fotomotstand (LDR - Light Dependent Resistor)	70
6.4.2	Fototransistorer	71
6.4.3	Kameramoduler	75
6.5	Luftrykkfølsomme sensorer	76
6.5.1	Måling av luftrykk ved endring i kapasitans	77
6.5.2	Måling av luftrykk ved endring i resistans (piezo-resistivitet) ...	77
6.5.3	Måling av høyde basert på trykkmålinger	79
6.6	Fuktighetsfølsomme sensorer	81
6.6.1	Måling av fuktighet	81
6.6.2	Fuktighetssensorn H25K5A	84
6.6.3	Fuktighetssensorn HiH4000 Honeywell	86
6.7	Bevegelsesensorer	87
6.7.1	Akselerasjonssensorer	87
6.7.2	Bevegelsessensor	90
6.8	Magnetfeltfølsomme sensorer	91
6.8.1	Hovedinndeling av magnetfeltsensorer.	92
6.8.2	Hallsensorer	93
6.8.3	Magnetoresistivitet	95
6.8.4	Elektronisk kompass – CMPS03	95



6.8.5	Anvendelser av magnetometer	96
6.9	Gass-sensorer	97
6.9.1	Pellistoren	97
6.9.2	Gassensor LPG, Metan – HS-133	100
6.9.3	CO ₂ innholdet i atmosfæren	100
6.9.4	Gass-sensor CO ₂ – MQ-135	101
6.9.5	Gassensor CO ₂ – MG811	101
6.9.6	Måling av CO ₂ ved absorpsjon av IR-stråling (C100)	103
6.9.7	Måling av ozon-konsentrasjon	104
6.10	Partikkelsensorer	106
6.10.1	Røykdetektor (røyk, varme)	106
6.10.2	Støvdetektorer (elektrodynamisk teknikk)	109
6.11	GPS-modul	109
6.11.1	EM-411 (GPS-modul)	110
7	Laboratorieoppgaver	113
7.1	Laboratorium 1 – Måling av trykk og temperatur som funksjon av høyden	113
7.2	Laboratorium 2 – Fallhastighet	115
7.3	Laboratorium 3 – Sensorer – Karakterisering og integrering	116
7.4	Oppkobling av ekstra sensor for uttesting	120
7.5	Karakterisering av lyssensor	120
7.6	Nødvendig laboratorieutstyr	122
7.7	Generelle retningslinjer for skiving av laboratorierapport	124
8	Referanser	127
Vedlegg A	Leverandører	129
Vedlegg B	Fargekoding av motstander	131





1 Innledning

Heftet er en samling og systematisering av grunnleggende erfaringer gjort under arbeidet med å prøve ut grunnmodulen av CanSat byggesettet leveret av Pratt Hobbies Inc¹.

Ved levering inneholder byggesettet:

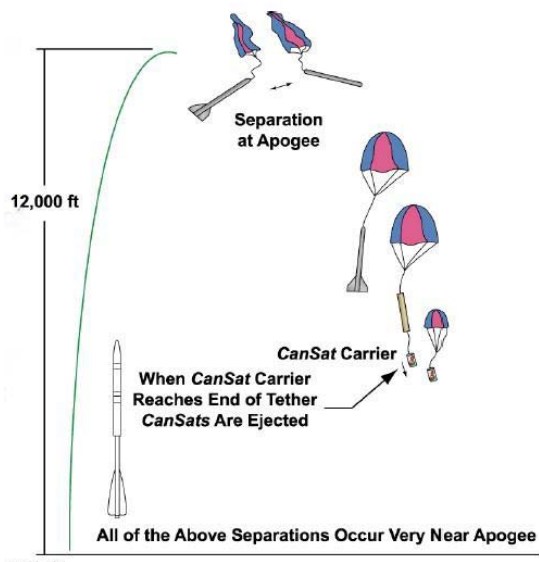
1. Byggesettet:
 - Monteringsbraketter med skruer, muttere, øyeskrue
 - Kontrollerkort
 - Sensorkort
 - Senderkort
 - Batteriplugg og festestreeps for 9V batteri
2. Utstyr for programmering
 - Programmeringsadapter
 - USB-kabel
3. Fallskjerm
4. CD med nødvendig programvare
 - *Arduino-0022* (Arduino programvare - Freeware - www.arduino.cc)
 - *Lessons* (5 leksjoner med grunnleggende opplæring)
 - *Cansat_eksample* (Eksempelprogrammer)
 - *AGW* (Programvare for dekoding av mottatte telemtrerings signaler)
 - *Readme.pdf* (informasjonsfil)

Ved hjelp av byggesettet skal det bygges opp en liten sonde som skal skytes ut fra en rakett eller slippes fra ballong, fra 800 – 1000 meters høyde. Sonden skal være på størrelse med en Cola-boks og ha en maksimal vekt på 350 g. Sonden utstyres med en styringsenhet som leser av sensorer og overfører måledata til en radiosender som telemetrerer dataene til en mottaker på bakken (bakkestasjon). Sendingen foregår i ISM-båndet dvs. omkring 433 MHz (ca. 70 cm bølgelengde). Idet sonden skytes ut/slippes, faller sonden kontrollert mot bakken i fallskjerm. Sensorer samler inn måledata under fallet som kontinuerlig overføres til bakkestasjonen.

Minimumsspesifikasjoner

Det stilles følgende krav til sonden:

1. <http://www.prathobbies.com/proddetail.asp?prod=CANSAT-1>





1. Sonden skal minimum måle trykk og temperatur hvert 3. sekund.
2. Sonden skal overføre data til bakkestasjonen under fallet.
3. Sonden skal bygges slik at den får plass i en 330 ml standard Cola-boks, eller slik at ingen deler av sonden stikker ut over omfanget til en slik boks.
4. Boksen skal veie mindre enn hva en full Cola-boks veier, dvs. mindre enn 350 g.
5. Sonde skal drives med batteri eller solcellepaneler.
6. Antennen skal være fleksibel og ikke stikke ut mer enn ca. 10 cm når den er stuvet sammen ved oppskyting.
7. En fallsjerm skal være forsvarlig festet til den ene enden av boksen.²

Krav til bakkestasjon

Bakkestasjonen skal ...

1. ... kunne motta på senderfrekvensen til senderen i sonden (ca. 433 MHz) ...
2. ... og være utstyrt med en rettningsantenne som kan følge sonden i fallet.
3. ... motta alle data fra sonden under fallet og lagre i PC for senere analyse og presentasjon

Krav til bæreraket

Bæreraketten skal ...

1. ... løfte sonden opp til toppunktet for ferden hvor en eller flere (to) sonder skytes ut
2. ... en forsinket ladning inne i raketten skyter ut sondene slik at den kan falle fritt mot bakken
3. ... minimum løfte sondene til ca. 800 meter

Ballongslipp

Som et alternativ til oppskyting kan en slippe sonden fra en heleumballong. Enten en fritt svevende ballong eller en som er festet til en snor til bakken. En slik løsning vil være billigere og lar seg lettere gjennomføre på egen skole enn en rakettoppskyting. Ulempen er at slippet blir mer utsatt for vind og vil sannsynligvis måtte skje fra noe lavere høyde.

| NB! Både oppskyting og slipp fra ballong må avtales med med de lokale myndigheter ev. flyplasser.

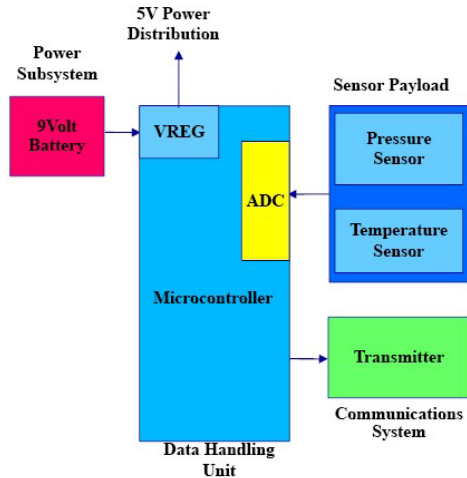
2. Hentet fra 040726CanSat_section1_rev5 (CD)

2 Montering og installasjon

2.1 Kort beskrivelse av systemets deler

Sonden består hovedsakelig av fem deler: Plattform (*strukture*), kraftforsyning (batteri - *power subsystem*), sensor og datainnsamlingsenhet (nyttelast - *sensor payload* eller *subsystem*), enhet for datahåndtering (kontrollkort – *data handling unit*), senderkort (sender for overføring av data, – *communication system*), system for kontrollert fall .(i dette tilfellet fallskjermen)

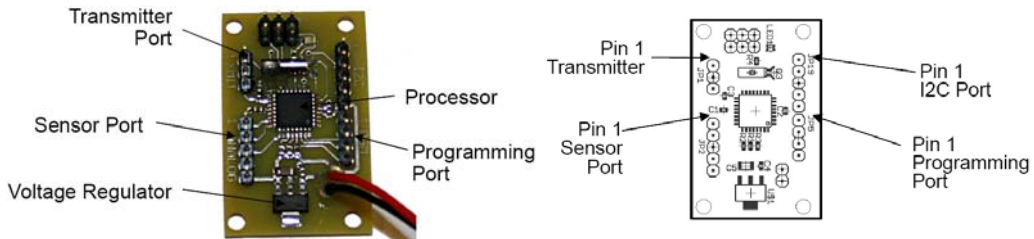
Blokkdiagrammet til høyre viser hvordan de ulike enhetene er forbundet i CanSat.



2.1.1 Kontrollkort

Denne enheten består av en mikrokontroller Atmel ATMEGA168 med 1 kbyte RAM og 16 kbyte flash programminne.

Kontrolleren har 8 analoge innganger for måling av spenninger fra f.eks. sensorene. Videre har den digitale inn/utganger (IO-porter) som enten kan brukes som enkeltstående IO-porter eller for seriell kommunikasjon.



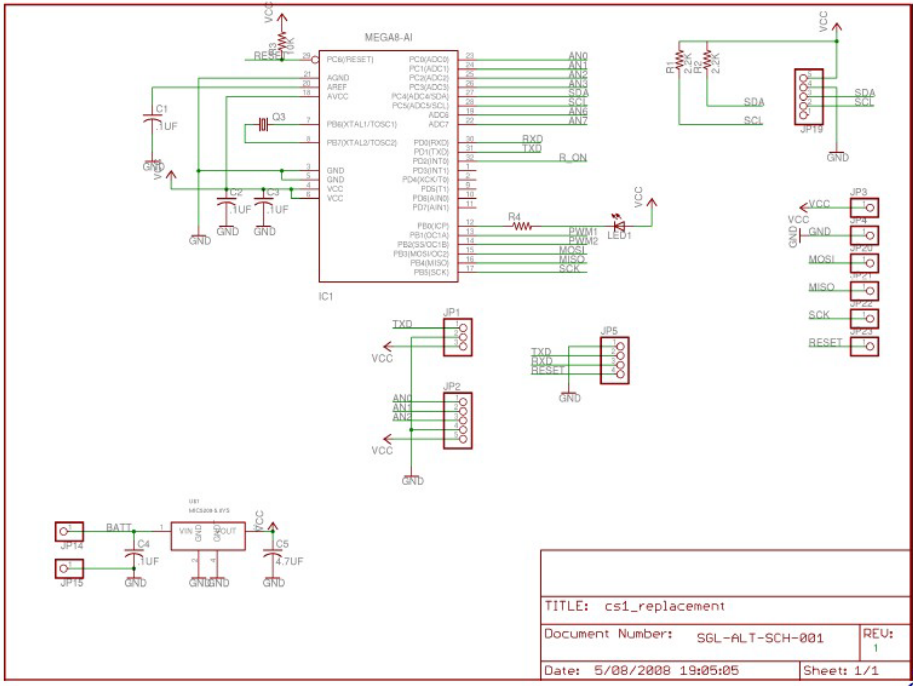
Porter:

- *Transmitter port (JP1 – 3 pinner)*
Kobles til senderkortet og overfører data til senderen på seriell form.
- *Sensor port (JP2 – 5 pinner)*
Kobles til sensorkortet og har 3 analoge innganger i tillegg til splysspenning (5 V) og jord.
- *Programningsport (JP5 – 4 pinner)*
Kobles til USB-porten til PC'en via en adapter for overføring av mikrokontrollerprogrammet og for monitorering av data under uttesting.
- *I²C interface Port (JP19 – 5 pinner)*
I²C buss er en standar buss for overføring av data på seriell form mellom mikrokontrollere/prosessorer.

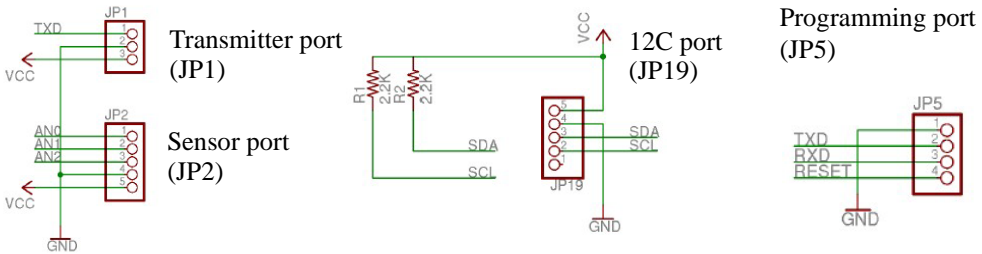


- 2x3 Header port (JP3, JP4, JP20 - 23, 2 x 3 pinner)
Denne porten inneholder også linjer for seriell kommunikasjon.
- Batteriport (JP14 + og JP15 -, 2 ledninger)
Kobles til et 9 V batteri med batterikontakt

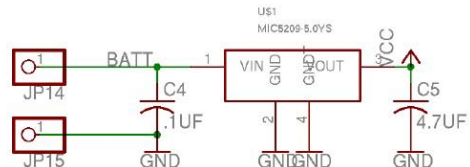
Kretsskjema:



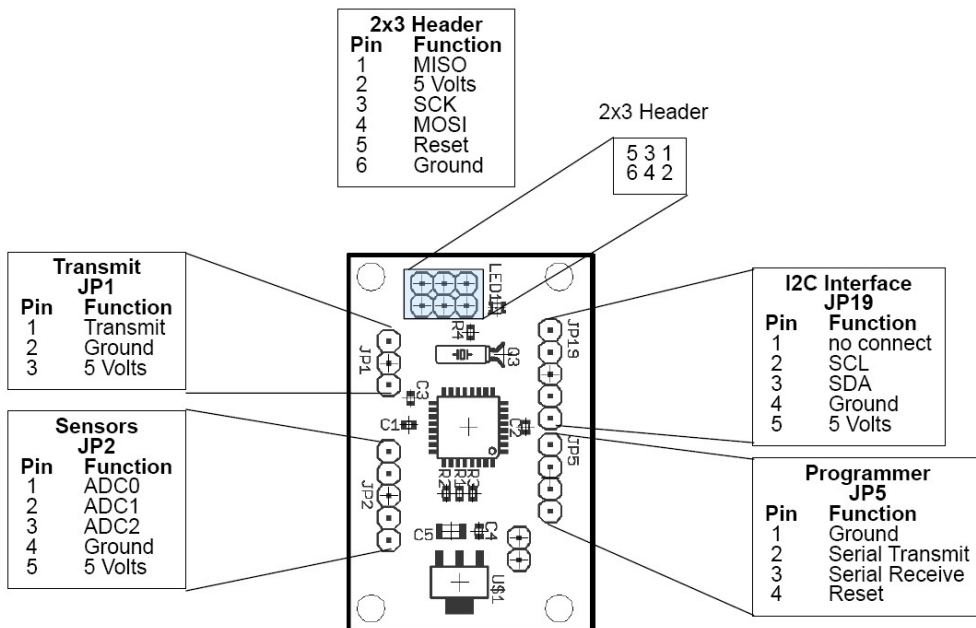
Figuren under viser de viktigste kontaktpunktene:



Figuren til høyre viser batteritilkoblingen og spenningsregulatoren (MIC5209-5.0YS) som er en lavstøy regulerer som senker spenningen ned til 5 V. Den kan levere inntil 500 mA og leverer spenning til hele sonden.

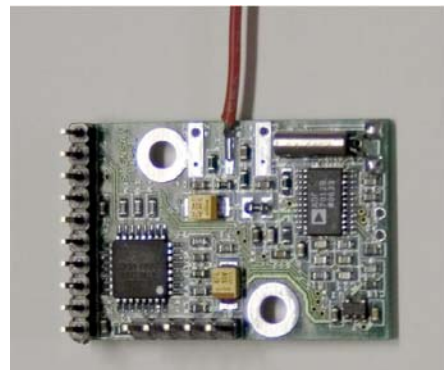


Oversikt over kontakter



2.1.2 Senderkortet

Senderkortet er bygget opp omkring to integrerte kretser. Atmel ATmega88 AVR-prosessor og sendermodulen ADF7012 fra Analog Devices. Sistnevnte inneholder en variabel oscillator (VCO) som kan moduleres på ulike måter (FSK (Frequency Shift Keying), GFSK (Gaussisk FSK) eller OOK (On-Off Keying)). Kretsen kan operere innenfor tre ulike frekvensbånd 2 m, 70 cm og 33 cm. Ved hjelp av fire interne registre kan sendefrekvensen settes med stor nøyaktighet. I dette tilfellet er senderfrekvensen lagt til båndet omkring 433.92 MHz (70 cm).



Noen sentrale data³:

- **Senderfrekvens:** 420–450 MHz (STM-51-02) kan også leveres for frekvensene 144–148 MHz og 902–928 MHz
- **Sendereffekten** er inntil 10 mW (+10dBm).
- **Strømforbruk:** 12 mA (5 V) i standby og 45 mA under sending. Avhenger av tilleggsutrustning.

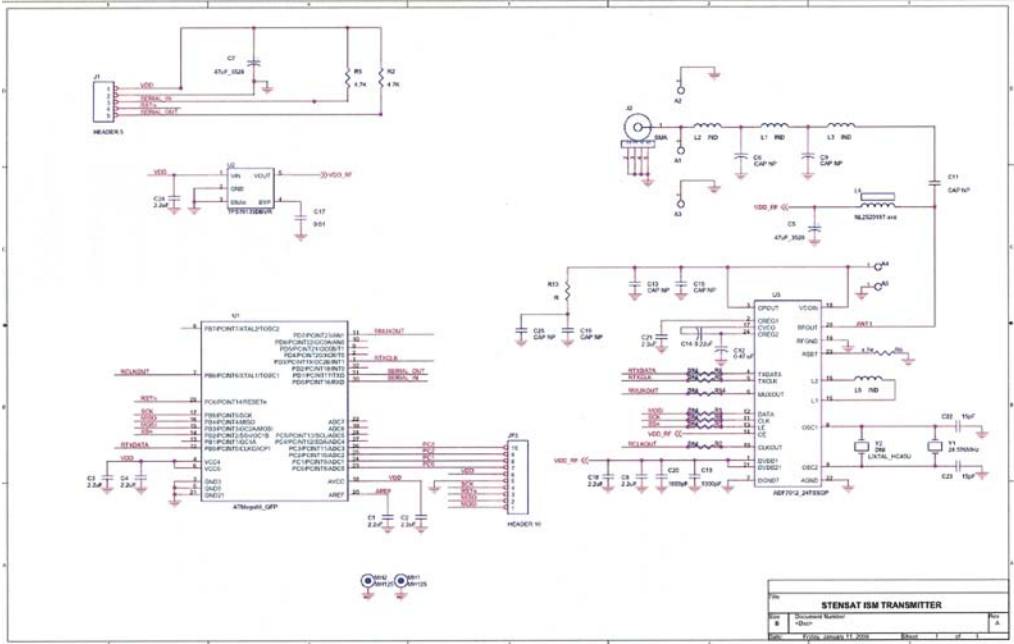
3. http://www.prathobbies.com/info_pages/cansat_tx_datasheet.pdf



- **Operasjonsspenning:** 3,3 V til 5 V

Kretsskjema:

Figuren under viser kretsskjemaet for senderkortet *Stensat TX-51-02*.



Kortet har to kontakter. I forbindelse med CanSat benyttes kun serieporten *JP1*. Det er kun *JP1* som er utstyrt med nålekontakt.

5 pin Header-kontakt (*JP1* 5 pin):

5 Pin Header (J1)

Pin	Description
1	VDD, Positive supply, 3.3 to 5 volts
2	Ground
3	Serial Data In, 38.4Kbaud, 8 bit, no parity, one stop bit
4	Reset (active low)
5	Serial Data Out, 38.4Kbaud, 8 bit, no parity, one stop bit

I CanSat standard-kittet benyttes kun pinne 1–3.



10 pin Header-kontakt (JP3 – 10 pin)

10 Pin Header (JP3)

Pin	Description
1	MOSI, Digital IO or SPI Data output
2	MISO, Digital IO or SPI Data input
3	RST, reset (active low)
4	SCK, Digital IO or SPI clock
5	Ground
6	VDD, positive supply, 3.3 to 5 volts, same as pin1 on 5 pin header
7	PC0, Digital IO or ADC input 0
8	PC1, Digital IO or ADC input 1
9	PC2, Digital IO or ADC input 2
10	PC3, Digital IO or ADC input 3

Denne porten benyttes normalt ikke i CanSat-sammenheng og er ved leveranse ikke utstyrt med nålekontakter.

Datahåndtering:

Dataene overføres på seriell form fra kontrollkortet. Dataene pakkes i henhold til protokollen AX.25. Protokollen inneholder adresseringsdata til hjelp for mottakeren, identifisering av senderen og hvilken type data som overføres. Dessuten kodes dataene slik at det skal være mulig å oppdage og rette feil, og selvfølgelig nyttedata fra nyttelasten.

AX.25 er en protokoll som er tilpasset for bruk i forbindelse med amatørradio. Kortet er utviklet av Stensat og kan overføre data med en hastighet på inntil 9600 bps (bit pr. sekund).

Kommandosett:

Senderkortet kan styres av et sett av kommandoer. Figuren under gir en oversikt over kommandosettet.

Command	Description	Format
C	Set source Call sign	Ccccc<CR>
D	Set Destination call sign	Ddddd<CR>
V	Set Via (relay) call sign	Vvvvvv<CR>
S	Send ASCII String	Ssssssssss...sssss<CR>
F	Set the Frequency	Ffff<CR>
M	Set the bit-rate Mode	M1200<CR> or M9600<CR>

Alle kommandoer starter med en stor bokstav som identifiserer kommandoen og avsluttes med linjeskift (<CR> (Carrage return); Hex 0x0D desimalt 013)

- C Setter senderens kallesignal (maks. seks karakterer). Kallesignalet kan bestå av inntil seks tall og bokstaver (karakterer). Dette bør være kallesignalet til den ansvarlige radioamatøren på stedet. Som default verdi settes imidlertid CANSAT. Om det brukes færre en seks karakterer, fylles opp med mellomrom (space).



- D Setter mottakerens kallesignal (maks. seks karakterer). Dette er kallesignalet til den radiostasjonen som skal motta signalene og kan i dette tilfellet være den samme som omtalt foran. Som defaultverdi settes imidlertid CQ. Om det brukes færre enn seks karakterer, fylles opp med mellomrom (space).
- V Setter kallesignalet til en ev. relestasjon som skal transmittre signalet fra sendern til mottakeren (maks. seks karakterer). Denne vil normalt ikke benyttes i CanSat-sammenheng. Som defaultverdi settes TELEM. Om det brukes færre enn seks karakterer, fylles opp med mellomrom (space).
- S Datastrengen som inneholder nytte-datene. Nyttedataene skrives som vanlige karakterer (tall og bokstaver) og vil overføres i henhold til ASCII-koden. Opp til 200 karakterer kan overføres pr. pakke.
- F Senderfrekvensen kan fininnstilles ved hjelp av fire karakterer (ffff). Frekvenstabeller skal finnes på STENSAT's hjemmeside uten at jeg har vært i stand til å finne den.

Følgende tabell er oppgitt i *The CanSat book*:

Frekv. MHz	Kode	Frekv. MHz	Kode	Frekv. MHz	Kode	Frekv. MHz	Kode
433,050	F8CF79	433,500	F8D1D1	433,950	F8D429	434,400	F8D681
433,100	F8CFBD	433,550	F8D215	434,000	F8D46D	434,450	F8D6C5
433,150	F8CFFD	433,600	F8D255	434,050	F8D4AD	434,500	F8D705
433,200	F8D03D	433,650	F8D299	434,100	F8D4F1	434,550	F8D749
433,250	F8D07D	433,700	F8D2D7	434,150	F8D535	434,600	F8D78D
433,300	F8D0CD	433,750	F8D31D	434,200	F8D575	434,650	F8D7CD
433,350	F8D10D	433,800	F8D361	434,250	F8D5B9	434,700	F8D811
433,400	F8D14D	433,850	F8D3A5	434,300	F8D5FD	434,750	F8D855
433,450	F8D18D	433,900	F8D3E5	434,350	F8D63D	434,800	F8D895

Mellomliggende frekvenser kan finnes ved å interpolere mellom verdiene i tabellen. Kodene er gitt i Hex kode. Den første F'en angir at dette handler om å sette frekvensen. De øvrige tallene i koden angir hvordan syntetisatoren i senderen skal settes opp.

Frekvensen 433,920 vil være aktuell. Denne ligger mellom 433,900 MHz (F8D3E5) og 433,950MHz (F8D429).

$F8D400 \approx 433,919853 \text{ MHz}$, dvs. et avvik på 147 Hz hvilket skulle være et avvik det går an å leve med.⁴

Kommandoen for å programmere senderen er gitt som:

```
Serial.println("F8D400"); // 433,919853 MHz
```

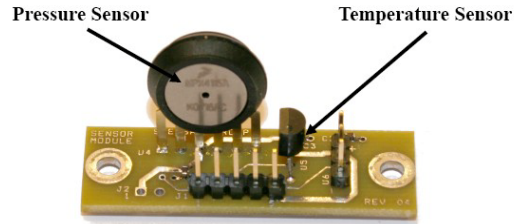
4. I mangel av data om programmering av senderfrekvensen er det her gjort en ren interpolering. mellom verdiene i tabellen. Dette kan gjøres ved hjelp av kalkulatoren som følger med Windows. Denne kan stilles om til å regne med hexadesimale tall.



Kommandoen `Serial.println` gir en ekstra `<CR>` og `<LF>`. Det er derfor unødvendig og legge dette bakerst i kommandoen.

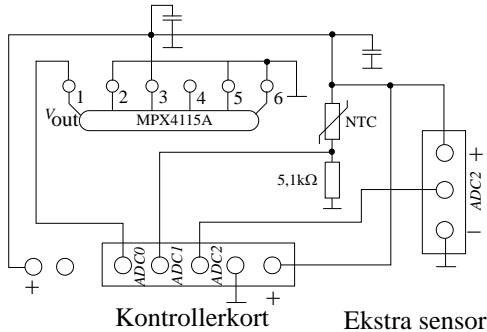
2.1.3 Standard sensorkort

Med i byggesettet finnes et standard sensorkort som kobles til kontrollkortet. Kortet inneholder en trykksensor og en temperatursensor. Trykksensoren er en piezoelektrisk sensor av typen MPX4115A fra Motorola, mens temperatursensoren kan enten være en TPM37 eller en passende NTC-motstand (NTCLE203E3103GB0)

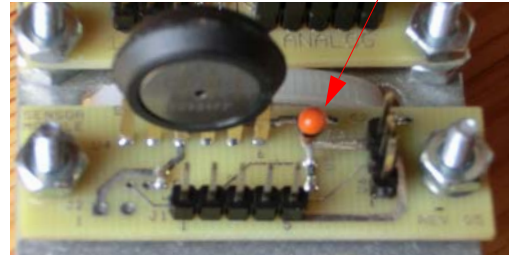


Kretsskjema:

Figuren under viser kretsskjemaet for sensorkortet.



Trykksensor NTC-motstand



2.1.4 Montering av tilleggssensor

En ekstra kontakt er tilgjengelig for ADC2. Ved hjelp av en flatkabel kan denne kobles opp mot et koblingsbrett for uttesting av ekstra sensorer før montasje.

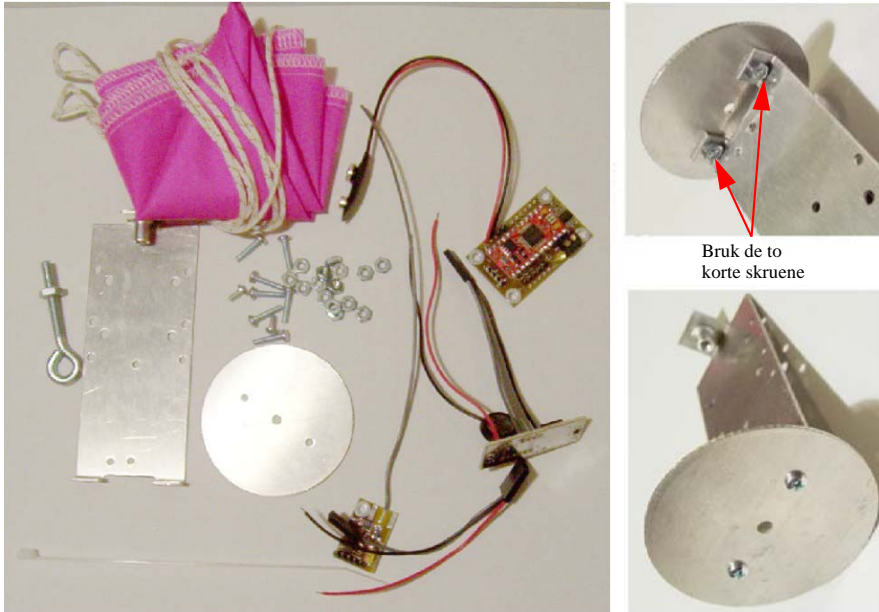
2.2 Montering

Monteringen er enkel og godt beskrevet i vedlagte filer⁵.

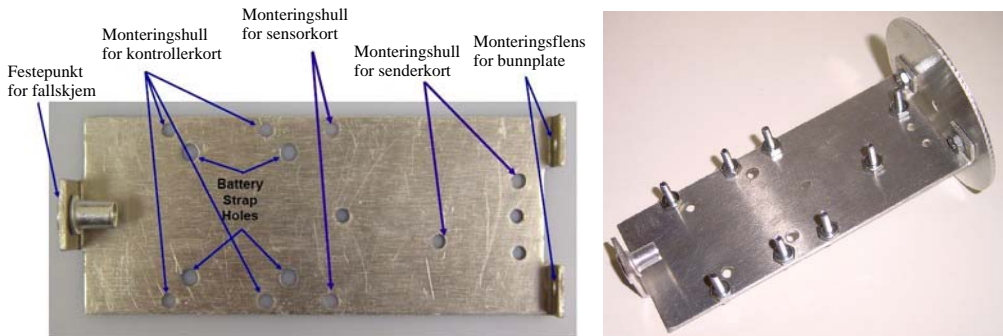
5. 040726CanSat_section3_rev3 (Building up the structure)



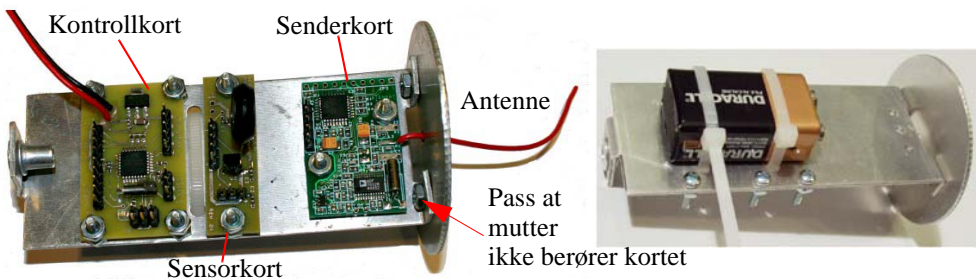
Figuren under viser innholdet i byggesettet.



Den runde bunnsplata festes med to *korte* skruer til monteringsbraketten (figuren over). Lange skruer monteres med muttre i anviste hull som vist på figuren under.

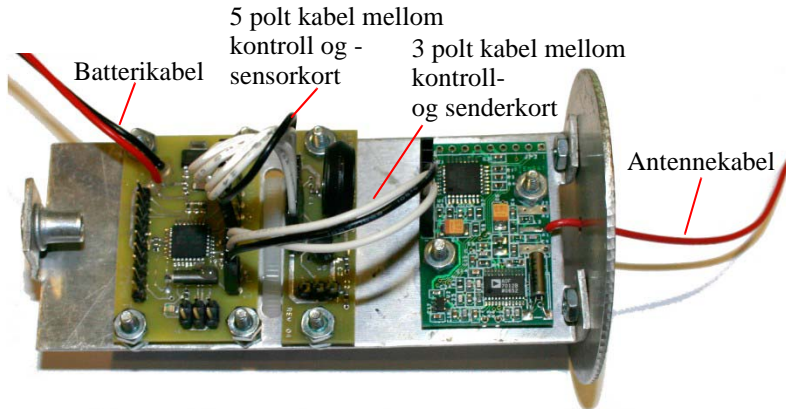


Kontrollkortet, sensorkortet og senderkortet, monteres på skruene som vist på figuren under.

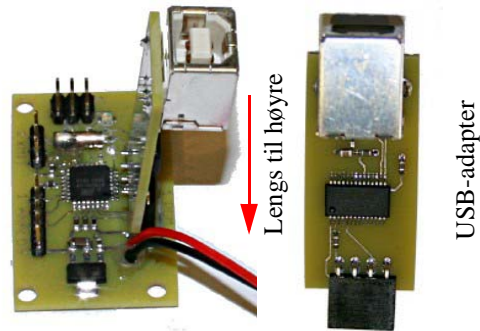


Batteriet, et 9 V (6F22), monteres på baksiden med gjennomgående plaststrips.

Figuren under viser montering av kablene mellom kontrollkortet og sensor kortet.



For programmering av kontrollkortet tilkobles USB-adapteren til kontakten (*JP5*) øverst på kontrollkortet som vist på figuren til høyre. Pass på at adapteren monteres lengst til høyre når du ser kortene rett forfra med bunnplata ned. Legg også merke til hvilken vei adapteren skal stå. USB-kabelen monteres mellom adapteren og en av USB-portene på PC'en.



2.3 Installasjon av programvare

Det er to programpakker som skal installeres:

- Arduino programeditor
- AGW Packet engine

2.3.1 Arduino programeditor

Litt historikk


Arduino er et mikrokontrollerkonsept utviklet i den vesle italienske byen Ivrea på begynnelsen av dette årtusen. Hensikten var å lage et kontrollerkort som skulle gjøre det enklere og billigere for studenter å lære seg bruk av mikrokontrollere. Det første Arduino-produktet ble utviklet av grunnleggerne *Massimo Banzi* og *David Cuartielles*. De oppkalte prosjektet etter *Arduin of Ivrea* som var den vesle byens historiske heltefigur. Navnet betyr *sterk venn* og burde passe godt for et kraftig kontrollerkort. Det som startet som et lokalt prosjekt for studenter i 2005, hadde i 2010 spredd



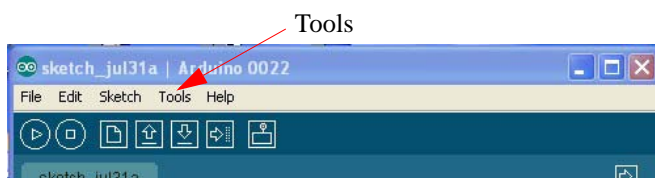
seg til hele verden. I februar 2010 hadde de solgt 120 000 eksemplarer. Den tilhørende programvaren ble utviklet av studenten **Hernando Barragán** ved det lokale universitetet i Ivrea, som en “open source” kode.

Kortet var bygget opp omkring **AVR mikrokontrollere** fra Atmel (hovedsakelig ATmega8, ATmega168, ATmega328, ATmega1280, and ATmega2560). Kontrollkortet i CanSat anvender ATmega168. Dette er en serie kontrollere som anvender RISK-arkitektur, en svært enkel, men meget effektiv arkitektur. Det er morro å vite at den første kontrolleren i denne serien ble utviklet av studentene **Alf-Egil Bogen** og **Vegard Wollan** ved NTH på begynnelsen av 1990-tallet. Etter endt studium tok de med seg konseptet inn i firmaet Nordic VLSI (nå NORDIC Semiconductor), hvor det ble videreutviklet. I 1995 gikk de ut av Nordic VLSI og ble snart kjøpt opp av Atmel og driver i dag firmaet Atmel Norge. De sier selv at AVR ikke har noen spesiell betydning, men det er allment akseptert at det opprinnelig sto for Alf (Egil Bogen) and Vegard (Wollan) 's Risc processor.

Installasjon av programvaren:


1. Klikk på fila **arduino-0022.zip**
2. For å pakke ut fila trenger du programmet WinRAR som kan hentes fra: <http://www.rar-lab.com/download.htm>
3. Velg *Extract to* fra menylinjen øverst og velg f.eks. C:/Programfiler og trykk OK. Programfilene legges da i en egen katalog (arduino-0022) i katalogen Programfiler.
4. Programmet startes ved å klikke på programikonet:  .
5. Koble til USB-kabelen til ønsket port.

6. Klikk på *Tool* på menylinjen og velg *Board*. Her velges hvilken variant i Arduino familien du skal jobbe med. I dette tilfellet velg: *Arduion Diesimilia ...*



7. Klikk på *Tool* på menylinjen og velg *Serial Port*. Sjekk at riktig port (Com?) er valgt.

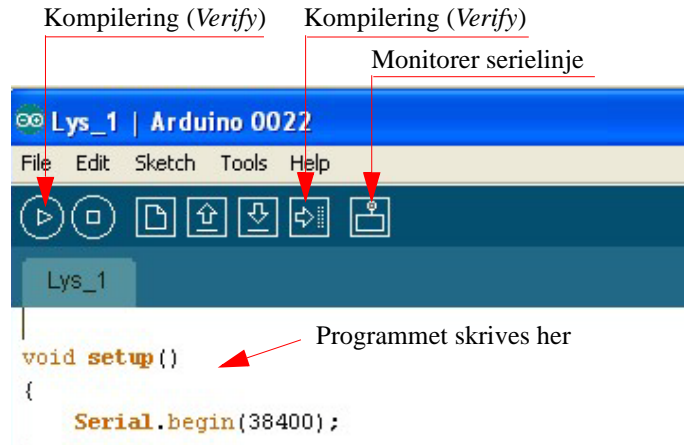
Programmet er klart til bruk og du kan skrive inn programlinjene. Når programmet er ferdig skrevet, skal det *kompileres*, dvs. overføres til en binærkode som mikrokontrolleren forstår. Dersom programmet inneholder ulovlige kommandoer eller skrivefeil, så vil kompilatoren varsle om det og vise på hvilken linje feilen er avslørt. Det er ikke nødvendigvis alltid der feilen er gjort.

Dernest skal programmet lastes ned til mikrokontrollerens minne. Dette gjøres ved å trykke på knappen .



Kort oversikt over Arduino-editoren

8.  Kompiler programmet
-  Avbryt
-  Hent nytt "arbeidsark"
-  Opne filkatalog
-  Lagre fil
-  Last ned programfil til
µkontroller
-  Monitorer data sendt
tilbake på serielinjen
-  Lag ny arbeidsfane o.a.




2.3.2 AGW Packet engine

Dette er programvare som er utviklet av radioamatører og er beregnet på å dekode, lagre og presentere data overført mellom amatører via amatørradio. Som tidligere nevnt blir innsamlede data fra sensorene digitalisert og pakket inn i *datarammer* kalt AX.25. En slik *datapakke* overføres til senderen, frekvensmoduleres på en bærefrekvens på ca. 433 MHz og sendes ut i antenna.


Signalene mottas av en radiomottaker og mates inn på linje- eller mikrofoninngangen på en PC, der signalene blir dekodet og presentert av *AGW Packet engine* programvaren.

Installasjon av programvaren

Programvaren ligger på CD'en som følger med CanSat-byggesettet. Siste versjon kan også hentes ned fra: <http://www.sv2agw.com/downloads/default.htm> (gå ned til: *AGW Packet Engine* og velg: **AGWPE.zip**). Filen må så pakkes ut med et unzip-program.

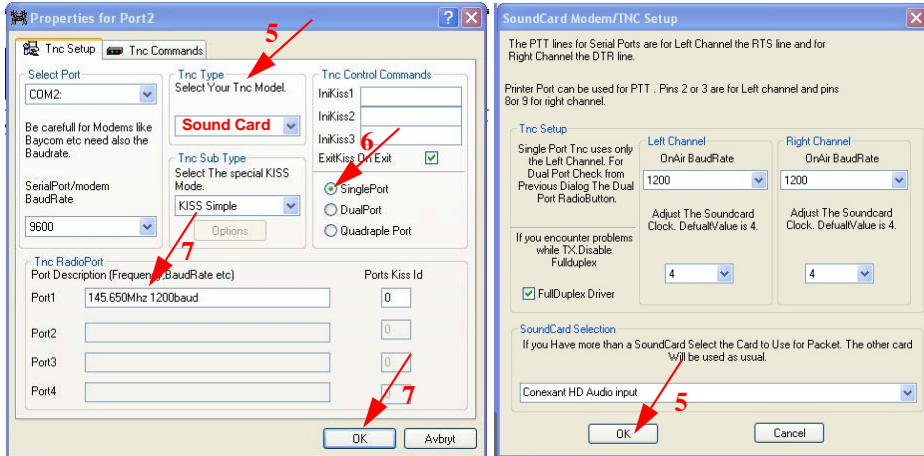
1. Legg alle filene fra AGW-katalogen på CD'en over i en katalog som f.eks. kan kalles AGW. *Det kan se ut at de som ligger utpakket er tilstrekkelig.*
2. Klikk på fila: *AGW Packet Engine*.
3. En forespørsel om å godta vilkår kommer opp. Merk av *I agree* og klikk *OK*. En kan også bli spurt om denne programvaren *Forstatt skal blokkeres* klikk *Fjern blokkering*. Følgende symbol  vil dukke opp på programlinjen nederst i høyre hjørne av skjermen, hvilket betyr at programmet kjører i bakgrunnen.



4. Høyreklikk på symbolet  nederst i høyre hjørne og velg *Properties*. En dialogboks kommer opp. Velg *New Port*. Du vil da bedt om å konfigurere TNC'en før du går videre. En ny dialogboks kommer til syne. Ev. ligger den skjult bak andre programvinduer.




5. Finn feltet “TNC-type” øverst midt på dialogboksen. Klikk på pilen til høyre og velg *Sound Card*. En ny dialogboks kommer opp. Klikk *OK*.




6. Sjekk at *Singel Port* er krysset av under *TNC Control Commands*.

7. Skriv ev. inn en passende beskrivelse av porten under *TNC Radio Port* rubrikken (nede til venstre) og trykk *OK*.

8. **Start AGW Packet Engine på nytt:**


Gå ned til programikonet  nederst i høyre hjørne og høyreklikk på symbolet. Velg *Exit*.

Start  programmet på nytt.

Det finnes tre monitorprogrammer:

- *AGWmonitor*: Viser data i monitorvinduet
- *AGWmonitor 1*: Data kan lagres i etterkant ved å bruke *Save as*.
- *AGWmonitor 2*: Data logges fortløpende i log-file.

9. **Start monitorprogrammet:**

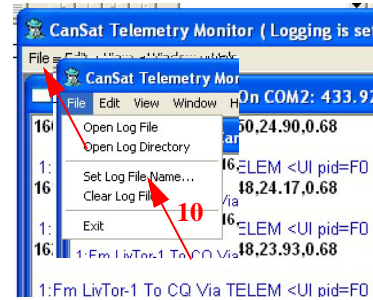
Gå til *AGW*- katalogen og start monitorprogrammet: *AGWmonitor 2* .

Listen av mottatte data kommer opp i monitorvinduet. Det forutsettes selvfølgelig at mottakeren er tilkoblet mikrofoninngangen og at data mottas.



10. Lagring av log-file:

For lagring av data til log-filen: Trykk *File* og velg: *Set Log File Name ...* Skriv inn ønsket filnavn. Data skrives inn i log-filen med angitt navn. Data skriver til denne filen helt til et annet navn skrives inn.



2.4 Montering av tilleggsutstyr



En oppdager snart at det medfølgende kontrollkortet kan bli litt knapt. Selv om mikrokontroller på kortet ATmega168, er en relativt kraftig prosessor, så kan kortet være uhensiktsmessig dersom en har behov for flere analoge eller digitale inn- og utganger. Arduino tilbyr imidlertid en rekke ulike kort. Det er derfor viktig å vurdere sine behov nøye før man velger. Et kriterium er at kortet har passende dimensjoner. Figuren til venstre viser typiske dimensjoner for en Cola-boks. Disse kan variere fra de ulike brusprodusentene.

Dersom kortet står loddrett i boksen kan det ha en bredde på inntil 64 mm. Dersom et rektangulært kort skal legges horisontalt kan ikke diagonalen være mer enn 64 mm eller sidekanten mer enn 45 mm dersom kortet er kvadratisk.

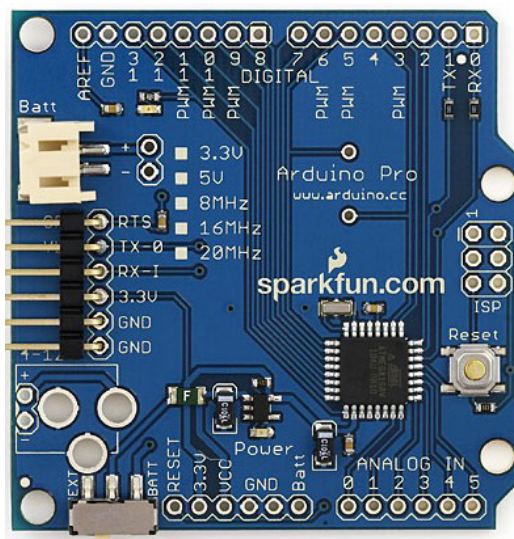
2.4.1 Arduino pro 368

Arduino pro 368 kan være et alternativ dersom en ønsker å ha rikelig med analoge og digitale inn- og utganger.



Kortet har følgende data:

- 3,3 - 5 V (ikke regulator)
- 16 MHz
- 32 kbyte (flash)
- ca. 53 x 53 mm
- 6 (8) – Analoge input
- 14 – Digital I/O hvorav 6 PWM (8 bit)
- Seriell port (Rx/Tx)
- I²C buss (SDA, SCL)
- USB off board
- Pris: kr. 249,- Robonor



2.4.2 Inn- og utganger

Analoge innganger

Kretsen har 6 (8) analoge innganger koblet til én felles AD-konverter. Dvs. at hver av inngangene samles og verdien holdes. Derne digitaliserer AD-konverteren i tur orden hver enkelt samplet verdi. Før inngangene på nytt kan samles. Dette er en tidkrevende, men rimelig løsning. Samplingshastigheten blir derfor relativt lav, 13–230 μ s, men har en oppløsning på 10 bit.

Digitale I/O-porter

Kortet har i alt 14 mulige IO-porter som individuelt kan programmeres til enten å være en digital inngang, en digital utgang eller en analog utgang (PWM, se under). Flere av disse kan ha alternative funksjoner og vil kunne programmeres til seriell data overføring, f.eks. I²C-bus.

Analoge utganger:

Kretsen har ingen DA-konverter (digital til analog konverter). Den har imidlertid muligheten til å sende en pulsbreddemodulert (PWM) spenning på inntil 6 av de digitale I/O-portene. Dvs. at det kan lages et pulstog, hvor pulslengden kan varieres med inntil 8 bits nøyaktighet. Ved hjelp av ekstern filtrering kan en så gjenskepe et analogt signal på utgangen.

I²C-databus

I²C står for **I**nter **I**C-bus, og er ment å være akkurat det, da den ble utviklet av *Philips Semiconductor* tidlig på 80-tallet. Bussen er svært enkel med sine to linjer (klokke og datalinje). Videre er hver krets langs bussen adresserbar. Bussen er dessuten utestyr med kollisjonsdeteksjon⁶. I starten var den definert med en hastighet på 100 kb/s. Senere, etter som en trengte raskere dataoverføring, er *Fast mode* - 400 kb/s og *High speed* - 3,4 Mb/s definert.

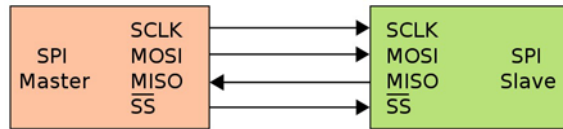
6. For mer informasjon se: <http://www.i2c-bus.org/>



SPI-databus

Serial Peripheral Interface buss (SPI-buss). Er en firelinjes databuss brukt for å overføre data til utstyr utenfor mikroprosessoren (periferutstyr).

Databusen ble opprinnelig utviklet av Motorola. I en slik dataoverføring fungerer den ene modulen som master (sjefen), og den andre som slave (tjener).



På figuren over er enheten til venstre master, og enheten til høyre slave. Master tar initiativet til dataoverføringen ved hjelp av SS-signallinjen, og sender sine data på linjen MOSI (Master Output Slave Input) linjen, mens slaven mottar på sin MOSI linje. Master mottar så svar på sin forespørsel til slaven som sender data tilbake på linjen MISO (Master Input Slave Output) som mottas av master på linjen MISO (Master Input Slave Output). SCLK er klokkesignalet som bestemmer takten til dataoverføringen. SS signalet (Slave select) varsler slaven om at nå ønsker master kontakt. Dersom det er flere slaver i systemet trengs flere SS-linjer, en til hve slave⁷.

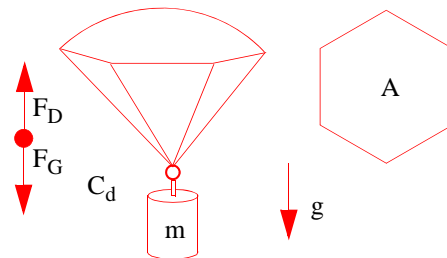
2.5 Beregning av fallhastighet

Fallhastigheten bestemmes av en rekke ulike parametere.

Vi antar at sonden inntar terminalhastigheten etter svært kort tid, slik at den faller med konstant fart omtrent fra slipptidspunktet. Når dette inntreffer vil *drag'et*, F_D , på grunn av luftmotstanden, være lik tyngdekrafta, F_G :

$$F_D = F_G \quad (2.1)$$

$$F_G = m \cdot g \quad (2.2)$$



Hvor:

g = Tyngde akselerasjonen – $9,81 \text{ m/s}^2$

m = Massen av CanSat – maks. $0,350 \text{ kg}$

En kan også finne en formel for *drag'et*, F_D :

$$F_D = 1/2 \cdot C_d \cdot \rho \cdot v_t^2 \cdot A \quad (2.3)$$

Hvor:

C_d = *Drag*-faktor varierer blant annet med formen på fallskjermen (kulekalott $C_d = 1,5$)

ρ = Tettheten til luft (typisk $\rho = 1,22 \text{ kg/m}^3$) varierer med lufttrykket

v_t = Terminalhastigheten

A = Tversnittarealet av fallskjermen projisert ned på horisontalplanet.

7. http://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface_Bus



Setter ligning (2.2) og (2.3) inn i ligning (2.1) og løser denne mht. terminalhastigheten, får vi:

$$v = \sqrt{\frac{2mg}{C_d \rho A}} \quad (2.4)$$

Drag-faktoren er avhengig av formen på fallskjermen. Dersom den kan settes tilnærmet lik en kuleflate vil den i teorien ha en *drag*-faktor nær $C_d = 1,5$. Dersom fallskjermen tilnærmet er en sirkulær flate med samme tverrsnitt som kula, vil en C_d nær 0,75 være nærmere sannheten. En fallskjerm som vist på figuren over, vil ha en *drag*-faktor som ligger et sted mellom disse verdiene⁸.

Bestem *drag*-faktoren:

Drag-faktoren for en gitt fallskjerm kan måles ved følgende metode:

1. Mål og beegn arealet, A , til fallskjermen (projisert areal)
2. CanSat'en henges under fallskjermen og finn massen, m
3. Slipp CanSat'en i fallskjerm fra en avsats fra 5–10 meter over bakken
4. Mål tida til fallet over en gitt fallhøyde. Eller film slippet med et kamera med et kjent antall bilder i sekundet. Plasser en målestav i bildet for å bestemme dimensjonene.
5. Løs ligningen (2.4) mht C_d . Sett inn måleverdier og beregn C_d .

2.6 Ballongslipp

Et alternativ til rakettoppskyting er ballongslipp. En ballong med helium ca. 150 cm i diameter før slipp, er mer enn tilstrekkelig for å løfte to CanSat'er til 1000 meter om man har tilstrekkelig med tråd. En fjernstyrt utløsermekanisme kan benyttes for å utløse CanSat'ene når man når ønsket høyde. Med en fallhastighet på ca. 8–12 m/s vil falltiden ved vertikalt fall ta ca. 80–130 sek. i vindstille vær. En kan oppnå rikelig med resultater selv ved 300–400 meters høyde. Ev. kan man redusere fallhastigheten.

Utstyr for ballongslipp

Snora kan f.eks. vindes opp på en snelle for linefiske eller pilk som vist på figuren til venstre. Men enklere utgaver kan brukes. F.eks. en gammel bilfelg lagret opp og påmontert sveiv.

Balongen er en helium ballong for innsamling av meteorologiske data. (f.eks. Totex TX350). Ballonger for bruk ved skolen selges av bl.a. NAROM. Pris foreløpig ukjent.



8. <http://my.execpc.com/~culp/rockets/descent.html>

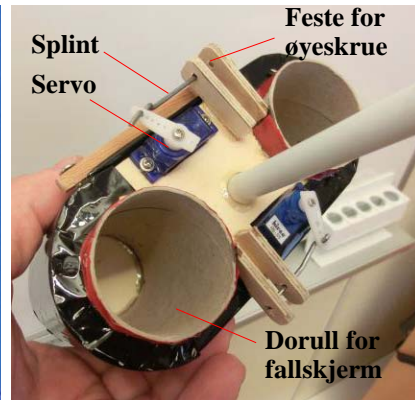


I tillegg trengs helium, som kan kjøpes hos en forhandler av gass, f.eks. AGA eller lignende. Disse selges ofte på stålfasker som returneres etter bruk. En bør kjøpe et munnstykke for fylling av ballonger. Dette kan gjenbrukes hver gang en trenger helium. Slike koster noen hundre kroner.

Slippmekanisme

Her er det mange muligheter. Det enkleste er å la utstyret følge ballongen opp og ned. En kan dermed til en hver tid ha god kontroll på hvor CanSat'en befinner seg.

Dersom man ønsker å gjennomføre selve slippet, kan man bruke en ekstra snor for å dra ut en splint slik at CanSat'en slippes. Dette krever at det lages en passende utløsermekanisme til å feste CanSat'en til ballongen.



Eller man kan lage en fjernstyrt utløsermekanisme. En slik kan bygges med deler for fjernstyring av modellfly. Bildet over til høyre viser utløsermekanismen som ble benyttet under lærerkurset ved NAROM august 2011. Denne kan slippe to CanSat'er uavhengig av hverandre. De to servoene betjener hver sin splint som holder CanSat'ene oppe. Fallskjermen pakkes inn i et rør (dorull) slik at festesnorene til fallskjermen ikke floker seg. Det er særdeles viktig at den pakkes slik at den folder seg ut idet den slippes.





3 Telemetrimottakeren

3.1 Uniden radioscanner

Under rakettoppskytingen eller ballongslippet, brukes en håndholdt mottaker: Uniden UBC69XLT-2. Denne har 80 kanaler og kan brukes innen følgende frekvensbånd: 25–87 MHz, 138–174 MHz og 406–512 MHz. Mottakeren kan motta både AM- og FM-modulerte signaler. Normalt benyttes FM-modulasjon i båndet omkring 433–434 MHz. Piskantenna kan tas av og erstattes av en Yagi retningsantenne med forsterkning i en retning.



UBC69LT-2



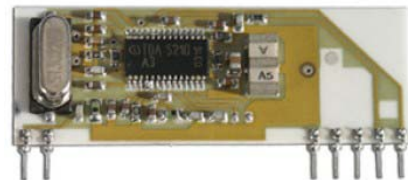
Mottakeren kobles til linje- eller mikrofoninngangen til PC'en, der det AFSK-modulerte signalet demoduleres.

Radioen kan f.eks. kjøpes fra firmaet Radioscan⁹ i England for ca. 65 £, eller også i enkelte norske forhandlere. Den kan gå under betegnelsen politiscanner.

3.2 En hjemmebygget mottaker (RRFQ2-433)

Følgende krav må stilles til mottakeren:

- Frekvensbånd: 433–434 MHz
- Demodulasjon: Mottakeren må kunne levere det demodulerte (AFSK¹⁰-signalet) audiosignalet
- Strømforskyning: Batteridrift
- Pris: Billig



RRFQ2

Disse kravene oppfylles av mottakermoduleen RRFQ2-433¹¹ produsert av firmaet RF-Solutions og leveres av RS Componets Norway, stk.pris ca. kr. 150,- eks. MVA. Sammen med en tilsvarende sendermodul (FM-RTFQ2-433R) vil de i åpent terreng ha en rekkevidde på opp til 250 m. Siden CanSat anvender en annen og noe kraftigere sender, vil rekkevidden mellom denne senderen og mottakeren sannsynligvis kunne tilfredsstille våre krav.

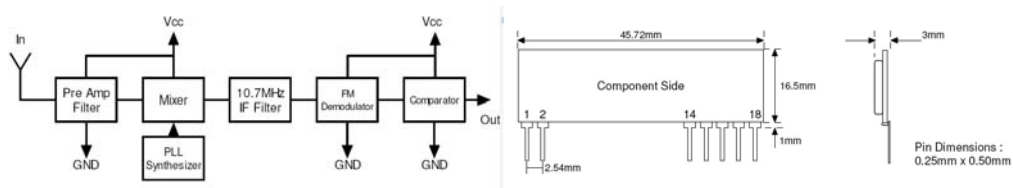
9. http://www.radioscan.co.uk/uniden_abc69xlt.html

10. AFSK - Audio Frequency Shift Keying

11. <http://no.rs-online.com/web/search/searchBrowseAction.html?method=getProduct&R=5056812>



Kretsen leveres på et lite kretskort med kantkontakt (SIL). Blokkdiagram og layout er vist på figuren under.



Pinningen til kretsen er gjengitt til venstre i tabellen under. *RSSI* (Received Signal Strength Indicator) angir styrken på det mottatte signalet som en spenning. Et signalnivå på 0 dBm angir et effektnivå på 1 mW. For hver -30 dBm reduseres signalnivået med 1/1000.

Pinnebeskrivelse

RRFQ2	Pin Description
16	+Vcc
2,15	GND
1	Data In (Antenna)
	NC
14	Received Signal Strength Output
17	AF Output
18	Data Out

RSSI signal

RF In (dBm)	RSSI (V)
-120	1.20
-110	1.32
-100	1.50
-90	1.78
-80	2.06
-70	2.35
-60	2.62
-50	2.72
-40	2.75

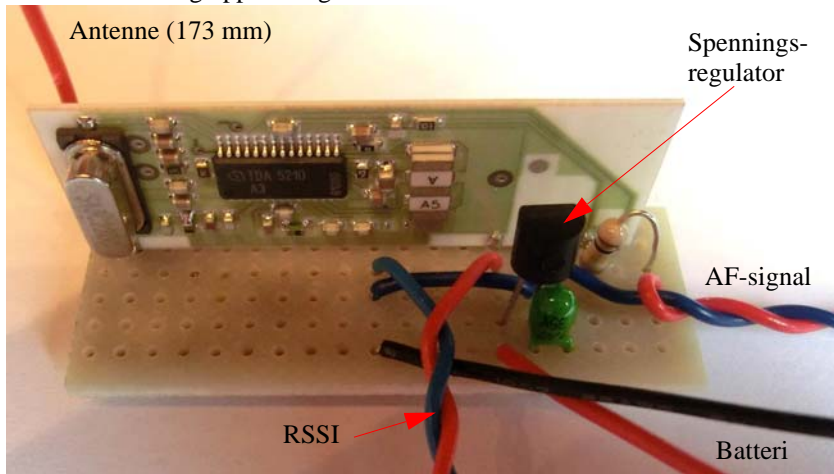
Data out gir et demodulert og detektert digitalt datasignal. Dette signalet er ikke interessant dersom mottakeren skal kobles til audioinngangen til PC'en. Vi bruker derfor *AF* (audio frequency) utgangen. Denne leverer det tonemodulerte audiosignalet som kan brukes i vårt tilfelle.

Andre data om kretsen er:

- Spenningsforskyning: 5 V +/- 0,5 V
- Strømforbruk typ. 5,7 mA
- Mottakerfrekvens 433,92 MHz
- Båndbredde (3dB) +/- 150 kHz
- Følsomhet - 103 dBm
- Datarata 300–4800 bps (bit pr. sek.)
- Antennelengde: 17,3 cm for 433,92 MHz



Bildet under viser en mulig oppkobling av mottakeren.



3.3



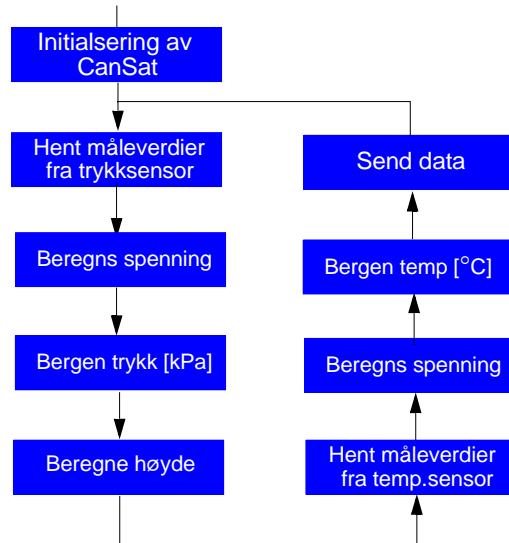


4 Programmering

CanSat programmeres i C. I dette kapitlet skal vi ganske kort foreslå en måte å strukturere CanSat-programmet på og gi en oversikt over noen viktige kommandoer. Stoffet er hentet fra den medfølgende CD'en.

4.1 Programstruktur

Kontrollenheten styrer hele prosessen i CanSat. Den henter inn data fra sensorene, omregner fra tallverdi til trykk, temperatur og høyde, tilrettelegger og søker for å sende data til bakkestasjonen. Dette gjøres i en gjentakende sløyfe som vist på figuren til høyre. Dette kalles et *flytdiagram*.



4.2 Viktige kommandoer

Referansemanualen til C for bruk ved programmering av Arduino-prosessorer finnes på følgende nettside:

<http://arduino.cc/en/Reference/HomePage>

4.2.1 Generelle kommandoer

Programstruktur

Programmet består av en rekke mindre rutiner omsluttet av klammeparanteser. I void setup() rutinen initieres kontrolleren, mens selve programmet legges under void loop()

```
void setup()
{
  <initiering>
}
void loop()
{
  <programkode>
}
```

Alle kommandoer må avsluttes med ; (semikolon)

Initiering av dataoverføring til PC

Under uttestingen kan det være praktisk at data leses tilbake til terminalen. Datahastigheten settes opp i setup rutinen, her satt til 38 400 baud:

```
void setup()
```



```
{  
    Serial.begin(38400);  
}
```

Kommentarer:

Kommentarer kan skrives hvor som helst og begynner med `//`. Disse blir fjernet under kompilering og overføres ikke til mikrokontrolleren.

Deklarasjon av variable:

I C må alle variable deklarerer før de kan brukes og gjerne i starten av programmet. Deklarasjonene må inneholde *type* og *navn* på variabelen:

Deklarering gjøres innenfor hver subrutine (om variabelen ikke skal være global):

```
void loop()  
{  
    Int a;           // deklarasjon av 16 bit heltall (word)  
    char b;         // deklarasjon av 8 bit karakter (byte)  
    char c, d;      // deklarasjon av to 8 bits karakterer (byte)  
    float e;       // deklarasjon av variabelen e som et desimaltall f.eks. 1,65 (32 bit, dobbel word)  
    <programkode>  
}
```

Skriv tilbake til PC skjerm:

Følgende kommandoer skriver en variabel eller en tekst tilbake på terminalfeltet i programeditoren.

```
Serial.print(a);      // Skriver variabelen a til en linje på skjermen,  
                     // neste skrivekommando skriver på samme linje  
Serial.println(a);    // Skriver variabelen a til en linje på skjermen,  
                     // neste skrivekommando skriver på ny linje  
Serial.println("Hallo"); // Skriver teksten Hallo til en linje på skjermen,  
                     // neste skrivekommando skriver på ny linje
```

Det er også mulig å kombinere tekst og variable i samme printkommando:

```
Serial.println("Hallo", a); // Skriver teksten Hallo til en linje på skjermen,  
                          // etterfulgt av innholdet i variabelen a  
Serial.println(f, 2);      // Skriver desimalvariabelen f til terminal på PC med to desimaler,
```

Definer digitale porter som inngang eller utgang:

Kontrolleren ATmega168 har en rekke porter, digitale og analoge. De digitale portene må defineres som inn- eller utgang. Dette gjøres i setup-rutinen:

```
void setup() {  
    pinMode(8,OUTPUT); // Definerer pinne 8 som utgang, dette gjøres under setup  
    pinMode(7,INPUT);  // Definerer pinne 7 som inngang, dette gjøres under setup
```



```
}
```

Skriv til en digital port:

Digitale porter kan enten settes høy eller lav. Dette gjøres med følgende kommandoer:

```
void loop()
{
  digitalWrite(8, HIGH); //Setter port 8 høy (5 V)
  digitalWrite(8, LOW);  //Setter port 8 lav (0 V)
}
```

Vent-kommando:

Dersom vi ønsker at programmet skal ta en pause kan vi skrive følgende:

```
delay(1000); //Stopper programmet i 1000 msek (1 sek)
```

Aritmetiske operasjoner

```
sum = a + b; //Summen av a + b settes i variabelen sum
diff = a - b; //Differansen av a - b settes i variabelen diff
prod = a * b; //Produktet av a * b settes i variabelen prod
kvo = a / b; //Kvoesienten av a / b settes i variabelen kvo
```

4.2.2 Avlesning av sensorer

Dette avsnittet oppsummerer noen viktige kommandoer for innhenting av data fra sensorene.

Les verdi fra AD-konverter

Syntaksen for lesing fra en AD-konverter inngang kan skrives som:

```
<variabel> = analogRead(<kanal>); //Kanal kan ha verdiene 0, 1, 2 i denne forenklede versjonen av CanSat
```

Eksempel 1:

```
Int VERDI;
VERDI = analogRead(0); //Digitale verdien fra AD-kanal 0 leses inn i verdi
```

Eksempel 2:

```
void loop()
{
  int pressure; //Deklarerer pressure som en heltalls-variabel
  pressure = analogRead(0); //Leser av trykksensoren på AD-kanal 0
  Serial.println(pressure); //Skriv resultatet tilbake til terminalen (PC)
}
```

Eksempel 3:

```
void loop()
{
```



```
int temperature;           //Deklarerer temperatur som heltallsvariabel
float voltage;             //Deklarerer voltage som desimalverdi
float celcius;            //Deklarerer voltage som desimalverdi
temperature = analogRead(1); //Leser av temperatursensoren på AD-kanal 1
Serial.println(temperature,2); //Skriv resultatet tilbake til terminalen (PC)
}
```

Omregning fra digital verdi til desimal spenning og trykk

```
void loop() {
int pressure;             //Deklarerer pressure som en heltalls-variabel
float voltage;           //Deklarerer voltage som en desimal-variabel
float kpa;                //Deklarerer trykk i kPa som en desimalverdi
pressure = analogRead(0); //Leser av AD-kanal 0 hvor trykksensoren leverer signalet sitt
voltage = (float)pressure/1023.0 * 5.0; //Omregning fra digital til desimal spennings verdi
                                        (float) kommandoen konverterer utregningen til desimaltall
kpa = 22.222 * voltage + 10.556; //Omregning fra desimal spenning til desimalt trykk
Serial.println(kpa,2);    //Skriv resultatet tilbake til terminalen (PC) med 2 desimaler
}
```

Omregning fra digital verdi til desimal spenning og temperatur i Celsius

```
void loop()
{
int temperature;         //Deklarerer temperatur som heltallsvariabel
float voltage;           //Deklarerer voltage som desimalverdi
float celcius;           //Deklarerer voltage som desimalverdi
temperature = analogRead(1); //Leser av temperatursensoren på AD-kanal 1
voltage = (float)temperature/1023.0 * 5.0; //Omregning fra digital til desimal spenningsverdi,
                                        (float) kommandoen konverterer utregningen til desimaltall
celcius = voltage * 100.0 - 50.0; //Omregning fra spenning til Celsius
Serial.println(celcius,2); //Skriv resultatet tilbake til terminalen (PC) med 2 desimaler
}
```

4.2.3 Programmering av senderen

I løpet av programmet skal det sendes data til senderen som skal pakkes i AX.25-protokollen. Følgende gir en oversikt over noen sentale kommandoer for kommunikasjon med senderenheten.

Følgende eksempel vi klarlegge syntaksen

```
void loop()
{
...                       //Deklarerer nødvendig variable
...                       //Innsamling og omregning av sensordata
Serial.println("F8D400"); //Sett senderfrekvensen til 433,920 MHz.
```




(F'en bestemmer at kommandoen gjelder senderfrekv.)

```
| Serial.println("CLA4RN");           //Legg inn kallesignal f.eks. LA4RN
|                                   (C'en bestemmer at kommandoen gjelder kallesignal)
| Serial.print("S");                 //Det som kommer nå skal sendes til senderen
| Serial.print(" ");                 //Legg inn et mellomrom
| Serial.print(trykk);               //Send over innholdet i variabelen trykk

|                                   //Send over innholdet i variabelen temperatur
| Serial.print(temperatur);         //Legg inn et mellomrom
| Serial.print(" ");                 //Legg inn et mellomrom
| Serial.print(trykk);               //Send over innholdet i variabelen trykk
| Serial.print(" ");                 //Legg inn et mellomrom
| Serial.println(lysstyrke);         //Send over innholdet i variabelen lysstyrke
|                                   printn forteller senderen at den nå skal sende
|                                   //Vent i ett sekund før nye data avleses.
| delay(1000)

| }
```

Vi legger altså merke til at kommandoen *Serial.println()* avsluttes med *...ln()*, hvilket betyr at den etterfølges av <CR> og <LF>, hvilket senderen oppfatter som den endelige beskjeden om at data-ene skal pakkes i AX.25 og sendes ut på antenna.





5 Noen utvalgte systemkomponenter

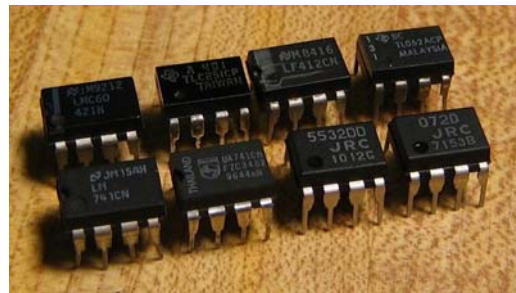
I moderne elektronikkdesign brukes transistoren som enkeltkomponent i stadig mindre grad. Som oftest møter vi transistorer som del av et større system, integrert på en silisumbrikke. Dette gjelder både komponenter som behandler analoge så vel som digitale signaler. Ved å integrere mange komponenter på samme silisumbrikke (chip), oppnås en betydelig komprimering og prisreduksjon, i tillegg til at en ofte oppnår bedre elektriske egenskaper, som for eksempel høyere hastighet (båndbredde) og lavere effektforbruk. En av de største utfordringene med den stadig økende tettpakkingen av transistorer (integrasjonen), er å bli kvitt varmen som oppstår når det går strøm i kretsene. Dette gjør man i dag ved å montere store kjøleflater og vifter på kretsene. Eller aller helst, reduserer effektforbruket til kretsen ved kreative teknologiske løsninger.

I dette avsnittet skal vi se på noen sentrale byggeblokker som er viktig i forbindelse med måle- og sensorteknologi.

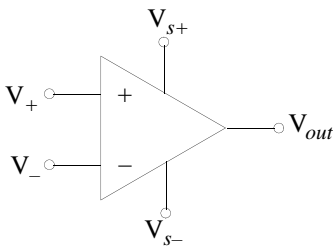
5.1 Operasjonsforsterkeren

Operasjonsforsterken ble utviklet på 1960-tallet primært som en generell byggeblokk for å utføre analoge matematiske regneoperasjoner som addisjon, subtraksjon, derivasjon og integrasjon. Senere ble operasjonsforsterkeren videreutviklet til mange forskjellige formål, ikke minst som et generelt forsterkerelement.

Moderne operasjonsforsterkere leveres som integrerte kretser med fra 6 til 16 bein. På bildet til høyre¹² ser vi noen eksempler på operasjonsforsterkere montert i plastpakning med 8 bein plassert i to rader. Denne typen pakning betegnes ofte *DIL* – *Dual In Line* eller *DIP-8* – *Dual in Parallell* med 8 bein.



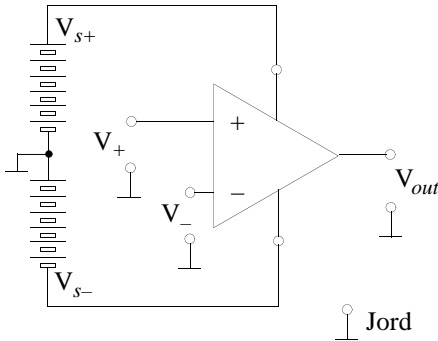
Figur 5.1 Eksempler på integrerte operasjonsforsterkere.



Kretssymbolet for en operasjonsforsterker er som vist i figuren til venstre. Som vi ser har forsterkeren to innganger (V_+ og V_-) og en utgang (V_{out}). I tillegg er det vanlig at den bruker to forskyningsspenninger f.eks. $V_{s+} = +9\text{ V}$ og $V_{s-} = -9\text{ V}$. Men det finnes også flere varianter som kun trenger en spenning.

I tillegg kan det være tilkoblingsterminaler for justering av kretsens egenskaper. Mange vil kanskje savne jord som referansepotensial for spenningene på inn- og utgang. Denne er ofte underforstått i forenklete koblingsskjemaer som på figuren til venstre. I den neste figuren har vi inkludert jord.

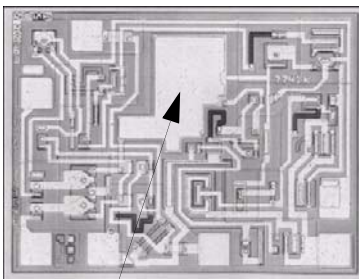
12.Hentet fra <http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Op-amps.jpg>



Figur 5.2 Operasjonsforsterker med spenningstilkobling og jording.

logi. Spesielt var det eksepsjonelt at man hadde klart å inkludere en kondensator på 30 pF på selve brikken. Kondensatorer er generelt vanskelige komponenter å integrere da de tar stor plass (til venstre på figur 5.3). Kondensatoren er viktig for å gjøre kretsen stabil, dvs. at den ikke begynner å lage signaler på egen hånd (oscillere).

Forstørret bilde av chip for $\mu A741$



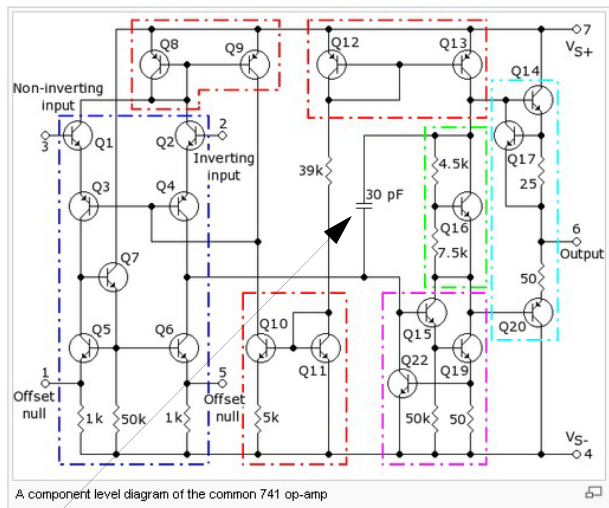
Kondensator

Vi legger også merke til at den i tillegg till signalinngangene og utgangen, har to tilkoblingspunkter kalt *Offset null*. Disse to tilkoblingene kan brukes til å gjøre kretsen mer nøyaktig, dvs. sørge for at 0 V på inngangen virkelig blir 0 V på utgangen.

Figur 5.2 viser hvordan jordpunktene er koblet til midtpunktet mellom de to spenningskildene. Vi har ikke brydd oss om å markere at alle jordpunktene er koblet sammen, hvilket er tilfelle.

En av de første integrerte operasjonsforsterkerne som ble laget gikk under betegnelsen $\mu A741$ og ble utviklet av **Bob Widlar** i 1965 for det amerikanske firmaet Fairchild. Denne er senere blitt en klassiker som fortsatt produseres og brukes. Riktignok er designet forbedret, men i grove trekk er det den samme konstruksjonen. Prisen for en $\mu A741$ hos ELFA er kr. 3,20 når man kjøper 10 stk.

Figur 5.3 viser koblingsskjemaet for operasjonsforsterkeren $\mu A741$. Etter dagens standard er dette en meget enkel krets, men da den ble lansert på midten av 60-tallet, var den meget avansert tekno-



Kondensator

Figur 5.3 Koblingsskjema for den opprinnelige operasjonsforsterkeren $\mu A741$

5.1.1 Prinsipiell virkemåte og sentrale parametere for operasjonsforsterkeren

Som nevnt har operasjonsforsterkeren to innganger, en inverterende og en ikke-inverterende inngang. Ved bruk av den inverterende inngangen vil et signal bli snudd opp ned på utgangen, vi sier at det blir *invertert* (figur 5.4 A).

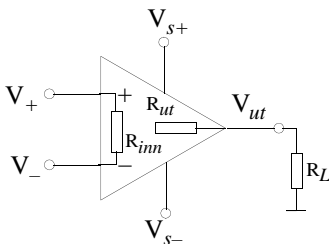
Tilsvarende vil et signal påtrykt den ikke-inverterende inngangen, ikke bli invertert. Dette er forsøkt illustrert i figur 5.4 B. Vi legger merke til at signalet på utgangen også er forsterket.

Egentlig er det differansesignalet mellom de to inngangene som forsterkes. Dersom vi kobler sammen de to inngangene V_+ og V_- og sender samme signal inn på begge, så vil vi ideelt sett få null signal eller spenning på utgangen av kretsen. Forsterkningen, A , til operasjonsforsterkeren alene kan vi definere som:

$$A = \frac{V_{out}}{V_+ - V_-} \quad (5.1)$$

Som vi ser så er forsterkningen definert som forholdet mellom signalet på utgangen (A_{out}) og spenningen mellom de to inngangene ($V_+ - V_-$). Denne forsterkningen kalles ofte *Open loop* forsterkningen.

Før vi går videre skal vi se på egenskapene til en ideell operasjonsforsterker, slik vi skulle ønske at den var.



Figur 5.5 Inn- og utgangsmotstand til en operasjonsforsterker.

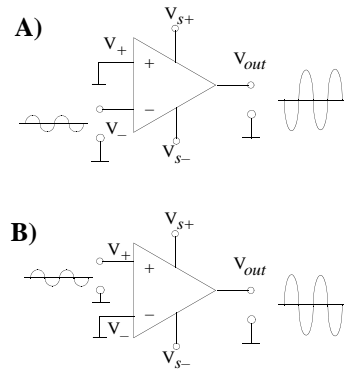
Inngangsmotstand (R_{inn}):

For at kretsen skal belaste signalkilden (f.eks. en mikrofon) minst mulig, ønsker vi at verdien til inngangsmotstanden (R_{inn}) til operasjonsforsterkeren skal være størst mulig, ideelt sett uendelig høy. For $\mu A741$ er denne mellom $300 \text{ k}\Omega$ og $2 \text{ M}\Omega$. Det finnes dessuten andre operasjonsforsterkere som har vesentlig høyere inngangsmotstand.

Verdien til inngangsmotstanden for en virkelig krets er altså ikke uendelig, men ofte tilstrekkelig høy til at vi kan betrakte den som uendelig høy.

Utgangsmotstand (R_{ut}):

Utgangsmotstanden, R_{ut} , til operasjonsforsterkeren er en ekvivalent motstand koblet i serie med kilden inne i kretsen som leverer spenningen V_{ut} på utgangen. Utgangen belastes med *lastmotstanden* eller bare *lasten*, R_L . Lasten kan f.eks. være en høyttaler, en ørepropp eller noe annet. Vi får dermed en spenningsdeling mellom den indre utgangsmotstanden, R_{ut} og den ytre lasten, R_L .



Figur 5.4 Inverterende og ikke-inverterende inngang.



Dermed vil en del av effekten som skulle ha vært levert til lastmotstanden, bli til varme inne i kretsen og ikke komme til nytte. Dersom verdien til den indre motstanden er lav i forhold til den yttre lastmotsanden, vil lite gå til spille. Er den derimot ganske stor i forhold til lastmotstanden, så vil mye av den leverte effekten bli til varme inne i kretsen. Vi ønsker derfor at den indre motstanden på utgangen (R_{ut}) skal ha så liten verdi som mulig og helst 0Ω . For en $\mu A741$ er R_{ut} typisk 75Ω , det vil si at den er relativt høy. Konsekvensen er at utgangen av $\mu A741$ må belastes forsiktig, dvs. lsten må har relativt høy motstand.

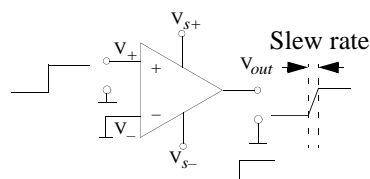
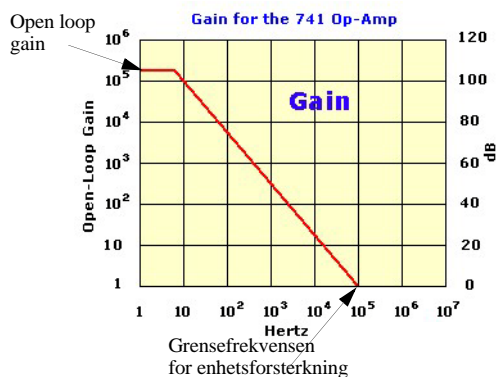
Båndbredde og forsterkning

Båndbredden til en operasjonsforsterker forteller oss noe om hvor høye signalfrekvenser den kan forsterke. Etter som frekvensen til signalet øker, vil forsterkningen avta. Dette er omtrent som for øret vårt. Båndbredden for øret til et nyfødt barn kan være opp mot 20 kHz, dvs. øret kan oppfatte lyder med frekvenser fra ca 16–20 000 Hz. Etter som vi blir eldre vil den øvre grensen avta. Dvs. at ørets båndbredde reduseres.

En måte å måle båndbredden til en operasjonsforsterker på, er finne den frekvensen hvor forsterkningen, A , er lik 1. Ved meget lave frekvenser, eller ved likespenning, så kan forsterkningen for en $\mu A741$ være på typisk 200 000 ganger. Dette er en enorm forsterkning. Men alt ved 100 Hz er forsterkningen falt til ca. 8 000. Etter som frekvensen øker vil forsterkningen avta raskt til signalnivået på inngangen er like sterkt som signalet på utgangen. Da er forsterkningen lik 1. Frekvensen da dette inntreffer, kalles *grensefrekvensen for enhetsforsterkning*. Det ideelle ville ha vært at forsterkning og båndbredde var uendelig.

Slew rate er en annen måte å angi båndbredden til en operasjonsforsterker på. Vi påtrykker da en sprangfunksjon, dvs. vi lar spenningen stige fra 0 V til en eller annen spenning (f.eks. 1 V) i løpet av meget kort tid. På utgangen vil vi da oppdage at spranget ikke er uendelig bratt, men trenger tid til å forandre nivået fra ett spenningsnivå til et annet. Hvor rask denne endringen er, sier noe om båndbredden til kretsen. Evnen til rask endring kalles kretsens *slew rate* og angis som Volt/ μs (dvs. hvor mange volt den klarer å stige fra 0 Volt i løpet av et μs). Målingen er ofte gjort når kretsen er koblet opp med en forsterkning lik 1 (enhetsforsterkning).

Ideelt sett ønsker vi at *slew rate*er uendelig stor, for en $\mu A741$ er den imidlertid $0,5 \text{ V}/\mu s$, som ikke er spesielt raskt, men tilstrekkelig i mange sammenhenger.

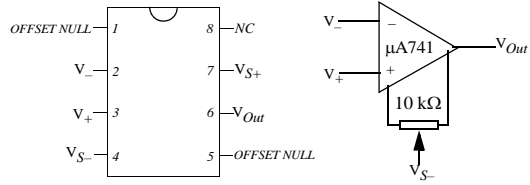




Offset:

Offset er en parameter som skyldes ubalanse i operasjonsforsterkerens interne komponenter på grunn av produksjons-spredning, men kan også skyldes forandring i oppførsel pga. av endringer i temperaturen under vanlig bruk. Dersom vi kobler sammen de to inngangene V_+ og V_- slik at spenningen mellom dem er 0 V, så ville vi forvente at vi på utgangen måler 0 V. Slik vil det imidlertid ikke alltid være. Et avvik fra 0 V vil derfor være et avvik fra det ideelle. Dette avviket kalles *offset*.

Til venstre på figur 5.6 er vist hva som er tilsluttet de ulike beina på kretsen (*pinningen*). Her er det to terminaler som er betegnet *Offset null*. Disse kobles til hver side på et potensiometer som vist til høyre på figur 5.6. Midtuttaket på potensiometeret tilkobles V_{S-} (- på spenningsforsyningen). Ved å justere potensiometeret kan en få 0 V på utgangen.



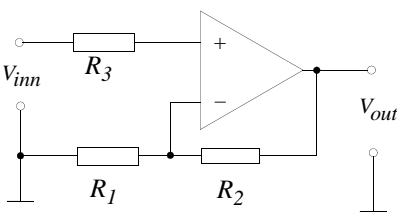
Figur 5.6 Justering av offset.

5.1.2 Praktiske oppkoblinger

Det skjelden vi trenger en forsterkning på 200 000 eller en båndbredde på mange MHz. Vi vil derfor som oftest redusere forsterkningen til ønsket nivå ved å *tilbakekoble forsterkeren*.

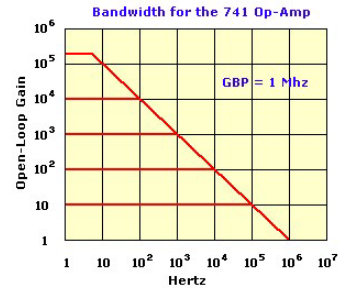
Ved å ta noe av signalet på utgangen og koble det tilbake til den inverterende inngangen, vil forsterkningen reduseres betydelig. Det er som om signalet på utgangen motarbeider signalet på inngangen. Ved bruk av et nettverk av motstander kan vi bestemme akkurat hvor mye av signalet på utgangen som skal kobles tilbake. Graden av tilbakekobling bestemmer hvilken forsterkning kretsen får.

Dessuten øker båndbredden dersom vi reduserer forsterkningen ved hjelp av tilbakekobling. I figur 5.7 ser vi at en forsterkning på 10 gir en båndbredde på ca. 100 kHz.



Figur 5.8 Tilbakekoblet ikke-inverterende forsterker.

Figur 5.8 viser en enkel måte å koble signalet tilbake til inngangen. Forsterkningen er bestemt av forholdet mellom verdiene til motstandene R_1 og R_2 . Siden vi fører signalet inn på +inngangen (via R_3), vil ikke signalet bli invertert. R_3 beskytter inngangen og er relativt ukritisk. Det er imidlertid ikke uvanlig å velge den lik parallellkoblingen av R_1 og R_2 . Den er uten betydning for forsterkningen. For å forenkle figuren har vi tillatt oss å sløyfe batteriene og jordpunktet mellom de to spenningskildene.



Figur 5.7 Sammenhengen mellom båndbredde og forsterkning



Forsterkningen, A , til en slik krets er bestemt av følgende ligning:

$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (5.2)$$

Spenningsforsterkningen A er en tilnærming under forutsetning av at *Open loop* forsterkningen er mye større enn den ønskede forsterkningen A , hvilket den er for lave frekvenser. Etter som frekvensen øker, vil tilnærmingen i lign. (6.1) bli dårligere og dårligere. Dette gir seg utslag i at forsterkningen faller. Vi ser også at verdien til R_1 må gjøres svært stor dersom vi skal få en forsterkning nær 1, hvilket kan gjøre at kretsen blir ustabil.

Ønsker vi en spenningsforsterkning ned mot 1 eller under 1, og vi kan tillate at signalet blir invertert, så er det ofte mer hensiktsmessig å bruke oppkoblingen vist på figur 5.9. Her vil forsterkningen være bestemt direkte av forholdet mellom R_2 og R_1 og gitt av lign. (5.3):

$$A = -\frac{R_2}{R_1} \quad (5.3)$$

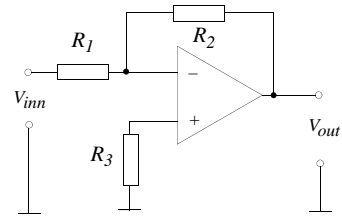
Legg merke til fortegnet som indikerer at forsterkeren inverterer signalet.

Vi legger merke til at ingen av de to forsterkerkoblingene er følsomme for *Open loop* forsterkningen. Om denne er 200 000 eller 300 000 så betyr dette lite for forsterkningen for en tilbakekoblet krets, så lenge spenningsforsterkningen holdes på et akseptabelt lavt nivå. Kretsen er derfor relativt ufølsom for variasjoner i dataene fra krets til krets.

R_3 har ingen betydning for forsterkningen og pleier å velges i området 1 k Ω til 10 k Ω .

Dersom vi ønsker å bygge en inverterende forsterker med en forsterkning på 10. Kan vi typisk velge $R_2 = 10$ k Ω , hvilket skulle gi $R_1 = 1$ k Ω ($A = -R_2/R_1 = -10$).

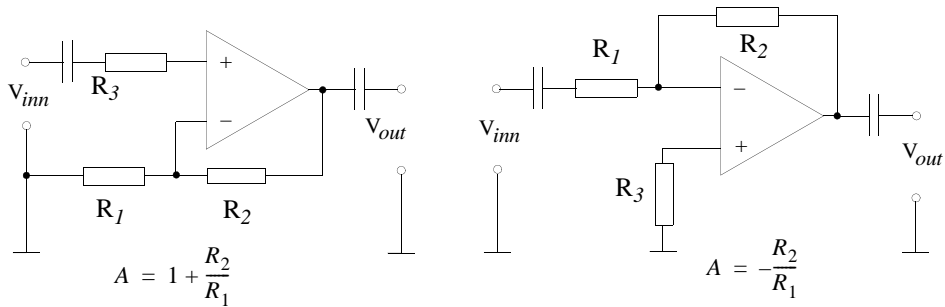
Begge disse forsterkerne er likespenningsforsterkere og vil derfor i teorien fungere fra 0 Hz og oppover. Likespenningsforsterkere har imidlertid en tendens til å endre seg med temperaturen (*temperaturdrift*). Dersom en ikke har behov for å forsterke likespenning, kan det være greit å



Figur 5.9 Tilbakekoblet inverterende forsterker.



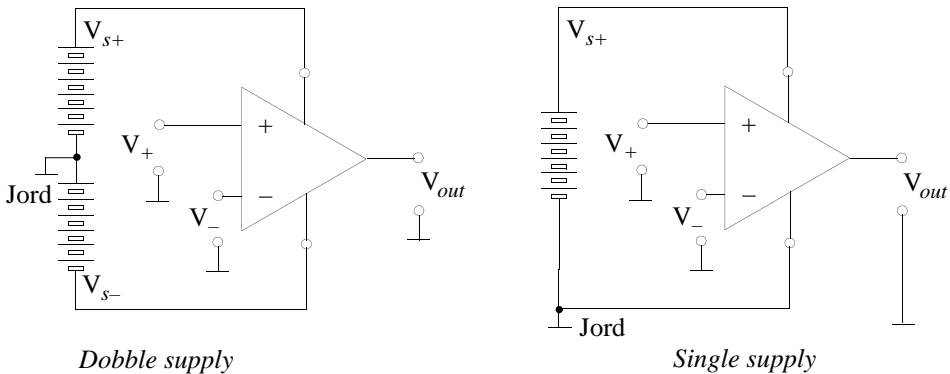
sette en kondensator i serie med inngangen. Da unngår en temperaturdrift, men kretsen vil ikke fungere for likespenning og for lave frekvenser.



Figur 5.10 Ikke inverterende og inverterende forsterkerkobling med kondensator på inn- og utgang.

5.1.3 Forsterker med enkel spenningsforskyning

Så langt har vi sett på forsterkere med dobbel spenningsforskyning. Noen ganger kan dette være praktisk dersom en ønsker å levere en meget lavfrekvent spenning som varierer omkring 0 V. Andre ganger vil en foretrekke å bruke bare en spenningskilde og kan til gjengjeld tillate at utgangsspenningen varierer omkring en spenning forskjellig fra 0 V. Alt det vi har sagt foran vil gjelde også for en operasjonsforsterker som er beregnet på en enkelt spenningsforskyning, eller *single supply*. Figuren under viser de to variantene.



Eksempler på single supply operasjonsforsterkere er:

- CA3130
- TS920 (dobbel)



5.1.4 Komparatoren

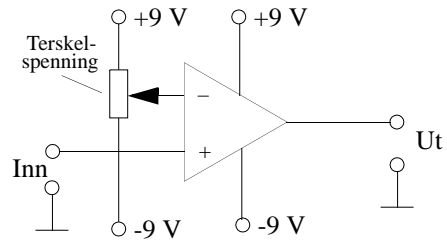
En komparator er en elektronisk krets som sammenligner en spenning på inngangen med en på forhånd innstilt terskelspenning. Når spenningen på inngangen overstiger terskelen, vil utgangen f.eks. gå fra 0 V til maksimal spenning (9 V).

La oss se på et konkret eksempel.

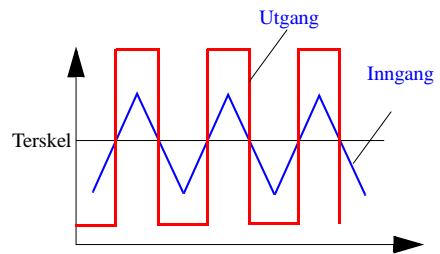
Figur 5.11 viser en komparator hvor minus-inngangen er koblet til et potensiometer. Ved hjelp av potensiometeret kan vi sette komparatorens *terskelspenning*. Pluss-inngangen tilkobles spenningen vi ønsker å sammenligne med terskelen. Spenningsnivået på utgangen vil fortelle oss om spenningen på inngangen er over eller under terskelspenningen.

I vårt eksempel vil spenningen på utgangen være f.eks. +9 V dersom inngangsspenningen passerer terskelspenningen. Om inngangsspenningen er under terskelspenningen vil utgangsspenningen være nær -9 V.

viser hvordan utgangsspenningen mellom + og -9V idet trekanspenningen på inngangen passerer terskelspenningen.



Figur 5.11 Oppkobling av komparator

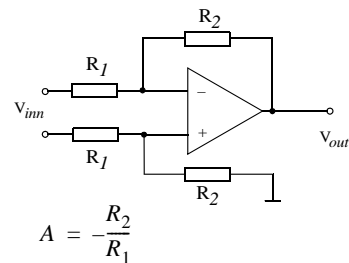


Figur 5.12 Inn- og utgangsspenning for komparatoren med terskelspenning som vist.

5.1.5 Differensialforsterkeren

Mens de to koblingene vi studerte i forrige avsnitt forsterker et signal referert til jord, så vil en differensialforsterker forsterke et signal eller en likespenning mellom to punkter adskilt fra jord. Dette vil være spesielt aktuelt når vi skal bruke forsterkeren til målinger som vi skal se i forbindelse med bygging av en målebro. Siden operasjonsforsterkeren i utgangspunktet forsterker spenningen som ligger mellom de to inngangene V_+ og V_- , så skulle en tro at denne forsterkeren var godt egnet som differensialforsterker. Oppkobling vist på figur 5.13 vil da også fungere, men vil ha en del ulemper.

Dersom vi ønsker å endre forsterkningen så må to av motstandene endres. Enten begge R_1 eller begge R_2 . Videre vil kretsen ha en relativt lav inngangsmotstand, som i noen sammenhenger kan være et problem.

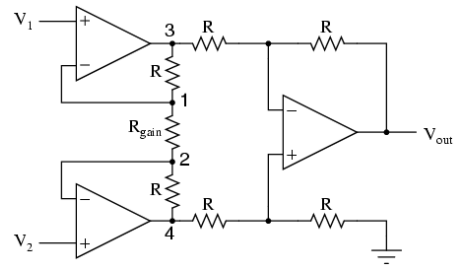


$$A = -\frac{R_2}{R_1}$$

Figur 5.13 Differensialforsterker med én operasjonsforsterker.

Begge disse problemene kan lett løses ved å bruke tre forsterkere koblet opp som vist på figur 5.14¹³. Denne koblingen kalles en *instrumenteringsforsterker*

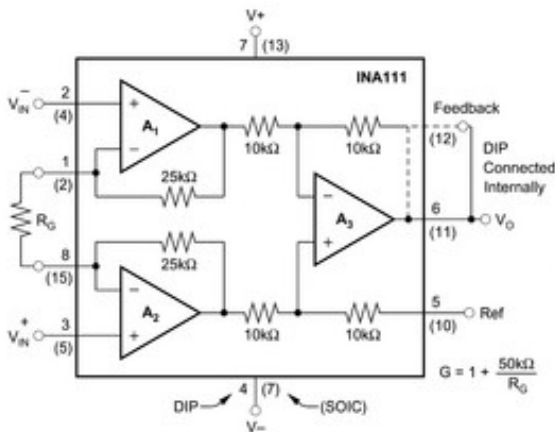
Forsterkningen i kretsen kan endres kun ved å endre R_{gain} . Dessuten er hver av de to inngangene til differensialforsterkeren buffret slik at verdien til inngangsmotstanden på instrumentforsterken blir høy.



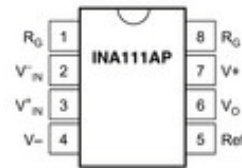
$$A_v = \left(1 + \frac{2R}{R_{gain}}\right)$$

Figur 5.14 Differensialforsterker med tre operasjonsforsterkere.

Det er slett ikke nødvendig å koble opp tre slike forsterkere for å få en instrumentforsterker. De finnes ferdig oppkoblet som integrerte løsninger på én brikke. En-stykkprisen for en slik krets hos ELFA er ca. kr. 100,00.



INA111 (Burr Brown)



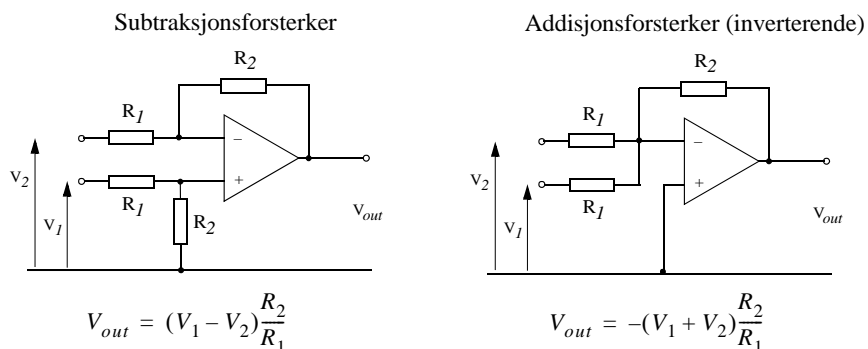
Figur 5.15 Integrert differensialforsterker fra Burr-Brown.

13. Stoffet til dette avsnittet er hentet fra http://www.opamp-electronics.com/tutorials/the_instrumentation_amplifier_3_08_10.htm



5.1.6 Subtraksjons- og summasjonsforsterkere

Operasjonsforsterkeren egner seg dessuten godt både for å subtrahere to signaler fra hverandre, eller å legge sammen to (eller flere signaler) signaler. Figuren under gjengir to koblinger som fungerer slik.



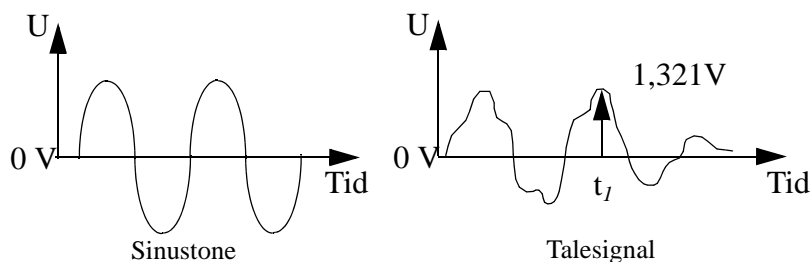
5.2 AD-konverteren - fra analoge til digitale signaler

Analog til digitalkonvertere (AD-konvertere) er viktige komponenter for å omdanne analoge signaler til digitale tallverdier. La oss først se litt på *sampling* og hva *digital representasjon* av et signal er.

5.2.1 Sampling

Vi tenker oss at vi ønsker å måle spenningen på et batteri. Vi tar da et voltmeter som f.eks. gir oss en verdi lik 4,32 V. Om vi kunne måle nøyaktig nok, kunne vi tatt med flere siffer etter komma.

I stedet for å måle spenningen på et batteri, kan vi tenke oss å måle spenningen til et lydsignal eller en sinustone. Disse vil være kontinuerlige og varierende signaler som i prinsippet kan inneholde alle mulige signalnivåer, eller om vi omdanner dem til elektriske signaler, kan inneholde alle mulige spenningsnivåer.

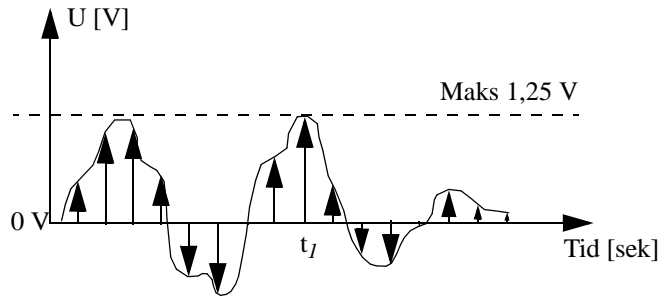


Figur 5.16 Eksempler på kontinuerlige og varierende signaler.



Dersom vi på et gitt tidspunkt måler amplitudeverdien til signalet (*øyeblikksverdien*), kan vi f.eks. tenke oss at vi måler verdien 1,321 V. Vi kan til og med tenke oss at vi måler kontinuerlig. Da vil vi få en strøm av tall som endrer seg hele tiden i takt med signalnivået (*øyeblikksverdiene*).

Normalt har vi ikke behov for å måle hele tiden, men i enkelte punkter. Dette kalles å *punktprøve* eller "*sample*" signalet. på denne måten gjør vi om et kontinuerlig variende signal (analogt signal) til en rekke enkelt verdier eller tall (digitalt signal).



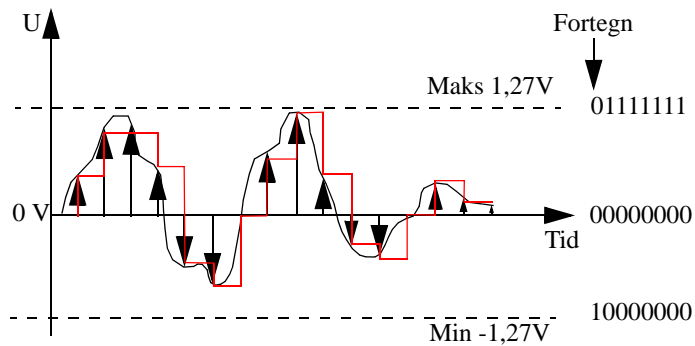
Figur 5.17 Punktprøving av et kontinuerlig signal.

En kan nå spørre seg hvor ofte må vi punktprøve et signal, for at vi senere skal være istand til å gjenskape det analoge signalet mest mulig nøyaktig .

Uregelmessige signaler, som f.eks. tale inneholder mange forskjellige frekvenser. Dersom vi ønsker å gjenskape signalet "eksakt" må vi minst punktprøve signalet dobbelte fort som den høyeste frekvensen signalet inneholder. Skal vi f.eks. punktprøve en sinus med en frekvens på 1000 Hz, må vi sample denne med en frekvens på minst 2000 sampler i sekundet. Skal vi punktprøve et talesignal som inneholder frekvenser fra 150 - 2 500 Hz, må vi minst bruke en punktprøveshastighet på 5 000 punktprøver i sekundet.

Skal vi gjenskape et analogt signalet som er punktprøvd med en punktprøvningsrate som er det dobbelte av den høyeste frekvensen i signalet, trenger vi et **ideelt** lavpassfilter med en båndbredde på 1000 Hz, som er nesten umulig å lage. En pleier derfor å *oversample* signalet, slik at kravet til filteret reduseres og lar seg realisere. En vil derfor punktprøve et signal på f.eks. 1000 Hz med en samplingsfrekvens på 3000 Hz.

I eksemplet over har vi tenkt oss at vi opererer med mange siffer etter komma for å få avlesningen så nøyaktig som mulig. Dette er ofte ikke nødvendig. Det kan f.eks. være tilstrekkelig å ta med to siffer etter komma, i tillegg til at vi begrenser signalnivået på inngangen til maksimalt +/- 1,25 V. Dermed trenger vi ikke å angi signalet med mer enn 250 ulike nivåer.



Figur 5.18 Velger nærmeste nivå med en nøyaktighet på to siffer etter komma



Vi ønsker dessuten å angi signalnivået i det binære tallsystemet. Vi vet da at vi må operere med 8 bit for at vi skal kunne angi minst 250 nivået. 8 bit klarer å angi $2^8 = 256$ ulike nivåer. Noen ganger ønsker vi dessuten at høyeste digitale siffer angir fortegnet. Et ett tall i høyeste siffer angir negative verdier og en null, positive verdier.

Vi ønsker dermed at signalverdien 0 V skal

	A)		B)	
angis med tallet 00000000. Signalverdien 10 mV med tallet 00000001, 20 mV med tallet 00000010 osv. Tilsvarende vil signalverdien -0.10 mV angis med tallet 10000001, verdien -20 mV med tallet 10000010 osv. som vist i figur 5.19. A.	+ 1,27 V -	0111 1111	+ 1,27 V -	0111 1111
	+ 0,03 V -	0000 0011	+ 0,03 V -	0000 0011
	+ 0,02 V -	0000 0010	+ 0,02 V -	0000 0010
	+ 0,01 V -	0000 0001	+ 0,01 V -	0000 0001
	0,00 V -	0000 0000	0,00 V -	0000 0000
	- 0,01 V -	1000 0001	- 0,01 V -	1111 1111
	- 0,02 V -	1000 0010	- 0,02 V -	1111 1110
	- 0,03 V -	1000 0011	- 0,03 V -	1111 1011
	- 1,27 V -	1111 1111	- 1,27 V -	1000 0000

Toer's komplement

Det er imidlertid vanligere å bruke såkalt

toer's komplement (two's complement). Også i dette tilfellet angir det mest signifikante siffer (MSB - lengst til vestre) fortegnet, 0 positivt heltall, 1 negativt heltall. Det minst positive tallet større enn 0 er i vårt tilfelle 0000 0001. Det minst negative tallet vil som vi så tidligere være 1000 0001. I toer's komplement vil imidlertid det minst negative tallet bli 1111 1111 (figur 5.19 B). Årsaken til at vi ofte bruker denne notasjonen for binære negative heltall, er at vi *slipper å tenke på tallets fortegn når vi adderer eller subtraherer binære tall*. Det vil gå av seg selv.

Toer's komplement for et negativt heltall lages ved at vi tar det tilsvarende positive binære heltallet og inverterer alle sifrene (0 => 1 og 1 => 0). Dernest legges 1 til tallet vi da får og vi har fått den negative verdien av tallet representert ved toer's komplement.

La oss se et eksempel på hvordan AD-konverteringen kan gjøres i praksis.

5.2.2 AD-konverteren

Det finnes mange måter dette kan gjøres på. Vi skal her se på en som er den enkleste og raskeste, men også den dyrest: *Flash konverteren*.

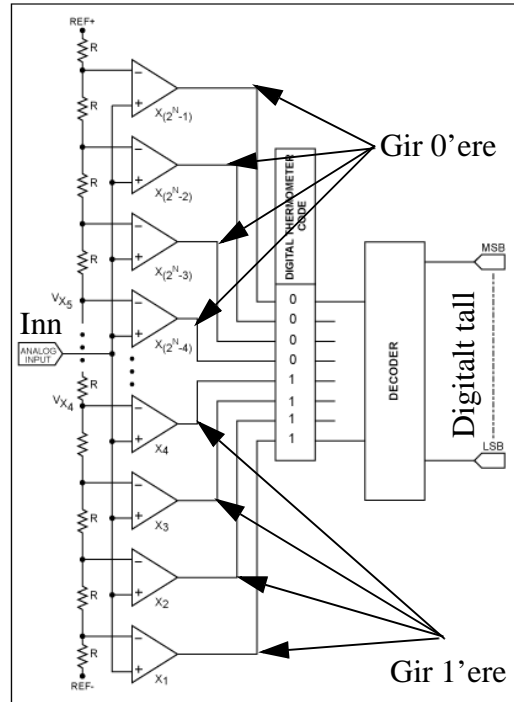
Signalet føres parallelt inn til en rekke komparatorer. Tersklinngangen til den enkelte komparatoren er koblet til en rekke av seriekoblede motstander som setter terskelverdiene til hver av komparatorene til riktig nivå. Tar vi utgangspunkt i eksempelet vårt hvor spenningsområdet -1,27–+1,27 deles opp i 255 ulike nivåer, så må forskjellen mellom hver terskelverdi være 0,01 V.



Dersom signalet inn på en komparator overskrider komparatorens terskelverdi, settes utgangen til 1 (dvs. høy spenning f.eks. 5 V). Om den er under terskelen, settes utgangen til 0 (dvs. lav spenning f.eks. 0 V). Alle komparatorer som har et referansenivå som er lavere enn det innkommende signalet, gir 1'ere (nederst), og alle komparatorer som har et referansenivå høyere enn det innkommende signalet gir 0'ere (øverst). Deretter følger en dekode som omdanner rekken av 0 og 1 til et digitalt tall som antydnet i figur 5.19.

En AD-konverter av denne typen som skal kunne skille mellom 256 forskjellige nivåer, må ha 256 komparatorer. Dekoderen gjør om de 256 0'erne og 1'erne til 8 bit som er tallet som angir spenningsnivået på inngangen. Om 8 bit gir for dårlig nøyaktighet, så finnes det AD-konvertere med både 10, 12, 14 og 16 bit.

AD-konverteren i CaSat er av en litt annen type, som er enklere og billigere, men ikke på langt nær så rask som denne.



Figur 5.20 Flash A/D-konverter





6 Sensorer

I denne delen skal vi se på ulike typer sensorer for bruk i mange sammenhenger. Noen av dem vil egne seg for å inkludere i CanSat. Beskrivelsen er langt fra komplett.

Det finnes en rekke leverandører av sensorer. Følgende kan være vært å oppsøke:

- **ELFA:** <http://www.elfa.se>
ELFA er et svensk komponentfirma som leverer raskt, men som ikke nødvendigvis er billigst. Har en meget oversiktig og fyldig nettbutikk.
- **RS Norway:** <http://no.rs-online.com/web/home.html>
RS er et internasjonalt firma med en norsk filial. Firmaet er primært et komponentleverandør, men leverer raskt og greit. Har en fyldig nettbutikk.
- **Robonor:** <http://www.robonor.no/mag/default/>
Dette firmaet har spesialisert seg på det norske hobbymarkedet med vekt på Arduino produkter.
- **Robot Electronics:** <http://www.robot-electronics.co.uk/index.html>
Er et engelsk firma som har spesialisert seg på robotkomponenter for hobbybruk og Arduinokomponenter.
- **Sparkfun Electronics:** <http://www.sparkfun.com/categories/23?page=1>
Dette er et amerikansk firma som leverer alle mulige sensorer, ofte leverte på små kort med digitalt grensesnitt som lett lar seg integrere med mikrokontrollere.
- **Tech supplies:** <http://www.rev-ed.co.uk/picaxe/>
Er et engelsk firma som leverer billige komponenter spesielt rettet mot PICAXE-moduler. Utvalget er relativt besjedent, men prisene er lave.

La oss kort oppsummere prosessorens grensesnitt:

6.1 Kontrollkortets og sensorkortets grensesnitt (CanSat)

6.1.1 Analogt grensesnitt:

Tre av de åtte analog til digitalkonverterne (ADC) (10 bit) er gjort lett tilgjengelig på det medfølgende sensorkortet, hvor to er benyttet til temperatur- og trykksensoren. ADC har følgende spesifisering:

- 8 multipleksede innganger
- Spenningsområde: 0 – 5V (når $V_{cc} = 5\text{ V}$)
- Oppløsning: 10 bit, dvs. $\approx \pm 10\text{ mV}$ ($\pm 2\text{ LSB}$)
- Konverteringstid: $< 230\ \mu\text{s}$ (13 – 230 μs) dvs. maks 76,9 ksps (kilo samples pr. sekund) med begrenset oppløsning.

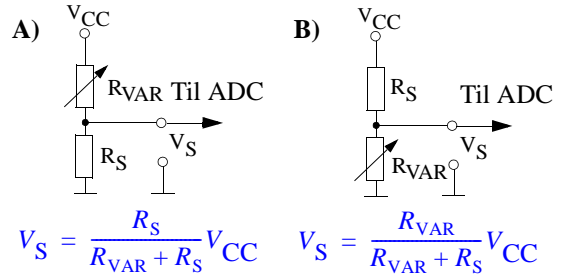


Spenningen inn på ADC'en måles mellom inngangen og jord. Enkelte sensorer vil også ha behov for supplyspenningen ($V_{CC} = 5\text{ V}$) som er gjort tilgjengelig på sensorkortet. For nærmere diskusjon se omtalen av de enkelte sensorene og databladet for mikrokontrolleren [4] side 245.

Spenningsdeleren:

Mange sensorer er rent resistive. Dvs. at det aktuelle fenomenet (temperatur, fuktighet, trykk osv.) endrer sensorens indre resistans eller ledningsevne. Noen sensorer har inkludert elektronikk som konverterer endring i ledningsevne til en endring i spenning. Enklere sensorer krever ofte bruk av en spenningsdeler til å utføre konverteringen fra endring i resistivitet til endring i spenning. En slik spenningsdeler

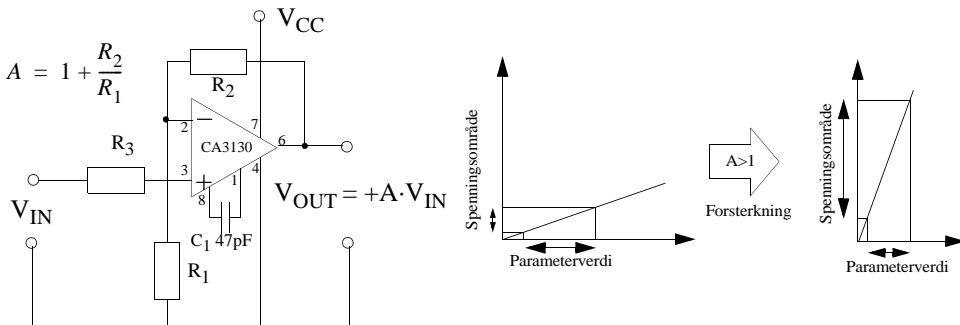
er vist på figuren til høyre. R_{VAR} er motstanden som avhenger av den aktuelle parameteren, mens R_S er en valgt fast seriemotstand. V_{CC} er batterispenningen. Ved hjelp av ligningene kan en bergne spenningen ut av spenningsdeleren når motstandsverdiene er kjent.



Økt dynamisk område (forsterkning):

Enkelte sensorer kan ha relativt liten variasjon innenfor parameterens aktuelle variasjonsområde. F.eks. kan vi være interessert i å måle temperaturer mellom 0 og 30°C , hvilket igjen kan gi en spenningsvariasjon på f.eks. 300 mV. Siden det maksimale utslaget til ADC'en er hele 5 V vil vi dermed bare utnytte en liten del av ADC'ens totale område. Vi sier at vi ikke får utnyttet ADC'ens *dynamiske område* (0–5V). Dette kan vi bøte på ved å forsterke signalet. Med en forsterkning på 10x vil en variasjon på 300 mV bli til 3 V. Dermed får vi utnyttet ADC'en bedre.

I denne sammenhengen er det praktisk å benytte integrerte *operasjonsforsterkere* som leveres i mange utgaver. Dette er små allsidige forsterkerelementer som kan brukes på mange ulike måter. Les mer om operasjonsforsterkere i vedlegg 5.1



Forsterkningen, A , bestemmes av motstandene R_1 og R_2 ut fra formelen:



$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (6.1)$$

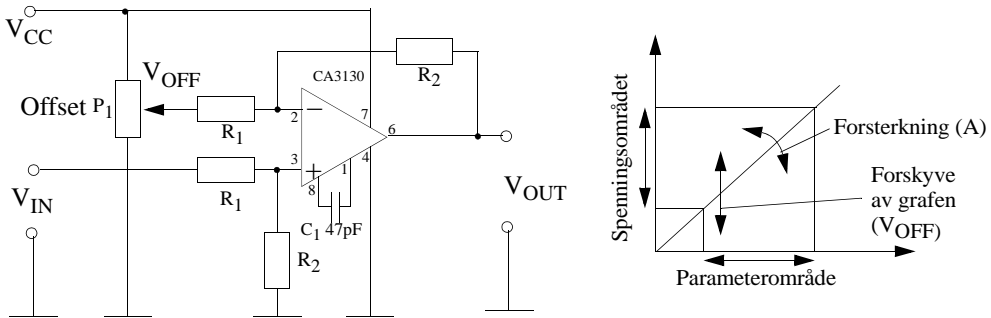
R_3 er relativt ukritisk, men det kan være gunstig å velge denne lik parallellkoblingen av R_1 og R_2 .

$$R_3 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (6.2)$$

I eksempelet over er vist en *ikke inverterende forsterker*. Noen ganger kan det være enklere å benytte en inverterende forsterker (se vedlegg 5.1). I dette eksempelet er benyttet operasjonsforsterker CA3130 en vel så egnet forsterker er TS912¹⁴ som inneholder to like forsterkere.

Forskyve nullpunktet (offset)

I tillegg til å øke forsterkningen kan vi ha behov for å forskyve nullpunktet til spenningen fra sensoren. Dette kan gjøres ved å trekke fra eller legge til en spenning. På figuren til høyre trekker vi spenningen V_{OFF} fra V_{IN} i tillegg til at vi forsterker signalet.



Forsterkningen, A , er gitt av ligning (6.3):

$$A = -\frac{R_2}{R_1} \quad (6.3)$$

Dermed får vi:

$$V_{OUT} = A \cdot (V_{IN} - V_{OFF}) \quad (6.4)$$

I dette eksempelet er V_{OFF} justerbar med et potensiometer P_1 .

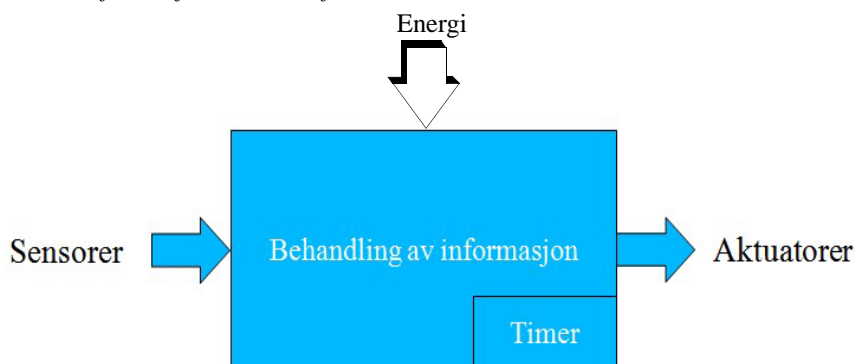
14. Benyttet ved NAROM.



6.2 Innledende betraktninger om sensorer

6.2.1 Hva er en sensor?

La oss først sette sensoren inn i en sammenheng. På figuren under ser vi i midten en enhet for *behandling av informasjon*. Til venstre *sensorer* og til høyre *aktuatorer*. En sensor er en enhet som registrerer kvantiteten til en fysisk størrelse i omgivelsene (f.eks. temperatur, lysstyrke, trykk o.l.), mens en aktuator er i denne sammenheng, en innretning som utfører en aksjon (f.eks. tenner lys, åpner en dør, lager en lyd, viser bilde o.l.). I noen tilfeller finnes en klokke (timer) som f.eks. gjør at aksjoner utsettes i tid. I tillegg må systemet tilføres energi (f.eks. fra batter, solceller, strømmettet e.l.). *Behandlingsenheten bestemmer hvilken aksjon aktuatorene skal utføre og til hvilken tid på bakgrunn av informasjon innhentet fra sensorene.*



Nesten uansett hvilken mekanisk, elektrisk eller elektronisk hjelpemiddel vi tar for oss så kan det puttes inn i denne modellen. La oss se på noen eksempler som drar definisjonen på sensor langt.

- **Strykejernet** “sensor” kan være av/på bryteren og termostaten. Aktuatoren er varmeelementet som gjør at jernet blir varmt.
- **Radioens** “sensorer” er antennen som fanger opp radiosignalene. Det kan også være alle knappene som styres av lytteren. På bakgrunn av informasjonen fra antenne og knapper, gir den ut et hørbart signal, som i denne sammenhengen er lydssignaler i høyttaleren (aktuatoren).
- **Den automatiske døråpneren** har gjerne en bevegelsessensor som registrerer at noen nærmer seg døra. Denne informasjonen behandles og systemet bestemmer at motorer eller hydraulikk (aktuator) skal åpne dørnene.
- **Trafikklys** kan være et eksempel på et system hvor sensordelen kan være noe uklare dersom lyset kun slavisk gjennomgår en sekvens. Dette blir enklere dersom det er knapper for å be om grønt lys for fotgjengere eller magnetfeltsensorer i gatelegemet som registrerer kjøretøyer. Aktuatoren er lysene og ev. lydssignaler for fotgjengere.

Finn gjerne flere eksempler og diskuter hvor grensen bør gå for hva vi kan kalle en sensor.

Definisjon på sensor og aktuator

Følgende er et forsøk på en forenklet definisjon på en sensor og en aktuator:

**Definisjon av sensor:**

En *sensor* er en transduser som omdanner én fysisk størrelse til en annen fysisk størrelse som gjerne er elektrisk målbare.

Definisjon av aktuator:

En *aktuator* er en transduser som omdanner én fysisk størrelse (ofte elektrisk) til en annen fysisk størrelse som kan utføre en oppgave eller et mekanisk arbeid.

Veien fra en fysisk størrelse kan noen ganger være kronglete. Lista under viser eksempler på mulige veier fra den fysiske størrelsen til et målbart signal.

En fysisk størrelse, det være seg lys, temperatur, lyd, partikler eller noe annet, vil i sensoren omdannes til en av størrelsene til venstre i lista under:

Fra fysisk størrelse → endring i:

- resistans → spenning/strøm
- induktans → resonanskrets → frekvens/fase (telling eller tid)
- kapasitans → resonanskrets → frekvens/fase (telling eller tid)
- piezo-resistivitet → spenning
- piezo-elektrisk (spenning)
- utvidelse (elastisitet) → resistivitet → spenning
- temperatur (termisk) → resistivitet/ledningsevne → spenning/strøm
- bevegelse → telling eller tid

Selv om vi den fysiske størrelsen skaper en endring i resistivitet eller kapasitet eller lignende, så er ikke dette noe vi uten videre kan måle. Vi må ofte gå veien om måling av *strøm*, en *telling* eller måling av *tid*. Disse vil så kunne representere den opprinnelige størrelsen.

6.2.2 Egenskaper ved sensorer

Sensorer kan karakteriseres med ulike parametere, her er de viktigste:

Måleområde:

Måleområdet til en sensor er området mellom minste og største verdi av den målte størrelsen som ikke gir større avvik enn det vi kan tillate. Øker vi tillatt avvik mellom målt verdi og virkelig verdi, kan som oftest måleområdet utvides. *F.eks. kan -25 °C til +125 °C være måleområdet for en temperatursensor. Innen dette området skal ikke avviket fra den virkelige verdien være større enn ± 2°C.*

Oppløslighet:

Dette er den minste målbare verdi av den fysiske størrelsen som sensoren er i stand til å registrere, og uttrykkes gjerne som en prosentandel av sensorens totale måleområde. *F. eks. kan 0,15 °C være en minste forskjell som en temperatursensor kan måle. Av et måleområde på 150°C vil dette gi en oppløselighet på 1%.*

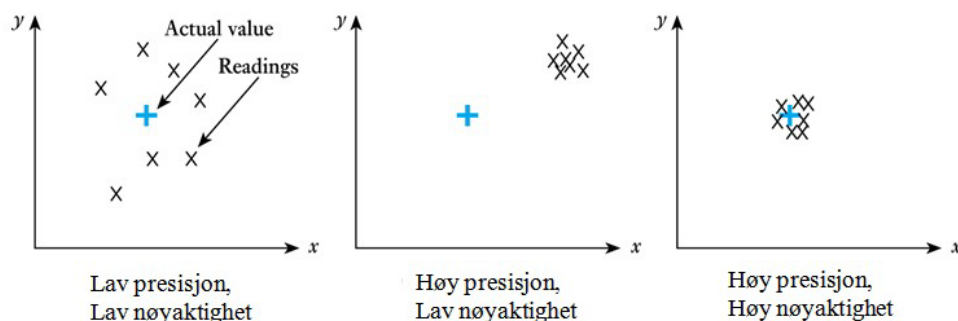


Målefeil:

Målefeilen er forskjellen mellom målt verdi og virkelig verdi. En målefeil kan deles inn i *tilfeldige* og *systematiske* feil. Tilfeldige feil er ofte spredt omkring den riktige verdien og hyppigheten vil avta når avstanden til den riktige verdien øker. Tilfeldige feil vil ha en middelverdi nær den riktige verdien. Systematiske feil er spredt omkring et målepunkt som ligger tilside for den riktige verdien. Midling av flere målinger vil derfor ikke gi riktigere verdier.

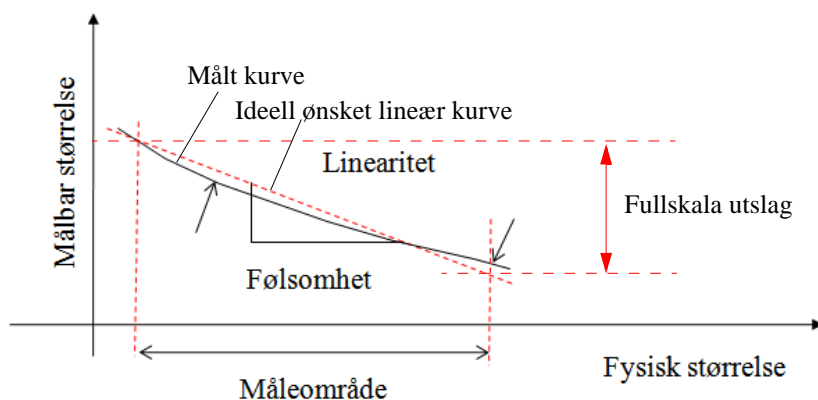
Presisjon og nøyaktighet:

Figuren under viser forskjellen på en måleseries *presisjon* og *nøyaktighet*.



Linearitet:

Ofte er det praktisk at det er en *lineær* sammenheng mellom verdien til den fysiske størrelsen og signalet ut av sensoren. Dette er ikke alltid tilfelle. Men heller ikke en sammenheng som i utgangspunktet skal være det vil være i praksis være helt lineær. Figuren under viser hvordan en kurve avviker fra den lineære ønskede verdien.



Vi ser at den målte kurven avviker fra den ideelle. Dette avviket måles mellom maksimale avvik på begge sider av den lineære kurven. Avviket angis i prosent av *fullskala verdien*.



Følsomhet:

Følsomheten til en sensor angis som endring av signalet ut av sensoren for en gitt forandring av den fysiske størrelsen inn på sensoren (se figuren over). *F.eks. kan en temperatursensor ha en følsomhet på 10 mV/°C.*

6.3 Temperaturfølsomme sensorer

I dette avsnittet skal vi se hvordan vi kan måle temperatur. Dette kan enten gjøres ved å benytte en resistiv sensor hvor motstandsmaterialet i resistoren endrer seg med temperaturen. Eller hvor det aktive materialet er en halvleder som endrer ledningsevne med temperaturen. Mens noen temperatursensorer kun består av en motstand/halvleder, inkluderer andre elektronikk og kan levere en spenning som varierer med temperaturen.

6.3.1 Temperaturfølsom motstand (NTC og PTC -motstander)

Metaller vil normalt ha økende resistans med økende temperatur. I et halvledermateriale vil flere ladningsbærere løftes opp i ledningsbåndet slik at ledningsevnen går opp, dvs. at resistansen blir mindre.

De fleste motstandsmaterialer endrer resistans som funksjon av temperaturen. Som regel er dette uønsket, men i noen spesielle tilfeller ønsker man nettopp en slik varisjon og utformer komponenten og materialet deretter. Slike motstander brukes også i forbindelse med måling eller deteksjon av temperaturendringer, eller til å motvirke uønsket temperaturdrift i elektronisk utstyr.

- NTC - Negative Temperatur Coefficient, dvs. at resistansen avtar med økende temperatur.
- PTC - Positive Temperatur Coefficient, dvs. at resistansen øker med økende temperatur.

NTC-motstanden

NTC-motstander er laget av et materiale hvis resistivitet varierer sterkt med temperaturen. Som navnet sier (Negative Temperature Coefficient - NTC) så avtar resistansen med økende temperatur.

NTC-motstander er derfor vanligvis bygget opp som en polykrytalinsk *halvleder* som kan bestå av en blanding av krom, mangan, jern, kobolt og nikkel, som sintres¹⁵ sammen med et plastisk bindemiddel.

En forenklet sammenheng mellom resistansen (R) og temperaturen (T) kan uttrykkes som:

$$R = Ae^{B/T} \quad (6.5)$$

hvor A og B er “konstanter” bestemt av materialet og temperaturen. Konstantene kan betraktes som *tilnærmet konstante* innen begrensede temperaturområder.

15.Sintring betyr at metallpulver knyttes sammen ved hjelp av oppvarming, men uten å smelte.



I datablader for NTC-motstander oppgis gjerne resistansen (R_r) for en referansetemperatur (T_r). I et temperaturområde rundt denne referansetemperaturen antas B -verdien å være tilnærmet konstant ($B_{25/85}$ – B -verdien er tilnærmet konstant innen området 25°C til 85°C).

Vi kan da sette opp følgende:

$$R = Ae^{\frac{B_{25/85}}{T}} \quad (6.6)$$

$$R_r = Ae^{\frac{B_{25/85}}{T_r}} \quad (6.7)$$

Ved å eliminere A fra disse uttrykkene, kommer vi fram til følgende sammenheng, løst med hensyn til resistansen R :

$$R = R_r \cdot e^{\left(\frac{B_{25/85}}{T} - \frac{B_{25/85}}{T_r}\right)} \quad (6.8)$$

Dette uttrykket går under betegnelsen *Beta-formelen*.

Når vi skal beregne verdien for en NTC-motstand ved en gitt temperatur, slår vi opp B -verdien, R_r og T_r i databladet, sørger for at de aktuelle temperatuere ligger innenfor området til B -verdien, og beregner R ved å sette inn ønsket temperatur T . Temperaturen angis i grader Kelvin.

Fra databladet¹⁶ for RH16 finner vi følgende: R_{25} er referansemotstand (R_r) ved 25 °C ($T_r = 298$ K):

		R_{25}				$B_{25/50}$	$B_{25/85}$	τ [sek]
RH16	3G202 * *	2k Ω	○	○	○	3,450K \pm 1%	3,488K	6
	6D502 * *	5k Ω	○	○	○	3,930K \pm 1%	3,941K	6
	3H103 * *	10k Ω	○	○	○	3,450K \pm 1%	3,486K	6
	6E103 * *		—	○	○	3,950K \pm 1%	4,001K	6
	3U503 * *	50k Ω	○	○	○	3,950K \pm 1%	4,025K	6
	3U803 * *	80k Ω	○	○	○	3,950K \pm 1%	4,025K	6
	4A104 * *	100k Ω	—	○	○	4,020K \pm 1%	4,099K	6
	4L304 * *	300k Ω	—	○	○	4,550K \pm 1%	4,629K	6

Figur 6.1 Datablad for NTC-motstand RH16, 2–300 k Ω

Med disse dataene kan vi skrive:

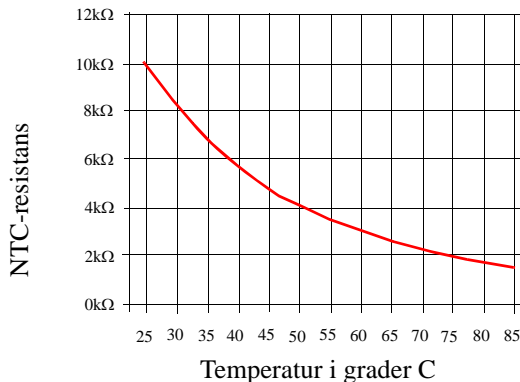
$$R = 10k \cdot e^{\left(\frac{3486}{T} - \frac{3486}{298}\right)} \quad (6.9)$$

hvor $B_{25/85} = 3486$ (RH16 – 10 k Ω) og referansetemperaturen $T_r = 298$ K.

16. Databladet er hentet fra: <http://www.elfa.se/pdf/60/06027916.pdf>



Dersom vi beregner verdier for R i temperaturområdet 25° – 85°C , får vi følgende graf:



Figur 6.2 NTC resistans som funksjon av temperaturen RH16 10 kΩ

En annen viktig parameter for NTC-motstander, er hvor raskt resistansen endrer seg med temperaturen. Denne parameteren betegnes *NTC-motstandens tidskonstant* (τ), og angir den tiden det tar for resistansen og endre seg til 63,2 % av den nye resistansen etter at temperaturen har endret seg 1 K (Kelvin) over omgivelsestemperaturen. En antar at temperaturendringen ikke er forårsaket av indre oppvarming på grunn av elektrisk strøm som flyter gjennom motstanden.

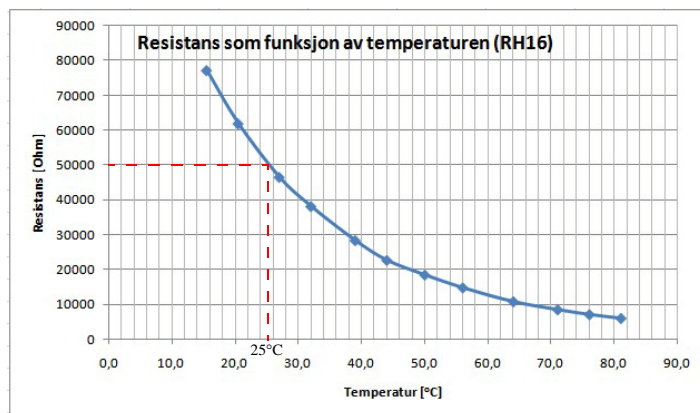
I vårt eksempel er $\tau = 6$ sek. (se tabellen i figur 6.1). Dette er kanskje en av de største ulempene med denne teknologien, den har relativ lang tidskonstant.

Kalibrering

Vi har gjort målinger på RH16 – 50 kΩ og fått følgende kurve.

Målingen ble gjort med et Ohm-meter. NTC-motstanden ble senket ned i et glass med ca. 2 dl springvann oppvarmet med en vannkoker før det fikk lov til å kjøle seg i romtemperatur. Vi ser at ved 25°C er verdien omtrent 50 kΩ som spesifisert i databladet.

En datalogger vil også kunne benyttes.



Figur 6.3 Resistans som funksjon av temperatur for RH16 – 50 kΩ

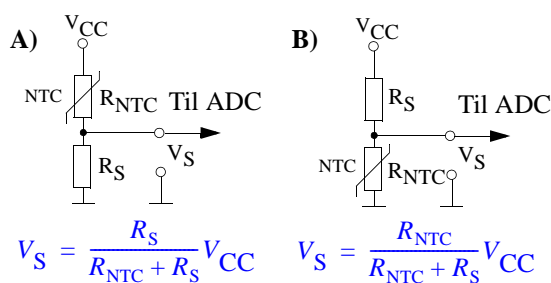


En kan gjøre et lignende regnestykke for NTCLE101E3..... termistoren (VISHAY)¹⁷. De strategiske parametrene for denne typen er vist i tabellen under.

ELECTRICAL DATA AND ORDERING INFORMATION							
R_{25} (Ω)	$\Delta R_{25}/R_{25}$ (%)	R_{85} (Ω)	$\Delta R_{85}/R_{85}$ (%)	$B_{25/85}$ (K)	$\Delta B/B$ (%)	CATALOG NUMBER 2381 640	SAP MATERIAL NO. NTCLE101E3.....
4700	2.19	503.1	1.58	3977	0.75	10472	472SB0
10 000	2.19	1070	1.58	3977	0.75	10103	103SB0
47 000	2.23	4721	1.64	4090	1.5	10473	473SB0
100 000	2.29	9496	1.72	4190	1.5	10104	104SB0

Oppkobling mot ADC

Siden grensnittet til kontrolleren krever en spenning, kobles NTC-motstanden i serie med en motstand som vist i figuren under. Velg verdien på seriemotstanden lik den nominelle verdien på NTC-motstanden (R_{25}). Spennings nivået V_S beregnes fra formlene som tydet på figuren under. Legg merke til at oppkoblingen på tegning A gir økende spenning V_S med økende temperatur, mens oppkoblingen i tegning B gir fallende spenning med økende temperatur.



På bakgrunn av ligningene foran kan en utvikle et uttrykk for temperaturen som funksjon av spenningen som kan legges inn i prosessoren.

6.3.2 Integreert temperatursensor LM35DZ

Dette er en integreert temperatursensor med følgende nøkkelparametere:

- Kalibrert i henhold til Celsius skalaen
- Følsomhet 10 mV/°C (dvs. en temperaturvariasjon på 100° gir et spenningsvariasjon på 1,0 V)
- Temperaturområde -55 til +150°C
- Nøyaktighet $\pm 1/4^\circ\text{C}$ omkring romtemperatur og $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over hele temperaturområdet
- Strømtrekk 60 μA . og dermed lite selvoppvarming <0.1°C i stillestående luft.
- Område for forskyningsspenningen: 4–30V

17. Datablad: <http://www.vishay.com/docs/29046/29046.pdf>



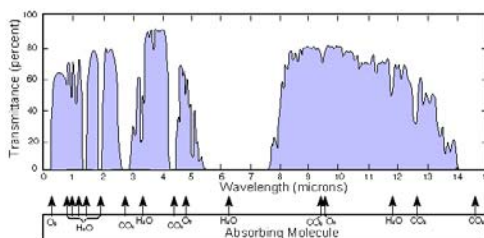
Følgende kretsløsning kan ev. brukes til å justere forsterkning og offset: Forsterkningen er gitt av følgende uttrykk:

$$\text{Forsterkning} = \frac{R_2}{R_1} \quad (6.12)$$

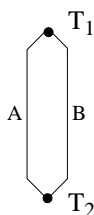
6.3.3 IR-sensor

Varmestråling er som kjent elektromagnetisk stråling i den infrarøde delen av spekteret. Et relativt bredt område av spektere som strekker seg fra 740 nm på kanten av den røde delen av det synlige delen av spekteret, og til ca. 300 μm , eller fra 1 til 400 THz.

Figuren til høyre viser i hvilke deler av IR-spekteret, fra synlig lys (<1 μm) og opp til 15 μm , som er transparent for stråling. Legg merke til de dype hullene i spekteret, som blokkerer for innstråling og som skyldes absorpsjon av H_2O , CO_2 og O_2 gass.



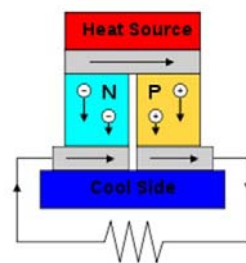
Alle gjenstander og mennesker sender ut IR-stråling (varme). Denne strålingen kan registreres av IR-sensorer, som f.eks. kan benyttes til å avsløre varmelekkasje fra bygninger, varmgang av elektrisk utstyr, måling av kroppstemperatur og som bevegelsessensorer mm.



ELFA og andre leverer en rekke ulike IR-sensorer som baserer seg på en såkalte *Seebeck-effekt*, som er en termoelektriske effekt. Effekten kalles også *Peltier-Seebeck-effekten* da den ble oppdaget samtidig av flere. **Thomas Johann Seebeck** (1770–1831) oppdaget effekten i 1821. Han oppdaget at en kompassnål dreide seg når den nærmet seg en lukket krets hvor to forskjellige metaller, A og B, var koblet sammen i to punkter med forskjellig temperatur (vist på figuren til venstre). Det gikk altså en elektrisk strøm i kretsen.

Den samme effekten utnyttes i moderne IR-sensorer. I stedet for å bruke ulike metaller, benyttes p-dopet og n-dopet halvleder materiale, som vist på figuren til høyre.

Figuren viser to elementer, ett av hver type, som er seriekoblet av det grå metallet på topp og i bunn. Vi vet at p- og n-materialene i utgangspunktet er elektrisk nøytrale, men at n-dopet materiale har et *overskudd* med frie negative ladninger og p-dopet materiale har et *underskudd* av negative ladningsbærere. Det siste kan også betraktes som et overskudd av positive ladningsbærere (hull).



Dersom det skapes en temperaturforskjell i halvledermaterialet, vil det i den delen av materialet som blir oppvarmet, skapes flere frie ladningsbærere. Dvs. at den tilførte varmeenergien “løfter” elektroner ut av valensbåndet og inn i ledningsbåndet. For å jevne ut forskjellene begynner lad-



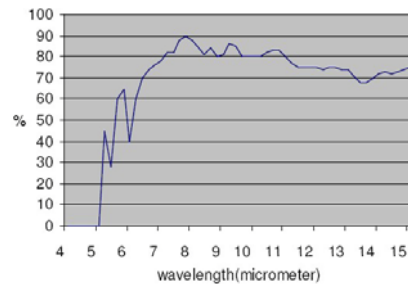
ningene å diffundere fra den varme til den kalde delen av halvlederen. På denne måten oppstår et elektrisk felt inne i materialet. Når n- og p-materialet er seriekoblet, som vist i figuren, vil det totale elektriske spenningen øke. I et praktisk termoelektrisk element er en rekke slike enkelt-elementer seriekoblet, slik at en oppnår en tilstrekkelig høy spenning.

IR-sensorer som er i salg f.eks. hos bl.a. ELFA, utnytter denne effekten. Inne i en metallkapsel ligger et termoelektrisk elementet. Varmestrålingen slippes inn i kapselen gjennom et vindu av silisium som er transparent for IR-stråling. Framsiden av termoelementet er dekket av et mørkt materiale som lett absorberer strålingen og blir oppvarmet. Baksiden av elementet kjøles av kapselen. Det aktive arealet kan typisk være $0,5 \text{ mm}^2$. Som vi har sett skapes en spenning når det oppstår en temperaturforskjell mellom for- og baksiden av elementet. Denne spenningsforskjellen tas ut på IR-sensorens bein, og forsterkes opp og behandles av omkringliggende elektronikk.



IR-sensoren SMTIR 9901 er en slik komponent. Her er noen av spesifikasjonene til sensoren:

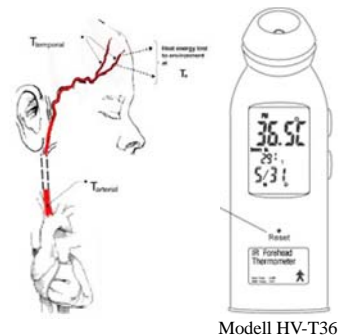
- Følsomhet: 110 V/W
- Responstid: 40 msek.
- Temperaturområde: -20 til +100 °C
- Bølgelengder > 5,5 μm (lavpassfilter)



Vi legger mrrke til at følsomheten synes svært høy. En må imidlertid huske på at effektforskjellene inne i kapselen er svært små.

Temporal temperaturscanning

Temporal temperaturscanning brukes til, på en rask måte, å måle kroppstemperaturen ved f.eks. feber. Det finnes både profesjonelt og kommersielt utstyr som måler kroppstemperaturen på denne måten. Målingen baserer seg på infrarød scanning av huden rett over *temporal arterien*, som kommer opp på framsiden av øret og ligger ca. 1 mm under huden i panna. Denne åra har en stabil blodstrøm uavhengig av ytre press. Den infrarøde strålingen måler energitapet fra huden. Siden temperaturtapet avhenger av romtemperaturen, må også den samtidig måles.



Det har vært en del diskusjon på nettet om denne metoden er tilstrekkelig reproduserbar og gir god nok overensstemmelse med kjernetemperaturen i kroppen¹⁸.

18. http://journals.lww.com/journaloftraumanursing/Abstract/2009/01000/Temporal_Artery_Scanning_Falls_Short_as_a.10.aspx



6.4 Lysfølsomme sensorer

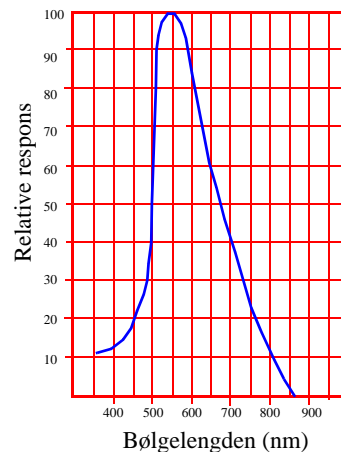
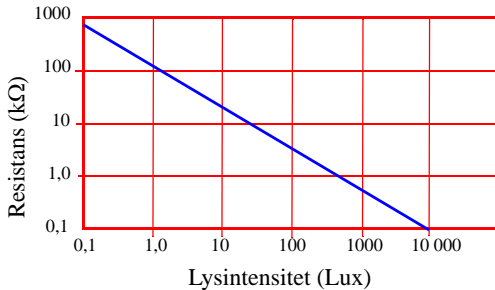
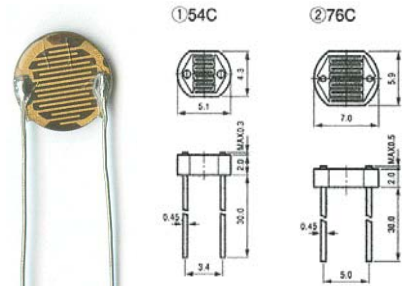
Deteksjon av lys kan gjøres på mange ulike måter. I dette avsnittet skal vi se hvordan vi kan bruke *LDR* (Light Dependent Resistor) og fototransistorer som lysfølsomme komponenter.

6.4.1 Fotomotstand (LDR - Light Dependent Resistor)

Grunnen til at vi velger å omtale en fotomotstand er at den gjennom tidene har vært en gjenganger i mange elektronikkprosjekter. Aktuelle leverandører av fotomotstander finnes i vedlegg A.

Fotomotstander har tradisjonelt vært laget av Cadmium-Sulfid (CdS) belagt med fingerelektroder som vist på figuren til høyre. I mørket vil stoffet CdS være omtrent isolerende og kan gi en motstand på over 1 M Ω . Belyser vi derimot stoffet, kan resistansen falle til under 1 k Ω .

Årsaken er at fotoner (lys) med tilstrekkelig energi, eksiterer elektroner fra valensbåndet til ledningsbåndet, hvor de kan bevege seg fritt og bidra til ladningstransporten. Effekten er imidlertid ikke like framtreddene for alle frekvenser. Til høyre på figur 6.4 ser vi at materialet er spesielt følsomt for lys i det synlige området av spekteret nær 540 nm (nanometer, 10⁻⁹m). Vi ser også (til venstre på figuren) at det er en omtrent lineær sammenheng mellom lysstyrken målt i lux og resistansen (begge skalaer er logaritmiske).



Figur 6.4 Resistans som funksjon av lysintensitet (venstre), følsomhet som funksjon av bølgelengde.

Ut fra følsomhetskurven til høyre på figur 6.4, ser vi at fotomotstanden er spesielt effektiv i ett område nær 450 nm (grønn-blå).

Lysfølsomme motstander er imidlertid relativt langsomme. En endring i lysstyrken på noen μ sek, kan gi en responstid på opp til 100 msek. hos fotomotstanden. Men i mange tilfeller er dette mer enn godt nok.



For å konvertere endring i resistans til spenning, kan vi bruke en enkel spenningsdeler (se figuren under). Her trengs normalt ingen målebro eller forsterker for å registrere endring i resistans siden endringen er så stor.

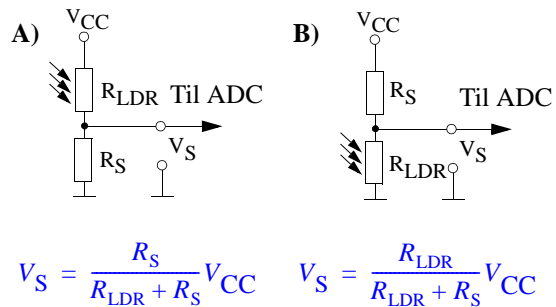
Lysintensitet måles i lux. 1 lux er 1 lumen pr. m².

Dette tilsvarer:

- Fullt sollyst 11 000 lux (eller ca. 1000 W/m²)
- Sollyset en tidlig morgen 6 000 lux
- Belysningen i et TV-studio 1 000 lux
- Et godt opplyst kontor 400 lux
- Lyset fra en fullmåne 1 lux

Oppkobling mot ADC

Siden grensnittet til kontrolleren krever en spenning, kobles LDR-motstanden i serie med en motstand som vist i figuren til høyre. Velg verdien på seriemotstanden lik den nominelle verdien på LDR-motstanden. Spenningsnivået V_S beregnes fra formlene som antydnet på figuren. Legg merke til at oppkoblingen på tegning A gir økende spenning V_S med økende lysstyrke, mens oppkoblingen i tegning B gir fallende spenning med økende lysstyrke.



Kalibrering:

Utfordringen blir å finne en omregningsformel fra lysstyrke til spenning:

1. Mål spenning som funksjon av lysstyrke (krever lysmåler)
2. Bruk regresjon for å finne et best tilpasset funksjonsuttrykk
3. Lag omregningsformelen inn i prosessoren

6.4.2 Fototransistorer

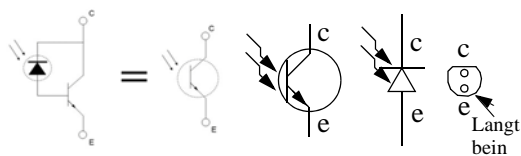
Denne type lysfølsomme halvlederkomponenter kan operere i to ulike måter (modus):


- Fotoledende modus, forspent i sperreretning
- Fotovoltaisk modus, forspent i lederetning (som hos solceller)



Fototransistor koblet i fotoledende modus m/ekstra transistor (PT204-6C)

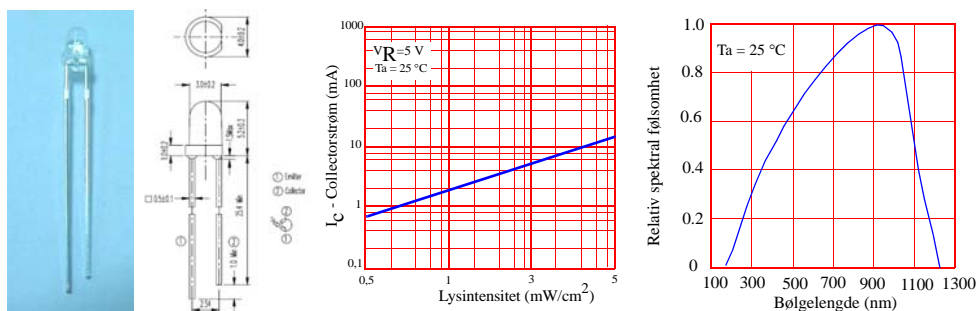
En diode (PN-overgang) vil normalt lede strøm når den forspennes i lederetning og sperre når den forspennes i sperreretning. Likevel vil det alltid flyte en liten lekkasje- eller *reversstrøm* når den er forspent i sperreretningen. Dersom PN-overgangen eksponeres for lys, vil reversstrømmen øke med økende lysstyrke ved at energien i lyset øker antallet ladningsbærere. PN-overgangen er vanligvis følsom både for synlig og infrarød stråling.



En fototransistor av denne typen bygges ofte opp av en PN-overgang (fotodiode) koblet i serie med basen på en transistor som vist i figuren lengst til venstre. Vi legger merke til at PN-overgangen () er forspent i sperreretning.

Det er reversstrømmen til PN-overgangen som ledes inn på basen til transistoren og som forsterkes opp. På denne måten styres basestrømmen i transistoren av styrken til det innfallende lyset. Med andre ord vi bytter ut en strømførende baseledning med en varierende lysstyrke.

Som et eksempel har vi valgt å se på fototransistoren **PT204-6C** som leveres fra Everlight og forhandles bl.a. av ELFA til en pris av et par kroner [10]. Et bilde av PT204-6C er vist til venstre på figuren under.



Reversstrømmen kan være meget lav. Transistoren forsterker reversstrømmen slik at strømmen gjennom transistoren blir betydelig større. Av diagrammet til venstre på figuren over, ser vi at strømmen i fototransistoren er ca. 0,7 mA ved en lysstyrke på ca. $0,5 \text{ mW/cm}^2$ (5 W/m^2) og 16 mA ved 5 mW/cm^2 (50 W/m^2)¹⁹.

Fototransistorens følsomhet er også avhengig av bølgelengden til lyset. Av figuren over til høyre ser vi at PT204-6C er spesielt følsom for bølgelengder på grensen av synlig og infrarødt lys. Synlig lys går fra ca. 400–700 nm. Toppen for PT204-6C ligger på ca. 900 nm. Vi ser imidlertid at den fungerer godt også i store deler av den synlige delen av spekteret.

Fototransistorer kan lages av ulike materialer og vil dermed bli følsomme for ulike bølgelengder. Tabellen under viser hvordan ulike materialer gir fototransistorer med ulike følsomhetsområder²⁰:

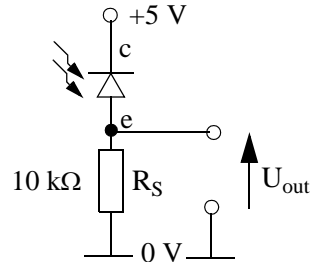
19. Til sammenligning kan nevnes at typisk lysstyrke i et rom kan være $2 - 10 \text{ W/m}^2$, mens lysstyrken utendørs en strålende sommerdag kan være typeisk 1000 W/m^2 .

20. Se <http://en.wikipedia.org/wiki/Photodiode>

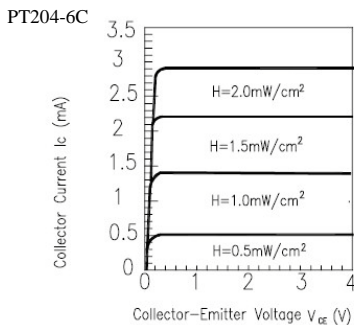


Silisium:	190–1100 nm
Germanium:	400–1 700 nm
Indium Gallium Arsenid:	800–2 600 nm
Blysvifid	<1000–3600 nm

Dersom vi ønsker å bruke fototransistoren som lysmåler eller lysdetektor, kobler vi den opp som en spenningsdeler som vist på figuren til høyre. Vi har sett at jo mer lys fototransistoren utsettes for, jo større reversstrøm går det i dioden og gjennom seriemotstanden R_S , og jo høyere blir spenning U_{out} . Skal den brukes som lysmåler kan U_{out} kobles til en AD-konverter eller en forsterker om nødvendig. Brukt som lysdetektor kan den kobles til en komparator eller basen på en transistor.



For å karakterisere en fototransistor, kan vi koble en variabel collector-emitterspenning over transistoren samtidig som vi måler collector strømmen (I_C) for ulike nivåer av innfallende lysmengde.



Med en gitt mengde lys, vil strømmen i transistoren øke opp til et visst nivå hvor strømstyrken er uforandret selv om collector-emitter-spenningen økes. Vi har nådd fototransistorens metningsstrøm ved denne lyssyren. Økes lysstyrken, vil vi få fram en lignende kurve, men med en større metningsstrøm. Sammenhengen mellom metningsstrøm, lysstyrke og collector-emitterspenning for PT204-6C er vist på figuren til venstre.

Det er viktig å merke seg at en fototransistor av typen PT204-6C ikke vil levere noen spenning eller strøm med mindre den forspennes. Den er derfor en komponent med en ledningsevne som endres med lysstyrken og vil ikke fungere i fotovoltaisk modus.

Fototransistorene SFH300 og SFH 203

Disse komponentene består av en ren PN-overgang (uten en ekstra transistor) og vil derfor kunne fungere både i fotovoltaisk og i fotoledende modus.

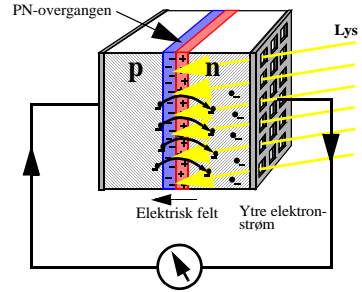
Brukt i fotovoltaisk modus vil disse komponentene **være små solceller og fungere som en strøm eller spenningskilde.**

I fotovoltaisk modus vil disse fungere på følgende måte:

Fototransistorer (og solceller) er som oftest laget av grunnstoffet *silisium*. Vi tenker oss at vi lager to tynne skiver av silisium. Den ene skiven forurenses vi med *fosfor* som gjør at denne skiven *gjærne avgir elektroner*, vi sier at skiven er *n-dopet*. Den andre skiven forurenses vi med *bor* som medfører at denne skiven *lett tar til seg elektroner*, vi sier at skiven er *p-dopet*.



Når vi legger en n-dopet og en p-dopet skive inntil hverandre, får vi en *pn-overgang* (en *diode*). Når de to skivene berører hverandre vil det flyte en strøm av elektroner fra den n-dopede skiven over til den “elektronhungrige” p-dopede skiven. På grunn av ladningstransporten, vil det bygge seg opp en spenning over pn-overgangen. Etter hvert som spenningen øker, vil strømmen ladninger gå stadig tregere. Til slutt vil den stoppe helt opp. Foreløpig har vi ikke koblet til noen ytre krets.



I et smalt område nær pn-overgangen vil det nå være svært få frie ladningsbærere (elektroner). Området vil derfor virke som en sperre for strømmen gjennom overgangen. Dersom vi imidlertid belyser pn-overgangen, vil energien i lyset frigjøre nye elektroner i overgangsområdet. Disse vil strømme over til n-området som blir negativt ladet samtidig som p-området blir positivt ladet.

Om vi nå kobler en ledning mellom n-området og p-området, vil det gå en elektrisk strøm i ledningen som vist på figuren over. Denne *ytre* strømmen kan så benyttes til å drive en motor eller få en lyspære til å lyse. Vi har fått en solcelle.

Forenklet kan vi si at pn-overgangen representerer et hinder for elektronene. Lys vil imidlertid tilføre elektronene energi slik at de kan passere over hinderet. Når de først er kommet over, klarer de ikke å komme tilbake, men må gå utenom gjennom den ytre ledningen hvor de gjør et arbeid på veien.

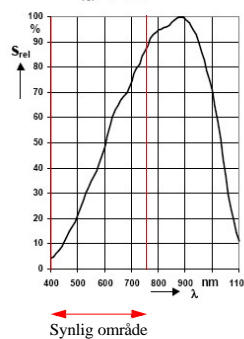
En fototransistor i fotovoltaisk modus vil fungere som en liten solcelle, og vil, når den belyses, levere en spenning²¹ på ca. 0,54 V. Kobler vi den inn i en ytre krets, vil den også gi en liten strøm.



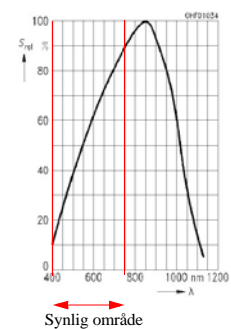
Bildet til høyre viser en typisk fototransistor av denne typen, f.eks. SFH300 eller SFH203. SAom vi ser så ligner den på en lysdiode.

Figurene til venstre viser følsomhetsdiagrammet som funksjon av frekvensen, for henholdsvis SFH300 (venstre) og SFH203 (høyre). Vi ser at de to er ganske like mht til *båndbredde*. Begge har de sitt mest følsomme område inne i den *infrarøde delen* av spekteret.

Relative Spectral Sensitivity, SFH 300 $S_{rel} = f(\lambda)$



Relative spectral sensitivity SFH 203 $S_{rel} = f(\lambda)$



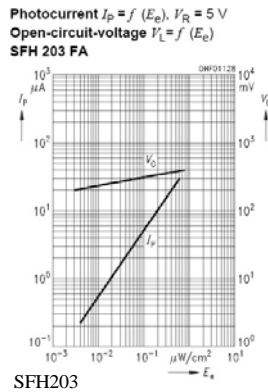
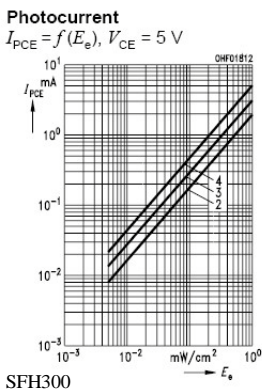
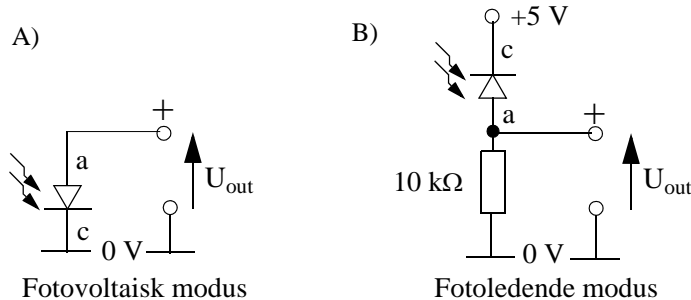
Oppkobling for karakterisering:

Denne typen fototransistor kan i prinsippet brukes i begge moduser:

21. Tomgangsspenning er den spenningen en måler over fotodioden når den ikke belastes

- I *fotovoltaisk modus* koblet som en selvstendig strøm- eller spenningskilde.
- I *fotoledende modus* koblet som en lysstyrt transistor (fototransistor) koblet i sperreretning.

Figurene under viser de to alternativene:



Begge koblingene kan brukes som kilde til en AD-konverter eller forsterker.

Likevel anbefales alternativ B da denne gir større spenningsving, samtidig som den ikke går i meting ved kraftig belysning slik alternativ A gjør (den fotovoltaiske spenningen vil flate ut ved ca. 0,54 V. Strømmen vil derimot øke lineært med lysterken over et større område). Til vårt formål kan fototransistoren karakteriseres ved at vi måler U_{out} som funksjon av lysterken

Diagrammene på figuren til venstre viser reversstrømmen i fotoledende modus som funksjon av lyseffekten i mW/cm^2 for fototransistorene SFH300²² og SFH203.

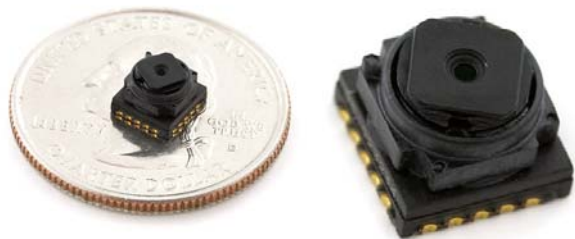
6.4.3 Kameramoduler

Digitale kameraer er en stor mengde lyssensorer som er ordnet i en matrise. Matrisene kan ha forskjellig størrelse. Moderne digitalkameraer har vanligvis over 10 mill lyssensorer. Vi skal her peke på noen få varianter som kan være kandidater som bør vurderes for bruk i forbindelse med f.eks. CanSat.

22.De ulike kurvene (2–4) angir ulike varianter av fototransistoren SFH300.



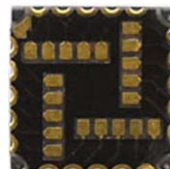
TCM8230MD, TOSHIBA (Sparkfun - 10\$)



Som det framgår av figuren til venstre er dette et miniatyrkamera (6 x 6 x 4,5 mm) til en pris av 10 \$²³ fra firmaet Sparkfun. Kameraet leverer bilder i VGA format (640 x 480 pix) og har en øvre bildehastighet på 30 fps²⁴ med et optisk format på 1/6". En prosessor chip er inkludert i kameramodulen og leverer bilde data på standard seriell form eller

I²Cm buss. Kameramodulen har innebygget automatisk forsterkningskontroll og hvitballanse.

Kameraet krever to spenningskilder, en på $2,8 \pm 0,2$ V (sensor (fotodiode) I/O) og $1,5 \pm 0,1$ V (sensor (ADC), digitalt). Med andre ord det kan være litt plundrete og framskaffe de rette forskyningsspenningene. En annen utfordring er tilkoblingen som krever en svært nensom loddebolt eller spesialutstyr for montasje av overflate komponenter. En må regne med å lage et eget kretskort-utlegg for denne modulen dersom en ønsker å bruke kameraet



Skal kameraet overføre bilder fra en CanSat må en enten overføre enkeltbilder, eller ha en egen radiokanal for bildeoverføring.

Ønsker man bedre oppløsning kan man velge TCM8240MD (1300 x 1040 pix). Prisen er den samme (10 \$), men vil selvfølgelig kreve mer av overføringskanalen. Dette kameraet synes imidlertid å ha fått noe blandet mottagelse.²⁵ For mer informasjon se også databladet²⁶.

6.5 Luftrykkfølsomme sensorer

Måling av luftrykk er spesielt viktig i forbindelse med værvarsling. I denne sammenheng brukes værballonger for å måle lufttrykket som funksjon av høyden over bakken. Å overvåke trykket i en flykabin er også viktig. Dersom trykket faller under et visst nivå, utløses oksygenmaskene slik at pasasjerene ikke skal komme til skade.

En annen viktig anvendelse har vært som høydemåler for ballonger, fly og lavbane raketter. Dette er mulig siden trykkfallet opp gjennom atmosfæren er relativt forutsigbart. Med en trykkmåler som er godt kalibrert, kan en komme ned i en nøyaktighet på noen få meter. Vi skal senere se på hvordan vi regner om fra trykk til høydemeter over havet.

I forbindelse med CanSat er vi spesielt interessert i å bruke trykkmålinger for å anslå høyden.

23. <http://www.sparkfun.com/products/8667>

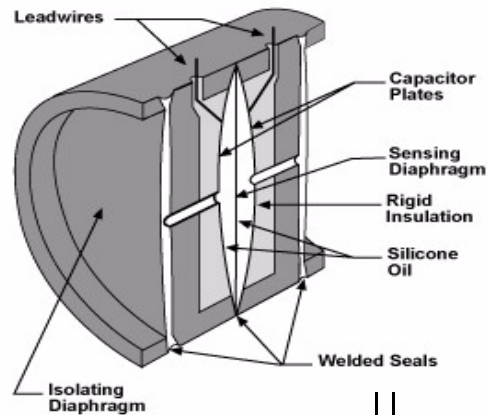
24. fps - frame pr. sec.

25. <http://www.sparkfun.com/products/8668>

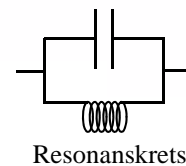
26. <http://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Imaging/TCM8230MD.pdf>

6.5.1 Måling av lufttrykk ved endring i kapasitans

Figuren til høyre viser en av flere måter å lage en trykksensor på. En membran er spent opp i et kammer. Kammerets vegger er plater i en kondensator. Membranen består av et materiale som gjør at kapasitansen mellom platene i kammeret endrer seg når membranen beveger seg som følge av trykkendringer. Rommet foran membranen er fylt med siliconolje og står i forbindelse med et isolerende membran foran på trykksensoren. Kondensatorplatene i veggen i det indre rommet inngår i en resonanskrets. Når membranen endrer form som funksjon av trykkforandringer, endres også resonansfrekvensen til resonatoren. Dersom en kjenner sammenhengen mellom trykk og frekvens, kan en bestemme trykket på bakgrunn av frekvensmålinger.



Figur 6.5 Typisk kapasitanscelle for måling av trykk.



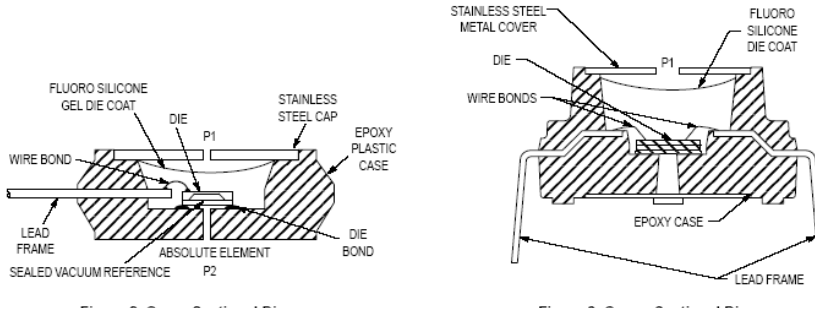
6.5.2 Måling av lufttrykk ved endring i resistans (piezo-resistivitet)

Den piezo-resistive effekten er forskjellig fra den piezo-elektriske effekten. Den piezo-resistive effekten ble oppdaget av **Lord Kelvin** i 1856. Først i 1954 oppdaget C.G. Smith at germanium- og silisiumkrystaller hadde spesielt store variasjoner i ledningsevnen når de ble utsatt for mekanisk stress. Ledningsevnen til materialer er avhengig av mengden ladningsbærere i ledningsbåndet og hvor lett elektroner kan frigjøres fra valensbåndet. Dette er igjen avhengig av størrelsen på *båndgapet* mellom lednings- og valensbåndet i materialet. Når de nevnte materialene utsettes for stress, vil båndgapet endre seg og dermed også ledningsevnen.

Motorolas *MPX4100A* og *MPX4115* er sensorer som bruker piezo-resistive elementer som trykkfølere. Dvs. at lufttrykket presser på framsiden av en piezo-resistiv skive. Baksiden av skiven har et veldefinert trykk (f.eks. vakuum). Skiva er utformet slik at de resistive elementene i skiva kan



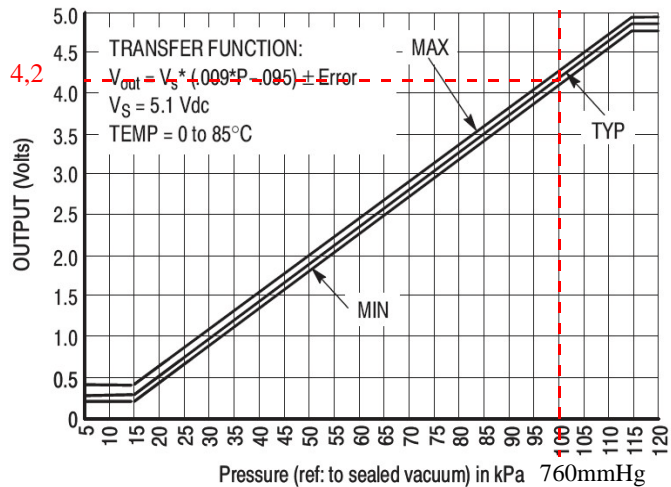
inngå i en målebro slik at endring i resistivitet kan omgjøres til en spenning. Denne forsterkes til ønsket nivå. De nevnte sensorene er utstyrt med en integrert forsterker slik at sensorene leverer en passende spenning.



Figur 6.6 Utforming av trykksensor med piezo-elektriske elementer.

Sammenhengen mellom trykk og spenning på utgangen av sensoren MPX4100A er vist i figur 6.7

Figuren viser også komponentens måleusikkerhet. Dette er produksjonsusikkerhet mellom de ulike komponentene, samt temperaturspredning. Vi legger også merke til at normalt lufttrykk ligger helt i toppen på skalaen, hvilket betyr at denne sensoren eger seg best til måling av normalt og lavere lufttrykk, hvilket er det vi har ved en rakettoppskytning eller et ballongslipp. Vi ser at spenningsnivået ut av sensoren passer godt til et slikt formål.



Figur 6.7 Spenning på utgangen som funksjon av trykk i kPa.

Siden vi måler spenning (V_p i Volt), men ønsker lufttrykk (P i kPa), må vi regne om fra spenning til lufttrykk. Fabrikanten har oppgitt følgende sammenheng [8]:

$$V_p = 5,0 (0,009 P - 0,095) \quad (6.13)$$

Dersom vi setter inn 100 kPa får vi en spenning 4,025 V hvilket ikke er så fjernt fra det vi kan lese av på diagrammet over ($\approx 4,2$ V).

Snur vi om på formelen vil vi kunne skrive:

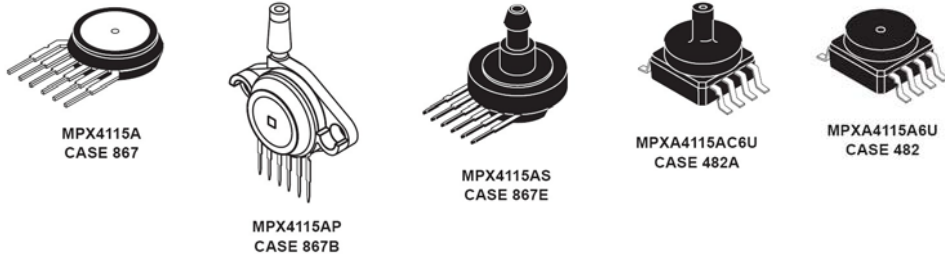
$$P = 22,222 V_p + 10,556 \quad (6.14)$$



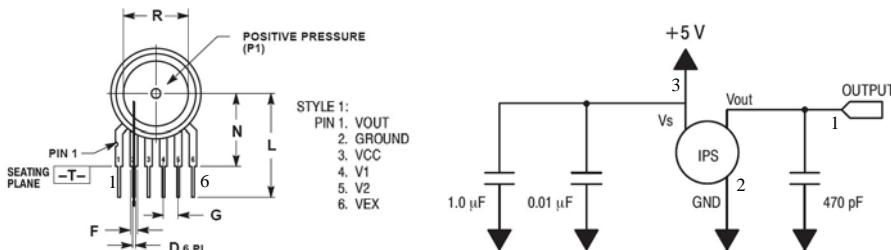
Dernest ønsker man ofte å regne om fra trykk til høyde hvilket er noe mer utfordrende, se ligning (6.15) på side 81.

Mekanisk utforming MPX4115XX

MPX4115 leveres i ulike pakninger, se figuren under. CanSat leveres med MPX4115A mens MPX4115AP eller AS kan egne seg bedre til å karakterisere sensoren i og med at en kan koble på en slange slik at det er lettere å utføre målinger under kontrollert trykk.



Sensoren kobles til spenningskilden (+5 V) og vil da gi en signalspenning på utgangen proporsjonal med trykket i kPa, som vist på figur 6.7. Figuren under viser til venstre sensorens pinning og til høyre anbefalt avkobling. Avkobling med kondensatorer brukes for å unngå at støy på forskyningsspenningen skal redusere kvaliteten på målingene.



Informasjonen er hentet fra databladet [7].

6.5.3 Måling av høyde basert på trykkmålinger

Trykk måles normalt i Pascal hvor $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$.

Tidligere ble trykk målt i atmosfærer (atm), mmHg eller Bar.

En normalverdi for lufttrykket er:

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 1.01325 \text{ Bar} = 1013.25 \text{ mBar} = 101325 \text{ Pa} = 1013.25 \text{ hPa}$$

Vi legger merke til at h(ekto)Pa er det samme som m(illi)bar.

Luftrykket er bestemt av tyngden til det "havet" av luft som vi befinner oss på bunnen av. Lufttrykket er derfor avhengig av den mengden av luft som til en hver tid befinner seg over hodet på oss. Vekta av luftmengden er avhengig av tyngdekraften, tykkelsen på luftlaget og tettheten, som



igjen er avhengig av hvordan lufta forflytter seg og av temperaturen, dvs. værforholdene. Som vi ser er det mange faktorer å ta hensyn til. Likevel finnes det gode håndregler som gjør at en kan gjøre tilstrekkelig nøyaktige høydemålinger på bakgrunn av trykkmålinger.

En regner normalt at trykket faller med 1 millibar pr. 8 meter, eller ca 12.5 millibar pr. 100 meter. Dette stemmer ikke så verst for de første 2000 meter, deretter minker trykket mindre for hver 1000 meter.

Normalt refereres alle trykkmålinger til havnivået. En meteorologisk stasjon som oppgir barometerstand ved stasjonen, har vanligvis regnet om verdiene til havnivået.

Tabellen under viser typiske verdier for sammenhengen mellom trykk, lufttetthet, temperatur og høyde over havet.

HoH	Temperatur	Lufttrykk	Tetthet	
(m)	(C)	(hPa)	(kg/m ³)	
0000	15.0	1013	1.2	
1000	8.5	900	1.1	
2000	2.0	800	1.0	(Galhøpiggen)
3000	-4.5	700	0.91	
4000	-11.0	620	0.82	
5000	-17.5	540	0.74	
6000	-24.0	470	0.66	
7000	-30.5	410	0.59	
8000	-37.0	360	0.53	
9000	-43.5	310	0.47	(Mount Everest)
10000	-50.0	260	0.41	(Marsjhøyde rutefly)
11000	-56.5	230	0.36	
12000	-56.5	190	0.31	
13000	-56.5	170	0.27	
14000	-56.5	140	0.23	
15000	-56.5	120	0.19	
16000	-56.5	100	0.17	
17000	-56.5	90	0.14	
18000	-56.5	75	0.12	
19000	-56.5	65	0.10	
20000	-56.5	55	0.088	
21000	-55.5	47	0.075	
22000	-54.5	40	0.064	
23000	-53.5	34	0.054	
24000	-52.5	29	0.046	
25000	-51.5	25	0.039	
26000	-50.5	22	0.034	
27000	-49.5	18	0.029	
28000	-48.5	16	0.025	
29000	-47.5	14	0.021	
30000	-46.5	12	0.018	
31000	-45.5	10	0.015	
32000	-44.5	8.7	0.013	
33000	-41.7	7.5	0.011	
34000	-38.9	6.5	0.0096	
35000	-36.1	5.6	0.0082	



Omregningen fra trykk til høyde må også ta hensyn til temperaturen. Temperaturen vil dessuten forandre seg med høyden.

Det er normalt lettere å forholde seg til en omregningsformell enn en tabell. Ulempen med en formel er at de mange parametrene kan gi stor usikkerhet i beregningen. I *The CanSat book* er følgende sammenheng utledet/referert:

$$h = \frac{T_1}{a} \left(\left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{aR}{g_0}} - 1 \right) + h_1 \quad (6.15)$$

Hvor:

h	Beregnet høyde i meter
h_1	Starthøyde i meter
T	Temperatur i Kelvin
T_1	Starttemperatur i høyden h_1
a	Temperaturgradient, foreslått verdi -0,0065 K/m
p	Trykk i Pa
p_1	Trykk i Pa ved starthøyden
g_0	Tyngdeakselerasjonen 9,81 m/s ²
R	Den spesifikke gasskonstanten 287,06 J/kg K

Denne formelen kan enten legges inn i datainnsamlingsenheten i CanSat, men bedre i programvaren som behandler data. Har rådataene fra sonden, har en større mulighet til etterbehandling enn om man bare har de omregnede dataene.

6.6 Fuktighetsfølsomme sensorer

6.6.1 Måling av fuktighet

I forbindelse med ballongslipp vil det være interessant å måle den relative fuktigheten. Dette sier noe om vanninnholdet i atmosfæren, noe bl.a. meteorologene er interessert i. I dette avsnittet skal vi se på noen teknikker for å måle relativ fuktighet.

Hva er relativ fuktighet?

Luft har evnen til å oppta vanndamp. Men mengden som kan tas opp er ikke ubegrenset. Når lufta ikke klarer å ta opp mer, sier vi at den er **mettet**. Luft som er mettet med vanndamp defineres å ha en relativ fuktighet på 100 %. Dersom lufta er helt fri for vanndamp er den tørr og vil ha en relativ fuktighet på 0 %.

100 % fuktighet tilsvarer et visst antall gram vann pr. m³. Hvor mange gram dette tilsvarer er avhengig av både lufttrykket og ikke minst av temperaturen. Jo høyere temperatur jo mer vanndamp kan lufta oppta før den er mettet. Når skyer driver inn mot land, blir de gjerne presset opp i kaldere luftlag. Når mettet luft blir kaldere vil den gi fra seg noe av fuktigheten som regn.

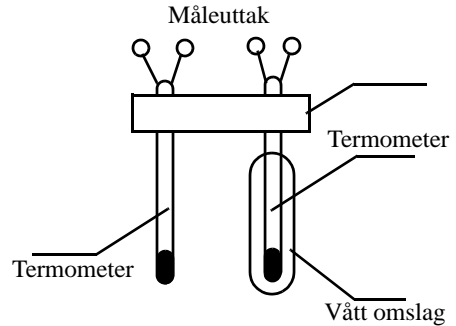


Det er derfor vanlig at vi måler trykk og temperatur sammen med fuktighet. En slik kombinert måler kalles ofte en PTU-sonde (Pressure - Temperature - hUmidity).

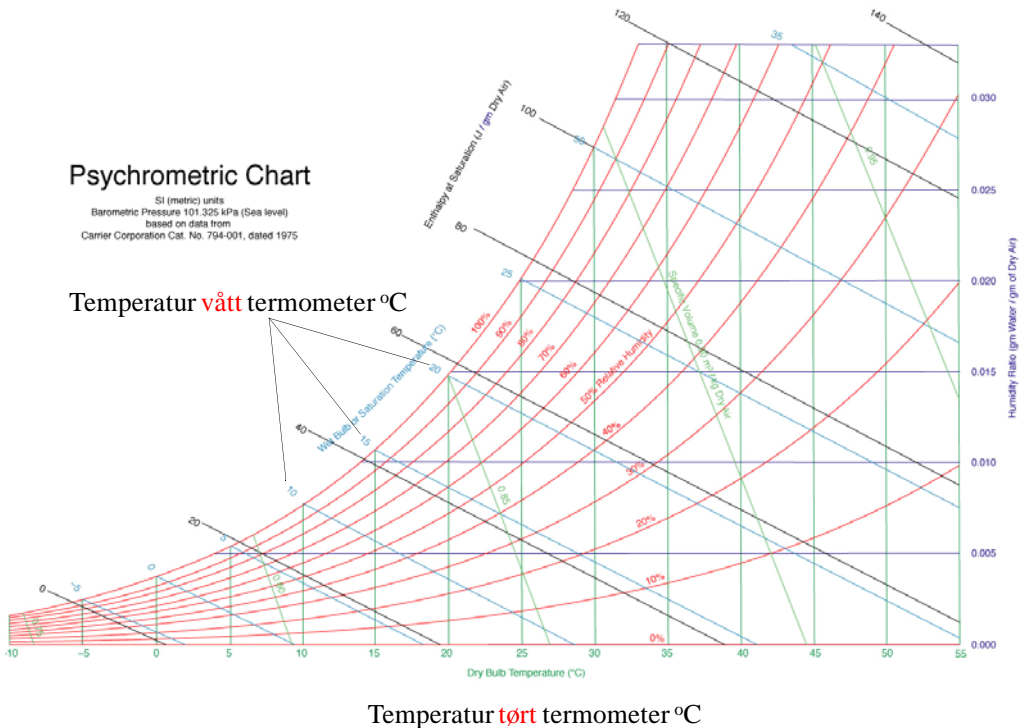
Hvordan måles relativ fuktighet?

Psykrometeret: [9]a

Den tradisjonelle måten å måle relativ fuktighet på er ved hjelp av to termometere. Ett er nakent slik at glasskappen har direkte kontakt med den fuktige luften. Det andre termometeret, som er plassert tett ved, er pakket inn i et vått hylster hvor det kan skje fordampning. Prinsippet bygger på den kjensgjerning at fordampning av fuktighet krever varme. Dersom termometrene befinner seg i tørr luft, vil fordampningen skje fort og vi får en betydelig temperaturforskjell mellom de to termometrene. Termometeret som er pakket inn vil vise flere grader lavere temperatur enn det uten.



Figur 6.8 Psykrometer



Dersom termometrene befinner seg i luft med 100 % fuktighet vil ingenting kunne fordampe og temperaturen i de to termometrene er like. Temperaturforskjellen mellom disse to ytterpunktene vil være et mål for luftas relative fuktighet.

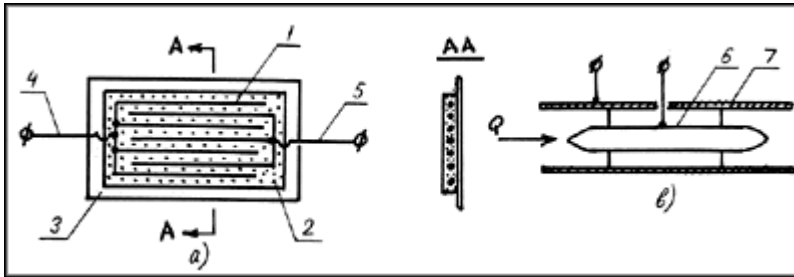
For å bestemme relativ fuktighet med utgangspunkt i temperaturforskjellen, benyttes et *Molliere-diagram*, også kalt *Psykometrisk diagram* (se figuren over).

Temperaturen til det tørre termometeret er avmerket langs den horisontale akse, mens temperaturen til det våte termometeret er avmerket langs den buede delen av diagrammet. De buede linjene i diagrammet angir den relative luftfuktigheten.

Relativ luftfuktighet bestemmes ved å lese av verdien på den buede linjen der linjene for temperaturen målt på tørt og vått termometer møtes. Vi legger merke til at ved 100 % relativ fuktighet, er temperaturen til de to termometrene like.

Resistivt eller kapasitivt hygrometer [9]a

Resistive hygrometer baserer seg på at et materiale endrer resistivitet (elektrisk motstand) når det trekker til seg fuktighet. Til høyre på figuren under er vist metallfingre som går om hverandre i et materiale med en viss elektrisk motstand (resistivitet). Dette materialet har evnen til å oppta og avgi fuktighet i takt med fuktigheten i lufta omkring. Den målte resistiviteten er derfor et mål for fuktigheten i lufta. Materialer som brukes er bl.a. Litiumclorid og Aluminiumoksid.



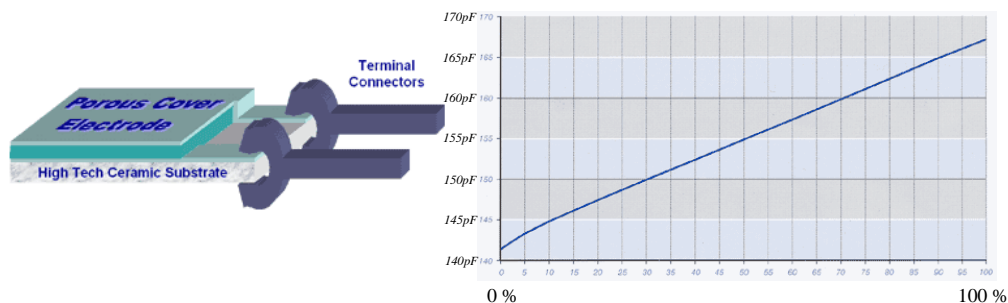
Figur 6.9 a) Resistivt hygrometer og b) kapasitivt hygrometer.

1. elektrode, 2. hygroskopisk resistivt materiale, 3. substrat (holder), 4. og 5. tilførselsledninger, Q - luftstrøm m/fuktighet, 6. og 7. indre og ytre elektrode.

Det tradisjonelle *kapasitive hygrometeret* består av to elektroder som er plassert henholdsvis inne i og langs sidene i et rør som fører den fuktige luftstrømmen. De dielektriske egenskapene til lufta vil endre seg avhengig av mengden fuktighet i luftstrømmen. Denne endringen forandrer kapasiteten mellom de to elektrodene. Endringen i kapasitans kan måles, og gir et mål for den relative fuktigheten i luftstrømmen.



Moderne kapasitive fuktighetssensorer er bygget opp som en platekondensator. Den ene elektroden er porøs slik at den kan slippe fuktighet inn til det dielektriske materialet mellom de to elektrodene. Fuktigheten endrer dermed kapasitansen som kan avleses av en tilhørende elektronikk.



Figur 6.10 Moderne kapasitiv fuktighetssensor²⁷.

6.6.2 Fuktighetssensorn H25K5A

Dette er en relativt rimelig sensor for måling av luftfuktighet. Sensoren er resistiv, med andre ord den kan oppfattes som en motstand som endrer resistans som funksjon av luftas relative fuktighet (RH). I tillegg vil den også endre resistans for ulike temperaturer.

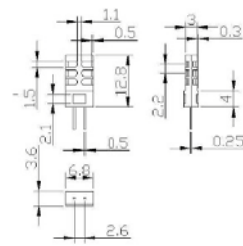
Sensor resistance table (unit:K Ω) At 1 KHz, Voltage 1Vrms.

	0°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C
20%RH				21000	13500	9800	8000	6300	4600	3800	3200
25%RH		19800	16000	10500	6700	4803	3900	3100	2300	1850	1550
30%RH	12000	9800	7200	5100	3300	2500	2000	1500	1100	900	750
35%RH	5200	4700	3200	2350	1800	1300	980	750	575	430	350
40%RH	2800	2000	1400	1050	840	630	470	385	282	210	170
45%RH	720	510	386	287	216	166	131	104	80	66	51
50%RH	384	271	211	159	123	95	77	63	52	45	38
55%RH	200	149	118	91	70	55	44	38	32	30	24
60%RH	108	82	64	51	40	31	25	21	17	14	12
65%RH	64	48	38	31	25	20	17	13	11	9	8
70%RH	38	29	24	19	16	13	10.5	9	8.2	7.1	6.0
75%RH	23	18	15	12	10	8.5	7.2	6.4	5.8	5.0	4.1
80%RH	16	12	10.2	8.1	7.2	5.7	5.0	4.4	4.0	3.3	2.9
85%RH	10.2	8.2	6.9	5.5	4.7	4.0	3.6	3.2	2.9	2.4	2.0
90%RH	6.9	5.4	4.7	4.1	3.2	2.8	2.5	2.3	2.1	1.8	1.5

27. Informasjonen er hentet fra <http://www.ist-ag.com/english/products/humid/p14TR.html>

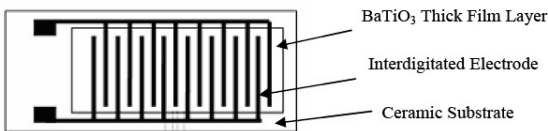


Av figuren over ser vi at resistansen ved 25°C faller fra ca. 9 MΩ til 3 kΩ når den relative fuktigheten øker fra 20 % til 90 %. Dvs. en svært markert endring. Nøyaktigheten er oppgitt til +/- 5% RH ved 60 % RH. Dvs. den er relativ unøyaktig.



Databladet anbefaler at sensoren tilføres en vekselspanning på 1 kHz i stedet for en likestrømsspanning, for å unngå polarisering av sensoren, noe som kompliserer bruken. Målinger synes å bekrefte dette²⁸.

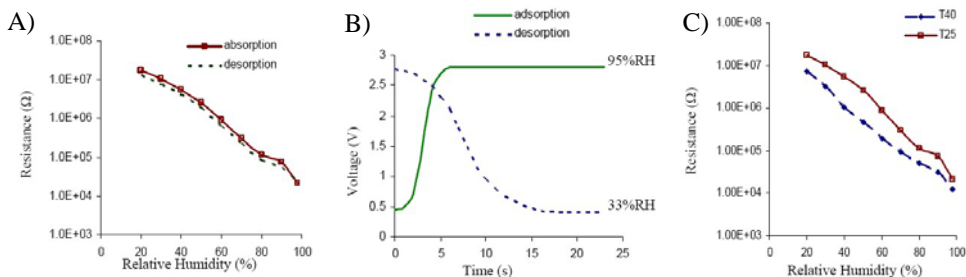
Komponenten er dessuten liten og ikke særlig dyr. Hos ELFA koster denne ca. 30,- i stykkpris. Figuren til høyre viser dimensjonene i millimeter. Videre tåler den spenninger opp til 10 V²⁹.



Selv om det er vanskelig å finne detaljerte beskrivelser av hvordan sensoren er bygget opp, er det rimelig å anta at den består av et isolerende kjeramisk materiale med fingerelektroder som er dekket med et

kjemisk stoff som endrer resistivitet som funksjon av fuktigheten i omgivelsene. Dette materialet kan for eksempel være BaTiO₃. Figuren over viser hvordan sensoren kan være konstruert³⁰. Sensoren er montert inn i et perforert plastdeksel.

Kurvene i figuren under viser resultatet av målinger utført på en slik sensor.



Figur 6.11 Målinger på BaTiO₃ materiale. A) Resistans som funksjon av relativ fuktighet ved 25 °C, B) Tidsrespons ved endring av fuktighet C) Resistans som funksjon av relativ fuktighet ved 25 og 40 °C.

Figur 6.11 A) viser resistansen til sensoren som funksjon av relativ fuktighet for 25 °C. Den heltrukne linjen er målinger gjort ved stigende fuktighet, stiplet linje er verdier målt ved fallende fuktighet. Vi ser at de to måleseriene ikke er helt sammenfallende, og at sensoren har *hysteresis*. Figur 6.11 B) viser hvordan sensoren gir respons ved meget brå endringer i fuktighet. Heltrukne linje viser responsen ved en rask økning i fuktighet. Vi ser at sensoren trenger ca. 2–3 sekunder for å gå fra ca. 30 % til 95 % relativ fuktighet. Vi legger også merke til at responsen er vesentlig langsommere ved fallende fuktighet (12–13 sek.) enn ved stigende. Figur 6.11 C) viser relativt

28.Målinger utført av Knut Nygård ved Frydenlund skole synes å bekrefte dette

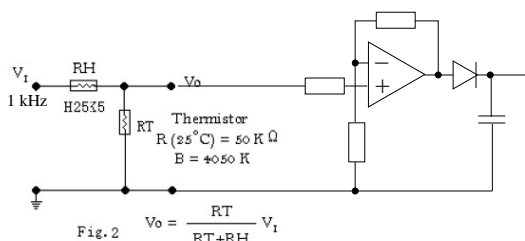
29.Se forøvrig databladet: <http://www.sensorelement.com/humidity/H25K5A%20spec.pdf>

30.Figuren er hentet fra [9]c.



stor variasjon i resistans ved varierende temperatur. Vi ser at resistansen faller med økende temperatur. Dette er ikke urimelig da vi vet at relativ fuktighet nettopp varierer med temperaturen. Når temperaturen øker kan lufta oppta mer damp. Ved f.eks. 40 % relativ fuktighet så vil lufta inneholde mer vanddamp ved en høy temperatur enn ved en lav temperatur. Det ideelle hadde vært at sensoren hadde tatt hensyn til dette og kompensert for variasjonen over temperaturområdet. Dvs. vi kunne avlese riktig verdi for relativ fuktighet uavhengig av temperaturen.

Dette er mulig ved å benytte en NTC-motstand (termistor) som endrer verdi med temperaturen på en slik måte at den kompensere for avvikene. Databladet for H25K5A anbefaler en termistor (NTC-motstand) på 50 kΩ ved 25 °C.



Ideelt sett skulle spenningen på utgangen av spenningsdeleren til venstre være konstant som funksjon av temperaturen dersom relativ fuktighet holdes konstant. Det vil i praksis si at lufta omkring sensoren måtte tilføres mer vanddamp når temperaturen økte slik at den relative fuktigheten ble uforandret. Dette er vanskelig å få til uten avansert måleutrustning.

Dersom vi tilfører kretsen en vekselspenning på 1 kHz må spenningen på utgangen likerettes og filteres før den føres til AD-konverteren som vist på figuren over.

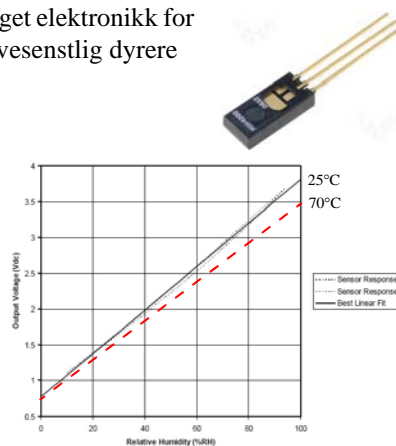
6.6.3 Fuktighetssensoren HiH4000 Honeywell

HiH4000 er en kapasitiv luftfuktighetssensor med innebygget elektronikk for omforming av kapasitet til elektrisk spenning. Kretsen er vesentlig dyrere enn H25K5A (stk. pris kr. 218,- hos ELFA).

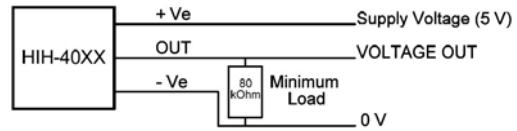
Den har en nær lineær sammenheng mellom relativ fuktighet og spenning som vist på figuren til høyre (ved 25°C). Variasjonen er imidlertid betydelig dersom temperaturen avviker vesentlig fra 25°C. Vi ser videre at spenningen på utgangen er nær ideell for bruk i CanSat idet verdiene spenner fra ca. 0,75 V ved 0 % til 4,75 V ved 100 % fuktighet. Den trekker også særdeles lite strøm hvilket selvfølgelig er gunstig ved batteridrift.

En ulempe med de fleste fuktighetssensorene er at de reagerer relativt langsomt på endringer i luftfuktighet. Uten luftsirkulasjon antydes en omslagstid på typisk 15 sek. Dersom denne skal brukes i forb. med CanSat bør den plasseres slik at den utsettes for luftstrømmen som passerer forbi sensoren.

Med utgangspunkt i grafen på figuren over til høyre kan en estimere en sammenheng mellom målt spenning og relativ fuktighet. En kan også utnytte kjenskapet til temperaturvariasjonen.



Figuren til venstre viser en typisk oppkobling og nederst sensoren pinning sett forfra.

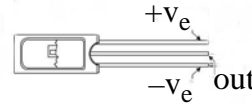


6.7 Bevegelsesensorer

I denne gruppen har vi valgt å inkludere *akselerasjonssensorer* og *bevegelsessensorer*.

Mens akselerometeret befinner seg på gjenstanden som er i bevegelse, vil

bevegelsessensoren normal være fast montert og detektere eller måle bevegelsen til en person eller gjenstand som kommer innen sensorens aksjonsområde.



6.7.1 Akselerasjonssensorer

Siden CanSat sonden faller med en relativt konstant fart gjennom atmosfæren skulle en tro at måling av akselerasjon var relativt uinteressant. En kan imidlertid registrere, spinn, g-krefter ved oppskyting og ved returnering.

Akselerometeret ADXL150 og ADXL250

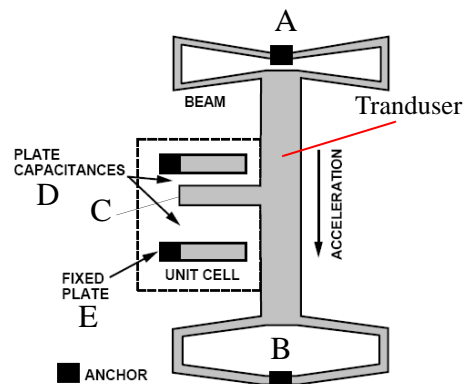
Akselerometeret ADXL150 og ADXL250 måler akselerasjon mellom -50 til $+50g$ (alternativt -25 til $+25g$) med en nøyaktighet på ca $0,1g$. Dette området angis som tall mellom 0 og 1023 på den digitale utgangen av kretsen.

Prinsippet bak målingen av akselerasjonen baserer seg på massens treghet. I akselererte systemer vil massen påvirkes av krefter som kan måles.

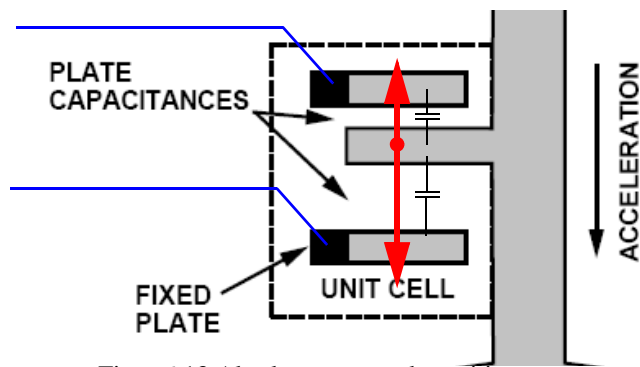
Ved hjelp av en etseteknikk er det laget en *transducer* som henger fritt mellom to punkter A og B (se figuren over). Transduceren er laget ved å legge et lag med polysilisium struktur utformet med ønsket form på toppen av et lag med silisiumoksid. Oksidlaget på undersiden av polysilisiumstrukturen etses bort slik at transduceren blir hengende fritt.

En flik C av transduceren kan bevege seg mellom to faste kondensatorplater (D og E).

Når akselerometeret utsettes for en akselerasjon i lengderetningen til strukturen, vil den påvirkes av krefter siden transduceren har en viss masse (treghet). Flikken C vil dermed forskyve seg i forhold til de to faste kondensatorplatene.



Figur 6.12 Prinsippskisse akselerometer



Figur 6.13 Akselerometerets kapasitive sensor.



Når fliken beveger seg endres de kapasitive egenskapene. Denne endringen genererer et signal som som kan relateres til akselerasjonen. Denne omdannes til en spenning i følge formelen:

$$V_{OUT} = \frac{V_{CC}}{2} + \left(\text{Sensitivitet} \cdot \frac{V_{CC}}{5V} \cdot a \right) \quad (6.16)$$

V_{Out} = spenningen ut
 V_{CC} = spenningen på kraftforsyningen
 $Sensitivitet$ = typ. 38 mV/g
 a = Akselerasjonen

Kretsen (ADXL250) inneholder to slike transducere som er montert normalt på hverandre. De måler derfor akselerasjonen i to retninger, X og Y. Figuren til høyre antyder hvordan transduserne er orientert i kretsen.

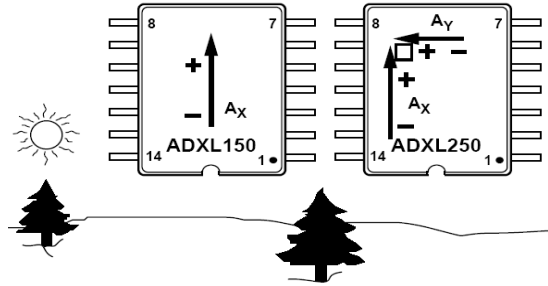


Figure 2. Output Polarity

Orienteres kretsen som vist på figuren vil den gi en verdi på +1g. Dersom den snus på hodet, gir den ut -1g. På figuren er vist to varianter med henholdsvis 1 og 2 transducere inkludert. Kretsene hae vært i salg hos ELFA, men er nå erstattet av ADXL320.

Akselerometeret ADXL350

Akslerometeret ADXL320EB er bygget etter samme prinsipp som omtalt foran, men har vesentlig mindre måleområde. Spenningene på utgangene x_{out} og y_{out} er proporsjonal med akselerasjonen i de to retningene.

Her er noen nyttige data:

- Måleområde fra -5g til +5g.
- Supplyspenning $V_{CC} = 2,4 - 5,25$ V (den kan dermed opereres på 5 V, strømtrekk 0,75 mA)
Databladet refererer til tester gjort med en supplyspenning på 3 V.
- Følsomhet 174 mV/g ved $V_{CC} = 3$ V
Følsomhet 312 mV/g ved $V_{CC} = 5V$
- Spenningsssving på utgangen 0,6 – 2,4 V (@ 3 V)
- Spenningen på utgangen er ca. $V_{CC}/2$ ved 0g



Kretsen leveres for overflatemontasje og er derfor noe vanskelig å montere. Det finnes imidlertid et evalueringkort som har en 5 pin nålekontakt som er lett å koble seg til (se figuren under). Den nakne kretsen koster hos ELFA kr. 145,- (ELFA 3-218-80), mens evalueringkortet koster kr. 361,-. (ELFA 73-218-79).

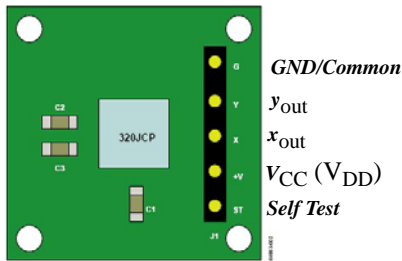


Figure 2. ADXL320EB Physical Layout

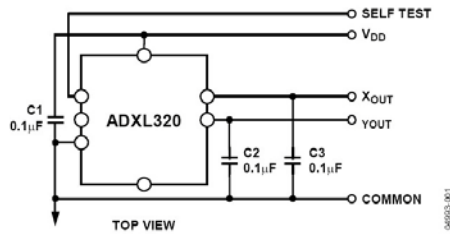


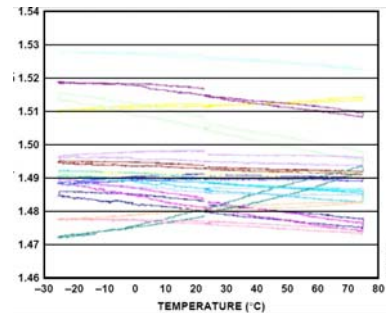
Figure 1. ADXL320EB Schematic

Til høyre på figuren over vist evalueringkortets kretsskjema.

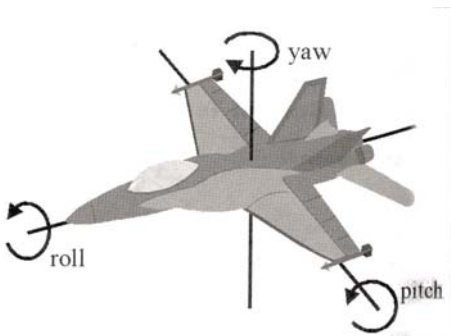
Kretsen har to analoge utganger og trenger tilsvarende for å overføre måleresultater til en mikrokontroller.

Når sensoren ligger i ro, vil den om den er montert vertikalt, måle g-verdien på stedet. Denne vil avvike noe fra forventet verdi på grunn av variasjoner i temperaturen. Dog ikke mye, se figuren til høyre.

Kretsen måler statiske akselerasjon. Den vil derfor kunne måle den statiske g og vil dermed kunne fungere som tiltsensor (måler helningsvinkelen), dvs. den kan registrere hvordan sensoren heller i forhold til gravitasjonens retning. Det kan i enkelte tilfeller være nyttig å bruke informasjon fra en slik sensor for å studere hvordan en CanSat er orientert når den faller gjennom atmosfæren.



Variasjon i x/y_{out} som funksjon av temp.



Dersom kretsen monteres horisontalt i forhold til en vertikal akse i lengderetningen på CanSat'en, kan akselerometeret måle "roll" og "pitch" som vist på figuren til venstre.

Disse kan beregnes på følgende måte:

$$Pitch = \arcsin(a_x / 1g) \quad (6.17)$$

$$Roll = \arcsin(a_y / 1g) \quad (6.18)$$

Hvor a_x og a_y er akselerasjonen i henholdsvis x- og y-retning, og g er tyngdeakselerasjonen.



Problemstilling:

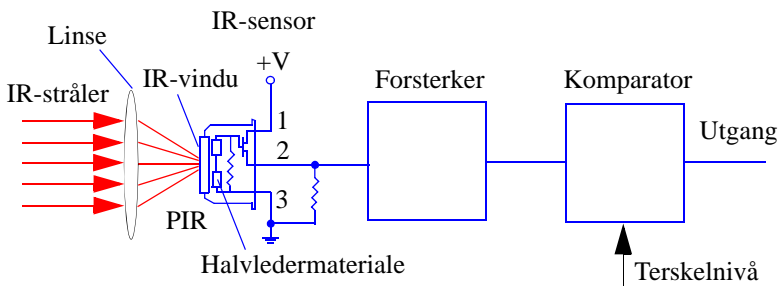
Er det mulig å måle rotasjonshastigheten med denne kretsen? Ev. finn ut hvordan kretsen må plasseres dersom en ønsker å måle rotasjonshastigheten.

6.7.2 Bevegelsessensor

Mange forskjellige metoder brukes for å detektere menneskelig tilstedeværelse i et rom. I bolig- hus finner vi vanligvis “Passiv InfraRed detektorer” (PIR) eller “Pyroelektrisk sensor”. Alt levende sender ut varmestråling (infrarød eller IR-stråling). Det samme gjelder egentlig alle gjenstander. Forskjellen på gjenstander og mennesker (ev. dyr) er at gjenstandene stort sett holder seg i ro. IR-detektorer registrerer derfor gjenstander (eller mennesker) som har en viss varmeutstråling og som er i bevegelse. En varm ovn vil derfor ikke detekteres, siden den står i ro.

En reflektor er montert bak et deksel av plast. Reflektoren samler IR-strålene inn mot selve detektoren som er montert i en liten metallkapsel med et lite vindu laget av silisium. Silisium har den egenskapen at det er gjennomsiktig for IR-stråler, slik glass er gjennomsiktig for lys.

Det er viktig at sensoren er tilpasset strålingsspekteret fra levende vesener. Mens bølgelengdene for lys ligger i området 400–750 nm (nanometer, 10^{-9} m), så finner vi IR-strålingen fra et menneske i området 9 000–10 000 nm. Følsomhetsområdet for slike sensorer er derfor i området 8 000 - 12 000 nm (eller 8–12 μ m).



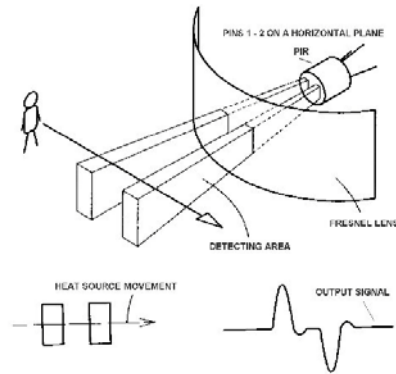
Figur 6.14 Prinsippkisse for en IR-detektor.

Selve sensoren ligner på en lyssensor. IR-stråler er elektromagnetisk stråling, eller *fotoner*, akkurat som lys. Når fotonene treffer halvlederematerialet slår de løs elektroner. De frie elektronene vil så øke den elektriske ledningsevnen i materialet. Sender vi strøm gjennom halvlederematerialet, vil strømmen øke med økende ledningsevne. Økningen i strømstyrke registreres av tilhørende elektronikk. Siden en kun er interessert i de *raske* endringene i mottatt IR-stråling, fjernes de langsomme endringene av elektriske signalfiltre.



Enkelte detektorer mottar stråling i to retninger som ligger tett ved hverandre som vist på figur 6.15. Ved generell oppvarming av rommet vil det registreres økt IR-stråling i begge de to retningene. Dersom kilden beveger seg forbi detektoren, vil IR-strålingen registreres først i den ene, og deretter i den andre retningen. I så fall vil detektoren registrere bevegelse og alarmen utløses.

En komparator sørger dessuten for at nivået på IR-strålingen må over et visst nivå for at det skal registreres en bevegelse. En komparator sammenligner nivået til signalet med et referansenivå. Dersom signalet overskrider referansenivået (terskelnivået) gis et signal på utgangen, viss ikke, skjer ingen ting. Ved å endre referansenivået kan en bestemme IR-detektorens følsomhet.



Figur 6.15 Tostråle IR-detektor.

6.8 Magnetfeltfølsomme sensorer³¹

Magnetometer (av magnet og -meter), instrument for måling av magnetisk feltstyrke og flukstetthet eller magnetiske egenskaper i et materiale. Finnes i en rekke utforminger og virkemåten kan bygge på svært forskjellige fysiske prinsipper. I tillegg finnes magnetsensorer for bruk i forbindelse med styring og overvåking.

Det magnetiske feltet betegnes ofte *B-feltet* med en magnetisk feltstyrke som måles i enheten **Gauss** (G) i cgs-systemet eller **Tesla** [N·s/C·m] i SI-systemet. Sammenhengen mellom Gauss og Tesla kan uttrykkes som: **1 Tesla = 10 000 Gauss**.³²

Magnetisk feltstyrke assosieres ofte med de to størrelsene *B-felt* og *H-felt*. Disse angir begge magnetisk feltstyrke, men brukes i forskjellige sammenhenger og har ofte ulike måleenheter. B-feltet assosieres gjerne med det feltet som dannes av ladninger i bevegelse og måles i Tesla. B-feltet kalles derfor også for *magnetsik induksjon* eller *magnetisk flukstetthet*. Når magnetsike felter (B-felt) passerer gjennom materialer av ulike slag, vil feltet i større eller mindre grad påvirkes av materialets magnetiske egenskaper. I denne sammenheng kan det være uklart hvor stor del av det kombinerte feltet som skyldes det ytre feltet og hva som skyldes materialets bidrag. H-feltet assosieres gjerne med det kombinerte feltet i materialet og måles også i Tesla. Sammenhengen mellom B- og H-feltet kan uttrykkes som:

$$\mathbf{B} = \mu_m \cdot \mathbf{H} \tag{6.19}$$

Hvor μ_m er materialets relative permeabilitet eller *materialets magnetiske gjennomtrengelighet*. For luft er $\mu_m = 1$.

31. Størstedelen av dette avsnittet er hentet fra oppgave besvarelsen til Nic Furu, Anita Bordevik og Eivind Tjensvoll under Romteknologikurset 2005. Gjengitt med tillatelse fra forfatterne.

32. [http://en.wikipedia.org/wiki/Gauss_\(unit\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Gauss_(unit)) og http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_field



For at vi skal få et visst begrep om hvor sterk én Gauss er, så kan følgende være til hjelp:

- $10^{-9} - 10^{-8}$ G Magnetiske felter som skyldes elektriske strømmer i hjernen
- 0,31 – 0,58 G Det jordmagnetiske feltet ved overflata
- 50 G En typisk kjøleskapsmagnet
- 100 G En liten jernmagnet
- 2000 G En liten neodymmagnet
- 15 000 - 30 000 G Magneter i MRI-utstyr (Magnetic Resonance Imaging)

6.8.1 Hovedinndeling av magnetfeltsensorer.

Magnetfeltsensorer deles gjerne inn i *magnetometre* for $B < 1\text{mT}$ og *gaussmetre* for $B > 1\text{mT}$ ³³. Det er vanlig at gaussmetre bruker Hall-effekten, magnetoresistivitet, magnetodioder eller magnetotransistorer som det aktive elementet.

Magnetometre deles gjerne inn i vektor- og skalar-typer.

Vektormagnetometre måler magnetfeltets komponent i en gitt retning. De bruker f. eks. induksjonsspoler, fluxgateprinsippet, SQUID (strøm gjennom et isolerende lag mellom to superledere), magnetoresistivitet og fiberoptikk.

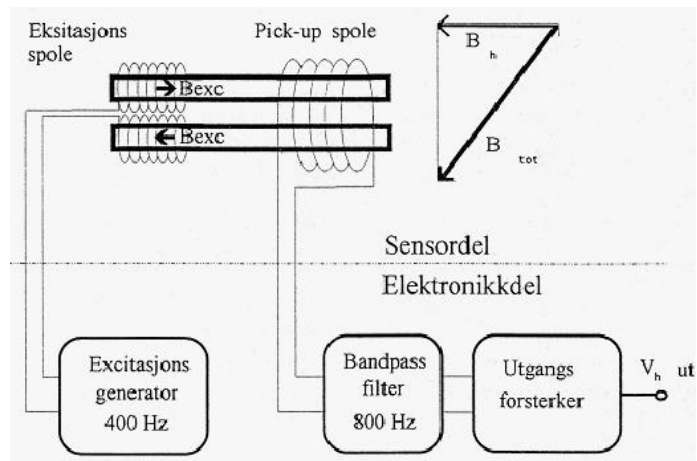
Skalare magnetometre måler magnetfeltets absoluttverdi. To typer dominerer – begge baserer seg på atomkjerners og atomers egenskaper i stoffer – *protonpresesjon* (slingringen i spinnets til atomkjernen) og "*optically pumped manometer*" (bruker Zeeman-effekten, – magnetfeltets virkning på eksitasjon og absorpsjon i alkalinsk damp).

Metningskjernemagnetometeret eller Fluxgate-magnetometeret

Fluxgate-magnetometeret blir mest brukt i dag. Virkemåten har vært kjent fra omkring 1920 og de første sensorene ble utviklet i 1936. Fra 1940–50-åra har fluxgatesensorer vært "arbeidshestetene", både i rommet og for diverse målinger fra fly m.m. En sensor alene måler feltstyrkens komponent i sensorens definerte akseretning. Ved å montere tre sensorer montert med 90 grader på hverandre (triaxial fluxgate magnetometer), kan magnetfeltets vektorielle størrelse måles.

³³.mT står for milliTesla som er en måleenhet for magnetisk feltstyrke.

I dette tilfellet består sensorelementet av to parallelle staver med relativt høy permeabilitet. Hver stav har en spole/viklinger. Viklingene på de to stavene seriekobles slik at vekselstrømmen på 400 Hz som tilføres, setter opp et like stort, men motsatt rettet magnetfelt i de to stavene. Strømstyrken settes slik at de to kjernestavene går i magnetisk metning i deler av hver halvperiode av vekselstrømmen. En felles pickup-spole for de to stavene fanger opp et induisert signal



Figur 6.16 Prinsippskisse for et Fluxgate-magnetometer.

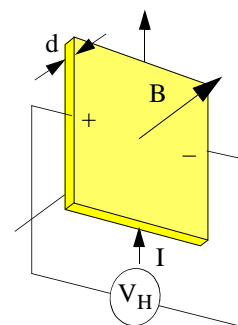
fra kjernen. Om kjernen ikke påvirkes av et eksternt magnetfelt, vil feltet fra de to stavene utligne hverandre, og signalet på pickup-spolen vil bli null. Dersom det finnes et ytre magnetfelt, vil dette forskyve magnetiseringsnivået, og man får asymmetri i de to halvperiodene som endrer nivået til den 2. harmoniske komponenten på 800 Hz. Dette registreres og brukes til å bestemme styrken på det ytre feltet. Slike magnetometre vil måle feltkomponenter i en bestemt retning. De måler ikke det absolutte felt, slik som f eks et protonmagnetometer, og må derfor kalibreres mot et absolutt-instrument. Når magnetfeltet endres, får vi induisert strøm i pickup-spolen. Den induerte strømmen digitaliseres til en prosessor. Strømmen i hvert viklingspar blir kontrollert av en 12-bit digital til analog konverter (DAC). Sensorsignal og feedback-signal blir kontinuerlig overført til prosessorheten, som kalkulerer verdien på magnetfeltet ved å skalere og summere de mottatte data.

Andre ganger har en behov for mindre magnetfeltsensorer for overvåking, styring og kontroll.

6.8.2 Hallsensorer

Halleffekten ble oppdaget i 1879 av **Edwin Hall** (1855–1938). Han observerte at det oppsto en elektrisk spenning i et strømførende materiale som ble utsatt for et magnetfelt (se figuren til høyre). Hall oppdaget effekten da han arbeidet med sitt doktorarbeid ved *Johns Hopkins university* i Baltimore i Maryland, USA.

Effekten er en naturlig følge av Lorentz-kraften på ladninger som beveger seg i et magnetfelt. Et magnetfeltet som står loddrett på strømretningen, vil påvirke ladningen med en kraft som står normalt på strømretningen og på magnetfeltet. Dermed vil det oppstå en liten, men målbar ladningsforskjell mellom sidekantene til den elektriske lederen. Dette er vist på figuren til høyre.³⁴

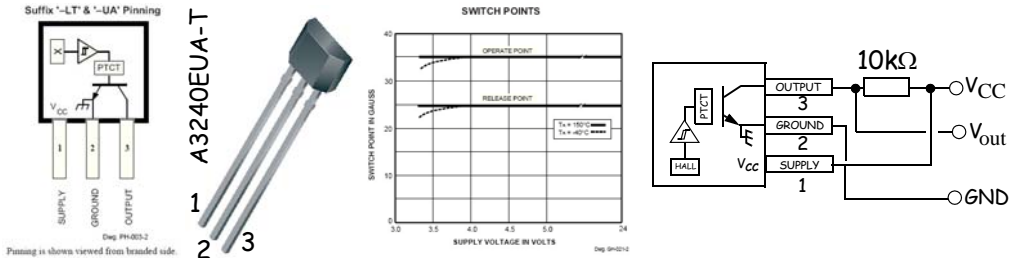


34.http://en.wikipedia.org/wiki/Hall_effect



A3240EUA (magnetisk bryter)

Det finnes en rekke billige magnetsensorer i salg som anvender på Hall effekten. Figuren under viser sensoren A3240EUA som produseres av firmaet Allegro. Denne fungerer som en magnetisk styrt bryter. Bryteren vil åpne så snart et tilstrekkelig sterkt magnetfelt nærmer seg komponenten. Slik komponenten er koblet til høyre på figuren under, så vil den være *aktiv lav*, dvs. at spenningen på utgangen legges nær jord når den påvirkes av et magnetfelt. Bryteren slår inn når feltet overstiger ca. 35 Gauss. Har magnetbryteren først slått inn, må nivået under ca. 25 Gauss for at den igjen skal bryte strømmen. Vi sier at komponenten har *hysteres*. Kretsen fungerer med batterispenninger fra $V_{CC} = 4,2 \text{ V}$ til 24 V , og kan slå av og på strømmer på inntil 25 mA .

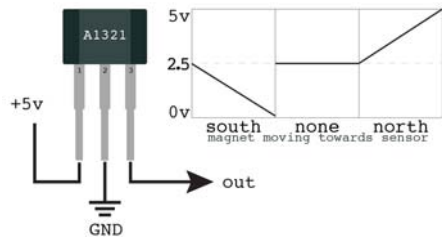


En variant av denne kretsen inneholder en såkalt *latch*. Dvs. at når den først er utsatt for et tilstrekkelig sterkt magnetfelt, så holder den bryteren lukket helt til en magnet av motsatt polaritet, åpner bryteren. ELFA har tidligere solgt disse for ca. 15 kr/stk, men de er tatt ut av sortementet.

A1321/2/3 (Lineær Hall-sensor)

Det finnes også lineære Hall-sensorer hvor spenningen på utgangen er lineært varierende avhengig av styrken på magnetfeltet innefor et visst område. En slik er **A1321** (ELFA 73-339-25, stykkpris ca. kr. 26,-) som produseres av firmaet *Allegro*.

Dersom ingen magnet er i nærheten, vil spenningen ligge midt mellom forskyningsspenningen og jord. Med et økende felt fra en sørpol, vil spenningen synke mot 0V. Med et økende felt fra en nordpol, vil spenningen øke mot forskyningsspenningen (se figuren til høyre).

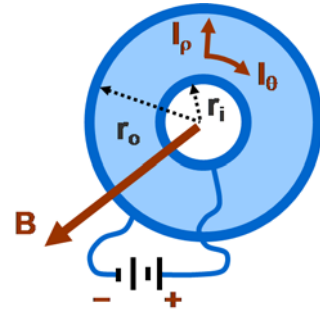


Forsyningsspenningen skal ligge mellom $4,5 \text{ V}$ – $5,5 \text{ V}$. Sensoren leveres i tre varianter med forskjellig følsomhet ($2,5 \text{ mV/G}$ (A1323), $3,75 \text{ mV/G}$ (A1322) og $5,0 \text{ mV/G}$ (A1321)). Dersom vi for enkelthetskyld sier at området for hver magnetisk polaritet er på ca. $2,2 \text{ V}$ og vi velger en sensor med en følsomhet på 5 mV/G , vil det være mulig å registrere en variasjon i magnetfeltet for hver av polaritetene fra 0 – 440 G . Vi registrerer også at det vanskelig lar seg gjøre å måle jordmagnetfeltet ($<1 \text{ G}$) med en slik sensor uten at man forsterker signalet.



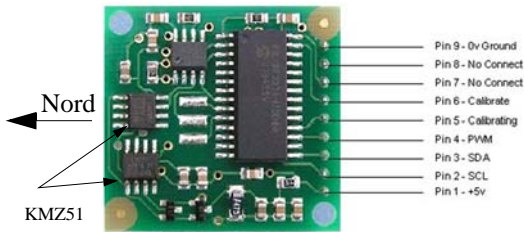
6.8.3 Magneto-resistivitet

I 1856 oppdaget den skotske fysikeren **Lord Kelvin** (1824–1907) et materiale som endret resistans når det ble utsatt for et magnetfelt. Han benyttet jern- og nikkelholdige materialer i sine eksperimenter, men lyktes ikke å endre resistiviteten med mer enn ca. 5 %. En måte og forstå denne effekten på kan knyttes til magnetfelters evne til å avbøye ladninger i bevegelse, slik at strømveien blir lengre. Dette demonstreres f.eks. ved den såkalte *Corbino disken* (se figuren til høyre). Disken har en ledende ring innerst og en tilsvarende ring ytterst. Det magneto-resistive materialet befinner seg mellom de to ringene. En strøm ledes fra den innerste til den ytterste ringen. Påtrykkes disken et magnetfelt B langs aksene, vil Lorentz-krefter avbøye ladingene slik at de går en lengre vei i materialet, hvilket medfører høyere resistivitet.



I dag benyttes halvleder-materialer (f.eks. indium antimonid) hvor mobiliteten (ledningsevnen) til ladningsbærerne i halvlederen påvirkes av magnetfeltet og dermed endres resistiviteten. På denne måten har en lyktes med å endre resistiviteten opp til 100 %.³⁵ Denne teknologien benyttes blant annet i enkelte elektroniske kompasser.

6.8.4 Elektronisk kompass – CMPS03



KMZ51 er en integrert krets produsert av Philips som inneholder to magneto-resistive elementer koblet inn i en *Wheatstones målebrot*. To slike kretser danner grunnlaget for en kompassmodul som går under betegnelsen CMPS03 (se figuren til venstre). Legg spesielt merke til at de to KMZ51 kretsene er plassert normalt på hverandre. CMPS03 måler dermed projeksjonen av magnetfeltet

i det planet kretsen er orientert. Kretsen er i utgangspunktet kalibrert for ca. 67° nordlig bredde. Skal den brukes i områder ved andre breddegrader bør den kalibreres på nytt. Dette gjøres ved å legge kretsen horisontalt, for deretter i tur og orden å legge den i de fire himmelretningene, mens kalibreringen utføres. Kalibreringen startes med en kommando.

Kretsen leverer data om feltretningen på to ulike måter. Enten som en avlest digital verdi fra et register via en I²C buss (SDA og SCL), eller som et pulsbreddemodulert (PVM) signal. Denne modulen er foreslått brukt i forbindelse med Arduino- eller PIC-prosessorer og ble utviklet spesielt i forbindelse med orientering av roboter. Kretsen krever en forskyningsspenning på 5 V (25 mA).

Pris på CMPS03 er i størrelsesorden 22 £ fra Robot Electronics³⁶

35. <http://en.wikipedia.org/wiki/Magneto-resistance>

36. <http://www.robot-electronics.co.uk/acatalog/Compass.html>

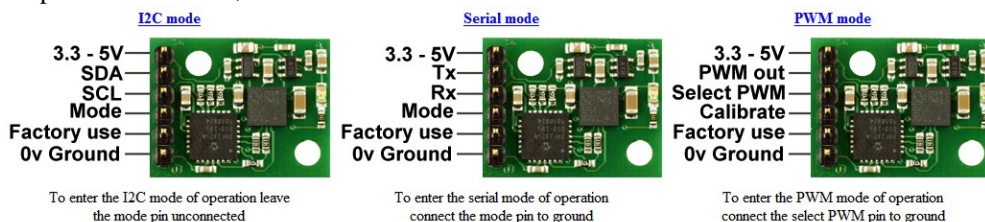


Elektronisk kompass CMPS10 - med tiltkompensasjon



CMPS10 fungerer omtrent som CMPS03, men utfører en feltmåling i tre retninger. Dermed kan feltvektoren bestemmes i rommet relativt kortets orientering. Kretsen leverer en heltallsverdi i område 0–3599 i retningene x, y og z. Dette representerer 0–359,9° med oppløsning på 0,1°. Kretsen kan avleses i ulike formater enten via I²C-buss, PWM signal eller i seriellform som vist på figuren under. Feltnetning kan i teorien avleses hvert 13,3 ms. Kretsen opererer med en forskyningsspenning på fra 3,3 V til 5 V og har et typisk strømtrekk 25 mA³⁷.

Pris på CMPS10 er i størrelsesorden 20 £ fra Robot Electronics.



Flere magnetfeltsensorer (moduler) fra *Honeywell* og *Ocean Server Technology Inc.* er vist på Sparkfuns hjemmeside: <http://www.sparkfun.com/categories/23>

6.8.5 Anvendelser av magnetometer

Magnetometre og magnetsensorer har mange forskjellige bruksområder. En av de viktigste anvendelser er måling av magnetiske felt på bakken og i verdensrommet. De nyttes i geofysiske målinger, i borehull og i kartlegging av mineralforekomster fra fly, fartøy og på bakken. Magnetometre er også i bruk som metalldetektorer, i sikkerhetskontroll på flyplasser og til lokalisering av metallgjenstander under jorden og i vann, f.eks. i minedetektorer og i utstyr for oppsporing av undervannsbåter.

I skolen kunne man ha laget og brukt en metalldetektor i forbindelse med geologiundervisningen på 8. trinn, eller i forbindelse med metaller på 9. trinn.

Flere anvendelsesområder:

- Magnetfeltet til sola, planetene, måner, asteroider, kometer ved romferder.
- Jordmagnetismen målt fra satellitter og fly, på overflata, fra skip, i borehull og gruver.
- Elektroniske kompass.
- Geologers søk etter jernholdige mineraler.
- Paleomagnetiske målinger av remanent magnetisme i havbunnen.
- Arkeologiske søk, minesøk og andre metallsøk i jordsmonnet.

³⁷<http://www.robot-electronics.co.uk/htm/cmeps10doc.htm>



- Søk etter ubåter.
- Felt fra kraftlinjer, jordkabler, varmekabler osv.
- UFO-søk i Hessdalen.
- Biologisk neuromagnetisme.
- Lesehoder for magnetbånd og disketter
- Kompasser.
- Mekaniske målinger som f.eks. toleranser for aksler (kamakselkontroll), turtallsmålinger.
- Kjøretøydeteksjon i lyskryss og ved trafikktegn.
- Sikkerhetskontroll på flyplasser.

Mer stoff finnes i referansene i [11].

6.9 Gass-sensorer

Mangfoldet av gass-sensorer er svært stort og metodene som anvendes for deteksjon er like variert og tilpasset den enkelte gass. I dette avsnittet skal vi se på virkemåten til noen typer gass-sensorer.

6.9.1 Pellistoren³⁸

Selv om de tidligste gassensorene så dagens lys i 1920-årene, var det først på slutten av 1950-tallet at utviklingen skjøt fart. Det var primært i Japan at gassensorer ble utviklet. Dette skyldes dels et økende antall gassulykker i japanske gruver og dels den hyppige bruken av gass til koking og oppvarming i japanske hjem.

Det finnes mange ulike teknikker for å detektere gass. Her har vi valgt å beskrive en teknologi som benyttes i sensorer som er tilgjengelig fra ELFA til en overkommelig pris, og på den måten kan brukes i prosjekter i skolen og ev. i forbindelse med CanSat.

Man oppdaget tidlig at temperaturen i enkelte stoffer, oppvarmet til noen hundre grader, økte når de ble utsatt for brennbare gasser slik som metan (CH_4), isobutan, butan og propan m.fl.. Stoffene var også elektrisk ledende med en gitt resistans som endret seg med temperaturen (vanligvis økende resistans med økende temperatur). Dermed ble en istand til å registrere endringen ved å måle strømmen gjennom materialet.

38.LPG - Liquefied Petroleum Gas



Et slikt sensorelement går ofte under navnet *pellistor*. Figur 6.17 viser to ulike prinsipper. I figur A er materialet som reagerer med gassen lagt omkring et keramisk rør, materialet er i denne sammenhengen sintret tinnoksid (SnO_2). Gjennom røret går en varmetråd som varmer opp tinnoksiden. Denne metoden kalles indirekte siden varmetråden ikke er bakt inn i motstandsmaterialet.

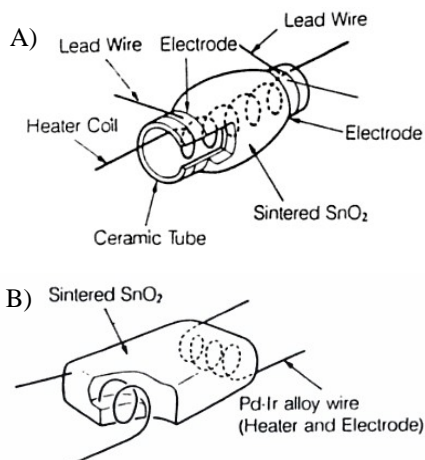
Når tinnoksiden kommer i kontakt med gassen, vil temperaturen øke og resistansen i stoffet øker tilsvarende. Økningen i motstanden registreres i en ytre krets, som igjen f.eks. kan utløse en alarm, eller måle gasskonsentrasjonen.

I figur B er varmetrådene innbakt i motstandsmaterialet. Varmetrådene virker også som elektrode som registrerer endringen i materialets resistans.

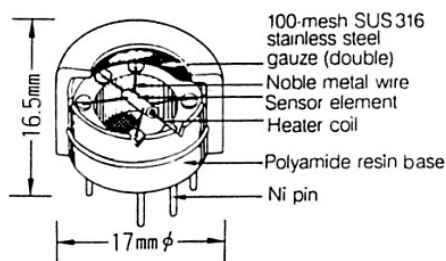
Hele sensoren, som er svært liten, monteres i et lite metallhus med et vindu hvor gassen kan slippe inn.

Det finnes i dag en rekke sensorer på markedet som detekterer ulike typer gasser. Over omtalte vi tinnoksid som reagerer på ulike brennbare gasser. Det er imidlertid utviklet en rekke ulike materialer som reagerer på forskjellige gasser.

Tabellen under viser hvordan forskjellige stoffer reagerer optimalt på ulike gasstyper.



Figur 6.17 Katalytisk sensor



Figur 6.18 Sensor montert i metallhus.

TABLE 1. Key Solid-State Gas Sensor R & D Papers in the First Two Decades

Year	Material	Signal	Detecting gas	Researcher	Ref.
1962	ZnO (Thin film)	E.C.	H ² , Alcohol, etc.	Seiyama, et. al.	4
	SnO ₂	E.C.	Combustible gas	Taguchi.	6
1963	SnO ₂ +Pd, Pt, Ag.	E.C.	Combustible gas	Taguchi.	7
1966	ZnO, SnO ₂ , etc.	E.C.	Reducing gas	Seiyama, et. al.	8
	SnO ₂ +Al ₂ O ₃	E.C.	Combustible gas	Taguchi.	9
1967	WO ₃ +Pt	E.C.	H ₂ , N ₂ H ₄ , WH ₃ , H ₂ S	Shaver.	10
	In ₂ O ₃ +Pt	E.C.	H ₂ , Hydrocarbon	Loh.	11
1969	SnO ₂ +SiO ₂	E.C.	Combustible gas	Taguchi.	12
1971	ZnO+Pt+Ga ₂ O ₃	E.C.	CH ₄ , NH ₃	Bott, et. al.	13
1972	SnO ₂ +Pd	E.C.	Propane	Seiyama, et. al.	14



1975	La _{1-x} Sr _x CoO ₃ , etc.	E.C.	Alcohol	Sakurai, et. al.	15
	V ₂ O ₅ +Ag (Thin film)	E.C.	NO ₂	Sakai, et. al.	16
	ZnO+Ga ₂ O ₃ +Pd, Pt.	E.C.	H ₂ , CO, Hydrocarbon	Ichinose, et. al.	17
	TiO ₂	E.C.	O ₂	Tien, et. al.	18
	CoO	E.C.	O ₂	Logothetis, et. al.	19
	Pd MOS FET	T.V.	H ₂	Lundström.	20
1976	Pd/CdS	R.	H ₂	Steele, et. al.	21
1977	SnO ₂ +Pd+ThO ₂	E.C.	CO	Nitta, et. al.	22
1978	γ-Fe ₂ O ₃	E.C.	Propane	Matsuoka, et. al.	23
	Co ₃ O ₄	E.C.	CO	Stetter.	24
	Ag ₂ O	S.P.	Mercaptan	Tsubomura, et. al.	25
	Pd/TiO ₂	R.	H ₂	Tsubomura, et. al.	26
	Metal-phthalocyanine	E.C.	NO ₂	Sadaoka, et. al.	27
	Anthracene	E.C.	Amine, Carboxylic acid	Suzuki, et. al.	28
1979	ZnO (Thin film)	E.C.	Alcohol	Heiland, et. al.	29
1980	SnO ₂ -Ultra fine particle	E.C.	Combustible gas	Abe, et. al.	30
1981	α-Fe ₂ O ₃	E.C.	CH ₄ , H ₂ , etc.	Nakatani, et. al.	31
	ZnO+V ₂ O ₅ +MoO ₃	E.C.	Freon	Shiratori, et. al.	32
1982	ZnO (Single crystal)	E.C.	CO	Jones, et. al.	33
	SnO ₂ (Thin film)	E.C.	Combustible gas	Chang.	34
	SnO ₂ (Thin film)	E.C.	Combustible gas	Sotomura, et al.	35

E.C.: Electric conductivity. T.V.: Threshold voltage. R.: Rectification. S.P.: Surface potential.

ELFA leverer flere gassensorer fra firmaet Sencera Co Ltd. Alle av nevnte type har forvarming og er optimalisert for ulike typer gass. Gassene butan, isobutan, propan m.fl. betegnes ofte som LP-gasser (LPG-Liquified Petroleum Gas):

HS-129 - Hydrogen, LPG, Alkohol

HS-131 - Metan, LPG

HS-133 - LPG, Metan,

HS-134 - Karbonoksid, Hydrogen,

HS-135 - Isobutan, alkohol, svoveldioksid, røyk, CO₂.

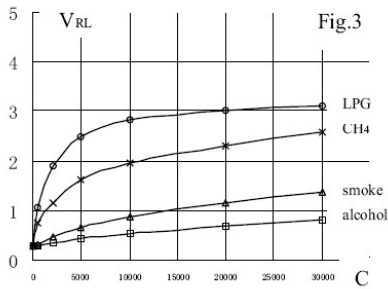


Figur 6.19 Gassensor fra Sencera Co Ltd

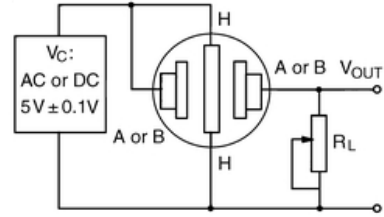
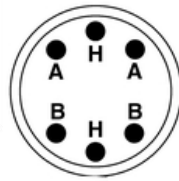


6.9.2 Gassensor LPG, Metan – HS-133

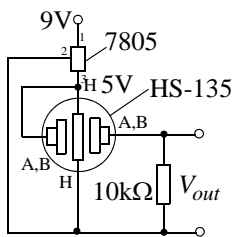
Figur 6.20 viser følsomhetskarakteristikker for ulike gasser for sensoren HS-133. Dvs. spenning som funksjon av konsentrasjonen i ppm (parts pr. million). Spenningen framkommer ved at sensoren kobles inn i en liten krets som vist til høyre på figur 6.20.



Figur 6.20 Følsomhetskurve for ulike gasser.



Figur 6.20 Oppkobling av sensorelement.

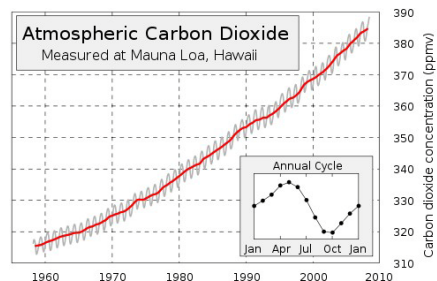


Varmetråden som skal varme opp sensoren til riktig temperatur, må tilføres en nøyaktig spenning på 5 V +/- 0,1 V, derfor benyttes en spenningsregulator som sørger for at spenningen holdes nær 5 V. Spenningen kobles til terminalene H-H. Motstandsmaterialet er koblet inn mellom A-A eller B-B. Den interne motstanden kobles i serie med spenningskilden og en ytre regulerbar motstand. Utgangsspenningen V_{RL} (V_{out}) måles over R_L . R_L justeres til ønsket spenningsnivå.

En R_L på 10 kΩ ga etter ca. 15 min. en hvilespenning V_{out} på ca. 2 V. Det så ut til at ved første gangs bruk så falt spenningen V_{out} fra 5 V ned til 2 V. Oppvarmingen av sensoren trekker ca. 800 mW. Ved å blåse litt butan på sensoren spratt V_{out} umiddelbart opp i ca. 5 V. Ved avbrudd og senere påslag av kretsen steg spenningen opp fra 0 før den stabiliserte seg på ca. 2 V.

6.9.3 CO₂ innholdet i atmosfæren

I forbindelse med CanSat og romvirksomhet kan det være aktuelt å måle ikke brennbare gasser som f.eks. CO₂. Figuren til høyre viser hvordan CO₂-innholdet i atmosfæren har endret seg de siste 50 åra. Som vi ser så har det vært en jevn sesongavhengig økning fra ca. 310 ppm³⁹ til 380 ppm i 2008⁴⁰. Vi ser også en liten tendens til at økningen går stadig raskere.

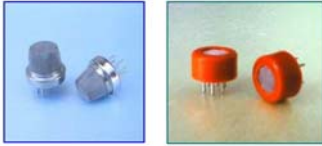


39. ppm - parts pr. million

40. http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide_in_Earth's_atmosphere

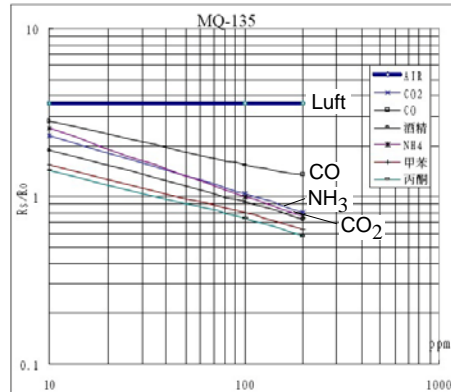
Det er ikke enkelt å finne billige CO₂ sensorer med tilstrekkelig følsomhet. MG-135 kan synes å være en aktuell sensor.

6.9.4 Gass-sensor CO₂ – MQ-135



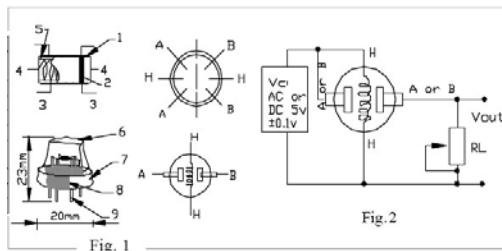
Denne sensoren fungerer etter samme prinsipp som beskrevet foran og er primært beregnet på registrering av ammoniakk (NH₃) og alkohol, men burde la seg bruke til CO₂ så lenge gassen ikke forstyrres av de andre gassene sensoren er følsom for.

Figuren til høyre viser følsomhetskurven for ulike gasser. Vi ser at NH₄ ligger svært nær CO₂. Grafen angir relativ endring i resistans i sensoren som funksjon av konsentrasjonen. Vi ser at kurvene er tegnet for verdier fra 10–200 ppm, men databladet synes å antyde at de kan strekkes noe høyere opp. Dette må imidlertid kontrolleres.



Figuren under viser hvordan sensoren kobles opp med en lastmotstand RL (til høyre) i serie med det aktive elementet i sensoren som er et tynt lag med tinndioksid (SnO₂). Varmeelementet skal forskyves med 5 ± 0,1 V og trekker ca. 800 mW.

Parts	Materials
1 Gas sensing layer	SnO ₂
2 Electrode	Au
3 Electrode line	Pt
4 Heater coil	Ni-Cr alloy
5 Tubular ceramic	Al ₂ O ₃
6 Anti-explosion network	Stainless steel gauze (SUS316 100-mesh)
7 Clamp ring	Copper plating Ni
8 Resin base	Bakelite
9 Tube Pin	Copper plating Ni



MQ-135 selges for 9 € hos Cooking Haacks⁴¹.

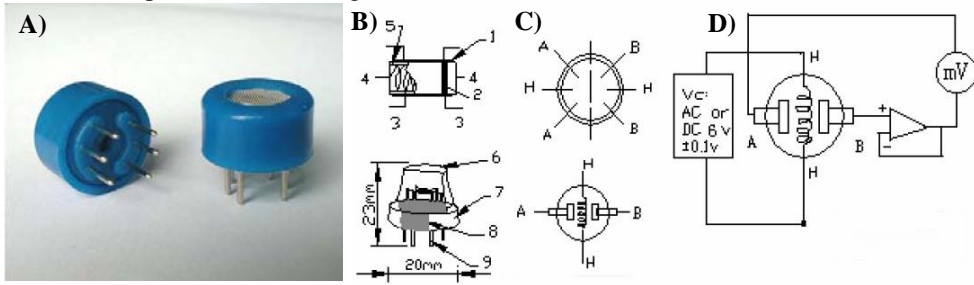
6.9.5 Gassensor CO₂ – MG811

Dersom vi trenger å måle større verdier av CO₂ så er kanskje sensoren MG811 et alternativ. MG811 er basert på et litt annet prinsippet enn beskrevet foran. Komponenten leveres i to varianter (se A og B på figuren under). Oppbyggingen kan kort beskrives slik: Et porselensrør (5) varmes opp av et varmeelement (4). Røret er dekket med et tynt lag med elektrolytt (1) som er tilsluttet elektroder av gull (2) og platina (3). Det hele er bygget inn i et kammer. En metallnetting

41. <http://www.cooking-hacks.com/index.php/shop/sensors/mq135-air-quality.html>



(6) sørger for å slippe gass inn i kammeret. Det hele er montert på en bakelittsokkel (8) med forniklede kobberpinner for tilkobling.



Varmeelementet skal tilføres en spenning på $6 \pm 0,1$ V (AC eller DC) (pinne H–H) og krever et strømtrekk på typisk 200 mA (1,2 W). Sensoren kan registrere CO_2 -nivåer fra 350 til 10 000 ppm, hvilket er i overkant av det som kreves for å registrere verdier i atmosfæren, som ligger i området rundt 380 ppm.

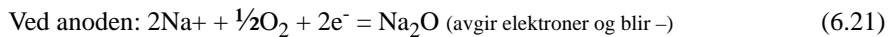
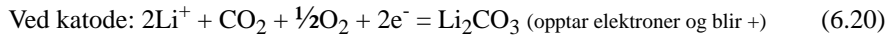
Det aktive elementet er koblet mellom terminal A-B. Tegning D i figuren over viser testoppkoblingen, men kan også benyttes for oppkobling av kretsen i drift. Som vist er det benyttet en operasjonsforsterker med en forsterkning lik 1.

Reaksjonen mellom gass og materiale kan uttrykkes på følgende måte:

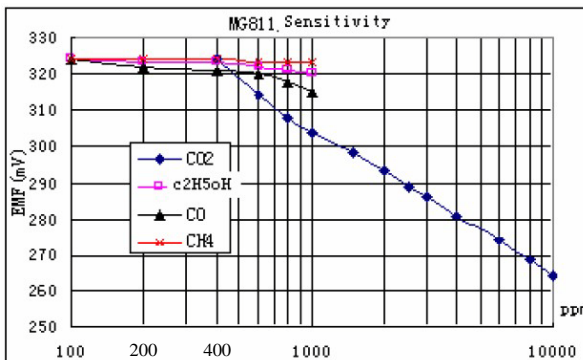


Hvor NASICON sannsynligvis er et halvleder materiale.

Ved hver av elektrodene vil det skje en kjemisk reaksjon som beskrevet av ligningene under:



$$EMF = \frac{E_c - (R \cdot T)}{2F \ln p(\text{CO}_2)} \quad (6.22)$$



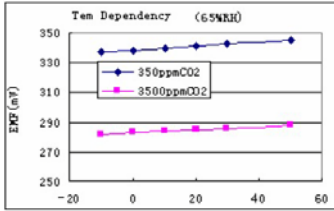
Hvor EMF er spenningen (elektromotorisk kraft) på utgangen, E_c – er en konstant og R – er gasskonstanten, begge relatert til volumet til det aktive materialet i sensoren, T – er absolutt temperatur, F – Faradays konstant, $p(\text{CO}_2)$ er konsentrasjonen til CO_2 .

Figuren til venstre viser sammenhengen mellom spenningen målt på utgangen og CO_2 konsentrasjonen.

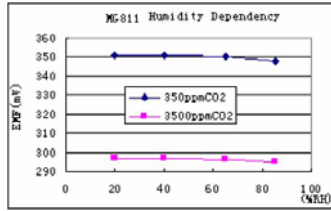


En utfordring med denne type sensor er å hindre at målingene også påvirkes av temperatur og luftfuktighet, parametere en ofte ikke har kontroll over.

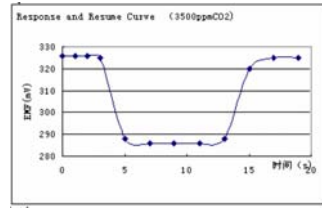
Figuren under viser hvordan målingene påvirkes av temperatur (A) og relativ fuktighet (B). Figuren under til høyre viser responstiden til sensoren, dvs. hvor fort den reagerer på endringer i gasskonsentrasjon.



Avhengighet av temperatur

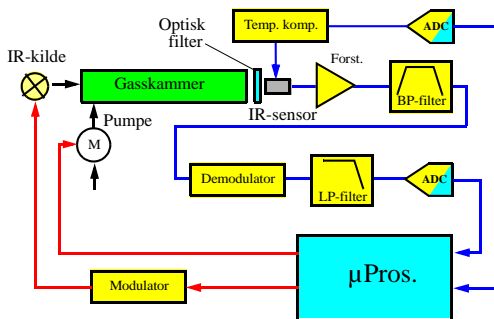


Avhengighet av luftfuktighet



Tidsrespons

6.9.6 Måling av CO₂ ved absorpsjon av IR-stråling (C100)



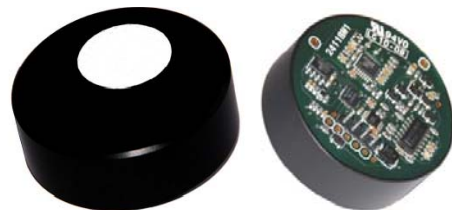
Den skotske firmaet GSS (Gas Sensing Solution) baserer sin C100 CO₂-sensor på CO₂-gassens evne til å absorbere IR-stråling. Teknologien går ofte under betegnelsen NDIR (NonDispersive Infra-Read sensor). Lufta pumpes inn i et lite kammer. En IR-stråle senders ut fra en lyskilde i den ene enden av kammeret og detekteres av en IR-sensor i den andre enden. Et optisk filter er plassert foran detektoren for å fjerne alt lys unntatt den bølgelengden hvor IR-strålingen absorberes av CO₂ gasen.

Dyrere instrumenter har ofte et parallelt referansekammer med nitrogen. Ved å sammenligne absorpsjonen i de to kamrene, kan man fjerne effekten av uønskede forstyrrelser.

Selv med referansekammer og optiske filter kan man være plaget av andre gasser som f.eks. H₂O og SO₂ som har delvis overlappende absorpsjonsspektre med CO₂.

C100 sensoren leverer normalt et mål for CO₂-konsentrasjonen på digital form, men kan også leveres med analog utgang. Under er listet opp noen nøkkelparametere for C100:

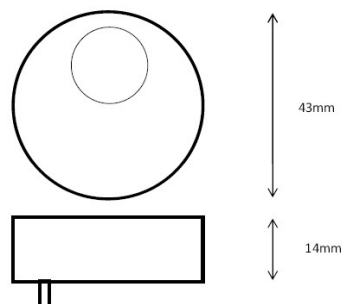
- Måler konsentrasjoner fra 0–2 000 ppm
- Nøyaktighet $\pm 40 \text{ ppm} \pm 3\%$ ved avlesning
- Linearitet: $< 1\%$ av full skala





- Temperaturområde: -25°C – 55°C
Fuktighetsområde: 0 – 95 % relativ fuktighet (ikke kondensert)
Gasstrykk (lufttrykk): 950 mbar – 1050 mbar
- Responstid: 9 sek. – 2 min. (avhengig av krav til nøyaktighet)
- Oppvarmingstid: < 3 min.
- Effektforbruk: 100 mW
- Forskyningsspenning: 3,3 V - 5,5V
- God imunitet til andre gasser og H_2O
- Kan leveres med RS232-grensesnitt og i spesielle tilfeller analogt grensesnitt.
- Mer informasjon kan finnes på <http://www.gassensing.co.uk/technical-downloads.asp>

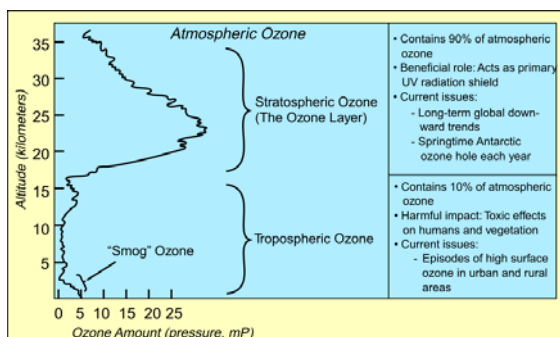
Det finnes også en annen variant C20



6.9.7 Måling av ozon-konsentrasjon

Ozon i atmosfæren

Gassen ble første gang karakterisert i 1840 av den tysk-sveitsiske kjemikeren **Christian Friedrich Schönbein** (1799–1868). Han ga den navnet Ozon av gresk ozein som betyr lukt. Hvilket er relevant siden gassen har en karakteristisk lukt som kan kjennes etter tordenvær. Ozon har de seneste årene vært i fokus etter at en oppdaget at ozon-laget som omgir jorda ble svekket av freongasser o.l.. Laget befinner seg hovedsakelig i stratosfæren i en høyde fra 10–50 km (se figure til høyre). Siden ozon absorberer stråling i området 270–400 nm (ultrafiolett stråling <320 nm), vil dette laget redusere mengden av UV som når ned til bakken. Ozon er giftig, hvilket gjør at en forsøker å redusere mengden ozon i den luften en puster inn. Ozon er også en kraftig drivhus gass ca. 1000 mer effektivt enn CO_2 , men bidrar likevel ikke så mye siden mengdene er så små. Totalt sett utgjør ozon bare ca. 0,00006 % eller 600 ppb (parts pr. milliard). Siden mengdene er så små vil det være en krevende oppgave å måle konsentrasjoner med enkelt utstyr.

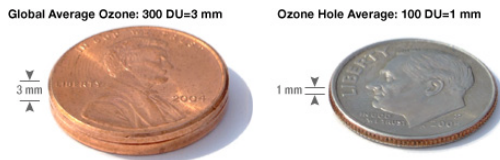


<http://en.wikipedia.org/wiki/Ozone>

Mengden ozon kan måles enten i $\mu\text{mol}/\text{mol}$ eller nmol/mol , hvor $1 \mu\text{mol}/\text{mol} = 1 \text{ppm}$ (parts pr. million) og $1 \text{nmol}/\text{mol} = 1 \text{ppb}$ (ppb – part pr. billion (milliard)). En mer vanlig enhet for måling av ozon konsentrasjon i atmosfæren er *Dobson*. 1 Dobson er det antallet ozon-molekyler som skal til for å lage et 0,01mm lag med ren ozon ved en temperatur og et trykk på 1 atm. I praksis betyr

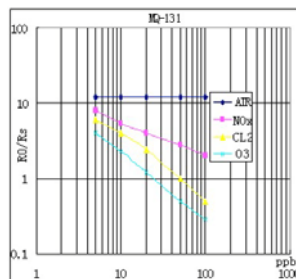


det at dersom en har en atmosfærisk konsentrasjon på 1 dobson, så vil en søyle med et tverrsnitt på 1 cm^2 inneholde $2,69 \cdot 10^{16}$ molekyler. Atmosfæren vil normalt inneholde 300 ganger så mye dvs. 300 dobson. Gjøres denne mengden om til et lag med med konsentrert ozon vil det utgjøre 3 mm. Innenfor ozon-hullet har det vært målt mengder på ned til 100 dobson. Hvilket utgjør et lag på 1 mm. NASA har illustrert dette forholdet på denne måten⁴².



Ozon-sensorer bygges ved hjelp av flere ulike teknikker:

Ozon (O_3) måling ved hjelp av pellistorelement



Denne sensoren anvender en lignende metode som beskrevet foran og som brukes for en rekke gasser. En variant som egner seg for O_3 er MQ131⁴³. Det gassfølsomme materialet er SnO_2 . Av grafen til høyre på figuren ser vi at sensoren er følsom for verdier helt ned til 5 ppb (parts pr. billion). Sensoren kobles på samme måte

som omtalt tidligere. Den kan derfor være aktuell for måling av nivåer slik vi finner dem i atmosfæren.

H-MOS (Heated Metal Oxide Semiconductor)

Denne typen sensor fungerer ved at en varmer opp et lite stykke substrat av platina til ca. 300°F . Ved denne temperaturen blir substratet svært følsomt for ozon. Ved hjelp av halvlederteknologi genereres en spenning proporsjonal med ozon-konsentrasjonen. Denne teknologien gir en relativt langsom sensor som trenger lang oppvarmingstid (timer) og gir langsom respons (1–2 min), til gjengjeld er den svært lineær. Røyk, klorider og andre organiske stoffer vil gi målefeil [12]d.

Elektrokjemisk sensor

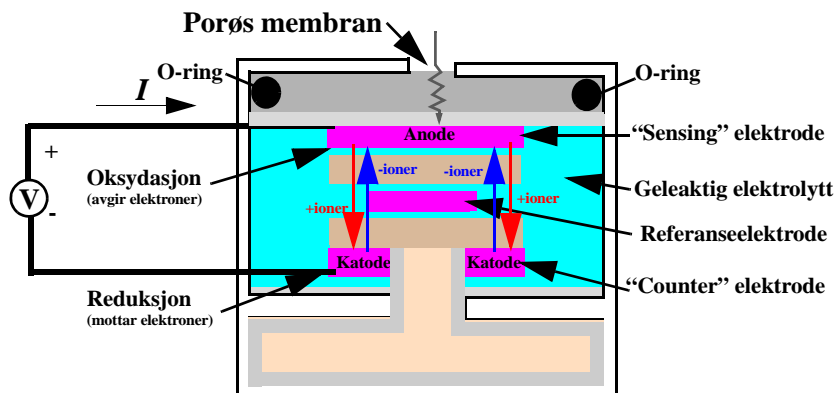
Denne typen sensorer gir langt raskere respons (1–2 sek). Den elektrokjemiske sensoren består av en porøs membran som tillater gasser å trenge inn i en celle som består av en geléaktig elektrolytt med tilhørende elektroder. Anoden ligger nærmest membranen og katoden lengst borte, som vist på figuren til høyre. Når gassen trenger inn i elektrolytten vil den forandre det elektrokjemisk potensialet mellom elektrodene idet det skjer en oksidasjon (avgir elektroner) ved den øverste

42. <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/dobson.html>

43. MQ131 selges av fimaet: Futurlec http://www.futurlec.com/Ozone_Gas_Sensor.shtml



elektroden og en reduksjon (opptar elektroner) ved den nederste. Det skapes dermed en strøm i elektrolytten idet positive ioner flyter mot katoden og negative ioner mot anoden. Gasser som lett reduseres (opptar elektroner), som oksygen, nitrogen, oksyden og ozon, reduseres ved katoden, mens gasser som lett oksideres (avgir elektroner), som CO, NO₂ og H₂S, oksideres ved anoden.



Figur 6.21 Elektrokjemisk sensor for måling av bl.a. ozon-konsentrasjon.

Denne potensialforskjellen forsterkes og registreres av tilhørende elektronikk. Signalet vil være proporsjonalt med konsentrasjonen av f.eks. ozon dvs. partialtrykket til ozonen i luften som omgir sensoren. Målingen er svært nøyaktig og angir verdier i området ppb (parts pr. billion). Teknologien gir god reproducerbarhet og en nøyaktighet ned mot 0.01 ppm (10 ppb), men målingene ødelegges lett av klorider og elektromagnetisk støy (EMF/RFI). Dessuten er denne typen sensor følsom for temperaturvariasjoner og har en relativt kort levetid [12]b og d.

Denne type sensorer egner seg derfor for måling av ozon i stratosfæren og blir ofte brukt ved ballongslipp som kan komme opp i ca. 30 000 meters høyde.

6.10 Partikkelsensorer

Slike detektorer anvendes bl.a. til å måle støvmengde, røyk og annen forurensning. Her vil vi primært se på røykdetektorer.

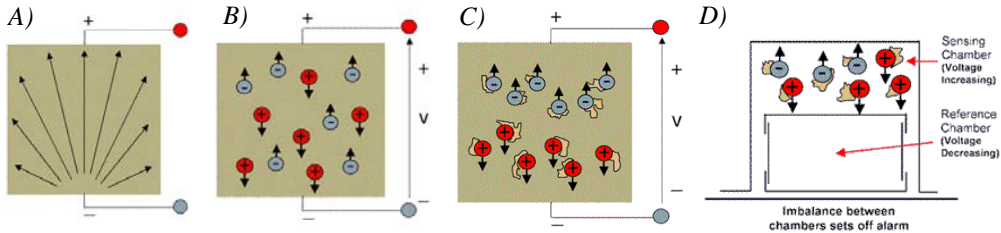
6.10.1 Røykdetektor (røyk, varme)

Det finnes hovedsakelig tre typer røykdetektorer:

1. Ioniserende røykdetektorer
2. Optiske/fotoelektriske røykdetektorer
3. Infrarøde røykdetektorer

Ioniserende røykdetektorer [13]

I et ioniseringskammer inne i detektoren ligger en liten radioaktiv kilde (americium 241) som stråler ut alfa-partikler, dvs. heliumkjerner (figur 6.22 A). Denne ioniserer luften inne i kammeret slik at den blir svakt elektrisk ledende. Ledningsevnen bestemmes ved hjelp av en elektrisk probe som måler den svake strømmen gjennom den ioniserte luften i kammeret (figur 6.22 B).



Figur 6.22 Ioniserende røykdetektor.

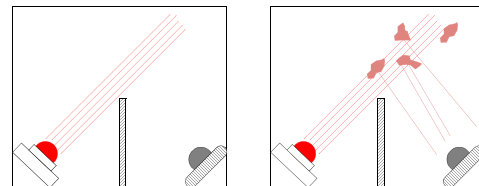
Kammeret er åpent slik at røykpartikler kan komme inn. Røykpartiklene som siver inn i kammeret vil feste seg til ionene og endre den svake elektriske strømmen gjennom kammeret (figur 6.22 C). Den tilhørende elektronikken registrerer denne endringen og alarmen går. Det er heller ikke uvanlig at ionekammeret er delt i to, hvor den ene delen er lukket og fungerer som et referansekammer (figur 6.22 D).

Energien i alfa-partiklene er ikke kraftigere enn at de kan stoppes av noen få cm luft eller et stykke papir. Selv om strålskilden er svært svak og ikke utgjør noen helsefare, så bør denne typen røykvarslere behandles som spesialavfall.

Ioniserende røykdetektorer egner seg for deteksjon av **små røykpartikler** (ned til 0,01 mikrometer), som oppstår i branner som utvikler seg raskt. Slike partikler er ikke synlige med det blotte øye. Slike detektorer klarer imidlertid ikke å skille små støvpartikler fra damp og stekos, og er dermed utsatt for falske alarmer. Dessuten er de ikke så følsomme for store partikler som gjerne oppstår ved ulmebranner.

Optiske og fotoelektriske røykdetektorer [13]

Også i denne typen røykvarslere finner vi et røykkammer. En lyskilde er plassert i den ene enden av et lystett kammer. En følsom fotoelektrisk sensor er plassert et annet sted i kammeret. Normalt vil ikke lyskilden belyse sensoren. Kommer det derimot røykpartikler inn i kammeret, vil partiklene reflektere lys som treffer detektoren slik at alarmen går.

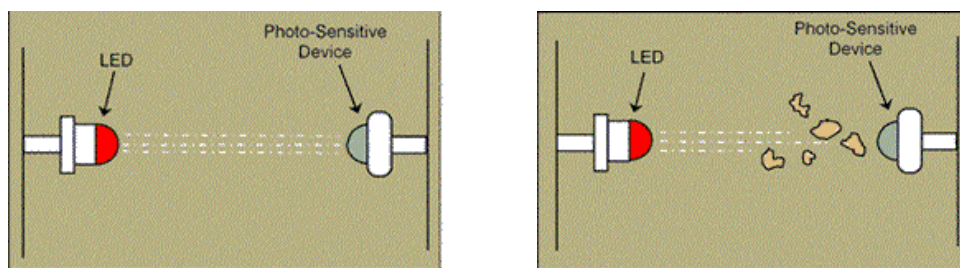


Figur 6.23 Prinsippet for en fotoelektrisk røykdetektor, "refleksjonstype".

En annen variant baserer seg på at røykpartikler kommer i veien for lysstrålene fra lyskilden slik



at lyset som treffer sensoren dempes.



Figur 6.24 Prinsippet for en fotoelektrisk røykdetektor, "transmisjonstype" [13].

LED er en lysdiode (LED - Light Emitting Diode).

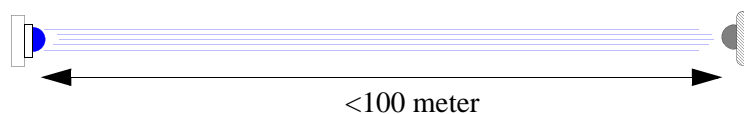
Fotoelektriske røykvarslere er vanligvis mer følsomme for **større røykpartikler** enn den ioniserende røykdetektoren. Slike partikler oppstår gjerne ved ulmebranner og branner som utvikler tykk røyk. Sensoren er tilsvarende mindre følsom for små røykpartikler som oppstår ved branner som utvikler seg raskt med åpen flamme.

Etter som bruken av flammedempende materialer er blitt vanligere, har den optiske detektoren tatt i bruk mer og mer og er etter hvert blitt den vanligste typen røykvarsler. Dessuten unngår en avfallsproblemerkene med ioniserende kilder.

Infrarød røykdetektor

Denne typen røykdetektorer består av to deler. En del som sender ut infrarød stråling (IR-sender), og en del som mottar den utsendte strålingen (IR-mottaker). Strålen passerer det området som skal overvåkes med hensyn til røyk. Dersom strålen dempes på grunn av at røykpartikler skygger for strålegangen, vil mottakeren motta et litt svakere lyssignal som utløser alarmen.

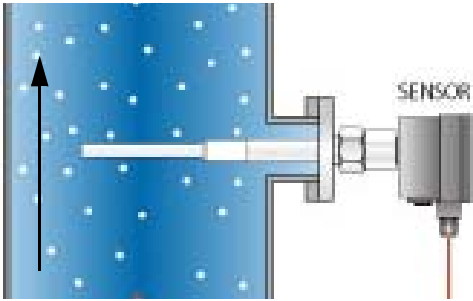
Slike detektorer kan dekke områder på opptil 100 meter og egner seg godt for industrihaller og større lagerrom. Utstyret må imidlertid monteres slik at ikke annen trafikk kommer inn i strålegangen. Det er ikke vanskelig å tenke seg at lignende løsninger kan brukes til å avsløre inntrengere dersom utstyret monteres i passende høyde.



Figur 6.25 IR-røykdetektor.



6.10.2 Støvdetektorer (elektrodynamisk teknikk)



For deteksjon av partikkel- eller støvkonsentrasjon brukes ofte andre teknikker enn optiske. En vanlig teknikk er å benytte en såkalt elektrodynamisk teknikk som baserer seg på at ladde partikler treffer en måleprobe installert i en luft- eller gasstrøm hvor partikkelkonsentrasjonen skal måles. Slike prober går ofte under betegnelsen PCME-prober. De ladde partiklene som treffer proben vil skape en strøm av ladingspulser som danner

grunnlaget for målingen. Jo høyere frekvens av pulser, jo høyere konsentrasjon. Slik proben er utformet vil det være en lineær sammenheng mellom pulsfrekvens og konsentrasjon. Partikler som legger seg på proben vil gi et konstant signal som kan filtreres bort. Dersom en kun tar hensyn til de stadige endringene i ladning (pulsfrekvensen) vil en få et mål for øyeblikksverdien til partikkelkonsentrasjonen. Dersom en ikke har en partikkelstrøm, kan dette skapes ved at lufta eller gassen pumpes forbi proben med en konstant hastighet [14]a.

Med denne teknikken kan en måle konsentrasjoner fra $0,01 \text{ mg/m}^3$ til $10\,000 \text{ mg/m}^3$. Metoden regnes for å være stabile og lite påvirkelige av opphoping av støv på proben eller av farten til gassstrømmen. DX800, DX810 og DX820 m.fl. er varianter av slike prober som er i bruk [14]b. Ingen av disse synes spesielt egnet for CanSat-bruk på grunn av pris og kompleksitet.

6.11 GPS-modul

GPS eller Global Positioning System består av 24 satellitter som kretser omkring jorda med en omløpstid på 11 t 58 min. i en høyde av ca. 20200 km over jordoverflata. Normalt vil dette antallet være tilstrekkelig for, til enhver tid, ha fri sikt til 8–10 satellitter i åpent terreng. Hver satellitt sender ut et kodet tidssignal som mottas av mottakerne. I tillegg til å innholde informasjon om nøyaktig tid, inneholder signalet tidspunkt for utsendelse og en lang kode som mottakerne bruker for nøyaktig å bestemme tidspunktet for mottatt signal. På denne måten kan mottakersystemet bestemme tiden hvert av signalene bruker fra hver satellittene til mottakerne. De målte tidsforsinkelsene brukes så til å beregne posisjonen til mottakerne [3].

En **GPS-modul** er et sett av GPS mottakere som gjør det mulig å følge flere GPS-satellitter samtidig. Seks er ikke uvanlig, 4 er et minimum for å kunne beregne koordinater pluss høyde.



6.11.1 EM-411 (GPS-modul)

Dette er en meget kompakt og billig GPS-modul som er i salg hos ELFA (78-400-02, kr. 399,-). Modulen har følgende data:

- Bygget opp rundt chip-settet SiRF Star III
- Mottakerfrekvens: 1575,42 MHz
- Antall kanaler: 20
- Følsomhet: -159 dBm
- Nøyaktighet: 10 m, 2D rms⁴⁴
5 m, 2D rms WAAS⁴⁵
- Farten: 0,1 m/s (farten som er benyttet med den nevnte nøyaktighet.)
- Tid: 1 μ s (største avvik mellom klokka i mottaker og klokka i satellitt)
- Dato: WGS-84⁴⁶ (World Geodetic System – 1984)
- Låsetid: Relåsing 0,1 sek. i gjennomsnitt
Varm start 1 sek. i gjennomsnitt
Lunken start: 38 sek. i gjennomsnitt
Kald start 42 sek. i gjennomsnitt
Dette er viktig å merke seg siden den aktive tiden til CanSat er så kort
- Maks verdier: Maks. målehøyde: 18 000 meter
Maks. hastighet 515 m/s
Maks. aks. 4g
Maks. spinn 20 m/s
- Effekt: Spenning: 4,5 – 6,5 V DC
Strømforbruk: 60 mA
- Dig. utgang: Spenningsnivå: TTL nivå (0 – 2,85 V)
RS-232
Baud rate: 4 800 baud (symboler/sek.)
Format: NMEA 0183 GGA, GSA, GSV, RMC, VTG, GLL
- Størrelse: 30 x 30 x 10,5 mm
- Temperaturområde: -40°C til 85°C



44.rms - root - mean - square, som gir en slags midlere verdi for feilen over tid

45.WAAS - Wide Area Augmentation System. Satellitt-bakkesystem som utfører korreksjoner. Dette kan gi en betydelig forbedring av nøyaktigheten (ned til 3 m). <http://www8.garmin.com/aboutGPS/waas.html>

46.World Geodetic System 1984 - er det koordinat frammeverket som er vanlig å bruke i dag. Systemet ble etablert i 1984 og revidert i 2004. http://en.wikipedia.org/wiki/World_Geodetic_System

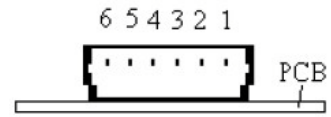


Pinning

Figuren til høyre viser kretsens pinning.

1. GND – Jord (kobles til minus på batteriet)
2. VIN – DC power + 4,5 til 6,5 V DC
3. TX – Utgang som leverer posisjonsdata til prosessor
4. RX – Inngang for overføring av kommandoer til mottakersystemet
5. GND – Jord (kobles til minus på batteriet)

1 : GND
2 : VIN
3 : TX
4 : RX
5 : GND
6 :







7 Laboratorieoppgaver

Her beskrives tre laboratorieoppgaver gitt under kurset Romteknologi CanSat.

7.1 Laboratorium 1 – Måling av trykk og temperatur som funksjon av høyden

Forutsetninger

- Grunnversjonen av CanSat er bygget opp og testet
- Trykk og temperatur kan avleses
- Ev. innsamlede data kan legges på fil

Tilgjengelig utstyr

I tillegg til vanlig labutstyr og PC vil følgende være tilgjengelig

- Termometer (en til hver gruppe)
- Hårføner (en til annenhver gruppe)
- En lufttrykksmåler (en på deling)

Problemstilling:

- Vurder kvaliteten til temperatur, trykk- og høydemålinger gjort under ballongslippet

Oppgaver

Oppgaven består av flere deler:

- Kontroller avlest temperatur fra sensorkortet ved romtemperatur og en temperatur til er i overstemmelse med referanseinstrument (termometer)
- Legg ev. inn en korleksjon i CanSat-programvaren eller i etterbehandlingen
- Kontroller avlest trykk fra sensorkortet og sammenlign med dagens lufttrykk målt med referanseinstrument (barometer)
- Legg ev. inn en korleksjon i CanSat-programvaren eller i etterbehandlingen
- Legg inn omregningsformler fra trykk til høyde
- Begrunn de valgene som er gjort under veis og diskuter forventet nøyaktighet og avvik på målinger gjort under ballongslippet
- Gjennomfør slippet og samle data
- Analyser og diskuter resultatene

Labrapport

Laborativerapporten skal skrives i henhold til vanlige retningslinjer for rapportering (se eget skriv). I tillegg til at den besvarer problemstillingene bør den innholde følgende:



-
- Beskrive CanSat i korte trekk med vekt på sensordelen og datainnsamlingen
 - Dokumenter ev. utled de matematiske sammenhengene brukt under oppgaven.
 - Vurdere ellers hva som bør være med for å gi en helhetlig framstilling av oppgaven

Tips

- Sammenlign målinger gjort av flere CanSat-sonder gjort under omtrent like betingelser

Vedlegg – Dokumentasjon

- The CanSat book (generelt tilgjengelig)
- Medfølgende instruksjonmateriell på CD (generelt tilgjengelig)
- Dokumentasjon av CanSat hardware (sensorkortet)
- Dokumentasjon av aktuelle sensorer og datablader



7.2 Laboratorium 2 – Fallhastighet

Forutsetninger

- Grunnversjonen av CanSat er bygget opp og testet
- Trykk og høyde kan avleses
- Innsamlede data kan legges på fil og behandles

Tilgjengelig utstyr

I tillegg til nødvendig verktøy og PC vil følgende være tilgjengelig:

- Programvare for simulering av bane ved slippet
- Ev. materialer for framstilling av fallskjerm

Problemstilling

- Beskriv en framgangsmåte for beregning av fallhastighet for en CanSat-sonde i fallskjerm og bedøm kvaliteten til metoden ved hjelp av målinger ved ballongslipp

Oppgaver:

Oppgaven består av flere deler:

- Gjør beregninger og lag en fallskjerm som tilfredstiller kravene til fallhastighet
- På bakgrunn av tilgjengelige data, utfør en simulering med anbefalt programvare
- Begrunn de valgene som er gjort under veis og diskuter forventet nøyaktighet og avvik på målinger gjort under ballongslippet
- Gjennomfør slippet og samle data som beskriver fallhastigheten
- Analyser og diskuter resultatene

Labrapport

Laboratorierapporten skal skrives i henhold til vanlige retningslinjer for rapportering (se eget skriv). I tillegg til at den besvarer problemstillingen og beskriver framgangsmåten, bør den innholde følgende:

- Beskrive i korte trekk simuleringsprogrammet
- Dokumentere ev. å utlede de matematiske sammenhengene brukt i oppgaven.
- Ellers å vurdere hva som bør være med for å gi en helhetlig framstilling av oppgaven

Vedlegg – Dokumentasjon

- The CanSat book (generelt tilgjengelig)
- Medfølgende instruksjonmateriell på CD (generelt tilgjengelig)
- Dokumentasjon av simuleringsprogram



7.3 Laboratorium 3 – Sensorer – Karakterisering og integrering

Forutsetninger

- Grunnversjonen av CanSat er bygget opp og testet
- Nødvendige I/O-porter kan avleses
- Innsamlede data kan legges på fil og analyseres

Tilgjengelig utstyr

I tillegg til nødvendig verktøy og PC vil følgende være tilgjengelig:

- Lysmåler (en til hver gruppe som jobber med denne, inntil fem)
- Lyskilder (en til hver gruppe som jobber med denne)
- Luftfuktighetsmåler (en på deling)
- Strømforskyninger, koblingskort, nødvendig kabler, verktøy (et sett til hver gruppe)
- Multimetere (en til hver gruppe)
- Luftfuktighetssensor HiH4000 (en til hver gruppe som jobber med denne)
- Lyssensorer SFH300 (en til hver gruppe som jobber med denne)
- Temperatursensor (LM35) med tilhørende operasjonsforsterker (TS920)
- Motstandssett (tilstrekkelig utvalg og mengde)
- GPS mottaker (en til hver gruppe som jobber med denne)
- Koblingsbrett og diverse kabler (en til hver gruppe)
- Veroborad, kontakter og kabler for oppkobling

Problemstilling

- Vurder kvaliteten til tilleggsmålingen (“Secondary mission”) dere har gjort under ballongslippet (GPS, lysstyrke, luftfuktighet, temperatur ...)

Oppgaver

Hver gruppe skal arbeide med én sensor (ev. flere om de rekker det). Oppgaven består av flere deler:

- Velg en sensor (ikke helt fritt valg). Studer databladet til den aktuelle sensoren og dokumentet *Sensor Circuits for CanSat use* eller *How to integrate GPS module in CanSat*. Bruk gjerne dokumentet
- Koble opp sensoren på koblingsbrettet og finn en sammenheng mellom den aktuelle størrelsen (GPS, lysstyrke, luftfuktighet, temperatur...) og spenningen på utgangen av sensoren
- Koble sensoren opp mot CanSat ved hjelp av labkabler og registrer data. Legg inn nødvendig omregning for optimal registrering av den aktuelle størrelsen



- Begrunn de valgene som er gjort under veis og diskuter forventet nøyaktighet og avvik på målinger gjort under ballongslippet
- Monter den aktuelle sensoren i CanSat på et lite testkort, koble den til sensorkortet/kontrollkortet. Begrunn valg av plassering og orientering.
- Diskuter mulige anvendelser av målingene gjort av den aktuelle sensoren
- Gjennomfør slippet og samle måledata fra den aktuelle sensoren
- Analyser og diskuter resultatene

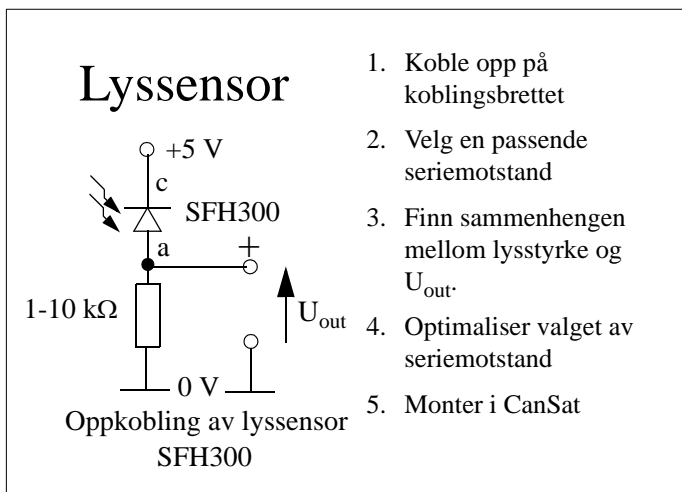
Labrapport

Laboratorierapporten skal skrives i henhold til vanlige retningslinjer for rapportering (se eget skriv). I tillegg til at den besvare problemstillingene bør den inneholde følgende:

- Beskrive den valgte sensoren i henhold til datablader
- Dokumentere ev. utled de matematiske sammenhengene brukt under oppgaven.
- Ellers vurderer hva som bør være med for å gi en helhetlig framstilling av oppgaven

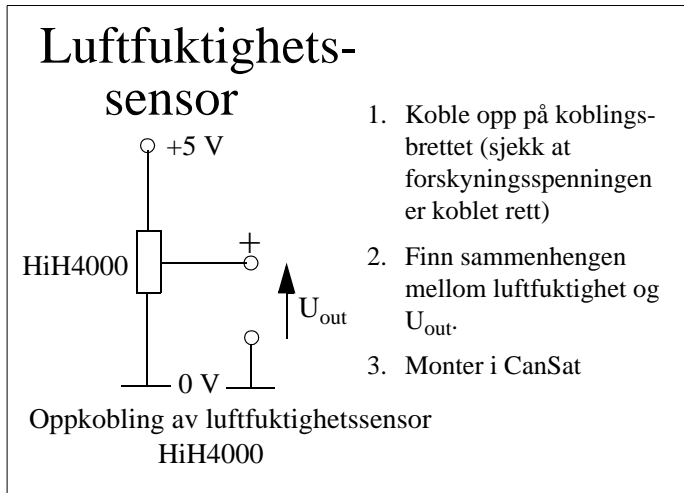
Vedlegg – Dokumentasjon

- Forslag til oppkobling for karakterisering av lyssensorer:

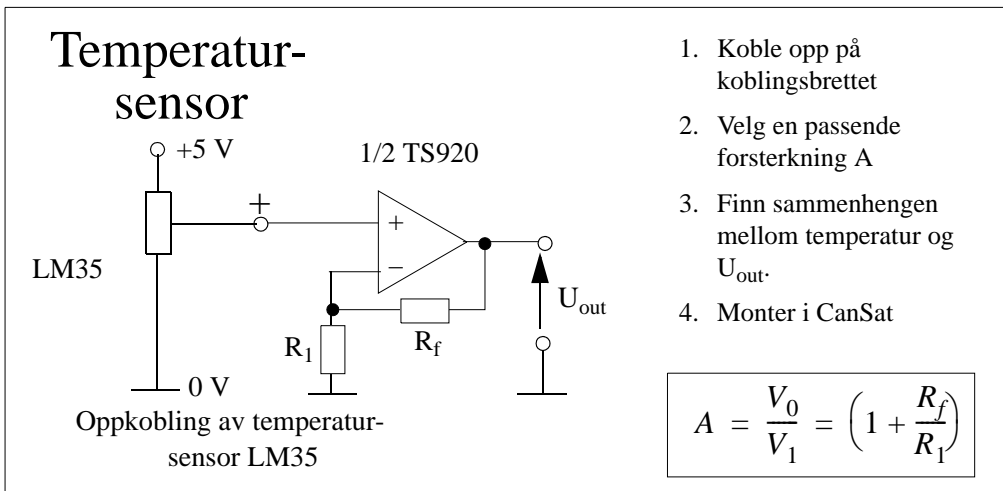




- Forslag til oppkobling for karakterisering av luftfuktighetssensorer:



- Forslag til oppkobling av temperatursensor med operasjonsforsterker



- *How to integrate GPS module in CanSat (EM-411)* (Forslag til oppkobling av GPS-mottaker)
- *How to plot GPS-data in Google earth*
- Wang, *Sensor Circuit for CanSat use*
- Wang, Mathisen, *The CanSat book* (generelt tilgjengelig)
- Medfølgende instruksjonsmateriell på CD (generelt tilgjengelig)
- Dokumentasjon av CanSat hardware (Kontrollkort og sensorkortet)

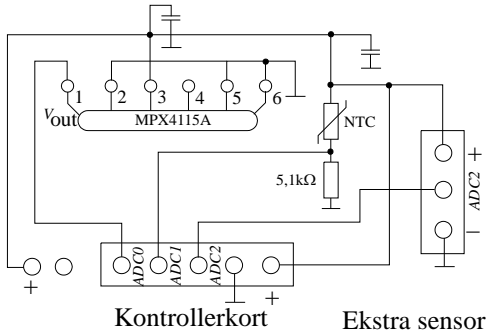


-
- Dokumentasjon av aktuelle sensorer og datablader
 - SFH300
 - HiH4000
 - LM35
 - TS920
 - HE-411 (GPS-mottaker)



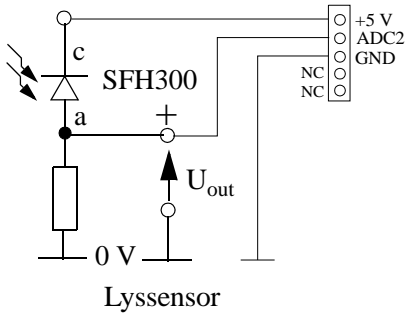
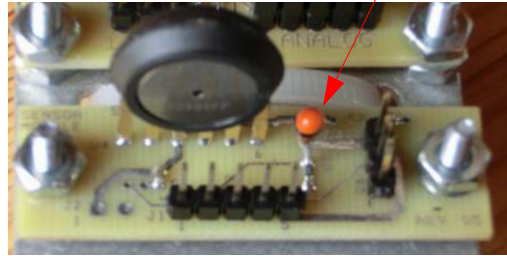
7.4 Oppkobling av ekstra sensor for uttesting

Sensorkortet har en ekstra nålekontakt som tilgjengeliggjør ADC2 sammen med +V og jord. Se figuren under I en eksperimentfase kan det være praktisk å koble seg fra denne konnektoren til et koblingsbrett, både for å karakterisere og overføre målingen til CanSat'en. Dette er vist nederst på figuren under..

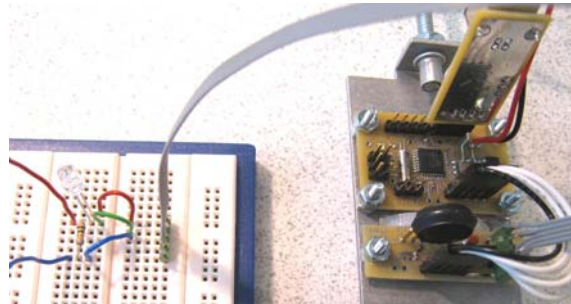


Trykksensor

NTC-motstand

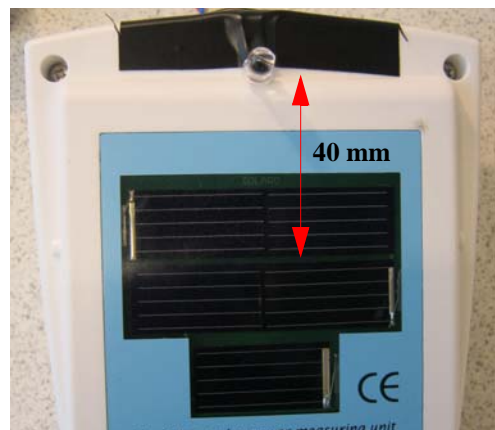


Lyssensor



7.5 Karakterisering av lyssensor.

En slik måling er helt avhengig av i hvilken grad en er i stand til å måle lysstyrken på samme sted som der lyssensoren sitter. Dette er ikke alltid så lett dersom lyskilden er reeltivt liten. Bruk av en større lyskilde kan derfor vær en fordel. I dette tilfelle har montert lyssensoren ca. 40 mm til side for midtpunktet av lysmåleren som er en solcelle. Se bildet til høyre.





Videre benyttet vi en liten bordlampe. Dermed ble usikkerheten relativt stor ved høye verdier av lysstyrkes siden relativt avvik i plassering mellom lyssensor og lysmåler ble relativt stor. Målingene ble derfor indikative.

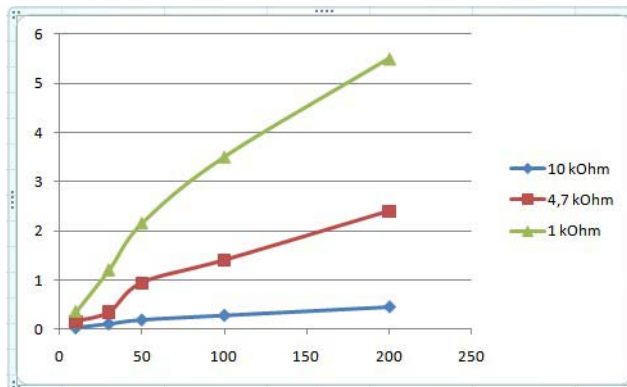
Måleresultater

Det ble gjort målinger av to lyssensorer (fototransistorer) med hver med tre ulike seriemotstander

Lysstyrke (W/m ²)	Sp. 100 Ω	Sp. 1 kΩ	Sp. 4,7 kΩ	Sp. 10 kΩ
SFH203				
10		0,032	0,150	0,35
30		0,110	0,340	1,20
50		0,190	0,940	2,15
100		0,280	1,40	3,5
200		0,450	2,40	5,5
SFH300				
10	0,19	2,15	-	-
30	1,07	4,70	-	-
50	2,05	-	-	-
100	2,80	-	-	-
200	3,15	-	-	-



Kurvene er vist i figuren under:





7.6 Nødvendig laboratorieutstyr

<u>Utstyr</u>	<u>Antall</u>	<u>Laboratorium</u>	<u>Ansvarlig</u>
CanSat kit m/tilbehør	10	1, 2, 3	NAROM
Bærbare PC'er	10 min.	1, 2, 3	Deltagerne
Verktøy: - Skrutrekkere, tenger, - Loddeutstyr, tinnsugere - Linjal, saks	10 sett	1, 2, 3	NAROM
Multimeter	10	1, 2, 3	NAROM
CanSat grunnpakke	10	1, 2, 3	NAROM
Termometere (glass eller elektroniske)	10	1	NAROM
Luftrykkmåler/Barometer	1	1	NAROM
Hårføner ?	5	1	NAROM
Simuleringsprogram Rakettbane	(10)	2	NAROM
Materialer for framstilling av fallskjermer	(10)	2	NAROM
Lysmålere (MacSolar)	5	3	NTNU
Lyskilder	5	3	NTNU
Luftfuktighetsmåler LM8010	1	3	NTNU
Strømforskyninger (Min. 5V)	10	3	NAROM
Sensor HiH4000	10	3	NTNU
Lyssensor SFH300	10	3	NAROM
Temperatursensor LM35DZ	10	3	NAROM
Operasjonsforsterker	10	3	NAROM
Motstandssett E12/24 rekka	nok	3	NAROM
GPS moduler	4?	3	NAROM
Dokumentasjon GPS - EM-411 (2 dok)	22	3	NAROM
Datablader LM35DZ	22	3	NAROM
Datablader SFH300	22	3	NAROM
Datablader HiH4000	22	3	NAROM
Datablader NTC	22	3	NAROM
Datablader MPX4115	22	3	NAROM
Koblingsbrett	10	3	NTNU
Koblingsbrett	?	3	NAROM
Div. kabler (flatkabel (5p) koblingsbrett og CanSat)	12 sett	3	NTNU



Annet, for demo/ekstra

Akselerometer ADXL320EB (evalueringskit)	1	3	NTNU
Lyssensorer SFH203	10	3	NTNU
Fuktsensor H25K5A	10	3	NTNU
LM35DZ	5	3	NTNU
Operasjonsforsterker CA3130 + div	10	3	NTNU
Diverse sensorkort	sett	3	NTNU



7.7 Generelle retningslinjer for skriving av laboratorierapport

Layout

- Skrifttype: Times New Roman
- Skriftstørrelse: 12
- Linjeavstand 1 (enkel)
- Margstørrelser 2,5 cm topp, bunn og venstre marg, høyre marg 1,5 cm
- Høyst opp på første siden: Navn på student, navn på øvelse/rapport, emne (Romteknologi - (CanSat)), år (2011) og NTNU
- Tekst: Figurtekst under figur, tabelltekst over tabell

Form

Størrelse: 5–6 A4-sider pr. rapport

- a. Innledning
- b. Teoretisk bakgrunnsstoff
- c. Utstyr og måleoppstilling (skisse)
- d. Gjennomføring og resultater
- e. Diskusjon
- f. Konklusjon
- g. Referanser

Innhold

Labbrapportene skal være kortfattet, men ha et sammenhengende språk! Dere kan ta utgangspunkt i forelesninger og utdelt materiell tilknyttet laboratoriene, **men skriv med egne ord**. Beskrivelsen under danner grunnlaget for vurdering og karaktersetting av rapporten

1. **Innledning:** Beskrivelse av problemstillingen. Laboratorieoppgaven/problemstillingen skal være så godt beskrevet at en som er ukjent med oppgaven skal forstå problemstillingen. Den som leser innledningen sammen med konklusjonen skal få en god oversikt over problemstillingen og resultatene av arbeidet.
2. **Teoretisk bakgrunnsstoff:** Teoretisk bakgrunn og grunnlag for laboratorieoppgaven. Teorien legger grunnlaget for hvilke forventninger man har (hypotesedanning). Alle formler som benyttes, og all teori knyttet klargjøring av begreper og basisteori legges til denne delen.
3. **Utstyr og måleoppstilling:** Denne delen skal inneholde beskrivelse av metoder og utstyr som ble brukt, og skisser av måleoppsettet.
4. **Gjennomføring og resultater:** Beskrivelse av resultatene, gjerne med grafer, figurer og/eller tabeller. Nevn spesielle ting knyttet til gjennomføringen. **Ikke** inkluder teoretisk bakgrunnsstoff her, referer til punkt 2.



5. **Diskusjon:** Forklaring av hva resultatene kan bety, dvs. tolking av resultat sett i forhold til forventninger/hypoteser satt opp på bakgrunn av teorien. Diskuter spesielt det som er uventet.
6. **Konklusjon:** Gi en kort oppsummering av hovedresultatene og diskusjonen. Konklusjonen skal ikke inneholde nye opplysninger, men kun referere hva som er kommet fram tidligere i rapporten. Sammen med innledningen skal konklusjonen gi en god oversikt over problemstilling og resultater.
7. **Referanser:** Faktaopplysninger skal refereres med mindre det er allmenn kjente ting. Referansene skal ha med forfatter, tittel, årstall for utgivelse og forlag, ev. tidsskift og volum, ev. sidetall.

Dersom resultatene uteble eller eksperimentet ble mislykket, beskriv så godt dere kan det dere observerer og drøft årsakene til det resultatet dere fikk. Forsøk også å dra lærdom av det som skjedde. Et “mislykket” eller et uventet resultat er også et resultat og forteller en historie.

NB! Hver laboratorierapport får bestått/ikke bestått. Det vil gis korte tilbakemeldinger på innleveringene. En kan søke veiledning under arbeidet med oppgavene. Når de er levert, er det også den samme vurdering som gjelder for vurdering i mappeinnleveringen ved eksamen dersom rapporten blir brukt i den endelige vurderingen. For å få godkjent eksamen må alle rapporter være innlevert og godkjent.





8 Referanser

- [1] Torstein Wang, *Sensor Circuit for CanSat use*, NAROM manual 2011
- [2] T. Wang, S.V. Mathisen, *The CanSat book*, NAROM manual 8. juni 2011
- [3] Gunnar Stette, *Romteknologi - Del av faget Teknologi og Forskningslære (CanSat)*, NTNU juli 2011.
- [4] Datablad ATmega168A
http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2545.pdf
- [5] Datablad LM35
<http://www.national.com/ds/LM/LM35.pdf>
- [6] Datablad SFH300
https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/ebSFH300_630448_dat_en_de.pdf
- [7] Datablad MPX4115A
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/motorola/MPX4115A.pdf>
- [8] CanSat Lesson 4 – CD som følger med kitet
040726CanSat_section4_rev4
- [9] **Hygrometer:**
 - a) <http://zone.ni.com/devzone/devzone.nsf/webcategories/7A2D35CB9262326E8625684A004EEF4D>
 - b) <http://www.sensorelement.com/humidity/H25K5A%20spec.pdf>
 - c) R. Wagiran, W. S. Wan Zaki, S. B. Mohd Noor, A. H. Shaari and I. Ahmad *Characterization of screen printed BaTiO₃ thick film humidity sensor*, International Journal of Engineering and Technology, Vol. 2, No. 1, 2005, pp. 22-26
<http://eng.upm.edu.my/~ijet/04-v2n1.pdf>
- [10] **Fototransistor:**
 - a) <http://www.elfa.se/pdf/75/07520323.pdf> (datablad PT204-6C)
- [11] **Magnetometere:**
 - a) Aschehoug og Gyldendals store norske leksikon 1988
 - b) <http://storenorskeleksikon.no>
 - c) http://www.afl.hitos.no/mfysikk/atm/polatm2.htm#tth_sEc2E
 - d) <http://sci.esa.int/science-e/www/object/index.cfm?fobjectid=33964&fbodylon-gid=1443>
 - e) E. M. Purchell, *Electricity and Magnetism*, McGraw-Hill Book Company, 1963.
 - f) Steven A. Macintyre, *Magnetic Field Measurements*, CRC Press LLC, 1999
 - g) Caruso M J m.fl., *"A new perspective on Magnetic Field Sensing"*
<http://www.sensormag.com/articles/1298/mag1298/main.shtml>
 - i) André Balogh, *"Space Instrumentation"*, <http://www.sp.ic.ac.uk/~balogh/spinstr.htm>



-
- [12] **Ozon sensorer:**
a) http://www.ozonesolutions.com/HMOS_vs_Electrochemical_Ozone_Sensors.html
b) <http://www.delphian.com/sensor-tech.htm#ELECTROCHEMICAL%20SENSORS>
c) Futurlec: http://www.futurlec.com/Gas_Sensors.shtml
d) http://www.ozonesolutions.com/HMOS_vs_Electrochemical_Ozone_Sensors.html
- [13] **Røykvarslere**
a) <http://www.kidde.com.au/How+Smoke+Alarms+Work.shtml>
- [14] **PCME partikkelprober:**
a) <http://www.groupinstrumentation.com.au/media/7245/electrodynamic%20technology%20for%20particulate%20monitoring.pdf>
b) http://www.pcme.co.uk/product_pdf/DX800%20series.pdf
- [15] **NDIR CO2-sensor:**
a) <http://cdn.shopify.com/s/files/1/0019/5952/files/C100-Datasheet.pdf?1286094077>
b) http://en.wikipedia.org/wiki/Nondispersive_infrared_sensor
c) http://o.b5z.net/i/u/10004484/i/brochures/gas%20monitoring/CO2_Carbon_Dioxide_Sensor_ETS.pdf



Vedlegg A Leverandører

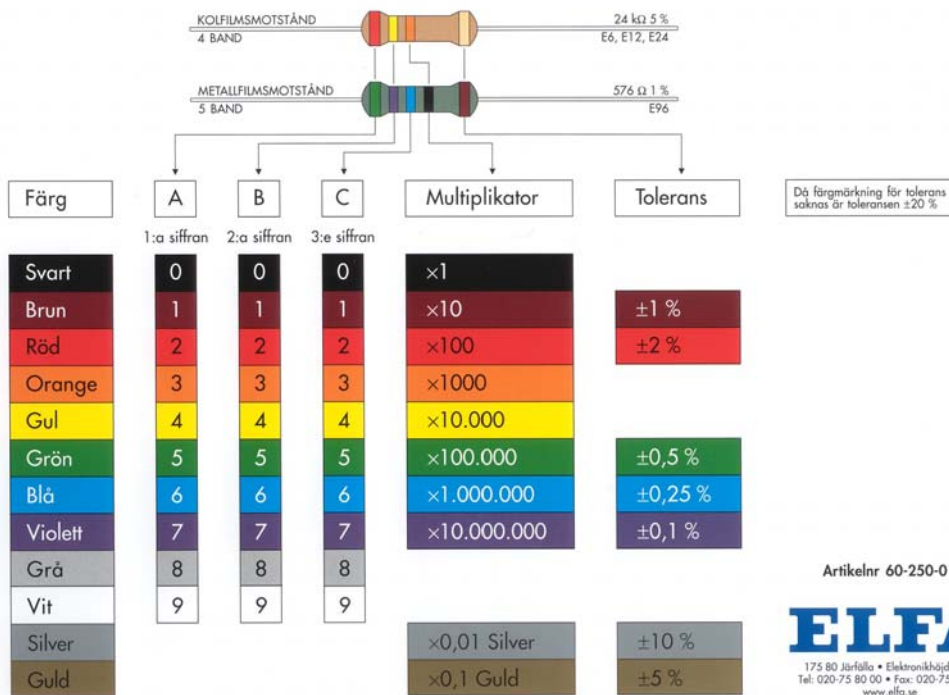
- **ELFA:** <http://www.elfa.se>
ELFA er et svensk komponentfirma som leverer raskt, men som ikke nødvendigvis er billigst. Har en meget oversiktig og fyldig nettbutikk (priser pr. aug. 2011).
 - NTC-motstand, RH16 Pris: Ca. kr. 7,80
 - Fototransistor, PT204 Pris: Ca. kr. 2,25
 - Luftfuktighetssesor, H25K5A Pris: Ca. kr. 29,40
 - Luftfuktighetssensor, HiH4000 Pris: Ca. kr. 218,-
 - Akselerometer, ADXL320 Pris: Ca. kr. 145,-
 - Akselerometer, ADXL320 ev. kit Pris: Ca. kr. 361,-
 - Magnetsensor, A1321 Pris: Ca. kr. 26,-
 - Gass-sensor, HS-129 Pris: Ca. kr. 72,30
 - Gass-sensor, HS-131 Pris: Ca. kr. 72,40
 - Gass-sensor, HS-133 Pris: Ca. kr. 83,40
 - Gass-sensor, HS-134 Pris: Ca. kr. 99,40
 - Gass-sensor, HS-135 Pris: Ca. kr. 72,40
- **Futurlec:** <http://www.futurlec.com/index.shtml>
Internasjonalt firma som selger elektronikk og sensorer. Har avdeling i England.
- **Pratt hobbies:** <http://www.pratthobbies.com/proddetail.asp?prod=CANSAT-1>
Leverer CanSat byggesettet og annet utstyr til rakett oppskyting (priser pr. aug. 2011):
 - CanSat kit Pris: 259 \$
- **RS Norway:** <http://no.rs-online.com/web/home.html>
RS er et internasjonalt firma med en norsk filial. Firmaet er primært et komponentleverandør, men leverer raskt og greit. Har en fyldig nettbutikk.
 - FM Radiomottaker RRFQ2-433 Pris: kr. 149,50
 - Trykksensor, MPX4115A Pris: kr. 148,26
- **Robonor:** <http://www.robonor.no/mag/default/>
Dette firmaet har spesialisert seg på det norske hobbymarkedet med vekt på Arduino produkter.
- **Robot Electronics:** <http://www.robot-electronics.co.uk/index.html>
Er et engelsk firma som har spesialisert seg på robotkomponenter for hobbybruk og Arduinokomponenter.
 - Elektronisk kompass, CMPS03 Pris: Ca. 22 £
 - Elektronisk kompass, CMPS10 Pris: Ca. 20 £
- **Sparkfun Electronics:** <http://www.sparkfun.com/categories/23?page=1>
Dette er et amerikansk firma som leverer alle mulige sensorer, ofte leverte på små kort med digitalt grensesnitt som lett lar seg integrere med mikrokontrollere.
 - Miniatyrkamera, TCM8230MD Pris: 10\$



Vedlegg B Fargekoding av motstander

Motstander er ofte merket med fargede ringer som angir resistansen eller verdien til motstanden. Antallet ringer er avhengig av hvor nøyaktig resistansen er. Nøyaktigheten angis som en toleranse i %. Dvs. at verdien skal garantert være innenfor et angitt prosentvist avvik. Ofte angis toleransen ved hjelp av en gull- eller sølvfarget ring. En sølvfarget ring antyder at toleransen er innen +/-10 %, en gullfarget innen +/-5 %. Også andre farger kan brukes for mer nøyaktige motstander med mindre toleranse. Når vi leser verdien til motstanden skal gull- eller sølvringen være til høyre. De resterende ringene leses deretter fra venstre mot høyre.

FÄRGGODSSCHEMA FÖR MOTSTÅND



Plansjen over viser sammenhengen mellom farge og tall.



Hensikten med dette heftet er å samle erfaringer fra utprøving av CanSat-kittet benyttet ved kurset Romteknologi (CanSat) - Teknologi og forskningslære modul III høsten 2011. Videre beskrive ulike sensorer.

Beskrivelsen av sensorer strekker seg ut over anvendelser i CanSat. Jeg har valgt en noe bredere tilnærming til feltet siden sensorer brukes i mange ulike sammenhenger og ikke bare innen romteknologi. Heftet kan derfor brukes som tilleggsstoff til Fysikk 1.

Nils Kr. Rossing
Førstelektor ved Skolelaboratoriet og
prosjektleder ved Vitensenteret
E-post: nils.rossing@plu.ntnu.no



Trondheim

Program for lærerutdanning

Skolelaboratoriet

for matematikk, naturfag
og teknologi

Tlf. 73 55 11 43

Faks 73 55 11 40

<http://www.skolelab.ntnu.no>