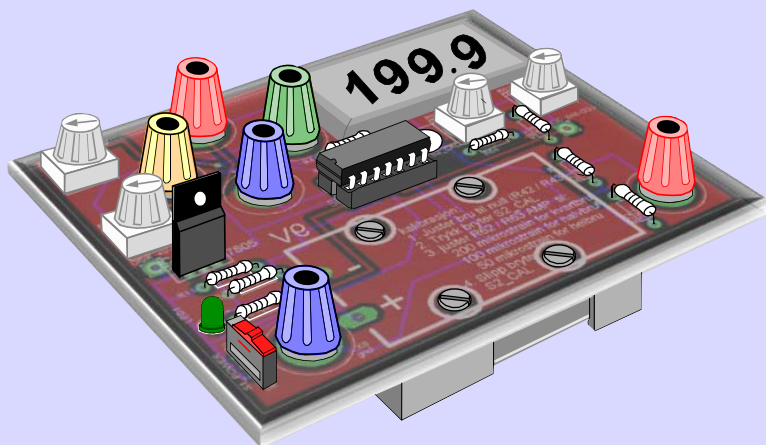


Prøvetrykk 8.0

Nils Kr. Rossing

Grunnleggende elektronikk og sensortechnik



NTNU



Trondheim

Program for
lærerutdanning

Skolelaboratoriet
for matematikk, naturfag
og teknologi

Januar 2014

GRUNNLEGGENDE ELEKTRONIKK OG SENSORTEKNIKK

Grunnleggende elektronikk og sensorteknikk

Trondheim 2014

Layout og redigering: Nils Kr. Rossing

Tekst og bilder: Nils Kr. Rossing, Skolelaboratoriet/Vitensenteret

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 8.0, Rev 8.0 - 16.01.14

Grunnleggende elektronikk og sensortechnik

Nils Kr. Rossing

Skolelaboratoriet for matematikk, naturfag og teknologi, NTNU





Forord

Hefet gir en innføring i grunnleggende elektronikk og sensorteknologi. Ved siden av å beskrive sensorer som vi finner i hjemmet og ellers i samfunnet, beskrives noen sensorer brukt i forbindelse oppskyting av studentraketter og ballongslipp ved NARUM på Andøya. Det legges også vekt på å kombinere bruken av simulering og arbeid i laboratoriet med kretser. I den forbindelse er det gitt en kortfattet innføring i simuleringsprogrammet Yenka Technology (leveres av Gammadata Norge).

Hefet bygger på en rekke tidligere hefter skrevet til kurs ved Skolelaboratoriet ved NTNU og videreutdanningskurs innen romteknologi holdt av NTNU i samarbeid med NAROM (Nasjonalt senter for romrelatert opplæring) ved Andøya. Det er også hentet stoff fra et samarbeidsprosjekt mellom Siemens og Skolelaboratoriet knyttet til intelligente hus, hvor sensorer et sentralt tema.

Jeg vil i denne sammenheng benytte anledningen til spesielt å takke Dr. techn. **Jens Jacob Jensen (JJJ consult AS)** som har bidratt med stoff knyttet til materialtesting og bruk av strekkklapper, og **Andreas Gurk (A. Gurk Elektronikk)** som har stått for design og layout av målebrua. Videre en takk til **Nic Furu**, **Anita Bordevik** og **Eivind Tjensvoll** som har latt meg få lov til å gjengi deres besvarelse i forbindelse med kurset i Romteknologi i 2005, hvor de beskrev magnetometerets virkemåte.

En takk til **Realfagprosjektet** og **Sør-Trøndelag Fylke** som har støttet utviklingen av en generell detektorkrets for bruk i ToF. Kretsen var ferdig til leveranse til skolen sommeren 2009.

I januar 2014 ble solcelledelen av heftet skilt ut som et eget hefte: **Praktisk solcelleteknologi for skolen**. Også dette heftet ligger fritt tilgjengelig på nett.

Nils Kr. Rossing
Skolelaboratoriet ved NTNU
Januær 2014





Innhold

| | |
|--|-----------|
| 1 Innledning | 17 |
| 1.1 Hva sier læreplanen | 17 |
| 1.2 Elektronikk og og elektrisitetstlære - hva er forskjellen? | 18 |
| 2 Elektroniske komponenter - en introduksjon | 21 |
| 2.1 Passive komponenter | 21 |
| 2.1.1 Motstander (resistorer) | 21 |
| 2.1.2 Potesiometeret (spenningsdeler) | 25 |
| 2.1.3 Kondensatorer (capasitorer) | 26 |
| 2.1.4 Lydgiveren | 26 |
| 2.1.5 Batteriet | 27 |
| 2.1.6 Ledninger | 28 |
| 2.1.7 Bananstikker og binderser | 28 |
| 2.2 Aktive komponenter - halvlederkomponenter | 29 |
| 2.2.1 Dioden | 29 |
| 2.2.2 Lysdioden | 30 |
| 2.2.3 Transistoren | 31 |
| 3 Halvlederfysikk og karakterisering av halvledere | 35 |
| 3.1 Grunnleggende halvlederfysikk | 35 |
| 3.1.1 Silisium og germanium danner krystall gitter | 35 |
| 3.1.2 Ledningsbånd og valensbånd | 36 |
| 3.1.3 Doping | 37 |
| 3.1.4 PN-overgangen | 37 |
| 3.1.5 Båndstrukturen i halvlederen | 38 |
| 3.2 Oppbygging og virkemåte av noen halvlederkomponenter | 42 |
| 3.2.1 Dioden | 42 |
| 3.2.2 Lysdioden | 43 |
| 3.2.3 Bipolar transistoren (“vanlig” transistor) | 43 |
| 3.3 Karakterisering av elektroniske komponenter | 45 |
| 3.3.1 Hva er en strøm-spenningskarakteristikk? | 45 |



| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.3.2 | Strøm-spenningskarakteristikken for en motstand | 46 |
| 3.3.3 | Strøm-spenningskarakteristikken for en diode | 46 |
| 3.3.4 | Strøm-spenningskarakteristikk for en transistor | 48 |
| 3.3.5 | Tidsvariable komponenter | 53 |
| 3.3.6 | Spolen eller induktoren | 56 |
| 3.3.7 | Spoler og kondensatorer brukt som signalfilter | 57 |
| 4 | Elektroniske systemkomponenter | 59 |
| 4.1 | Spenningsdeleren | 60 |
| 4.2 | En enkel strømdektektor, transistoren som bryter | 62 |
| 4.2.1 | Kretsskjema, strømdektektor | 62 |
| 4.2.2 | Strømdektektorens virkemåte | 63 |
| 4.2.3 | Omslagspunktet | 66 |
| 4.2.4 | Ulik anvendelse av strømdektektoren | 67 |
| 4.2.5 | Fuktighetsdektektor | 67 |
| 4.2.6 | Tørkedektektor | 67 |
| 4.2.7 | Lysdektektor | 68 |
| 4.2.8 | Mørkedektektor med LDR | 69 |
| 4.2.9 | Bruk av strømdektektoren i klasserommet | 69 |
| 4.2.10 | “Elevprobe” - Hvem holder hverandre i hånda? | 70 |
| 4.3 | Konstruksjon av en enkel signalførsterker | 72 |
| 4.3.1 | Spenningsdeleren | 72 |
| 4.3.2 | Arbeidspunktet | 74 |
| 4.3.3 | Stabilisering av førsterkeren | 75 |
| 4.3.4 | Beregning av en enkel transistorførsterker, trinn for trinn | 77 |
| 4.3.5 | Arbeidspunktet og strøm-spenningskarakteristikken | 79 |
| 4.3.6 | Vekselspenningsførsterker | 80 |
| 4.3.7 | Alternative måter å stabilisere førsterkeren på | 83 |
| 4.4 | Integrerte systemkomponenter | 84 |
| 4.4.1 | Operasjonsførsterkeren | 85 |
| 4.4.2 | Prinsipiell virkemåte og sentrale parametere for operasjonsførsterkeren | 86 |



| | | |
|----------|--|------------|
| 4.4.3 | Praktiske oppkoblinger | 88 |
| 4.4.4 | Komparatoren | 90 |
| 4.4.5 | Komparator som lys- og mørkedetektor med solcelle | 91 |
| 4.4.6 | Komparator som lysdetektor med LDR (lysfølsom motstand) | 93 |
| 4.4.7 | Komparator som lysdetektor med fotodiode | 93 |
| 4.4.8 | Komparator som termostat (temperaturfølsom motstand) ... | 94 |
| 4.4.9 | Luftfuktighetsdetektor | 94 |
| 4.4.10 | Differensialforsterkeren | 95 |
| 4.5 | AD-konverteren - fra analoge til digitale signaler | 96 |
| 4.5.1 | Sampling | 96 |
| 4.5.2 | AD-konverteren | 99 |
| 5 | Simulering av elektroniske kretser | 101 |
| 5.1 | Brukerveiledning for simulatoren Yenka | 102 |
| 5.1.1 | Nedlasting og installasjon av Yenka | 102 |
| 5.1.2 | Yenka Technology – grunnleggende innføring | 102 |
| 5.1.3 | Andre nyttige tips: | 110 |
| 5.2 | Karakterisering av dioden og solcellen | 111 |
| 5.2.1 | Oppgave 1 - Konstruksjon av kretsen | 111 |
| 5.2.2 | Oppgave 2 - Tegning av strøm-spenningsdiagram | 112 |
| 5.2.3 | Oppgave 3 - Simulering av en enkel solcelle | 113 |
| 5.2.4 | Oppgave 4 - Simulering av seriekobling av fem enkeltceller | 114 |
| 5.3 | Simulering av transistoren brukt som strømdetektor og bryter .. | 115 |
| 5.3.1 | Oppgave 1 – Sluttet krets med bryter | 116 |
| 5.3.2 | Oppgave 2 - Transistor brukt som bryter | 117 |
| 5.3.3 | Oppgave 3 – Simuler en totrinns strømdetektor | 118 |
| 5.4 | Simulering av komparator med operasjonsforsterker og transistordriver | 119 |
| 5.4.1 | Oppgave 1 - Operasjonsforsterkern brukt som komparator | 119 |
| 5.4.2 | Oppgave 2 - Komparator med transistordriver på utgangen | 122 |
| 5.5 | Simulering av en enkel én-transistors forsterker | 124 |



| | | |
|----------|--|------------|
| 5.5.1 | Oppgave 1 - Transistorforsterker med en transistor | 124 |
| 5.5.2 | Oppgave 2 - Dimensjoner transistorforsterkeren | 125 |
| 5.5.3 | Oppgave 3 - Test av transistorforsterkeren | 127 |
| 5.5.4 | Oppgave 4 - Belasting av transistorforsterkeren | 128 |
| 5.6 | Simulering av signalforsterker med operasjonsforsterker | 130 |
| 5.6.1 | Oppgave 1 - Operasjonsforsterkeren brukt som signalforsterker | 130 |
| 6 | Sensorer slik vi møter dem til daglig | 133 |
| 6.1 | Universell utforming - det intelligente hus | 134 |
| 6.2 | Velferdsteknologi | 136 |
| 6.3 | Elementene som inngår i intelligente hus | 137 |
| 6.3.1 | Feltbuss (Instabus) | 138 |
| 6.3.2 | Fjernstyring | 139 |
| 6.3.3 | Sikkerhet | 139 |
| 6.3.4 | ENØK | 140 |
| 6.3.5 | Audiovisuelt utstyr | 140 |
| 6.3.6 | Overvåking og styring | 141 |
| 6.3.7 | Oppkobling mot andre bussystemer | 141 |
| 6.3.8 | Annet | 141 |
| 7 | Noen sensorers virkemåte og karakterisering | 143 |
| 7.1 | Innledende betraktninger om sensorer | 143 |
| 7.1.1 | Hva er en sensor? | 143 |
| 7.1.2 | Egenskaper ved sensorer | 144 |
| 7.2 | Temperaturfølsomme sensorer | 146 |
| 7.2.1 | Temperaturfølsom motstand (NTC og PTC -motstander) .. | 146 |
| 7.2.2 | Integrert temperatursensor LM35DZ | 150 |
| 7.2.3 | IR-sensor | 152 |
| 7.3 | Lysfølsomme sensorer | 153 |
| 7.3.1 | Fotomotstand (LDR - Light Dependent Resistor) | 154 |
| 7.3.2 | Fototransistorer | 155 |
| 7.3.3 | Lyssensorer brukt til kommunikasjon – | |



| | |
|---|-----|
| fjernkontrollen for TV | 159 |
| 7.3.4 Kameramoduler | 161 |
| 7.4 Lufttrykkfølsomme sensorer | 162 |
| 7.4.1 Måling av lufttrykk ved endring i kapasitans | 163 |
| 7.4.2 Måling av lufttrykk ved endring i resistans (piezo-resistivitet) | 163 |
| 7.4.3 Måling av høyde basert på trykkmålinger | 165 |
| 7.5 Fuktighetsfølsomme sensorer | 167 |
| 7.5.1 Måling av fuktighet | 167 |
| 7.5.2 Fuktighetssensorn H25K5A | 172 |
| 7.5.3 Fuktighetssensorn HiH4000 Honeywell | 174 |
| 7.6 Trykk- og strekkfølsomme sensorer | 175 |
| 7.6.1 Strekkfølsom motstand (strekkklapp) | 175 |
| 7.7 Bevegelsesensorer | 176 |
| 7.7.1 Akselerasjonssensorer | 177 |
| 7.7.2 Bevegelsessensor | 180 |
| 7.8 Magnetfeltfølsomme sensorer | 181 |
| 7.8.1 Hovedinndeling av magnetfeltsensorer | 182 |
| 7.8.2 Hallsensorer | 183 |
| 7.8.3 Magnetoresistivitet | 185 |
| 7.8.4 Elektronisk kompass – CMPS03 | 185 |
| 7.8.5 Anvendelser av magnetometer | 186 |
| 7.9 Gass-sensorer | 187 |
| 7.9.1 Pellistoren | 187 |
| 7.9.2 Gassensor LPG, Metan – HS-133 | 190 |
| 7.9.3 CO ₂ innholdet i atmosfæren | 190 |
| 7.9.4 Gass-sensor CO ₂ – MQ-135 | 191 |
| 7.9.5 Gassensor CO ₂ – MG811 | 191 |
| 7.9.6 Måling av CO ₂ ved absorpsjon av IR-stråling (C100) | 193 |
| 7.9.7 Måling av ozon-konsentrasjon | 194 |
| 7.10 Partikkelsensorer | 196 |
| 7.10.1 Røykdetektor (røyk, varme) | 196 |



| | |
|--|------------|
| 7.10.2 Støvdetektorer (elektrodynamisk teknikk) | 199 |
| 8 Bygge- og laboratorieprosjekter (detektorer) | 201 |
| 8.1 Bygg en strømmedetektor med transistorer | 201 |
| 8.1.1 Kretsskjema, strømmedektoren | 201 |
| 8.1.2 Bygg strømmedektoren (fuktighetsdetektoren) på kretskort . | 202 |
| 8.1.3 Feilsjekk: | 205 |
| 8.1.4 Første test som fuktighetsdetektor | 205 |
| 8.2 Laboratorieeksperimenter med strømmedetektor og koblingsbrett . | 205 |
| 8.2.1 Gjør fuktighetsdetektoren om til en tørkedetektor | 206 |
| 8.2.2 Bestem terskelspenningen | 207 |
| 8.2.3 Konstruer en temperaturredetektor ved bruk av NTC-motstand (termistor) | 207 |
| 8.2.4 Lysdetektor med lysfølsom motstand (LDR) | 210 |
| 8.2.5 Mørkedetektor med lysfølsom motstand (LDR) | 210 |
| 8.2.6 Lysdetektor med fotodiode (fototransistor) | 211 |
| 8.2.7 Detekter mørkets frambrudd med fotodiode | 212 |
| 8.2.8 Luftfuktighetsdetektor | 213 |
| 8.3 Bygg en detektorer ved hjelp av operasjonsforsterker og transistordriver på koblingsbrett | 215 |
| 8.3.1 Monter transistordriveren | 217 |
| 8.3.2 Monter komparatoren, lag en lysdetektor | 219 |
| 8.3.3 Karakteriser lysdetektoren | 222 |
| 8.3.4 Bygg om lysdetektoren til en mørkedetektor | 224 |
| 8.4 Bygg en detektorer ved hjelp av operasjonsforsterker og transistordriver på kretskort | 224 |
| 8.4.1 Generelt koblingskjema | 225 |
| 8.4.2 Oppkobling som generell detektor | 225 |
| 8.4.3 Fuktighets- og tørkedetektor: | 230 |
| 8.4.4 Temperaturredetektor med NTC-motstand: | 231 |
| 8.4.5 Lys- og mørkedetektor med fototransistor: | 232 |
| 8.4.6 Lys- og mørkedetektor med solcelle: | 232 |
| 8.4.7 Luftfuktighetsdetektor: | 233 |



| | | |
|----------|--|------------|
| 8.4.8 | Vinddetektor: | 234 |
| 8.4.9 | Spenning og strøm-detektor: | 234 |
| 8.4.10 | Oppkobling av utgangen mot eksternt utstyr | 235 |
| 8.5 | Komparator sensorkrets. | 237 |
| 8.5.1 | Fjernstyrt ballongsprenger | 237 |
| 8.5.2 | Gassdetektor | 238 |
| 8.6 | Bygg en løgndetektor | 239 |
| 8.6.1 | Litt løgndetektorhistorikk | 239 |
| 8.6.2 | Kretsskjema | 240 |
| 8.6.3 | Komponentliste | 240 |
| 8.6.4 | Byggebeskrivelse løgndetektor | 240 |
| 8.6.5 | Slik virker løgndektoren | 244 |
| 8.7 | Bygg en transistorsforsterker på koblingsbrett | 244 |
| 8.7.1 | Monter transistorforsterkeren | 246 |
| 8.8 | Bygg et kolorimeter | 247 |
| 8.8.1 | Innledning | 247 |
| 8.8.2 | Byggeveiledning | 248 |
| 8.8.3 | Kolorimeterets koblingsskjema m/nulljustering | 254 |
| 8.8.4 | Komponentliste (100-pris) okt. 2011 | 254 |
| 8.8.5 | Enkel fargelære | 254 |
| 8.8.6 | Bruk av kolorimeteret med nulljustering | 255 |
| 8.8.7 | Kalibrering av kolorimeteret | 256 |
| 8.8.8 | Måling av konsentrasjon med standardkurve | 257 |
| 8.8.9 | Måling andre salter i vann | 257 |
| 9 | Måling av tøyning i materialer | 259 |
| 9.1 | Strekfølsom motstand (Strekklapper) | 259 |
| 9.1.1 | Strekklappens oppbygning og virkemåte | 259 |
| 9.1.2 | Wheatstons målebro | 261 |
| 9.1.3 | Omregning fra spenning til strekk | 262 |
| 9.1.4 | Kobling av strekkklapper | 263 |
| 9.1.5 | Leveradør av strekkklapper | 264 |



| | | |
|------------------|---|------------|
| 9.2 | Montering av strekkklapper | 264 |
| 9.3 | Bygg ei målebru | 266 |
| 9.3.1 | Koblings skjema | 267 |
| 9.3.2 | Virkemåte | 268 |
| 9.3.3 | Byggebeskrivelse | 269 |
| 9.3.4 | Kalibrering av målebrua | 274 |
| 9.4 | Måling med hjemmelaget målebro | 277 |
| 9.4.1 | Oppkobling | 277 |
| 9.4.2 | Problemstilling – Nedbøyning av stag brukt som vekt | 277 |
| 9.4.3 | Resultater | 278 |
| 9.5 | Lag en badevekt | 278 |
| 9.6 | Bygging av målerigg | 280 |
| 10 | Referanser | 283 |
| 10 | Referanser | 283 |
| Vedlegg A | Svar på simuleringsoppgaver | 286 |
| Vedlegg B | Strømdetektor bygd på papplate | 293 |
| Vedlegg C | Innkjøp av komponenter | 299 |
| Vedlegg D | Fargekoding av motstander | 305 |
| Vedlegg E | Loddekurs | 306 |
| Vedlegg F | Bruk av multimeter | 309 |
| Vedlegg G | Datablader | 317 |



1 Innledning

1.1 Hva sier læreplanen

Grunnleggende elektronikk er kommet inn i mange fag i grunn- og videregående skole. I grunnskolen er temaet primært knyttet til det tverrfaglige emnet *teknologi og design*, hvor det i kompetansemålene etter 10 trinn heter:

... at eleven skal kunne:

- *utvikle produkter som gjør bruk av enkel elektronikk etter kravspesifikasjoner, evaluere designprosessen og vurdere produktenes funksjonalitet og brukervennlighet*

Mange av lærerne som underviser naturfag i grunnskolen har ingen eller svært mangefulle kunnskaper om halvlederteknologi og elektronikk. Det er derfor et skrikende behov for en innføring i grunnleggende kunnskaper innen dette emnet og ikke minst hva en skal legge i – *utvikle produkter som gjør bruk av elektronikk*.

Videre møter vi temaet igjen i videregående skole innen flere fag. Først og fremst er temaet tatt inn i *fysikk 1* på Vg2, hvor det under hovedområdet *fysikk og teknologi* heter:

... at eleven skal kunne:

- *gjøre rede for forskjellen mellom ledere, halvledere og isolatorer ut fra dagens atommodell, og forklare doping av halvleder*
- *sammenligne oppbygningen og forklare virkemåten til en diode og en transistor, og gi eksempler på bruken av dem*
- *gjøre rede for virkemåten til lysdetektorer i digital fotografering eller digital video*
- *gjøre rede for hvordan moderne sensorer karakteriseres, og hvordan sensorenes egenskaper setter begrensninger for målinger*

Her handler det om å friske opp kunnskapene samt gi gode eksempler på laboratoriearbeid og praktisk undervisning innen disse emnene.

Videre oppfordres lærere og elever til å anvende halvledere og elektronikk i det nye faget *Teknologi og forskningslære*. Her leser vi bl.a under temaet *den unge ingeniøren*.

- *bruke sensorer og styringssystemer i forbindelse med forsøk og konstruksjoner*

Som vi ser så finner vi igjen temaet elektronikk, halvlederteknologi, sensorer og styring innen flere fag i grunnskolen og linje for allmennfag i videregående skole. Dette gjenspeiler også den enorme bruken av teknologi generelt og elektronikk spesielt i omtrent alt vi omgir oss med.

Dette heftet har hovedfokus på *sensorer* som vi møter til dagelig både i hjemmet, i bilen og ellers i samfunnet. Vi har også tillatt oss ta med noen sensorer med anvendelse innen enkel romteknologi, siden dette fagfeltet er tatt inn som et ressursemne i skolen, bl.a. gjennom satsningen ved NAROM.



Innen halvlederteknologien er det naturlig å fokusere på dioder, transistorer og ikke minst solceller som etterhvert er blitt et meget varmt tema innen norsk næringsliv. Dessuten er solceller sentralt innen et annet viktig emne nemlig *Energi for framtida*.

Naturfag, kompetansemål etter Vg1, Tema – Energi for framtida

- *gjøre forsøk med solceller og solfangere og forklare virkemåten*

Vi har også valgt å beskrive operasjonsforsterkeren. Dette er en komponent som i liten grad har vært beskrevet og brukt i norsk skole (unntatt ved elektrofag). Vi har valgt å ta den med da den er enkel å bruke, meget allsidig og ikke minst billig. Dessuten er det langt enklere å konstruere anvendelige kretser med en operasjonsforsterker enn med enkle transistorer. Operasjonsforsterkeren er tatt med ikke minst av hensyn til faget teknologi og forskningslære, som i større grad enn andre fag har fokus på anvendelse.

Vi har også hatt spesiell fokus på materialtesting ved hjelp av strekkklapper. Dette er en fin måte å kombinere enkel elektronikk, sensorer, måleteknikk og materialteknologi. I denne delen har vi trukket veksler på det Jens Jacob Jensen har utviklet av byggesett innen brokonstruksjoner med mere.

Boka forutsetter at leseren har generell kjennskap til elektriske begreper og tradisjonell elektrisitetslære.

1.2 Elektronikk og elektrisitetslære - hva er forskjellen?

Innledningsvis skal vi dra opp skillelinjene mellom begrepene elektroteknikk og elektronikk. Videre kan det også være greit å klarlegge hva som ligger i begrepet elektrisitetslære. La oss ta det siste først:

Elektrisitetslære (el-lære)

er, i sin grunnleggende form, læren om begreper som strøm og spenning, effekt og energi i elektriske kretser, samt måling av disse størrelsene. Elektrisitetslæra omhandler lover som styrer strøm og spenningsfordelingen i kretsene, eksempelvis Ohms lov, Kirchoffs strøm- og spenningslover o.l.. Ofte inkluderer el-læra parallell- og seriekobling av enkle kretselementer (ledere, isolatorer, batterier, brytere, lyspærer o.l.).

Når vi skal definere begrepene elektroteknikk og elektronikk må vi være klar over at disse griper inn i hveandre og delvis overlapper. En må derfor betrakte definisjonene under som veiledende og ikke absolutte.

Elektroteknikk

omhandler hovedsakelig elektrisitet brukt i forbindelse med energioverføring slik som generatorer (vann- og vindenergi o.a.), transformatorer, kraftlinjer, fordelingsanlegg o.l. I tillegg omfatter den elektriske komponenter brukt til framdrift (motorer), elektrisk belysning (lyspærer, lysstoffrør o.l.) og oppvarming (varmeovner). Elektroteknikken behefter seg derfor i stor grad med spenninger over 50 V og store effekter. Den omfatter også måling av effekt og energi, strøm og spenning. En viktig del av dette fagområdet er også energioverføring og bruk av tre-faseteknologi.



Elektronikk

er primært brukt i forbindelse med styresystemer (roboter, automater), overvåkningsystemer (alarmanlegg, overvåking, satellitter), kommunikasjonssystemer (TV-, radio, kringkasting, mobilkommunikasjon, telefon, telefonsentraler, datanett, satellitter), informasjonsbehandling (regnemaskiner, datamaskiner, lagring av data o.l.), kontormaskiner (kopimaskiner), hjelpemidler i hjemmet (videospillere, DVD-maskiner, spillmaskiner, MP3-spillere osv.). Elektronikken omhandler dessuten elektroniske komponenter som kan forsterke og behandle signaler (transistorer, dioder, integrerte kretser, mikroprosessorer og kontrollere). Men også motstander, kondensatorer og spoler brukes mye. Som oftest brukes spenningsnivåer under 50 V og strømmene forsøkes redusert til et minimum. Raske endringer i strømmer og spenninger er ofte av stor betydning (raske PC'er, bredbånd, bruk av mikrobølger ved overføring av informasjon o.l.).

I de siste 30 - 40 årene har elektronikken rykket inn på elektroteknikkens område, ved at halvlederkomponenter er utviklet for store strømmer og høye spenninger. Dessuten er elektronikken mye brukt for styring og overvåking av høyspenningsanlegg. Skillet mellom de to områdene er derfor blitt vagere.





2 Elektroniske komponenter - en introduksjon

I dette avsnittet skal vi beskrive noen viktige komponenter som vi kommer til å bruke når vi konstruerer kretser. Ikke alle komponentene vil bli behandlet like grundig.

Symbolsk representasjon av komponenter

For at funksjonen til den enkelte komponenten skal komme tydelig fram og være lettere å tegne, representeres de med *symboler*. At vi gjenkjenner og forstår disse symbolene er viktig for at vi skal kunne lese et *koblings skjema*. Koblings skjemaet forteller oss hvilke tilkoblingsledninger hos de enkelte komponentene som skal knyttes sammen for at kretsen skal få den ønskede funksjon.

Å representere komponentene med symboler, blir nesten som å representere lydene i språket med bokstaver. På samme måte som vi kan tegne et helt skjema med symbolske komponenter, kan vi skrive en historie med bokstaver og ord, og den endelige kretsen kan utføre en nyttig operasjon slik også setninger får en meningsfull betydning.

Vi deler gjerne elektroniske komponenter inn i to hovedgrupper:

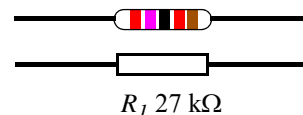
- *Passive komponenter*
Motstander, kondensatorer, spoler, kabler, releer, osv. som ikke kan gi kretsen noen effektførsterkning
- *Aktive komponenter*
Transistorer og integrerte kretser som kan bidra til å gi kretsen effektførsterkning.
Vi velger ofte også å inkludere dioden i denne gruppen siden den teknologisk er så tett forbundet med transistoren.

2.1 Passive komponenter

Passive komponenter er komponenter som ikke gir noen effektførsterkning, de opptrer ofte som hjelpekomponenter for halvlederkomponentene (transistorer og dioder).

2.1.1 Motstander (resistorer)

Motstanden har *to* tilkoblingsledninger (bein) og har ofte fargede ringer som forteller hvilken resistans den har. Symbolet ligner på den virkelige motstanden, og angis med en betegnelse og en verdi (f.eks. R_1 og $27\text{ k}\Omega$). R'en forteller oss at denne komponenten er en Motstand, indeksen 1 at det er motstand nr. 1 og $27\text{ k}\Omega$ at den har verdien $27\,000\text{ Ohm}$. Det spiller ingen rolle hvilken vei motstanden kobles. Legg merke til at komponenten ofte kalles *resistor* og dens verdi, *resistans*. I dette heftet har vi valgt de mer folkelige begrepet *motstand*, men velger å bruke *resistans* for verdien til motstanden siden dette brukes i skolen.



Figur 2.1 Motstand.



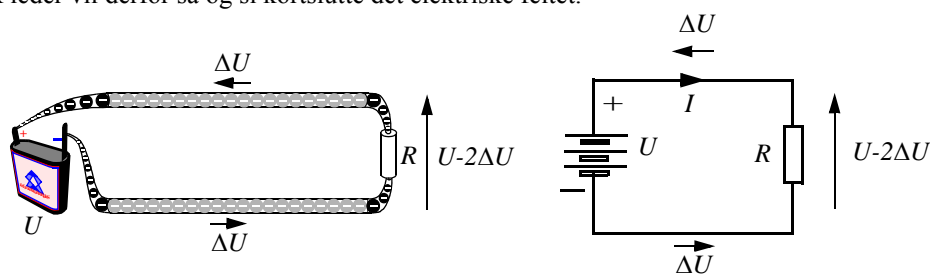
Hva brukes den til?

I elektroniske kretser brukes motstander bl.a. til å begrense strømmer og til å gi andre komponenter (f.eks. transistorer) riktige arbeidsbetingelser. Ofte brukes motstander også til å gjøre en strøm om til en spenning. Spenningspotensialet over en motstand vil variere i takt med strømmen gjennom den i overenstemmelse med Ohm's lov.

Slik virker motstanden

I en **elektrisk leder** finnes mange frie ladninger (elektroner), som lett lar seg flytte av et elektrisk felt (se kapittel 3). I en **motstand** er elektronene tettere bundet til atomkjernene og lar seg ikke så lett flytte.

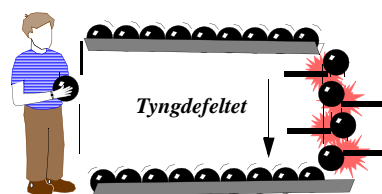
La oss ta utgangspunkt i en enkel elektrisk krets med et batteri, en motstand, R , og to ledninger. Batterispenningen er U , i følge Kirchoffs andre lov vil summen av potensialforskjellene (spenningsfeltet) langs en sluttet krets alltid være lik null. Mesteparten av spenningsfeltet blir derfor liggende over motstanden, mens en liten rest, $2\Delta U$, ligger fordelt langs ledningene. En god elektrisk leder vil derfor så og si kortslutte det elektriske feltet.



Figur 2.2 Fordeling av det elektriske feltet, U , i en enkel sluttet krets.

Siden det er det elektriske feltet som driver elektronene framover, skulle en derfor tro at elektronene hadde problemer med å komme seg fram langs ledningene siden feltet i disse er så svakt, mens de i motstanden skulle få stor fart da feltet her er mye sterkere.

Dette er også riktig, men siden elektronene møter liten motstand i ledningene, vil de, på tross av at feltet er svakt, kunne akselerere over lengre strekninger uten sammenstøt. I en motstand derimot vil de møte større motstand og sammenstøtene vil være hyppige. På tross av at de stadig bremses opp på grunn av sammenstøt, vil de raskt gjenvinne stor hastighet på grunn av det sterke feltet. I sammenstøtene vil de avgi energi og motstanden blir varm.



Figur 2.3 Kulene møter motstand i fallet

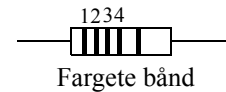
En ekvivalent til strømmen i en elektrisk krets er vist i figur 2.3. Her er spenningen representert med tyngdekraften, elektronene med kuler og ledningene med renner. Motstanden er representert med sperrer som hindrer kulene i fallet. Kulene vil som elektronene, avgi energi i fallet.

Motstander kan øve ulik motstand i kretsen avhengig av resistansen. En motstand med høy resis-

tans vil øve stor motstand og strømmen vil bli liten. En motstand med lav resistans vil øve liten motstand og strømmen vil bli større.

Angivelse av resistansen

Motstander er ofte for små til at de kan påtrykkes en tekst. Resistansen angis derfor vanligvis med fargete bånd rundt motstanden etter en fargekoding som angitt i tabell 1.



Tabell 1: Fargekoding av motstander

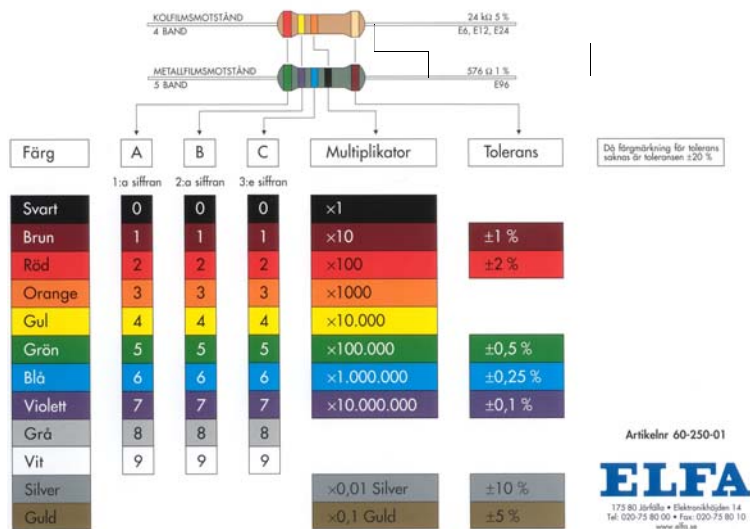
| Farge | Betydning | Farge | Betydning |
|---------|-----------|---------|-----------|
| sort | 0 | grønn | 5 |
| brun | 1 | blå | 6 |
| rød | 2 | fiolett | 7 |
| oransje | 3 | grå | 8 |
| gul | 4 | hvit | 9 |

Resistansen måles i enheter av *Ohm* som betegnes med den greske bokstaven Ω (*omega*). Fordi Ohm er en svært liten enhet, får vi motstander med verdier fra under 1 Ω opp til flere millioner Ω . Vi kan imidlertid ikke få dem i alle tenkelige størrelser. Motstander produseres i standardiserte *serier* med forskjellige verdier og presisjon. Desto høyere presisjon en serie har, desto flere verdier finnes i serien.

Serien E12, som brukes ganske mye, har 12 verdier for hver dekade (tier-potens). Dvs. det finnes 12 verdier mellom 10 Ohm og 100 Ohm (inkl.). Disse verdiene er standardisert til 12 Ω , 15 Ω , 18 Ω , 22 Ω , 27 Ω , 33 Ω , 39 Ω , 47 Ω , 56 Ω , 68 Ω , 82 Ω og 100 Ω . Tilsvarende finner vi 12 verdier mellom 100 Ω og 1 000 Ω , osv. Fire ringer benyttes til å angi verdien for denne serien.

Tilsvarende har E24 serien, 24 verdier i hver dekade. Denne merkes også med fire ringer. Først når antallet verdier kommer opp i 48, som for E48 benyttes fire ringer da en har behov for en nøyaktigere angivelse av verdiene.

FÄRGGKODSSCHEMA FÖR MOTSTÄND



Figur 2.4 Fargekoding av resitorer (ELFA). Ringene leses fra den siden der de er nærmest kanten.



I E12 serien angir de to første ringene 1. og 2. siffer i verdien. Den 3. ringen angir multiplikasjonsfaktoren gitt som en potens av 10. En motstand som er merket med ringene *orange, oransje, rød*, vil ha verdien 3 (oransje), 3 (oransje) med multiplikasjonsfaktor $10^{2(\text{rød})} = 100$, som gir verdien $33 \times 100 = 3\,300 \, \Omega$ eller $3,3 \, \text{k}\Omega$, hvor *k* står for kilo (1 000).

Den 4. ringen angir hvor stort slingsringsmonn eller hvor nøyaktig den oppgitte resistansen er. Dette kalles også *toleransen* til resistansen.

Ofte er ringen som angir nøyaktigheten (toleransen) plassert litt for seg selv. Dette er det greit å vite så en vet fra hvilken side koden skal leses.

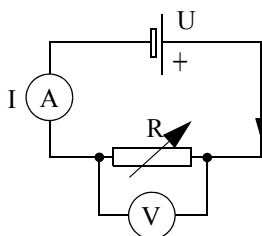
Seriene E 48 og E 96 (presisjonsmotstander) merkes med fem ringer. Disse har henholdsvis 48 og 96 verdier innen hver dekad. De tre første ringene angir de tre første siffrerne i resistansen. Den 4. ringen angir multiplikasjonsfaktoren i potenser av 10, som vist på figur 2.4, mens den 5. ringen angir nøyaktigheten til motstanden i henhold til koden i tabell 2.

Tabell 2: Fargekoding av nøyaktighet.

| Farge | Betydning | Farge | Betydning |
|-------------|------------|---------|--------------|
| ikke merket | $\pm 20\%$ | brun | $\pm 1\%$ |
| sølv | $\pm 10\%$ | grå | $\pm 0,5\%$ |
| gull | $\pm 5\%$ | blå | $\pm 0,25\%$ |
| rød | $\pm 2\%$ | fiolett | $\pm 0,1\%$ |

Karakterisering av motstander

La oss se på en lukket krets som består av et batteri med en spenning U og en motstand med verdi R



Figur 2.5 Måling av strøm (I) og spenning (U) i en sluttet krets med motstand og batteri.

Dersom vi holder spenningen (U) konstant og varierer resistansen (R) vil vi erfare at strømmen (I) varierer omvendt proporsjonalt med resistansen ($I = U \frac{1}{R}$).



Vi kunne også ha holdt resistansen konstant og variert spenningen. Da ville strømmen ha variert proporsjonalt med spenningen, med R som proporsjonalitetskonstant ($I = \frac{1}{R}U$).

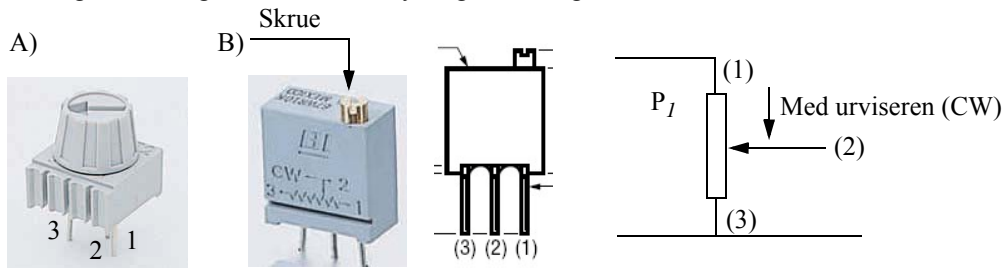
Disse proporsjonalitetene beskrives av **Ohms lov**.

$$U = R \cdot I \quad (2.1)$$

Ohms lov, som er en av de viktigste lovene i elektrisitetslære (og i elektronikken), beskriver sammenhengen mellom strøm og spenning i en krets som inneholder en elektrisk motstand. Motstander er viktige komponenter også i elektroniske kretser. De brukes til å begrense strømmen og til å lage spenningsdelere slik at for eksempel transistorer får riktig spenning på hver av terminalene (beina).

2.1.2 Potensiometeret (spenningsdeler)

Potensiometeret er en elektrisk motstand med et variabelt uttak slik at den kan brukes som en *spenningsdeler*. Potensiometere finnes i mange utforminger. I denne sammenheng har vi valgt et 20 turns potensiometer som kan justeres ved hjelp av et skrujern. Selv om dette kan være litt tungvindt så gir det mulighet til en svært nøyaktig innstilling.



Figur 2.6 Potensiometer. A) Ett turns potensiometer, B) 20-turns potensiometer.

Potensiometeret har tre terminaler (1, 2 og 3). Figuren over viser to typer: A) et ett turns potensiometer som kan betjenes både med fingrene og skrujern. B) er et 20 tuns potensiometer som må betjenes med skrujern. Når vi skrur skruen med klokka vil midtuttaket (2) nærme seg endepunktet (3).

Potensiometre angis med en betegnelse og en verdi (f.eks. P_1 og 10 k Ω). P'en forteller oss at denne komponenten er et Potensiometer, indeksen 1 at det er potensiometer nr. 1 og 10 k Ω at det har verdien 10 000 Ohm mellom terminalene 1 og 3.



2.1.3 Kondensatorer (capasitorer)

Kondensatorer er to metall- eller folieplater som ligger tett inntil hverandre uten at de berører hverandre. Jo større platene er, jo større verdi har kondensatoren. Kondensatorers verdi måles i Farad (fork. F). Farad er imidlertid en meget stor måleenhet. Det er derfor vanlig å bruke μF (mikroFarad), nF (nanoFarad) og pF (pikoFarad) når vi angir verdien til en kondensator. Kondensatorens verdi kalles også kapasitans.

Kondensatorer angis med en betegnelse og en verdi (f.eks. C_1 og $0,1 \mu\text{F}$). C'en forteller oss at denne komponenten er en Capasitor, indeksen 1 at det er kondensator nr. 1 som har verdien $0,1 \mu\text{F}$.

Hva brukes den til?

Kondensatorer har mange ulike anvendelser. Siden de slipper gjennom vekselspanning og sperrer for likespenning, brukes de ofte til å skille trinnene i en forsterker. Andre ganger brukes de til å kortslutte vekselspanning til jord, eller sørge for å jevne ut spenningen når en ønsker å omdanne vekselspanning til likespenning.

Ulike typer kondensatorer

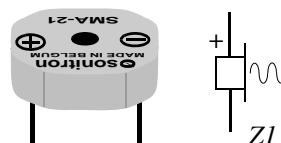


Figur 2.7 Kondensatorer.

Kondensatorer kan ha mange forskjellige utforminger. Til venstre på figuren over er gjengitt en keramisk skivekondensator. Slike egner seg godt for bruk ved høye frekvenser, men leveres i relativt små verdier. De to kondensatorene til venstre kalles elektrolyttkondensatorer, og leveres vanligvis i store verdier. Siden de er polare, må de alltid kobles slik at de har pluss og minus på rett side. Disse har dårlige egenskaper for høye frekvenser, men egner seg godt ved lave frekvenser. De brukes ofte i forbindelse med at en omdanner vekselspanning til likespenning (likeretting).

2.1.4 Lydgiveren

Lydgiveren har to tilkoblingsledninger (bein). Den ene er merket +, den andre -. Tilkoblingsledninger merket med + skal i en krets kobles nærmest den positive polen på batteriet, og tilsvarende for den ledningen som er merket med -. Lydgiveren gir en pipetone når det går tilstrekkelig strøm gjennom den.



Figur 2.8 Lydgiver eller summer.



Piezo-elektriske krystaller har den egenskapen at dersom de påføres en spenning, skjer en mekanisk forandring med krystallet. Dersom spenningen varierer fort vil krystallet begynne å vibrere i takt med spenningen. Denne vibrasjonen skaper lyd.

Lydgiveren angis med en betegnelse (f.eks. Z_1). Z 'en forteller oss at denne komponenten er en lydgiver, indeksen 1 at det er lydgiver nr. 1.

Hva brukes de til?

I elektroniske kretser brukes den piezo-elektriske lydgiveren til å gi fra seg lyd, det kan f.eks. være for å varsle at noe er galt.

2.1.5 Batteriet

Batterier kan være av forskjellige typer og spenninger. På figuren til høyre ser vi et flatbatteri som gir 4,5 Volt. Den lange tunga på batteriet er den negative polen, og den korte den positive. Flatbatteriet består av tre seriekoblede celler som hver gir 1,5 Volt. Symbolet for batteriet gjenspeiler dette. Hver celle illustreres med en kort og en lang strek. Legg spesielt merke til at den korte streken symboliserer den negative polen på batteriet. 9 Volt batterier er også svært vanlige. Disse består av 6 seriekoblede celler hver med 1,5 V.



Figur 2.9 Batteri med tre og seks celler.

Ellers er enkeltceller av 1,5 V kanskje de vanligste og mest brukte batteriene i mange sammenhenger. De tre vanligste typene går under mange betegnelser. De vanligste er kanskje D, C, AA og AAA (se figuren til høyre). Her er IEC -standarden angitt med ANSI standarden i parentes.



LR20 (D)
LR14 (C)
LR6 (AA)
LR03 (AAA)
6LR61 (PP3)

Hva brukes de til?

I elektroniske kretser brukes batteriet for å tilføre kretsen energi. 4,5 V batterier har gjennom mange år vært brukt i enkelte typer lommelykter. Ellers blir de brukt i forbindelse med hobbyprosjekter slik som her. 9 V batterier er mye brukt i f.eks. små radioer, røykvarslere o.l.

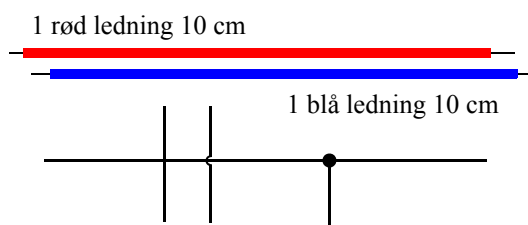
Batterier angis med en betegnelse og en verdi (f.eks. U_1 og 4,5 V). U 'en forteller oss at denne komponenten er et batteri, indeksen 1 at det er batteri nr. 1 som har verdien 4,5 Volt.

Når vi tegner kretsskjema er det vanlig å angi pluss spenningen U_{CC} og Minus-spenningen som U_{EE} . I amerika benyttes ofte V i stedet for U . Siden V kan forveksles med V for Volt, synes U mer hensiktsmessig.



2.1.6 Ledninger

Ledninger vanligvis fortinnede kobbertråder som er isolert med plast som kan ha forskjellig farge. I koblingskjemaet angis de som en svart strek. Koblingspunktet mellom to ledninger angis gjerne med en svart prikk. Dersom to ledninger krysser hverandre uten at de er elektrisk forbundet, angis dette enten med et kryss uten prikk eller en liten bøy på den ene ledningen. Røde ledninger brukes ofte i forbindelse med den positive polen på batteriet, mens blå eller svarte brukes ofte i forbindelse med den negative polen.



Figur 2.10 Ledninger, krysning og sammenkobling.

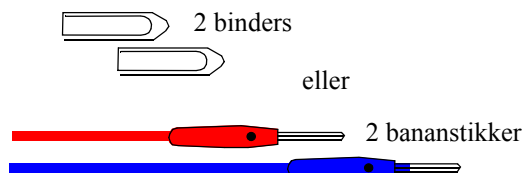
Ledninger i et koblingskjema antas å ha en resistans lik null¹.

Hva brukes de til?

Ledninger brukes til å forbinde kretsen vår med omgivelsene, f.eks. til batteriet eller til det vi skal måle. Kobbertapen som brukes i en av laboratorieoppgavene, er også en slags ledning som brukes til å forbinde komponentbeina på rett måte. Når vi bruker koblingsbrett, brukes også ledninger til å forbinde de ulike komponentene på brettet.

2.1.7 Bananstikker og binderser

Bananstikkere brukes ofte til å koble ledninger til spenningskilder og lignende. Siden disse er relativt dyre kan en med fordel bruke binderser for å koble kretsen til batteriet. Disse er spesielt egnet når vi bruker flatbatterier.



Figur 2.11 Bananstikkere eller binderser brukes for sammenkobling.

1. Dersom ledningens egentlige resistans, som er svært liten, har betydning for kretsens virkemåte, må den angis eksplisitt i kretsskjemaet som en motstand.



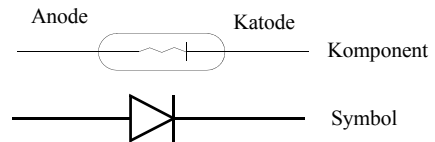
2.2 Aktive komponenter - halvlederkomponenter

2.2.1 Dioden

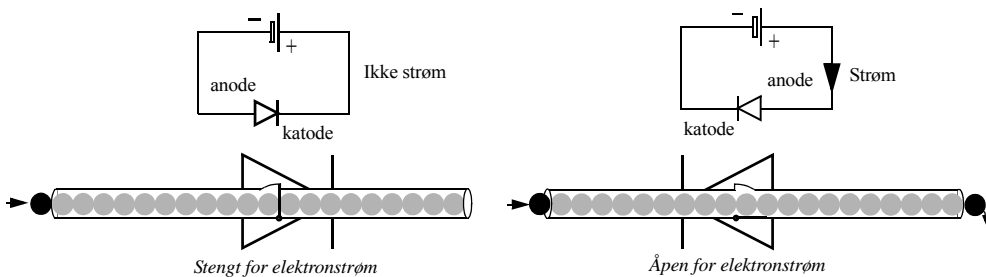
Grunnleggende

Dioden har to terminaler (bein) som navnet sier (*di* betyr to), en **katode** og en **anode**.

Dioden er en komponent som leder strøm den ene veien og omtrent ingen strøm den andre veien. Dersom vi kobler batteriets positive pol til anoden og negative pol til katoden, vil dioden lede strøm. Kobler vi batteriet omvendt vil det ikke gå strøm gjennom komponenten.



Figur 2.12 Diode



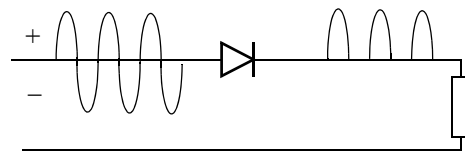
Figur 2.13 Dioden leder strøm en vei og sperrer den andre.

Hva brukes den til?

Dioder brukes for eksempel til å *likerette vekselspanning*.

Spenningen slik vi får den levert fra strømnettet i stikkontanten, er en vekselspanning. Dersom vi måler polariteten til spenningen i stikkontakten, ville vi se at den endrer polaritet (retning) 100 ganger i sekundet. Eller den går fra å være positiv til være negativ og tilbake igjen 50 ganger i sekundet.

Når spenningen har samme retning hele tiden kaller vi den en likespenning. Når vi skal bruke elektriske spenninger til elektronikk, f.eks. i en radio, så trenger vi *likespenning*. Ved hjelp av dioder kan vi omforme en vekselspanning til en likespenning.



Figur 2.14 Dioder brukes til å likerette spenninger.

I riktig gamle dager, i radioens barndom, ble dioder brukt i *krystallapparater* for å motta AM-radio (AmplitudeModulerte signaler). Dioden er også senere vært en viktig komponent i radio- og kommunikasjonsteknikk.



Vi skal senere i detalj se på hvordan dioden er bygget opp og virker.

Dioder angis med en betegnelse og en type (f.eks. D_1 og OA 90). D'en forteller oss at denne komponenten er en Diode, indeksen 1 at det er diode nr. 1 som er av typen OA 90.

2.2.2 Lysdioden

Grunnleggende

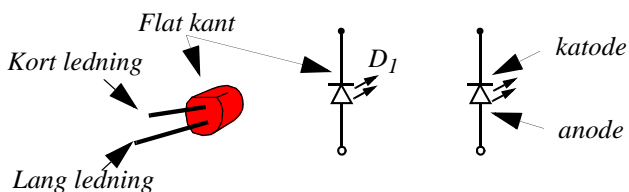
Lysdioden har to tilkoblingsledninger (bein). Det er ikke likegyldig hvilken ledning som kobles til hvilket punkt i kretsen. Som dioden, leder lysdioden kun strøm den ene veien. De to tilkoblingsledningene til dioden kalles *katode*² og *anode* (som hos en vanlig diode). Den flate kanten (kort ledning) viser hvor katoden er. For at dioden skal lyse, må katoden kobles til den negative polen på batteriet og anoden til den positive polen, slik at det kan gå strøm i dioden. Legg merke til korrespondansen mellom komponenten og symbolet.

Symbolet for lysdioden gir en betegnelse og en typekode (f.eks. D_1 og EL333URC). D står for Diode, indeksen 1 angir at det er diode nr. 1 og EL333URC er type lysdiode. Typebetegnelsen brukes ved bestilling av komponenten hos leverandøren.

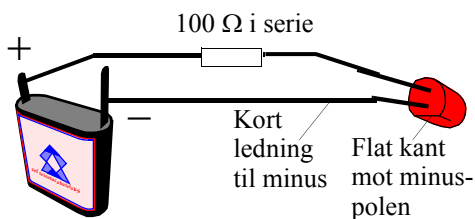
Vi må passe på at vi ikke lar det gå for stor strøm gjennom lysdioden, det er derfor vanlig å koble en motstand i serie med lysdioden. Brukes et 4,5 V batteri er en motstand på 100 Ω nok. Lysdioder kan fås i forskjellige farger, rød, grønn, gul, blå og hvit.

Hva brukes den til?

Lysdioder er tradisjonelt brukt til å gi signal (vise at noe er slått på eller er aktivt). Spesielle typer dioder er også brukt til å vise tall og bokstaver på alfanumeriske display. Vi finner dem også i optiske PC-mus. Etterhvert som denne teknologien er videreutviklet og diodene er blitt langt mer lyssterke, er de i stadig større grad blitt brukt til belysning (håndholdte lykter, trafikklys, bremse- og blinklys på biler osv.). Spesielle dioder blir også brukt til kommunikasjon, slik som i fjernkontroller hvor *IR-dioder* (InfraRød-dioder) brukes. Videre brukes *laserdioder* i forbindelse med CD- og DVD-spillere og ellers til optiske datalager, dessuten brukes de til datakommunikasjon over optiske fiber.



Figur 2.15 Lysdioden.



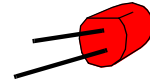
Figur 2.16 Oppkobling av lysdiode

2. Navnene *anode* og *katode* ble gitt av M. Faraday som eksperimenterte med elektrolyse av vesker. Anode kommer av de greske ordene *ana* som betyr 'opp', og *hodos* 'vei', dvs. 'oppvei'. På samme måte betyr katode 'nedvei'. Katoden avgir elektroner, mens anoden mottar elektroner.



Slik virker lysioden

Når elektronene passerer gjennom dioden gir de fra seg noe av energien sin, dette skjer når et elektron faller ned på en ledig plass i gitteret. Elektroner kan bare oppta og avgi energi i spesielle mengder. Fra kvanteteorien vet vi at en bestemt energimengde tilsvarer en gitt frekvens. Jo mer energi jo høyere frekvens. Lysdioder er laget slik at den energien som blir avgitt tilsvarer frekvensen til synlig lys. Fargen på lyset bestemmes dermed av hvor mye energi elektronene avgir idet de faller tilbake til et nivå med lavere energi. IR-dioder avgir som navnet sier, "lys" i det usynlige området av frekvensspekteret. Som nevnt brukes slike IR-dioder i f.eks. fjernkontroller. Ved å variere intensiteten til de utsendte IR-strålene er det mulig å overføre informasjon fra fjernkontrollen til for eksempel et TV-apparat.



Figur 2.17 Lysdiode

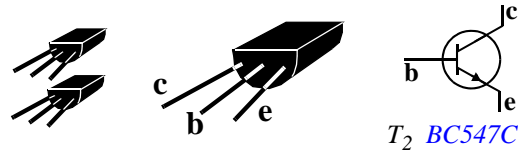
Lysdioder har ikke glødetråd som blir varm. Derfor er lysdioder langt mer driftsikre og har lengre levetid enn lypærer. Tradisjonelt avgir de svært lite varme og er derfor langt mer effektive, dvs. at mer av den tilførte energien blir til lys enn hva som er tilfelle for en vanlig lypære, hvor mesteparten går bort i varme. I de senere årene har en også klart å utvikle lysdioder som lyser svært sterkt. Det er derfor blitt mulig å bruke lysdioder i f.eks. trafikkllys og sykkellykter. Når lysdiodene blir ekstremt lyssterke møter en igjen problemet med varmgang.

For å finne ut mer om dette temaet, se nettsiden www.howstuffworks.com og søk på LED (Light Emitting Diode).

Fysikken bak dioden og PN-overgangen vil bli nærmere beskrevet i kapittel 3.

2.2.3 Transistoren

Transistoren har tre tilkoblingsledninger (bein). Disse betegnes som henholdsvis: *Base* (b), *emitter* (e) og *collector* (c)³. Det er viktig at de forskjellige tilkoblingsledningene kobles riktig i kretsen ellers vil den ikke virke som den skal. Symbolet for transistoren gis en betegnelse og en typekode (f.eks. T_1 og BC547C). T står for Transistor, indeksen 1 angir at det er transistor nr. 1 og BC547C er typen transistor.



Figur 2.18 Transistor.

Vi må passe på at vi ikke lar det gå for stor strøm gjennom transistorer, da vil de bli ødelagt.

Hva brukes den til?

Transistoren ble oppfunnet i 1947 av tre amerikanere. Siden den gang er den tatt i bruk på nær sagt alle områder. Vi finner flere millioner i en mobiltelefon. En moderne datamaskin inneholder flere milliarder transistorer. Videre finner vi transistorer i fjernsyn, radio, biler, videokamera, i leketøy, klokker, mp3-spillere osv.

Hva er det med transistoren som gjør den så anvendelig til så mange forskjellige ting?

3. Vi har her valgt å bruke de engelske betegnelse konsekvent



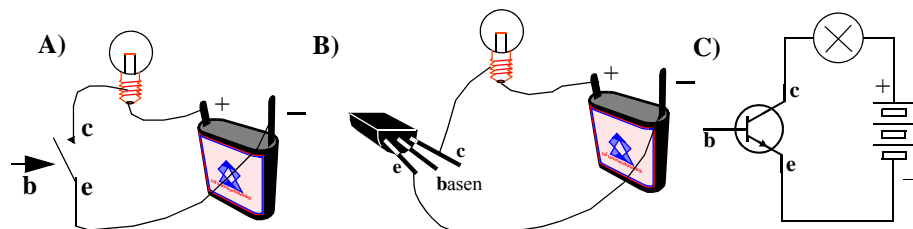
Transistoren brukes hovedsakelig på to måter. Enten til å **forsterke svake elektrisk signaler** eller som **elektrisk strømbryter**. La oss først se på transistoren brukt som bryter.

Transistoren som bryter

Transistoren har tre terminaler (bein). Dersom vi tenker på transistoren som en bryter vil to av terminalene tilsvare de to strømførende ledningene til bryteren (figur 2.19 A). Lampa vil ikke lyse siden ingen trykker på knappen (b).

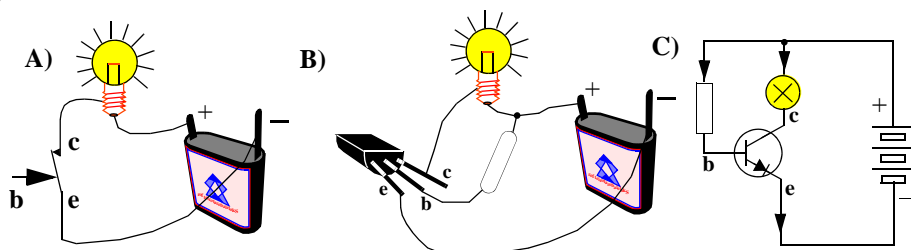
Vi bytter ut bryteren med en transistor (figur 2.19 B) og ser at pæra fortsatt ikke lyser. Dette skyldes at styreterminalen (**basen**) til transistoren ikke er tilkoblet.

På figur 2.19 C har vi byttet ut tegningene av transistoren, lyspæra og batteriet med symboler. Vi ser at styreterminalen, **basen**, på transistoren ikke er tilkoblet noe sted og pæra lyser ikke. Transistoren oppfører seg som en åpen bryter som ikke leder strøm.



Figur 2.19 Transistoren som bryter (av).

Hva får så pæra til å lyse? På figur 2.20 A) har vi trykket på bryteren slik at vi får en *sluttet* krets, dvs. at det kan gå strøm fra batteriet, gjennom bryteren, lyspæra og tilbake til batteriet, og lyspæra lyser.



Figur 2.20 Transistoren som bryter (på).

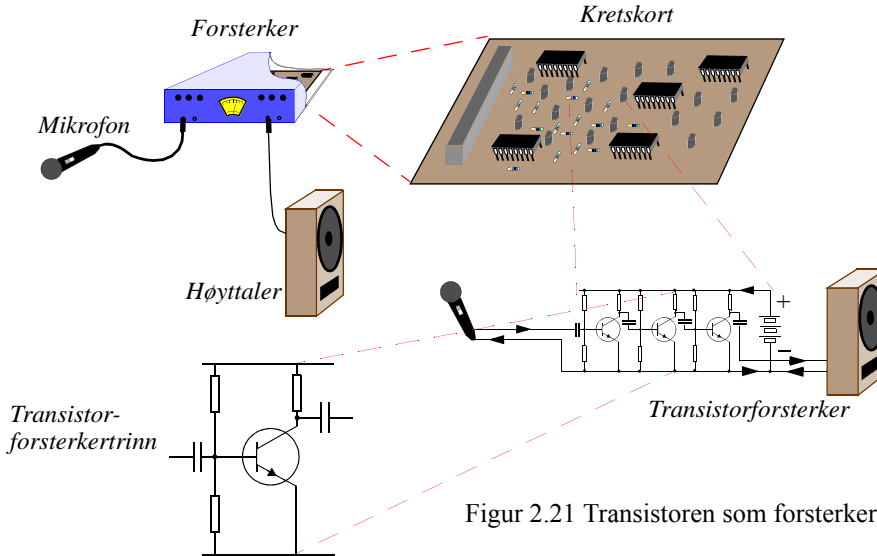
På figur 2.20 B) har vi byttet ut bryteren med en transistor. Vi har dessuten ført en ledning fra **basen** (styreterminalen) på transistoren opp til + polen på batteriet. Det som da skjer er at det går en liten strøm fra + polen på batteriet og inn i basen på transistoren. Denne strømmen gjør at transistor-”bryteren” åpner og leder den store strømmen som får lyspæra til å lyse. Vi har dessuten lagt inn en motstand i baseledningen for å begrense strømmen.

Den som ser nøye på transistorsymbolet i figur 2.20 C), ser at det sitter en liten diode mellom basen (b) og emitteren (e). Når vi legger basen til plusspolen på batteriet, begynner denne dioden å lede strøm. Dette medfører at transistor-”bryteren” åpner og den store strømmen begynner å gå

mellom collectoren og emitteren. I datamaskiner brukes transistoren nesten utelukkende som bryter.

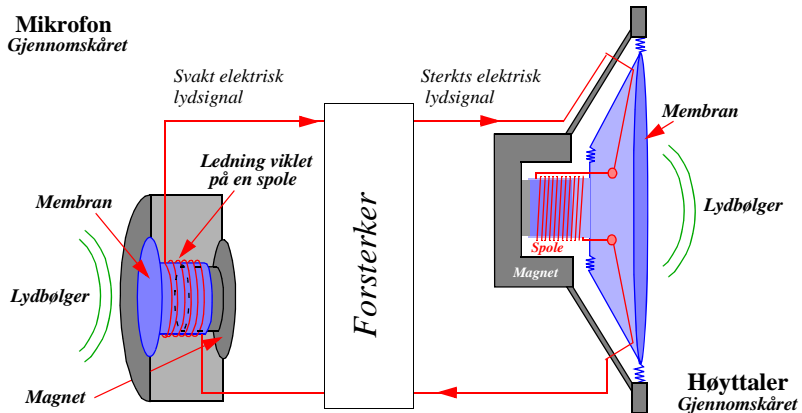
Transistoren som forsterker

Den andre viktige anvendelsen for transistorer er som signalforsterkere.



Figur 2.21 Transistoren som forsterker.

De fleste har brukt forsterkere i form av lydforsterkere (høttaleranlegg, stereoanlegg, CD-spillere, MP3-spiller, telfon osv.). Når vi snakker inn i en mikrofon, omdannes lydbølgene til små elektriske strømmer som varierer i takt med lydbølgene. Disse små strømmene føres gjennom ledninger til en elektronisk forsterker. Forsterkeren forsterker opp de små elektriske strømmene slik at de blir store nok til å drive en høyttaler.



Figur 2.22 Mikrofonen omdanner lydbølgene til et elektrisk lydsignal. Høytaleren omdanner det forsterkede elektriske lydsignalet til kraftige lydbølger.



Inne i forsterkeren føres de små elektriske strømmene inn på styreterminalen (**basen**) til en transistor (figur 2.21). De små strømmene gjennom basen får en stor strøm til å variere i takt med den lille strømmen. Gjøres dette mange ganger etter hverandre vil det elektriske lydsignalet til slutt bli sterkt nok til at det kan drive en høyttaler.

Det er viktig å merke seg *at det ikke er den lille strømmen på basen som blir forsterket opp, men at den lille strømmen styrer en større strøm*. Det kan ikke oppstå strøm i transistoren, all strøm må hentes fra batteriet.

Transistoren er den eneste elektroniske byggesteinen som kan virke som (effekt-) forsterker av elektriske signaler. Resistansene, kondensatorene, lysdiodene osv. er komponenter som støtter transistoren slik at den skal være i stand til å virke som forsterker. Når integrerte kretser også kan forsterke signaler, skyldes det ene og alene at kretsene er laget av transistorer.



3 Halvlederfysikk og karakterisering av halvledere

For å forstå hvordan dioder og transistorer kan fungere som likerettere, forsterkere og brytere, bør vi se nærmere på selve halvlederematerialet og PN-overgangen.

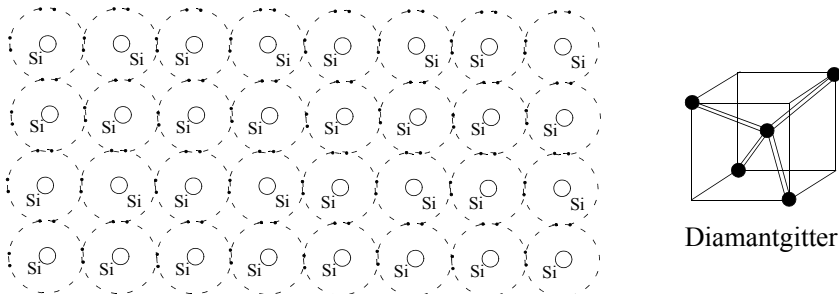
3.1 Grunnleggende halvlederfysikk

I 1948 laget tre forskere - **William Shockley** (1910 – 89), **Walter Brattain** (1902 – 87) og **John Bardeen** (1908 – 91) den første transistorlignende komponenten. De var da ansatt ved Bell-laboratoriene i USA. Transistoren besto av en sammenstilling av ulike *halvledende*⁴ materialer. Det er derfor naturlig at vi først finner ut hva som menes med et *halvlederemateriale*.

3.1.1 Silisium og germanium danner krystall gitter

Hovedingrediensen i halvledere er silisium eller germanium. Dette groes i store krystaller som når det er blitt store nok skjæres opp i tynne skiver. Både silisium og germanium er *fireverdige* atomer. Det vil si de har 4 elektroner i ytterste skall (valensskallet) og mangler 4 elektroner før skallet er fullt. Dette medfører at de lett binder seg til 4 andre lignende atomer i et regelmessig krystallgitter, hvor naboatomene sitter i hjørnene på et tetraeder i et såkalt diamantgitter. Denne bindingen kalles også *kovalent*. I fortsetningen skal vi konsentrere oss om silisium siden dette er mest brukt i dag.

Elektronene i ytterste skall bestemmer hvordan atomet binder seg til andre atomer. Dette skallet kalles derfor *valensskallet*.

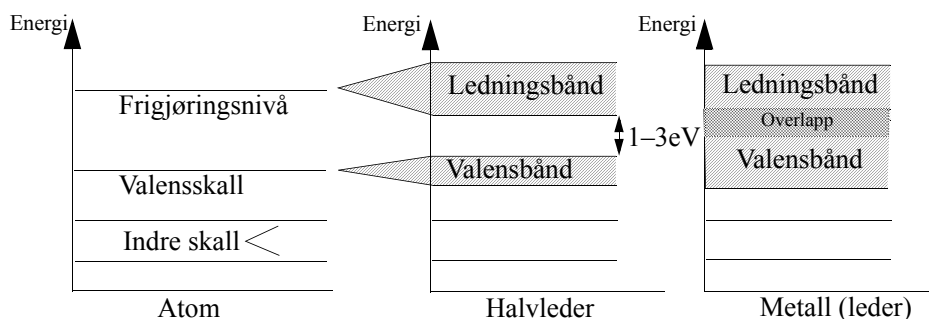


Figur 3.1 Silisium danner et krystallgitter.

4. Vi kaller materialene halvledere fordi de ikke er ledere som metallene kobber eller aluminium, men heller ikke isolerende som plast eller glass.



3.1.2 Ledningsbånd og valensbånd



Figur 3.2 Energinivåer i ulike materialer. I en isolator kan avstanden mellom valensbåndet og ledningsbåndet være rundt 10 eV, mens for en halvleder rundt 1–3 eV. I en leder, f.eks. hos metaller overlapper båndene.

Ved å dele på elektronene klarer alle atomene å få “fylt opp” sine valensskall.

Kvanteteorien sier at elektronene i et skall bare kan innta bestemte energinivåer. Tilført energi til et elektron vil kunne føre det fra ett lovlig energinivå og ut i et annet med høyere energi. Mellom disse energinivåene er det ulovlige områder. Virkeligheten er imidlertid mer komplisert. I enkelte energiområder ligger de lovlige energinivåene så tett at det er riktigere å snakke om *energibånd*, som vil være en samling av lovlige energinivåer. Normalt befinner valenselektronene seg i *valensbåndet*, hvor de deltar i bindingen mellom atomene. På et høyere energinivå finner vi ledningsbåndet. Jo flere elektroner et stoff har i ledningsbåndet jo bedre elektrisk ledningsevne har stoffet.

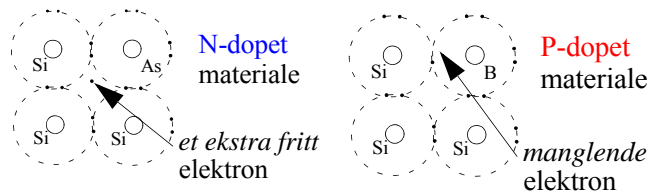
Normalt er elektronene bundet relativt sterkt i sine kovalente bindinger og silisiumkrystallet er derfor isolerende. I et gitter vil valenselektronene kunne innta bestemte energinivåer innenfor det såkalte *valensbåndet*. For at et stoff skal bli elektrisk ledende, må energien til elektronene i valensbåndet gis tilstrekkelig energi slik at de frigjøres fra atomet og flyttes energimessig ut i *ledningsbåndet*. Dersom vi varmer opp silisiumkrystallen vil stadig flere av elektronene i valensbåndet “sparkes” ut i ledningsbåndet. Materialet blir etterhvert svakt ledende. Etter som elektronene forlater sin plass i gitteret, dannes det “elektronhull” i gitteret samtidig som det skapes frie elektroner. Normalt vil levetiden for frie elektroner være svært kort, og elektronet faller tilbake i et ledig elektronhull. Vi sier at elektronet *rekombinerer*. Antallet frie elektroner vil øke med temperaturen.

I en god leder overlapper ledningsbånd og valensbånd. Elektronene i valensbåndet er derfor delvis frie og vil kunne opptre som ladningsbærere i en elektrisk strøm. Metallene er gode ledere. Isolatorer derimot har ingen eller svært få frie elektroner i ledningsbåndet, slik at det skal svært store energier til for at elektronene forlater valensbåndet. Isolatorer er, som navnet sier, elektrisk isolerende. Keramikk, glass og plast er eksempler på gode isolatorer. Halvledermaterialer har en ledningsevne som, ikke overraskende, ligger et sted mellom en leder og en isolator. Rent silisium er et mye brukt som utgangspunkt for å framstille halvledermaterialer, men er i ren form en dårlig elektrisk leder.



3.1.3 Doping

Det er imidlertid vanlig å forurense silisium med atomer som enten har et elektron *mer* enn silisium i valensskallet (5-verdig arsen (As) eller fosfor (P)), eller atomer som har et elektron *mindre* i valensskallet (3-verdig bor (B) eller gallium (Ga)). Vi sier at materialet er *dopet*.



Figur 3.3 N-dopet og P-dopet materiale.

Forurenses vi silisium med 5-verdige atomer vil vi få et overskudd av elektroner, vi sier at vi har fått et *N-dopet* materiale. Det ekstra elektronet som ikke har noen naturlig funksjon i gitterbindingen vil være løst bundet til atomet og trenger bare litt energi for å “løftes” opp i ledningsbåndet. Laddningsbærerne i et N-dopet materiale vil alt overveiende bestå av elektroner, vi sier at elektronene er majoritetsbærere i dette området.

Forurenses vi derimot silisium med 3-verdige atomer vil vi få et underskudd av elektroner, dvs. det blir tomme elektronplasser i gitteret, såkalte “hull”, og vi sier at vi har fått et *P-dopet* materiale. Slike hull kan flytte seg ved at det fylles av elektroner fra atomer i nærheten. Dermed vil hullet ett sted fylles på bekostning av at det oppstår et nytt hull et annet sted. Vi har fått en forflytning av en positiv ladning. Laddningsbærerne i et P-dopet materiale vil derfor omtrent utelukkende bestå av hull som vil opptre som en positiv ladning, vi sier at hullene er majoritetsbærere i dette området.

Det er derfor vanlig å regne med to strømmer i halvledere, en hullstrøm som går *med* det elektriske feltet og en elektronstrøm som går *mot* feltet.

Det må her presiseres at også de dopede materialene er i utgangspunktet elektrisk nøytrale. Ekstra elektroner eller hull balanseres av tilsvarende større eller mindre ladning i hos atomkjernene til de forurensingsstoffene.

Ledningsevnen er avhengig av hvor mange frie elektroner eller hull materialet har, dvs. graden av forurensning.

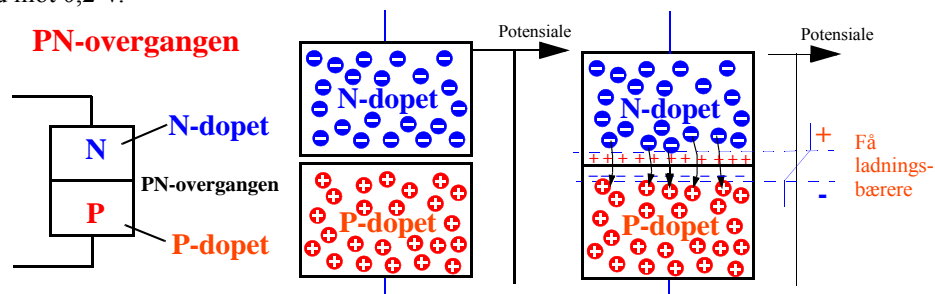
3.1.4 PN-overgangen

Når et P-dopet og et N-dopet materiale “føres inntil” hverandre, vil fri elektroner fra det N-dopede materialet *difundere*⁵ inn i det “elektronhungrige” P-dopede materialet. Siden begge materialene i utgangspunktet er elektrisk nøytrale, vil det etterhvert bygge seg opp en potensialbarriere nær PN-overgangen. Dette vil hindre videre difusjon av elektroner og hull, slik at det oppstår en laddningsbalanse. Innefor sjiktet vil det være få frie laddningsbærere, slik at sjiktet vil være en effektiv spærre for laddningsflyt gjennom PN-overgangen. Potensialforskjellen vil være fra 0,2 til 0,7 V

5. Elektronene beveges ikke på grunn av noe elektrisk felt, men av tilfeldige bevegelser kaster dem hitog dit. Slike bevegelser skapes av termisk (kinetisk) energi i materialet.



avhengig av hvilket materiale vi bruker. Brukes silisium som basismateriale vil forskjellen typisk være 0,5 - 0,7 V. Brukes derimot germanium som basis så vil potensialforskjellen bli langt lavere ned mot 0,2 V.



Figur 3.4 PN-overgangen.

Når vi over har brukt begrepet “føres inntil” hverandre så betyr det i praksis at de to materialene ikke bare legges inntil hverandre, men at et materiale legges eller dampes på et annet ved høye temperaturer. Skal vi få en PN-overgang må stoffene passe til hverandre på atomnivå.

En skulle tro at når temperaturen øker så vil atomene få større kinetisk energi slik at det blir flere elektroner i ledningsbåndet og dermed redusert resistans. Slik er det imidlertid ikke for ledere. Når temperaturen øker i vil antall kollisjoner mellom elektroner og atomene i lederen også øke. *Resistansen i en leder øker derfor med økende temperatur.*

I en halvleder derimot vil fordelene med en økning av antall elektroner i ledningsbåndet dominere over økningen i antall kollisjoner. *Resistansen i en halvleder blir derfor mindre med økende temperatur.*

3.1.5 Båndstrukturen i halvlederen

| 3-verdig | 4-verdig | 5-verdig |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 5 B Boron 2,84 | 6 C Carbon 2,82 | 7 N Nitrogen 1,281 |
| 13 Al Aluminium 2,96 | 14 Si Silicon 2,83 | 15 P Phosphorus 1,82 |
| 31 Ga Gallium 3,31 | 32 Ge Germanium 3,38 | 33 As Arsenic 5,72 |

Figur 3.5 Utdrag av det periodiske system.

Vi vil i dette avsnittet se nærmere på hva som skjer i halvlederen⁶.

Vi tar utgangspunkt i et rent udopet materiale av germanium (Ge)⁷. Germanium danner krystaller på samme måte som silisium (Si) og karbon (C), og alle har fire elektroner i valensbåndet (4-verdig) (se figur 3.5).

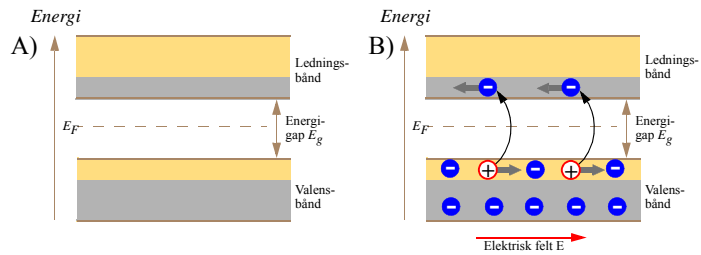
Ved romtemperatur er germanium en meget dårlig leder med svært få elektroner i ledningsbåndet, med et energigap mellom valensbåndet og ledningsbåndet på ca. 1 eV som vist i figur 3.6. En regner at ledningsevnen bare er ca. 10^{-9} (en milliardedel) av hva den er hos en god leder.

6. Utgangspunktet for dette avsnittet er kap. 42.6 - 42.7 i ref. [8].

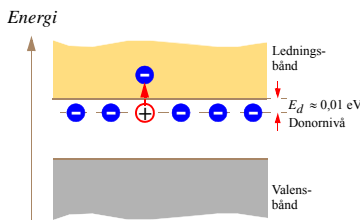
7. Det kunne like godt ha vært silisium. Germanium var vanligere før, men brukes fortsatt til spesielle formål.



Ved oppvarming vil noen elektroner få tilstrekkelig energi til å komme opp i ledningsbåndet. Ledningsevnen vil derfor øke med temperaturen (figur 3.6 B). Når elektroner forlater valensbåndet, blir det et hull tilbake og atomet blir positivt ladet (det blir et ion). Hullet kan bevege seg ved at et elektron i valensbåndet fyller hullet, vi sier at hullet *rekombinerer*. Samtidig oppstår et nytt hull i valensbåndet. Når dette gjentar seg kan vi betrakte hullet som en positive ladningsbærer. Setter vi på et elektrisk felt, vil elektronene i ledningsbåndet bevege seg *mot* feltretningen, mens hullene i valensbåndet beveger seg *med* feltretningen (figur 3.6 B).



Figur 3.6 A) Energigapet i udopet germanium er ca. 1 eV. B) Med økende temperatur vil noen elektroner havne i ledningsbåndet.



Figur 3.7 Donorelektroner har “kort” vei til ledningsbåndet.

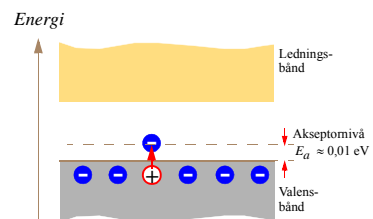
Som omtalt i avsnitt 3.1.3 så er det vanlig å dope materialene, dvs. man forurensrer rent germanium eller silisium med et 3- eller 5-verdig grunnstoff. La oss først tilsette 5-verdig arsen (As).

Arsen passer godt inn i gitteret selv om det er litt mindre enn et germaniumatom. Forskjellen i størrelse skyldes hovedsakelig at kjernen er litt tyngre og dermed trekker elektronskallene litt tettere inn til kjernen.

Hvert arsenatom gir ett ekstra elektron som ikke finner sin plass i den kovalente gitterbindingen og som dermed blir bare løst bundet til atomet. Det skal derfor lite energi til (bare ca. 0,01 eV) før disse elektronene havner i ledningsbåndet. Vi kaller dem derfor *donorelektroner*. Germanium tilsatt arsen vil derfor få økt antall elektroner i ledningsbåndet, og elektroner blir den dominerende ledningsbæreren i materialet. Vi sier at elektronene er *majoritetsbærere* og at halvlederen er *N-dopet*. Doping er en effektiv måte å øke ledningsevnen til germanium og silisium.

På tilsvarende måte kan vi tilsette gallium (Ga) til germanium. Gallium er 3-verdig, og har kun 3 elektroner i valensskallet. Gallium vil dermed mangle et elektron i bindingen. Det har oppstått et *hull*. Det skal imidlertid bare 0,01 eV til for å “stjele” et elektron fra et germaniumatom i nabolagt slik at galliumatomet får oppfylt sitt valensskall i krystallbindingen. Setter vi et elektrisk felt på halvlederen, vil hullene kunne vandre gjennom gitteret som en positiv ladningsstrøm.

Vi sier at hullene er *majoritetsbærere* og kaller materialet for en *P-dopet* halvleder.



Figur 3.8 Akseptorelektroner har “kort” vei til akseptornivået.



Når vi fører en P-dopet og en N-dopet halvleder sammen til en PN-overgang, vil elektronene fra det N-dopede området diffundere over til den P-dopede siden og rekombinere med hull. Tilsvarende diffunderer hull over til det N-dopede området hvor de rekombinerer med elektroner. Dermed vil det dannes et sjikt langs PN-overgangen hvor det er svært få frie ladningsbærere. Vi kaller dette for et *utarmingssjikt*.

I utgangspunktet er de to materialene ladningsnøytrale, men etter hvert vil elektronene fra N-siden gjøre P-siden av sjiktet negativt ladet og N-siden positivt ladet slik at det oppstår en potensialforskjell over PN-overgangen. Etter som potensialforskjellen øker blir det vanskeligere for ladningsbærerne å komme over. Til slutt stopper flyten opp og det oppstår en likevekt.

På grunn av termisk energi vil det stadig *genereres* og *regenereres* elektroner og hull.

Generering av elektroner (i_{ng}) betyr at de tilføres tilstrekkelig energi til at de løftes ut av donornivået og inn i ledningsbåndet. Tilsvarende genereres hull (i_{pg}) når elektroner løftes ut av valensbåndet og inn i akseptornivået.

Regenerering av elektroner (i_{nr}) betyr at elektroner mister energi idet de faller fra ledningsbåndet og ned på donornivået. Tilsvarende vil hull (i_{pr}) i valensbåndet regenerere når de fylles av elektroner som faller fra akseptornivået til valensbåndet.

Når det er oppstått balanse vil følgende være tilfredsstillt:

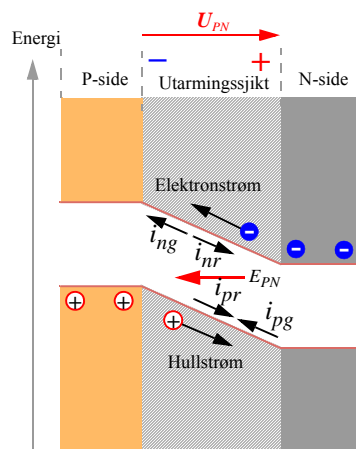
$$|i_{pg}| = |i_{pr}| \text{ og } |i_{ng}| = |i_{nr}| \quad (3.1)$$

Potensialforskjellen kan vi kalle U_{PN} , og har en retning fra lavt til høyt potensial, dvs. fra $-$ til $+$. Samtidig settes det opp et elektrisk felt E_{PN} som peker i motsatt retning. Dette kjenner vi fra elektrisitetslæra.

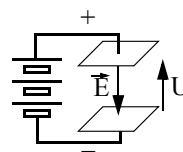
Positive ladninger (f.eks. hull) vil falle *med* feltretningen fra $+$ til $-$. Dvs. fra høyere til lavere elektrisk potensial. Elektroner som er negative vil falle *mot* feltretningen, dvs. fra $-$ til $+$.

Når elektroner får *tilført energi* (*genereres*), vil de “løftes” med feltretningen fra $+$ til $-$. Når hull får tilført energi (*genereres*), vil de løftes mot feltretningen fra $-$ til $+$.

Dersom vi legger en ekstern spenning E_{EXT} over PN-overgangen med $+$ på P-siden og $-$ på N-siden, vil PN-overgangen bli forspent i lederetning. Den eksterne spenningen vil dermed delvis oppheve den interne spenningen E_{PN} . Dermed vil spenningspotensialet og energiforskjellen mellom P- og N-siden senkes og det blir lettere for elektronene på N-siden å “klatre opp energibakken” og diffundere inn i P-området. Tilsvarende vil det være lettere for hullene på P-



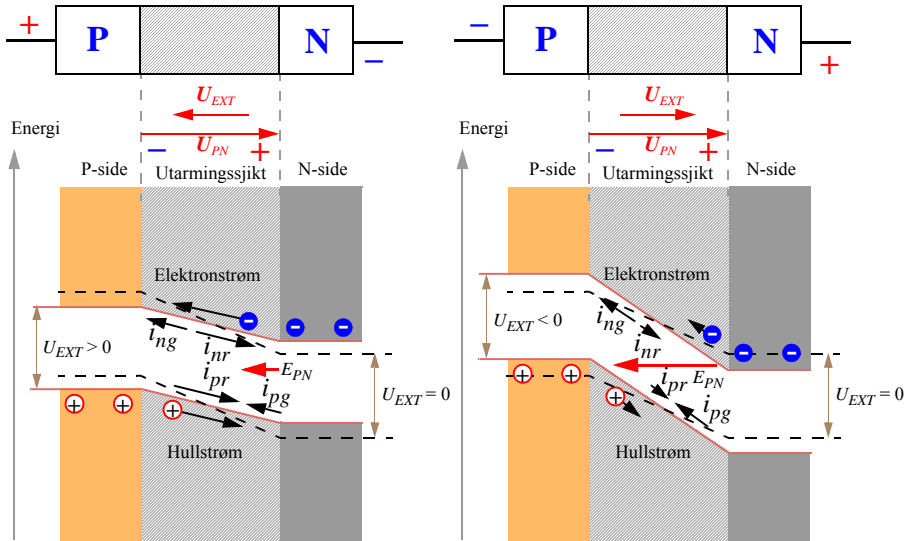
Figur 3.9 Likevektstilstand over PN-overgangen.



Figur 3.10 Definisjon av retning til elektrisk felt og spenning.

siden og diffundere inn i N-området. Vi får dessuten en økt strøm som skyldes økt regenerering av hull og elektroner, mens strømmen som skyldes generering av hull og elektroner er omtrent konstant.

Øker vi E_{EXT} ytterligere vil potensial-barrieren forsvinne helt og det flyte en stor støm gjennom PN-overgangen.

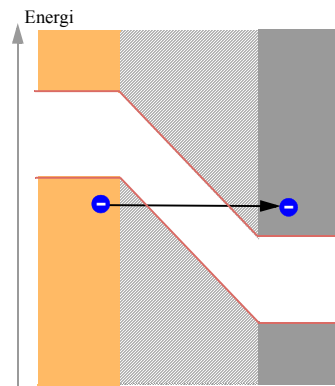


Figur 3.11 A) Forspenning i forover-retning gir redusert potensial forskjell.
B) Forspenning i sperreretning gir økt potensialforskjell.

Tilsvarende vil potensialforskjellen mellom P- og N-siden øke dersom vi forspenner PN-overgangen i sperreretning. Det elektriske feltet over sjiktet øker og strømmen som skyldes regenerering reduseres til nær null. PN-overgangen sperrer.

Øker vi spenningen i sperreretning ytterligere, vil elektroner kunne hopp fra P-området til N-området uten å endre energinivå. De vil passere PN-overgang som gjennom en tunnel (*tunneling*) (figur 3.12). Når dette inntreffer kan det gå store strømmer i sperreretningen. Denne effekten kalles *Zener-sammenbrudd* (*Zener tunneling*) og benyttes til spenningsregulering. Ved hjelp av graden av doping, kan man kontrollere spenning når sammenbruddet skal inntreffe.

I det neste avsnittet skal vi se hvordan vi kan bruke PN-overgangen.



Figur 3.12 Ved høye spenninger i sperreretning kan vi få Zenersammenbrudd.



3.2 Oppbygging og virkemåte av noen halvlederkomponenter

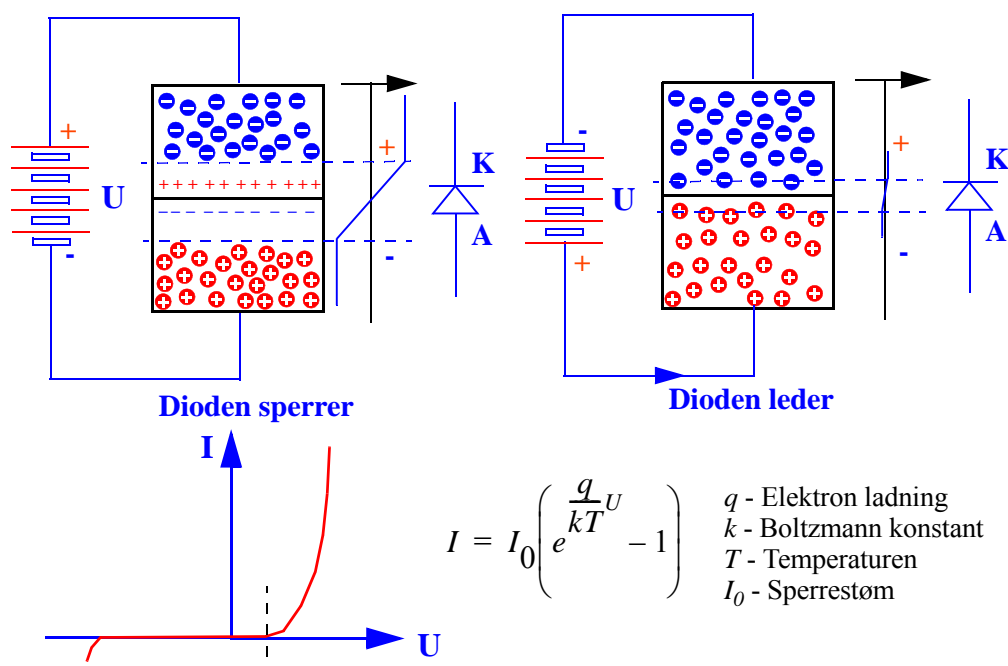
3.2.1 Dioden

Halvlederdiode er en PN-overgang som består av to tynne sjikt av henholdsvis P- og N-dopet materiale. Vi skal nå se på de elektriske egenskapene til en silisiumdiode.

Når den positive polen på batteriet kobles til N-siden og den negative til P-siden av PN-overgangen, økes potensialbarrieren over dioden som sperrer. Dette kan vi forstå slik: De frie ledningsbærerne (elektroner i N-området og hull i P-området) trekkes bort fra PN-overgangen, dermed øker bredden av utarmings-sjiktet samtidig som potensialbarrieren øker. Siden utarmings-sjiktet er omtrent tomt for ladningsbærere vil dioden sperre.

Når den positive polen kobles til P-sjiktet og den negative til N-sjiktet, reduseres bredden til sjiktet og potensialbarrieren senkes. Når den spenningen blir større enn ca. 0,5 – 0,7 V begynner det å gå strøm i dioden. Økes batterispenningen ytterligere, øker strømmen kraftig. Vi sier at dioden leder. Dette kan forstås slik at de frie ledningsbærerne trekkes inn mot PN-overgangen slik potensialbarrieren blir mindre slik at ladningsbærerne kan passere PN-overgangen og det går strøm i dioden.

Som vi ser, så leder dioden strøm bare den ene veien.

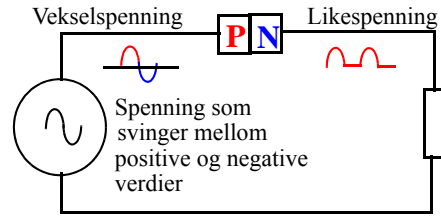


Figur 3.13 Diodens virkemåte.



Dersom en diode påtrykkes en **vekselspenning**, som vist på figur 3.14, vil det bare gå strøm når spenningen er positiv på P-sjiktet.

På denne måten kan en diode brukes som *likeretter*. Dvs. at en *vekselspenning* kan gjøres om til en *likespenning*. En kondensator brukes for å glatte spenningen på utgangen.



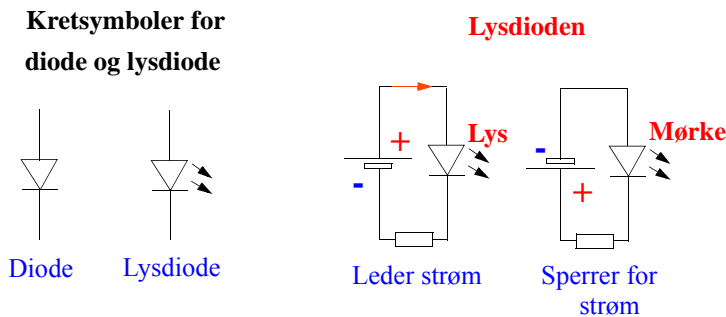
Figur 3.14 Dioden som likeretter.

3.2.2 Lysdioden

Lysdioden er også en diode. Når det settes spenning på dioden slik at den begynner å lede strøm, vil den akkurat i overgangen mellom de to sjiktene sende ut lys eller *fotoner*. Dette skyldes at elektroner avgir energi som fotoner idet de går fra en energitilstand til en lavere.

For å begrense strømmen i dioden er det nødvendig å legge inn en motstand i serie med dioden.

På figuren under ser vi kretssymboler for dioden og lysdioden.



Figur 3.15 Kretssymbol for diode og lysdiode.

3.2.3 Bipolar transistoren (“vanlig” transistor)

Dioden kan likerette vekselspanning, men kan normalt ikke forsterke et signal. *Transistoren* har imidlertid evne til å gi effektforsterkning.

Før 1950 brukte en utelukkende radiorør for å forsterke svake elektriske signaler. På 50-tallet viste transistoren seg snart radiorøret totalt overlegent på nesten alle områder. Dette skyldes primært at den var langet mer pålitelig enn radiorøret. Det viste seg også etter hvert også at transistorene kunne gjøres svært små. I dag klarer en å plassere ca. 250 millioner transistorer på 3 cm². I en vanlig hjemme-PC kan det være mellom 10 og 20 milliarder transistorer.

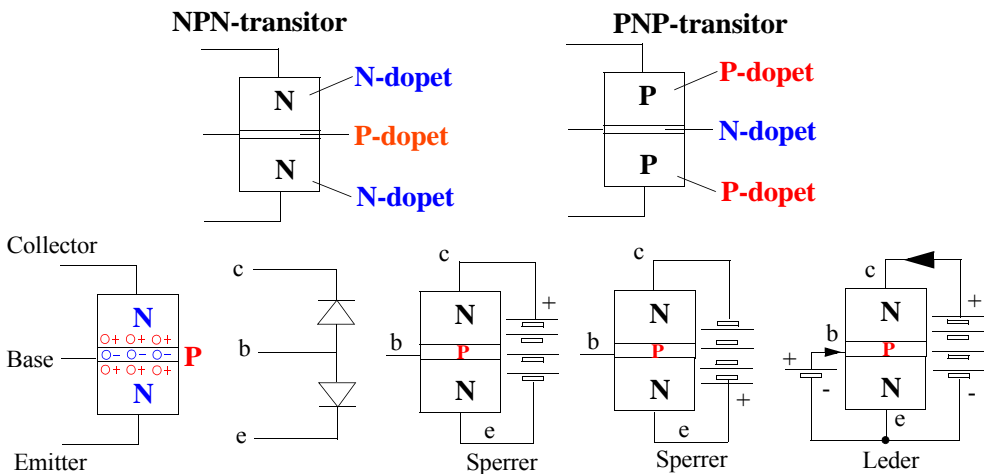
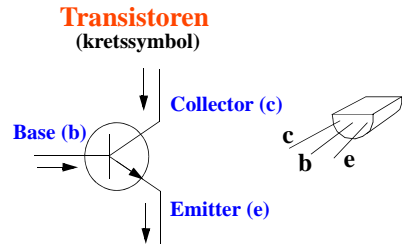
Transistoren er, som vi skjønner blitt en viktig komponent i all datateknologi. Her brukes transistoren primært som *bryter* og ikke som forsterker. Ved hjelp av *transistorbrytere* bygges i dag kretser for lagring og flytting av data, addisjon, subtraksjon, multiplikasjon og divisjon av tall. Likeledes har datakommunikasjon og internett vært umulig uten transistoren. Transistoren brukes dermed innen all elektronikk og kan med rette kalles elektronikkens “*hjul*”.



Figuren til høyre viser kretssymbolet for en vanlig bipolar transistor. Som vi tidligere har omtalt, har transistoren tre "bein" eller ledninger. Pilene på figuren viser strømretningen i de enkelte beina.

La oss se nærmere på hvordan en transistor er bygget opp og fungerer.

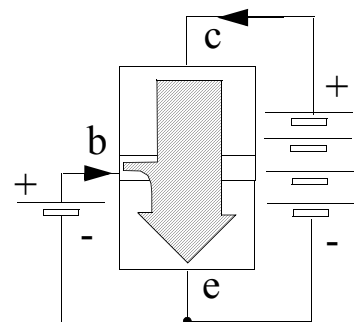
Den bipolare transistoren består av tre sjikt lagt ved siden av hverandre. To N-dopet sjikt (N-sjikt) med et tynt P-dopet sjikt (P-sjikt) i midten. Slike transistorer kalles derfor NPN-transistorer. En kan også lage transistorer som består av to P-sjikt med et tynt N-sjikt mellom. Slike kalles derfor PNP-transistorer. Disse to typene transistorer fungerer omtrent på samme måte. Årsaken til at begge typene tilbys, er at de i enkelte kretsløsninger utfyller hverandre. I fortsetningen skal vi stort sett bruke NPN-transistorer.



Figur 3.16 Transistorens virkemåte.

Også her vil de frie elektronene i N-sjiktet bli tiltrukket av hullene i P-sjiktet og danne områder med positiv og negativ ladning. Det oppstår derfor diodeoverganger med tilhørende sperresjikt. Forenklet kan vi betrakte en transistor som to dioder som er koblet sammen rygg mot rygg (eller front mot front). Uansett hvordan vi forspenner collector og emitter så vil det ikke gå strøm i transistoren.

Om vi derimot forspenner diodeovergangen mellom basen og emitter, vil vi etterhvert bryte ned barrieren og det begynner å flyte elektroner fra den sterkt dopede emitteren inn i den svakt dopede og svært tynne basen. På grunn av at basen er så tynn, vil de akselererte elektronene fra emitte-



Figur 3.17 I en transistor styrer en liten strøm en stor strøm.



ren, trenge forbi base-collector dioden selv om den er forspent i sperreretning, og flyte inn i collectoren. Det skal derfor en relativt liten ladning inn i basen for at det skjer dramatiske ting med strømmen av elektroner mellom emitter og collector. Vi har fått en komponent hvor en liten strøm styrer en stor strøm. Forholdet mellom strømmen i collector og strømmen vi sender inn i basen, kalles *likestrømforsterkningen* (h_{FE}). Kaller vi basestrømmen I_b og collectorstrømmen I_c kan vi skrive:

$$h_{FE} = \frac{I_c}{I_b} \quad (3.2)$$

Typiske verdier for h_{FE} for en vanlig transistor kan være fra 100–500. Det kan imidlertid være store forskjeller i h_{FE} fra eksemplar til eksemplar. I værste fall kan forskjellen være på 200–300. Verdien vil også endre seg med temperaturen.

Det er vanlig å bruke store bokstaver for strømmene når vi snakker om likestrømmer. Tilsvarende formel for *småsignal strømforsterkningen* (vekselspenninger) vil være:

$$h_{fe} = \frac{i_c}{i_b} \quad (3.3)$$

Størrelsen h_{fe} vil variere med frekvensen.

For lave frekvenser kan vi i de fleste praktiske tilfeller anta at $h_{FE} \approx h_{fe}$.

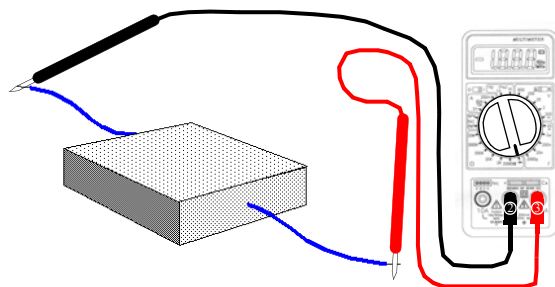
Vi har fått en transistor hvor en liten strøm kan styre en stor strøm.

3.3 Karakterisering av elektroniske komponenter

I dette avsnittet skal vi se hvordan vi kan karakterisere *lineære* (motstanden) og *ulineære* komponenter (dioder og transistorer). Vi skal også undersøke kondensatoren og spolen.

3.3.1 Hva er en strøm-spenningskarakteristikk?

I det foregående avsnittet har vi studert de fysiske prosessene i dioder og transistorer. Denne kunnskapen er viktig når vi f.eks. skal lage gode modeller av halvledere for bruk i simulatorer. Når vi bruker komponentene i kretsdesign er det tilstrekkelig å vite hvordan de oppfører seg i kretsen, dvs. sett utenfra. For å finne ut det må vi *karakterisere komponentene* våre.



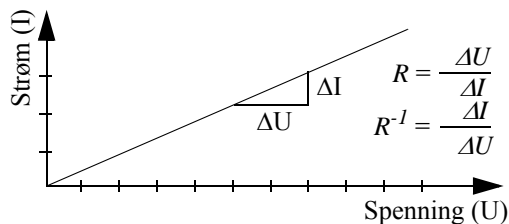
Figur 3.18 Karakterisering av en “svart boks”.



Vi kan tenke på en elektronisk komponent som en “svart boks” med to eller flere bein (terminaler). Hvilke målinger skal så foreta for å avsløre hvordan komponenten vil oppføre seg og dermed kan brukes i en krets? I det første eksempelet har den “svarte boksen” to bein.

Det mest nærliggende er å bruke et Ohm-meter for å sjekke om det er noen forbindelse mellom beina som stikker ut av boksen. Ohm-meteret legger en fast spenning mellom de to terminalene for så å måle strømmen i de to terminalene. Forholdet mellom spenning og strøm angir resistansen ved denne spenningen. La oss anta at boksen er en motstand.

3.3.2 Strøm-spenningskarakteristikken for en motstand



Figur 3.19 Strøm-spenningskarakteristikken for en motstand.

Dersom vi skal være helt korrekt, bør vi måle resistansen ved forskjellige spenninger. Gjør vi det, ville vi finne en lineær sammenheng mellom spenning og strøm som vist i figur 3.19. Resistansen (*resistansen*) til en motstand (*resistor*) er lik forholdet mellom spenning og strøm. Vanligvis velger vi spenningen langs x -aksen og strømmen langs y -aksen, dermed vil det være mer naturlig å bestemme forholdet $\Delta I / \Delta U = I/R$ eller som denne verdien kalles,

ledningsevnen (R^{-1}).

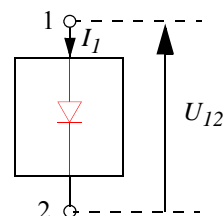
Utdypning

Vi har nå bestemt *strøm-spenningskarakteristikken* for en motstand. Vet vi at vi måler på en motstand (som er ideell i det området vi måler), er det nok å måle strømmen ved én spenning. Siden vi vet at sammenhengen er lineær og at grafen går gjennom origo, er det lett å trekke grafen.

Det er imidlertid ikke alltid en lineær sammenheng mellom spenning og strøm. Resistansen i glødetråden hos en lyspære er f.eks. ulineær. Når strømmen øker, stiger temperaturen i glødetråden og resistansen øker. Dioden (ev. lysdioden) er også ulinær, men oppfører seg omvendt av glødetråden; hos dioden øker strømmen med økende spenning.

3.3.3 Strøm-spenningskarakteristikken for en diode

La oss bytte ut motstanden med en diode som også har to bein, 1 og 2 (figur 3.20 A). Som for motstanden legger vi en spenning (U_{12}) mellom de to terminalene og måler strømmen (I_1) som funksjon av spenningen. Siden dioden er ulineær må vi gjenta målingen for ulike spenninger. Tegner vi opp sammenhengen mellom strøm og spenning, får vi *strøm-spenningskarakteristikken for dioden*. Den forteller oss strømmen gjennom komponenten som funksjon av spenning mellom de to beina. Siden dioden er en ulineær komponent, så trenger vi altså flere målepunkter (se avsnitt 3.3.4).

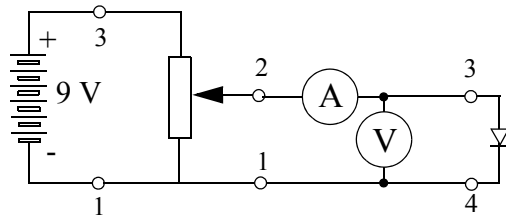


Figur 3.20 Karakterisering av dioden.



La oss se hvordan vi i prinsippet kan ta opp strøm-spenningskarakteristikken for en diode:

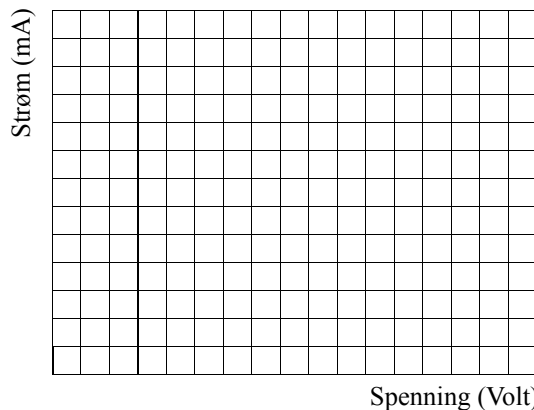
- Koble opp kretsen som vist på figur 3.21. Pass på at dioden er koblet riktig vei. Pila på symbolet skal vende mot $-$ polen på batteriet (ringen på dioden korresponderer med tverssøverstreken på symbolet).
- Ta opp strøm-spenningskarakteristikken for dioden (lysdioden) ved å måle strømmen for ulike verdier av spenningen. Pass på at strømmen ikke overskrider 30 mA. Før resultatet inn i tabellen under:



Figur 3.21 Oppkobling for måling av strøm-spenningskarakteristikken for en diode.

| Spenning | 0 V | 0,2V | 0,4 V | 0,6 V | 0,8 V | 1,0 V | 1,2 V | 1,4 V | 1,6 V | 1,8 V | 2,0 V | 2,2 V | 2,4 V |
|----------|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Strøm | | | | | | | | | | | | | |

- Sett benevning på aksene i diagrammet under og framstill strømmen som funksjon av spenningen. På den måten framkommer strøm-spenningskarakteristikken for dioden. En lysdiode kan karakteriseres på en lignende måte, en må imidlertid utvide spenningsområdet.



Tolkning

- Kommenter formen til strøm-spenningskarakteristikken

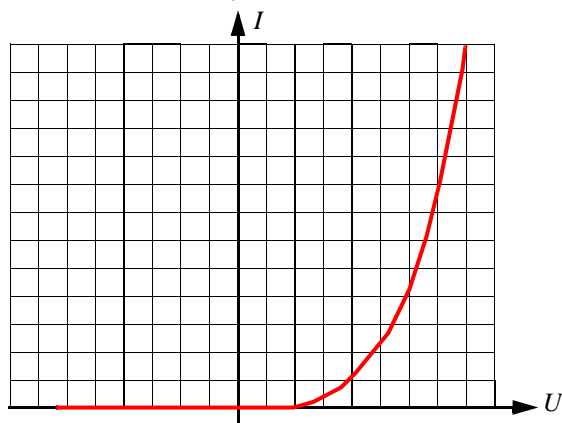
Utdypning

Av karakteristikken ser vi at inntil spenningen over dioden er 0,5 – 0,6 V (høyere for en lysdiode), går det omtrent ikke strøm gjennom dioden. Overskrider spenningen denne verdien, øker strømmen nærmest eksponentielt. Dersom vi hadde snudd dioden slik at den ble koblet i sperreretning, ville vi sett at det

Figur 3.22 Strøm-spenningskarakteristikken for en diode (ev. lysdiode).



omtrent ikke gikk strøm gjennom den (med mindre vi målte med store spenninger). Vi kan slå fast at dioden er en komponent som bare leder strøm den ene veien.

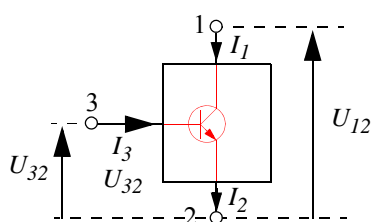


Figur 3.23 Strøm-spenningskarakteristikken for en diode (lysdiode).

At dioden leder strøm kun en vei er en av de viktigste egenskapene til en diode. Den brukes derfor ofte som *likeretter* for å omdanne vekselspanning til likespenning. Dioden var også en viktig komponent i AM-radioens dager, der den ble brukt som detektor (likeretter) av det AM-modulerte signalet. Krystallet i krystallapparatet fungerte som diode.

Som vi skal se i neste avsnitt så er også transistoren en sterkt ulineær komponent.

3.3.4 Strøm-spenningskarakteristikk for en transistor



Figur 3.24 Karakterisering av transistoren.

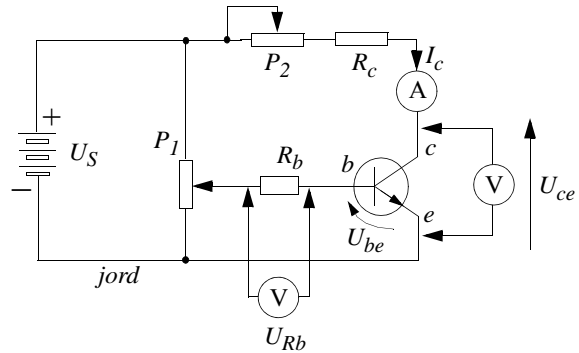
Situasjonen blir noe mer komplisert når vi har tre terminaler slik f.eks. transistoren har. Dersom terminal 1 og 2 er collector og emitter, vil terminal 3 være basen. Siden transistoren er strømstyrt, bør vi måle strømmen (I_1) i collector (1) og strømmen (I_2) i emitter (2) ved forskjellige collector-emitterspenninger (U_{12}), og ved ulike basestrømmer (I_3). Dette kan bli en ganske uoversikkelig situasjon om vi ikke passer nøye på og *endrer kun en parameter i gangen*.

Gjør vi noen innledende målinger vil vi ganske snart oppdage at $I_2 = I_1 + I_3$. Siden $I_3 \ll I_1$, kan vi nøye oss med å måle I_1 .

La oss i detalj se hvordan vi kan karakterisere en transistor ved hjelp av en enkel måleoppstilling.

Vi skal nå bestemme strøm-spenningskarakteristikken for collector-emitter-overgangen ved forskjellige basestrømmer. Den skjematiske oppkoblingen for målingen er vist i figur 3.25. For at vi lettere skal holde orden på betegnelsene setter vi navn på terminalene 1 - collector (c), 2 - emitter (e) og 3 - base (b). Tilsvarende kaller vi I_1 for I_c , I_2 for I_e og I_3 for I_b . Likeså vil U_{12} for U_{ce} og U_{32} for U_{be} .

Vi ser at vi må bruke to potensiometere (eller spenningskilder). Ett potensiometer (P_1) som legger en spenning mellom basen (b) og emitter (e) (U_{be}), og ett (P_2) som regulerer spenning mellom collector (c) og emitter (e) (U_{ce}). Emitteren er dessuten koblet til jord (minus på batteriet). U_S velges lik 4,5 V.



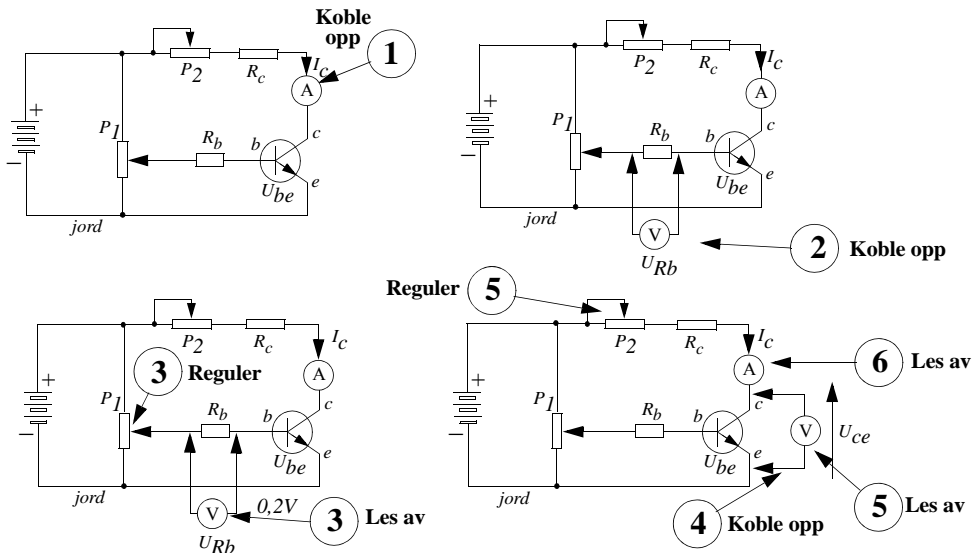
Figur 3.25 Måling av strøm-spenningsskarakteristikken for en transistor.

Å bestemme strøm-spenningsskarakteristikken for en transistor, betyr altså at vi skal bestemme hvordan strømmen i collectoren (I_c) varierer med spenningen mellom collector og emitter (U_{ce}). Vi har derfor koblet et milli-Ampéremeter i collectoren, samtidig som vi måler spenningen mellom collector og emitter (U_{ce}). Dette må vi gjøre for forskjellige basestrømmer.

Vi velger vi $P_1 = 10 \text{ k}\Omega$ og $P_2 = 2 \text{ k}\Omega$ og $R_c = 100 \Omega$ for å begrense strømmen. For at det skal være litt lettere å måle strømmen inn i basen (I_b), har vi koblet en motstand (R_b) i serie med basen. Vi velger $R_b = 10\,000 \Omega$, slik at det blir lett å regne om fra spenning til strøm. Vi måler spenningen over R_b (U_{Rb}) og regner oss tilbake til basestrømmen (I_b) ved hjelp av følgende sammenheng:

$$U_{Rb} = R_b \cdot I_b \quad (3.4)$$

Dersom vi ønsker oss en strøm I_b lik $20 \mu\text{A}$, med en resistans $R_b = 10\,000 \Omega$, må vi regulere potensiometeret P_1 slik at spenningen $U_b = 10\,000 \Omega \times 20 \mu\text{A} = 0,2 \text{ V}$.



Figur 3.26 Framgangsmåte for å bestemme strøm-spenningsskarakteristikken til en transistor.



Framgangsmåte:

1. Koble milli-Ampère-meteret inn i collectorledningen slik at strømmen i collectoren kan måles.
2. Koble Volt-metret over motstanden R_b , slik at basestrømmen, I_b , kan bestemmes.
3. Reguler spenningen mellom basen og jord ved hjelp av potensiometeret P_1 , slik at Volt-metret viser en spenning på 0,2 V. Da vet vi at strømmen inn i basen er ca. 20 μA .
4. Flytt Volt-metret og mål spenningen mellom collectoren og emitteren (jord).
5. Reguler collector-emitterspenningen ved hjelp av potensiometeret P_2 slik at Volt-metret viser 0,2 V.
6. Les av collectorstrømmen, I_c .

Gjenta målingene idet collector-emitterspenningen økes fra 0 V til ca. 2 V i trinn på 0,2 V. Noter collectorstrømmen I_c , i tabell 3 for hver ny verdi av collector-emitterspenningen, U_{ce} .

Tabell 3: Måling av collectorstrøm som funksjon av collector-emitterspenning og basestrøm

| Basestrøm (I_b) | Spenning (U_{ce}) | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| μA | Strøm (I_c) | | | | | | | | | | | |
| μA | Strøm (I_c) | | | | | | | | | | | |
| μA | Strøm (I_c) | | | | | | | | | | | |
| μA | Strøm (I_c) | | | | | | | | | | | |

Dernest økes basestrømmen fra 20 μA til 40 μA , og målingen av collectorstrømmen gjentas for hver collector-emitterspenning. Til sist gjentas prosedyren for flere verdier av basestrømmen.

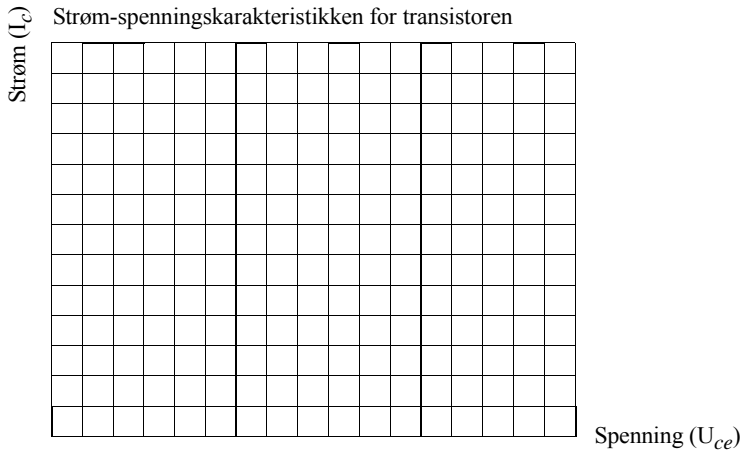
I tabell 4 har vi angitt spenningen over basemotstanden R_b for noen verdier av basestrømmen.

Tabell 4: Sammenhengen mellom basestrømmen og spenningen over basemotstanden.

| | | | | |
|---------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Basestrøm I_b | 20 μA | 40 μA | 60 μA | 80 μA |
| Spenning over R_b | 0,2 V | 0,4 V | 0,6 V | 0,8 V |



Etter at tilstrekkelig antall verdier er målt, legges resultatet inn i diagrammet på figur 3.27. Det tegnes en kurve for hver verdi av basestrømmen.



Figur 3.27 Måling av strøm-spenningskarakteristikken for en transistor.

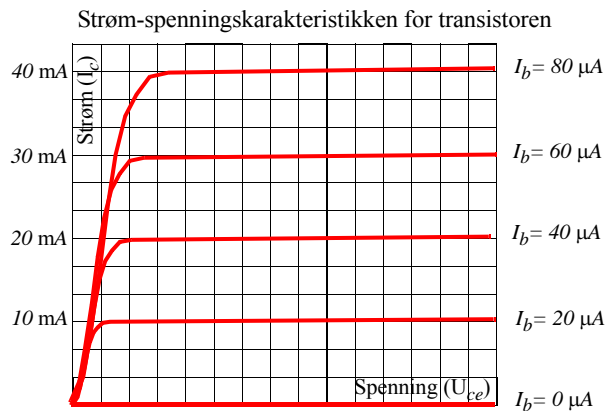
Tolkning

- Studér *strøm-spennings*karakteristikken
- Kommenter formen til strøm-spenningskarakteristikken for transistoren.
- Hvordan vil du si at collectorstrømmen endres med basestrømmen?
- Klarer du å lese ut strømforsterkningen til transistoren fra karakteristikken?

Utdypning

Figur 3.28 viser en typisk strøm-spenningskarakteristikk for en transistor.

Studerer vi karakteristikene i figur 3.28, ser vi at strømmen i transistoren øker med økende collectorspenning, men bare inntil et visst punkt. Fra da av er collectorstrømmen omtrent konstant og uavhengig av collectorspenningen. Øker vi derimot basestrømmen I_b , så vil collectorstrømmen stabilisere seg på et høyere nivå.



Figur 3.28 Strøm-spenningskarakteristikker for BC447B.



Studerer vi karakteristikken ser vi at ved å endre basestrømmen litt, kan vi endre collectorstrømmen mye. Vi har fått en strømforsterker.

Vi legger også merke til at en basestrøm på $20 \mu\text{A}$ medfører at collectorstrømmen stabiliserer seg på 10 mA . Vi sier at transistoren har en strømforsterkning på 500 ($10 \text{ mA}/20 \mu\text{A}$). Strømforsterkningen for likestrøm betegnes ofte h_{FE} og står oppgitt i databladene til transistoren (se vedlegg G).

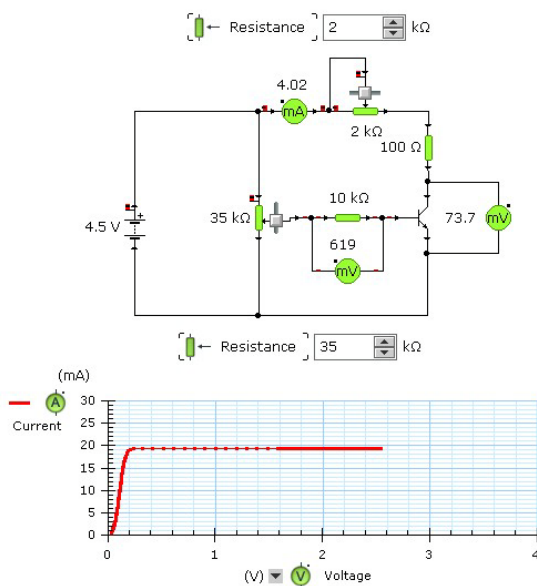
I vårt tilfelle får vi altså:

$$h_{FE} = \frac{I_c}{I_b} = \frac{10 \text{ mA}}{20 \mu\text{A}} = 500 \quad (3.5)$$

Strømforsterkningen for en transistortype kan variere svært mye mellom eksemplarene. For BC547C kan h_{FE} variere fra 200–450. Under produksjon måles transistorenes h_{FE} og transistorene sorteres deretter. De med høyest h_{FE} får f.eks. betegnelsen BC547C⁸ og kan ha verdier fra 400–800.

Simulering av transistorkarakteristikker

Figur viser hvordan vi kan bruke Yenka Technology for å simulere måleoppstillingen vist foran.



Figur 3.29 Karakterisering av transistor ved bruk av simulator.

8. Fra 2009 så er BC547C gått ut av salg slik at alle transistorer av BC547 er av type C. Årsaken er sikkert at fabrikanterne er blitt flinkere til å kontrollere produksjonsprosessene.



Hvordan finne datablad for transistorer på Internett?

Slik kan vi gå fram for å finne datablader for transistorer på Internett:

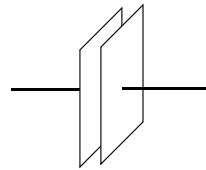
- Søk etter firmaet ON Semiconductor, ved hjelp av f.eks. *www.google.com*
- Bruk søkefunksjonen på firmaets hjemmeside til å søke etter databladet for transistoren BC547C.
- Studér databladet og finn transistorens strømforsterkning, h_{FE} .

3.3.5 Tidsvariable komponenter

Så langt har vi sett på lineære og ulineære komponenter. Disse komponentene er *tidsinnvariante*, dvs. ideelt sett så endres ikke komponentens respons seg med tiden. Det finnes imidlertid en kategori komponenter som i motsetning til motstander, dioder og transistorer, endrer respons etter som tiden går⁹. Påtrykker vi komponenten et sprang i spenning eller strøm så vil responsen av et slikt påtrykt signal strekke seg ut i tid. Siden noen av disse komponentene er mye i bruk, vil vi ta med et par eksempler:

Kondensatoren

Som omtalt tidligere er dette en komponent som består av to plater som ligger tett inntil hverandre. Disse platene kan lades opp eller lades ut. Siden det ikke er elektrisk forbindelse mellom platene, så vil ikke en likestrøm kunne passere over gapet mellom dem. Det vil imidlertid kunne oppstå et elektrisk felt mellom platene. En vekslende spenning vil gjøre at ladningen på platene stadig endrer seg. Forskyvningen av ladning vil resultere en transport av ladninger til og fra platene, vi sier at det oppstår en *forskyvningsstrøm* gjennom kondensatoren. En kan derfor få inntrykk av at veksestrøm kan passere kondensatoren, mens likestrøm stoppes effektivt.



Verdien (størrelsen) til en kondensator bestemmes av størrelsen av platene og hvor tett de ligger, i tillegg til hvilket isolerende stoff som ligger mellom platene. Verdien av kondensatorer måles i Farad etter den engelske fysikeren **Michael Faraday** (1791–1867). Farad er et mål på hvor stor ladning kondensatoren kan holde ved en gitt spenning. Verdien til en kondensator kalles *kapasitans*.

Dersom vi påtrykker en spenning på én Volt og vi måler at det går en strøm på 1 Ampér i 1 sekund før kondensatoren er fulladet, så har den en kapasitans (kondensatorverdi) på 1 Farad.

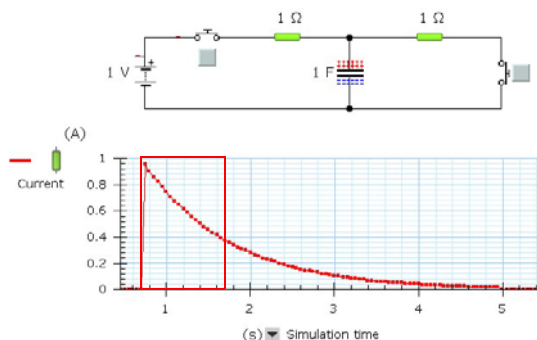
Eller sagt på en annen måte:

Dersom vi har en fulladet kondensator med en verdi på 1 Farad med en spenning på 1 Volt, så skal vi kunne dra en strøm på 1 A i ett sek. ut av kondensatoren før den er utladet.

9. Strengt tatt vil alle komponenter ha en tidsrespons siden de også inneholder små kapasitanser eller induktanser, dette gjelder også dioder og transistorer. Men i denne sammenheng velger vi å se bort fra disse.



For å karakterisere en kapasitet må vi dermed påtrykke et sprang i spenningen og måle strømmen som funksjon av tiden. La oss anta at vi lader opp kondensatoren gjennom en $1\ \Omega$ s motstand. For deretter å foreta en kontrollert utladning. Siden vi har lagt inn en utladningsmotstand på $1\ \Omega$ så vil vi få en toppverdi for strømmen på $1\ \text{A}$, deretter vil den falle av mot null. Dersom vi tar arealet under kurven, så skal dette ideelt sett fylle rektangelet på figuren til høyre.



Figur 3.30 Utladningskurve for en kondensator på $1\ \text{F}$.



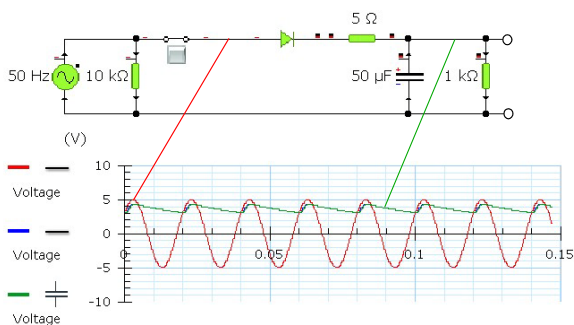
En kondensator på $1\ \text{Farad}$ er en meget stor kondensator. Inntil nylig så fantes det knapt nok så store kondensatorer i salg. Men i de seneste årene har en klart å presse dem ned i en akseptabel størrelse og pris. Hos ELFA koster en $1\ \text{Farad}$ (F) kondensator $40\text{--}50\ \text{kr./stk}$. Største verdi levert av ELFA er for tiden (2009) $50\ \text{Farad}$ til en pris på $\text{kr. } 218,-$. Vanlige verdier er fra $10\ \text{pikoF}$ - $100\ \text{mikroF}$.

En viktig anvendelse for kondensatorer er å holde på ladning. Store kondensatorer benyttes som strøm-backup for dataminner og prosessorer i PC'er i tilfelle strømbrudd. Av samme grunn er de også ofte benyttet for å jevne ut spenninger som varierer. Så derfor:

Kondensatorer benyttes for å holde på ladning og jevne ut spenninger som varierer eller faller helt bort i korte perioder.

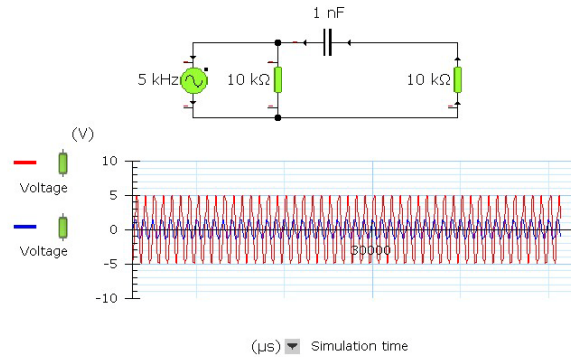
Siden kondensator har evnen til å glatte ujevnheter i spenninger, er de også mye brukt i forbindelse med likeretting. Dvs. omdanning av vekselspenning til likespenning. Dette er vist på figur 3.31.

Kurven viser vekselspenningen før dioden og spenningen etter likeretting og glatting med kondensator. Ved å øke verdien til kondensatoren (eller redusere lasten) kan glattingen gjøres bedre.



Figur 3.31 Simulering av glatting av likerettet spenning.

Men kondensatorer har også en annen viktig egenskap. Siden de består av to helt atskilte plater så vil de sperre for likespenning, men slippe gjennom en vekselspanning. Jo større kapasitans jo lavere frekvenser hos vekselspanningen vil slippe gjennom. Dette er vist i figur 3.32.



Figur 3.32 Kondensatorer sperrer for likespenning, men slipper gjennom vekselspanning.

Som vi skjønner så vil det ikke være noen skarp overgang mellom hvilke frekvenser som slipper gjennom, og hvilke som sperres. Gitt av verdien til kondensatoren og nettverket rundt, vil det være et området hvor vekselspanningen vil dempes i større eller mindre grad gjennom kondensatoren. En må derfor velge verdi med omhu slik at en ikke sperrer for de signalene en ønsker å slippe gjennom.

Vi kan derfor slå fast:

Kondensatorer sperrer for likespenning, men slipper gjennom vekselspanning. I et frekvensområde vil signalet dempes i større eller mindre grad avhengig av størrelsen til kondensatoren og nettverket omkring. Kondensatorer brukes ofte i forsterkerkoblinger.

Vi har altså sett at en kondensator motsetter seg sprang i spenningen, men tillater sprang i strømmen. Dette henger sammen med at det tar tid å lade opp en kondensator.

Nå skal vi se på en annen komponent som også har en tidsrespons, nemlig spolen.

3.3.6 Spolen eller induktoren

En spole er ofte utformet som en kveil av isolert kobbertråd. Enten kan den være viklet uten noe kjernemateriale, eller den kan være viklet rundt en jernkjerne (eller pulverjernkjerne (ferritt)). Nederst på figur 3.33 ser vi spoler viklet på en ringkjerne (toroid), øverst symbolet for en spole.



Verdien til spoler måles i Henry etter den amerikanske vitenskapsmannen **Joseph Henry** (1797–1878). På samme måte som Farad er en meget stor verdi for kondensatorer, så er Henry en ganske stor verdi for en spole. Verdien for en spole går under betegnelsen *induktans* og spolen kan kalles *induktor*. Her vil vi bruke *spole* og *induktans*.



Figur 3.33 Spoler.

Som nevnt kan vi ikke endre spenningen over en kondensator momentant, strømmen derimot kan spenningen endres umiddelbart. I en spole derimot er det omvendt. Vi kan endre spenningen over en spole momentant, men ikke strømmen. Strømmen må bygges opp over noe tid, avhengig av størrelsen på spolen.



Vi skal definere størrelsen Henry ut fra hva som skjer med spenning over en spole når vi endrer strømmen.

La oss tenke oss at vi har en ideel spole som er uten ohmsk motstand. Så lar vi det gå en strøm på 1 A i spolen. Når alt har stabilisert seg vil vi ikke måle noen spenning over spolen. Dersom vi nå øker strømmen fra 1 A til 2 A vil vi oppdage at spenningen over spolen endrer seg. Den vil sette opp en motspenning som forsøker å hindre strømmen i å endre seg. Jo større induktans spolen har jo høyere spenning vil vi måle. Likedan vil vi måle en høyere spenning dersom vi forsøker å endre stømmen raskere.

Ut fra dette definerte Joseph Henry en måleenhet for en spole.

En spole har en størrelse på 1 Henry dersom vi måler en spenning på 1 Volt over spolen når vi endrer strømmen med 1 A i løpet av 1 sekund.

Måleenheten 1 Henry kan også skrives som $\text{Henry} = \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A}} = \text{V}/\frac{\text{A}}{\text{s}}$. Vi ser at det gjenspeiler definisjonen om generering av en spenning på 1 V når strømmen endres med 1 A pr. sek.

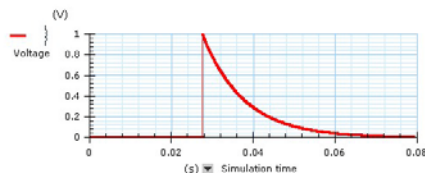
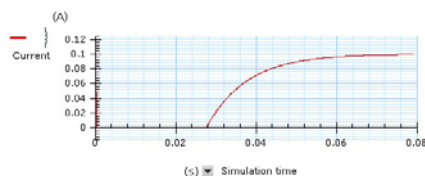
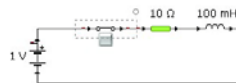
Siden en spole forsøker å hindre at strømmen endrer seg, den kan derfor, på samme måte som kondensatoren, brukes til å glatte variasjoner i en strøm og spenninger. Spoler brukes derfor ofte sammen med kondensatorer i forbindelse med likerettere. Vi slår fast at:

En spole motsetter seg at strømmen gjennom den endres. Den egner seg derfor til glatte variasjoner i elektriske strømmer. Spoler slipper gjennom likestrøm, men sperrer for vekselstrømmer.

Den vanligste anvendelsen for spoler er imidlertid i filter av ulike slag, da gjerne sammen med kondensatorer.

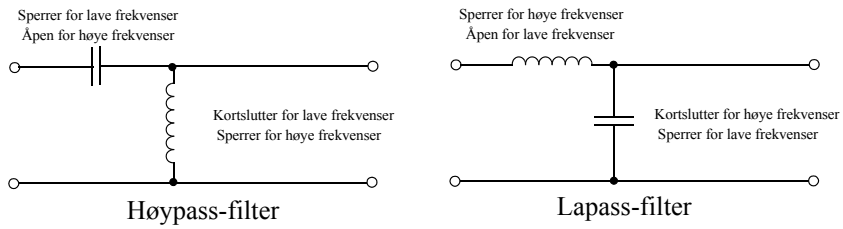
3.3.7 Spoler og kondensatorer brukt som signalfilter

Siden det er vanskelig å endre strømmen i spole så vil en spole sperre for signaler som inneholder raske variasjoner, dvs. signaler med høye frekvenser, mens den vil slippe gjennom langsomt varierende signaler (lave frekvenser).





Spoler og kondensatorer kan derfor fungere som filter for signaler.



Figur 3.34 Eksempler på spoler og kondensatorer brukt som filter.
Høypassfilteret slipper gjennom høye frekvenser.
Lavpassfilteret slipper gjennom lave frekvenser



4 Elektroniske systemkomponenter

I dette avsnittet skal vi se hvordan flere ulike enkeltkomponenter kan settes sammen til det vi har valgt å kalle *systemkomponenter*. Først skal vi se hvordan vi kan lage en enkel strømdetektor hvor vi anvender transistorene som brytere, videre hvordan vi kan konstruere en en-transistor signalforsterker. Derneft skal vi se på operasjonsforsterkeren og noen andre integrerte kretsløsninger. Det legges spesielt vekt på utvikle gode forklaringsmodeller.

La oss kort repetere transistorens to hovedanvendelser:

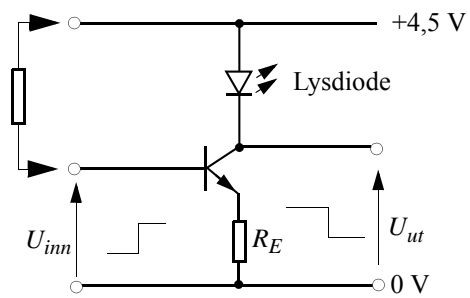
- Elektrisk bryter (f.eks. i datamaskiner)
- Signalforsterker (effekt-, strøm- og spenningsforsterker)

Eksempel 1 - Transistor som bryter:

Figur 4.1 viser en transistor som er koblet opp for å virke som bryter.

Legg spesielt merke til at når spenningen på inngangen U_{inn} går fra lav spenning til høy spenning, så vil spenningen på utgangen U_{ut} gå fra høy spenning til lav spenning.

En heving av spenningsnivået på inngangen kan også oppnås ved å legge en motstand mellom basen og +polen på batteriet som antydnet på figur 4.1.



Figur 4.1 Transistor som bryter.

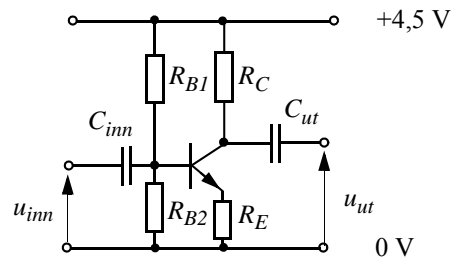
Vi skal se nærmere på denne kretsen i avsnitt 4.2 på side 62.

Eksempel 2 - Transistor som forsterker:

Figur 4.2 viser en typisk forsterkerkobling for å forsterke et signal ved hjelp av én transistor.

Spenningsforsterkningen (A) til kretsen er bestemt av forholdet mellom signalspenningen på utgangen (u_{ut}) og spenningen på inngangen (u_{inn}):

$$A = \frac{u_{ut}}{u_{inn}} \quad (4.1)$$



Figur 4.2 Enkel signalforsterker.

Vi legger merke til *forspenningsnettverket* (R_{B1} og R_{B2}) som skal sørge for at transistoren får riktig arbeidsspenning (arbeidspunkt). Motstandene R_C og R_E bestemmer spenningsforsterkningen, samtidig som R_E er med på å stabilisere forsterkertrinnet. For å få høyere forsterkning kan en koble flere slike trinn etter hverandre.

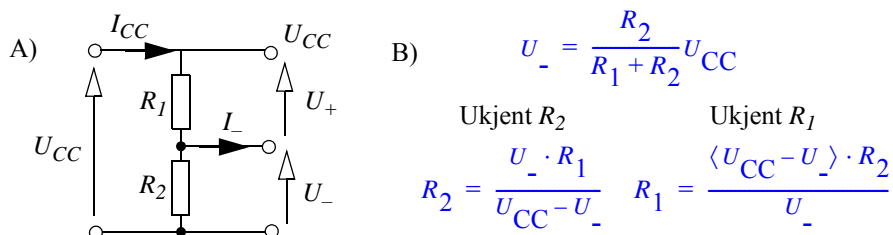


Legg spesielt merke til at det benyttes en kondensator på inn- og utgang. Disse kondensatorene skiller de enkelte trinnene fra hverandre likespenningsmessig. Forspenningen av etterfølgende trinn er dermed helt uavhengig av foregående trinns collectorspenning på. Dette er greit så lenge vi skal forsterke vekselspanning (lyd, musikk osv.). Skal vi derimot forsterke likespenninger så må vi fjerne kondensatorene og vil få en vanskeligere konstruksjonsjobb siden det stiller strenge krav til f.eks. temperaturstabilitet.

Vi skal se nærmere på denne koblingen i avsnitt 4.3 på side 72.

4.1 Spenningsdeleren

Før vi ser på hvordan vi anvender transistoren i kretser, skal vi ganske kort gjennomgå spenningsdeleren da denne er sentral i mange sammenhenger, ikke minst sammen med transistorer.



Figur 4.3 Spenningsdeleren.

Dersom vi har en spenning U_{CC} (f.eks. batterispenningen), så kan vi ved hjelp av to motstander ta ut en mindre del av denne spenningen. Figur 4.3 A viser en enkel spenningsdeler. Spenningen U_- vil være en neddeling av spenningen U_{CC} , bestemt av verdiene til R_1 og R_2 .

Vi ønsker å finne sammenhengen mellom U_{CC} og U_- som funksjon av R_1 og R_2 .

Vi antar at $I_- = 0$, dvs. spenningsdeleren er ubelastet. Vi kan da sette opp en sammenheng mellom strømmer og spenninger i kretsen:

$$U_{CC} = (R_1 + R_2) I_{CC} \quad (4.2)$$

$$I_{CC} = \frac{U_{CC}}{(R_1 + R_2)} \quad (4.3)$$

Siden $I_- = 0$, vet vi at hele I_{CC} går gjennom R_2 . Vi kan da bruke Ohms-lov på R_2 og finner da et uttrykk for U_- som er spenningen av R_2 :

$$U_- = R_2 \cdot I_{CC} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{CC} \quad (4.4)$$

Tilsvarende kan vi finne U_+ som er spenningen over R_1 :



$$U_+ = R_1 \cdot I_{CC} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{CC} \quad (4.5)$$

Vi vet også at:

$$U_{CC} = U_- + U_+ \quad (4.6)$$

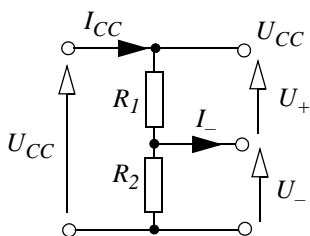
En vanligere situasjon er at vi kjenner spenningen U_- , men ønsker å bestemme verdien til en av motstandene. Dersom vi kjenner R_1 og U_- , men ønsker å bestemme R_2 , kan vi bruke følgende uttrykk:

$$R_2 = \frac{U_- \cdot R_1}{U_{CC} - U_-} \quad (4.7)$$

Dersom vi kjenner R_2 og U_- , men ønsker å bestemme R_1 , kan vi bruke følgende uttrykk:

$$R_1 = \frac{(U_{CC} - U_-) \cdot R_2}{U_-} \quad (4.8)$$

På tilsvarende måte kan vi bestemme resistansene når vi kjenner U_+ .



Figur 4.4 Spenningsdeleren.

La oss se hvordan vi kan få en intuitiv forståelse av hvordan en spenningsdeler fungerer.

Fra Ohms lov vet vi at:

$$U_+ = R_1 \cdot I_{CC} \quad (4.9)$$

$$U_- = R_2 \cdot I_{CC} \quad (4.10)$$

Siden strømmen er den samme i begge motstandene, så kan vi dividere de to ligningene med hverandre og skrive:

$$\frac{U_+}{U_-} = \frac{R_1}{R_2} \quad (4.11)$$

Vi ser altså at forholdet mellom spenningene er forholdet mellom resistansene til de to motstandene.

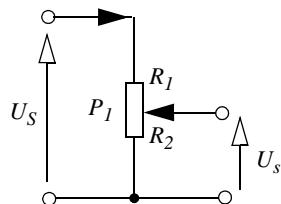
Spenningsdelere brukes i mange sammenhenger ikke minst i transistorforsterkere. Men vi skal også bruke den når vi skal lage detektorer med resistive sensorer.



Når vi dreier på volumkontrollen på en radio så benytter vi et *potensiometer* som er en spenningsdeler.

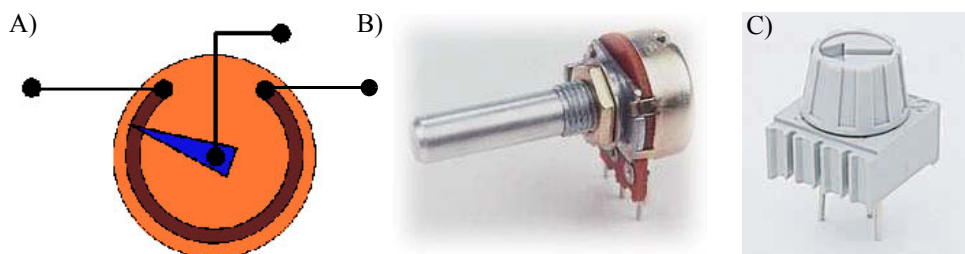
Potensiometer er en “lang” motstand med et uttak som kan flyttes langs den motstanden. $R_1 + R_2$ dermed være konstant, men forholdet mellom dem vil endre seg. Når R_1 øker vil R_2 avta og omvendt.

Vi ser at U_s blir en del av U_S bestemt av innstillingen av potensiometeret.



Figur 4.5 Potensiometeret

Figur 4.6 viser A) en prinsippskisse av et potensiometer. En sirkelformet bane av motstandsmateriale (kullstoff) er festet til underlaget. I hver ende er det montert tilkoblingspunkter. En ledende glider berører motstandsmaterialet. Glideren er fobundet med akslingen som har en knapp på frontpanelet for betjening. Det finnes også små potensiometre som betjenes med et skrujern eller et lite ratt. Disse kan være montert rett på kretskortet og kan f.eks. brukes til små justeringer (trimming). En slik variant er vist til høyre på figur 4.6.



Figur 4.6 Potensiometer. A) Prinsippskisse av et potensiometer, B) bilde av et potensiometer, C) bilde av trimmpotensiometer.

4.2 En enkel strøm-detektor, transistoren som bryter

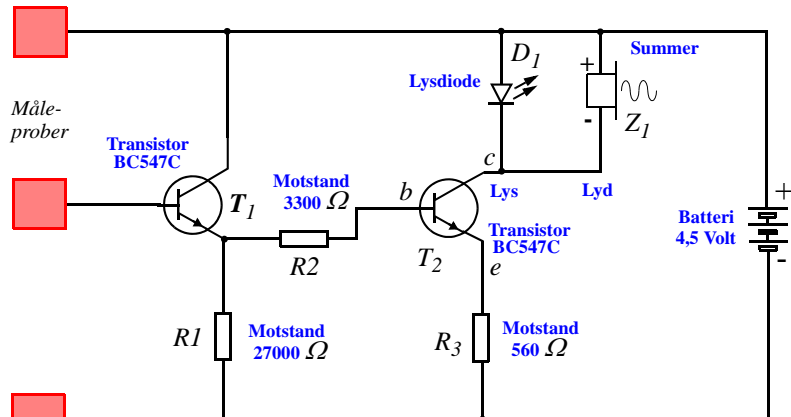
I dette avsnittet skal vi se nærmere på en enkel strøm-detektor (eller strømforsterker) hvor transistorene er brukt som brytere. Med detektor mener vi her en krets som påviser og varsler at det går en ørliten strøm i de to ledningene på inngangen (probene).

4.2.1 Kretsskjema, strøm-detektor

Figur 8.1 viser kretsskjemaet for strøm-detektor. Vi kjenner igjen *kretssymbolene* for transistorer, motstander, lysdioder og summere (lydgiver). Disse kaller vi med en fellesbetegnelse *komponenter*. Lengst til høyre ser vi symbolet for et batteri, som i dette tilfellet har 3 celler, og leverer en spenning på $3 \cdot 1.5 \text{ V} = 4,5 \text{ V}$.



Strekene som for-binder de enkelte kretssymbolene forteller oss hvordan kretsen er koblet opp. Strekene er ledere som forbinder de ulike tilkoblings-ledningene (eller beina) til komponentene. Der tre eller flere ledninger møtes, er det tegnet en liten prikk, som viser at lederne har elektrisk forbindelse i punktet.



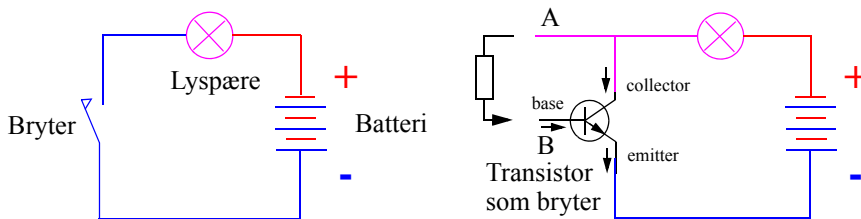
Figur 4.7 Kretsskjema for strømdetektoren.

Lengst til venstre i skjemaet ser vi tre kvadrat. Disse skal vise at her ender ledningene ut i tre åpne måleprober som i vårt tilfelle kan være tre avisolerte ledninger som kan berøres med fingrene.

La oss se hvordan vi kan forklare kretsens virkemåte.

4.2.2 Strømdetektorens virkemåte

Vi skal her gi en kvalitativ forståelse av hvordan strømdetektoren virker. Vi begynner med det kjente, og starter med en enkel sluttet krets med en lyspære, en bryter og et batteri. Lyspæren kan godt byttes ut med en summer om vi ønsker det.



Figur 4.8 Forenklet forklaringsmodell av strømdetektoren.

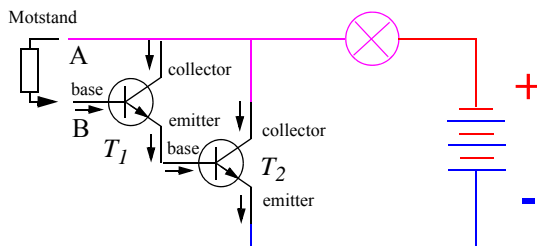
Figur 4.8 A) viser en enkel krets med bryter for å slå på lyset i ei lyspære. Når vi presser inn bryteren sluttet kretsen og det begynner å gå strøm fra batteriets positive pol gjennom pæra og bryteren, og tilbake til batteriets negative pol.

I stedet for å trykke på en bryter, ønsker vi å slå lyset av og på ved hjelp av en liten elektrisk strøm. Vi bytter derfor ut bryteren med en transistor. Vi vet at dersom vi sender en liten elektrisk strøm inn i basen på transistoren, åpner den slik at det kan gå en stor strøm fra *collector* til *emitter*. Strømmen i *basen* skaper vi ved å legge en motstand mellom plusspolen på batteriet og basen på



transistoren. Motstanden kan også være kroppen vår eller noe annet med høy resistans. Den lille strømmen inn i basen medfører at det kan gå en stor strøm gjennom lypsæra som begynner å lyse. Vi har laget oss en strømstyrt elektrisk bryter.

Vi ser at strømmen fra batteriets plusspol kan gå to veier. Enten gjennom motstanden og inn i basen eller gjennom collectoren og emitteren når transistoren åpner. Noen lurer på hvordan strømmen “vet” hvilken vei den skal velge. Strømmer vil alltid gå alle mulige veier. En vei med stor motstand vil føre en liten strøm, og en vei med liten motstand vil føre en større strøm. Strømmene i de enkelte greiene vil bestemmes av greinas motstand og spenningen som ligger over greina.



Figur 4.9 Forenklet forklaringsmodell med to-trinns transistorforsterker.

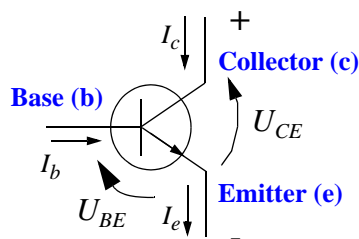
For at vi skal kunne styre transistorbryteren med en enda mindre strøm, henger vi på en transistor til.

Figur 4.9 viser hvordan dette kan gjøres ved at vi kobler til enda en transistor. En ørliten strøm i basen på T_1 , vil åpne transistoren T_1 som vil lede en større strøm inn i basen til den andre transistoren, T_2 , som i sin tur åpner for en stor strøm gjennom lypsæra. En slik kobling blir brukt for å øke *strømforsterkningen* i en transistor og går under navnet *Darlingtonkobling*, oppkalt etter den som først brukte denne koblinga.

På bakgrunn av dette og det vi tidligere har lært om komponenter og kretser, skal vi nå forsøke å forstå hvordan strømdetektoren *vi har laget* fungerer.

Det er to ting vi må huske på for å forstå hvordan kretsen virker (se figur 4.10).

1. Når spenningen mellom basen og emitteren, U_{BE} , hos en transistor kommer over ca. 0.6V, begynner det å gå en liten strøm inn i basen på transistoren. Når det skjer, begynner transistoren å lede, dvs. det begynner å gå en stor strøm gjennom transistoren, fra collector til emitter og tilbake til batteriet (se figur 4.12).
2. Når det går en strøm *gjennom* en motstand kan vi måle en spenning *over* den. Spenningen bestemmes av *Ohms lov* som sier:



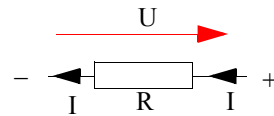
Figur 4.10 Strømmer og spenninger i transistoren.



Spenningsverdien = Resistansen · Strømverdien

$$U = R \cdot I$$

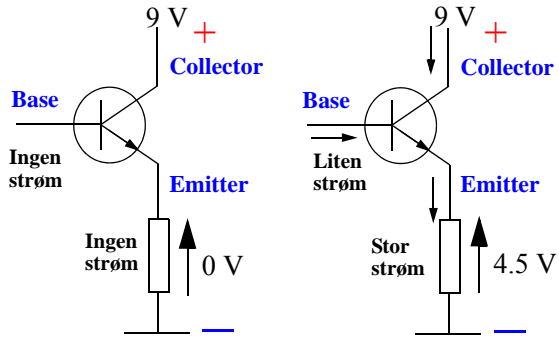
Dersom strømmen gjennom motstanden er null, vil det heller ikke ligge noen spenning over den. Eller sagt på en annen måte, dersom spenningen over motstanden er null vil det heller ikke gå noen strøm gjennom den. Husk at strømmen alltid går fra + til -. Positiv spenning kan vises med en pil som starter ved det laveste potensialet (-) og ender med spissen ved det høyeste potensialet (+) (se figur 4.11).



Figur 4.11 Strøm og spenning i en motstand.

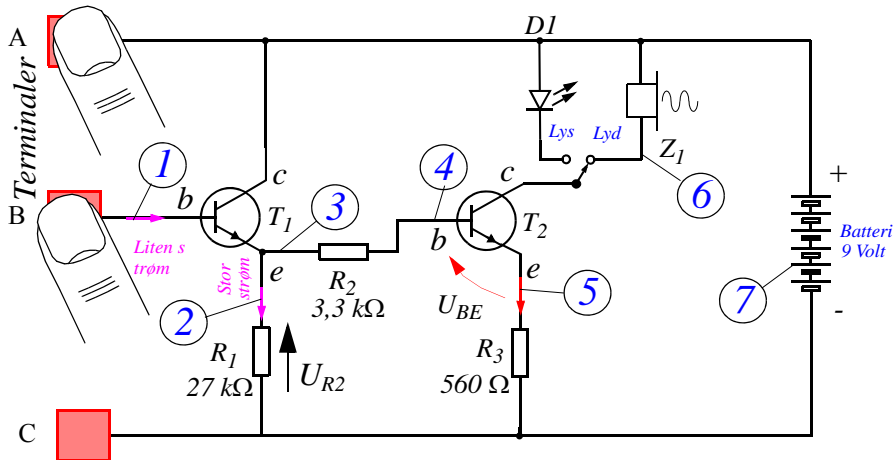
Dersom vi husker disse to tingene kan vi forstå hvordan kretsen fungerer.

Se på skjemaet på figur 4.13 mens vi forklarer kretsens virkemåte. Når vi snakker om spenningen i et punkt, mener vi alltid spenningsforskjellen mellom dette punktet og jord, som ofte er minuspolen på batteriet.



Figur 4.12 Liten strøm styrer en stor strøm.

1. Tenk deg at du holder en finger på de to platene, A og B, som vist på figur 4.13. Siden huden vår gjerne er litt fuktig, vil det gå en liten strøm fra plusspolen på batteriet (den øverste plata), gjennom kroppen vår og inn i basen (b) på transistor T_1 .
2. Når det går en liten strøm inn i basen på denne transistoren, begynner det å gå en stor strøm fra collectoren (c), gjennom transistoren og ut gjennom emitteren. Dvs. at det også går en stor strøm gjennom motstanden R_1 .



Figur 4.13 Krettskjema for strømdektoren.



3. Når det går en stor strøm gjennom motstanden R_1 , vil det i følge Ohms lov, oppstå en spenning over denne motstanden, og spenningen i punktet 3 øker i forhold til jord (-).
4. Når spenningen mellom punktet 3 og jord øker, vil også spenningen i punktet 4 øke omtrent like mye. Dette skyldes at strømmen gjennom motstanden R_2 og inn i basen er relativt liten, og dermed, i følge Ohms lov, også spenningen over motstanden.
5. Når spenningen i punkt 4 øker, vil spenningen, U_{BE} , mellom basen og emitteren på transistor T_2 , øke til over 0.6 V og det begynner å gå strøm gjennom denne transistoren. Denne strømmen er vesentlig større enn strømmen gjennom transistoren T_1 og er blant annet bestemt av motstanden R_3 .
6. Siden strømmen som går gjennom transistoren fra collectoren (c) og emitter (e) også må gå gjennom lydgitveren eller lysdioden vil vi få lys eller lyd om spenningen over disse komponentene blir stor nok.
7. Batteriet sørger for at det står spenning over kretsen og får det til å gå strømmer gjennom transistorene og gjennom fingrene til venstre.

Når vi nå skjønner hvordan kretsen virker, skal vi se hvordan vi kan anvende den på forskjellige måter.

4.2.3 Omslagspunktet

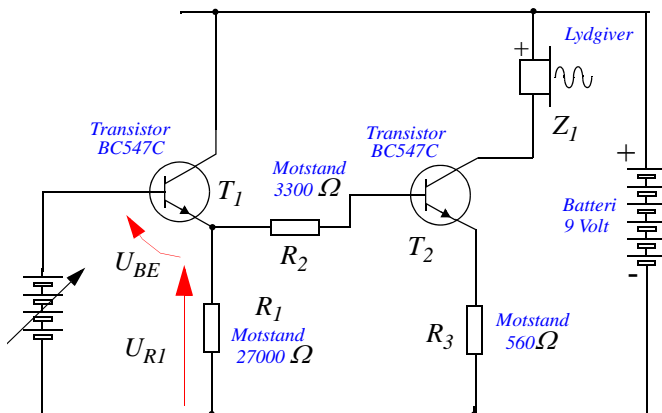
Før vi begynner å eksperimentere med ulike sensorløsninger kan det være nyttig å bestemme omslagspunktet til detektoren. Dette er den minste spenningen på inngangen (basen) som gir alarm. Siden strømmen i den første transistoren, T_1 , er liten, så er også basestrømmen i denne transistoren svært liten.

Målingen utføres ved forskningsspenningene 4,5 V og 9 V.

Målinger viser at omslaget skjer på ca 1,1 V ganske uavhengig av om forskningsspenningen er 4,5 eller 9 V.

Vi har tidligere nevnt at base-emitterdioden trenger fra 0,5 til 0,6 V for at transistoren skal begynne å lede. Hva kommer det av at vi må opp i en omslagsspenning på 1,1 V før vi får omslag og signal?

Årsaken til dette er at så snart base-emitterdioden og dermed transistor T_1 begynner å lede strøm, vil spenningen over R_1 (U_{R1}) også øke, noe som medfører at spenningen mellom jord og basen, som vi måler som omslagsspenningen, blir summen av base-emitterspenningen (U_{BE}) og spenningen over R_1 (U_{R1}).



Figur 4.14 Koblingsskjema for en lysdetektor.



Det er imidlertid først når base-emitterdioden til T_2 blir forspent med ca. 0,5–0,6 V at lyd giveren gir signal i tillegg til spenningen over R_3 . Denne spenningen blir imidlertid ganske beskjeden, siden både strømmen gjennom transistor, T_2 , og verdien til R_3 er relativt liten (560 Ω).

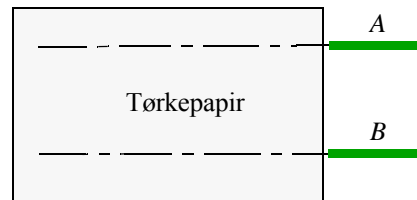
4.2.4 Ulik anvendelse av strømdektoren

Vi skal i dette avsnittet vise noen eksempler på bruk av strømdektoren.

4.2.5 Fuktighetsdetektor

Siden det bare skal en ørliten strøm til for at kretsen skal gi lyd- eller lyssignal, kan den brukes til å indikere fuktighet. Rent vann leder strøm svært dårlig. Er vannet forurenset, vil det lede strømmen noe bedre. Forsøk viser at selv ionebyttet og destillert vann leder tilstrekkelig med strøm til at kretsen gir signal.

Ta av isolasjonen på de grønne ledningene (A og B) på kretsen og tre dem inn i tørkepapiret som vist på figur 4.15.



Figur 4.15 Ved å tre de avisolerte ledningene gjennom et tørkepapir økes detektorens følsomhet for små vannmengder.

Når papiret blir vått, vil det gå en liten strøm mellom ledningene, og alarmen går.

Opgaver:

Be elevene komme med forslag til hva en slik krets kan brukes til!

Er det mulig å gjøre noen forandringer på kretsen slik at alarmen går når papiret er tørt, men holder stilt når det er vått?

Hva kan en slik variant av kretsen brukes til?

Figur 4.13 viser koblingsskjemaet for fuktighetsdetektor.

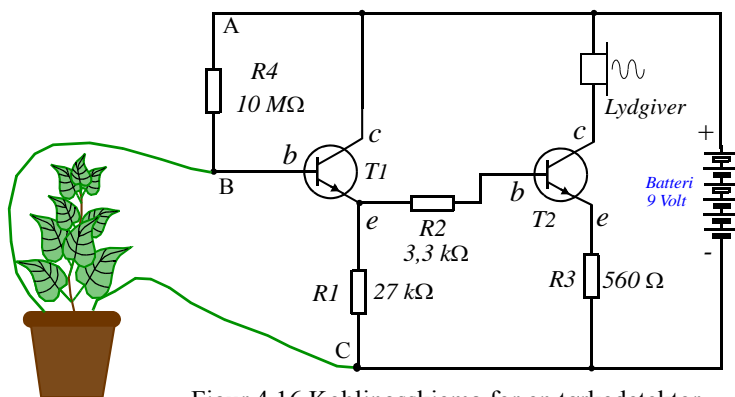
4.2.6 Tørkedetektor

En tørkedetektor er en praktisk innretning som f.eks. kan brukes til å “holde øye med” potteplantene. Når plantene begynner å lengte etter vann, vil en slik alarm si i fra og hindre at plantene tørker ut og dør.

Med en svært enkel modifikasjon kan vår *fuktighetsdetektor* gjøres om til en *tørkedetektor*. Vi ønsker ingen alarm så lenge det er vått, men så snart planten begynner å bli tørr skal alarmen gå.



Figur 4.16 viser hvordan dette kan gjøres. En motstand (R_4) med svært høy resistans, kobles fra basen på transistor T_1 og opp til den positive polen på batteriet. I tillegg kobler vi en ledning fra den samme basen og stikker den ned i jorda på potteplanten. Ta en annen ledning og før fra den negative polen på batteriet og ned et annet sted i jorda.



Figur 4.16 Koblingskjema for en tørkedetektor.

Hvordan virker denne kretsen?

Så lenge jorda er fuktig vil basen på transistor T_1 ligge til jord (bokstavelig talt). Dvs. siden jorda i planten er våt, leder den strøm ganske godt (lav resistans). Spenningspotensialet på basen er derfor nesten null og det går ingen strøm inn i basen på transistor T_1 . Det betyr at det heller ikke går noen strøm i T_2 og lydgiveren er “død”.

Når så jorda begynner å bli tørr, vil resistansen i jorda bli langt høyere, og motstanden R_4 drar spenningspotensialet på basen til T_1 opp mot plusspolen på batteriet, og transistor T_1 begynner å lede strøm. Strømdetektoren forsterker opp denne strømmen og lydgiveren avgir lyd.

Motstanden i jorda og R_4 fungerer som en spenningsdeler. De innbyrdes resistansene mellom R_4 og motstanden i jorda vil bestemme spenningen på basen til T_1 . Vi skal senere se nærmere på spenningsdelere.

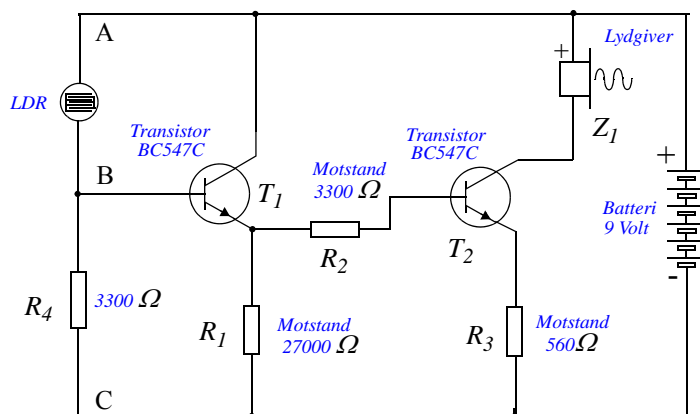
Vi har fått en tørkedetektor.

Dersom lydgiveren ikke gir lyd før planten er uttørket, kan det hjelpe å redusere verdien på R_4 .

4.2.7 Lysdetektor

Denne kretsen bruker en lysfølsom motstand (LDR) mellom basen på transistoren T_1 og den positive polen på batteriet. Når det er lyst blir resistansen i den lysfølsomme motstanden lav

(avsnitt 7.3.1 på side 154) og basen på T_1 “løftes” opp til den positive spenningen, og det begynner å gå en liten strøm inn i basen på T_1 . Dermed går alarmen.



Figur 4.17 Koblingskjema for en lysdetektor.



Når det er mørkt vil resistansen i den lysfølsomme motstanden være høy og basen blir “dradd” ned til den negative spenningen av motstanden R_4 , og T_1 leder ikke strøm og alarmen uteblir.

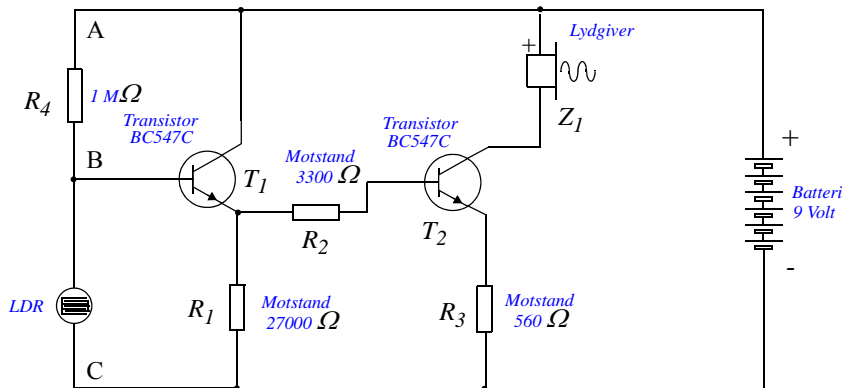
Oppgave:

Spør elevene om de kan tenke seg hvordan en slik krets kan brukes.

Hva kan vi bruke den kretsen til dersom alarmen byttes ut med en kraftig lyspære?

4.2.8 Mørkedetektor med LDR

Tilsvarende kan vi gjøre om kretsen til en *mørkedetektor* ved at den lysfølsomme motstanden kobles mellom basen og minus-polen på batteriet. I dette tilfellet må vi koble basen til den positive polen gjennom en ganske stor resistans som vist på kretsskjemaet i figur 4.18.



Figur 4.18 Koblingsskjema for en mørkedetektor.

Oppgave:

Utfordre elevene til å tenke gjennom hva denne kretsen kan brukes til?

4.2.9 Bruk av strømdektoren i klasserommet

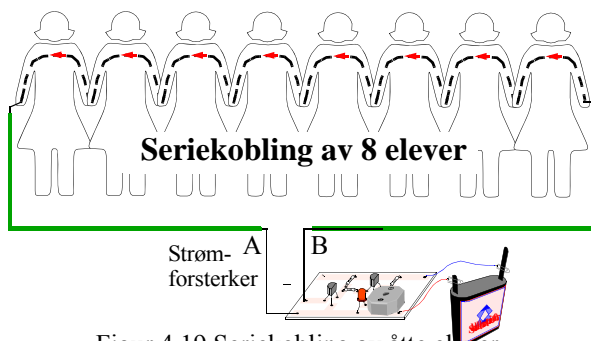
Siden strømdektoren beskrevet foran detekterer svært små strømmer, så vil den også registrere strøm som går gjennom kroppen til én eller flere elever som er koblet sammen på ulike måter. La oss se hvordan kretsen kan brukes for å forstå serie- og parallellkobling.



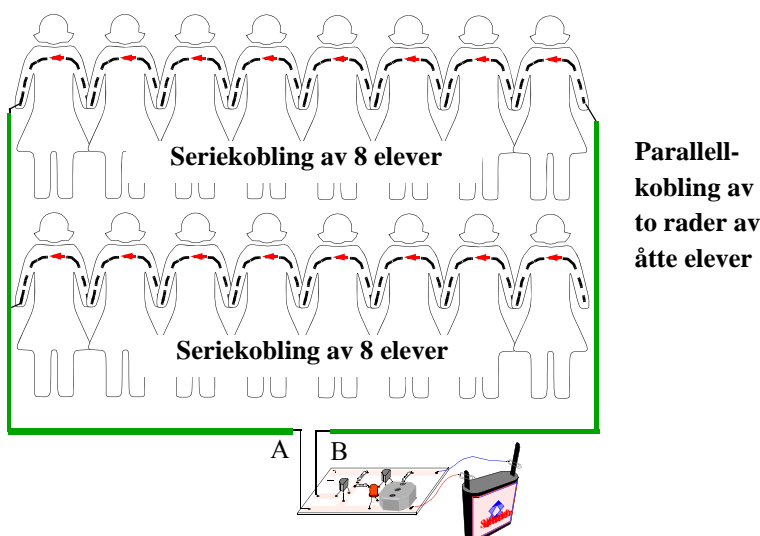
Seriekobling av elever

Prøv følgende:

Bruk de grønne ledningene merket A og B på fuktighetsindikatoren (se figur 4.13). Undersøk hvor mange elever som kan kobles i serie før kretsen slutter å gi lyd. Eksperimentér med serie- og parallellkobling av elever.



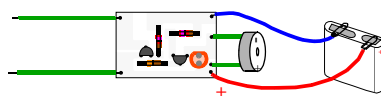
Figur 4.19 Seriekobling av åtte elever.

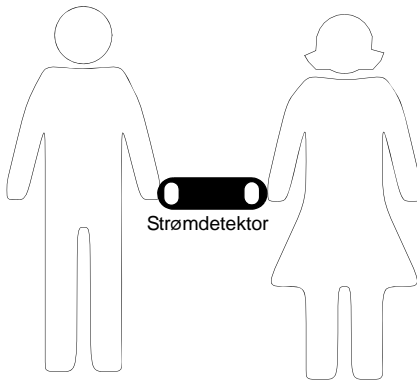


Figur 4.20 Serie- og parallellkobling av elever.

4.2.10 “Elevprobe” - Hvem holder hverandre i hånda?

Elevene deles inn i grupper på 8–12 stykker. Hver gruppe får tildelt en “elevprobe” som er en strømdetektor brukt for å detektere om det er kroppskontakt mellom to eller flere elever. For å gjøre bruken av strømdetektoren er den innbygget med to håndtak (se figur 4.23).





Figur 4.21 To elever fungerer som “elevprobe”.

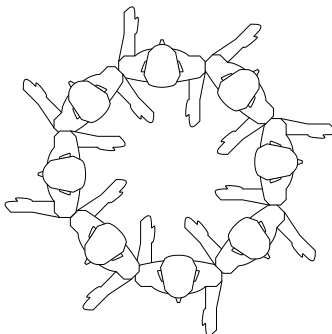
To av elevene tar tak i hver sin side av elevproben. Disse to skal være “proben” som skal detektere om det er kroppskontakt mellom de andre elevene.

De øvrige elevene stiller seg i en ring med ryggen mot hverandre. De holder *en* hånd foran seg. Med den andre hånden som de har på ryggen, griper de om hånden til en eller flere av de andre i gruppa. Når de har funnet den hånden de vil holde i, må de holde fast på denne til målingene er avsluttet. Ikke alle elevene trenger å holde noen i hånda, og noen kan holde flere i hånda. Husk at en må berøre hud for å få kontakt.

Elevene med “proben”, griper hver sin hånd i gruppen med sin ledige hånd. Dersom proben gir lyd, holder de to gruppemedlemmene hverandre i

hendene, om ikke så har de ikke kroppskontakt med hverandre.

En av elevene skriver opp navnene på de som står i ringen og har til oppgave å notere ned hvem som holder hvem i hånden, etterhvert som de to “probe”-elevene finner ut hvem som holder i hvem.



8 elever i ring

Øystein

Gunnhild

Maria

Odd

Frode

Sissel

Ingvill

Nils

Figur 4.22 Elevene står i ring med ryggen mot hverandre. Noen elever holder i hverandre.

Når de mener at de har funnet svaret, snur elevene i ringen seg mens de fortsatt holder fast på hendene til de andre. Så kontrolleres om “probe”-elevene har funnet riktig svar.

Utfordre elevene til å tegne et koblingsskjema over gruppen av elever. Det er viktig at de merker seg veien til strømmen når de får signal.



Figur 4.23 Elevprobe.

Oppgave:

Utfordre elevene til å tenke gjennom om leken kan organiseres på andre måter?

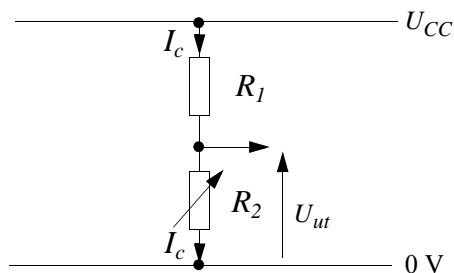
4.3 Konstruksjon av en enkel signalforsterker

I dette avsnittet skal vi studere transistoren brukt som signalforsterker.

Vi tar utgangspunkt i spenningsdeleren.

4.3.1 Spenningsdeleren

La oss begynne med en kjent konstruksjon, nemlig spenningsdeleren.



Figur 4.24 Elektrisk spenningsdeler.

Spenningen på utgangen, U_{ut} , bestemmes av ligningen:

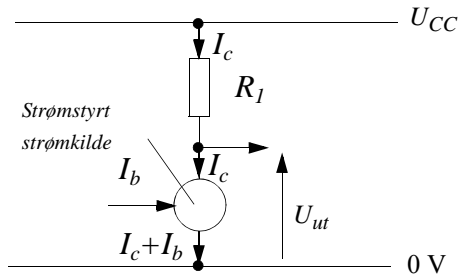
$$U_{ut} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{CC} \quad (4.12)$$

Dette uttrykket kan lett utledes fra sammenhengen $I_c = U_{ut}/R_2 = U_{CC}/(R_1 + R_2)$.



Spenningen U_{ut} kan varieres ved å regulere R_2 . I virkeligheten endrer vi strømmen i kretsen med påfølgende variasjon av spenningen U_{ut} .

Vi kan tenke oss at vi erstatter R_2 med en styrt strømkilde, I_c , som styres av en strøm I_b . Av figur 4.25 ser vi at strømmen I_c også passerer motstanden R_1 .



Figur 4.25 Strømsstyrt spenningsdeler.

La oss anta at $I_c = h_{FE} \cdot I_b$ hvor h_{FE} er den styrt strømkildens *strømførsterkningsfaktor*. Dvs. at om vi tilfører en strøm I_b på styreinnngangen så vil strømkilden levere en strøm $I_c = h_{FE} \cdot I_b$, som også passerer R_1 .

Vi bruker Ohms lov og setter opp:

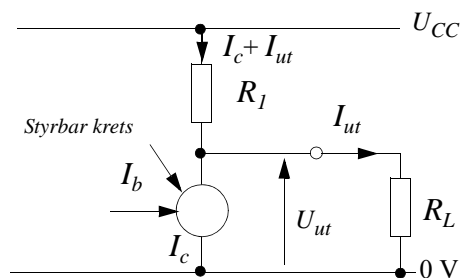
$$U_{ut} = U_{CC} - R_1 \cdot I_c = U_{CC} - R_1 \cdot I_b \cdot h_{FE} \quad (4.13)$$

Vi har nå laget oss en krets hvor vi kan styre en spenning U_{ut} ved hjelp av en strøm I_b .

Vi ser at U_{ut} ideelt sett kan variere mellom 0 V og U_{CC} .

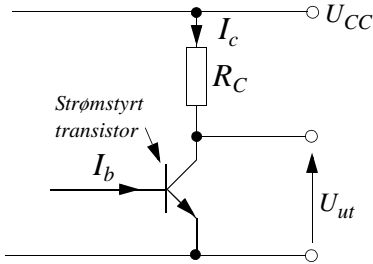
En *lasten*¹⁰ R_L , kobles til utgangen. I_{ut} er strømmen gjennom R_L .

Dersom $R_L \gg R_1$, så vil $I_{ut} \ll I_c$ og R_L ha lite å si for spenningen U_{ut} . Dersom dette ikke er oppfylt, så vil lasten være med å bestemme spenningen U_{ut} .



Figur 4.26 Styrt spenningsdeler med last.

10. Når vi bruker ordet *last* betyr det ofte at vi belaster en utgang med en motstand. En kan også tenke seg en last som ikke er rent resistiv, men kan være både induktiv eller kapasitiv.



Figur 4.27 Strømstyrt transistorkobling.

Fra avsnitt 2.2.3 vet vi at transistoren kan oppfattes som en styrt strømkilde. Vi tillater oss derfor å bytte ut strømkilden med en transistor som vist på figur 4.27. I_b er strømmen inn i basen, I_c er strømmen i collectoren og h_{FE} er transistorens strømforsterkningsfaktor.

Strømmen I_b styrer I_c , som i sin tur skaper en varierende spenning U_{ut} ved hjelp av motstanden R_C . Vi har laget oss en krets som konverterer en varierende strøm på inngangen til en varierende spenning på utgangen.

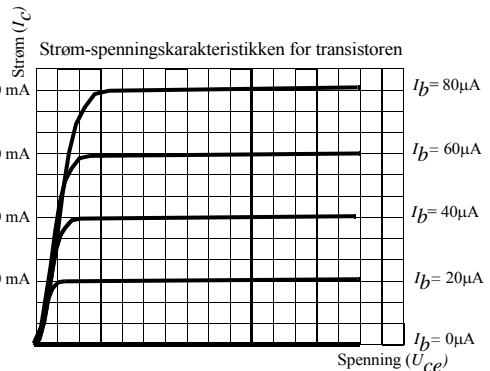
Før vi tilfører et varierende nyttesignal på inngangen, må vi sørge for at transistoren har gode arbeidsbetingelser.

Det vil si at spenninger og strømmer rundt transistoren er slik at forsterkeren oppfyller de våre krav. Vi må se på transistoren likespenningsbetingelser og etablere forsterkerens *arbeidspunkt*.

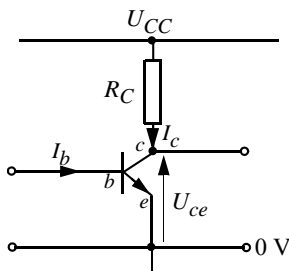
4.3.2 Arbeidspunktet

Arbeidspunktet til transistorforsterkeren, bestemmer strømmer og spenninger i og rundt transistoren før vi tilfører nyttesignalet. Ved hjelp av en spenningsdeler på inngangen etableres ønsket basestrøm, I_b . Men la oss først se på sammenhengen mellom strømmer og spenninger på utgangen.

Strøm-spenningskarakteristikken forteller oss sammenhengen mellom strømmen (I_c) i transistoren og spenningen mellom transistorens collector og emitter (U_{ce}) for ulike basestrømmer (I_b) (se avsnitt - på side 47). Ved å varierer basestrømmen, I_b , kan vi endre nivået for utflating av collectorstrømmen som vist i figur 4.28. Karakteristikken viser en transistor med en strømforsterkningsfaktor, h_{FE} , lik 500.



Figur 4.28 Strøm-spenningskarakteristikken for en transistor med $h_{FE} = 500$.



Før vi går videre må vi bestemme collectorstrømmen, I_c og spenningen, U_{ce} , over transistoren.

I databladet finner vi maksimalverdi, I_{cmax} . For en vanlig transistor som for BC547C er $I_{cmax} = 100$ mA. En god regel kan være å legge arbeidspunktet nær eller under $I_{cmax}/2$.

Valget er imidlertid også avhengig av hvor hardt vi ønsker å belaste forsterkeren og hvor gjerrige vi er på strømmen, som kan være viktig ved batteridrift.

Derneft velger vi U_{ce} . Et vanlig valg er å legge den nær $U_{CC}/2$.

Vi har nå i prinsippet nok informasjon til å beregne R_C . Det er imidlertid et par forhold som gjør bildet noe mer uoversiktlig. Det ene er at forsterkningen til transistortrinnet er sterkt avhengig av verdien til R_C og strømforsterkningen h_{FE} .

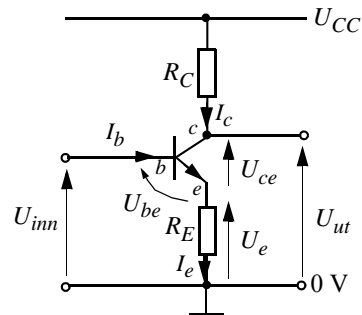
4.3.3 Stabilisering av forsterkeren

Dersom vi studerer databladet til transistoren BC547C (se vedlegg G.1 på side 317), så vil vi se at h_{FE} under gitte betingelser kan variere fra 420 til 800. Det vil si at om vi kjøper en transistor så kan den i prinsippet ha en h_{FE} i det nevnte området. Med mindre vi måler transistorens h_{FE} før vi konstruerer forsterkeren, så er det vanskelig å vite hvilken forsterkning transistortrinnet vårt vil ende opp med. Dessuten vil h_{FE} være sterkt avhengig av temperaturen.

Det finnes imidlertid en løsning på dette problemet. Vi kan konstruere en forsterker som er mindre følsom for variasjoner i strømforsterkningsfaktoren.

Dette gjør vi ved å sette inn en motstand, R_E , i serie med emitteren. La oss se hvordan denne påvirker forsterkeren.

Når U_{inn} øker vil spenningen U_{be} over base-emitterdioden øke, og basestrømmen I_b øker tilsvarende. Dette medfører at collector- og emitterstrømmen i transistoren øker. Dermed vil også strømmen i R_E øke, hvilket medfører at spenningen U_e over emittermotstanden R_E øker. Men når U_e øker vil U_{be} måtte reduseres tilsvarende og strømmen I_b faller.



Figur 4.29 Stabilisering av trinnet.

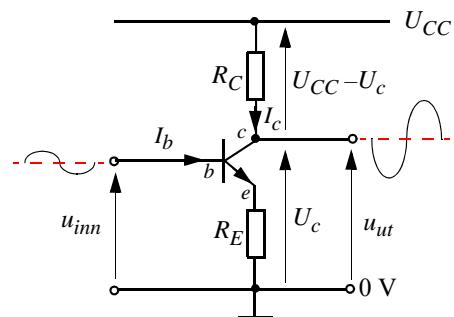
Vi har fått en *negativ tilbakekobling som stabiliserer strømmen* i trinnet. Graden av tilbakekobling bestemmes av verdien til R_E . Jo større R_E jo større tilbakekobling.

En konsekvens av å sette inn R_E er at vi også reduserer forsterkningen i trinnet betydelig.

Det er relativt enkelt å finne uttrykket for spenningsforsterkningen til et slik trinn med emittermotstand, dersom vi ser på signalnivåene til nyttesignalet. For å skille det variable nyttesignalet fra de statiske like-spenningsverdiene. Benyttes små bokstaver.

Det tilnærmede uttrykket for signal spenningsforsterkningen, A_V , er:

$$A_V = \frac{u_{ut}}{u_{inn}} \approx -\frac{R_C}{R_E} \quad (4.14)$$



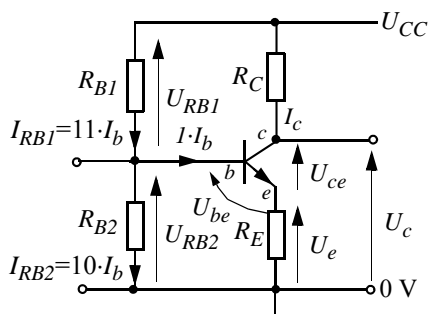
Figur 4.30 Stabilisering av trinnet.

Fortegnet forteller oss at når u_{inn} blir mer positiv, så vil u_{ut} bli mer negativ. Utgangssignalet er altså invertert i forhold til inngangssignalet. Vi har konstruert en inverterende forsterker.

Når vi har bestemt arbeidspunktet (I_C og U_C), kan vi lett bestemme $R_C = (U_{CC} - U_C)/I_C$



Kjenner vi R_C og har bestemt oss for hvilken forsterkning vi ønsker, kan vi også bestemme $R_E \approx R_C/|A_V|$. Siden motstander ikke kan ha negative verdier, så regner vi med tallverdien til forsterkningen.



Figur 4.31 Forspenning av transistorforsterkeren.

valgt. Trinnet er imidlertid mindre følsomt for variasjoner i h_{FE} siden vi har stabilisert det med R_E . Det er derfor vanlig å velge en *typisk verdi* h_{FE} som ofte er oppgitt i databladet. For BC547C er denne lik 520. Dermed kan vi beregne $I_b = I_c/h_{FE}$.

For å bestemme strømmene, I_{RB1} og I_{RB2} i forspenningsnettverket, benytter vi oss av en håndregel som sier at *strømmen i forspenningsnettverket bør være minst 10 ganger basestrømmen*¹¹.

Dersom vi setter $I_{RB2} = 10 \cdot I_b$ får vi at $I_{RB1} = 11 \cdot I_b$ siden $1 \cdot I_b$ stikker av inn i basen (se figur 4.31). Dermed kjenner vi strømmene i forspenningsnettverket. Det eneste vi mangler før vi kan beregne resistansene er spenningene U_{RB1} og U_{RB2} .

Vi vet at:

$$U_{RB2} = U_b = U_{be} + U_e = U_{be} + R_E \cdot I_e \approx U_{be} + R_E \cdot I_c \quad (4.16)$$

Legg merke til at $I_e \approx I_c$. Likeså er det vanlig å sette $U_{be} \approx 0,7 \text{ V}$.

Har vi U_{RB2} er det lett å finne U_{RB1} :

$$U_{RB1} = U_{CC} - U_{RB2} \quad (4.17)$$

Da er det enkelt å beregne verdiene til R_{B1} og R_{B2} :

$$R_{B1} = U_{RB1}/11 \cdot I_b \quad (4.18)$$

$$R_{B2} = U_{RB2}/10 \cdot I_b \quad (4.19)$$

11. I ingeniørfag benyttes håndregler. Disse bygger på erfaring og viser seg ofte å gi tilfredstillende resultater. En må imidlertid vite hva man gjør og hvilke begrensninger slike haåndregler har.

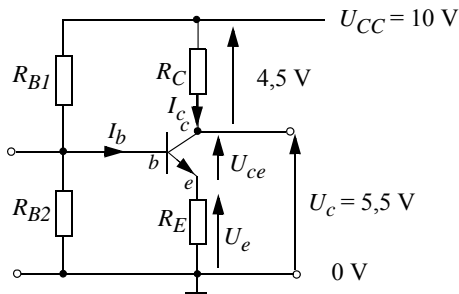


Dermed skulle alt ligge til rette for å beregne et en-transistors forsterkertrinn. La oss se på et eksempel.

4.3.4 Beregning av en enkel transistorforsterker, trinn for trinn

Vi skal nå bruke det vi har lært for å beregne et enkelt forsterkertrinn med en transistor.

1. Først velger vi **battrispenning**, U_{CC} .
I dette eksempelet velger vi den til 10 V. Her bør vi se litt på hva vi har av batteri og hva transistoren tåler.
2. Dernest velger vi ønsket **spenningsforsterkning A_v** . Her velger vi denne lik 10. Vi må være klar over at jo større spenningsforsterkning vi velger, jo lettere vil forsterkeren gå i metning, det vil si at spenningen på utgangen når sitt maksimale nivå nær batterispenningen.
3. Så velger vi **collectorspenningen**, U_c . Som nevnt bør denne ligge omtrent på $U_{CC}/2$, eller omtrent midt mellom U_{CC} og U_e (U_e er liten så det blir omtrent det samme), dette er gunstig for å utnytte transistorens spenningssving uten hverken å “stange” i bunn (0 V) eller topp (U_{CC}). Vi velger for eksempel $U_c = 5,5$ V.



Figur 4.32 Spenninger i transistorforsterkeren.

4. Så må vi bestemme **strømforsterkningen**, h_{FE} . For å kunne bestemme strømforsterkningen må vi velge transistor. Vi velger BC547C som er en mye brukt transistor. Strømforsterkningen finner vi i databladene til transistoren. I vårt tilfelle er $h_{FE} = 325$.
5. Dernest velger vi **arbeidspunktet**, dvs. hvilken hvilestrøm, I_c , vi vil at det skal gå i trinnet når det ikke er noe signal på basen (inngangen). Det kan være lurt å legge seg under midten av transistorens maksimale strøm, I_{cmax} . I vårt tilfelle er det under 50 mA. Velger vi en relativt høy hvilestrøm, vil trinnet trekke mye effekt, men vil også kunne levere større effekt til lasten. Dersom lasten vår er beskjeden (høy motstand), er det lurt å velge et lavt arbeidspunkt (liten I_c) for å spare batteriet. Vi velger $I_c = 10$ mA.

Vi har nå nok informasjon til å beregne komponentverdiene i forsterkeren vår.

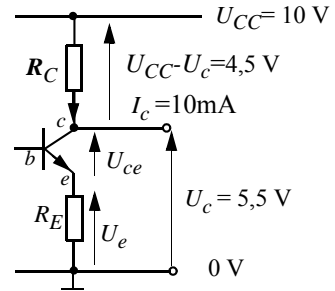


6. **Beregner collectormotstanden R_C**

Vi kjenner strømmen i collector lik $I_c = 10 \text{ mA}$ og vi vet hva spenningen på collectoren er. Da kan vi lett beregne collector-motstanden etter følgende formel:

$$R_C = (U_{CC} - U_c) / I_c$$

$$R_C = \underline{450 \Omega}$$
(4.20)



Figur 4.33 Beregning av collectormotstanden R_C

Vi vet at signal-spenningsforsterkningen (A_V) for slike forsterktrinn (med emitter-motstand) er er tilnærmet lik:

$$A_V \approx -R_C / R_E$$
(4.21)

7. **Beregner emittermotstanden R_E**

Når vi kjenner A_V og R_C kan vi finne R_E :

$$R_E \approx R_C / |A_V| \approx 450 \Omega / 10 = \underline{45 \Omega}$$
(4.22)

8. Siden vi kjenner collectorstrømmen og strømforsterkningen, kan vi **beregne basestrømmen I_b** :

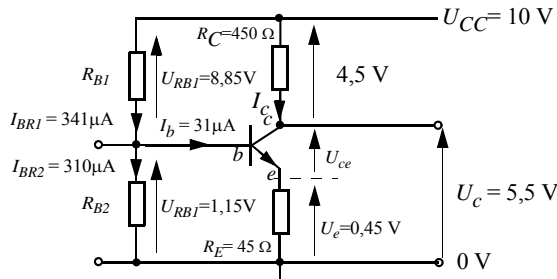
$$I_b = I_c / h_{FE} = 10 \text{ mA} / 325 = \underline{31 \mu\text{A}}$$
(4.23)

9. **Strømmen i forspenningsnettverket (R_{B1} og R_{B2})** bør være minst $10 \cdot I_b$. Strømmen i R_{B1} blir da $I_{RB1} = 11 \cdot I_b$, og strømmen i R_{B2} blir $I_{RB2} = 10 \cdot I_b$. Dette skyldes at $1 \cdot I_b$ forsvinner inn i basen. I vårt tilfelle blir $I_{RB2} = 310 \mu\text{A}$.

10. For å bestemme **spenningen på basen** husker vi at diodespenningen mellom emitter og base er $U_{be} \approx 0,7 \text{ V}$. Da kan vi lett bestemme basespenningen $U_b = U_{RB2}$:

$$U_{RB2} = U_{be} + U_e \approx U_{be} + I_c R_E = 0.7 \text{ V} + 10 \text{ mA} \cdot 45 \Omega = \underline{1,15 \text{ V}}$$
(4.24)

$$U_{RB1} = U_{CC} - U_{RB2} = 10 \text{ V} - 1,15 \text{ V} = \underline{8,85 \text{ V}}$$
(4.25)



Figur 4.34 Strømmer og spenninger i forspenningsnettverket.

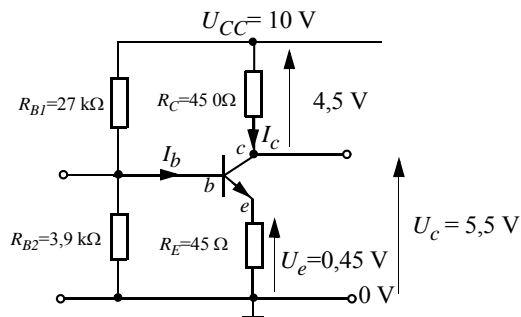


11. Siden vi kjenner strømmen gjennom nettverket og spenningen over motstandene, kan vi lett **beregne R_{B1} og R_{B2}** .

$$R_{B1} = (U_{CC} - U_b) / 11 \cdot I_b = 8,85 \text{ V} / 0,341 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 26,1 \text{ k}\Omega \approx \underline{27 \text{ k}\Omega} \quad (4.26)$$

$$R_{B2} = U_b / 10 \cdot I_b = 1,15 \text{ V} / 0,310 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 3,7 \text{ k}\Omega \approx \underline{3,9 \text{ k}\Omega} \quad (4.27)$$

Runder vi av til nærmeste standardverdi for motstandene, får vi $R_{B2} = 3,9 \text{ k}\Omega$ og $R_{B1} = 27 \text{ k}\Omega$. Videre tillater vi oss å runde av $R_C = 470 \Omega$ og $R_E = 47 \Omega$ som er standardverdier i E12 rekka.



Figur 4.35 Den ferdige likespenningsforsterkeren.

4.3.5 Arbeidspunktet og strøm-spenningskarakteristikken

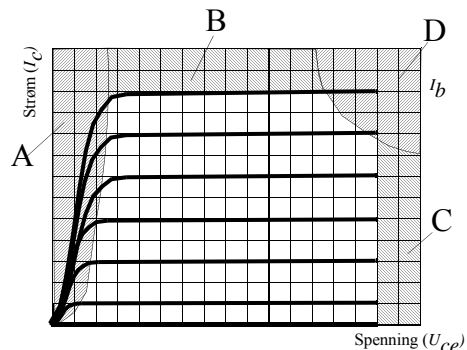
La oss se litt nærmere for bakgrunnen for valg av arbeidspunktet.

Strøm-spenningskarakteristikken kan være et nyttig hjelpemiddel for å velge fornuftige verdier for I_c og for å få et bilde av hvordan forsterkeren fungerer

Arbeidspunktet er bestemt av strømmen, I_c , i transistoren og spenningen, U_{ce} , over transistoren uten nyttesignal. Ved valg av arbeidspunkt bør man holde seg borte fra de skraverte områdene.

A - angir *metningsområdet*. En forsterker som opererer nær dette området vil lett gå i metning, og signalet vil bli klippet i nedkant. Det er derfor lurt å holde seg unna dette området.

B - angir området hvor strømmen i transistoren overskrider maksimalverdien, I_{cmax} . Legges arbeidspunktet her, vil transistoren lett gå varm og ødelegges.



Figur 4.36 De skraverte feltene er områder som bør unngås ved valg av arbeidspunkt.



- C - angir et område hvor spenningen, U_{ce} , over transistoren overskrider maksimalverdien. Legges arbeidspunktet i dette området vil vi kunne få overslag, og transistoren kan ødelegges.
- D - angir et området hvor effekten som går tapt i transistoren blir for stor. Dette kan raskt resultere i varmgang og transistoren kan ødelegges.

Konklusjonen er at det lønner seg å ligge nær midten av området.

Etter at vi har valgt arbeidspunktet kan vi legge inn lastlinjen i karakteristikken.

Vi vet at nedre punkt for lastlinjen alltid vil gå gjennom $U_{ce} = U_{CC}$, i vårt eksempel 10V.

Videre har vi valgt arbeidspunkt: $I_c = 10 \text{ mA}$ og $U_{ce} = 5,0 \text{ V}$.

Da har vi to punkter og kan trekke den rette linjen gjennom disse punktene. Forlenger vi linjen vil vi se at den treffer strømaksen i punktet 20 mA. I dette punktet er spenningen, U_{ce} , over transistoren lik 0, dvs. at transistoren er helt åpen som en kortslutning. Hele spenningen på 10 V ligger da over R_C og R_E . og vi kan skrive:

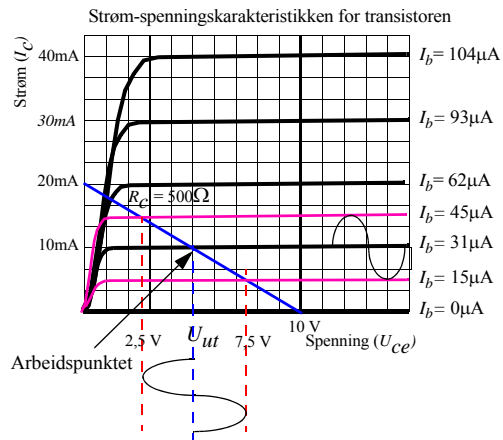
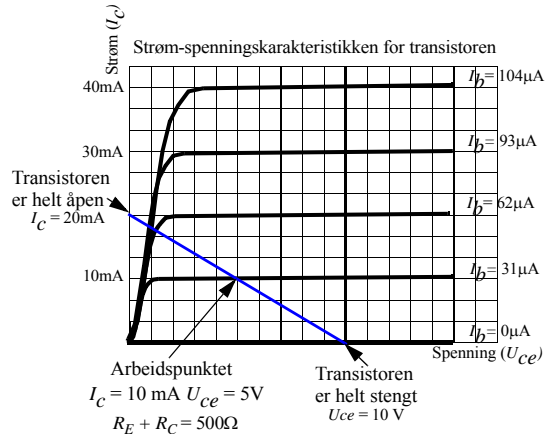
$$R_C + R_E = 10 \text{ V} / 20 \text{ mA} = 500 \Omega \quad (4.28)$$

Skjæringspunktet mellom transistor-karakteristikken og lastlinja forteller oss hva spenningen over, og strømmen i transistoren er. Vi ser at basestrømmen er $I_b = 31 \mu\text{A}$ i arbeidspunktet.

Når vi tilfører et signal på basen vil dette endre basestrømmen og "arbeidspunktet" vil flytte seg langs lastlinja.

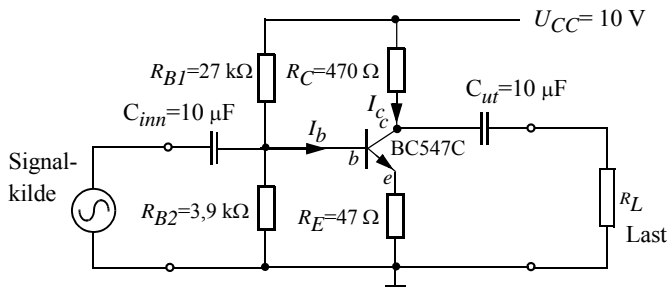
4.3.6 Vekselspenningsforsterker

Dersom vi kun ønsker å forsterke opp vekselspenninger, så kan vi bruke kondensatorer med en passende størrelse på inn- og utgangen av forsterkeren. Vi har valgt 10 μF . Når vi bruker kondensatorer på denne måten, vil tilkoblingen av signalkilden ikke påvirke forspenningen (likespenningen) på basen. På tilsvarende måte vil ikke lasten (R_L) forstyrre likespenningsnivået på collectoren på transistoren.





Den ferdigdesignede forsterkeren er vist i figur 4.37.



Figur 4.37 Bruker kondensatorer for å hindre at signalkilde og last skal påvirke likespenningen i kretsen.

Lasten kan for eksempel være en ørepropp eller en høyttaler. Dersom lasten har relativt lav motstand (stor last) vil den påvirke kretsens forsterkning.

Spenningsforsterkningen i trinnet

Vi har tidligere antydnet at signal-spenningsforsterkningen i et trinn av denne typen kan tilnærmet uttrykkes som:

$$A_V \approx -R_C/R_E \quad (4.29)$$

R_E velges slik at spenningen U_e er fra 5 - 30 % av batterispenningen U_{CC} . Her er det rom for variasjoner. Valget kan være et kompromis mellom forsterkning og stabilitet. Liten verdi for R_E gir lav spenning (U_e), høy forsterkning, men dårlig temperaturstabilitet. Høyere verdi for R_E gir høyere spenning (U_e), lav forsterkning, men god temperaturstabilitet.

Når vi reduserer verdien av R_E vil signal-spenningsforsterkningen øke, dog ikke uendelig som en kan få inntrykk av. Uttrykket i ligning (4.29) blir da en stadig dårligere tilnærming til kretsens forsterkning.

Dersom vi kun ønsker å forsterke vekselspennings-signaler, kan vi "kortslutte" R_E ved hjelp av en kondensator (se figur 4.38). Vi øker da forsterkningen for signalene, men reduserer forsterkningen for likespenningen. Dermed får vi i "pose og sekk", høy signalspenningsforsterkning og god stabilitet (liten påvirkning av temperaturen).

Under disse forholdene kan vi uttrykke transistorens signal-spenningsforsterkning som:

$$A_V = R_C \cdot h_{FE}/R_{inn} \quad (4.30)$$

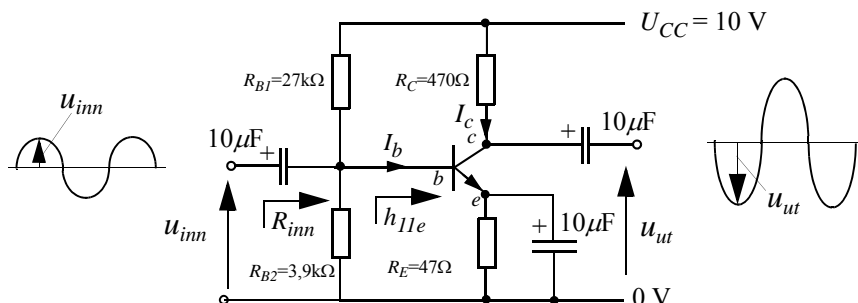
Hvor R_{inn} er "resistansen" sett inn i basen på transistoren parallellkoblet med de to resistansene (R_{B1} og R_{B2}) som forspenner transistoren. For BC547C er inngangsmotstanden (se h_{11e} i databladet) ca. $4,5 \text{ k}\Omega$ ¹².



Ser vi bort fra forspenningsnettverket, dvs. $R_{inn} \approx h_{11e}$, kan vi finne et tilnærmet uttrykk for forsterkningen, når R_E er "kortsluttet" for vekselspenninger med en stor kondensator:

$$A_V = 470 \Omega \cdot 325 / 4,5 \text{ k}\Omega \approx 34 \times \quad (4.31)$$

Vi ser at R_E reduserer forsterkningen betraktelig.



Figur 4.38 Den ferdige signalforsterkeren med avkoblet R_E .

Vi får en nøyaktigere verdi for forsterkningen dersom vi tar forspenningsnettverket R_{B1} og R_{B2} med i betraktning. Signalmessig vil disse to resistansene være parallellkoblet med transistorens inngangsresistans og dermed redusere den totale forsterkningen. Vi kan da sette opp:

$$\frac{1}{R_{inn}} = \frac{1}{R_{B1}} + \frac{1}{R_{B2}} + \frac{1}{h_{11e}} \quad (4.32)$$

Ofte vil R_{B1} og R_{B2} være betydelig større enn transistorens inngangsresistans og dermed betyr det lite om vi har dem med eller ei. I vårt eksempel vil forspenningsnettverket derimot bety mye for forsterkningen, siden verdiene til R_{B1} og R_{B2} er relativt små.

Ved måling av signal-spenningsforsterkningen måles u_{inn} og u_{ut} , og vi kan beregne A_V :

$$A_V = -\frac{u_{ut}}{u_{inn}} \quad (4.33)$$

Når vi måler på kretsen kan vi velge om vi vil måle amplitudeverdien eller topp til bunn-verdien av u_{inn} og u_{ut} . Det viktigste er at vi er konsekvent på inn- og utgang. Legg merke til at vi bruker små bokstaver på signalspenningene og store bokstaver for likespenninger.

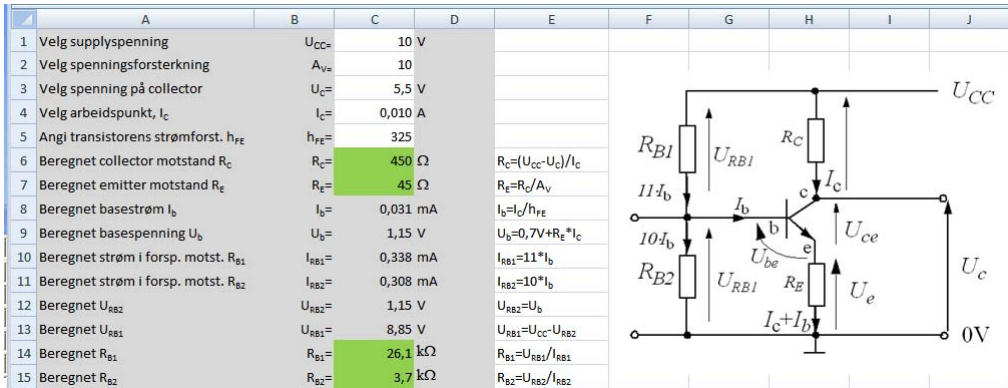
Oppsummering

Regnestykket over egner seg godt til å legge inn i et regneark. Under er vist et regneark som bereg-

12.1 databladet finner vi transistorens inngangsresistans som $h_{11e} = 4,5 \text{ k}\Omega$ (se vedlegg G.1).



ner komponentverdiene på bakgrunn av transistorens strømforsterkning, ønsket spenning og spenningsforsterkning.



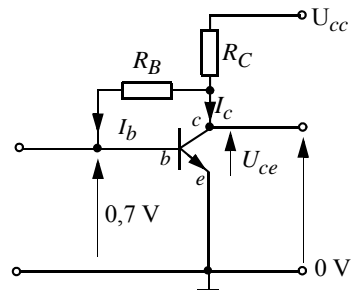
Figur 4.39 Regneark for beregning av et enkelt forsterkertrinn.

Simulering av kretsen er beskrevet i avsnitt 5.5 på side 124.

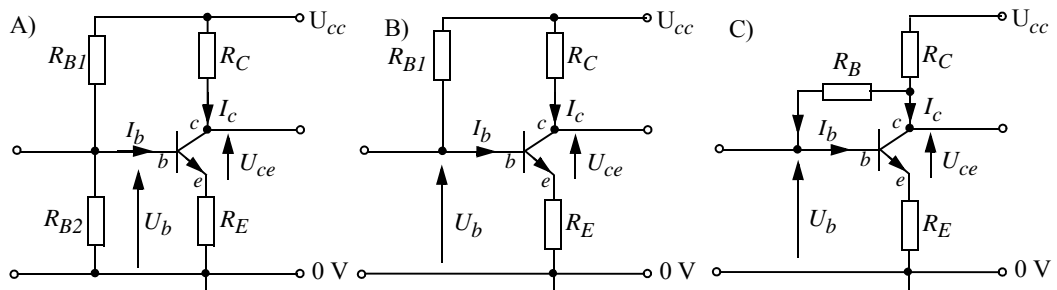
4.3.7 Alternative måter å stabilisere forsterkeren på

Noen ganger kan en benytte en litt annen kobling som forenkler kretsen, men gjør den kanskje litt vanskeligere å forstå. Denne varianten er bl.a. vist i *Rom Stoff Tid - Fysikk 1* side 276. La oss se litt nærmere på denne koblingen.

Som vi ser så er de to basemotstandene erstattet med en motstand koblet mellom collector og base (R_B). Dessuten er R_E fjernet.



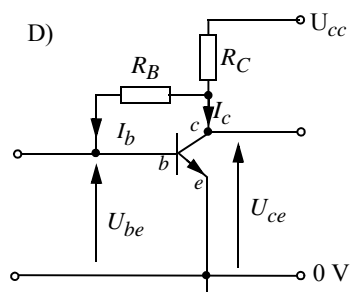
For å forstå denne kretsen kan vi se på følgende tre varianter. Hvorav den første (A) er den vi tidligere har brukt i dette avsnittet og den siste (C) er varianten omtalt i *Stoff Rom Tid - Fysikk 1*.



Figur 4.40 Tre ulike måter å forspenne forsterkeren på.



- **A)** Dette er kretsen vi har analysert i avsnittene foran. Vi vet at vi har valgt verdier for R_{B1} og R_{B2} slik at basen får akkurat den spenningen som gjør at det går riktig basestrøm, i vårt tilfelle ca. $30 \mu\text{A}$ (se side 78).
- **B)** Det er imidlertid ingenting i veien for å sløyfe R_{B2} og kun beholde R_{B1} . I så fall må verdien til R_{B1} gjøres betydelig større. Benytter vi de samme spenningene som tidligere så vil vi få en verdi på $R_{B1} = 285 \text{ k}\Omega$. Ulempen med en slik løsning er at det skal lite til før forsterkningen i trinnet endres. Noe som f.eks. kan skje ved endring av temperaturen. Her vil imidlertid R_E komme oss til unnsetning ved å stabilisere trinnet.
- **C)** En lur løsning er å koble basemotstanden R_{B1} til collectoren istedet for til U_{CC} . Det som da skjer er at dersom strømforsterkningen skulle komme til å endre seg, vil R_{B1} kompensere for endringen å stabilisere trinnet. Dersom f.eks. I_C øker fordi strømforsterkningen øker, så vil spenningsfallet over R_C øke. Dette medfører at spenningen over R_{B1} reduseres, noe som reduserer basestrømmen, hvilket i sin tur reduserer I_C og forsterkningen stabiliseres. Vi ser alt så at R_{B1} får omtrent samme funksjon som R_E . En annen fordel med denne løsningen er at vi reduserer strømmen i forspenningsnettverket med ca. $1/10$, som gjør at batteriet holder lenger. En av ulempene er at koblingen reduserer forsterkningen noe.
- **D)** Dersom en ikke stiller ekstreme krav til stabilitet så er det ikke uvanlig at R_E fjernes helt slik at all stabilisering av trinnet baserer seg på R_{B1} . I dette tilfellet vil uttrykket for beregning av trinnets forsterkning bli annerledes enn beskrevet foran. Denne metoden egner seg best for å kompensere for beskjeden endring i forsterkningen. Dessuten vil den redusere forsterkningen siden det ikke bare er likestrøm som kobles tilbake til basen, men også noe av signalet.



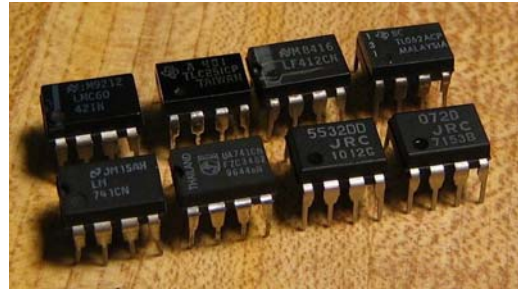
4.4 Integrerte systemkomponenter

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 silisiumbrikke. Dette gjelder både komponenter som behandler analoge så vel som digitale signaler. Ved å integrere mange komponenter på samme silisiumbrikke (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 designløsninger.

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

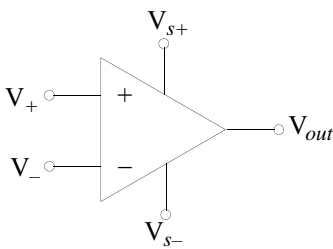
4.4.1 Operasjonsforsterkeren

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.



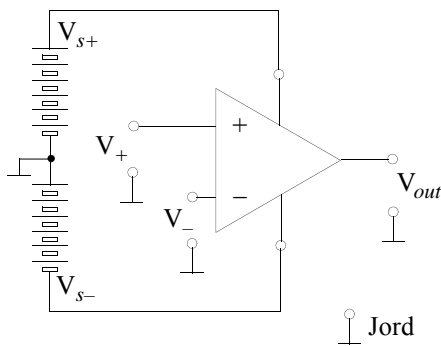
Figur 4.41 Eksempler på integrerte operasjonsforsterkere.

Moderne operasjonsforsterkere leveres som integrerte kretser med fra 6 til 16 bein. På bildet til høyre¹³ 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.



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 $V_{s-} = -9\text{ V}$

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 forenklede koblingsskjemaer som på figuren til venstre. I den neste figuren har vi også inkludert denne.



Figur 4.42 Operasjonsforsterker med spenningstilkobling og jording.

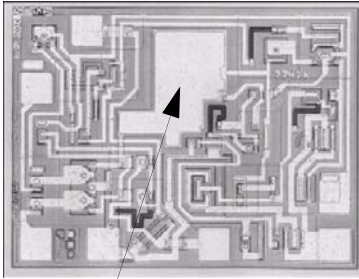
Figur 4.42 viser hvordan jordpunktene er koblet til midtpunktet mellom de to spenningskildene. Vi har ikke brydd oss om å markere at alle jordpunktene er koblet sammen, hvilket er tilfelle.

En av de første integrerte operasjonsforsterkerne som ble laget gikk under betegnelsen $\mu\text{A}741$ 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 $\mu\text{A}741$ hos ELFA er kr. 3,20 når man kjøper 10 stk.

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

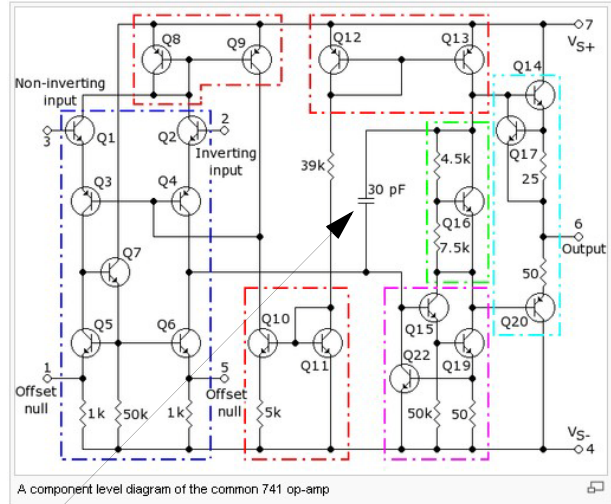


Førstørret bilde av chip for $\mu A741$



Kondensator

Figur 4.43 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 teknologi. 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 så stor plass (til venstre på figur 4.43). Kondensatoren er viktig for å gjøre kretsen stabil, dvs. at den ikke begynner å lage signaler på egen hånd (oscillere). 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.



Kondensator

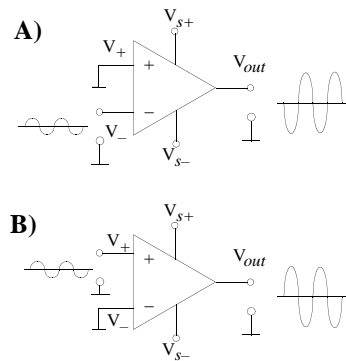
Figur 4.43 Koblingsskjema for den opprinnelige operasjonsforsterkeren $\mu A741$

4.4.2 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 som påtrykket inngangen bli snudd opp ned på utgangen, vi sier at det blir *invertert* (se figur 4.44 A).

Tilsvarende vil et signal påtrykt den ikke-inverterende inngangen, ikke bli snudd. Dette er forsøkt illustrert i figur 4.44 B. Vi legger merke til at signalet på utgangen også er forsterket.

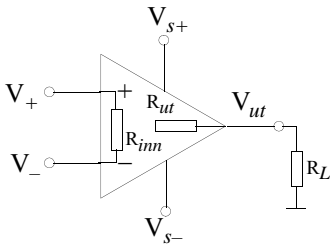
Egentlig er det differansesignalet mellom de to inngangene som blir forsterket. Dersom vi kobler sammen de to inngangene V_+ og V_- og sender samme signal inn på begge, så ville vi ideelt sett få null signal eller spenning på utgangen av kretsen.



Figur 4.44 Inverterende og ikke-inverterende inngang.



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



Figur 4.45 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.

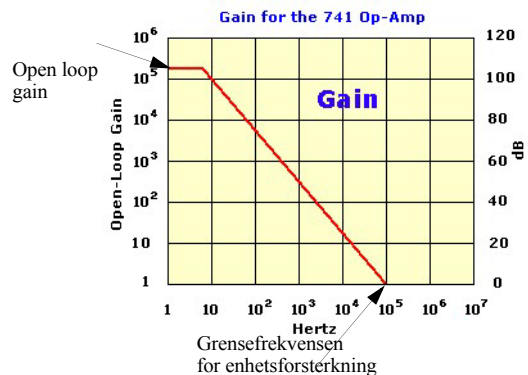
Utgangsmotstand (R_{ut}):

Utgangsmotstanden til operasjonsforsterkeren, R_{ut} , er motstand inne i kretsen som står i serie med lastmotstanden, R_L , som vi kobler på utgangen. 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 . 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 ytre lastmotstanden, 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 $0\ \Omega$. For en $\mu A741$ er R_{ut} typisk $75\ \Omega$, det vil si at den er relativt høy. Konsekvensen er at vi må belaste utgangen av denne operasjonsforsterkeren forsiktig.

Båndbredde og forsterkning

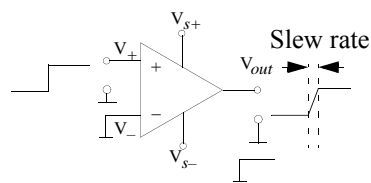
Båndbredden til en operasjonsforsterker forteller oss noe om hvor høye signalfrekvenser forsterkeren kan anvendes for. Etter som frekvensen øker vil forsterkningen avta. Dette er omtrent som for øret vårt. Ørets båndbredde til et nyfødt barn kan være opp mot 20 kHz , dvs. øret kan oppfatte lyder med frekvenser fra ca $16 - 20\ 000\text{ Hz}$. 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 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 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.

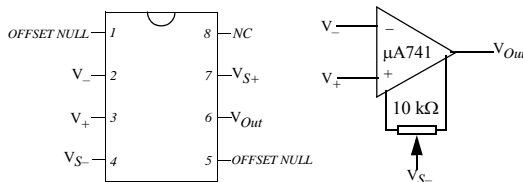


Evnen til rask endring kalles kretsens *slew rate* og angis som Volt/ μ s (dvs. hvor mange volt den klarer å stige fra 0 Volt i løpet av et milliontedels sekund). Målingen er ofte gjort når kretsen er koblet opp med en forsterkning lik 1 (enhetsforsterkning).

Ideelt sett ville vi ønsket et *slew rate* var uendelig stor, for en μ A741 er den imidlertid 0,5 V/ μ s, som ikke er spesielt raskt, men brukbart i mange sammenhenger.

Offset:

Offset er en parameter som skyldes ubalansanse 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 være i virkeligheten. Et avvik fra 0 V vil derfor være et avvik fra det ideelle. Dette avviket kalles *offset*.



Figur 4.46 Justering av offset.

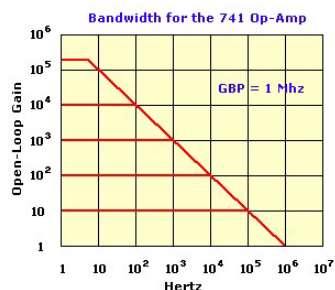
Til venstre på figur 4.46 er vist hva som er tilsluttet de ulike beina på kretsen (*pinningen*). Her er det to terminaler som er betegnet Offset null. Disse kobles til hver side på et potensiometer som vist til høyre på figur 4.46. Midtuttaket på potensiometeret tilkobles V_{S-} (– på spenningsforsyningen).

4.4.3 Praktiske oppkoblinger

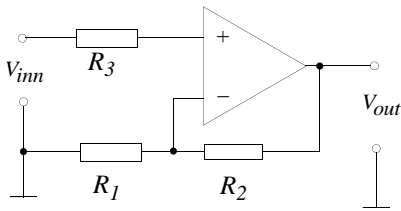
Nå er det skjelden vi trenger en forsterkning på 200 000 eller en båndbredde på mange MHz. Vi vil derfor som oftest redusere forsterkningen til ønsket nivå ved å *tilbakekoble forsterkeren*.

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. Av figur 4.47 ser vi at med en forsterkning på 10 så får vi en båndbredde på ca. 0–100 kHz.



Figur 4.47 Sammenhengen mellom båndbredde og forsterkning



Figur 4.48 Tilbakekoblet ikke-inverterende forsterker.

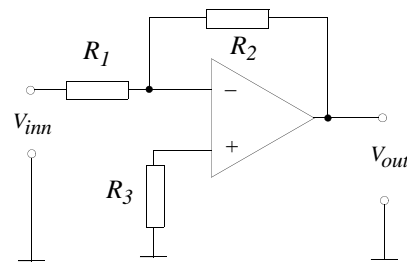
Figur 4.48 viser en enkel måte å koble signalet tilbake til inngangen. Forsterkningen er bestemt av forholdet mellom verdiene til motstandene R_1 og R_2 . Siden vi fører signalet inn på +inngangen (via R_3), vil ikke signalet bli invertert. R_3 beskytter inngangen og kan velges fra 1 til 10 k Ω . Den er uten betydning for forsterkningen. For å forenkle figuren har vi tillatt oss å sløyfe batteriene og jordpunktet mellom de to spenningskildene.

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

$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (4.34)$$

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. (4.34) 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 4.49. Her vil forsterkningen bli bestemt direkte av forholdet mellom R_2 og R_1 .



Figur 4.49 Tilbakekoblet inverterende forsterker.

$$A = -\frac{R_2}{R_1} \quad (4.35)$$

Legg merke til fortegnet som indikerer at forsterkeren inverterer signalet.

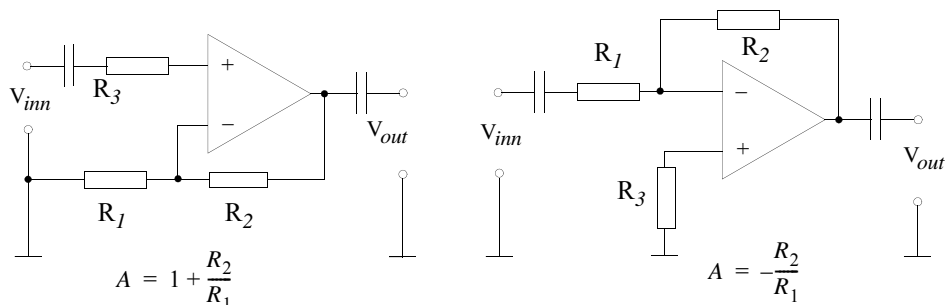
Vi legger merke til at ingen av de to forsterkerkoblingene er følsomme for *Open loop* forsterkningen. Om denne er 200 000 eller 300 000 så betyr dette lite for forsterkningen for en tilbakekoblet krets, så lenge spenningsforsterkningen holdes på et akseptabelt lavt nivå. Kretsen er derfor relativt ufølsom 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 sette en kondensator i serie med inngangen. Da unngår en temperaturdrift, men kretsen vil ikke fungere for likespenning og for lave frekvenser.



Figur 4.50 Ikke inverterende og inverterende forsterkerkobling med kondensator på inn- og utgang.

4.4.4 Komparatoren

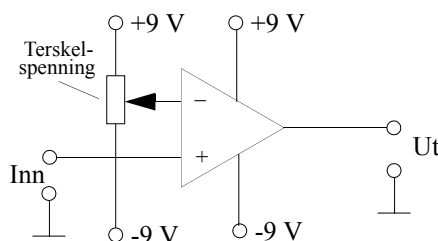
En komparator er en elektronisk krets som sammenligner en spenning på inngangen med en på forhånd innstilt terskelspenning. Når spenningen på inngangen overstiger terskelen, vil utgangen f.eks. gå fra 0 V til maksimal spenning (9 V).

La oss se på et konkret eksempel.

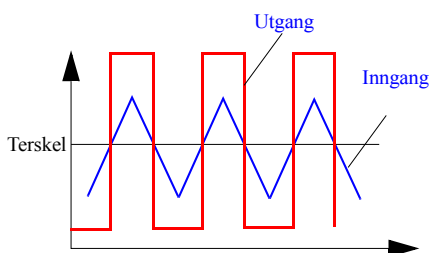
Figur 4.51 viser en komparator hvor minus-inngangen er koblet til et potensiometer. Ved hjelp av potensiometeret kan vi sette komparatorens *terskelspenning*. Pluss-inngangen tilkobles spenningen vi ønsker å sammenligne med terskelen. Spenningsnivået på utgangen vil fortelle oss om spenningen på inngangen 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 4.51 Oppkobling av komparator



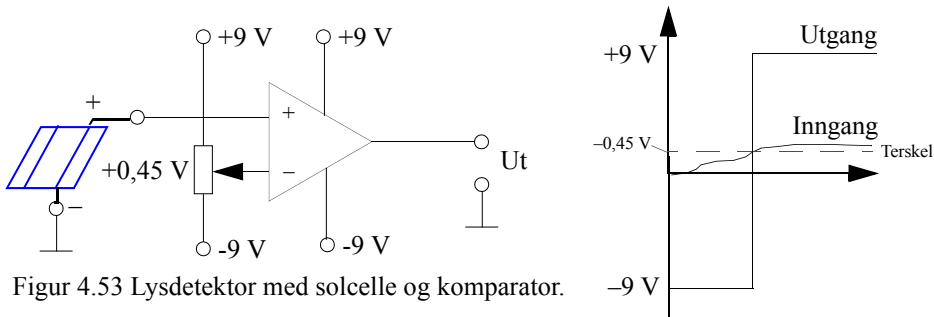
Figur 4.52 Inn- og utgangsspenning for komparatoren med terskelspenning som vist.



4.4.5 Komparator som lys- og mørkedetektor med solcelle

Vi skal lage en lys- eller mørkedetektor med en liten bit solcelle. Vi vet at solcellen, når den blir belyst, gir en spenning på ca. 0,5 V, mens den leverer ingen spenning når det er helt mørkt. Vi ønsker dessuten at utgangen av komparatoren skal styre et relé som tenner og slukker utelyset. Vi ønsker også å kunne justere følsomheten, f.eks. hvor mørkt det skal være før lyset slår seg på.

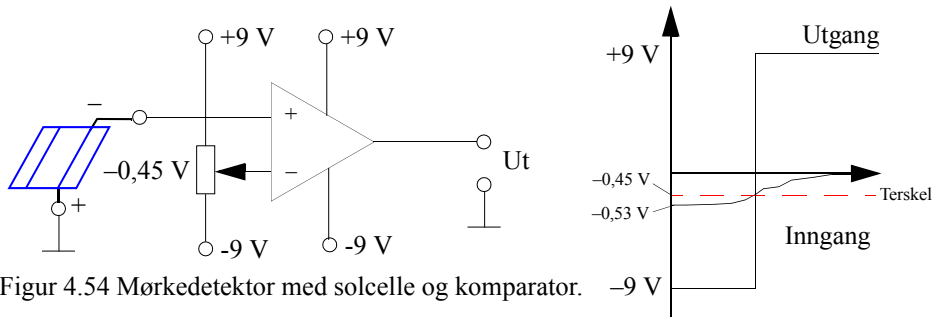
Figur 4.53 viser hvordan vi kan konstruere en **lysdetektor** ved hjelp av en solcelle. Solcella kobles mellom jord og pluss-inngangen. Vi setter terskelen på 0,45 V. Når solcella er i mørke vet vi at spenningen over den er omtrent lik 0 V. Dermed vil pluss-inngangen på komparatoren være lavere enn terskelspenningen og utgangen er “lav” (-9 V). Så snart det blir lyst nok slik at spenningen på solcella passerer terskelspenningen, vil spenningen på utgangen gå “høy” (+9 V).



Figur 4.53 Lysdetektor med solcelle og komparator.

Diagrammet lengst til høyre hjørne i figuren, viser hvordan spenningen på utgangen vil variere etter som inngangsspenningen øker med lysstyrken, for til slutt å passere terskelspenningen.

Figur 4.54 viser hvordan lysdetektoren kan gjøres om til en **mørkedetektor** ved å bytte om pluss- og minus-polen på solcella. Vi tenker oss at solcella i utgangspunktet er belyst, dermed vil pluss-inngangen på komparatoren ligge på ca. -0,5 V. Stiller vi terskelspenningen på -0,45 V, ser vi at komparatorinngangen (+) er mer negativ enn terskelspenningen slik at utgangsspenningen er “lav” (-9 V). Etter som det blir mørkere, vil spenningen over solcella bli mindre negativ inntil den til slutt passerer terskelverdien og utgangen går “høy” (+9 V).



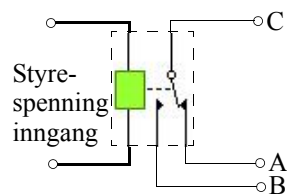
Figur 4.54 Mørkedetektor med solcelle og komparator.



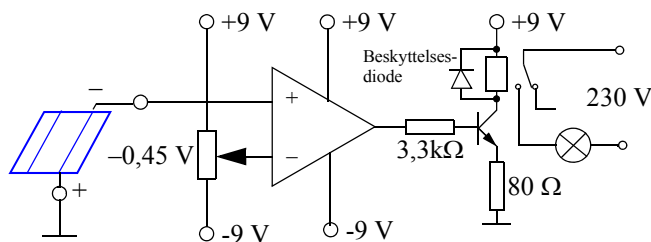
Mørkedetektor med styring av 230 V

For at kretsen skal kunne styre et 230 V anlegg, må vi bruke et relé. Et relé er en elektronisk bryter som kan betjenes av et lavspent signal på noen få Volt, men som selv kan styre store spenninger og strømmer. I Yenka Technology er et relé tegnet som vist på figuren til høyre.

Når det settes spenning på inngangen, vil bryteren slå om slik at terminal C kobles til terminal B. Ellers vil C være koblet til A.



Figur 4.55 Relé.



Figur 4.56 Mørkedetektor med driver og relé.

En operasjonsforsterker kan ha problemer med å drive et relé. Dette kan løses ved å koble en transistorforsterker etter operasjonsforsterkeren som vist på figur 4.56.

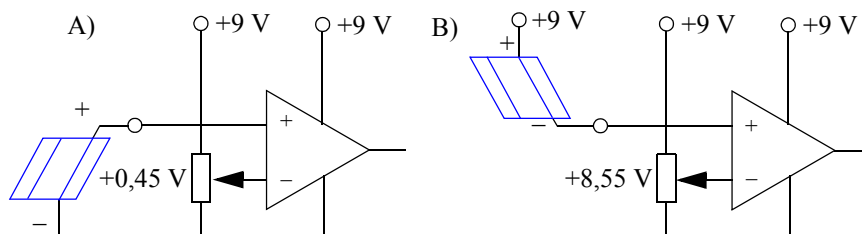
En viktig detalj må heller ikke glemmes. Et relé består av en spole. En spole vil alltid forsøke å motsette seg endringer i strømmen.

Når vi slår av strømmen gjennom reléet, så vil spolen sette opp en spenning som forsøker å bevare strømmen gjennom spolen. Denne spenningen kan være “dødlig” for transistoren. For å kortslutte denne spenningen, setter vi en diode over spolen som er slik at den ikke vil lede når forskyningsspenningen er tilkoblet, men bare når spolens motspenning oppstår.

Motstanden på 80 Ω i emitteren skal regulere strømmen gjennom transistoren og reléet, mens motstanden på 3,3 kΩ i basen skal begrense basestrømmen.

Enkel spenningsforskyning

Enkelte operasjonsforsterkere operere med bare ett batteri f.eks. 9 V (*enkel spenningsforskyning*). Dette forenkler ofte konstruksjonen og kan være å foretrekke, men har noen konsekvenser for hvordan vi konstruerer lys- og mørkedektoren med solcelle.



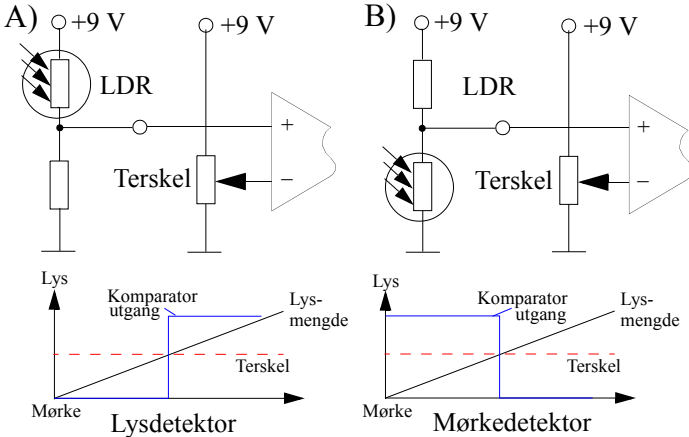
Figur 4.57 A) Lys- og B) mørkedetektor med solcelle.

Lysdetektoren er som tidligere beskrevet. Når vi konstruerer mørkedektoren kobler vi solcella mellom +9 V og plussinngangen, samtlig som vi justerer terskelspenningen til +8,55 V. Vi vet at når pluss-inngangen på operasjonsforsterker er mer positiv enn minus-inngangen er utgangen



“høy” (. Dette er tilfelle når solcella er i mørke. Når solcella belyses vil spenningen ligge på ca. $0,5 \text{ V}$. $9 \text{ V} - 0,5 \text{ V} = 8,5 \text{ V}$ hvilket er under terskelspenningen på $+8,45 \text{ V}$, slik at utgangen er “lav” (0 V).

4.4.6 Komparator som lysdetektor med LDR (lysfølsom motstand)



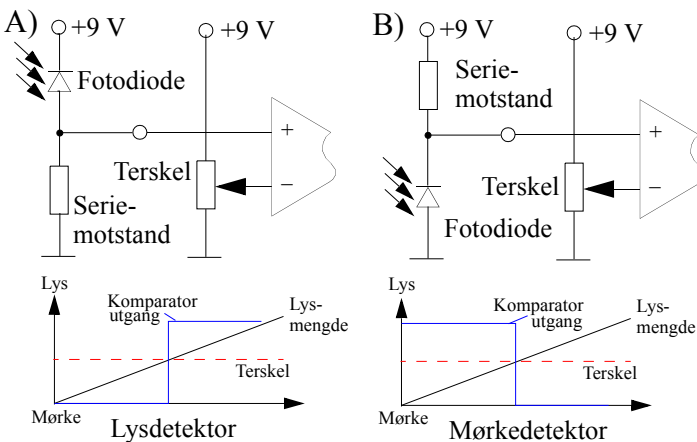
Figur 4.58 A) Lys- og B) mørkedetektor med bruk av LDR.

I stedet for en solcelle kan vi bruke en lysfølsom motstand, en LDR (Light Dependent Resistor) for å lage en lysdetektor. Resistanzen i en LDR faller med lysintensiteten. Vi lar den lysfølsomme motstanden inngå i spenningsdelerene montert på inngangen av komparatoren. Med LDR-en koblet mot $+9 \text{ V}$ (figur 4.58 A), vil spenningen på komparatorinngangen (+) stige med økende lysintensitet. Det vil si at komparatoren

slås på når lysintensiteten blir sterk nok, og vi har laget en lysdetektor.

Kobler vi LDR-en mot jord (figur 4.58 B), vil spenningen på komparatorinngangen (+) falle med økende lysintensitet. Det vil si at komparatoren slås av når lysintensiteten blir sterk nok, og vi har laget en “mørkedetektor”. Se avsnitt 7.3.1 for karakterisering av en LDR.

4.4.7 Komparator som lysdetektor med fotodiode



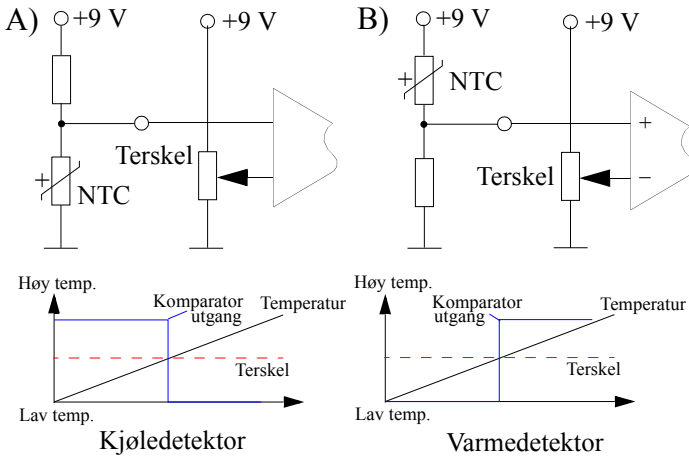
Figur 4.59 A) Lys- og B) mørkedetektor med bruk av fotodiode.

En fotodiode kan med fordel brukes i stedet for en LDR. Den mest nærliggende fordel er prisen og tilgjengeligheten (for nærmere beskrivelse av fotodiode se avsnitt 7.3.2). Legg spesielt merke til at fotodioden kobles i sperreretning. Når fotodioden utsettes for lys, vil strømmen i sperreretningen øke og spenningsfallet over seriemotstanden vil øke tilsvarende slik at terskel-



spenningen nås og komparatoren slår om. Det kan diskuteres om vi skal kalle den lysfølsomme komponenten for en diode eller en transistor. Strengt tatt er det en diode som er koblet mellom basen og collectoren på en transistor. På denne måten oppnås en mer følsom komponent. For mer informasjon om fotodioden, se avsnitt 7.3.2.

4.4.8 Komparator som termostat (temperaturfølsom motstand)



Figur 4.60 A) Kjøle- og B) varmedetektor med NTC-motstand.

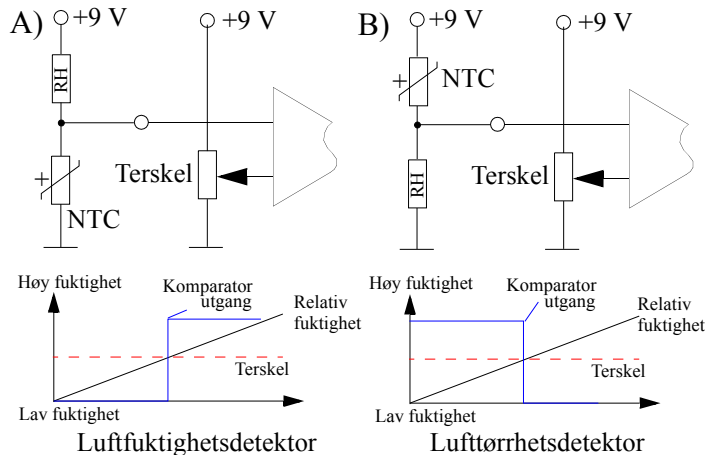
Resistansen til en NTC-motstand avtar med økende temperatur (Negativ Temperature Coefficient). I koblingen i figur 4.60 A, er NTC-motstanden koblet til jord. Det vil si at spenningen på komparatorinngangen øker med fallende temperatur. Komparatoren vil dermed gi høy spenning på utgangen når temperaturen har falt under terskelnivået. Vi har fått en *kjøledetektor*.

I kretsen i figur 4.60 B) er NTC-motstanden koblet mot

+9 V, dvs. at spenningen på komparatorinngangen vil avta når temperaturen stiger. Komparatoren gir dermed høy spenning på utgangen når temperaturen er over terskelnivået. Vi har fått en *varmedetektor*. For mer informasjon om NTC-motstanden se avsnitt 7.2.1.

4.4.9 Luftfuktighetsdetektor

Relativ fuktighet i luft er en parameter som både avhenger av fuktigheten og temperaturen. For å lage en luftfuktighetssensor må vi derfor strengt tatt kombinere en luftfuktighetssensor og temperaturvariabel motstand. Valg av NTC-motstand er kritisk for å oppnå en entydig sammenheng mellom relativ fuktighet og omslagspunktet. Figur 4.61 A) viser



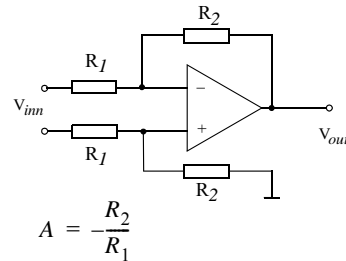
Figur 4.61 A) Luftfuktighets- og B) lufttørrehetsdetektor med bruk av luftfuktighetssensoren H25K5A.

en kretsløsning som gir høy spenning på utgangen av komparatoren når fuktigheten i luften *er over* terskelverdien. Kretsen i figur 4.61 B vil gi høy spenning når luftfuktigheten *er under* terskelverdien. For valg av komponentverdier se avsnitt 7.5.2.

Simulering av komparatorkretsen i dette avsnittet er beskrevet i avsnitt 5.4 på side 119, videre er bygging av kretsen beskrevet i avsnitt 8.4 på side 224.

4.4.10 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 vår til målinger som vi skal se i forbindelse med bygging av en målebro i avsnitt 9.3 på side 266. Siden operasjonsforsterkeren i utgangspunktet forsterker spenningen som ligger mellom de to inngangene V_+ og V_- , så skulle vi tro at denne forsterkeren var godt egnet som differensialforsterker. Oppkobling vist på figur 4.62 vil da også fungere, men vil ha en del ulemper.

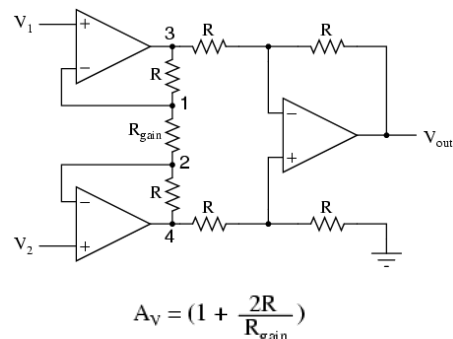


Figur 4.62 Differensialforsterker med én operasjonsforsterker.

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.

Begge disse problemene kan lett løses ved å bruke tre forsterkere koblet opp som vist på figur 4.63¹⁴. 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.

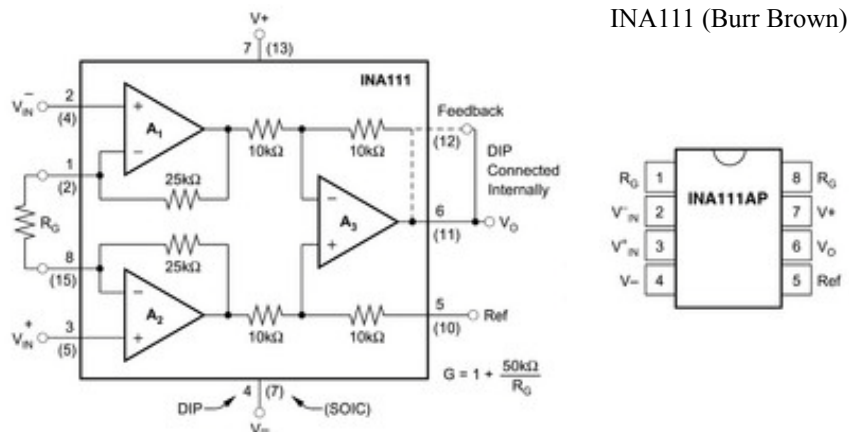


Figur 4.63 Differensialforsterker med tre operasjonsforsterkere.

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



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.



Figur 4.64 Integrert differensialforsterker fra Burr-Brown.

4.5 AD-konverteren - fra analoge til digitale signaler

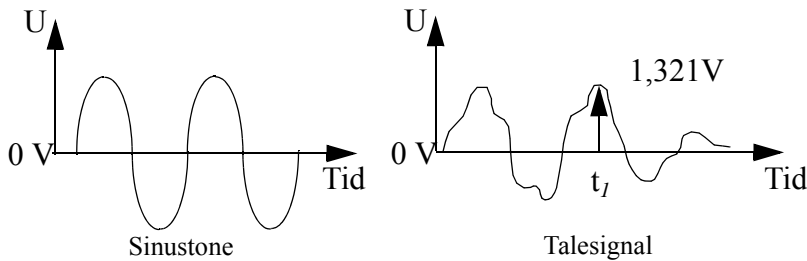
Analog til digitalkonvertere (AD-konvertere) er viktige komponenter for å omdanne analoge signaler til digitale tallverdier. La oss først se litt på *sampling* og hva *digital representasjon* av et signal er.

4.5.1 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 tenke oss at vi la til 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.



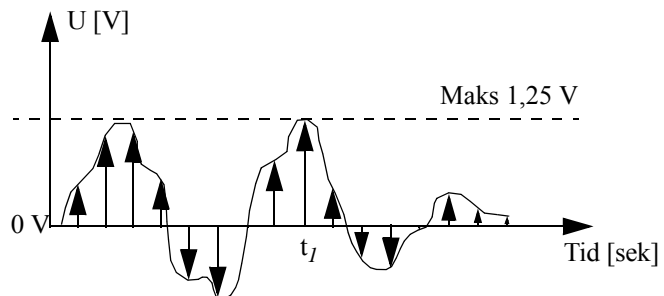
Figur 4.65 Eksempler på kontinuerlige og varierende signaler.

Dersom vi på et gitt tidspunkt måler amplitudeverdien til signalet (*øyeblikksverdien*), kan vi f.eks. tenke oss at vi måler verdien 1,321V. 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.

En kan nå spørre seg hvor ofte en skal sample et signal. Dersom vi ønsker å gjenskape signalet mest mulig nøyaktig på et senere tidspunkt, må vi sample signalet svært ofte.

Dersom vi nøyer oss med å gjengi signalet i grove trekk, samler vi skjeldnere.



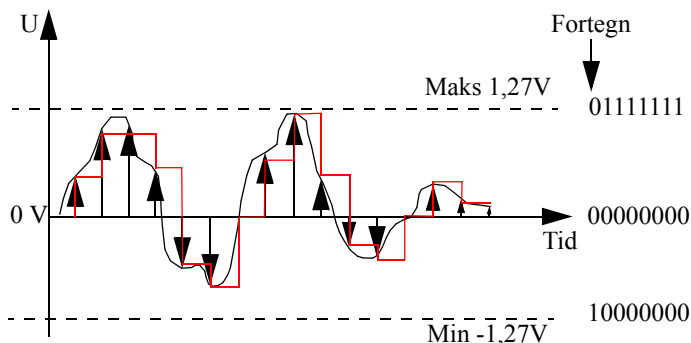
Figur 4.66 Punktprøving av et kontinuerlig signal.

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

Skal vi gjenskape et analogt signalet som er punktprøvd med en punktprøvsrate 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 samlingsfrekvens 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 4.67 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 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 4.68. A.

| | A) | B) |
|--|----------------------|----------------------|
| angis med tallet 00000000. Signalverdien 0 V | + 1,27 V - 0111 1111 | + 1,27 V - 0111 1111 |
| angis med tallet 00000001, 10 mV | + 0,03 V - 0000 0011 | + 0,03 V - 0000 0011 |
| angis med tallet 00000010, 20 mV | + 0,02 V - 0000 0010 | + 0,02 V - 0000 0010 |
| angis med tallet 00000011, 30 mV | + 0,01 V - 0000 0001 | + 0,01 V - 0000 0001 |
| angis med tallet 00000100, 40 mV | 0,00 V - 0000 0000 | 0,00 V - 0000 0000 |
| angis med tallet 00000101, 50 mV | - 0,01 V - 1000 0001 | - 0,01 V - 1111 1111 |
| angis med tallet 00000110, 60 mV | - 0,02 V - 1000 0010 | - 0,02 V - 1111 1110 |
| angis med tallet 00000111, 70 mV | - 0,03 V - 1000 0011 | - 0,03 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00001000, 80 mV | - 0,04 V - 1000 0000 | - 0,04 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00001001, 90 mV | - 0,05 V - 1000 0001 | - 0,05 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00001010, 100 mV | - 0,06 V - 1000 0010 | - 0,06 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00001011, 110 mV | - 0,07 V - 1000 0011 | - 0,07 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00001100, 120 mV | - 0,08 V - 1000 0000 | - 0,08 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00001101, 130 mV | - 0,09 V - 1000 0001 | - 0,09 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00001110, 140 mV | - 0,10 V - 1000 0010 | - 0,10 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00001111, 150 mV | - 0,11 V - 1000 0011 | - 0,11 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00010000, 160 mV | - 0,12 V - 1000 0000 | - 0,12 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00010001, 170 mV | - 0,13 V - 1000 0001 | - 0,13 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00010010, 180 mV | - 0,14 V - 1000 0010 | - 0,14 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00010011, 190 mV | - 0,15 V - 1000 0011 | - 0,15 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00010100, 200 mV | - 0,16 V - 1000 0000 | - 0,16 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00010101, 210 mV | - 0,17 V - 1000 0001 | - 0,17 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00010110, 220 mV | - 0,18 V - 1000 0010 | - 0,18 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00010111, 230 mV | - 0,19 V - 1000 0011 | - 0,19 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00011000, 240 mV | - 0,20 V - 1000 0000 | - 0,20 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00011001, 250 mV | - 0,21 V - 1000 0001 | - 0,21 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00011010, 260 mV | - 0,22 V - 1000 0010 | - 0,22 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00011011, 270 mV | - 0,23 V - 1000 0011 | - 0,23 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00011100, 280 mV | - 0,24 V - 1000 0000 | - 0,24 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00011101, 290 mV | - 0,25 V - 1000 0001 | - 0,25 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00011110, 300 mV | - 0,26 V - 1000 0010 | - 0,26 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00011111, 310 mV | - 0,27 V - 1000 0011 | - 0,27 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00100000, 320 mV | - 0,28 V - 1000 0000 | - 0,28 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00100001, 330 mV | - 0,29 V - 1000 0001 | - 0,29 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00100010, 340 mV | - 0,30 V - 1000 0010 | - 0,30 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00100011, 350 mV | - 0,31 V - 1000 0011 | - 0,31 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00100100, 360 mV | - 0,32 V - 1000 0000 | - 0,32 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00100101, 370 mV | - 0,33 V - 1000 0001 | - 0,33 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00100110, 380 mV | - 0,34 V - 1000 0010 | - 0,34 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00100111, 390 mV | - 0,35 V - 1000 0011 | - 0,35 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00101000, 400 mV | - 0,36 V - 1000 0000 | - 0,36 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00101001, 410 mV | - 0,37 V - 1000 0001 | - 0,37 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00101010, 420 mV | - 0,38 V - 1000 0010 | - 0,38 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00101011, 430 mV | - 0,39 V - 1000 0011 | - 0,39 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00101100, 440 mV | - 0,40 V - 1000 0000 | - 0,40 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00101101, 450 mV | - 0,41 V - 1000 0001 | - 0,41 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00101110, 460 mV | - 0,42 V - 1000 0010 | - 0,42 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00101111, 470 mV | - 0,43 V - 1000 0011 | - 0,43 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00110000, 480 mV | - 0,44 V - 1000 0000 | - 0,44 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00110001, 490 mV | - 0,45 V - 1000 0001 | - 0,45 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00110010, 500 mV | - 0,46 V - 1000 0010 | - 0,46 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00110011, 510 mV | - 0,47 V - 1000 0011 | - 0,47 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00110100, 520 mV | - 0,48 V - 1000 0000 | - 0,48 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00110101, 530 mV | - 0,49 V - 1000 0001 | - 0,49 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00110110, 540 mV | - 0,50 V - 1000 0010 | - 0,50 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00110111, 550 mV | - 0,51 V - 1000 0011 | - 0,51 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00111000, 560 mV | - 0,52 V - 1000 0000 | - 0,52 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00111001, 570 mV | - 0,53 V - 1000 0001 | - 0,53 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00111010, 580 mV | - 0,54 V - 1000 0010 | - 0,54 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00111011, 590 mV | - 0,55 V - 1000 0011 | - 0,55 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00111100, 600 mV | - 0,56 V - 1000 0000 | - 0,56 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00111101, 610 mV | - 0,57 V - 1000 0001 | - 0,57 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 00111110, 620 mV | - 0,58 V - 1000 0010 | - 0,58 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 00111111, 630 mV | - 0,59 V - 1000 0011 | - 0,59 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01000000, 640 mV | - 0,60 V - 1000 0000 | - 0,60 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01000001, 650 mV | - 0,61 V - 1000 0001 | - 0,61 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01000010, 660 mV | - 0,62 V - 1000 0010 | - 0,62 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01000011, 670 mV | - 0,63 V - 1000 0011 | - 0,63 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01000100, 680 mV | - 0,64 V - 1000 0000 | - 0,64 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01000101, 690 mV | - 0,65 V - 1000 0001 | - 0,65 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01000110, 700 mV | - 0,66 V - 1000 0010 | - 0,66 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01000111, 710 mV | - 0,67 V - 1000 0011 | - 0,67 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01001000, 720 mV | - 0,68 V - 1000 0000 | - 0,68 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01001001, 730 mV | - 0,69 V - 1000 0001 | - 0,69 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01001010, 740 mV | - 0,70 V - 1000 0010 | - 0,70 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01001011, 750 mV | - 0,71 V - 1000 0011 | - 0,71 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01001100, 760 mV | - 0,72 V - 1000 0000 | - 0,72 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01001101, 770 mV | - 0,73 V - 1000 0001 | - 0,73 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01001110, 780 mV | - 0,74 V - 1000 0010 | - 0,74 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01001111, 790 mV | - 0,75 V - 1000 0011 | - 0,75 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01010000, 800 mV | - 0,76 V - 1000 0000 | - 0,76 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01010001, 810 mV | - 0,77 V - 1000 0001 | - 0,77 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01010010, 820 mV | - 0,78 V - 1000 0010 | - 0,78 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01010011, 830 mV | - 0,79 V - 1000 0011 | - 0,79 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01010100, 840 mV | - 0,80 V - 1000 0000 | - 0,80 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01010101, 850 mV | - 0,81 V - 1000 0001 | - 0,81 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01010110, 860 mV | - 0,82 V - 1000 0010 | - 0,82 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01010111, 870 mV | - 0,83 V - 1000 0011 | - 0,83 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01011000, 880 mV | - 0,84 V - 1000 0000 | - 0,84 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01011001, 890 mV | - 0,85 V - 1000 0001 | - 0,85 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01011010, 900 mV | - 0,86 V - 1000 0010 | - 0,86 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01011011, 910 mV | - 0,87 V - 1000 0011 | - 0,87 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01011100, 920 mV | - 0,88 V - 1000 0000 | - 0,88 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01011101, 930 mV | - 0,89 V - 1000 0001 | - 0,89 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01011110, 940 mV | - 0,90 V - 1000 0010 | - 0,90 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01011111, 950 mV | - 0,91 V - 1000 0011 | - 0,91 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01100000, 960 mV | - 0,92 V - 1000 0000 | - 0,92 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01100001, 970 mV | - 0,93 V - 1000 0001 | - 0,93 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01100010, 980 mV | - 0,94 V - 1000 0010 | - 0,94 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01100011, 990 mV | - 0,95 V - 1000 0011 | - 0,95 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01100100, 1,00 V | - 0,96 V - 1000 0000 | - 0,96 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01100101, 1,01 V | - 0,97 V - 1000 0001 | - 0,97 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01100110, 1,02 V | - 0,98 V - 1000 0010 | - 0,98 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01100111, 1,03 V | - 0,99 V - 1000 0011 | - 0,99 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01101000, 1,04 V | - 1,00 V - 1000 0000 | - 1,00 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01101001, 1,05 V | - 1,01 V - 1000 0001 | - 1,01 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01101010, 1,06 V | - 1,02 V - 1000 0010 | - 1,02 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01101011, 1,07 V | - 1,03 V - 1000 0011 | - 1,03 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01101100, 1,08 V | - 1,04 V - 1000 0000 | - 1,04 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01101101, 1,09 V | - 1,05 V - 1000 0001 | - 1,05 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01101110, 1,10 V | - 1,06 V - 1000 0010 | - 1,06 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01101111, 1,11 V | - 1,07 V - 1000 0011 | - 1,07 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01110000, 1,12 V | - 1,08 V - 1000 0000 | - 1,08 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01110001, 1,13 V | - 1,09 V - 1000 0001 | - 1,09 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01110010, 1,14 V | - 1,10 V - 1000 0010 | - 1,10 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01110011, 1,15 V | - 1,11 V - 1000 0011 | - 1,11 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01110100, 1,16 V | - 1,12 V - 1000 0000 | - 1,12 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01110101, 1,17 V | - 1,13 V - 1000 0001 | - 1,13 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01110110, 1,18 V | - 1,14 V - 1000 0010 | - 1,14 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01110111, 1,19 V | - 1,15 V - 1000 0011 | - 1,15 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01111000, 1,20 V | - 1,16 V - 1000 0000 | - 1,16 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01111001, 1,21 V | - 1,17 V - 1000 0001 | - 1,17 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01111010, 1,22 V | - 1,18 V - 1000 0010 | - 1,18 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01111011, 1,23 V | - 1,19 V - 1000 0011 | - 1,19 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01111100, 1,24 V | - 1,20 V - 1000 0000 | - 1,20 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01111101, 1,25 V | - 1,21 V - 1000 0001 | - 1,21 V - 1111 1011 |
| angis med tallet 01111110, 1,26 V | - 1,22 V - 1000 0010 | - 1,22 V - 1111 1010 |
| angis med tallet 01111111, 1,27 V | - 1,23 V - 1000 0011 | - 1,23 V - 1111 1011 |

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 4.68 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.

Figur 4.68 A) Digital representasjon av spenningsnivåer.
B) Digital representasjon av spenningsnivåer med toer's komplement

Toer's komplement for et negativt heltall lages ved at vi tar det tilsvarende positive binære heltallet og inverterer alle sifrene ($0 \Rightarrow 1$ og $1 \Rightarrow 0$). Derneft 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.

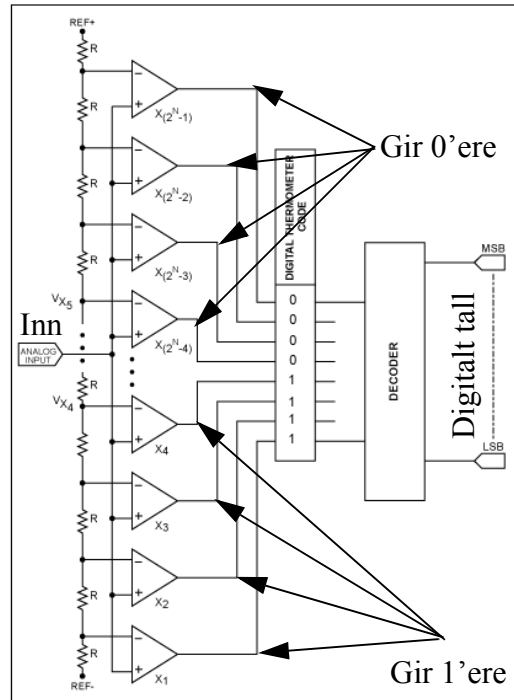
4.5.2 AD-konverteren

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. 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). Om den er under terskelen, settes utgangen til 0 (dvs. lav spenning). 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 4.68.

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.



Figur 4.69 Flash A/D-konverter





5 Simulering av elektroniske kretser

For å korte ned tiden i laboratoriet, brukes så og si alltid en simulator når en designer elektroniske kretser. Noen simulatorer er så gode at en slipper å bygge opp prototyper av kretsene før en setter dem i produksjon. Dette er helt avgjørende når en f.eks. skal lage integrerte kretser. Komponentene i integrerte kretser har ofte så spesielle egenskaper at selv om en bygger opp kretsen med enkeltkomponenter (transistorer, dioder, motstander osv.) vil en slik oppkobling ha så forskjellige egenskaper i forhold til den integrerte versjonen, at den ofte har liten verdi. Derfor er det spesielt viktig at de *matematiske modellene* som beskriver komponentene i integrerte kretser er så nær virkeligheten som mulig.

I andre sammenhenger foretrekkes simulering fordi det er enklere og raskere. Simulatoren gir dessuten en rekke andre fordeler:

- Det er lett å bytte ut komponenter og å endre verdier på motstander, kondensatorer, spoler osv.
- En simulator vil aldri gå tom for komponenter eller måleinstrumenter
- Det er lett å måle strøm og spenning
- Det er lett å få oversikt over kretsdesignet
- Gal oppkobling vil aldri ødelegge simulatoren

Ulempen er at modellene som simulerer de enkelte komponentene ikke er gode nok. Dermed kan man ikke stole på at simulatoren alltid vil oppføre seg som virkeligheten. Det er derfor lurt å koble opp kretsen på lab'en når vi er fornøyd med de simulerte resultatene og på den måten bekrefte eller avkrefte resultatene fra simulatoren. Ev. kan en bruke måleresultatene til å korrigere simuleringen slik at den blir virkelighetsnær.

I dette kapitlet skal vi bruke en relativt enkel simulator, Yenka Technology¹⁵, som en hjelp til å forstå og teste ut enkle elektriske og elektroniske kretser.

Ved hjelp av dette programmet kan vi bygge opp og simulere:

1. Elektriske og elektroniske kretser
2. Simulere digitale kretser
3. Enkle mikrokontrollere
4. Enkle mekaniske systemer med motorer og tannhjul mm

Dessuten kan kretsene vises i 3D samt legges ut på kretskort.

I dette kapitlet skal vi nøye oss med å bygge opp enkle elektriske og elektroniske kretser samt simulere kretsens virkemåte. Men la oss første installere programmet.

15. Programmet leveres av Gammadata Norge (<http://legacy.gammadata.se/norway/>)
I 2008 skiftet programmet navn til fra Crocodile Technology til Yenka Technology



5.1 Brukerveiledning for simulatoren Yenka

5.1.1 Nedlasting og installasjon av Yenka

For hjemmebruk er programpakken Yenka gratis. Den består av i alt fire moduler: *Computing*, *Mathematics*, *Science* og *Technology*. Vi skal her kun omtale en del av Teknologi-programmet.

Programmodulene lastes ned fra nettstedet: <http://www.yenka.com>

Nederst på siden finner du en knapp for nedlasting. Modulen er på 58 Mbyte og inneholder alle fire programmene fritt tilgjengelig, men kun til hjemmebruk. Skolelisenser kan kjøpes i tre størrelser. Liten lisens inntil 599 elever, medium lisens inntil 1199 elever og stor lisens ubegrenset antall. Prisen for *Physics and electronics* er 600£, og 400£ for *Technology* for en skolelisens for inntil 599 elever. Samtlige priser finnes på følgende nettside: <http://www.yenka.com/en/Prices/>



Etter at programmet er lastet ned og startes opp, følges anvisningene for installasjon og registrering. Så er det bare å begynne.

5.1.2 Yenka Technology – grunnleggende innføring

La oss først få oversikt over noen av menyene i programmet.

Når vi starter programmet får vi følgende valg:



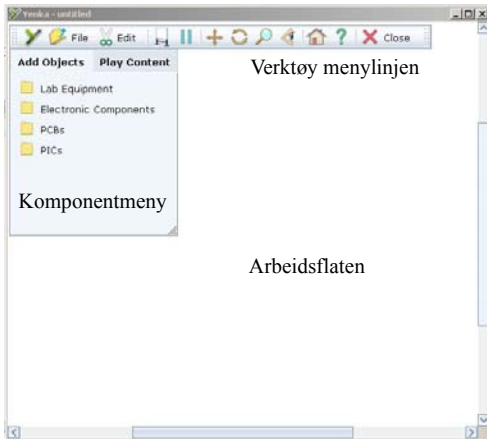
Figur 5.1 Åpningssiden i Yenka Technology gir fire valg:

- *Basic Circuits*
Bygg opp kretser med avbildede komponenter. Utvalg av komponenter er sterkt begrenset.
- *Electronics*
Bygg opp kretser med komponenter representert med symboler. Utvalget av komponenter er relativt stort.
- *PCBs with Electronics*
Lager utlegg for trykte kretskort, enten automatisk eller manuelt.
- *PICs*
Programmering av mikroprosessorer og kontrollere.
- *Gears*
Bruk av motorer og elektromagneter sammen med elektronikk.

Yenka består av fire ulike programpakker. Her vil vi kun omtale Yenka Technology. Velges en av de tre andre får vi mulighet til å laste ned andre av Yenkas produkter for uttesting. Hjemmeversjonen inneholder fullversjon av alle fire programmene til fri bruk.

Her vil vi konsentrere oppmerksomheten omkring *Yenka Technology* og *Electronics*.

Trykk på *Electronics* og få opp følgende skjermbilde:



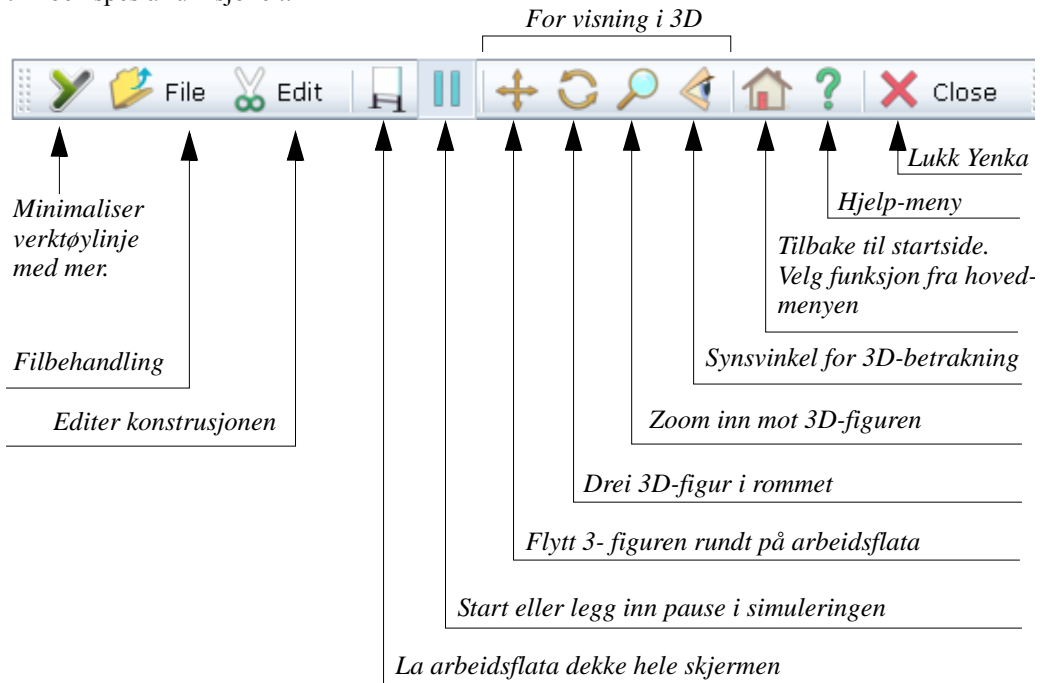
Figur 5.2 Arbeidsflaten med menyer:

- *Arbeidsflaten*
Dette er det området hvor vi tegner kretsskjemaet, tilkobler signaler og gjør målinger.
- *Verktøy menylinjen*
inneholder standard funksjoner for filbehandling, utskrift og editering, i tillegg til visualisering av kretskonstruksjonen.
- *Komponentmenyen*
inneholder komponentbibliotek (*Add objects*) og eksempelkreter (*Play Content*).

Den store hvite flaten er *arbeidsflaten* hvor kretsene kobles opp. Det er mulig å bygge opp flere frittstående kretser på samme flate og kjøre parallelle simuleringer.

Verktøy menylinja

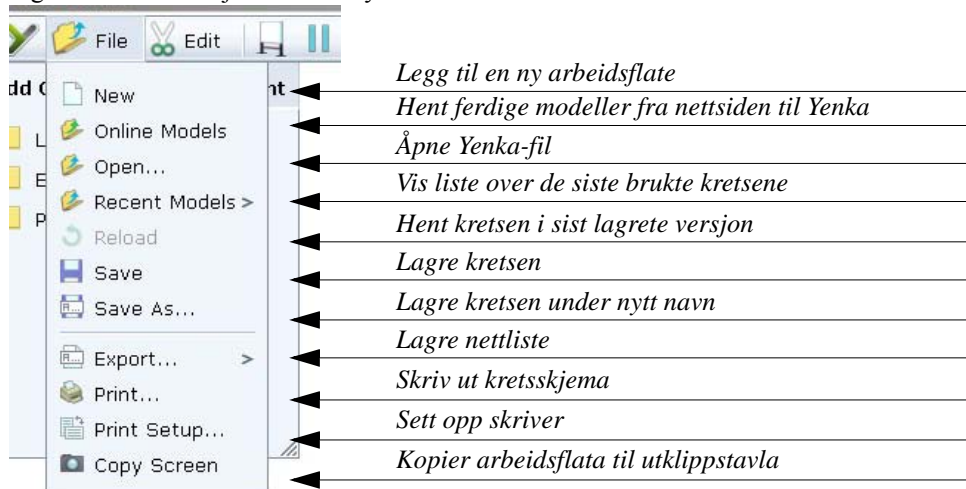
Øverst, på *verktøy menylinja* kjenner vi igjen de vanlige rullegardinmenyene *File* og *Edit* i tillegg til noen spesialfunksjoner..



Figur 5.3 Verktøy menylinja i Yenka Technology.



Figur 5.4 viser detaljer fra filmenyen.



Figur 5.4 Filmenyen

Kommentarene i figur 5.3 og figur 5.4 burde være tilstrekkelig for å forstå funksjonene.

Venstre meny



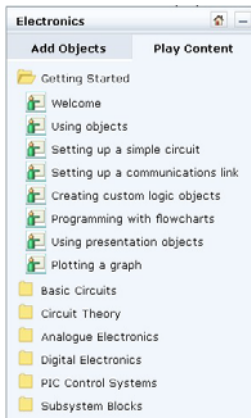
Figur 5.5 Venstre hovedmeny.

Menyene til venstre på arbeidsflata (se figur 5.5) har to hovedvalg:

Play Content: Menyene inneholder *Getting started*, *Tutorials* og en mengde eksempler hentet fra de ulike temaene.

Add objects: Menyene inneholder komponentlister innen de ulike kategoriene. Det er fra denne vi plukker komponenter når vi konstruerer kretsene.

La oss se hva de enkelte menyene inneholder:



Figur 5.6 “Contents”,
eksempel meny

Play Contents:

Her finner vi guidede turer gjennom hovedtemaene (*Getting started*). I tillegg ligger det en mengde eksempler som kan prøves ut både for elektriske kretser (*Basic Circuits og Circuit Theory*), analoge elektroniske kretser (*Analogue Electronics*), digitale elektroniske kretser (*Digital Electronics*), mikroprosessorer og mikrokontrollere (*PIC Control systems*) og eksempel på bruk av systemblokker (*Subsystem Blocks*). Sistnevnte viser hvordan det er mulig å bygge opp under-systemer (subsystems) som så kan kobles sammen på systemnivå.

Getting started gir trinn for trinn instruksjoner for hvordan kretsene skal bygges opp.

Add Objects:



Figur 5.7 “Contents”,
eksempel meny

Denne delen av menyen inneholder byggeelementer, transistorer, dioder, motstander, kondensatorer, integrerte kretser, mikrokontrollere og mekaniske komponenter som tannhjul, kjeder og motorer mm.

På øverste nivå kan vi velge mellom:

- *Lab equipment*: Strøm- og spenningskilder (*Power supply* - batterier o.l.), måleinstrumenter (*Measurement* - volt- og amperemeter, grafter og signalkilder), Brytere som gir logiske signaler, målep- rober for logiske nivåer, mm (*Logic*). i tillegg til ulike hjelpemidler for å presentere signaler, skrive inn verdier o.l. (*Presentation*).
- *Electronic Componets*: Digitale og analoge komponenter, passive og aktive komponenter.
- *PICs*: Mikroprosessorprogrammering

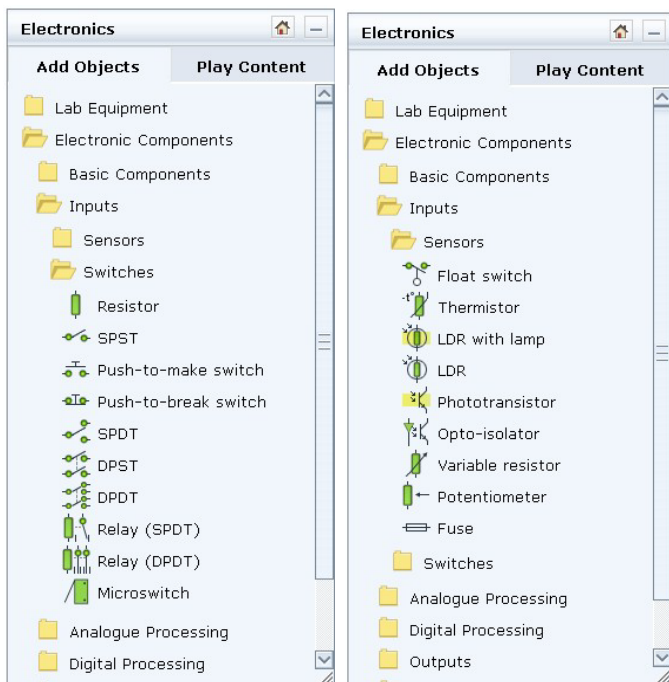


Figur 5.10 viser hvor vi finner basiskomponentene på bilde- og symbolsk form.



Figur 5.8 viser undermenyen: Basiskomponenter som er delt inn i to undergrupper *Pictorial* (bilderepresentasjon av noen komp.) og *Symbolic* (symbolsk representasjon av noen komponenter).

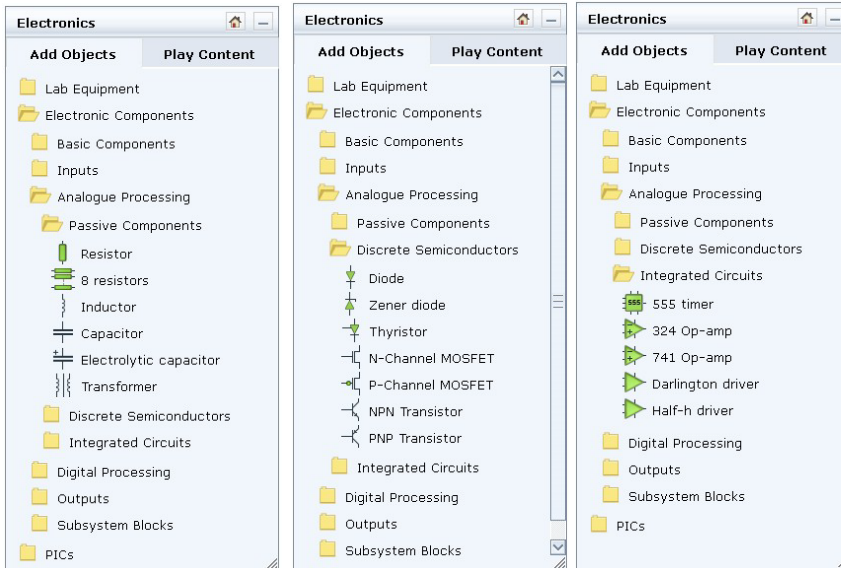
Figur 5.9 viser menyene for *Input Components* som er brytere, releer, sensorer og potensiometere mm.



Figur 5.9 Menyene *Inputs* inneholder to hovedgrupper, *Sensors* (sensorer) og *Switches* (brytere).

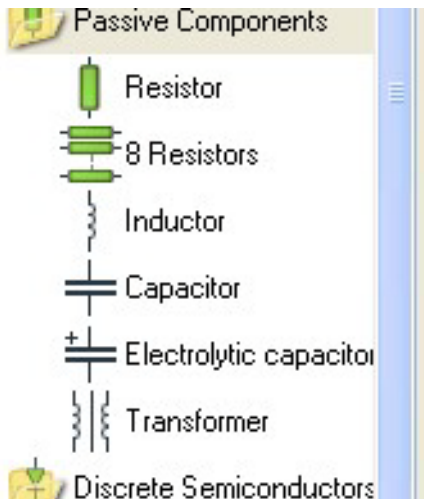


Figur 5.10 Menyen *Analogue Processing* inneholder analoge komponenter, dvs. motstander, kondensatorer, spoler, dioder, transistorer, integrerte analoge kretser, operasjonsforsterkere med mer.



Figur 5.10 Viser undermenyen: *Analogue Processing* (analoge komponenter) som har tre undermenyer *Passive komponenter*, *Diskrete halvledere* og *Integrerte kretser*.

Figur 5.11 viser undermenyen *Passive Components*.

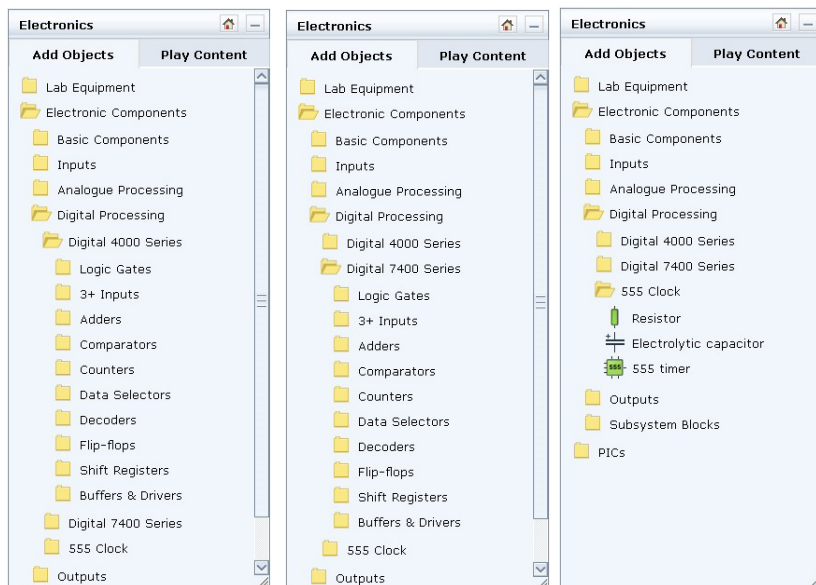


Figur 5.11 Undergruppen: *Passive komponenter*.

Passive Components - I denne gruppen finner vi passive komponenter, dvs. motstander (*Resistor*), spoler (*Inductor*), kondensatorer (*Capacitor*) og transformatorer (*Transformer*).

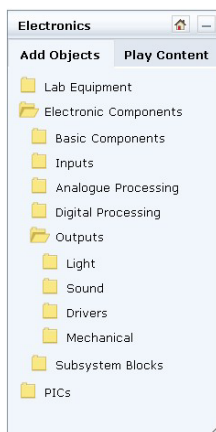


Figur 5.12 Menyen *Digital Processing* inneholder digitale komponenter som logiske porter, vipper, tellere, dekodere med mer.



Figur 5.12 Viser undermenyen: *Digital processing* som har tre undermenyer *Digital 4000 series*, *Digital 7400 series* og *555 Clock*.

Digital 4000 serien er CMOS-kretser, mens Digital 7400 serien er TTL-kretser og 555 Clock er en timerkrets som kan brukes til å lage et klokkesignal.



Figur 5.13 Output menyen

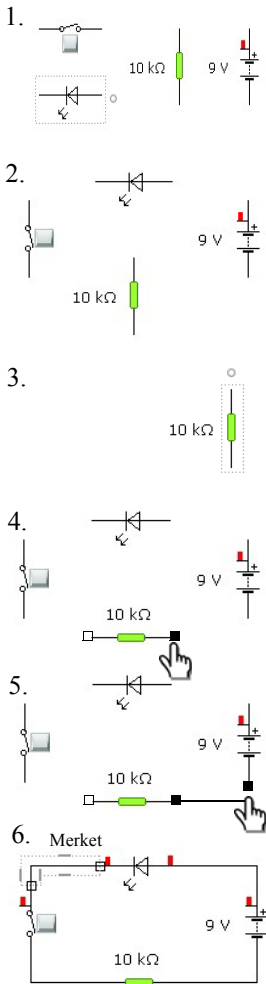
Til slutt vil vi omtale menyen *Output* som inneholder følgende undermenyer:

- *Light*: Lamper, lysdioder og lysende tall (numerisk display).
- *Sound*: Høytaler, buzzer og piezoelektrisk summer.
- *Drivers*: Reler, Darlingtondriver (transistordriver med meget høy forsterkning) og andre drivere.
- *Mechanical*: Motorer, generatorer og elektromagneter. Disse kan også kobles til elektroniske komponenter.

De øvrige menyene overlates til brukeren å utforske.

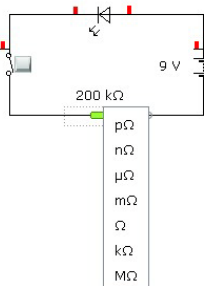
Konstruksjon av kretsen

Vi skal nå gjennomgå en prosedyre for hvordan vi kan koble opp en krets. Før vi begynner å konstruere kan det være greit å ha tenkt gjennom en fornuftig innbyrdes plassering av komponentene. Derneft hentes komponentene ut på arbeidsflaten.



1. **Hent komponentene:** Åpne ønsket meny å grip ønsket komponent ved å trykke venstre mustast, dra den ut på arbeidsflaten og legg den fra deg ved å slippe venstre mustast. Gjenta dette til alle komponentene ligger på arbeidsflaten.
2. **Plasser komponentene** riktig i forhold til hverandre.
3. **Dreining:** Komponenter kan dreies i trinn på 90° enten med eller mot urviseren. For å dreie motstanden på figuren til venstre: Klikk på motstanden. Komponenten rammes inn og en sirkel kommer til syne. Hold musmarkøren over sirkelen og trykk venstre mustast. Før musa mot høyre eller venstre side for å dreie komponenten.
4. **Koble sammen komponenter:** Komponentene er nå plassert slik vi ønsker og vi skal forbinde beina på komponentene med hverandre. Dersom vi nærmer oss en komponent med markøren (uten å presse mustasten), vil vi se at endene av beina markeres med kvadrater samtidig som pilmarkøren endres til en pekemarkør. Kommer vi nært nok ett av kvadratene vil det bli fylt.
5. Når kvadratet er fylt presses venstre mustast, og markøren føres til benet på komponenten vi ønsker å koble oss til. En ledning følger markøren. Mustatsen slippes idet vi ser at et fylt kvadrat kommer til syne ved beinet som er målet for forbindelsen. De to beina er nå elektrisk forbundet. Slik fortsetter vi til samtlige komponenter er forbundet. Vi kan fryse et hjørne langs ledningsføringen ved å klikke med venstre mustast mens vi drar ledningen.
6. **Fjern komponenter:** En komponent eller forbindelse fjernes ved å markere den for så å trykke *delete*-tasten på tastaturet.

Endring av verdier



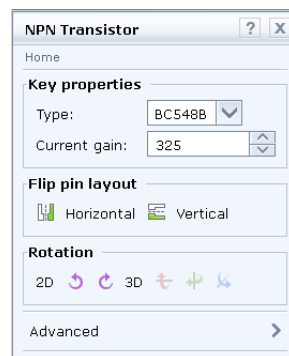
Vi kan nå trykke på bryteren med markøren for å slutte kretsen og få lys. Imidlertid vil oppdage at det ikke blir lys. Årsaken er at motstanden har verdien $10\text{ k}\Omega$ som gir en for liten strøm i kretsen.

1. Verdien endres ved å klikke på verdien til komponenten. Klikk på resistansen og skriv inn *200*. Dernest klikkes på benevnningen, og velg Ω .




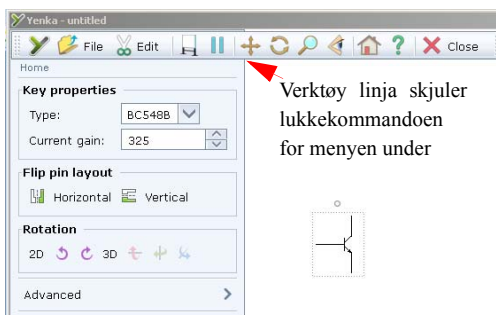
2. **Komponenthavari:** Dersom vi nå trykker på bryteren, vil vi oppdage at lysdioden brenner opp og et skilt kommer opp. Holder man markøren borttil skiltet, vil vi få opp en skiftenøkkel sammen med en beskrivelse av årsaken til havariet. I de aller fleste tilfellene er årsaken for stor strøm. Strømmen begrenses ved å øke resistanser eller reduserer spenningsverdiene. Alle komponenter som vises som symboler har maksimalverdier lagt inn.

3. **Erstatning av ødelagt komponent:** Komponentene byttes ut ved å klikke på skiftenøkkelen. Før den skiftes må årsaken til havariet finnes og rettes, ellers vil også den nye komponenten ødelegges.
4. **Endring av en komponents egenskaper:** Ved å høyreklikke på en komponent kommer det opp en meny. Velg *Properties*. Her kan egenskaper ved komponentene endres. Figuren til høyre viser hvordan vi kan endre strømforsterkningen (*Current gain*) hos den bipolare transistoren BC548B.



5.1.3 Andre nyttige tips:

- Dersom det ser ut som om en meny ikke lar seg lukke. Så skyldes det sannsynligvis at kommandoen for lukking er skult av verktøylinja som vist på figuren til høyre. Ta tak i verktøylinja og dra den til side slik at lukking bli mulig.
- Sørg for at det er god plass mellom komponentene. Kommer komponentene for nær hverandre kan de være vanskelig å plassere på arbeidsflaten.
- Dersom kretsen oppfører seg underlig, forsøk å dra i de forskjellige komponentene og sjekk at det er forbindelse. Dersom en komponent ikke har forbindelse vil ikke forbindelsene følge med når man dra i komponenten. Fjern eksisterende ledning og opprett forbindelsen på nytt.
- Et brudd kan også avsløres ved å måle spenningen langs en ledning. Dette gjøres ved å holde markøren på ledningen (ikke trykk på ledningen), og se om spenningen i merkelappen ser fornuftig ut.
- Dersom en får underlige målinger, kan det hjelpe å definere jord i systemet. Dette gjøres ved å knytte symbolet  til det man ønsker å definere som jord, som oftest minuspolen på batteriet. Jordsymbolet finnes under *Lab Equipment/Power supplies*.



5.2 Karakterisering av dioden og solcellen

I dette avsnittet skal vi se hvordan vi med utgangspunkt i en diode og en strømgenerator kan etablere en ekvivalentkrets for en solcelle. La oss først karakterisere en diode, dvs. framstille diodens strøm-spenningskarakteristikk.

5.2.1 Oppgave 1 - Konstruksjon av kretsen

Sørg for at *verktøy menylinjen* og *komponentmenyen* er plassert omtrent som vist i figur 5.14. Komponentmenyen består av en rekke undermenyer. For å konstruere vår krets henter vi lab. utstyr, strøm- og spenningsforsyninger og måleutrustning fra mappen “*Lab Equipment*” og øvrige komponenter fra “*Electronic Components*”.



Figur 5.14 Menyer

1. Hent komponentene fra menyene og legg dem ut over arbeidsflaten som vist i figur 5.15.

Spenningskilden og jordpunktet hentes fra:

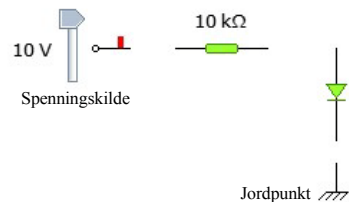
Lab Equipment → *Power Supplies*

Motstandene hentes fra:

Electronic Components → *Passive Components*

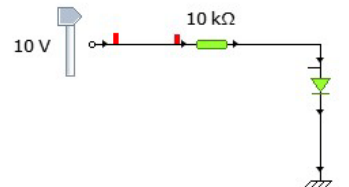
Dioden hentes fra:

Electronic Components → *Discret Semiconductors*



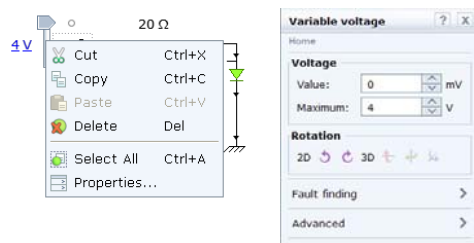
Figur 5.15 Komponenter

2. **Drei komponentene** ved å markere dem og ta tak i sirkelen nær komponenten og drei den rundt.
3. **Forbind terminalene** med hverandre ved å bevege markøren bort til terminalen til komponenten. Et kvadrat markerer terminalpunktet. Hold markøren over terminalpunktet og press venstre musknapp. Hold musknappen ned og før musa bort til terminalen som ønskes kontaktet. Slipp musknappen når kontakt er oppnådd. Forbind alle komponentene på denne måten i henhold til koblingskjetet.
4. **Endre komponentverdier** ved å klikke på verdien med venstre musknapp og skrive inn ny verdi. Velg også rett benevning ved å klikke på benevningen og velge ønsket benevning.



Figur 5.16 Forbind komponentene

5. **Spenningskildens maksimalverdi** justeres ved å høyreklikke på spenningskilden og velge “*Properties*”. I “*Properties*”-menyen endres maksimum-verdien til 4 V. Menyen lukkes.




Figur 5.17 Sett spenningskildens maksverdi.



Kretsen skal nå se ut som vist i figur 5.18.

6. Vi ønsker å tegne ut strøm-spenningsdiagrammet for dioden, når vi varierer spenningen. **Graf-diagrammet hentes** fra menyen:

Lab Equipment → *Measurement* → *Graph*
 Dra diagrammet ut på arbeidsflata og plasser det under kretsen.

7. **Grafen knyttes til en komponent** ved å dra en forbindelse mellom siktemiddelet  til venstre for grafen, og komponenten. I vårt tilfelle dioden.

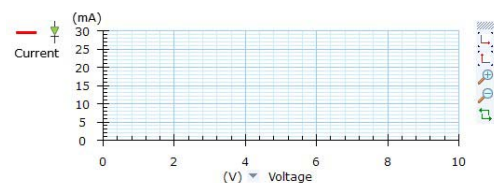
8. Derne**st velges parametere** som skal måles langs de to aksene. Velg strømmåling langs den vertikale aksene ved å velge:

Property... → *Current* (til venstre for grafen)

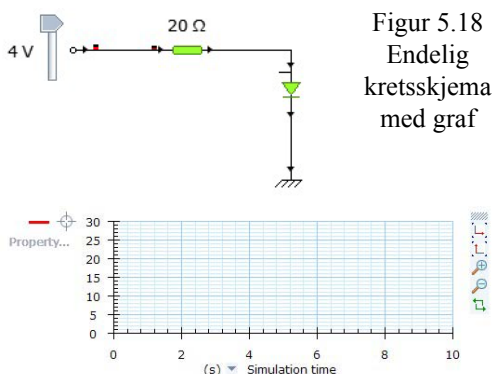
Og spenningsmåling langs den horisontale aksene ved å velge:

▼ *Simulation time* (under grafen) → *Lokal Object Property* (for deretter å velge)

Property... (under grafen) → *Voltage*








Figur 5.19 Graf



Figur 5.18
 Endelig kretsskjema med graf

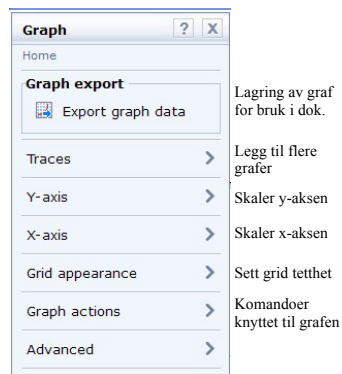
9. **Skalering av grafen** gjøres ved fem små klikkbare symboler langs grafens høyre side:

-  - Automatisk skalering av horisontal akse
-  - Automatisk skalering av vertikal akse
-  - Zoom inn
-  - Zoom ut
-  - Start tegning av grafen på nytt

10. **Verdiene langs aksene** og andre egenskaper ved grafen kan settes ved å markere grafen (høyreklikk i underkant av diagrammet). Velg *Property*, og en undermeny kommer opp til venstre på skjermen. Her kan en bl.a. velge *Y-axis* eller *X-axis* som gir mulighet til å sette eksakte min. og maks. verdier for aksene.

5.2.2 Oppgave 2 - Tegning av strøm-spenningsdiagram


1. Tegn strøm-spenningskarakteristikken til dioden ved å endre verdien til spenningskilden fra 0 – 4 V.
2. Høyreklikk på dioden og velg *Property*. Endre diodetype, 1N4001 - 4 og 1N4148, og finn ut om diode-karakteristikken for de fem diodene er forskjellig.
3. Høyreklikk på grafen og velg *Property*. Øk skaleringen til x-aksen ved å velge *Minimum* 0,5V og *Maximum* lik 0,8V, da kommer kurveformen tydeligere fram.

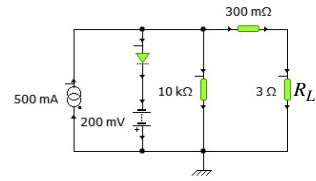


Figur 5.20 Graf Property

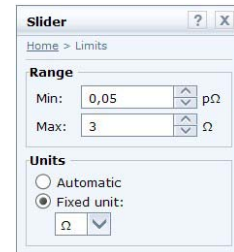
5.2.3 Oppgave 3 - Simulering av en enkel solcelle

I denne oppgaven skal vi bygge opp en modell av en enkel solcelle. Parameterne hentes fra målinger som er gjort på en virkelig solcelle (se heftet *Praktisk solcelleteknologi for skolen*).

- Bygg opp modellen** som vist i figur 5.21 med de angitte verdiene. Velg dioden 1N4001. Juster ned strømmen i strømgeneratoren og spenningen i batteriet før de resterende komponentene monteres. Om det ikke gjøres, vil komponentene kunne ødelegges av for store strømmer.
- Tilknytt en Slider til lastmotstanden R_L .** Slidern hentes fra: *Lab Equipment* → *Presentation* → *Slider*
Forbind slidern med lastmotstanden ved å holde ventreknappen på musa nede og dra en forbindelseslinje mellom  på slidern og lastmotstanden.
Velg *Properties* til venstre for slidern og velg *Resistance*.
- Skaler slidern** ved å høyreklikke på slidern og velge *Properties*. Velg *Limits* fra menyen og sett min. 0 Ω og max. 3 Ω som vist i figur 5.22. Lastmotstanden kan nå velges ved å dra slidern fra side til side.

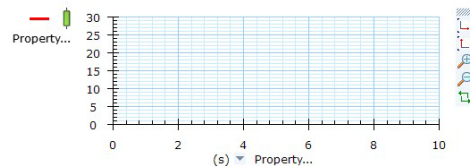


Figur 5.21 Solcelleekvivalent med last.




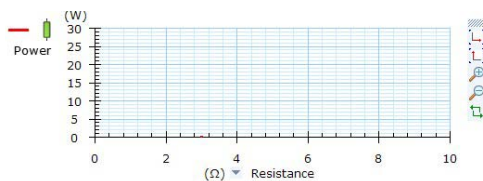
Figur 5.22 Sett Min. og Max: verdi for Slider.

- Legg inn strøm-spenningdiagram** for lastmotstanden. Se tidligere beskrivelse. Velg strøm på den vertikale og spenning på den horisontale akse. Dette gjøres ved å velge: *Property...* → *Current* (vertikalt)



Figur 5.23 Strøm-spenningsdiagrammet.

- Legg inn effekt-lastdiagram.** Dette diagrammet viser effekten som avgis til lastmotstanden som funksjon av resistansen.
Velg under horisontal akse:
 *Simulation time* → *Lokal Object Property*
Property... → *Resistance*
Velg til venstre for vertikal akse:
Property... → *Power*



Figur 5.24 Effekt-lastdiagrammet.



- Tegn grafer**
Dra "Slidern" fra min. til maks. slik at lastmotstanden gjennomløper alle verdier.




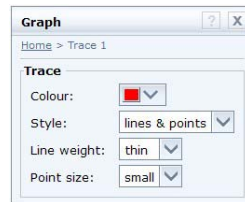
7. Diagrammene

Normalt vil en ikke se noen ting i diagrammene når lastmotstanden endres. Dette skyldes at diagrammenes akser ikke er riktig skalert.

Gjør derfor følgende:

Trykk på  og  til høyre for de to diagrammene

Resetting av grafene gjøres ved å trykke , da fjernes kurvene.



Figur 5.25
Grafegenskaper

Normalt vil det trekkes linjer mellom punktene i diagrammet. Det viser seg at dette ikke er det beste når vi skal vise levert effekt i lasten. Vi endrer derfor diagrammet fra et *linje-* til et *punktdiagram*.

Dette gjøres ved å høyreklikke på **kurven** og velge *Properties* i menyen som kommer opp. Deretter velges *Points* under *Style*.

8. Bestem følgende simulerte verdier:

Kortslutningsstrømmen, I_{sc} = _____ mA

Tomgangsspenning, U_{oc} = _____ V

Bestem strøm-spenningsdiagrammet

Bestem effekt-lastdiagrammet

Bestem optimal lastmotstand, R_{pmax} = _____ Ω

Maksimal effekt, $P(max)$ = _____ mW

Fyllfaktor FF = _____

5.2.4 Oppgave 4 - Simulering av seriekobling av fem enkeltceller

I denne oppgaven skal vi **kombinere fem enkeltceller til en modul**, for deretter å finne karakteristiske egenskaper ved den simulerte modulen.

1. Ta utgangspunkt i målinger gjort på Heliocentris solcellemodul¹⁶.

Målte parameterverdier for Heliocentris solcellemodul:

- Kortslutningsstrøm, I_{cs} = _____ mA

- Tomgangsspenning, U_{oc} = _____ V

- Maksimalt levert effekt, $P(max)$ = _____ mW

- Optimal lastmotstand, R_{pmax} = _____ Ω

- Fyllfaktor, FF = _____

2. Lag en seriekobling av fem enkeltceller med utgangspunkt i enkeltcellen i oppgave 3. Anta at alle enkeltcellene er like. Enkeltceller kan kopieres og kobles i serie ved å markere hele cellen, og benytte copy/paste-funksjonen.
3. Ta utgangspunkt i målingene gjort på Heliocentris modul og velg fornuftige komponentverdier for simulatoren.

16. Følgende verdier er hentet fra heftet: *Praktisk solcelleteknologi for bruk i skolen* [4].

$I_{cs} = 0,248$, $U_{oc} = 2,65$ V, $P(max) = 0,56$ W, $R_{pmax} = 10$ Ω , $FF = 0,85$.



Simulerte parameterverdier for Heliocentris solcellemodul:

- Kortslutningsstrøm, $I_{CS} = \underline{\hspace{2cm}}$ mA
- Tomgangsspenning, $U_{oc} = \underline{\hspace{2cm}}$ V
- Maksimalt levert effekt, $P_{(max)} = \underline{\hspace{2cm}}$ mW
- Optimal lastmotstand, $R_{pmax} = \underline{\hspace{2cm}}$ Ω
- Fyllfaktor, $FF = \underline{\hspace{2cm}}$

4. Sammenlign målinger og simulerte verdier og forklar forskjeller:

5.3 Simulering av transistoren brukt som strømdektektor og bryter

I dette avsnittet skal vi ved hjelp av noen enkle eksempler trinn for trinn bygge opp forståelsen for noen grunnleggende kretser.

Følgende arbeidsoperasjoner er viktige:

- Hente komponenter fra *Add objects*
- Orienter dem rett vei og endre verdi
- Koble dem sammen
- Utføre simulering

I tillegg er det nyttig å kunne:

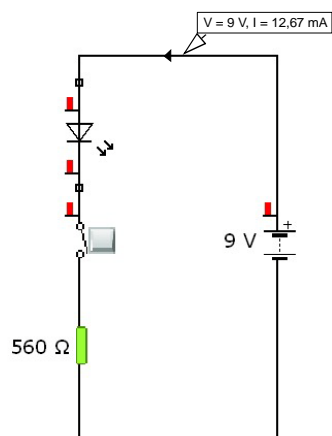
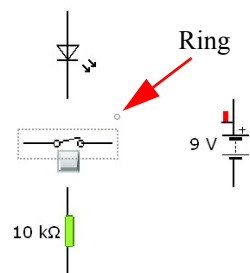
- Fjerne en komponent
- Måle strøm og spenning
- Bruke grafer



5.3.1 Oppgave 1 – Sluttet krets med bryter


A. Konstruer en krets som kan tenne og slukke en rød lysdiode ved hjelp av en enpolt bryter. Begrens strømmen i lysdioden ved hjelp av en motstand på $560\ \Omega$. Bruk et 9 V batteri som spenningskilde.

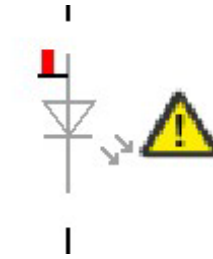
1. Hent inn komponentene og legg dem utover arbeidsflaten som vist på figuren til høyre.
2. Drei bryteren til vertikal stilling. Dette gjøres ved å merke bryteren (trykk på ledningene med musa). I tillegg til at komponenten rammes inn, kommer en liten ring til syne. Ved å bruke musmarkøren på denne ringen, kan komponenten vendes i den retning man ønsker.
3. Derneft kobles komponentene sammen ved å dra ledninger mellom terminalene. Terminalene vises med små kvadrater når en nærmer seg med markøren.
4. Dersom vi ønsker å tvinge ledningen til å gå i vinkel på et bestemt sted, klikkes med venstre mustast på dette stedet idet vi drar ledningen.
5. Alle motstander har en verdi på $10\text{ k}\Omega$ når de hentes fra biblioteket. Verdien kan endres ved å klikke på den, for så å skrive inn ønsket verdi. Vi skriver inn 560 . Ved å klikke på benevningen kan denne endres fra $\text{k}\Omega$ til f.eks. Ω .
6. Prøve kretsen ved å trykke inn den hvite knappen ved siden av symbolet for bryteren. Da skal dioden lyse.
7. Om den ikke lyser kan dette skyldes flere ting:
 - Lysdioden kan være snudd feil vei
 - Det kan være dårlig kontakt mellom komponenteneDet siste kan undersøkes ved å dra i komponentene å se om de henger sammen med ledningen eller andre komponenter i koblingspunktene. Om de ikke henger sammen, vil vi se bruddet når komponenten flyttes.
8. Strømmen i kretsen kan lett måles ved å holde markøren nær den ledningen vi ønsker å måle strømmen i. I tillegg vises spenning i punktet i forhold til jord (vanligvis minuspolen på batteriet).





9. Dersom seriemotstanden reduseres til f.eks. 56Ω vil strømmen i lysdioden bli for stor slik at den ødelegges.

Kretsen kan lett erstattes ved å trykke på skiltet . En informasjonsboks som angir årsaken til feilen vises sammen med en skiftesnøkkel. Kretsen erstattes ved å trykke på skiftesnøkkelen. En må imidlertid rette feilen før komponenten erstattes, ellers vil komponenten ødelegges på nytt.



B. Bytt ut den røde lysdioden med en Buzzer. Finn ut hvor stor strøm buzzeren trenger for å gi lyd og hva spenningen over buzzeren er idet den begynner å gi fra seg lyd.

Tegn koblingsskjema og skriv inn spenninger og strømverdier

Tips: Strømmen gjennom buzzeren reduseres ved å øke verdien til seriemotstanden.

5.3.2 Oppgave 2 - Transistor brukt som bryter

I denne oppgaven skal vi videreutvikle kretsen vår. I stedet for å bruke en bryter for å slå buzzeren av og på, skal vi bruke en transistor slik at vi kan slå av og på lyden ved hjelp av en liten strøm.

A. Bytt ut bryteren med en NPN-transistor. Koble transistorens kollektor til buzzeren og emitteren til motstanden. Reduser resistansen til 220Ω . Forbind basen på transistoren til pluss på batteriet ved hjelp av en stor motstand. Tegn koblingsskjema.

Tegn koblingsskjema og skriv inn spenninger og strømstyrke på basen



Undersøk hvor stor strømmen inn i basen må være for at transistoren skal åpne slik at det blir lyd i buzzeren. Mål strømmen ved å holde markøren bort til ledningen.

B. Mål spenningen på collector, base og emitter og skriv dem inn i koblings skjemaet. Mål strømmen i collector, base og emitter og skriv verdiene inn i skjemaet.

C. Beregn forholdet mellom strømmen i collectoren (I_c) og strømmen i basen (I_b).

$$h_{FE} = \frac{I_c}{I_b} = \text{-----} = \text{-----}$$

Beskriv med egne ord betydningen av parameteren h_{FE} .

Dobbelklikk på transistoren og se hvilken verdi som er oppgitt under “Current gain” (strømførsterkning). Du kan samtidig sjekke hvilken transistortype simulatoren valgte (“Type”).

D. Vi skal senere bruke en nær “slektning” av denne transistoren som heter BC547C. Gå ut på internett på adressen <http://www.ortodoxism.ro/datasheets/fairchild/BC548B.pdf> eller søk etter den med en søkemotor. Du kan også finne databladet i vedlegg G.1 på side 317. Finn h_{FE} til transistoren og skriv den inn som ny strømførsterkning under “Properties”. Om verdien er oppgitt som et område, bruk middelverdien.

$$h_{FE} = \text{-----}$$

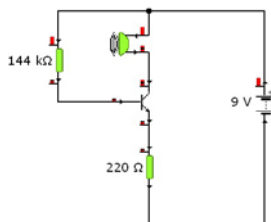
Hva er så vitsen med å bytte ut bryteren med en transistor?

Hovedårsaken er at vi på denne måten kan styre bryteren av en annen elektronisk krets eller vi kan bruke den strømstyrte bryteren til å lage en sensor (fuktighet-, temperatur-, lyssensor).

E. Lagre driveren for senere bruk. Dette gjøres ved å velge **Save as** under menyen **File** fra menylinja. Lagre driveren under navnet **Oppgave 2**. Fila vil automatisk få “etternavnet” .yca.

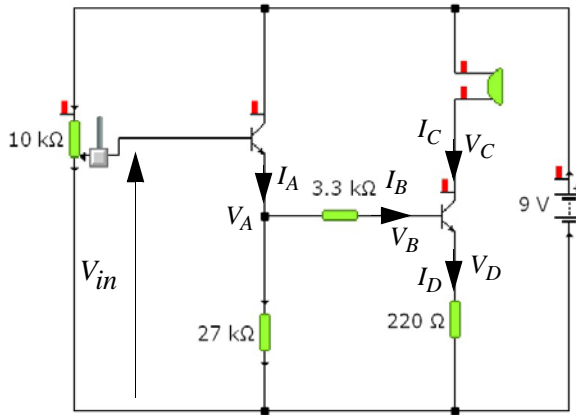
5.3.3 Oppgave 3 – Simuler en tottrinns strømdektektor

A. Hent opp fila fra oppgave 2.





B. Fjern motstanden fra basen og til plusspolen på batteriet og koble opp kretsen vist i figuren under.



C. Før du gjør målinger, forsøk å anslå spenningen V_{in} idet lydgifveren gir signal.

$V_{in} = \text{_____} V$ (anslått)

D. Mål spenningen ved å koble inn et voltmeter mellom basen og jord. Reguler potensiometeret slik at lydgifveren så vidt starter. Les av spenningen:

$V_{in} = \text{_____} V$ (målt)

E. Kan du forklare hvordan kretsen virker. Bruk markøren og les av strømmer og spenninger på ulike steder i kretsen akkurat idet alarmen går på. Spenningene er alltid referert til $-$ polen på batteriet.

$V_A = \text{_____} V$, $V_B = \text{_____} V$, $V_C = \text{_____} V$, $V_D = \text{_____} V$,

$I_A = \text{_____} mA$, $I_B = \text{_____} mA$, $I_C = \text{_____} mA$, $I_D = \text{_____} mA$,

5.4 Simulering av komparator med operasjonsforsterker og transistordriver

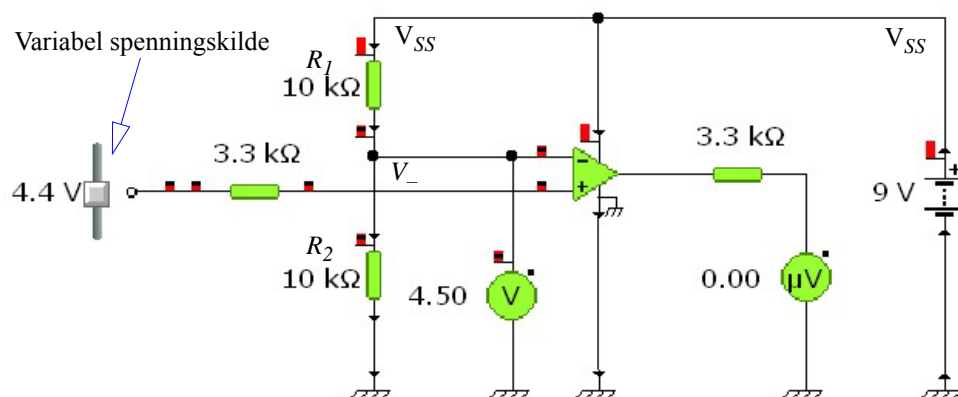
I dette avsnittet skal vi bruke simulatoren til å utforske hvordan vi kan bruke operasjonsforsterkeren som komparator. Vi skal også se hvordan vi kan bruke transistortrinnet fra avsnitt 5.3.2. som driver på utgangen.

5.4.1 Oppgave 1 - Operasjonsforsterkern brukt som komparator

For diskusjon av operasjonsforsterkeren og komparatorer se avsnitt 4.4.1.



A. Bygg opp komparatoren som vist i figuren under:



Dra den variable spenningskilden opp og ned å se hva som skjer med spenningen på utgangen av operasjonsforsterkeren.

Følgende kan være nyttig å huske:

1. Alle komponenter finnes under kategorien *Analogue*.
2. Motstander og finnes i undermenyen *Passive Components*.
3. Operasjonsforsterkeren finnes i undermenyen *Integrated Circuits*
Her velges *324 Op-amp*.
4. Batteriet (9 V) og den variable spenningskilden finnes under *Power Supplies*.
5. Voltmetrene finnes under *Meters*.

Siden operasjonsforsterkeren i denne oppkoblingen er uten tilbakekobling, vil forsterkningen være meget stor (100 000). Det vil si at dersom spenningen på + inngangen blir ørlite grann større enn – inngangen, så vil denne forskjellen forsterkes opp med en faktor på 100 000 ganger, hvilket betyr at spenningen på utgangen vil gå opp i maksimalspenningen på ca. 7,5 V. Ved å variere den faste spenningen på – inngangen, kan vi bestemme hvilken spenning på + inngangen som skal få utgangen til å slå om fra 0 til 7,5 V.

B. Bruk formelen for en spenningsdeler til å beregne verdiene til R_1 og R_2 når vi vil at spenningen mellom jord og – inngangen (V_-) skal være 0,4 V. Velg $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$


$$V_- = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{SS}$$

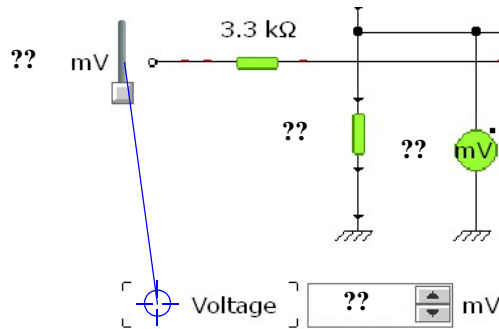
Dette er en verdi vi skal ta vare på for senere bruk.

Motstander finnes ikke i alle verdier, vi må derfor velge den, blant noen standardverdier, som er nærmest den beregnede verdien. Velg den nærmeste resistansen blant følgende standardverdier: 100 Ω , 120 Ω , 150 Ω , 180 Ω , 220 Ω , 270 Ω , 330 Ω , 390 Ω , 470 Ω , 560 Ω , 680 Ω , 820 Ω , 1000 Ω , 1200 Ω , 1500 Ω , 1800 Ω , 2200 Ω , 2700 Ω , 3300 Ω , 3900 Ω , 4700 Ω , 5600 Ω , 6800 Ω , 8200 Ω

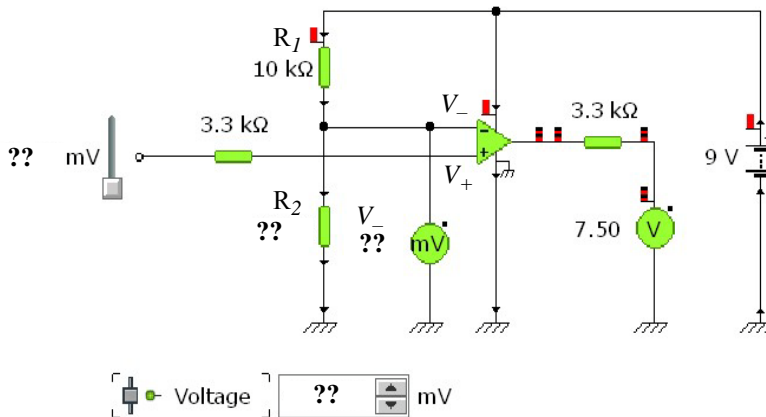


Valgt standardverdi: _____ Ω

C. I denne oppgaven skal vi gjøre det lettere å betjene spenningskilden. Dette gjør vi ved å hente fram finjusteringen “Number” fra menyen “Presentasjon”. Legg knappen under spenningskilden og dra en forbindelse mellom siktemiddelet  og symbolet for spenningskilden. De to er nå knyttet sammen og vi kan styre spenningskilden ved hjelp av piltastene eller skrive inn en verdi.



Det endelige koblingskjemaet skal nå se ut som på figuren under.



D. Du har nå valgt en standard resistans $R_2 = \text{---} \Omega$. Dette avviker sannsynligvis noe fra den beregnede verdien. Finn en mest mulig eksakt verdi for terskelspenningen, det vil si den spenningen V_+ som akkurat gir omslag fra 0 V til 7,5 V på utgangen. Sammenlign resultatet med verdien til V_- .

Terskelspenningen $V_+ = \text{---} \text{ Volt}$

Tips: Ved å høyreklikke på finjusteringsknappen og så velge “Properties”, kan man stille inn størrelsen på inkrementet.

E. Forklar med egne ord hvordan komparatoren virker:



I den neste oppgaven skal vi lage en krets med en variabel terskelspenning.

C. *Bruk et potensiometer på $20\text{ k}\Omega$ og lag en komparator med variabel terskelkontroll. Tegn koblingsskjema for den delen av kretsen hvor det gjøres endringer.*

Tegn koblingsskjema for aktuell del av kretsen.

D. *Sett terskelen til 6,25 Volt og sjekk at kretsen virker som den skal.*

E. *Lagre kretsen for senere bruk. Dette gjøres ved å velge **Save as** under menyen **File** fra menylinja. Lagre kretsen under navnet *Oppgave 4*. Fila vil automatisk få "etternavnet" *.cxt*.*

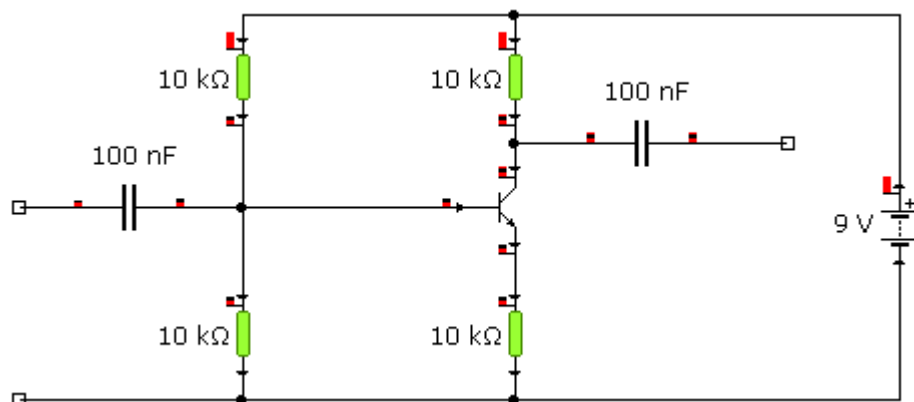


5.5 Simulering av en enkel én-transistors forsterker

I dette avsnittet skal vi bruke Yenka Technology for å etterprøve de utregningene vi har brukt i avsnitt 4.3 på side 72. Vi antar at grunnleggende bruk av Yenka er kjent. Om ikke, gå gjennom avsnitt 5.1.2 på side 102.

5.5.1 Oppgave 1 - Transistorforsterker med en transistor

I denne oppgaven skal det grunnleggende kretsskjemaet til forsterkeren etableres. Foreløpig kan standardverdier¹⁷ på komponentene bli stående. Tegn skjemaet som vist i figur 5.26.



Figur 5.26 Grunnskjema for en enkel transistorforsterker.

Når vi tegner kretsskjemaet bruker vi følgende menyer:

Add objects

Lab Equipment

Power Supplies (batteri)

Elektronic Components

Analogue Processing

Passive Components (motstander, kondensatorer)

Discret Semiconductors (transistor, velg BC548B)

Derneft tilkobles en bryter og en signalkilde på inngangen.

Add objects

Lab Equipment

Measurement (Signalgenerator, ampere- og voltmetre, grafer)

Elektronic Components

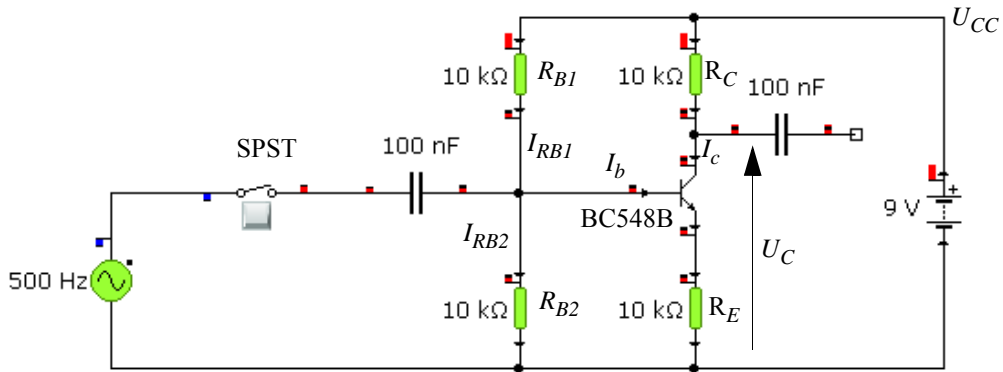
¹⁷. Standardverdier (default verdier) er de verdiene komponenten får når den hentes opp fra biblioteket.



Inputs

Switches (Enkel bryter (SPST))

Figuren under viser det komplette koblingsskjemaet for forsterkeren.



Figur 5.27 Det komplette kretsskjemaet for forsterkeren.

Forsterkeren i figur 5.27 har fortsatt default komponentverdier. Vi skal i de neste oppgavene beregne verdiene til komponentene.

Følgende bestilling foreligger:

Det skal lages en enkel mikrofonforsterker som skal forsterke signaler i audioområdet. Det vil si i frekvensområdet 100 Hz til 10 kHz.

Ellers skal vi holde oss til følgende spesifikasjon:

- Batterispenning 9 V (U_{CC})
- Spenningsforsterkning (A_V) ved 1kHz skal være 15 ganger.
- Transistorens strømforsterkning $h_{FE} = 325$

5.5.2 Oppgave 2 - Dimensjoner transistorforsterkeren

1. Velg spenning på collector (U_C)

Tips: Velg en spenning som er nær halvparten av supplyspenningen (U_{CC})

Valgt $U_C = \underline{\hspace{2cm}}$ Volt

2. Velg arbeidspunkt, det vil si hvilestrømmen i transistoren, I_C

Tips: Velg arbeidspunktet under 30 mA

Valgt $I_C = \underline{\hspace{2cm}}$ mA

3. Beregn verdien til collectormotstanden R_C

Tips: Bruk ligning $R_C = (U_{CC} - U_C)/I_C$

Beregnet $R_C = \underline{\hspace{2cm}}$ Ω



4. Beregn verdien til emittermotstanden R_E

Tips: Bruk ligningen for spenningsforsterkning $A_V = R_C/R_E$

Beregnet $R_E = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

5. Beregn størrelsen på basestrømmen I_b

Tips: Bruk ligning $h_{FE} = I_C/I_b$

Beregnet $I_b = \underline{\hspace{2cm}} \mu A$

6. Beregn størrelsen på strømmen i forspenningsnettverket R_{B1} og R_{B2}

Tips: Bruk ligningene: $I_{RB2} = 10 \cdot I_b$ og $I_{RB1} = 11 \cdot I_b$

Beregnet $I_{RB2} = \underline{\hspace{2cm}} \mu A$

Beregnet $I_{RB1} = \underline{\hspace{2cm}} \mu A$

7. Bestem spenning mellom base og jord (-) $U_b = U_{RB2}$

Tips: Bruk ligning: $U_b = 0,7 V + I_C \cdot R_E$

Beregnet $U_b = \underline{\hspace{2cm}} V$

8. Beregn verdien til forspenningsmotstanden R_{B2}

Tips: Bruk ligning: $R_{B2} = U_b/I_{RB2}$

Beregnet $R_{B2} = \underline{\hspace{2cm}} k\Omega$

9. Beregn verdien til forspenningsmotstanden R_{B1}

Tips: Bruk ligning: $R_{B1} = (U_{CC} - U_b)/I_{RB1}$

Beregnet $R_{B1} = \underline{\hspace{2cm}} k\Omega$

10. Siden dette skal være en billig forsterker, velger vi resistanser fra E12 motstandsrekka (billigste motstander) som inneholder følgende aktuelle komponentverdier:

10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82 Ω

100, 120, 150, 180, 220, 270, 330, 390, 470, 560, 680, 820 Ω

1 000, 1 200, 1 500, 1 800, 2 200, 2 700, 3 300, 3 900, 4 700, 5 600, 6 800, 8 200 Ω

10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82 $k\Omega$

100, 120, 150, 180, 220, 270, 330, 390, 470, 560, 680, 820 $k\Omega$

Valgte verdier er:

$R_C = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

$R_E = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

$R_{B1} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

$R_{B2} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

Nå er alle verdiene bestemt og kan settes inn i koblingsdiagrammet.



5.5.3 Oppgave 3 - Test av transistorforsterkeren

I denne oppgaven skal vi se hvor nært vi kom ønsket forsterkning. For å kunne gjøre det må vi koble til signalgeneratoren og måle signalet på inn- og utgang. Målingene skal vi gjøre med et "oscilloscop" (grafisk representasjon) slik at vi ser signalet.

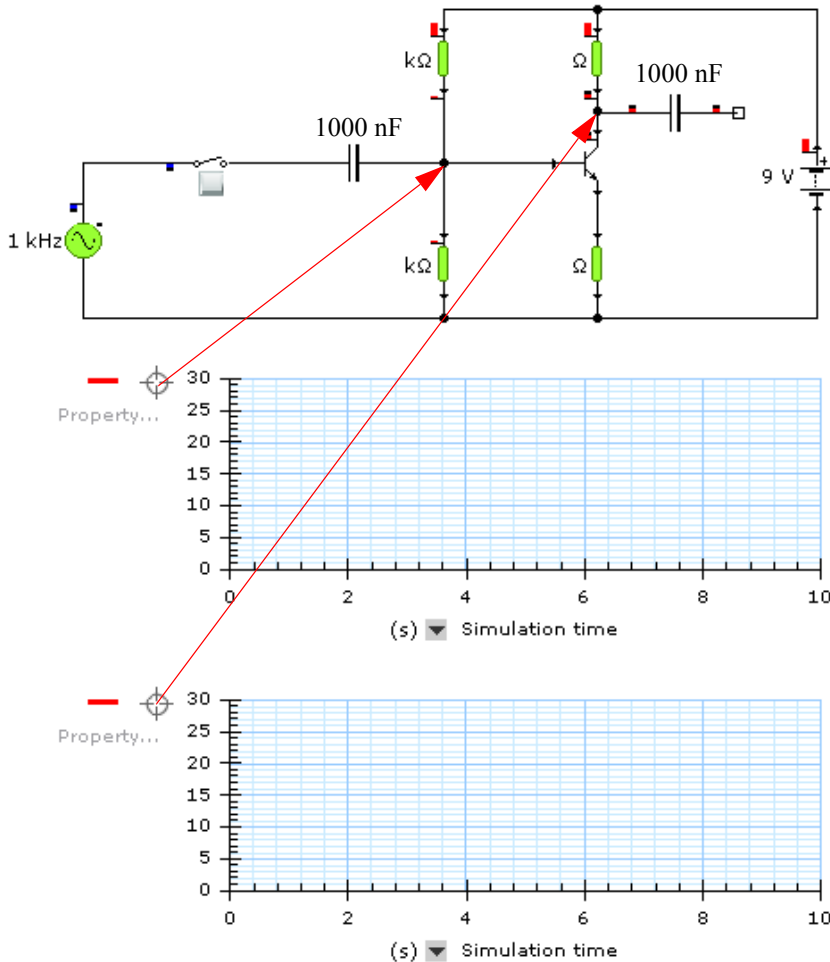
Innledningsvis gjøres målingene ved 1 000Hz.

Oppgave 3A Grafisk representasjon

Grafiske representasjon av målingene hentes inn ved å gå til:



Add objects → **Measurement** → **Graph**

1. Legg inn et diagram for inngangssignalet og ett for signalet på utgangen.



Figur 5.28 Forsterker med grafisk visning av signalet på inn- og utgang.



2. Dra forbindelseslinjer mellom de grafiske diagrammenes koblingspunkter  og det punktet i kretsskjemaet vi ønsker å måle.
3. Velg **Property** til venstre for hvert av diagrammene. Her kan vi blant annet velge å se strømmen eller spenningen i målepunktet.
Velg **Voltage** for begge grafene.
4. Velg verdi for kondensatorene på inn- og utgang
 $C_{in} = 1 \mu\text{F}$ (1000 nF)
 $C_{out} = 1 \mu\text{F}$ (1000 nF)
5. Velg frekvens på signalgeneratoren ved å:
 - Trykke på symbolet for signalgeneratoren i diagrammet
 - Velg “**Properties**” i menyen som kommer opp
 - Sett “**Peak voltage**” til 0.1 og avslutt med å velge V til høyre for verdien.
6. Tilkoble signalgeneratoren ved å trykke på bryteren på inngangen .

Det kan være litt problematisk å stille inn rett skala for grafene. Til dette er det fem knapper til høyre for grafene. For å få fram disse, må markøren befinne seg over grafene. Disse knappene er:

“Horisontal rød akse” - reskalerer horisontal akse

“Vertikal rød akse” - reskalerer vertikal akse

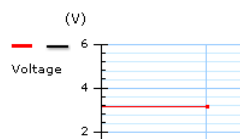
“Forminskelsesglass (-)” - Minker skaleringen (ser grafen “fra større avstand”)

“Forstørrelseglass (+)” - Øker skaleringen (ser grafen “fra kortere avstand”)

“To akser mot hverandre” - Restarter simuleringen

Bruk knappene gjentatte ganger til ønsket skala oppnås.

Når simuleringen ser ut til å ha stoppet, som vist på figuren til høyre, velges *Restart simulation* fra menyen til høyre.



Oppgave 3B Måling av spenningsforsterkning

Når vi har justert displayet er vi klare til å gjøre målinger av signalnivået på inn- og utgang. Dette gjør vi ved å lese av *peak to peak*-utslaget (topp til topp-utslaget) på inn- og utgang (se figur 5.29).

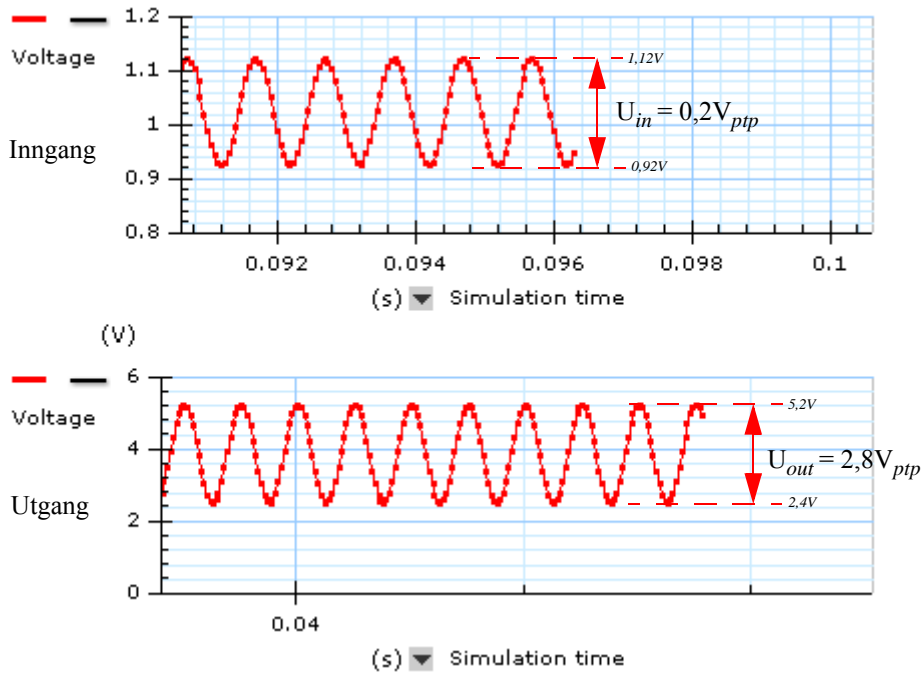
Vi kan nå lett beregne spenningsforsterkningen som forholdet mellom spenningssvinget på ut- og inngang. I vårt tilfelle får vi:

$$A_V = u_{out}/u_{in} = 2,8\text{V}/0,2\text{V} = \underline{14}$$

Hvilket ikke er så dårlig når en tenker på at vi har gjort en rekke tilpasninger.

5.5.4 Oppgave 4 - Belasting av transistorforsterkeren

Så langt har vi ikke belastet utgangen av forsterkeren (kondensatoren på utgangen henger åpen). Vanligvis vil vi gjerne belaste en slik utgang med en høyttaler, øretelefoner, eller et nytt forsterkertrinn, eller noe annet. I vårt tilfelle skal vi belaste utgangen med høyohmige øretelefoner med en indre motstand på 1000 Ohm (ørepropper med høy indre motstand, dvs. de trekker lite effekt). Vi ønsker fortsatt å måle med 1 000 Hz.



Figur 5.29 Eksempel på måling av *peak to peak*-verdier på inn- og utgang.

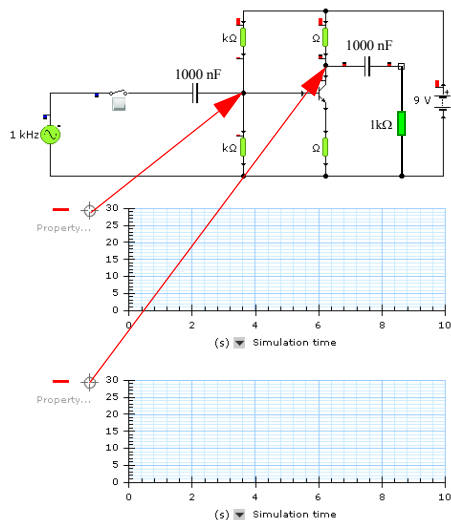
1. Knytt grafene til henholdsvis utgangen av signalgeneratoren (før kondensatoren på inngangen) og utgangen (etter kondensatoren på utgangen).
2. Mål spenningsforsterkningen (A_{Vu}) fra inn- til utgang uten belastning.

$$A_{Vu} = u_{out}/u_{in} = \underline{\hspace{2cm}}$$

3. Koble til en motstand på 1 000 Ohm på utgangen.
4. Mål spenningsforsterkningen A_{Vm} på nytt med lasten 1 000 Ohm.

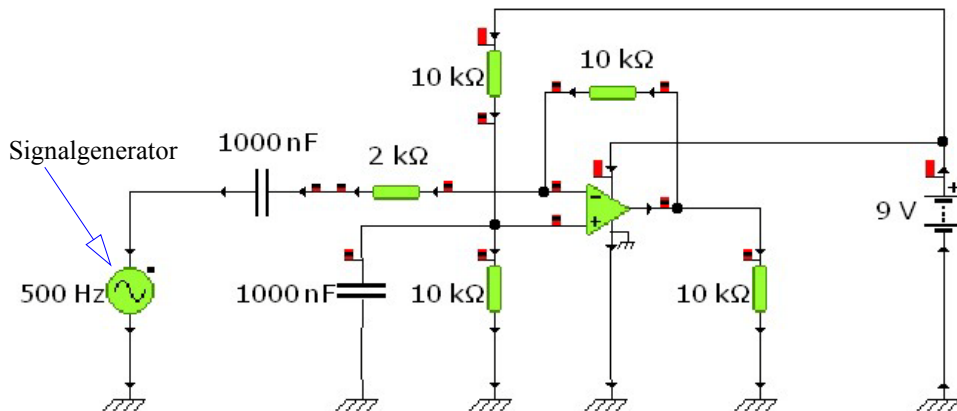
$$A_{Vm} = u_{out}/u_{in} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Figur 5.30 viser et eksempel på signalnivåene før og etter at lasten på utgangen ble koblet inn.





A. Koble opp forsterkeren som vist i figuren under:

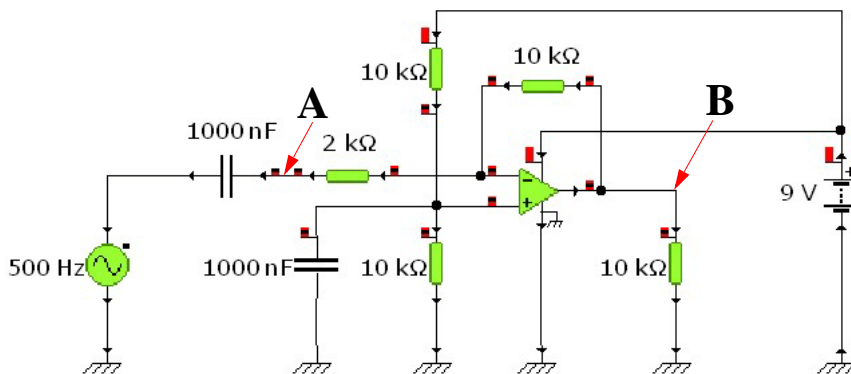


Sett signalgeneratoren til frekvensen 500 Hz (Frequency), nivået 0,1 Volt (Peak Voltage) og bølgeform sinus (Sinusoidal). Dette settes opp under "Properties" for generatoren.

Følgende kan være nyttig å huske:

1. Alle komponenter finnes under kategorien *Analogue*
2. Signalgeneratoren finnes under *Signal Generators & Sound*
3. Motstander og kondensatorer finnes under *Passive Components*
4. Operasjonsforsterkeren finnes under *Integrated Circuits*
Her velges *324 Op-amp*.
5. Batteriet finnes under *Power Supplies*

B. Du skal nå kontrollere forsterkningen ved å sammenligne signalet på inngangen (A) med signalet på utgangen av forsterkeren (B).



En måte å gjøre dette på er å tegne signalet som funksjon av tiden på inn- og utgang for så å sammenligne amplitudene.

Svar på oppgavene finnes i vedlegg A.1.





6 Sensorer slik vi møter dem til daglig

Sensorer er overalt i vårt høyteknologiske samfunn. De registrerer fysiske størrelser ved våre omgivelser, det være seg temperatur, røyk, lys, lyd osv. og er viktige komponenter i systemer beregnet for overvåking og styring. I dette kapitlet vil vi bruke begrepet *sensor* om et element som omdanner fysiske størrelser, til elektrisk målbare størrelser (motstands-, kapasitets-, induktivitetsverdi osv.). En *aktuator* er et element som utfører en aksjon, det kan være at det gir et lys- eller lydsignal, et relé som starter en motor eller åpner en dør e.l. Fellesbetegnelse for sensorer og aktuatorer er *transdusere*.

En *detektor* er et element som måler verdien til en fysisk størrelse, men som i tillegg forholder seg til en terskelverdi. Dersom verdien til den målte størrelsen overskrider terskelen, gir detektoren fra seg et signal. Fuktighetsdetektoren som blant annet beskrives, er av denne typen. Den kan ikke si nøyaktig *hvor* fuktig det er, bare at fuktigheten overskrider en terskel slik at varsel (signal) gis. Detektorer består derfor gjerne av en sensor, men omdanner et kontinuerlig (analogt) signal til et av/på-signal (digitalt). En detektor vil forenkle informasjonen fra sensoren, vi trenger ikke vite at det er gass i rommet, bare at det er for mye gass.

Temperatursensorer og mikrofoner er eksempler på sensorer som omdanner et analogt fysisk signal (temperatur, lyd) til et

Eksempler på sensorer som omgir oss kan være:

- Temperatursensorer for måling og kontroll av temperatur i innerom, varmtvannstanker og kjøleskap
- Røykdetektorer for registrering av branntilløp og røykutvikling
- Vannmålere for måling av vannforbruk
- Fuktighetsdetektorer for registrering av vannlekkasje
- Brytere for registrering av åpning av dører og vinduer ved innbrudd
- Lysdetektorer for tenning og slukking av utelys
- IR-detektor for deteksjon av bevegelse f.eks. i automatiske døråpnere eller bilalarm
- Dopplermåler for måling av fart i politiets lasermålere
- Sensor for registrering av magnetfelt brukt i tyverialarmer i butikker og i automatiske trafikklys
- Trykksensorer for måling av trykk, måling av flyhøyde og dybden ved dykking
- Tachometere for måling av fart i biler og tog
- Mikrofoner for måling av lydnivå og støy
- Nivåmålere for måling av innhold i bensintanker og andre beholdere
- Effekt- og energimålere for måling av forbrukt elektrisk energi

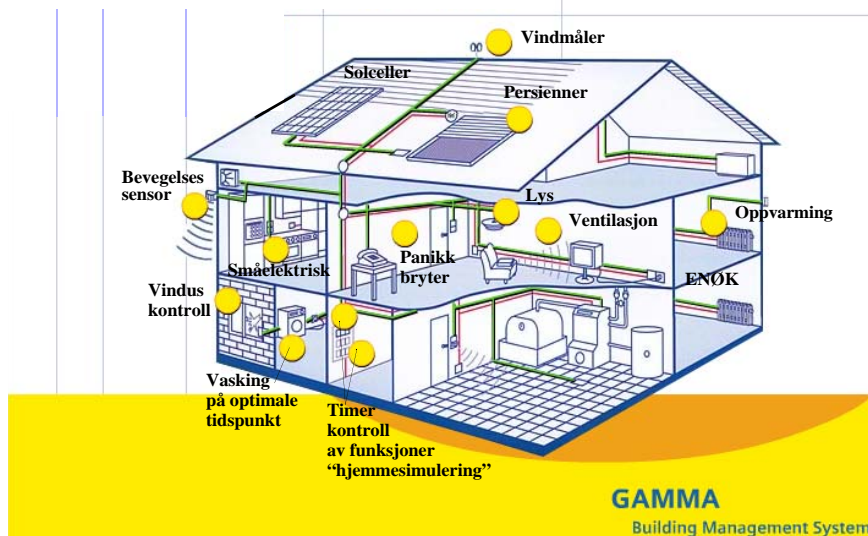
Slik kan vi fortsette å ramse opp sensorer og detektorer som vi omgir oss med.

I det neste kapitlet skal vi se hvordan disse sensorene kan settes i system i et moderne hus.



6.1 Universell utforming - det intelligente hus ¹⁸

I dette kapittelet skal vi se på hvilke muligheter det intelligente huset gir oss.



Figur 6.1 Ulike funksjoner i et "intelligent" hus.

I november 2004 la Regjeringen fram Handlingsplan for økt tilgjengelighet for personer med nedsatt funksjonsevne - plan for *universell utforming*¹⁹ innen viktige samfunnsområder. Handlingsplanen er femårig (2005 - 2009) og viser hvordan staten vil samle og styrke innsatsen for å gi alle innbyggere likeverdige muligheter til å være aktive i samfunnslivet og privat. Planene retter seg mot å forebygge og fjerne samfunnsskapt barrierer innen viktige samfunnsområder som bygg, uteområder, transport og IKT.

Universell utforming er derfor et mål for fremtiden (jfr. stortingets innstilling til Nasjonal Transportplan 2006 - 2015 og Eiendomsutvalgets Innstilling om offentlig eiendomsforvaltning). Tilgjengelighet skal kombineres med bærekraftig utvikling, estetikk, økonomi og sikkerhet.

Livsløpsstandard

Husbankens livsløpsstandard skal sikre god tilgjengelighet slik at boligen kan brukes i alle perioder av livet, også ved nedsatt bevegelse og bruk av rullestol. En livsløpsbolig er ikke en spesialbolig for rullestolbrukere, men en bolig som med enkle midler kan tilpasses en mulig bruk av rullestol.

18. Stoffet til dette avsnittet er hentet fra et notat utarbeidet av Knut Moen som er engasjert av Boligprodusentenes forening for å videreutvikle undervisningsopplegget BOLIGabc.

19. Universell utforming er utforming av produkter og omgivelser på en slik måte at de kan brukes av alle mennesker i så stor utstrekning som mulig uten behov for tilpasning og en spesiell utforming. Begrepet brukes gjerne synonymt med *Tilgjengelighet for alle*.



Livsløpsstandard forutsetter:

- Trinnfri adkomst fra biloppstillingsplass og til inngangsdør
- Stue, kjøkken, bad, soverom og atkomst til uteplass på inngangsplan
- En rullestolbruker skal kunne åpne/lukke og passere gjennom alle nødvendige dører.
- En rullestolbruker må komme fram til og kunne betjene det enkelte rommets funksjoner.

Husbankens livsløpsstandard er for tiden under bearbeiding for i større grad å inkludere prinsippene for universell utforming eller tilgjengelighet for alle.

Intelligente hager og hus

Hus og hage kan gis egenskaper som øker komforten, bedrer sikkerheten og økonomien.

Dette oppnås ved å etablere et kabel- eller trådløst nett (kommunikasjonsnett) i hage og hus slik at elektrisk og elektronisk utstyr kan kommunisere med hverandre. Husets totale elektriske anlegg (lys/varme/maskiner), informasjons- og kommunikasjonssystemer kan dermed integreres og overvåkes/styres ved hjelp av en hussentral via PC eller mobiltelefon.

Kabelsystemet gjør det mulig å bruke tv, telefon, datamaskiner, telefaks, telefon, sikkerhetsutstyr osv i hagen og i alle rommene i huset. Det digitale interne nettverket er konstruert for å tilfredstille kravet til hastighet og kapasitet. Kabler, kontakter og koplingsmaterieell skal være tilpasset hverandre etter EU standard.

Innbruddsikring.

Innbruddsikringen integreres med de andre installasjonene i hagen og huset for eksempel lys og elektroniske innretninger. Det skal se ut som hagen og huset er bebodd når de som bor der er borte. Alarmen i og utenfor huset bråker, lys blinker og varsler vaktsselskap.

Brannalarm.

Røykdetektorer redder liv og sikrer eiendom. 22 % av alle branner i boliger har el-årsak og 15 % skyldes feil bruk av el-utstyr. Detektorer varsler hussentral som igjen varsler vaktsselskap og/eller eier via mobiltelefon.

Vannalarm og vanningsanlegg.

Vannskader fører til kostbare reparasjoner i boliger. De vanligste skadene skyldes lekkasjer fra vaske- og oppvaskmaskiner, fra sprekkdannelse i rør og koblinger på grunn av aldring, dårlig utførelse eller frostskaider. Det monteres fuktighetsdetektorer i alle våtrom slik at en lekkasje varsles umiddelbart. Fuktighetsdetektorer kan også monteres på utsatte steder i kjeller, kryperom, vegger og takkonstruksjoner for å varsle fuktighet som kan påføre huset råteskader. Detektorene varsler hussentral som igjen kontakter eier via mobiltelefon.

Detektorer kan monteres i hagen for automatisk vanning av plen, busker og planter.



Lys- og varmestyring.

Energisparing og økt komfort er viktige begreper i et intelligent hus. Ved hjelp av følsomme termostater har en oversikt over temperaturen i alle rom. Oppvarmingen kan styres slik at den passer for hver enkelt. Dag- og nattemperaturen stilles inn individuelt for hvert rom. Temperaturen senkes når huset står tomt og kan stilles inn slik at en kommer tilbake til ønsket temperatur. Varmen settes på sparing når huset står tomt i lengre perioder og temperaturen kan ved hjelp av mobiltelefon økes/styres og avleses/kontrolleres etter behov. Lyset slås av og på ved bevegelse i hagen og huset/rommet og unødvendig lys slås av om natten. Lysstyrken reguleres med dempere. Dimpes lyset 10 % oppnås 50 % lengre levetid på pærene samtidig som strøm spares.

Lyset kan slås av, gjerne til ulike tider av døgnet, når en er på ferie slik at hagen og huset ser bebodd ut.

Overvåkningssystem.

Et overvåkningssystem er et viktig element for å gi komfort og sikkerhet. Kamera plasseres i hagen ved inngangspartiet og kobles opp mot TV eller egen monitor. Kameraet kan også kobles til ekstra utelys slik at disse tennes/blinker når noen nærmer seg huset. Kamera kan monteres på barnerom som "barnevakt" og kombineres med 2 veis talesystem.

I det neste avsnittet skal vi gå litt nærmere inn på de enkelte delene av elementene i et slikt styrings og overvåkningssystem.

6.2 Velferdsteknologi

I de seneste årene har begrepet velferdsteknologi dukket opp. Dette er teknologi som skal hjelpe eldre og andre som trenger tilsyn, til å meste hverdagen bedre, slik at de kan bo hjemme





lengre om de skulle ønske det. Figuren til høyre viser et eksempel på hjelpemidler hos fru Paulsen som er 84 år og begynner å bli litt dement, men som likevel ønsker å bo hjemme så lenge hun klarer seg selv og føler seg trygg²⁰.

På figuren ser vi en rekke hjelpemidler:

- **Kjøleskapsvakten** varsler fru Paulsen om kjøleskapsdøren blir stående åpen.
- **Medisindispenseren** sørger for at fru Paulsen tar medisiner til rett tid.
- **Komfyrvakten** varsler fru Paulsen dersom en kokeplate blir stående på eller noe blir stående igjen på komfyren.
- **Nattlyset** slås automatisk på dersom fru Paulsen står opp om natten.
- **Bevegelsessensoren** på soverummet sørger for å slå på nattlyset dersom fru Paulsen står opp om natten. Lyset reduserer risikoen for fall.
- **Memoplanneren** er en talende PC med berøringsskjerm som minner fru Paulsen om avtaler og hjelper henne til å strukturere dagen sin. Den fungerer også som bildetelefon, slik at hun kan ha løpende kontakt med hjelpemiddelapparatet og familien. Den hjelper henne også til å holde orden på vennekrets og familie og deres bursdager o.l.
- **Porttelefonen** har kamera og display slik at fru Paulsen kan se hvem som kommer på besøk uten at hun trenger å åpne døra. Bildet kommer også opp på memoplanneren.
- **Dørtaleren** er en tidsstyrt sensor som registrerer at ytterdøren åpnes på natten. En stemme forteller hva klokken er og hvem som ev. kan kontaktes dersom fru Paulsen trenger hjelp.
- **Fallsensoren** er plassert på kroppen til fru Paulsen og varsler hjelpeapparatet om hun faller og ikke klarer å komme seg opp ved egen hjelp.
- **Kroppssensorer** måler hjerterefrekvens, kroppstemperatur og aktivitet og gir beskjed til helsepersonell hvis fru Paulsen trenger tilsyn.

Abilia Norge er et firma som leverer løsninger tilpasset eldre og andre hjelpetrequende²¹.

6.3 Elementene som inngår i intelligente hus

En av forutsetningene for intelligente hus er at de enkelte elementene kan kommunisere med hverandre. Eksempelvis betyr dette at bevegelsesdetektoren i stua må kunne varsle sentralen i entreen, og at samtlige ovner må kunne styres fra den samme sentralen o.l. For at dette skal være mulig

20. Figuren er hentet fra Annonsebilag fra NHO: NHO 11, NHO-Magasinet - for samfunnsengasjerte menn, Nr. 02.2011

21. <http://www.abilia.no/>



må en ha et effektivt kommunikasjonsnett, slike nett kan enten være ført i egne kabler, eller sammen med strømmettet (240 V nettet) eller trådløst. Ofte betegnes slik nett for en *buss* eller *feltbuss*.

En kan kanskje tenke på feltbussen som en felles transportmiddel for meldinger som skal til de forskjellige enhetene (ovnen, lyspunktet, detektoren). Hver melding er adressert slik at den kommer fram til riktig sted, akkurat som pasasjerene på bussen vet akkurat hvor de skal stå av for å komme dit de skal.

I det videre har vi hentet eksempler fra Siemens sitt sortement. Vi skylder å gjøre oppmerksom på at det finnes flere aktører på dette markedet.

6.3.1 Feltbuss (Instabus)

Siemens bruker en feltbuss (Gamma Instabus) som forbinder alle installasjoner. Dette er en buss bassert på kabel (to ledninger). Styringsinformasjon sendes etter hverandre i tid (på seriell form). Dersom denne legges til samtlige punkter i huset har en senere full frihet til å endre funksjonalitet etter behov. Bussen kan også kommunisere på 240 V nettet, dvs. at nettleidingen både fører fram elektrisk energi og styring- og kontrolldata.



Figur 6.2 Eksempler på enheter for styring (konsoller)

Enhetene for styring kan være enkle eller mer sofistikerte. Figur 6.2 viser tre ulike varianter brytere som f.eks. kan brukes ved dimming av lys, styring av vinduer eller persienner.

Alternativt kan et trådløst kommunikasjonsnett tilsluttes feltbussen (Gamma wave). Da slipper en å legge kabler til alle enheter. Dette opererer på 868MHz.



6.3.2 Fjernstyring

Styringen trenger ikke nødvendigvis bare skje på stedet. En kan ringe opp systemet fra mobiltelefonen og slå på varme, lys eller lignende. Dette kan være aktuelt før en reiser på hytta.

Eller en befinner seg på ferie og kommer på at en kanskje har glemt å skru av lyset eller slått av kaffetrakteren. Da gir systemet ved oppringning av sentralen i huset mulighet til å undersøke hva som er på og hva som er avslått, ev. at en kan slå av strømmen.

Systemet kan også bygges ut til å sjekke om vinduer er lukket eller at temperaturen innendørs er tilfredsstillende. Om så ikke skulle være tilfelle kan en ev. slå på en ovn slik at temperaturen blir som ønsket, eller lukke et åpent vindu.

Dersom en er redd for at huset ser tomt ut og at noen skal gjøre innbrudd, kan en sørge for at lysene går av og på og/eller at persienne går opp og ned regelmessig o.l. mens en er borte.

For å få full styring og kontroll er det en fordel å ha et modem og en PC. En kan da koble seg opp mot den lokale sentralen hjemme ved hjelp av telefonnettet og en PC.



6.3.3 Sikkerhet



Systemet kan selvfølgelig også knyttes opp mot ulike alarmfunksjoner. Bevegelsessensorer, som vanligvis brukes for å tenne lys i rommene etter som en beveger deg inn og ut av rom, kan om natta eller når man er på jobb, brukes til å avsløre uforutsett bevegelse fra inntrengere.

Status på alarmanlegget kan også monitoreres via telefonnettet slik at en kan se hva som skjer og har skjedd i huset mens en har vært bortreist. Alarm trenger ikke nødvendigvis være sterk lyd, men også lys som tennes for å skremme ev. inntrengere.

Systemet kan selvfølgelig inkludere røykvarslere som automatisk er koblet opp mot vaktveskaper, som i sin tur varsler brannvesenet. Dette er f.eks. optisk baserte røykdetektorer slik at en unngår problemer med radioaktive kilder og avfallsproblemer.



Alarmfunksjonen kan lett deaktiveres ved at en stikker nøkkelen i låsen og låser opp døra.



Systemet kan også sjekke om alle vinduer er lukket, ev. varsle hvilke som er åpne idet en legger seg. Dette oppnås ved at det monteres magnetbrytere til alle vinduer.

Systemet kan også tilby mulighet for å iverksette panikkalarmer. Skulle det skje noe uventet kan en ved et trykk på en alarmknapp ringe opp alarmsentralen og sende bud på hjelp. En såkalt “panikkknapp”. Slike systemer kan kombineres med sikkerhetsalarmer for eldre og uføre.

Ved vannlekkasjer kan en også sørge for at hovedvanninntaket til huset stenges for å hindre vannskader.



6.3.4 ENØK



Når man er på ferie kan en ha konstant temperatursenkning for å spare strøm, samtidig som man ikke risikerer at vannledninger fryser, planter dør o.l. Når en reiser fra oppholdet kan termostatene settes opp slik at det er behagelig når man kommer hjem. I tillegg legges inn nattsenkning slik at temperaturen senkes om natten. Dersom vinduene overvåkes, unngår en unødig utlufting av varmluft. Dessuten kan en sørge for at temperaturen i rom, som ikke er i bruk, holdes nede på et akseptabelt nivå. Når rommene tas i bruk settes temperaturen opp. På denne måten kan en spare inntil 30 % av utgiftene til oppvarming.

Systemet kan også programmeres til å slå på f.eks. vaskemaskinen til tider av døgnet når belastningen på nettet er lavere. På denne måten fordeles belastningen jevnere over døgnet.

En kan også tillate at ulike systemer fungerer sammen, ved at samspillet mellom innetemperatur, solinnstråling, lufting og bruk av persiener kan optimaliseres mht. energiforbruk.

På større hus kan en på solrike dager få systemet til å åpne luftevinduer i taket slik at den varme luften slipper ut og man oppnår behagelig innetemperatur.

6.3.5 Audiovisuelt utstyr

Mange har dyre stereoanlegg eller hjemmekinoanlegg. Mye kan styres hos slike anlegg. Når man skal ha en kinoaften kan en ved enkle tastetrykk:

- Senke lærret og projektor fra taket
- Dempe lyset til forhåndsinnstilt styrke
- Trekke for gardiner
- Skru på forsterkere og DVD-utstyr
- Starte filmen som er i spilleren

Om noen ringer på døra mens filmen er i gang, kan den settes på pause, lyset skrur litt opp, og bilde fra kameraet ved ringeapparatet vises på skjermen²².



6.3.6 Overvåking og styring

“Gamma vision” er en programpakke som installeres på PC’en. Via denne programvaren kan systemet settes opp med den funksjonalitet installasjonene tillater. Den gir full oversikt og monitorering av tilstanden til systemet. Programvaren gir også mulighet til å føre statistikker, enten daglig, ukentlig, månedlig eller på årsbasis.

6.3.7 Oppkobling mot andre bussystemer

Ved såkalte “Gamma gate ways” kan Instabus kobles opp mot f.eks. ISDN, telenettet, LAN eller TP/IB (Internett). En spesiell kommunikasjonsenhet sørger også for kommunikasjon med LOGO! enheter.

6.3.8 Annet

Bruken av persienner kan også bestemmes av vindtrykket. Ved sterk vind heises persienner eller markiser opp, og andre hensyn skyves til side. Systemet har derfor mulighet til å måle vindhastighet.

Likeledes kan en få systemet til å lukke alle vinduer dersom det påvises regn. Eller en kan forlange at persiennene er nede inntil en ønsker å stå opp og slippe lyset inn.

Hvert lyspunkt kan styres individuelt slik at en kan tilpasse belysningen rundt om i huset til sitt eget individuelle scenario knyttet til når en ser på TV, når en er på jobb eller når en spiser middag osv.

Et roms funksjonalitet kan endres etter som behovene endres. Det betyr at et barnerom kan endres til et kontor, et rom tilpasset eldre eller en funksjonshemmet ved at rommets fasiliteter omprogrammeres til å tilfredstille de nye kravene. Veggmonterte kontrollpaneler kan lett erstattes med fjernstyringsmuligheter.

Systemet kan som antydnet, kobles til telefonsystemet og til PC’en for styring og overvåking.

Fjernstyringsenheter som bruker IR-transmittere er også tilgjengelige. Disse kan f.eks. fungere som håndholdte fjernkontroller ala fjernkontroll for fjernsyn.



Computer



Garage door



Solar collectors



Heating



Awning



Doorbell



Small household appliances



Venetian blinds



Alarm



Telephone



Air conditioning



Lights

22.Hentet fra [2].





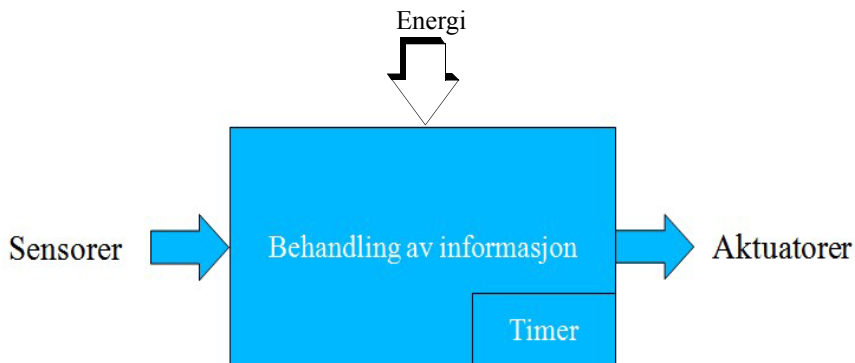
7 Noen sensorers virkemåte og karakterisering

I foregående kapittel ga vi noen eksempler på hvordan sensorer brukes i hjemmet. Vi finner imidlertid lignende anvendelser også i trafikken, i bilen, i drivhuset, i butikker, innen forskning og utallige andre steder og sammenhenger. I dette kapittelet skal vi se nærmere på hvordan et utvalg sensorer virker og hvordan vi kan karakterisere dem.

7.1 Innledende betraktninger om sensorer

7.1.1 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, strømmenet 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 sammenheng er lydsignaler 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 uklart 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. lydsignaler 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 målbar.

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.

7.1.2 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 $+125\text{ °C}$ være måleområdet for en temperatursensor. Innen dette området skal ikke avviket fra den virkelige verdien være større enn $\pm 2\text{ °C}$.*

Oppløslighet:

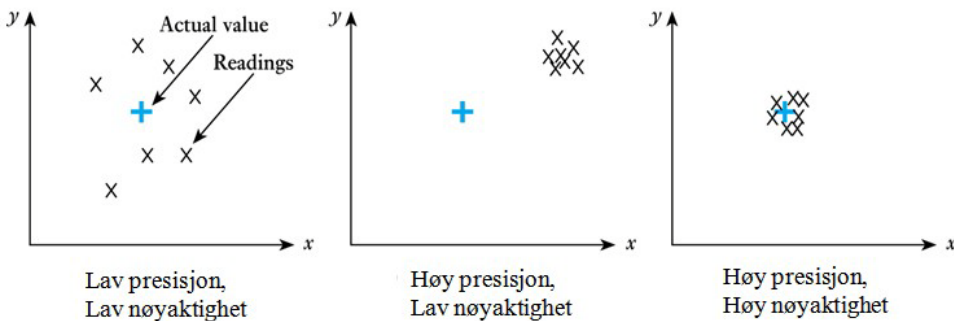
Dette er den minste målbare verdi av den fysiske størrelsen som sensoren er i stand til å registrere, og uttrykkes gjerne som en prosentandel av sensorens totale måleområde. *F. eks. kan $0,15\text{ °C}$ være en minste forskjell som en temperatursensor kan måle. Av et måleområde på 150 °C vil dette gi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

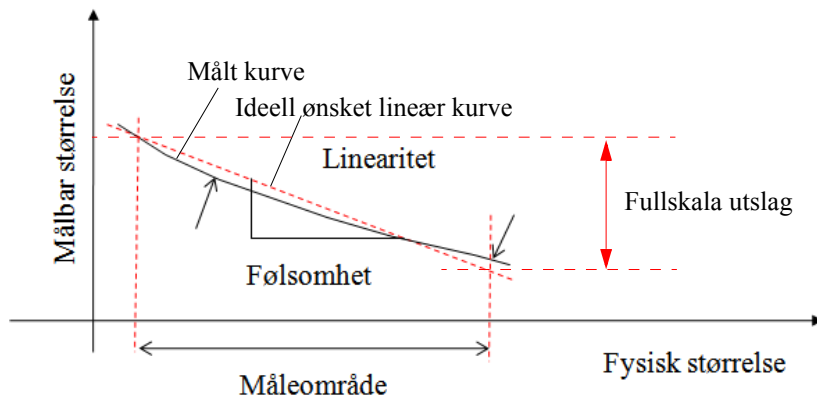
Figuren under viser forskjellen på en måleseries *presisjon* og *nøyaktighet*.





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.*

7.2 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.

7.2.1 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 sintres²³ sammen med et plastisk bindemiddel.

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

$$R = Ae^{B/T} \quad (7.1)$$

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

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:

$$R = Ae^{\frac{B_{25/85}}{T}} \quad (7.2)$$

$$R_r = Ae^{\frac{B_{25/85}}{T_r}} \quad (7.3)$$

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

$$R = R_r \cdot e^{\left(\frac{B_{25/85}}{T} - \frac{B_{25/85}}{T_r}\right)} \quad (7.4)$$

Dette uttrykket går under betegnelsen *Beta-formelen*.

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



Når vi skal beregne verdien for en NTC-motstand ved en gitt temperatur, slår vi opp B -verdien, R_T og T_T 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 databladet²⁴ for RH16 finner vi følgende: R_{25} er referansemotstand (R_T) ved 25 °C ($T_T = 298$ 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 |

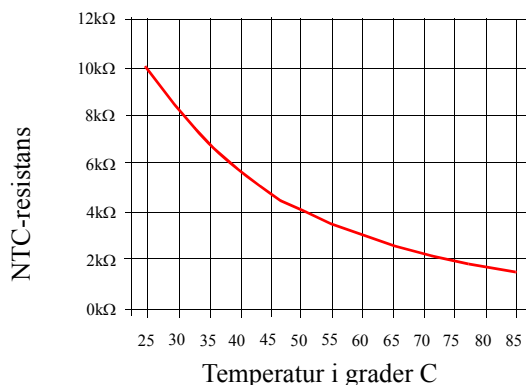
Figur 7.1 Datablad for NTC-motstand RH16, 2–300 k Ω

Med disse dataene kan vi skrive:

$$R = 10\text{k} \cdot e^{\left(\frac{3486}{T} - \frac{3486}{298}\right)} \quad (7.5)$$

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

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



Figur 7.2 NTC resistans som funksjon av temperaturen RH16 10 k Ω

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.

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

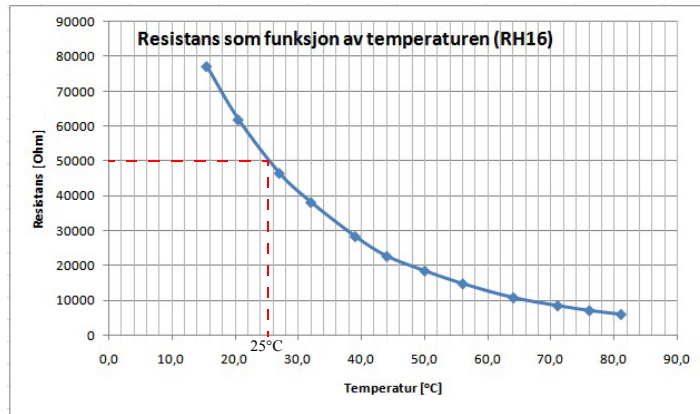


I vårt eksempel er $\tau = 6$ sek. (se tabellen i figur 7.1). Dette er kanskje en av de største ulempene med denne teknologien, den har relativ lang tidskonstant.

Kalibrering

Vi har gjort målinger på RH16 – 50 k Ω 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 k Ω som spesifisert i databladet.



Figur 7.3 Resistans som funksjon av temperatur for RH16 – 50 k Ω

En datalogger vil også kunne benyttes.

En kan gjøre et lignende regnestykke for NTCLE101E3..... termistoren (VISHAY)²⁵. 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 |

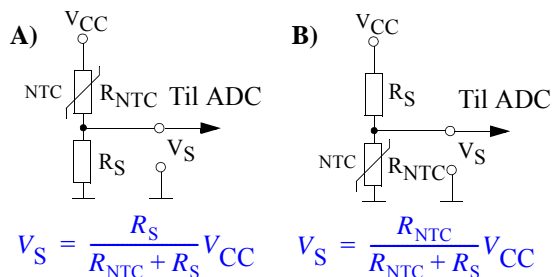
25.Datablad: <http://www.vishay.com/docs/29046/29046.pdf>



Oppkobling mot ADC

Siden grensnett 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}). Spenningsnivået 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.

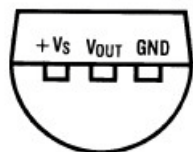


7.2.2 Integreert temperatursensor LM35DZ

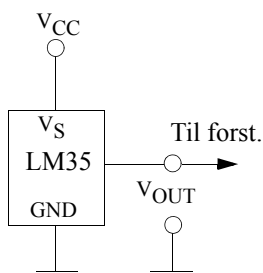
Dette er en integrert temperatursensor med følgende nøkkelparametere:

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

TO-92
Plastic Package



BOTTOM VIEW
DS005516-2



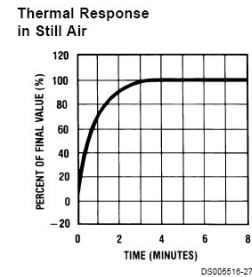
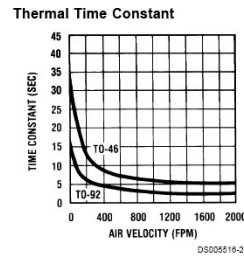
Figuren til venstre viser pinningen til TO-92 pakken som kan være grei å bruke. Pinningen er sett fra undersiden (bottom view). Tegningen til høyre på figuren viser hvordan sensoren kan kobles til en forsterker for å tilpasses AD-konverteren dynamiske område.

Av figuren under legger vi merke til at heller ikke denne varianten har spesielt rask temperaturrespons.



Av figuren til høyre ser vi at tidskonstanten pakken T0-92 er ca. 5 sek med en vindhastighet på 400 FPM (feet pr. minute) eller ca. 2 MPS (meter pr. sek.)

Vi legger merke til at med en temperaturvariasjon på eksempelvis 10°C så vil spenningen variere med typisk 100 mV. Siden AD-konverteren har et område på 5V ser vi at ADC'en utnyttes særdeles dårlig.



Sammenhengen mellom temperatur (T i Kelvin) og spenning (V i Volt) kan uttrykkes som følger [11]:

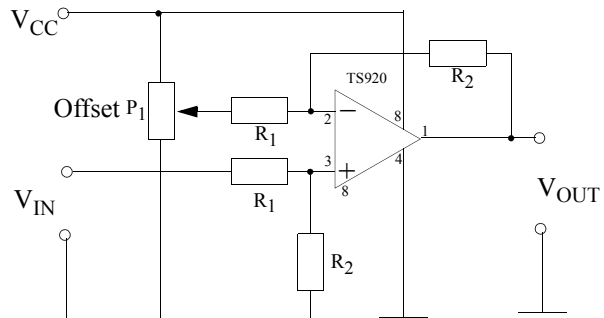
$$V(T) = 0,01 [V/K] \cdot T [K] + 0,5 [V] \quad (7.6)$$

Løser vi denne mht til temperaturen T får vi:

$$T = 100 \cdot V(T) - 50 \quad (7.7)$$

For å optimalisere sensoren til ADC'en innefor det aktuelle temperaturområdet må vi gjøre følgende:

1. Bestemme aktuelt temperaturområde
2. Legge inn forsterkning slik at temperaturområdet dekker mest mulig av ADC'ens dynamiske område 0–5 V.
3. Forskyve skalaen (offsett) slik at den faller innefor ønsket spenningsområde.



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

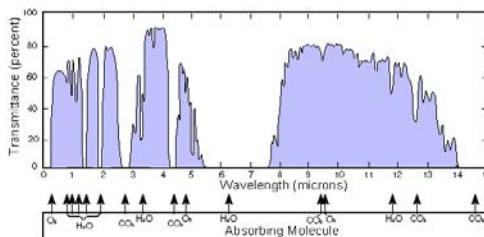
$$\text{Forsterkning} = \frac{R_2}{R_1} \quad (7.8)$$



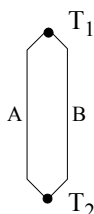
7.2.3 IR-sensor

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 ($<1 \mu\text{m}$) 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.



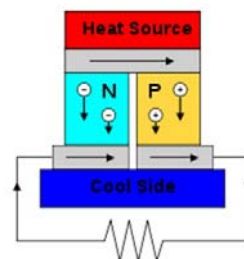
Alle gjenstander og mennesker sender ut IR-stråling (varme). Denne strålingen kan registreres av IR-sensorer, som f.eks. kan benyttes til å avsløre varmelekkasje fra bygninger, varmgang av elektrisk utstyr, måling av kroppstemperatur og som bevegelsessensorer mm.



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.

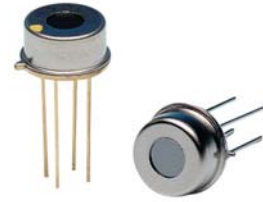
Den samme effekten utnyttes i moderne IR-sensorer. I stedet for å bruke ulike metaller, benyttes p-dopet og n-dopet halvledermateriale, som vist på figuren til høyre.

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).



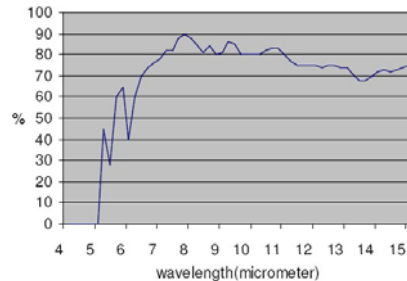
Dersom det skapes en temperaturforskjell i halvledermaterialet, vil det i den delen av materialet som blir oppvarmet, skapes flere frie ladningsbærere. Dvs. at den tilførte varmeenergien “løfter” elektroner ut av valensbåndet og inn i ledningsbåndet. For å jevne ut forskjellene begynner ladningene å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



Modell HV-T36

Det har vært en del diskusjon på nettet om denne metoden er tilstrekkelig reproduserbar og gir god nok overenstemmelse med kjernetemperaturen i kroppen²⁶.

7.3 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.

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

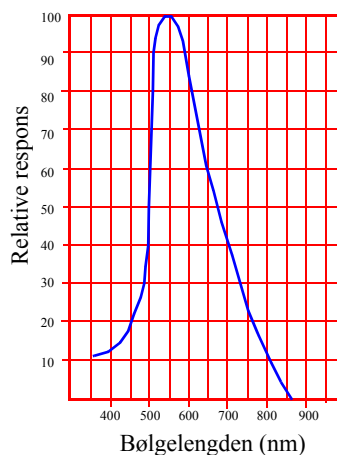
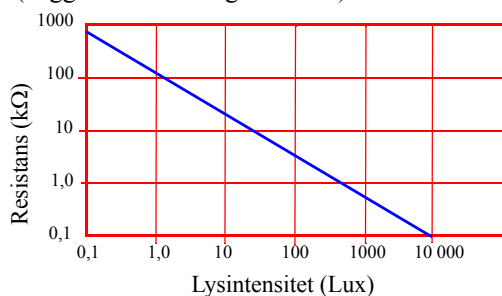
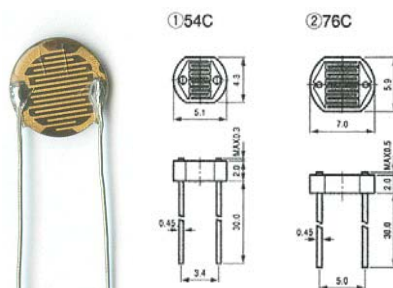


7.3.1 Fotomotstand (LDR - Light Dependent Resistor)

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 C.

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 7.4 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 7.4 Resistans som funksjon av lysintensitet (venstre), følsomhet som funksjon av bølgelengde.

Ut fra følsomhetskurven til høyre på figur 7.4, 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:

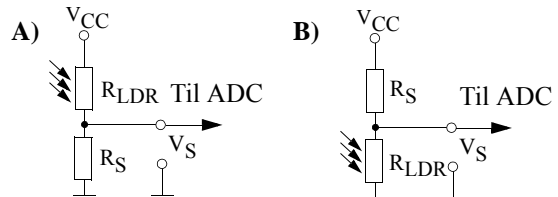
- Fullt sollys 11 000 lux (eller ca. 1000 W/m²)



- 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.



$$V_S = \frac{R_S}{R_{LDR} + R_S} V_{CC} \quad V_S = \frac{R_{LDR}}{R_{LDR} + R_S} V_{CC}$$

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

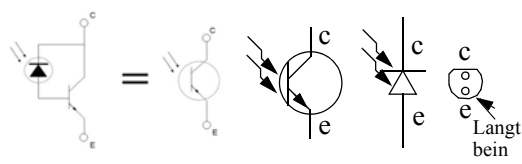
7.3.2 Fototransistorer


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)

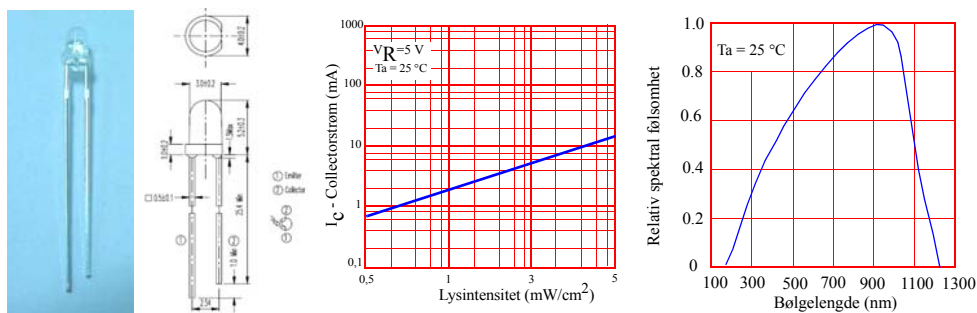
En diode (PN-overgang) vil normalt lede strøm når den forspennes i lederetning og sperre når den forspennes i sperreretning. Likevel vil det alltid flyte en liten lekkasje- eller *reversstrøm* når den er forspent i sperreretningen. Dersom PN-overgangen eksponeres for lys, vil reversstrømmen øke med økende 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 sperre-

retning. 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 [17]. 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. $0,5 \text{ mW}/\text{cm}^2$ ($5 \text{ W}/\text{m}^2$) og 16 mA ved $5 \text{ mW}/\text{cm}^2$ ($50 \text{ W}/\text{m}^2$)²⁷.

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 følsomhetsområder²⁸:

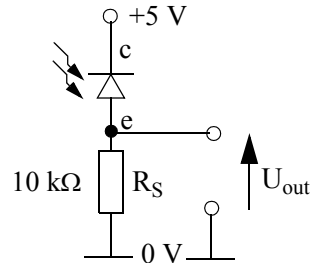
27. Til sammenligning kan nevnes at typisk lysstyrke i et rom kan være 2 - 10 W/m^2 , mens lysstyrken utendørs en strålende sommerdag kan være typeisk $1000 \text{ W}/\text{m}^2$.

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

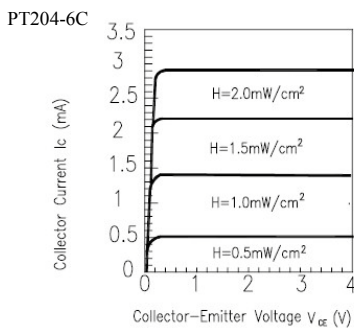


| | |
|------------------------|---------------|
| Silisium: | 190–1100 nm |
| Germanium: | 400–1 700 nm |
| Indium Gallium Asenid: | 800–2 600 nm |
| Blysvifid | <1000–3600 nm |

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 lyssyrken. 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.

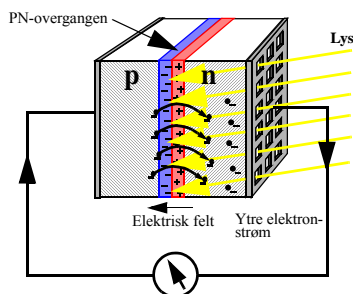
Brukt i fotovoltaisk modus vil disse komponentene **være små solceller og fungere som en strøm eller spenningskilde.**

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 *gjernge 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.

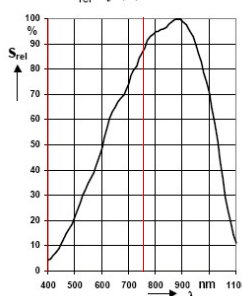
En fototransistor i fotovoltaisk modus vil fungere som en liten solcelle, og vil, når den belyses, levere en spenning²⁹ på ca. 0,54 V. Kobler vi den inn i en ytre krets, vil den også gi en liten strøm.



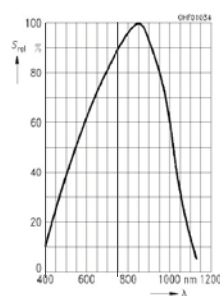
Bildet til høyre viser en typisk fototransistor av denne typen, f.eks. SFH300 eller SFH203. SAom vi ser så ligner den på en lysdiode.

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 $S_{rel} = f(\lambda)$



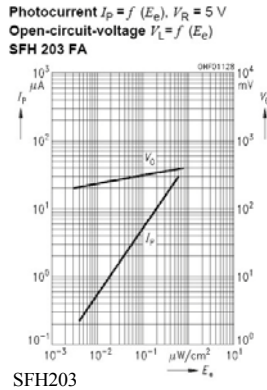
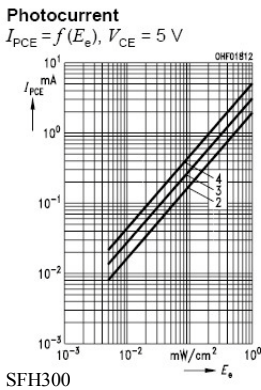
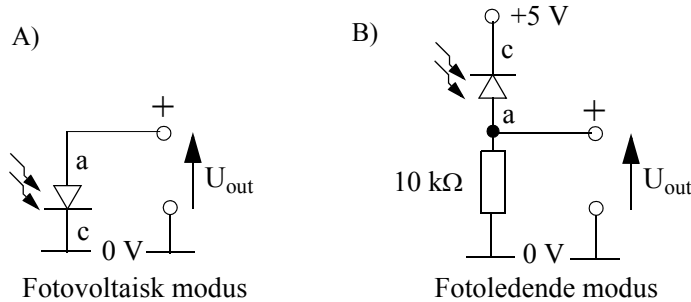
Oppkobling for karakterisering:

Denne typen fototransistor kan i prinsippet brukes i begge moduser:

29. 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 SFH300³⁰ og SFH203.

7.3.3 Lyssensorer brukt til kommunikasjon – fjernkontrollen for TV³¹

Gjennom de siste 35 år er fjernkontrollen blitt et viktig hjelpemiddel i forbindelse med styring av TV, stereoanlegg, videospillere, bilalarm og til og med klimaanlegg og varmpumper m.m. De fleste av disse fjernkontrollene bruker infrarød stråling (IR) (varmestråling) til å overføre informasjonen.

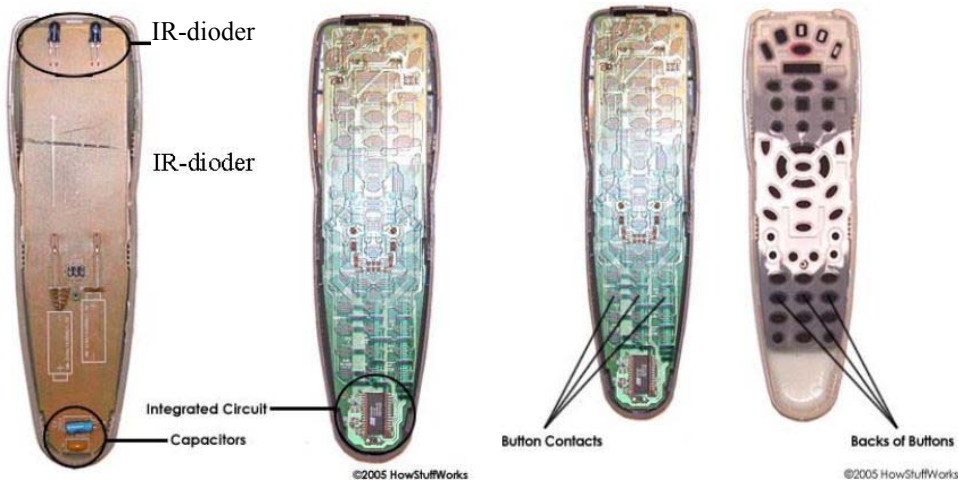
Mens det synlige lyset har bølgelengder fra ca 350 - 700 nm (nanometer - 10^{-9} m), bruker fjernkontroller infrarøde strålingen som har lengre bølgelengder. Bølgelengden for fjernkontrollen

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

31. Stoffet til dette avsnittet er hentet fra: <http://electronics.howstuffworks.com/remote-control.htm>



ligger vanligvis på 980 nm. Foran i fjernkontrollen finner vi en eller to IR-dioder, som ligner på lysdioder, men som, istedet for lys, sender ut infrarød stråling.

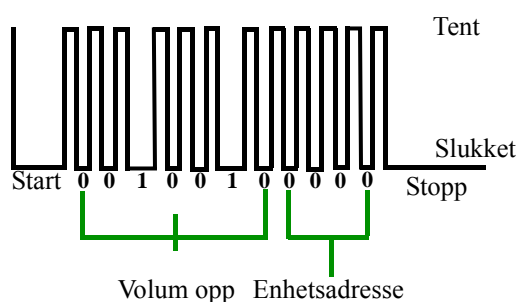


IR-signalene som sendes fra fjernkontrollen er kodet ved at hver kommando har sin egen sekvens av pulser. Det vil si at IR-strålingen slås av og på etter et spesielt mønster (koding) alt etter hvilken kommando som skal overføres. Det er utviklet forskjellige standarder for hvordan de ulike kommandoene er kodet.

Tabellen til høyre, viser hvordan Sony har kodet sine kommandosignaler. Hver kommando er kodet som sju digitale tall. Til venstre i tabellen angis koden for tallene 0–9. Til høyre ser vi hvordan noen utvalgte kommandoer er kodet.

| Knapp | Kode | Knapp | Kode |
|-------|----------|-----------|----------|
| 0 | 000 0000 | Enter | 000 1011 |
| 1 | 000 0001 | Kanal opp | 001 0000 |
| 2 | 000 0010 | Kanal ned | 001 0001 |
| 3 | 000 0011 | Volum opp | 001 0010 |
| 4 | 000 0100 | Volum ned | 001 0011 |
| 5 | 000 0101 | På | 001 0101 |
| 6 | 000 0110 | Av | 001 1111 |
| 7 | 000 0111 | Mute | 001 0100 |
| 8 | 000 1000 | | |
| 9 | 000 1001 | | |

La oss ta “Volum opp” som eksempel, for å forklare hva som skjer.



Vi ønsker å øke volumet på TV-en og trykker på knappen “Volum opp”. Trykket registreres av en liten mikroprosessor som sitter i fjernkontrollen. Denne slår opp i tabellen som den lagerer i sitt interne minne. Her står det at den skal sende ut sekvensen 001 0010 som resulterer i at IR-diodene foran i fjernkontrollen tennes og slukkes i rask rekkefølge som vist på figuren til venstre. Vi legger merke til at 1-erne gir en noe lenger avslått tilstand enn 0-erne. Dessuten er start og stopp lengre av-tilstander.



Vi legger også merke til de 7 binære sifrene som angir “Volum opp”, etterfølges av fire siffer (enhetsadresse) som angir hvilken enhet vi ønsker å styre. I dette tilfellet TV-en. Dersom vi ønsker å henvende oss til en annen enhet, f.eks, videospilleren, vil det stå et annet tall i enhetsadressen.

I TV-en sitter en IR-mottaker som registrerer sekvensen av 0-ere og 1-ere som vi sender. Sekvensen av tall sendes til en mikroprosessor som sørger for å styre volumkontrollen et hakk opp.

Dersom vi holder knappen for “Volum opp” inne over lengre tid, vil flere “Volum opp” sekvenser sendes, slik at volumet justeres opp flere hakk.

De fleste har lagt merke til at fjernkontrollen må peke mot TV'en for at den skal fungere. Dessuten vil den ikke virke dersom noen står i veien for IR-strålingen. Rekkevidden for en fjernkontroll med fri sikt, er ca. 10 meter.

Både solen og enkelte lyskilder sender ut IR-stråling, noe som kan virke forstyrrende for kommunikasjonen mellom fjernkontrollen og mottakeren i f.eks. TV-en.

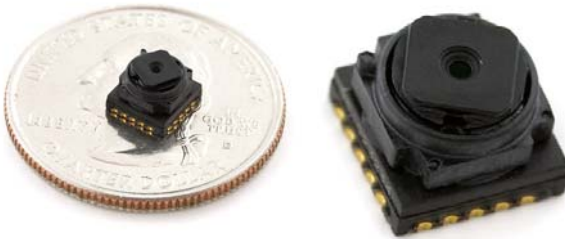
I TV'en sitter det en mottaker. Denne består i dette tilfellet ofte av en fototransistor som er spesielt følsom i det infrarøde frekvensområdet. Når den treffes av IR-stråling fra fjernkontrollen, vil strømmen i fototransistoren bli slått av og på i takt med de utsendte signalene og kan viderebehandles av mikroprosessorer i TV-apparatet som til sist iverksetter kommandoene i meldingen.

Som vi ser kan IR-stråling både brukes til fjernstyring. Vi skal senere se at IR-stråling kan brukes til å detektere bevegelse.

7.3.4 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 brukes i ulike sammenhenger.

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 \$³² fra firmaet Sparkfun. Kameraet leverer bilder i VGA format (640 x 480 pix) og har en øvre bildehastighet på 30 fps³³ med et optisk format på 1/6". En prosessor chip er inkludert i kameramodulen og leverer bildedata på standard seriell form eller

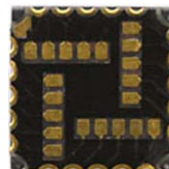
I²Cm buss. Kameramodulen har innebygget automatisk forsterkningskontroll og hvitballanse.

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

33. fps - frame pr. sec.



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 nennsom loddebolt eller spesialutstyr for montasje av overflate komponenter. En må regne med å lage et eget kretskortutlegg for denne modulen dersom en ønsker å bruke kameraet



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.³⁴ For mer informasjon se også databladet³⁵.

7.4 Luftrykkfølsomme sensorer

Måling av lufttrykk 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.

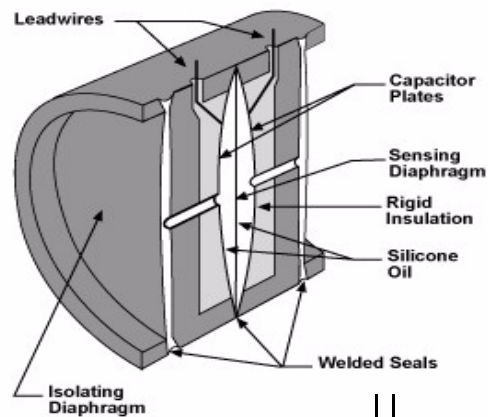
I forbindelse med atmosfæremålinger er man ofte interessert i å bruke trykkmålinger for å anslå høyden.

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

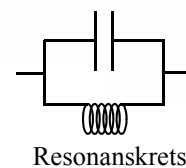
35. <http://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Imaging/TCM8230MD.pdf>

7.4.1 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 7.5 Typisk kapasitanscelle for måling av trykk.



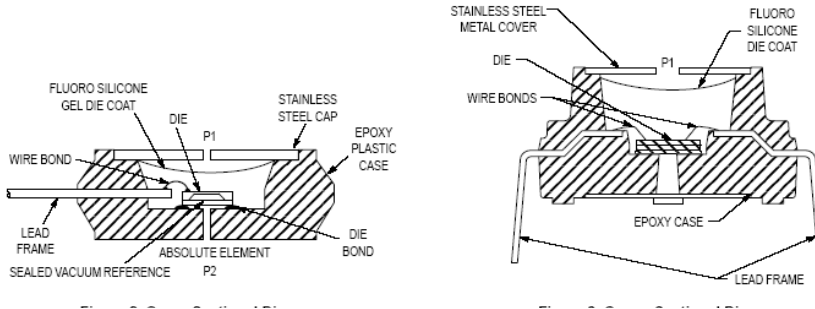
7.4.2 Måling av lufttrykk ved endring i resistans (piezo-resistivitet)

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



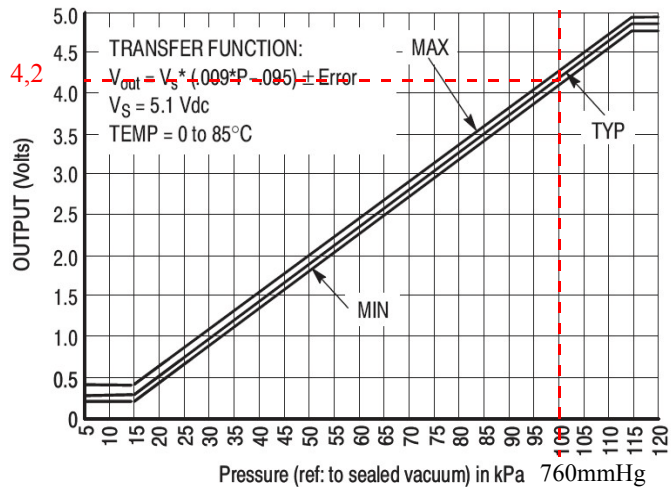
inngå i en målebro slik at endring i resistivitet kan omgjøres til en spenning. Denne forsterkes til ønsket nivå. De nevnte sensorene er utstyrt med en integrert forsterker slik at sensorene leverer en passende spenning.



Figur 7.6 Utforming av trykksensor med piezo-elektriske elementer.

Sammenhengen mellom trykk og spenning på utgangen av sensoren MPX4100A er vist i figur 7.7

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 7.7 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 [11]:

$$V_p = 5,0 (0,009 P - 0,095) \quad (7.9)$$

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:

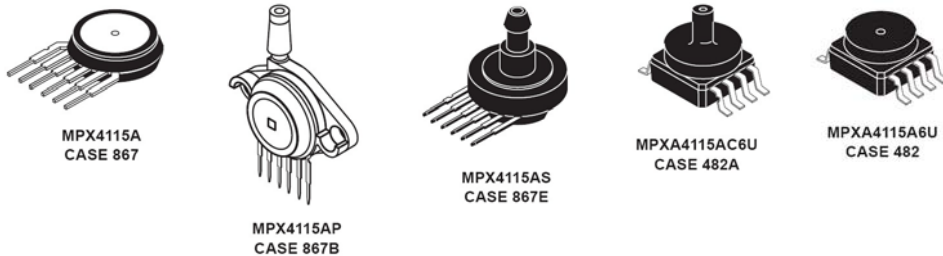
$$P = 22,222 V_p + 10,556 \quad (7.10)$$



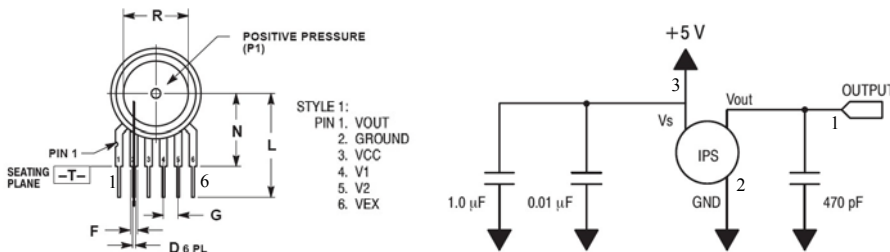
Dernest ønsker man ofte å regne om fra trykk til høyde hvilket er noe mer utfordrende, se ligning (7.11) på side 167.

Mekanisk utforming MPX415XX

MPX4115 leveres i ulike pakninger, se figuren under. MPX4115A egner seg f.eks. til måling opp gjennom atmosfæren, mens MPX4115AP eller AS kan egne seg bedre til å karakterisere sensoren i og med at det er lett å koble til en slange for 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 7.7. 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 [12].

7.4.3 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 referert:

$$h = \frac{T_1}{a} \left(\left(\frac{p}{p_1} \right)^{-\frac{aR}{g_0}} - 1 \right) + h_1 \quad (7.11)$$

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 |

7.5 Fuktighetsfølsomme sensorer

7.5.1 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.

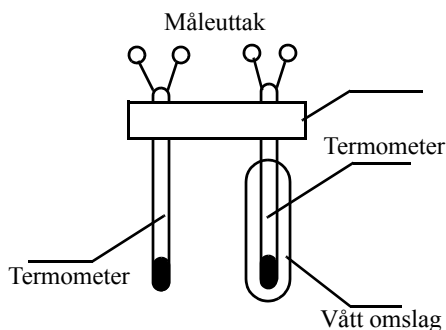
Det er derfor vanlig at vi måler trykk og temperatur sammen med fuktighet. En slik kombinert måler kalles ofte en PTU-sonde (**P**ressure - **T**emperatur - **hU**midity).



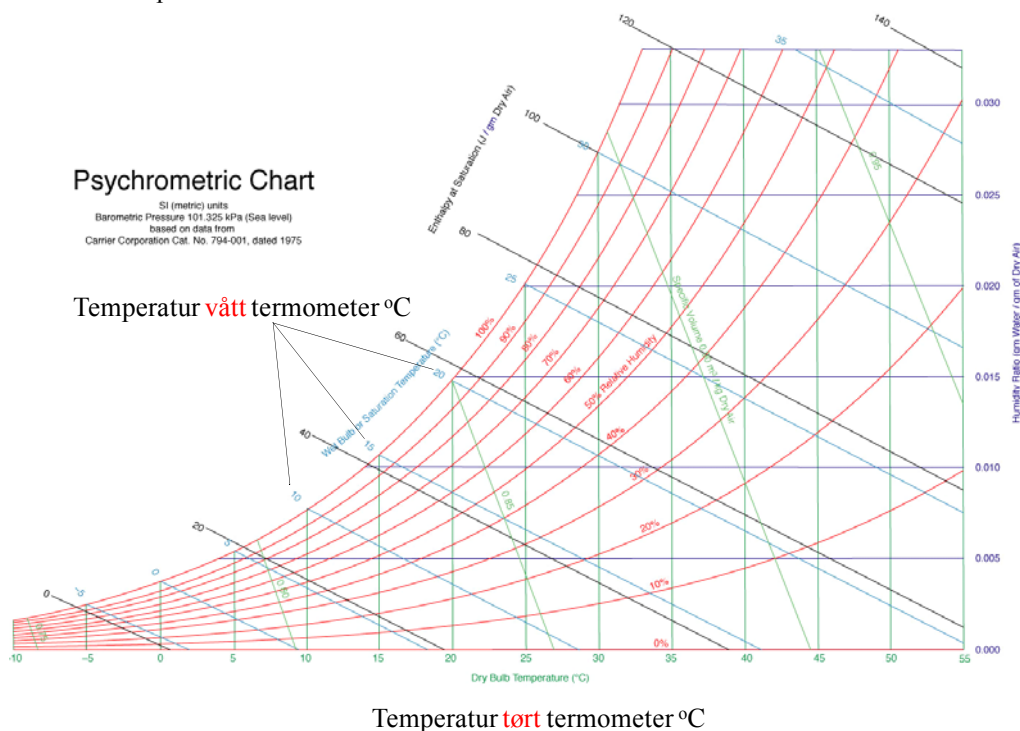
Hvordan måles relativ fuktighet?

Psykrometeret: [25]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 lufta. 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 7.8 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).

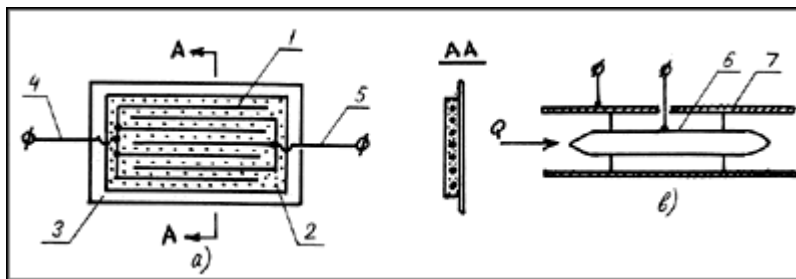


Temperaturen til det tørre termometeret er avmerket langs den horisontale akse, mens temperaturen til det våte termometeret er avmerket langs den buede delen av diagrammet. De buede linjene i diagrammet angir den relative luftfuktigheten.

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 [25]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. Litiumklorid og Aluminiumoksid.



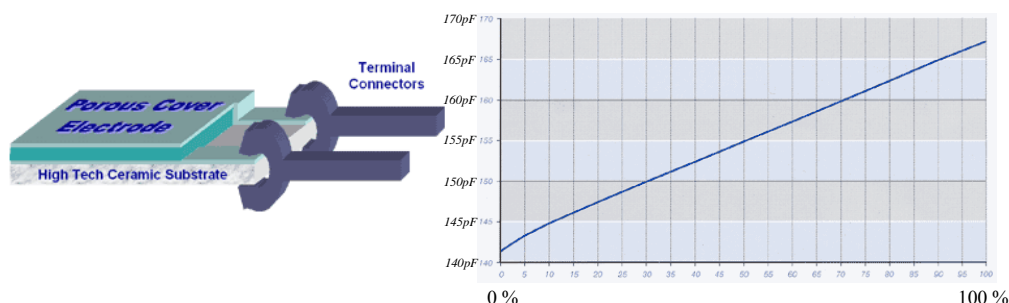
Figur 7.9 a) Resistivt hygrometer og b) kapasitivt hygrometer.

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.



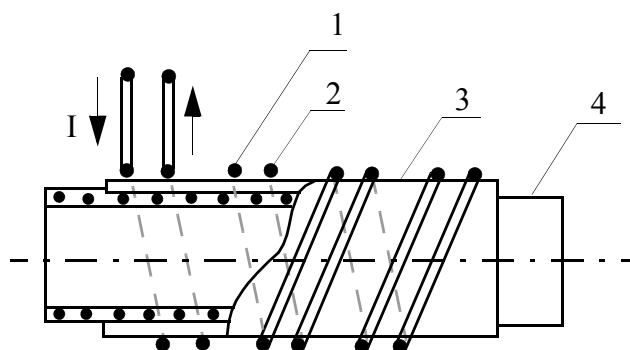
Moderne kapasitive fuktighetssensorer er bygget opp som en platekondensator. Den ene elektroden er porøs slik at den kan slippe fuktighet inn til det dielektriske materialet mellom de to elektrodene. Fuktigheten endrer dermed kapasitansen som kan avleses av en tilhørende elektronikk.



Figur 7.10 Moderne kapasitiv fuktighetssensor³⁶.

Elektrolytisk hygrometer [25]a

Et elektrolytisk hygrometer består av et tynt porøst rør (4) omspunnet med to platina elektroder (1 og 2). Selve røret er dekket med et tynt lag av Fosfor-pentaoksid (P_2O_5) som fyller mellomrommet mellom de to elektrodene. I røret strømmes den fuktige gassen som vi skal bestemme fuktigheten til. Fuktigheten er delvis absorbert av fosfor-pentaoksidlaget på røret. Gjennom elektrodene flyter en likestrøm (I) som spalter fuktigheten i gass-strømmen til hydrogen- og oksygen-gass. Strømmen som kreves for å utføre elektrolysen er direkte proporsjonal med den relative fuktigheten til gassen som flyter i røret.



Figur 7.11 Elektrolytisk hygrometer.

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

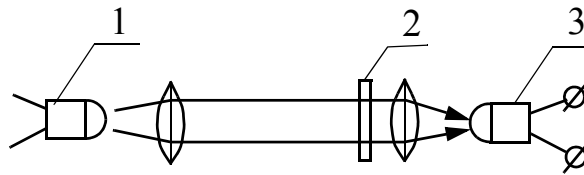


Infrarød type hygrometer [25]a

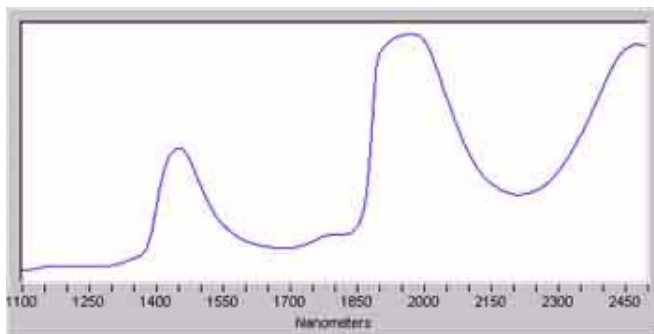
Denne typen hygrometer baserer seg på at infrarød stråling absorberes av vanndamp.

Absorpsjonen er spesielt utartet ved spesielle frekvenser. Infrarødt stråling sendes ut fra en "lys"-kilde (1), Denne fokuseres gjennom en linse før den passerer gjennom et kammer som er fylt med gassen som skal måles.

Et optisk filter (2) fjerner uønskede bølgelengder før det resterende lyset slipper gjennom til en fotosensor som registrerer intensiteten til det mottatte lyset. Fuktigheten i gassen er proporsjonal med den fotoelektriske strømmen som flyter gjennom sensoren³⁷.



Figur 7.12 Prinsippskisse infrarød type hygrometer



Figur 7.13 Absorpsjon av stråling som funksjon av strålingens bølgelengde. Hele området er i den infrarøde delen av spekteret.

37. Figuren er hentet fra: <http://www.zeiss.de/c12567bb00549f37/Contents-Frame/36a1ada493b2882841256d660048b588>



7.5.2 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.

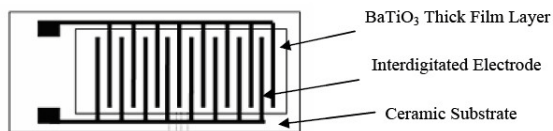
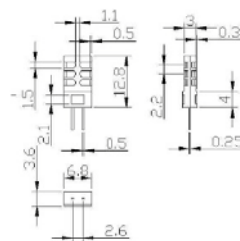
Sensor resistance table (unit:K Ω) At 1 KHz, Voltage 1Vrms.

| | 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 |

Av figuren over ser vi at resistansen ved 25°C faller fra ca. 9 M Ω til 3 k Ω 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 relativt unøyaktig.

Databladet anbefaler at sensoren tilføres en vekselspenning på 1 kHz i stedet for en likespenning, for å unngå polarisering av sensoren, noe som kompliserer bruken. Målinger synes å bekrefte dette³⁸.

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 V³⁹.



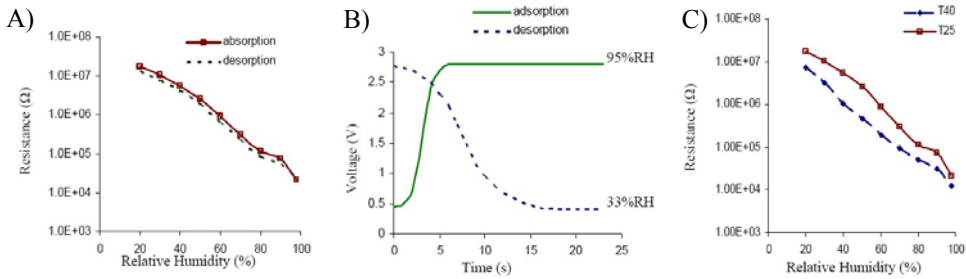
Selv om det er vanskelig å finne detaljerte beskrivelser av hvordan sensoren er bygget opp, er det rimelig å anta at den består av et isolerende keramisk materiale med fingerelektroder som er dekket med et kjemisk stoff som endrer resistivitet som funksjon av fuktigheten i omgivelsene. Dette materialet kan for eksempel være BaTiO₃. Figuren over viser hvordan sensoren kan være konstruert⁴⁰. Sensoren er montert inn i et perforert plastdeksel.

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

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

40. Figuren er hentet fra [25]c.

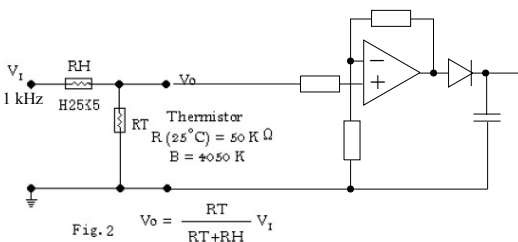
Kurvene i figuren under viser resultatet av målinger utført på en slik sensor.



Figur 7.14 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 7.14 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 7.14 B) viser hvordan sensoren gir respons ved meget brå endringer i fuktighet. Heltrukken 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 7.14 C) viser relativt 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 kompenserer for avvikene. Databladet for H25K5A anbefaler en termistor (NTC-motstand) på 50 kΩ ved 25 °C.



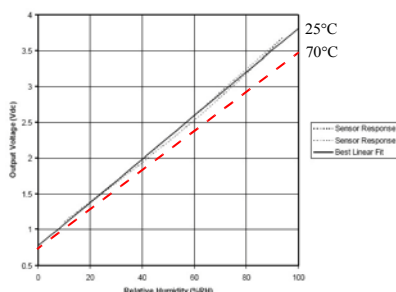
Ideelt sett skulle spenningen på utgangen av spenningsdeleren til venstre være konstant som funksjon av temperaturen dersom relativ fuktighet holdes konstant. Det vil i praksis si at lufta omkring sensoren måtte tilføres mer vanddamp når temperaturen økte slik at den relative fuktigheten ble uforandret.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

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



7.5.3 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).

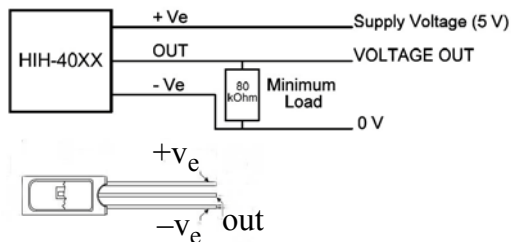


Den har en nær lineær sammenheng mellom relativ fuktighet og spenning som vist på figuren til høyre (ved 25°C). Variasjonen er imidlertid betydelig dersom temperaturen avviker vesentlig fra 25°C. Vi ser at utgangsspenningen varierer fra ca. 0,75 V ved 0 % til 4,75 V ved 100 % fuktighet, hvilket egner seg godt for tilkoble til en AD-konverter med et spenningsområde på 0–5 V. 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.

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.



7.6 Trykk- og strekkfølsomme sensorer

7.6.1 Strekkfølsom motstand (strekkklapp)

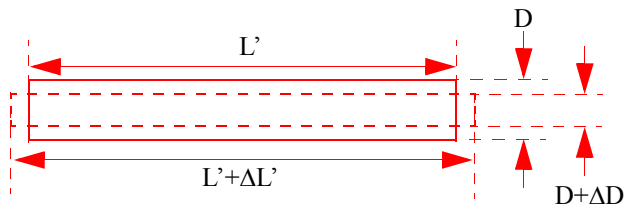
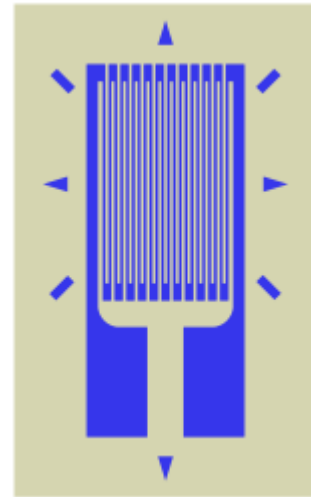
Strekkklapper er en liten innretning som gjennom mange år er brukt for å måle deformasjon av et materiale. Det var den amerikanske elektroingeniøren **Edward E. Simmons** (1911–2004) som i 1938 første gang brukt en strekkklapp, og som dermed regnes for strekkklappens oppfinner.

Strekkklappens oppbygning og virkemåte

Det finnes ulike typer strekkklapper. Felles for dem alle er at de endrer elektriske egenskaper når de tøyes (strekkes) i en retning. Vanligvis endres strekkklappens resistans som funksjon av graden av tøying. Strekkklapper er tilgjengelige med verdier fra 30 - 3000 Ohm, mens verdiene 120, 350 og 1000 Ohm er de vanligste⁴¹.

Det finnes hovedsakelig tre typer strekkklapper på markedet: Folie-strekkklapper, tråd-strekkklapper og halvleder-strekkklapper. Her skal vi stort sett se på den første typen.

Folie-strekkklappen består av en tynn metallfilm formet som en meander. Figuren over viser et eksempel på en slik strekkklapp. Tilkoblingsterminalene er nederst (grå felter). Når metallfilmen strekkes, endres resistansen i meanderen, og vil være et mål for hvor mye meanderen strekkes.



Figur 7.15 Utsnitt av meanderstripen.

Når strekkklappen strekkes vil hver stripe bli litt lengre og litt smalere som vist på figuren over. Tilsvarende vil en strekkklapp som trykkes sammen, bli litt kortere og litt bredere. I det første tilfellet vil resistansen øke, i det andre tilfelle vil den avta.

For at vi skal kunne karakterisere denne komponenten må vi definere noen størrelser.

Forholdet mellom forlengelsen ΔL og den opprinnelige lengden L kalles *tøyningen* (eng. *strain*) og kan uttrykkes slik:

$$\text{Tøyningen} = \Delta L/L = \varepsilon \quad (7.12)$$

41. Se <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3642>



Tøyningen, er som vi ser, ubenevnt.

Eksempelvis kan vi tenke oss at den opprinnelige lengden til meanderen for en strekkklapp er 100 mm, mens forlengelsen måles til 0,01 mm. Så vil tøyningen ε bli lik:

$$\text{Tøyning} = \varepsilon = 0,01/100 = 0,0001 = 100 \cdot 10^{-6} \text{ eller } \mu\varepsilon = 100 \text{ } \mu\text{m/m (}\mu\text{Strain)} \quad (7.13)$$

Ofte er vi mer interessert i spenningen (σ måles i N/m^2) i materialet enn selve forlengelsen. Sammenhengen mellom materialspenningen og forlengelsen kan uttrykkes ved Hookes lov:

$$\text{Materialspenning} = \sigma = E \cdot \varepsilon \quad (7.14)$$

hvor E er materialets *elastisitetsmodul* og sier noe om hvor lett materialet lar seg tøyne, eller hvor mye en gitt kraft pr. tverrsnittsareal, gir av tøyning pr. meter av materialet. Elastisitetsmodulen måles i N/m^2 eller Pascal (Pa) som er et mål for trykk. Hooks lov gjelder bare så lenge tøyningen er så liten at strukturen i materialet ikke ødelegges.

Kjenner vi et materiales elastisitetsmodul, kan vi altså måle spenningen i materialet ved hjelp av en strekkklapp.

Foreløpig har vi operert med ε , eller tøyningen (lengdeendring pr. lengdeenhet). Det vi egentlig måler er en endring i resistansen i strekkklappen. La oss derfor se på sammenhengen mellom tøyningen og endringen i resistans.

K-faktoren⁴² (K_s) til en strekkklapp uttrykker sammenhengen mellom den relative forlengelsen av strekkklappen ($\Delta L/L = \varepsilon$) og den relative endringen i resistans ($\Delta R/R$).

$$K_s = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} \Rightarrow \frac{\Delta R}{R} = K_s \cdot \varepsilon \text{ hvor } \frac{\Delta L}{L} = \varepsilon \quad (7.15)$$

Endringene i resistans er ofte svært små gjerne got under én ohm. For å registrerer endringen er det vanlig å bruke en motstands- eller målebro.

For nærmere diskusjon av strekkklapper og målebroer, se avsnitt 9.

7.7 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.

42. Engelsk - *Strain gauges*

7.7.1 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.

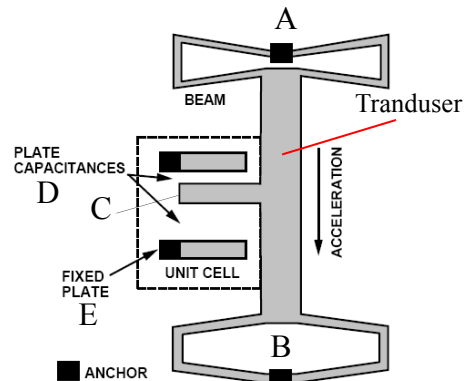
Prinsippet bak målingen av akselerasjonen baserer seg på massens treghet. I akselererte systemer vil massen påvirkes av krefter som kan måles.

Ved hjelp av en etseteknikk er det laget en *transducer* som henger fritt mellom to punkter A og B (se figuren over). Transduseren 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 transduseren blir hengende fritt.

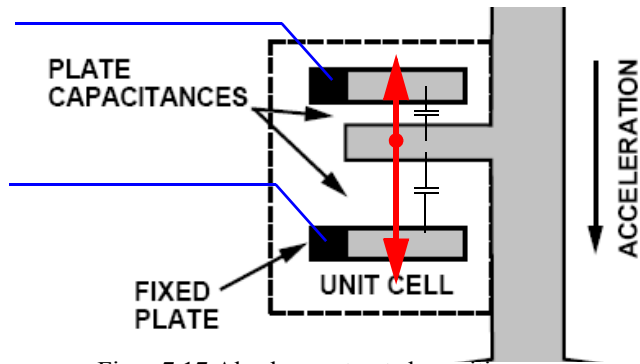
En flik C av transduseren kan bevege seg mellom to faste kondensatorplater (D og E). Når akselerometeret utsettes for en akselerasjon i lengderetningen til strukturen, vil den påvirkes av krefter siden transduseren har en viss masse (treghet). Flikken C vil dermed forskyve seg i forhold til de to faste kondensatorplatene.

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:

$$V_{OUT} = \frac{V_{CC}}{2} + \left(\text{Sensitivitet} \cdot \frac{V_{CC}}{5V} \cdot a \right) \quad (7.16)$$



Figur 7.16 Prinsipp-skisse akselerometer



Figur 7.17 Akselerometerets kapasitive sensor.



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.

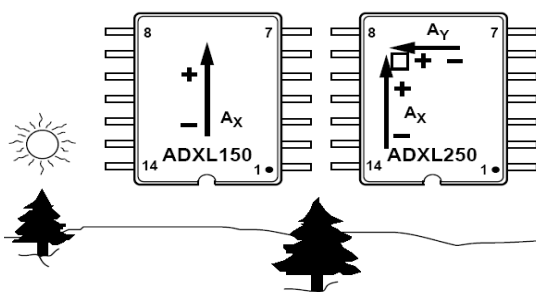


Figure 2. Output Polarity

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

Akselerometeret 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.
- Spenningspenning $V_{CC} = 2,4 - 5,25$ V (den kan dermed opereres på 5 V, strømtrekk 0,75 mA) Databladet refererer til tester gjort med en spenningspenning på 3 V.
- Følsomhet 174 mV/g ved $V_{CC} = 3$ V
Følsomhet 312 mV/g ved $V_{CC} = 5$ V
- 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).

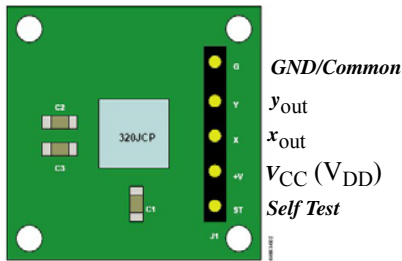


Figure 2. ADXL320EB Physical Layout

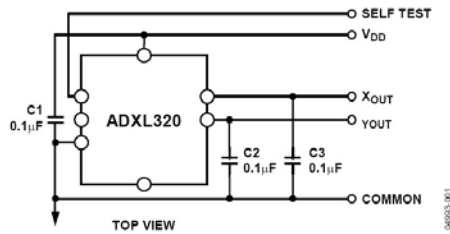


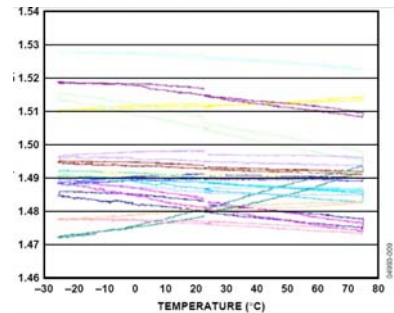
Figure 1. ADXL320EB Schematic

Til høyre på figuren over vist evalueringkortets kretsskjema.

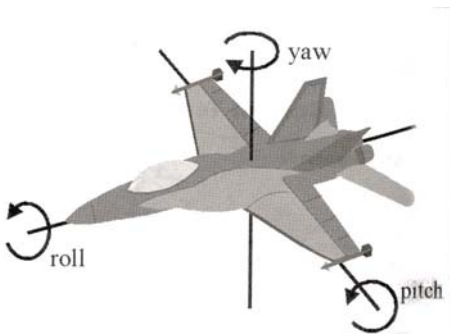
Kretsen har to analoge utganger og trenger tilsvarende for å overføre måleresultater til en mikrokontroller.

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:

$$Pitch = \arcsin(a_x / 1g) \quad (7.17)$$

$$Roll = \arcsin(a_y / 1g) \quad (7.18)$$

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



Problemstilling:

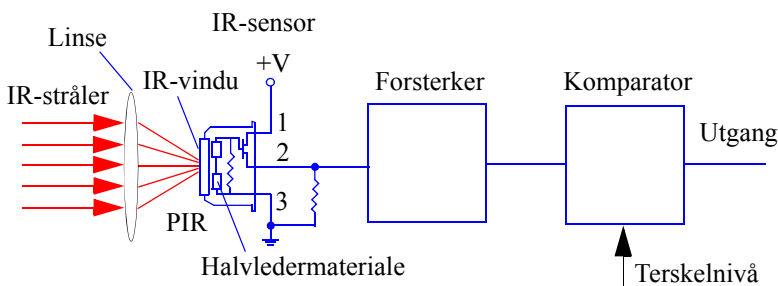
Er det mulig å måle rotasjonshastigheten med denne kretsen? Ev. finn ut hvordan kretsen må plasseres dersom en ønsker å måle rotasjonshastigheten.

7.7.2 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).



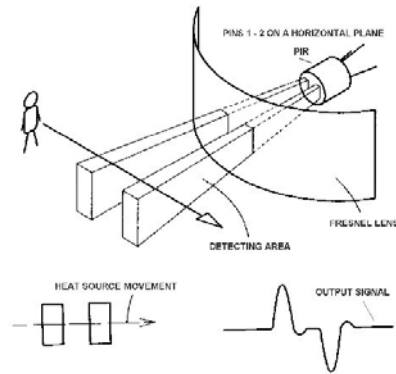
Figur 7.18 Prinsippkisse for en IR-detektor.

Selve sensoren ligner på en lyssensor. IR-stråler er elektromagnetisk stråling, eller *fotoner*, akkurat som lys. Når fotonene treffer halvledermaterialet slår de løs elektroner. De frie elektronene vil så øke den elektriske ledningsevnen i materialet. Sender vi strøm gjennom halvledermaterialet, 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 7.19. 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 7.19 Tostråle IR-detektor.

7.8 Magnetfeltfølsomme sensorer⁴³

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**.⁴⁴

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:

$$B = \mu_m \cdot H \quad (7.19)$$

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

43. 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.

44. [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)

7.8.1 Hovedinndeling av magnetfeltsensorer.

Magnetfeltsensorer deles gjerne inn i *magnetometre* for $B < 1\text{mT}$ og *gaussmetre* for $B > 1\text{mT}$ ⁴⁵. 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.

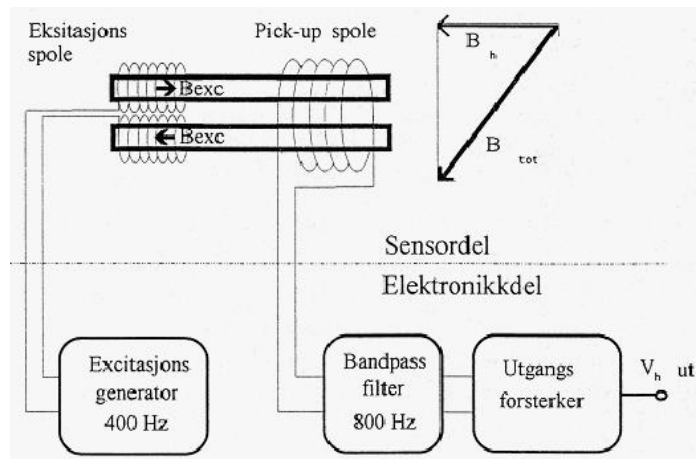
Skalare magnetometre måler magnetfeltets absoluttverdi. To typer dominerer – begge baserer seg på atomkjerners og atomers egenskaper i stoffer – *protonpresesjon* (slingringen i spinnets til atomkjernen) og "*optically pumped manometer*" (bruker Zeeman-effekten, – magnetfeltets virkning på eksitasjon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

⁴⁵.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 pick-up spole for de to stavene fanger opp et induisert signal



Figur 7.20 Prinsippkisse for et Fluxgate-magnetometer.

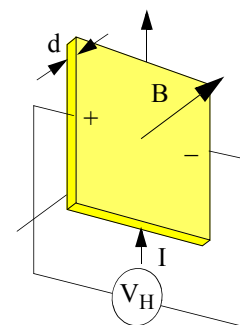
fra kjernen. Om kjernen ikke påvirkes av et eksternt magnetfelt, vil feltet fra de to stavene utligne hverandre, og signalet på pick-up-spolen vil bli null. Dersom det finnes et ytre magnetfelt, vil dette forskyve magnetiseringsnivået, og man får asymmetri i de to halvperiodene som endrer nivået til 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 feltet, 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.

7.8.2 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.⁴⁶

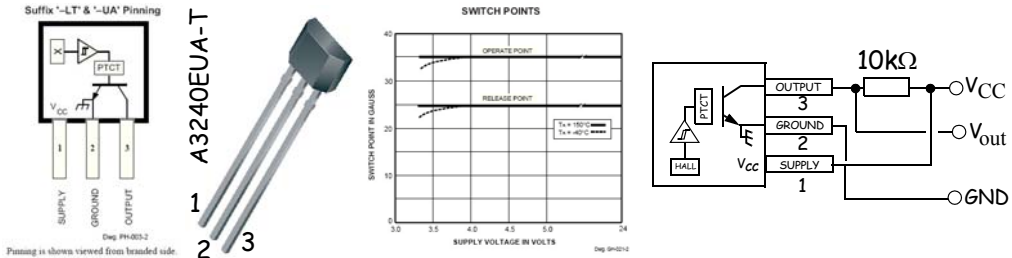


46. http://en.wikipedia.org/wiki/Hall_effect



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 .

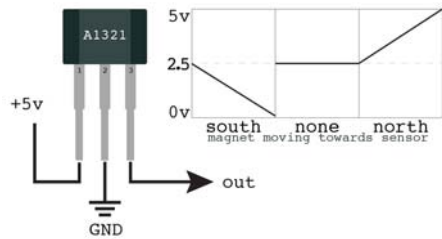


En variant av denne kretsen inneholder en såkalt *latch*. Dvs. at når den først er utsatt for et tilstrekkelig sterkt magnetfelt, så holder den bryteren lukket helt til en magnet av motsatt polaritet, åpner bryteren. ELFA har tidligere solgt disse for ca. 15 kr/stk, men de er tatt ut av sortementet.

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).

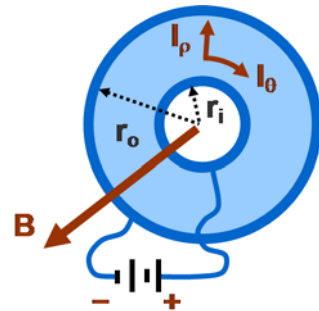


Forsyningsspenningen skal ligge mellom $4,5 \text{ V}$ – $5,5 \text{ V}$. Sensoren leveres i tre varianter med forskjellig følsomhet ($2,5 \text{ mV/G}$ (A1323), $3,75 \text{ mV/G}$ (A1322) og $5,0 \text{ mV/G}$ (A1321)). Dersom vi for enkelthetskyld sier at området for hver magnetisk polaritet er på 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.



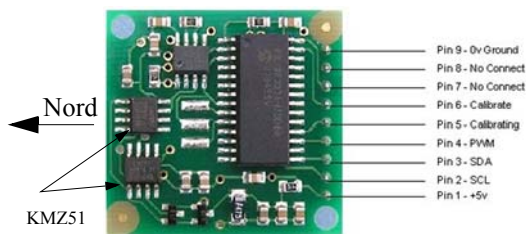
7.8.3 Magneto-resistivitet

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 aksen, 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 %.⁴⁷ Denne teknologien benyttes blant annet i enkelte elektroniske kompasser.

7.8.4 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 Electronics⁴⁸

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

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

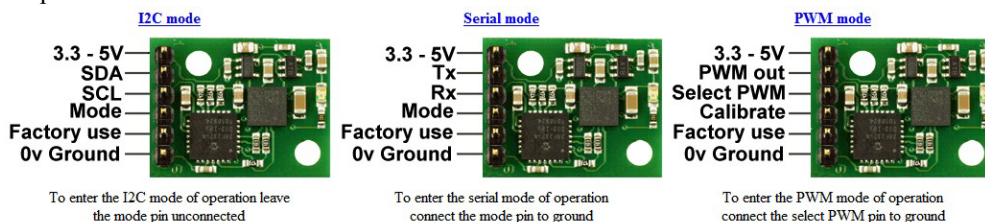


Elektronisk kompass CMPS10 - med tiltkompensasjon



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 mA⁴⁹.

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



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

7.8.5 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.

⁴⁹. <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 [26].

7.9 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.

7.9.1 Pellistoren⁵⁰

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.

⁵⁰LPG - Liquefied Petroleum Gas



Et slikt sensorelement går ofte under navnet *pellistor*. Figur 7.21 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 tinnoksidene. Denne metoden kalles indirekte siden varmetråden ikke er bakt inn i motstandsmaterialet.

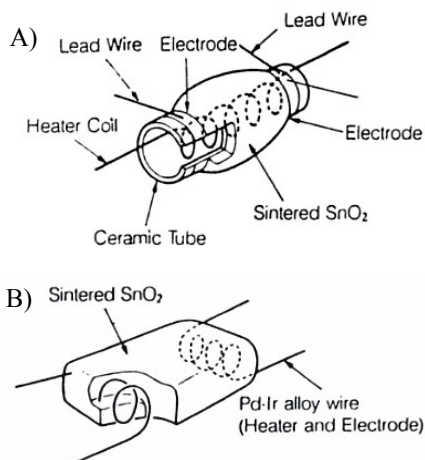
Når tinnoksidene kommer i kontakt med gassen, vil temperaturen øke og resistansen i stoffet øker tilsvarende. Økningen i motstanden registreres i en ytre krets, som igjen f.eks. kan utløse en alarm, eller måle gasskonsentrasjonen.

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

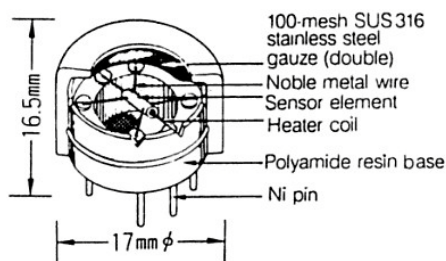
Hele sensoren, som er svært liten, monteres i et lite metallhus med et vindu hvor gassen kan slippe inn.

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 7.21 Katalytisk sensor



Figur 7.22 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.

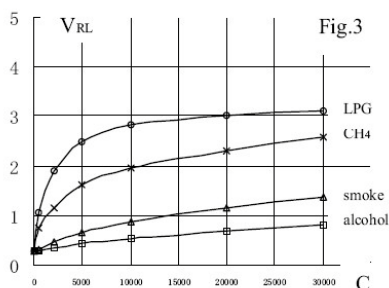


Figur 7.23 Gassensor fra Sencera Co Ltd

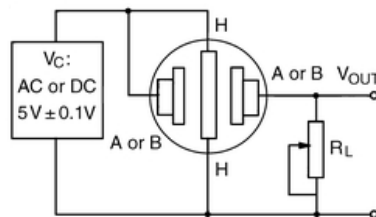
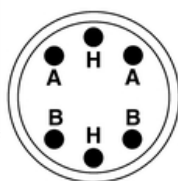


7.9.2 Gassensor LPG, Metan – HS-133

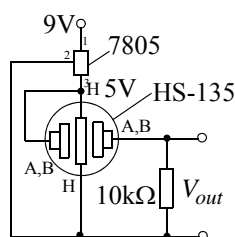
Figur 7.24 viser følsomhetskarakteristikker for ulike gasser for sensoren HS-133. Dvs. spenning som funksjon av konsentrasjonen i ppm (parts pr. million). Spenningen framkommer ved at sensoren kobles inn i en liten krets som vist til høyre på figur 7.24.



Figur 7.24 Følsomhetskurve for ulike gasser.



Figur 8.24 Oppkobling av sensorelement.

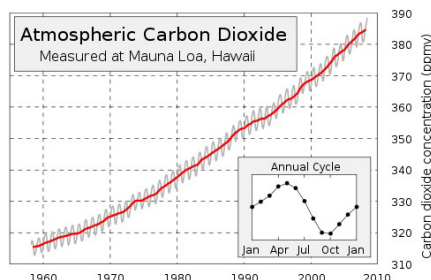


Varmetråden som skal varme opp sensoren til riktig temperatur, må tilføres en nøyaktig spenning på 5 V +/- 0,1 V, derfor benyttes en spenningsregulator som sørger for at spenningen holdes nær 5 V. Spenningen kobles til terminalene H-H. Motstandsmaterialet er koblet inn mellom A-A eller B-B. Den interne 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 k Ω 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.

7.9.3 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 ppm⁵¹ til 380 ppm i 2008⁵². Vi ser også en liten tendens til at økningen går stadig raskere.

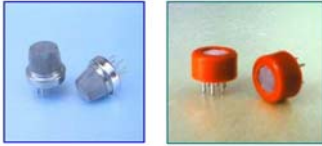


51. ppm - parts pr. million

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

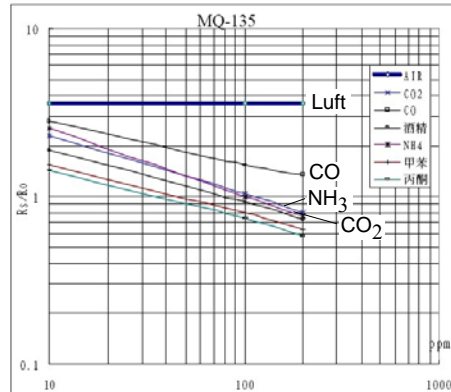
Det er ikke enkelt å finne billige CO₂ sensorer med tilstrekkelig følsomhet. MG-135 kan synes å være en aktuell sensor.

7.9.4 Gass-sensor CO₂ – MQ-135



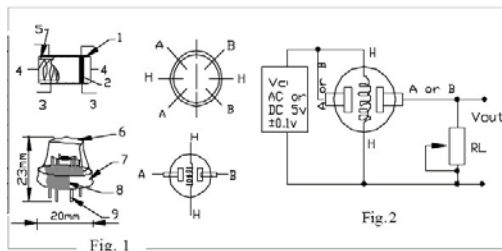
Denne sensoren fungerer etter samme prinsipp som beskrevet foran og er primært beregnet på registrering av ammoniakk (NH₃) og alkohol, men burde la seg bruke til CO₂ så lenge gassen ikke forstyrres av de andre gassene sensoren er følsom for.

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 forskyntes 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 Haacks⁵³.

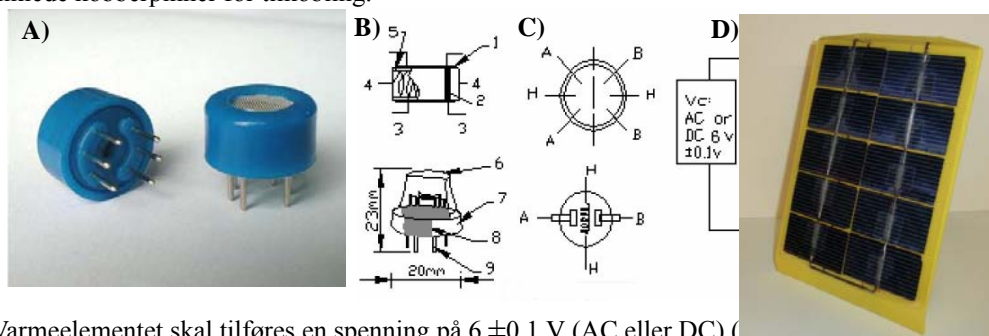
7.9.5 Gassensor CO₂ – MG811

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

53. <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 $6 \pm 0,1 \text{ V}$ (AC eller DC) (6) med 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.

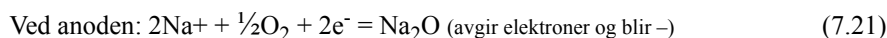
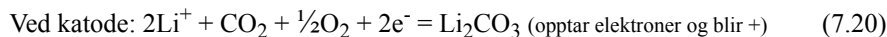
Det aktive elementet er koblet mellom terminal A-B. Tegning D i figuren over viser testoppkoblingen, men kan også benyttes for oppkobling av kretsen i drift. Som vist er det benyttet en operasjonsforsterker med en forsterkning lik 1.

Reaksjonen mellom gass og materiale kan uttrykkes på følgende måte:

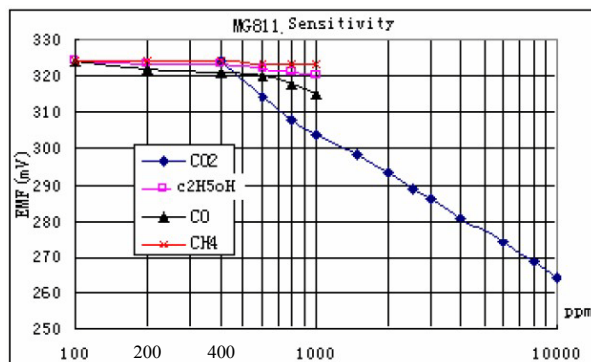


Hvor NASICON sannsynligvis er et halvleder materiale.

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



$$EMF = \frac{E_c - (R \cdot T)}{2F \ln p(\text{CO}_2)} \quad (7.22)$$



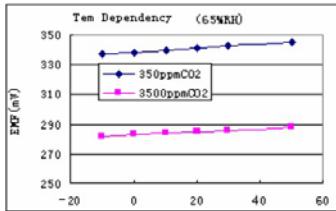
Hvor EMF er spenningen (elektromotorisk kraft) på utgangen, E_c – er en konstant og R – er gasskonstanten, begge relatert til volumet til det aktive materialet i sensoren, T – er absolutt temperatur, F – Faradays konstant, $p(\text{CO}_2)$ er konsentrasjonen til CO_2 .

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

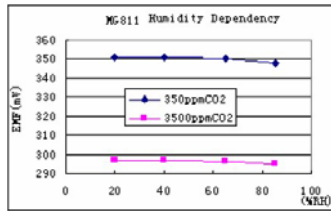


En utfordring med denne type sensor er å hindre at målingene også påvirkes av temperatur og luftfuktighet, parametere en ofte ikke har kontroll over.

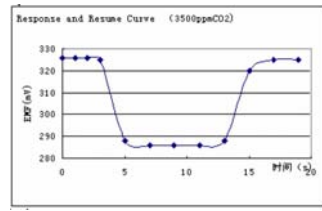
Figuren under viser hvordan målingene påvirkes av temperatur (A) og relativ fuktighet (B). Figuren under til høyre viser responstiden til sensoren, dvs. hvor fort den reagerer på endringer i gasskonsentrasjon.



Avhengighet av temperatur

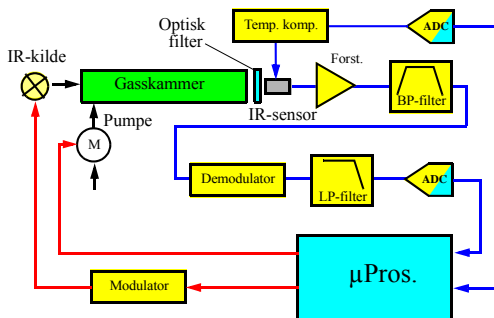


Avhengighet av luftfuktighet



Tidsrespons

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



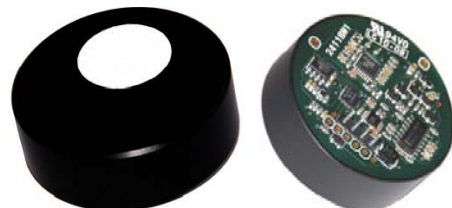
Den skotske firmaet GSS (Gas Sensing Solution) baserer sin C100 CO₂-sensor på CO₂-gassens evne til å absorbere IR-stråling. Teknologien går ofte under betegnelsen NDIR (NonDispersive Infra-Read sensor). Lufta pumpes inn i et lite kammer. En IR-stråle senders ut fra en lyskilde i den ene enden av kammeret 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:

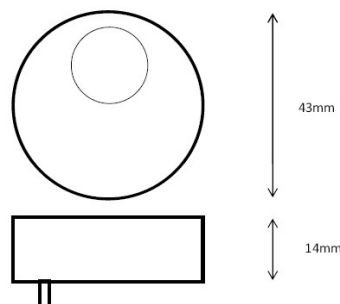
- Måler konsentrasjoner fra 0–2 000 ppm
- Nøyaktighet $\pm 40 \text{ ppm} \pm 3\%$ ved avlesning
- Linearitet: $< 1\%$ av full skala





- Temperaturområde: $-25^{\circ}\text{C} - 55^{\circ}\text{C}$
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 immunitet 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

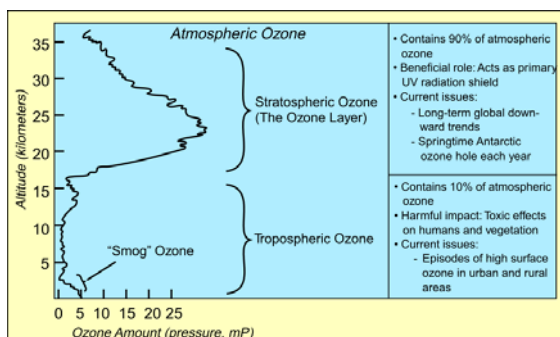


7.9.7 Måling av ozon-konsentrasjon

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 figuren 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.

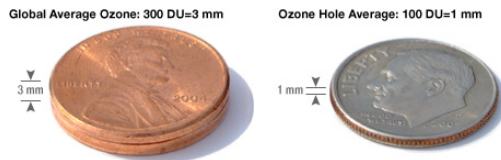


<http://en.wikipedia.org/wiki/Ozone>

Mengden ozon kan måles enten i $\mu\text{mol/mol}$ eller nmol/mol , hvor $1 \mu\text{mol/mol} = 1 \text{ ppm}$ (parts pr. million) og $1 \text{ nmol/mol} = 1 \text{ ppb}$ (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

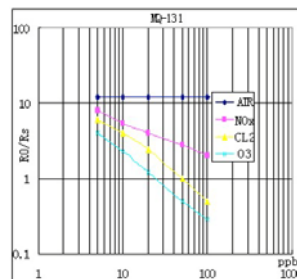


det at dersom en har en atmosfærisk konsentrasjon på 1 dobson, så vil en søyle med et tverrsnitt på 1 cm^2 inneholde $2,69 \cdot 10^{16}$ molekyler. Atmosfæren vil normalt inneholde 300 ganger så mye dvs. 300 dobson. Gjøres denne mengden om til et lag med med konsentrert ozon vil det utgjøre 3 mm. Innenfor 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 måten⁵⁴.



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 MQ131⁵⁵. 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 [24]d.

Elektrokjemisk sensor

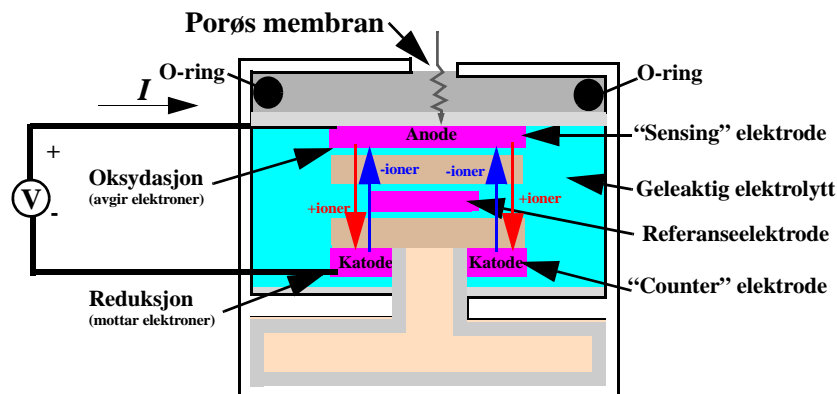
Denne typen sensorer gir langt raskere respons (1–2 sek). Den elektrokjemiske sensoren består av en porøs membran som tillater gasser å trenge inn i en celle som består av en geléaktig elektrolytt med tilhørende elektroder. Anoden ligger nærmest membranen og katoden lengst borte, som vist på figuren 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

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

55. MQ131 selges av fimaet: 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 7.25 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 [24]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.

7.10 Partikkelsensorer

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

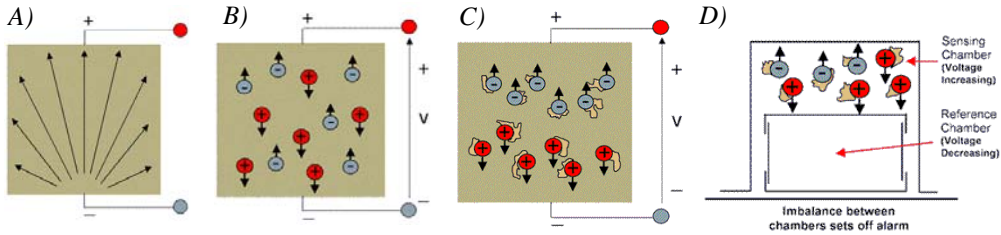
7.10.1 Røykdetektor (røyk, varme)

Det finnes hovedsakelig tre typer røykdetektorer:

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

Ioniserende røykdetektorer [23]

I et ioniseringskammer inne i detektoren ligger en liten radioaktiv kilde (americium 241) som stråler ut alfa-partikler, dvs. heliumkjerner (figur 7.26 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 7.26 B).



Figur 7.26 Ioniserende røykdetektor.

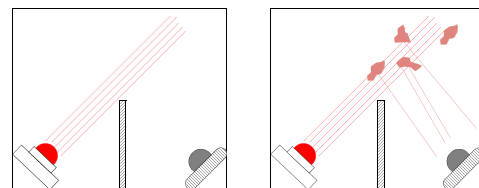
Kammeret er åpent slik at røykpartikler kan komme inn. Røykpartiklene som siver inn i kammeret vil feste seg til ionene og endre den svake elektriske strømmen gjennom kammeret (figur 7.26 C). Den tilhørende elektronikken registrerer denne endringen og alarmen går. Det er heller ikke uvanlig at ionekammeret er delt i to, hvor den ene delen er lukket og fungerer som et referansekammer (figur 7.26 D).

Energien i alfa-partiklene er ikke kraftigere enn at de kan stoppes av noen få cm luft eller et stykke papir. Selv om strålingskilden er svært svak og ikke utgjør noen helsefare, så bør denne typen røykvarslere behandles om 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 [23]

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.

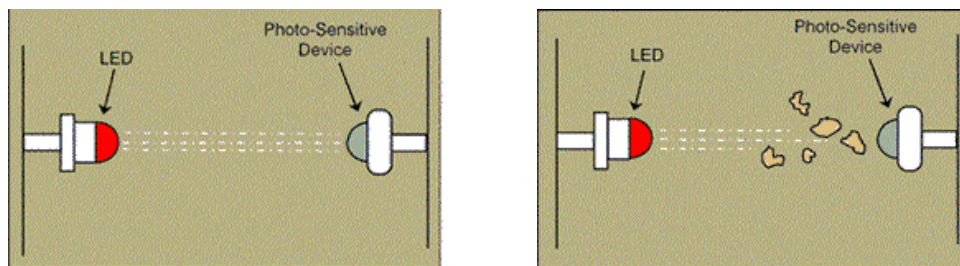


Figur 7.27 Prinsippet for en fotoelektrisk røykdetektor, "refleksjonstype".

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



at lyset som treffer sensoren dempes.



Figur 7.28 Prinsippet for en fotoelektrisk røykdetektor, "transmisjonstype" [23].

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

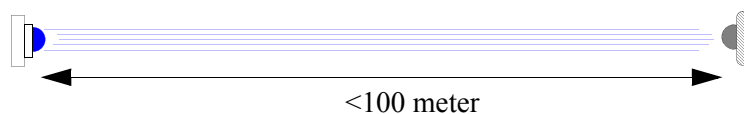
Fotoelektriske røykvarslere er vanligvis mer følsomme for **større røykpartikler** enn den ioniserende røykdetektoren. Slike partikler oppstår gjerne ved ulmebranner og branner som utvikler tykk røyk. Sensoren er tilsvarende mindre følsom for små røykpartikler som oppstår ved branner som utvikler seg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

Infrarød røykdetektor

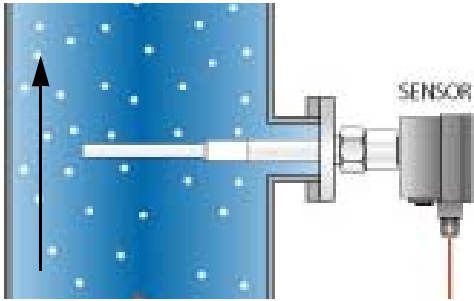
Denne typen røykdetektorer består av to deler. En del som sender ut infrarød stråling (IR-sender), og en del som mottar den utsendte strålingen (IR-mottaker). Strålen passerer det området som skal overvåkes med hensyn til røyk. Dersom strålen dempes på grunn av at røykpartikler skygger for strålegangen, 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 7.29 IR-røykdetektor.

7.10.2 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 ladningspulser 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 [28]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 [28]b. Ingen av disse synes spesielt egnet for CanSat-bruk på grunn av pris og kompleksitet.



8 Bygge- og laboratorieprosjekter (detektorer)

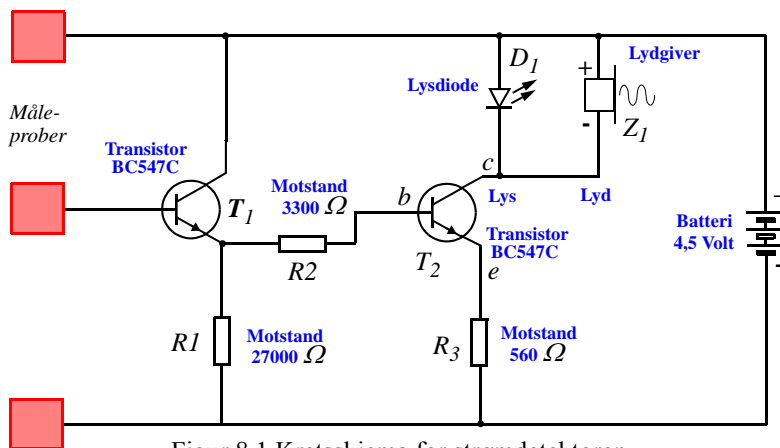
I dette kapitlet skal vi beskrive noen bygge- og laboratorieprosjekter. I den forbindelse kan det være nyttig å repetere litt om de komponentene vi skal bruke. Disse er kort beskrevet i kapittel 2.

8.1 Bygg en strømdetektor med transistorer

I dette kapitlet skal vi bygge og teste ut noen enkle detektorer. Grunnelementet i mange sensorer og detektorer er *strømdetektoren*. Sammen med en lysfølsom motstand og litt tørkepapir, skal vi lage, lys-/mørkedetektor og fuktighets-/tørkedetektor.

8.1.1 Kretsskjema, strømdetektoren

Figur 8.1 viser kretsskjemaet for strømdetektoren som vi skal bygge. Vi kjenner igjen krets-symbolene for transistorer, motstander, lysdioder og summeren. Lengst til høyre har vi symbolet for et batteri, som i dette tilfellet har 3 celler, og leverer en spenning på $3 \cdot 1.5 \text{ V} = 4,5 \text{ V}$.



Figur 8.1 Kretsskjema for strømdetektoren.

Lengst til venstre i skjemaet ser vi tre kvadrater. Disse skal vise at her ender ledningene ut i tre åpne *måleprober* som kan kobles opp på forskjellige måter for ulike anvendelser. I kretsen i figur 8.1 har vi valgt å indikere at fuktighet varsles enten med lyd eller lys, eller begge deler.

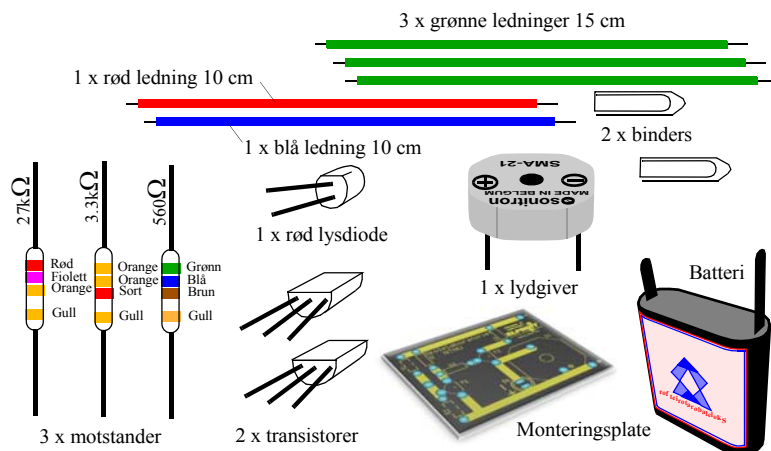
Avsnitt 4.2.4 på side 67 beskriver ulike anvendelser av kretsen. I avsnitt 8.2 på side 205 finnes ytterligere forslag til eksperimenter som kan gjøres med kretsen.



8.1.2 Bygg strømmedektoren (fuktighetsdetektoren) på kretskort

Komponentliste:

For å bygge denne varianten av strømmedektoren, trenger vi følgende komponenter:

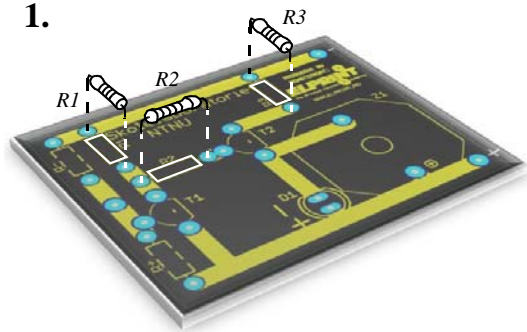


Figur 8.2 Nødvendige komponenter til strømmedektoren.

Byggebeskrivelse – fuktighetsdetektor (strømmedetektor)

Byggebeskrivelse for fuktighetsdetektor, trinn for trinn.

1.



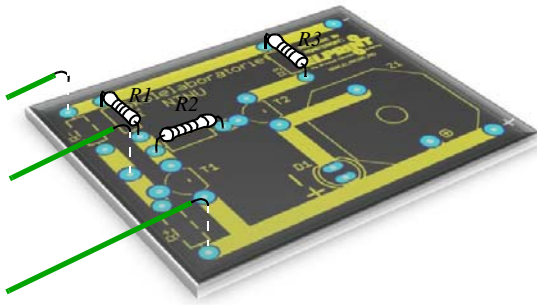
1. Finn motstandene

- R1 (rød, fiolett, orange, gull)
27 000 Ω
- R2 (orange, orange, rød, gull)
3 300 Ω
- R3 (grønn, blå, brun, gull)
560 Ω

Fargene skal leses fra venstre mot høyre når gullringen er til høyre.

Beina til motstanden bøyes i rett vinkel og stikkes gjennom hullene fra komponentsiden og presses helt ned til monteringsplata. **Det spiller ingen rolle hvilken vei de plasseres.**

2.



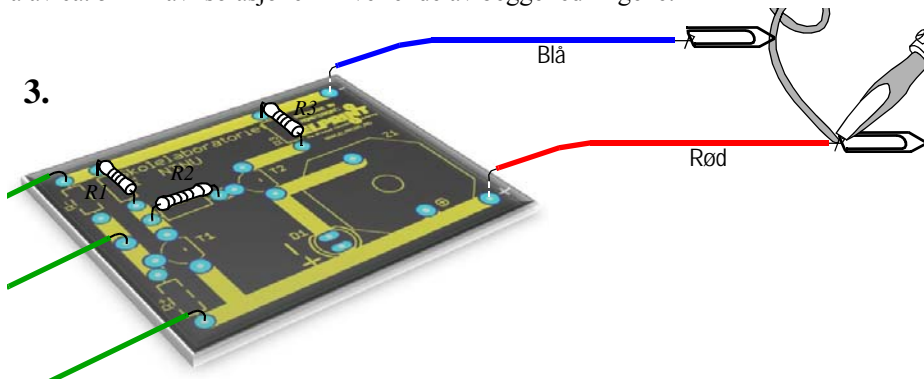
2. Finn de tre grønne ledningene

Ta av ca. 5 mm av isolasjonen i hver ende.

Monter ledningene som vist på figuren til venstre og lodd fast på loddesen.

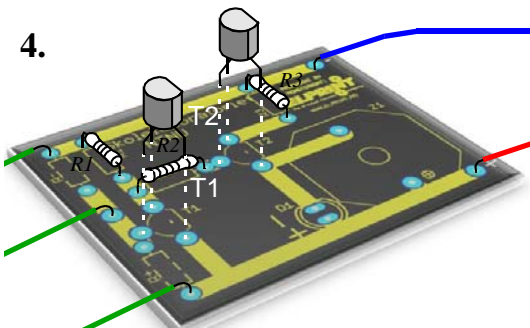
3. Finn bindersene og den røde og den blå ledningen.

Ta av ca. 5 mm av isolasjonen i hver ende av begge ledningene.



Lodd én binders i den ene av endene til hver av ledningene. Monter ledningene til monteringsplaten som vist på figuren over. Pass på at den røde kobles til + og den blå til -.

4.



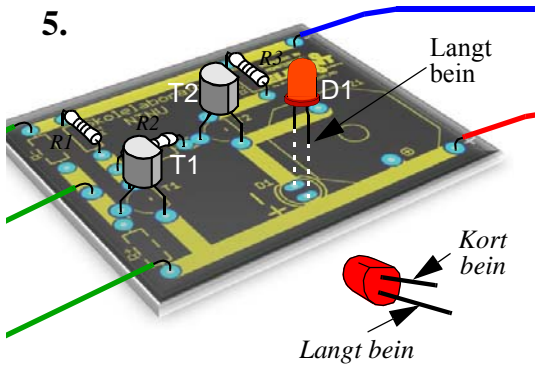
4. Finn transistorene

T1 og T2

Pass på at den flate siden plasseres som angitt på monteringsplata. Spre beina litt ut og stikk dem ned i hullene i plata. Det er helt avgjørende at de settes rett vei. *Ikke press transistorene helt ned til plata.*



5.

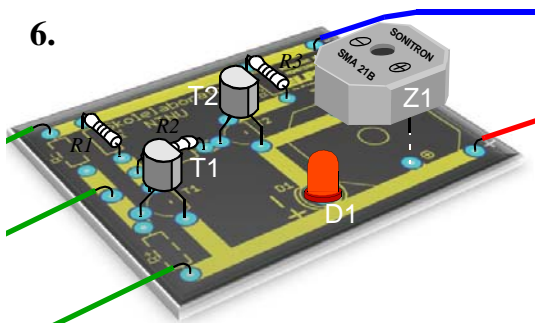


5. Finn lysdioden

D1

Lysdioden har en + og – side. Det lange beinet er + siden og skal stikkes ned i hullet merket + på monteringsplata.

6.



6. Finn summeren

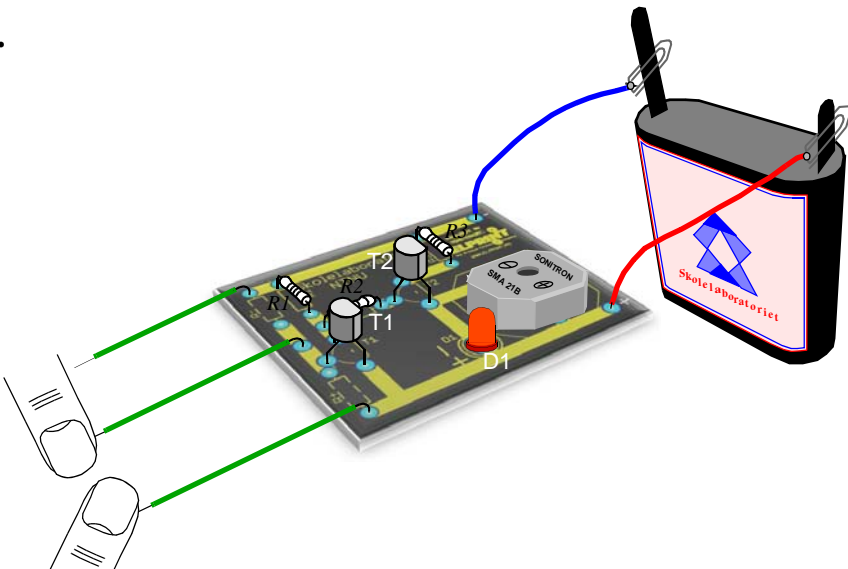
Z1

Summeren har en + og – side. Pass på at beinet på +siden stikkes ned i hullet merket + på monteringsplata.

Monter summeren som vist på figuren til venstre.

7. **Sjekk** at alt er montert riktig og at loddingene er gode. Koble til batteriet og sjekk at kretsen virker ved å ta i to av de grønne ledningene som vist på figuren. Summeren skal da pipe.

7.





8.1.3 Feilsjekk:

Om den ikke virker kan det være lurt å gå gjennom listen over mulige feilkilder:

1. Sjekk at batteriet er koblet rett vei, rød ledning på pluss og blå ledning på minus.
2. Sjekk at rød og blå ledning er koblet til de riktige kobberbanene.
3. Undersøk at lysdiode og/eller lyd giver er koblet rett vei.
4. Undersøk om transistorene er koblet rett vei.
5. Sjekk at riktig motstand er plassert på rett sted. Sjekk fargekodene.
6. Gå over og se om alle loddingene er gode, ingen løse bein eller ledninger.
7. Undersøk om det er kortslutninger på kortet. Kobberstriper eller ledninger som berører hverandre og som egentlig *ikke* skal ha kontakt.
8. I værste fall bytt transistorer eller lysdiode.

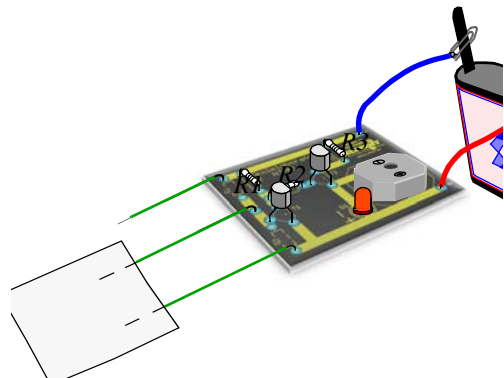
Lys og lyd blir noe svakere når både lysdioden og lyd giveren er innkoblet samtidig. Dersom en ønsker kraftigere lyd kan lysdioden fjernes.

8.1.4 Første test som fuktighetsdetektor

Avisoler de grønne ledningene i en lengde av ca. 2 cm. Tre dem inn i et tørkepapir. Bruk en pipette og drypp en dråpe springvann på tørkepapiret. Observer hvordan vannet trekker ut over papiret og sørg for at de to ledningene forbindes elektrisk.

Ta et nytt papir og gjør det samme med ionebyttet destillert vann. Blir det fortsatt kontakt.

Tenk gjennom ulike anvendelser av kretsen.

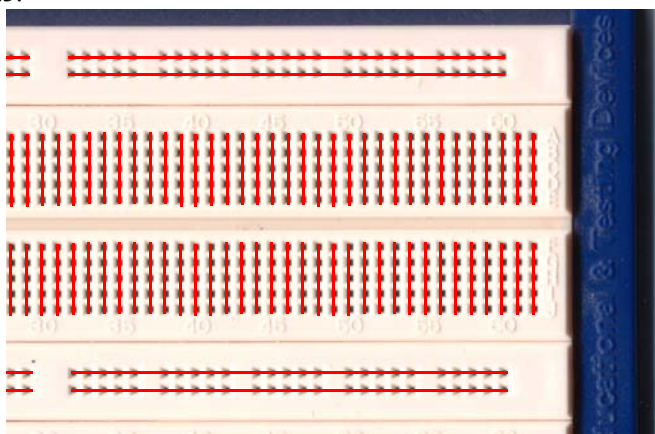


8.2 Laboratorieeksperimenter med strøm-detektor og koblingsbrett

Utforskning av kretsen og tilkobling av ulike sensorer kan lett utføres dersom en kobler de tre grønne ledningene opp mot et koblingsbrett.



Under oppkoblingen må vi vite hvilke koblingspunkter som er forbundet på koblingsbrettet. Dette er vist på figur 8.3.



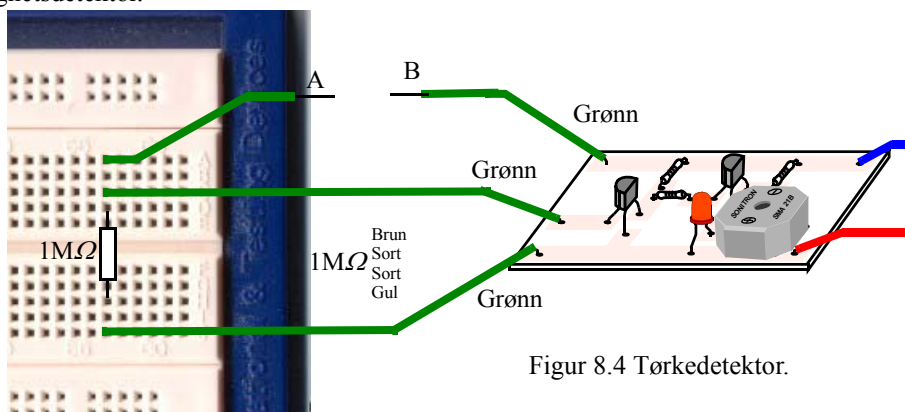
Figur 8.3 Sammenkobling av kontaktpunkter på koblingsbrettet.

8.2.1 Gjør fuktighetsdetektoren om til en tørkedetektor

La oss først se på en meget enkel variant av fuktighetsdetektoren: Tørkedetektoren.

Dersom vi ønsker å anvende en detektor til å avverge at plantene våre tørker ut så er det langt mer praktisk å anvende en tørkedetektor framfor en fuktighetsdetektor. Vi skal her ganske enkelt vise hvordan fuktighetsdetektoren kan gjøres om til en tørkedetektor.

Oppkoblingen viser hvordan kretsen kan kobles opp som tørkedetektor i stedet for fuktighetsdetektor.



Figur 8.4 Tørkedetektor.

Kretsen gir signal når forbindelsen mellom A og B er brutt, dvs. blomsten er tørket ut.

Hvordan virker denne kretsen sammenlignet med fuktighetsdetektoren?

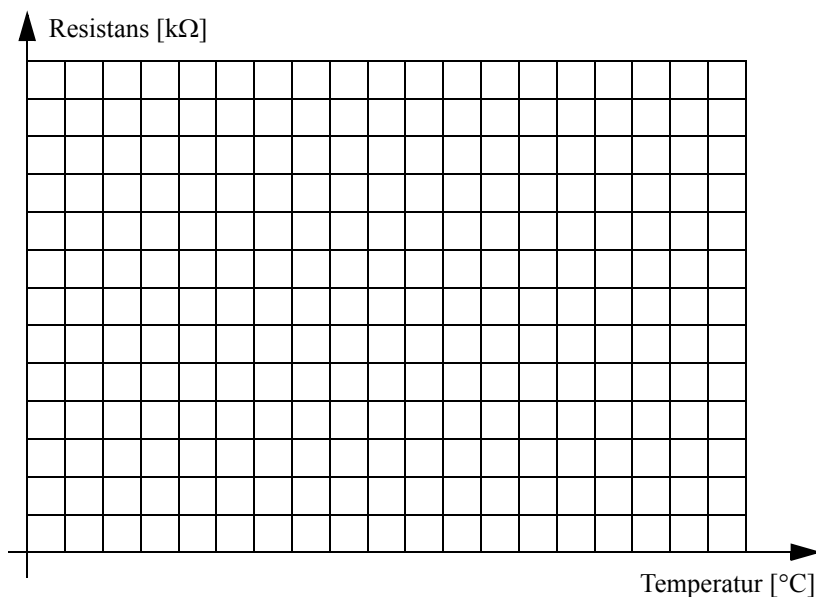
Du har én tørkedetektor, men ti planter. Hvordan vil du koble detektoren for å beskytter alle plantene mot uttørking?



2. Koble NTC-motstanden til ohm-meteret og dypp den i vannet som vist på figuren over. Sørg for god omrøring og at termistoren ikke berører bunnen eller veggene.

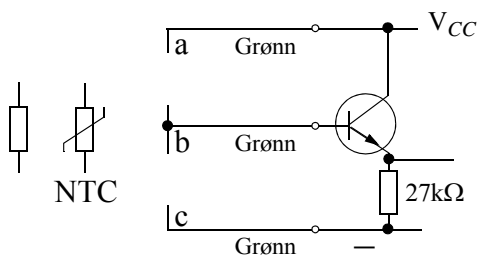
| Temperatur (°C) | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Resistans (kΩ) | | | | | | | | | | | |

3. Plott resultatene i diagrammet under og skriv verdier på aksene.



Figur 8.6 Karakteristikk av NTC-motstand (RH16).

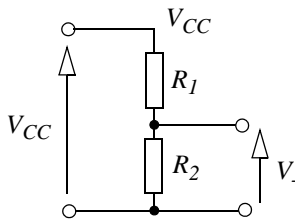
4. Plasser motstanden og NTC-motstanden rett i spenningsdeleren på figuren under.



Figur 8.7 Tegn inn spenningsdeleren på inngangen av detektoren.



5. Beregn seriemotstanden i spenningsdeleren slik at alarmen går idet temperaturen kommer under 35°C. Vi vet at $V_{CC} = 4,5 \text{ V}$ (ev. 9 V) og at V_- skal være ca. 1.1 V.



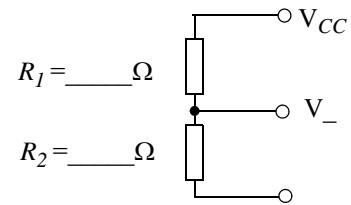
$$V_- = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

Ukjent R_2

Ukjent R_1

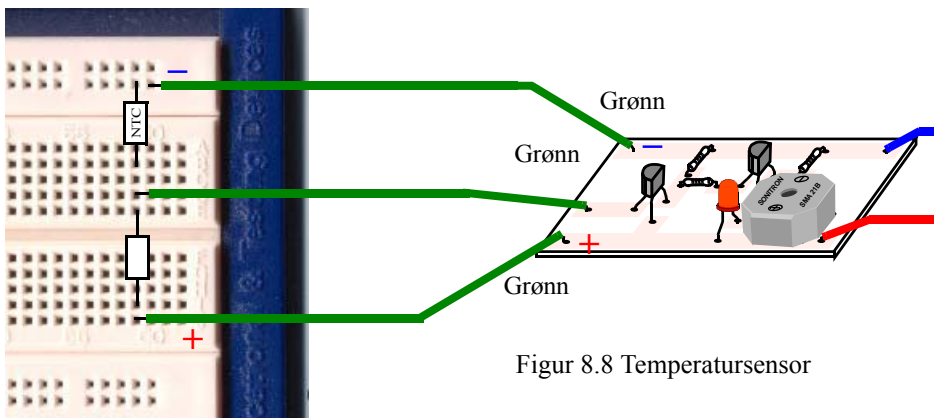
$$R_2 = \frac{V_- \cdot R_1}{V_{CC} - V_-} \quad R_1 = \frac{(V_{CC} - V_-) \cdot R_2}{V_-}$$

6. Velg resistans fra karakteristikken til NTC-motstand og beregn ønsket verdi for seriemotstanden slik at omslaget blir korrekt. Velg nærmeste standard verdi for motstanden. Skriv inn verdiene i figuren til høyre.
7. Koble opp kretsen på koblingsbrettet med de beregnede verdiene. Mål spenningen V_- på utgangen av spenningsdeleren med NTC-motstanden dyppet i vann med ønsket temperatur.
8. Koble til detektorkretsen og undersøk om omslaget skjer ved rett temperatur.



Beregnet omslagstemp. _____ °C

Målt omslagstemp. _____ °C



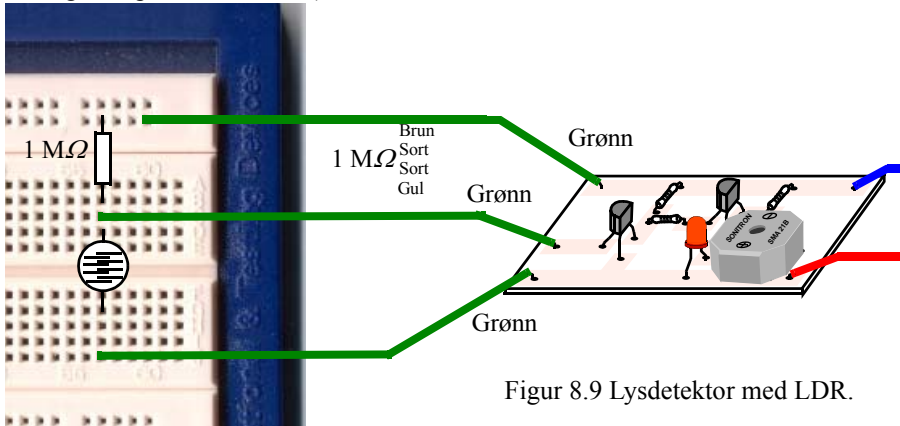
Figur 8.8 Temperatursensor

9. Forklar eventuelle avvik mellom beregnet verdi og målt verdi.
10. Er det mulig å legge inn en korreksjonsfaktor i beregningene som gir bedre overenstemmelse mellom beregnet og målt verdi? Med andre ord, skyldes avviket tilfeldige eller systematiske feil.



8.2.4 Lysdetektor med lysfølsom motstand (LDR)

Oppkoblingen viser hvordan kretsen kan kobles opp som lysdetektor ved hjelp av fotomotstand (LDR - Light Dependent Resistor).



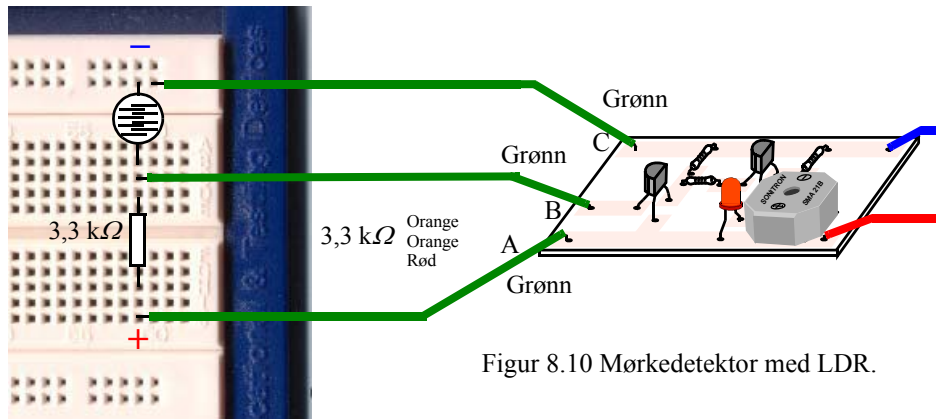
Figur 8.9 Lysdetektor med LDR.

Kretsen gir signal når det blir lyst.

Hvordan virker denne kretsen?

8.2.5 Mørkedetektor med lysfølsom motstand (LDR)

Oppkoblingen viser hvordan kretsen kan kobles opp som mørkedetektor ved hjelp av fotomotstand.



Figur 8.10 Mørkedetektor med LDR.

Kretsen gir signal når det blir mørk.

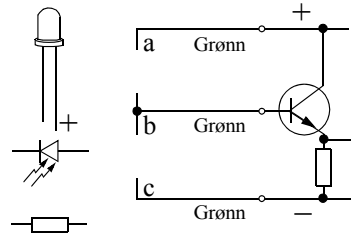
Forklar kort hvordan virker denne kretsen?



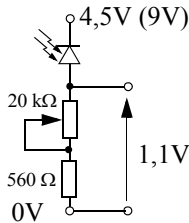
8.2.6 Lysdetektor med fotodiode (fototransistor)

Det skal lages en detektor som gir signal når lyset skinner fritt på fotodioden, men som er stille når hånda skygger for dioden.

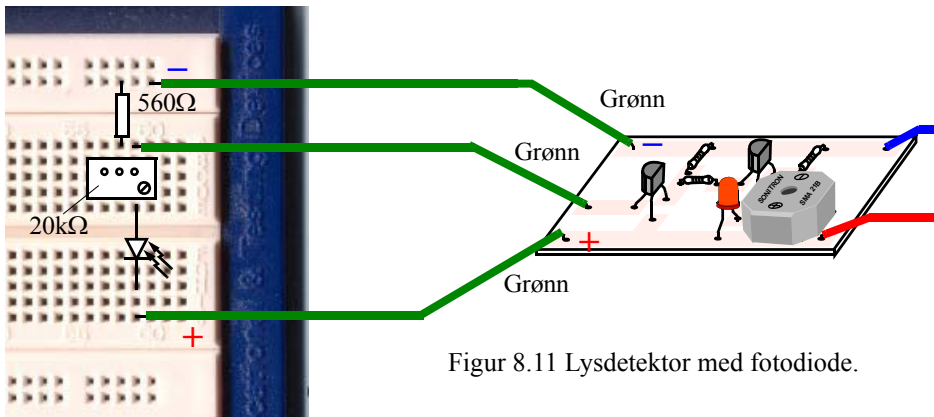
1. Tegn inn fotodioden og seriemotstanden i spenningsdeleren slik at kretsen virker som en lysdetektor. Husk at dioden skal kobles i sperreretning og at langt bein er anode (+).



For at detektoren skal gi signal, må spenningen mellom *c* og *b* være over ca. 1,1 V. Vi skal bruke en forenklet metode for å bestemme seriemotstanden. Ved hjelp av en liten fastmotstand (560 Ω) og et potensiometer på 20 kΩ, skal vi bestemme optimal seriemotstand for innslag av alarmen.



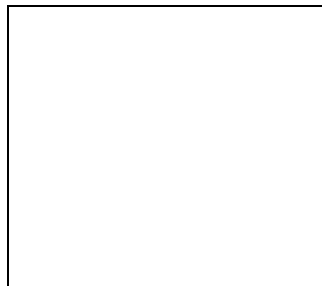
2. Koble opp spenningsdeleren på koblingsbrettet og mål spenningen mellom jord og midtpunktet uten at strømmedektoren er tilkoblet.
 3. Belys fotodioden slik lysstyrken skal være akkurat ved omslag. Dette kan gjøres ved å holde en hånd i en viss høyde over fotodioden.
 4. Mål spenningen og juster potensiometeret slik at spenningen er 1,1 V.
 5. Koble til detektoren og se om omslaget skjer som forventet, ev. etterjuster potensiometeret.
6. Mål resistansen og bytt ut med den nærmeste standardverdien.



Figur 8.11 Lysdetektor med fotodiode.



7. Tegn opp det endelige koblingskjemaet for spenningsdeleren og skriv på komponentverdier:
8. Skal verdien til seriemotstanden økes eller reduseres dersom detektoren skal gjøres mindre følsom. Det vil si dersom den skal gi signal først når det er blitt enda lysere.

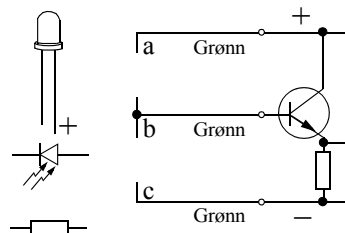


Endelig skjema for sensoren med komponentverdier.

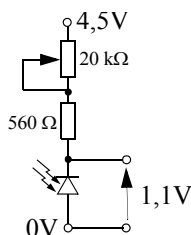
8.2.7 Detekter mørkets frambrudd med fotodiode (fototransistor)

Det skal lages en detektor som gir signal når mørket faller på, og er stille når hånda skygger for dioden.

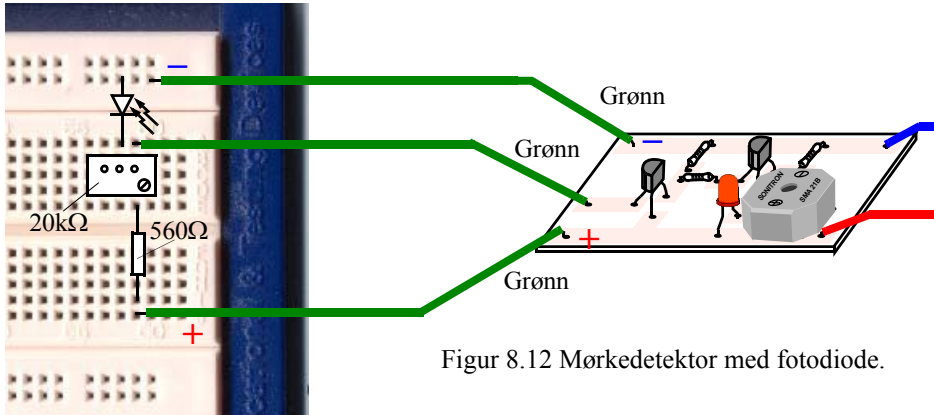
1. Tegn inn fotodioden og seriemotstanden i spenningsdeleren slik at kretsen virker som en “mørkedetektor”. Husk at dioden skal kobles i sperreretning og at langt bein er anode (+).



For at detektoren skal gi signal, må spenningen mellom *c* og *b* være over ca. 1,1 V. Vi skal bruke en forenklet metode for å bestemme seriemotstanden. Ved hjelp av en liten fastmotstand (560 Ω) og et potensiometer på 20 k Ω , skal vi bestemme optimal seriemotstand for innslag av alarmen.

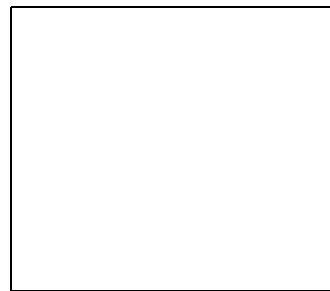


2. Koble opp spenningsdeleren på koblingsbrettet og mål spenningen mellom jord og midtpunktet uten at strømdetektoren er tilkoblet.
3. Demp belysningen av fotodioden slik en ønsker at lysstyrken skal være akkurat ved omslag. Dette kan gjøres ved å holde en hånd i en viss høyde over fotodioden.
4. Mål spenningen og juster potensiometeret slik at spenningen er 1,1 V.
5. Koble til detektoren og se om omslaget skjer som forventet, ev. etterjuster potensiometeret.
6. Mål resistansen og bytt ut med den nærmeste standardverdier.



Figur 8.12 Mørkedetektor med fotodiode.

7. Tegn opp det endelige koblingskjemaet for spenningsdeleren og skriv på komponentverdier:
8. Skal verdien til seriemotstanden økes eller reduseres dersom detektoren skal gjøres mindre følsom. Det vil si dersom den skal gi signal først når det er blitt enda mørkere.



Endelig skjema for sensoren med komponentverdier.

8.2.8 Luftfuktighetsdetektor

I denne oppgaven skal vi lage en enkel luftfuktighetsdetektor som gir signal når vi puster på den. Vi skal benytte luftfuktighetssensoren H25K5A. Vi vet at resistansen i sensoren avtar med økende luftfuktighet.

1. Karakterisering av H25K5A

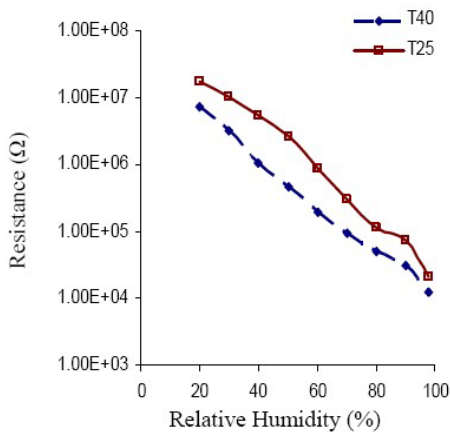
Bruk ohmmeter til å finne typiske verdier for sensorens resistans ved to ulike verdier for luftfuktigheten:

Luftfuktigheten i laboratoriet: _____ kΩ.

Luftfuktigheten etter et dypt pust ca. 10 cm fra sensoren: _____ kΩ.

2. Databladet

Studer databladet under og forklar hvorfor det viser to kurver, en for 25 °C (T25) og en for 40 °C (T40).



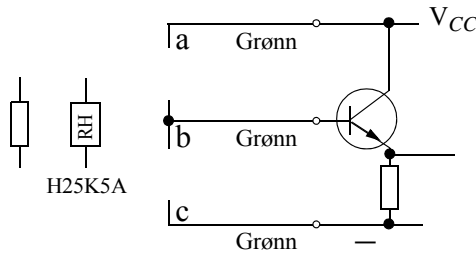
Sammenlign resultatene du fikk med kurven i databladet, anta at temperaturen er ca. 25 °C: Anslå relativ fuktighet i laboratoriet og i pusten, ut fra målte verdier og databladet over.

Relativ fuktighet i laboratoriet er tilnærmet: _____ %

Relativ fuktighet i pusten er tilnærmet: _____ %

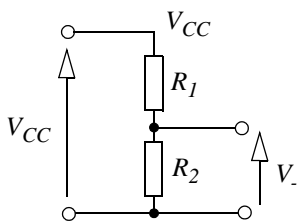
3. Det skal lages en detektor som gir signal når vi puster på sensoren. Til dette benyttes en spenningsdeler med passende resistanser.

4. Plasser motstanden og luftfuktighetssensoren rett i spenningsdeleren på figuren under.



Figur 8.13 Tegn inn spenningsdeleren på inngangen av detektoren.

5. Beregn seriemotstanden i spenningsdeleren slik at alarmen går idet vi puster på sensoren. Vi vet at $V_{CC} = 4,5 \text{ V}$ (ev. 9 V) og at V_- skal være ca. 1.1 V .



$$V_- = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

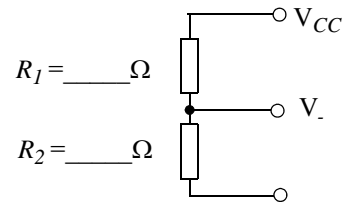
Ukjent R_2 Ukjent R_1

$$R_2 = \frac{V_- \cdot R_1}{V_{CC} - V_-} \quad R_1 = \frac{(V_{CC} - V_-) \cdot R_2}{V_-}$$

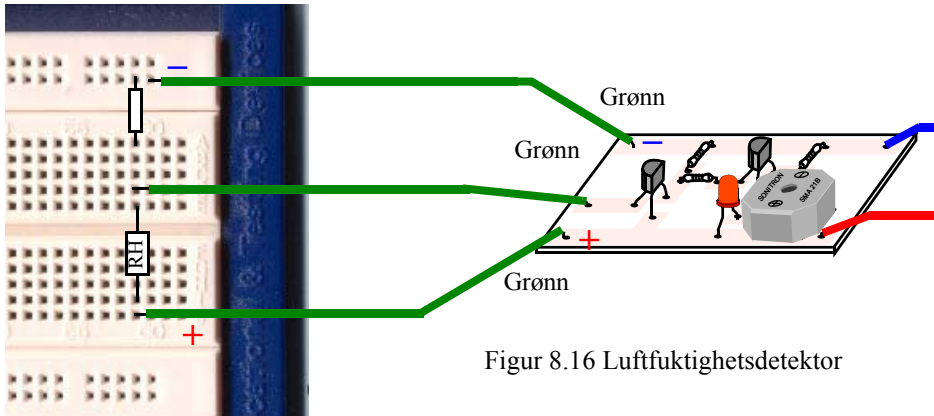
Figur 8.14 Formler for beregning av resistanser.



6. Velg resistans fra karakteristikken til luftfuktighets-sensoren og beregn ønsket verdi for seriemotstanden slik at omslaget blir korrekt. Velg nærmeste standardverdi for motstanden. Skriv inn verdiene i figuren til høyre.
7. Koble opp kretsen på koblingsbrettet med de beregnede verdiene. Mål spenningen V_- på utgangen av spenningsdeleren når du puster på sensoren.
8. Koble til detektorkretsen og undersøk om omslaget skjer som forutsatt.



Figur 8.15 Spenningsdeleren.



Figur 8.16 Luftfuktighetsdetektor

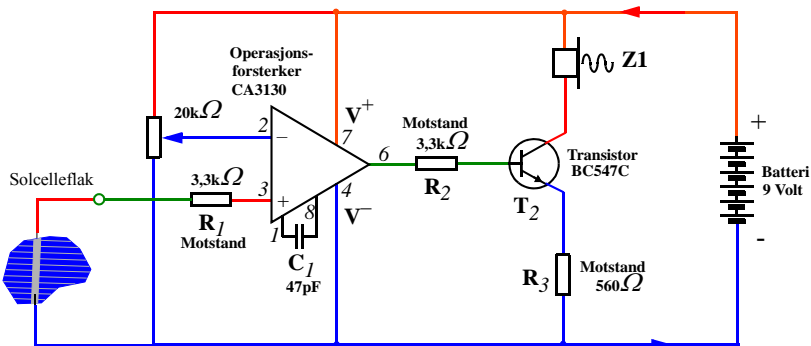
9. Mål responstidene for deteksjon fra pust til signal, og fra signalet går, til det igjen er avslått
Påtid er målt til: ___ sek
Avtid er målt til: ___ sek

8.3 Bygg en detektorer ved hjelp av operasjonsforsterker og transistordriver på koblingsbrett

I dette avsnittet skal vi bygge opp en lysdetektor ved hjelp av en operasjonsforsterker. Fordelen med en slik krets framfor kretsene vi har studert i avsnitt 8.2, er at denne har et mye mer eksakt omslagspunkt. Dessuten er det enkelt å justere omslagspunktet ved hjelp av et potensiometer.

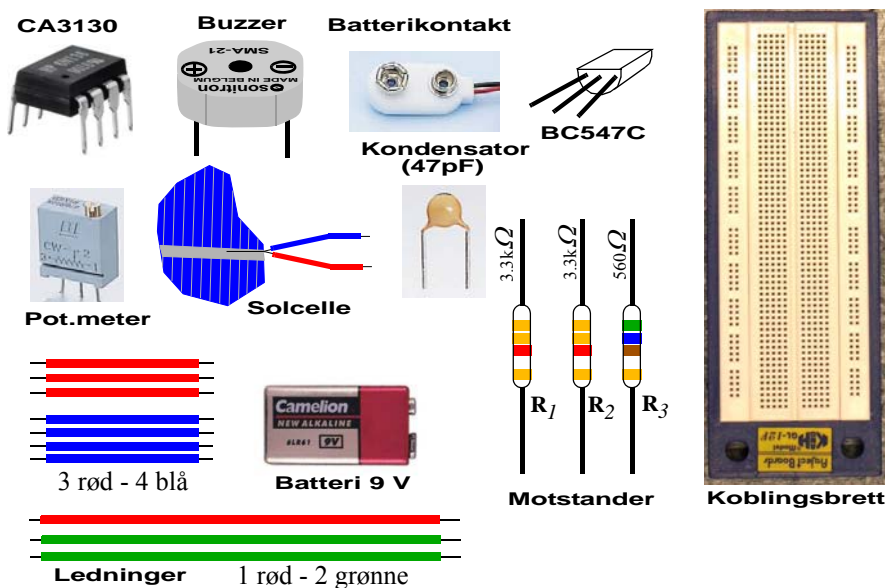


Vi bruker en transistor for å drive en lydkilde (buzzer). Kretsen tar utgangspunkt i kretsen som ble simulert i avsnitt 5.3.



Figur 8.17 Koblingskjema for den komplette kretsen

Kretsen skal bygges opp på et koblingsbrett. Figuren under viser hvilke komponenter vi trenger til oppgaven.



Figur 8.18 Komponenter som skal brukes ved oppbygging av lysdetektoren.

Kretsen skal bygges opp i to trinn. Underveis skal det utføres ulike eksperimenter og målinger.

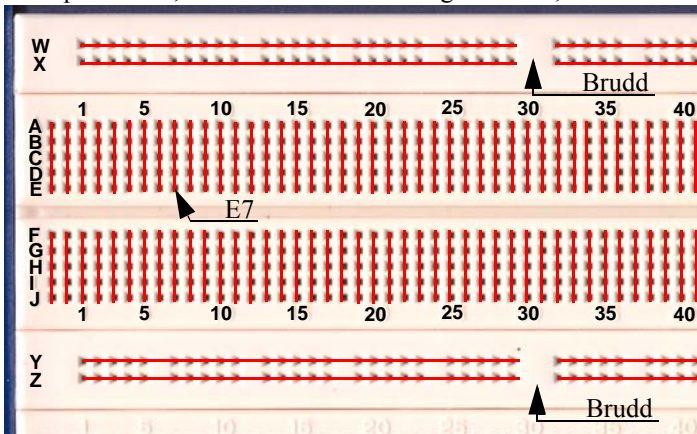
Koblingsbrett

For å kunne koble opp kretsen må vi vite hvilke koblingspunkter som er forbundet på koblingsbrettet. Dette er vist på figur 8.19. Legg spesielt merke til bruddene i de horisontale skinnene.



Legg også merke til at radene er merket med bokstaver A - J, og kolonnene med tall. Vi har også merket de to øverste og de to nederste radene med henholdsvis W, X og Y, Z. Dette er *ikke* gjort på koblingsbrettene. Merk at de to første kolonnene er unummererte.

Når vi monterer komponentene, vil vi henvise til rader og kolonner, som f.eks. hull E7.



Figur 8.19 Sammenkobling av kontaktpunkter på koblingsbrettet.

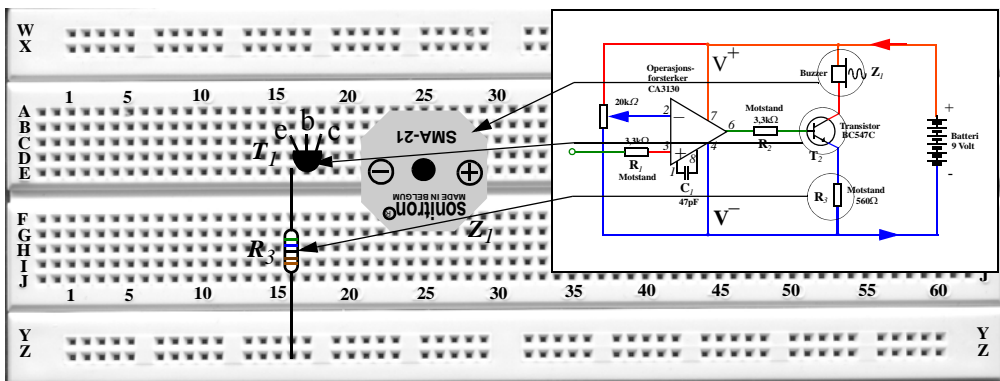
8.3.1 Monter transistordriveren

Oppgave 1

Koble opp en enkel transistordriver.

Dette er en liten transistorforsterker som kan frambringe en stor nok strøm til å lage lyd i buzzeren (lydgiveren).

Vi begynner med å plassere komponentene.



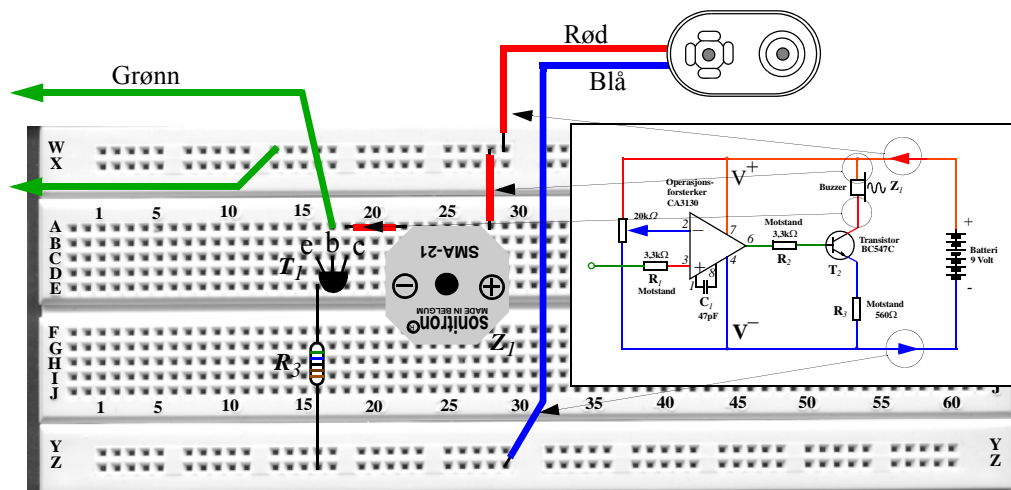
Monter komponentene på følgende måte:

1. Buzzer (Z_1 - SMA-21): E28 (+) og E22 (-)



2. Transistor (T_1 - BC547C): C18 (c), C17 (b) og C16 (e)
3. Motstand (R_3 - grønn, blå, brun, gull - 560Ω): E16 og Z16

Derneft monteres ledningene mellom komponentene.



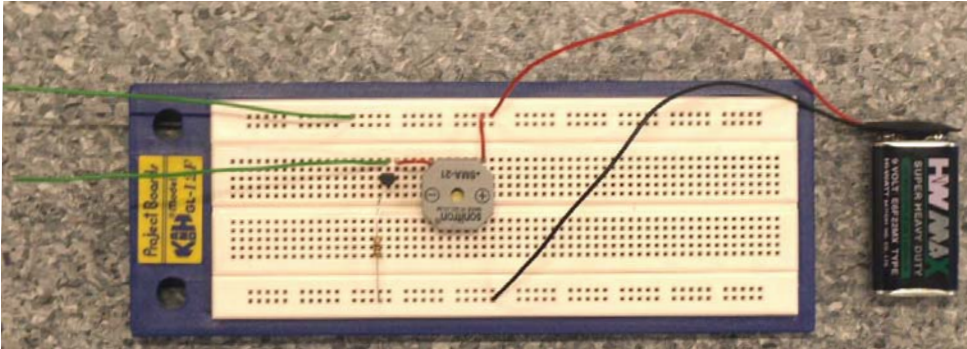
4. Batterikontakt: W29 (rød) og Z29 (blå)
5. Kort rød ledning: W28 til A28
6. Kort rød ledning: A22 til A18
7. Lang grønn ledning: A17
8. Lang grønn ledning: W13

Koble til batteriet og sjekk at kretsen virker ved å holde i de to grønne ledningene, buzzeren skal gi signal. Om dette ikke høres sjekk:

- at alle ledninger og komponenter er satt i rett hull
- at transistoren er satt rett vei
- at buzzeren er koblet rett vei
- at batteriledningene er koblet rett vei



Figur 8.20 viser koblingsbrettet etter at hat vi har montert komponentene og koblet til batteriet.



Figur 8.20 Koblingsbrettet etter at de første komponentene er montert.

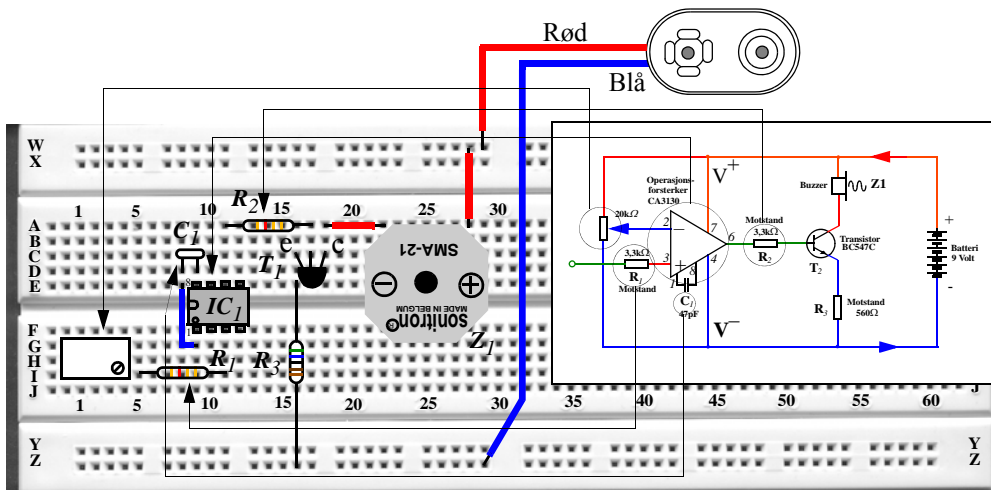
Oppgave 2:

Når du har sjekket at den virker og at du får signal når det går strøm gjennom kroppen, gå sammen med noen fra de andre gruppene å finn ut hvor mange personer det er mulig å seriekoble og det fortsatt blir lyd?

8.3.2 Monter komparatoren, lag en lysdetektor

Oppgave 3:

Monter komparatoren og potensiometeret for terskelreguleringen.



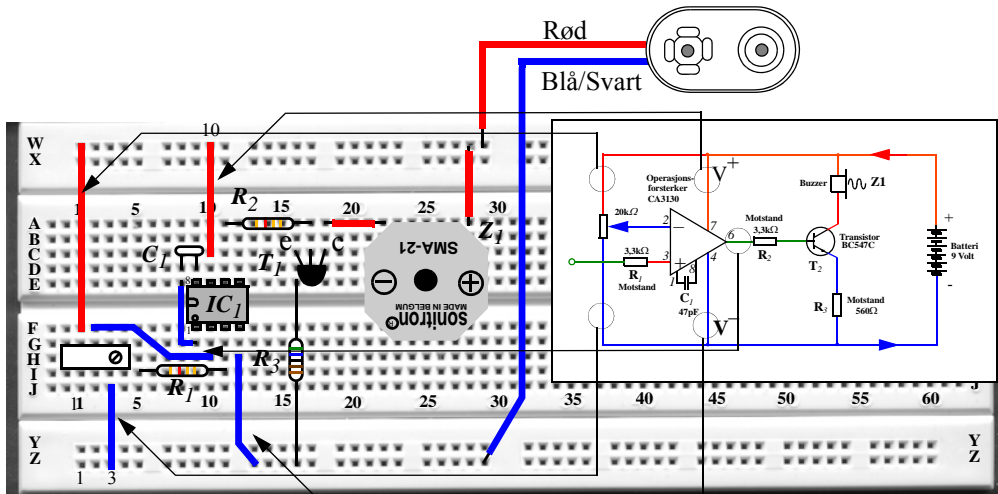
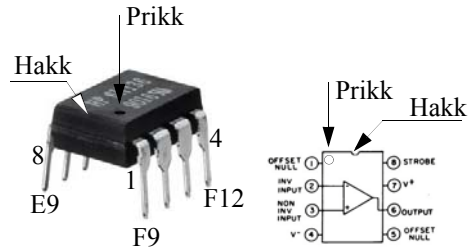
9. Fjern de to lange grønne ledningene.



Monter følgende komponenter:

10. Motstand (R_2 - orange, orange, rød - 3,3 k Ω): A17 og A11.
11. Operasjonsforsterker (IC₁ - CA3130): E9 - E12 og F9 - F12.
12. Motstand (R_1 - orange, orange, rød - 3,3 k Ω): I5 og I11.
13. Potensiometer (P1 - 20 k Ω): H1, H2 og H3.
Pass på at potensiometeret står rett vei (skrue til høyre).
14. Kondensator (C1 - 47 pF): D8 og D9.

Operasjonsforsterker

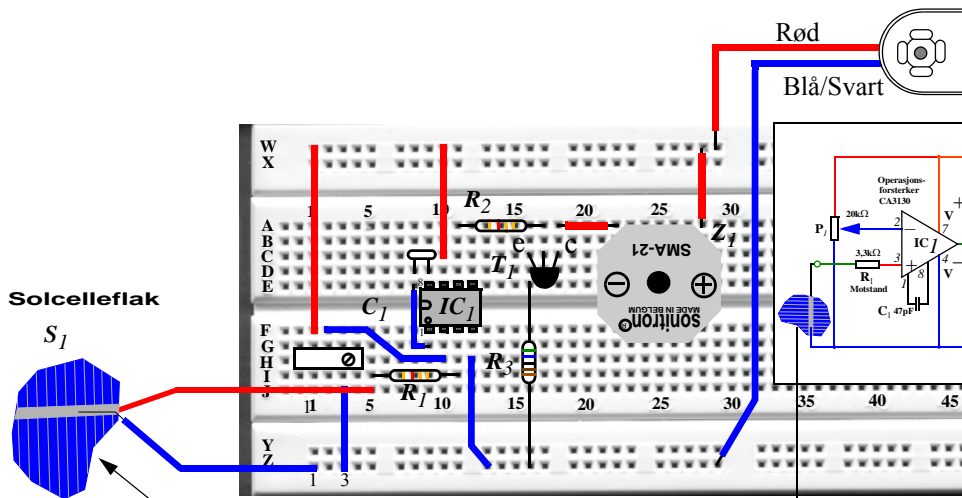


Derneft monteres ledningene mellom komponentene:

15. Lang rød ledning: F1 til W1
16. Kort rød ledning: C10 til W10
17. Kort blå ledning: J3 til Z3
18. Kort blå ledning: H12 - Z13
19. Kort blå ledning: E8 - G9
20. Kort blå ledning: F2 til H10



Til sist monteres solcelleflaket:



21. Solcelleflak (S1): J5 (rød) og Z1 (blå)

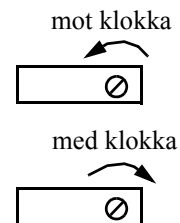
A) Sjekk at kretsen virker på følgende måte:

B) Før du kobler til batteriet. Skru potensiometeret mot klokka, helt til du er sikker på at det står i bunnen. I verste fall må det dreies 20 turn mot klokka. Du vil ikke merke at det når bunnen.

C) La solcelleflaket ligge åpent og belyses av lyset i rommet og koble til batteriet. Buzzeren skal nå gi signal.

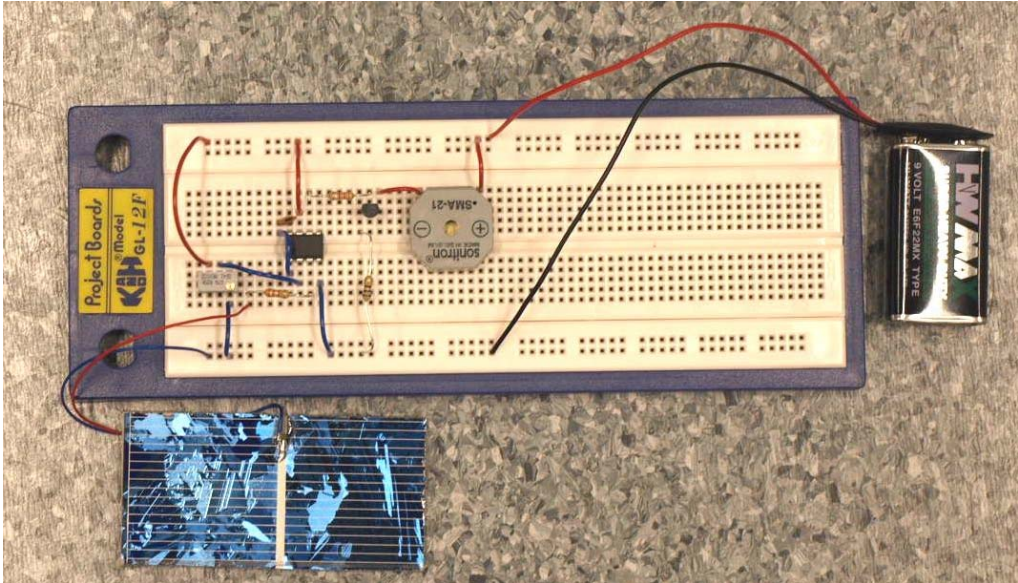
D) Skru potensiometeret med klokka. Etter bare noen få omdreininger, vil buzzeren slutte å gi signal. Still potensiometert slik at buzzeren akkurat gir signal.

E) Dersom du nå skygger for med hånda, skal buzzeren slutte å lage signal.



Dersom kretsen ikke virker undersøk følgende:

- at alle ledninger og komponenter er satt i rett hull og har god kontakt
- at transistoren er satt rett vei.
- at buzzeren er koblet rett vei.
- at operasjonsforsterkeren er satt rett vei.
- at solcelleflaket er koblet rett vei.
- at potensiometeret er satt rett vei, skruen skal være til høyre som vist på figuren.



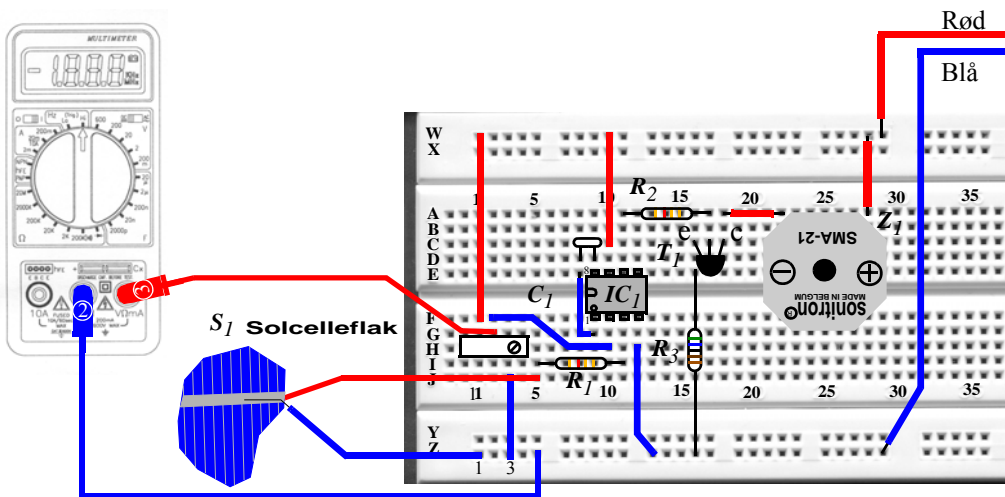
Figur 8.21 Den endelig lysdetektoren.

8.3.3 Karakteriser lysdetektoren

Vi skal i denne oppgaven gjøre noen enkle målinger på kretsen.

Oppgave 4A:

Bestem terskelspenning ved normal belysning.





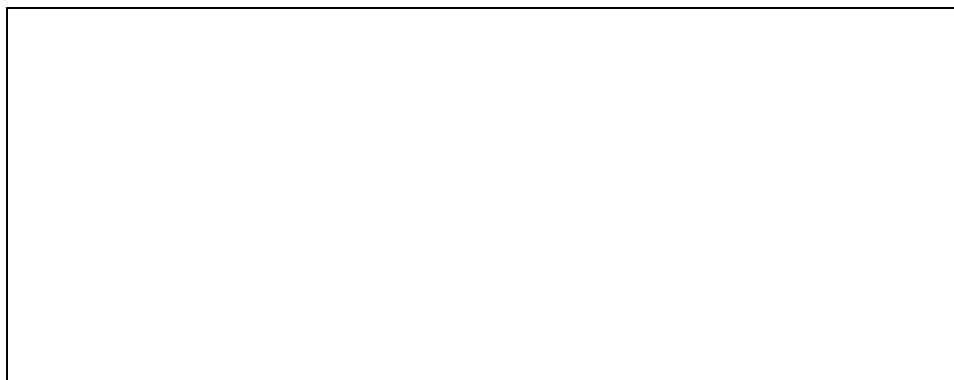
8.3.4 Bygg om lysdetektoren til en mørkedetektor

I denne oppgaven skal vi bygge om lysdetektoren til en mørkedetektor. Denne skal fungere slik at den gir signal når mørket faller på. Hvor mørkt det skal være før mørkedetektoren gir signal, bestemmes ved å stille terskelspenningen.

Oppgave 5A:

Lag en skisse over hvordan vil koble opp solcelleflaket for at den fungere som mørkedetektor. Husk at det er viktig hvilken vei solcellen kobles for at den skal fungere.

1. Tegn skisse:



2. Bestem terskelspenning ved normal rombelysning. Husk at terskelspenningen oppgis i forhold til jord (minus).

Terskelspenningen ved normal belysning er _____ Volt

8.4 Bygg en detektorer ved hjelp av operasjonsforsterker og transistordriver på kretskort

Det er utviklet et generelt kretskort for oppkobling av komparator for eksperimenter med detektorer av ulike slag. Systemet gir følgende muligheter:

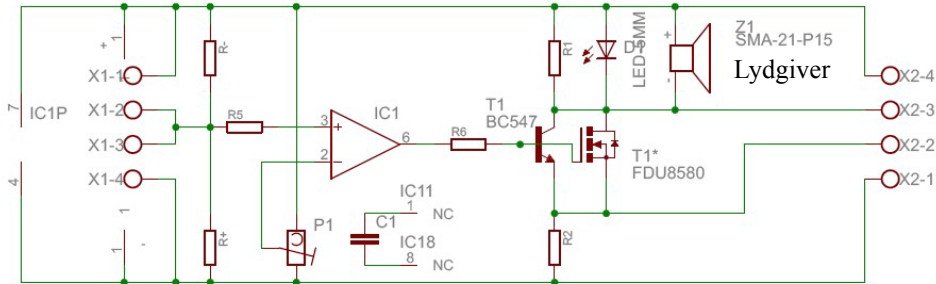
- På inngangen kan en koble opp ulike resitive sensorer og sensorer som genererer spenning.
- Ved hjelp av et potensiometer kan en sette følsomhetsnivået til detektoren.
- Utgangen støtter lyd giver, lysdiode eller resistiv last på kortet.
- Utgangstransistoren kan byttes ut med en kraftig MOSFET-transistor slik at det er mulig å drive likespenningskomponenter som krever stor strøm, f.eks. motorer, kraftige lyspærer, reler o.l.
- Inn- og utgangene kan forskynes med skruklemmer slik at en lett kan koble til og fra ulike sensorer og andre komponenter.
- Operasjonsforsterkeren kan drives med én spenning på 9 V.



Vi skal i fortsetningen se hvordan vi kan koble opp kretsen for forskjellige formål.

8.4.1 Generelt koblingskjema

Figur 8.22 viser det generelle krettskjemaet



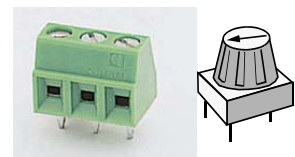
Figur 8.22 Generelt krettskjema for detektor med komparator.

Vi legger spesielt merke til at krettskjemaet inneholder både en bipolar transistor (T_1 - BC547) og en MOSFET-transistor⁵⁶ (T_1^* - FDU8580). En av transistorene velges avhengig av hva vi ønsker at utgangen skal drive. Skal vi kun benytte lyd giver (Z_1) eller lysdiode (D_1) eller den resistive lasten (R_1), er det tilstrekkelig å benytte BC547C. Skal vi f.eks. drive en motor koblet til de eksterne klemmene X_2 -3 og X_2 -4, bør vi vurdere å benytte FDU8580.



Klemmene X_1 -1–4 og X_2 -1–4 er skruklemmer hvor det er lett å tilkoble ulike eksterne sensorer, komponenter eller ledninger.

Trimme-potensiometeret har én omdreining (270°) og er utstyrt med et lite ratt slik at det kan betjenes uten å benytte verktøy.



8.4.2 Oppkobling som generell detektor

La oss først koble opp kretsen som en generell detektor med lyd- og/eller lyssignal. En vil i løpet av beskrivelsen bli bedt om å hoppe over punkter dersom en f.eks. ønsker en kraftigere utgang.

56. MOSFET - Metall-Oksid-Semiconductor Field-Effect-Transistor. Spenningsstyrt transistor.



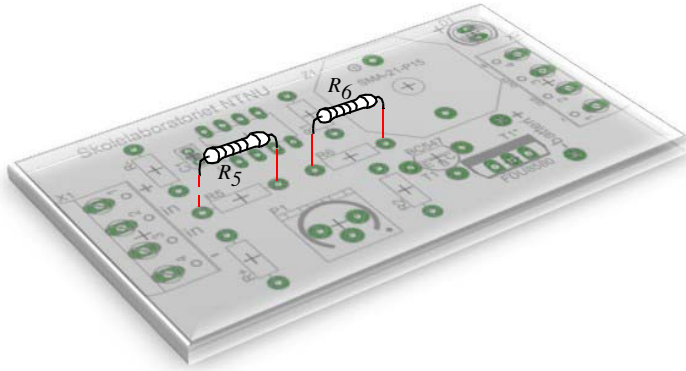
1. Monter følgende motstander

R_5 - 3 300 Ω (orange, orange, rød, gull)

R_6 - 3 300 Ω (orange, orange, rød, gull)

Figur 8.23 viser kretskortet med tilhørende montering av motstander.

Monter og lodd motstandene til kobberbanene på loddessiden (undersiden)



Figur 8.23 Montering av motstandene R_5 og R_6 .

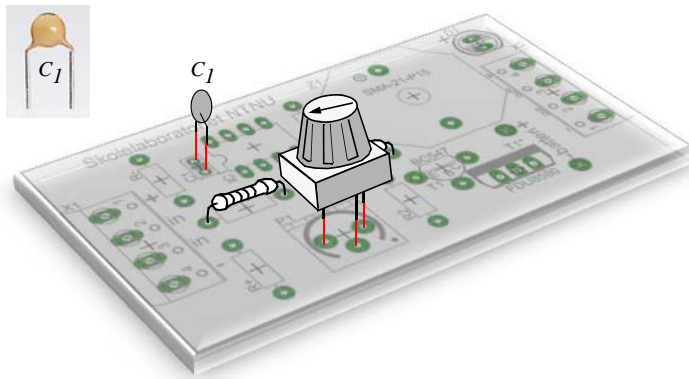
2. Monter kondensatoren og potensiometeret

C_1 - 47 pF (keramisk kondensator for stabilisering av komparatoren)

P_1 - 10 k Ω (1 turn, 270°)

Figur 8.24 viser plasseringen av kondensatoren og potensiometeret.

Monter og lodd kondensatoren og potensiometeret til kobberbanene på loddessiden (undersiden)



Figur 8.24 Montering av kondensatoren og potensiometeret.

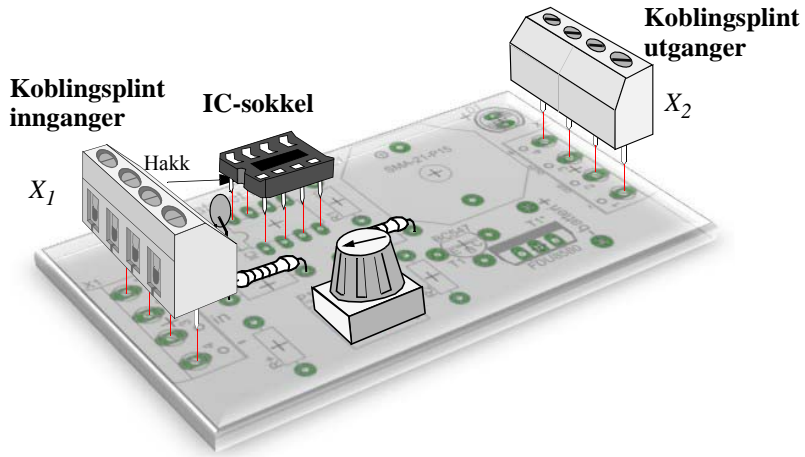
3. Monter IC-sokkel og koblingsplinter på inn- og utganger

IC-sokkel, DIL 8-pinn

X_1 -1-4 - koblingsplint, 4 polt

X_2 -1-4 - koblingsplint, 4 polt

Figur 8.25 viser plasseringen av IC-sokkelen og koblingsplintene. Pass på at IC-sokkelen plasseres med hakket som vist på figur 8.25. Lodd komponentene til kobberbanene på loddessiden (undersiden) av kortet

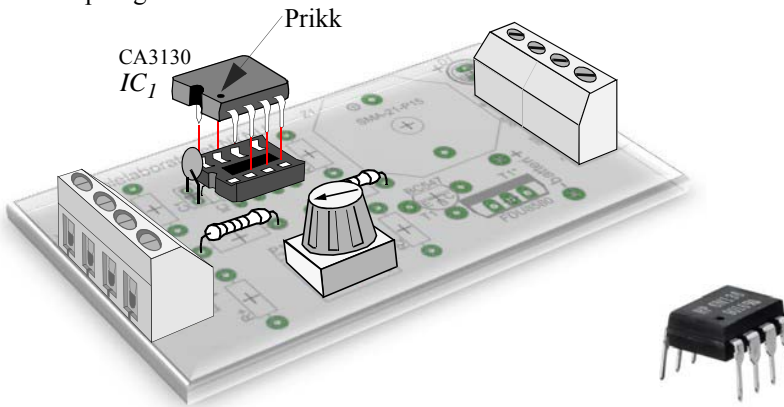


Figur 8.25 Montering av IC-sokkel og koblingsplinter.

4. Monter IC-krets (CA3130)

IC_1 - CA3130

Figur 8.26 viser hvordan IC_1 monteres i sokken. Husk å sett hakket eller den vesle prikken riktig vei som vist på figuren under.

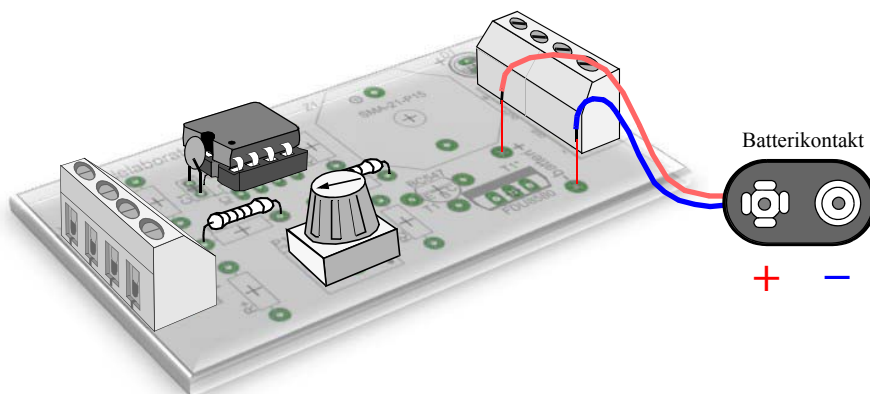


Figur 8.26 Montering av integret krets (IC_1).



5. Monter batterikontakt

Rød på pluss (+) og blå eller svart på minus (-)
Figur 8.27 viser plasseringen til batterikontakt.



Figur 8.27 Montering av batterikontakt.

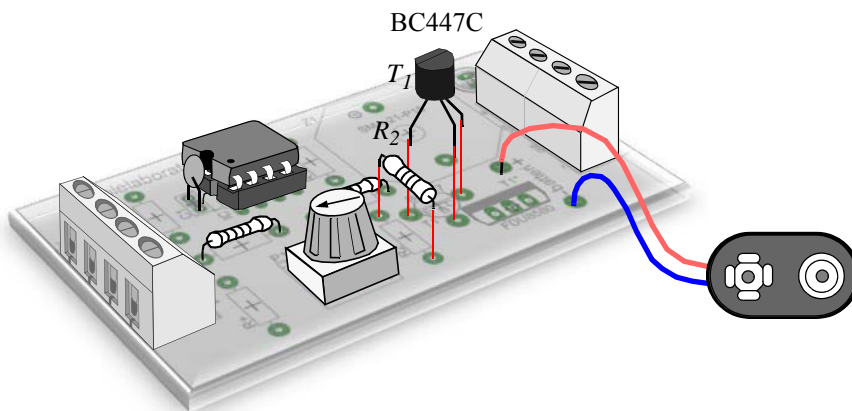
NB! - Dersom kretsen skal brukes til å drive eksterne komponenter som releer og motorer slik at det trengs en kraftigere utgang, gå til avsnitt på side 236 for montering av FET-transistor.

6. Monter transistor (BC547C)

T_1 - BC547C

R_2 - 560 Ω

Figur 8.26 viser plasseringen av transistoren og emittermotstanden. Pass på at den flate siden på transistoren monteres i henhold til tegningen på kortet og at beina kommer i de riktige hullene.



Figur 8.28 Montering av transistor (T_1) og integret krets (IC_1).



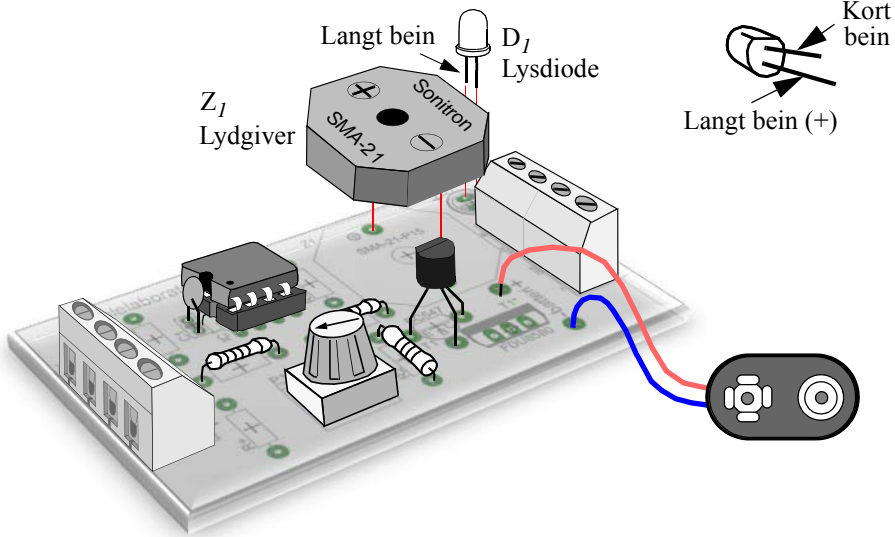
NB! - Dersom kretsen skal kobles opp mot kontroll- og styringssystemer f.eks. av typen LOGO, gå til avsnitt 8.4.10 på side 235. Dersom kretsen kun skal brukes for å gi et signal, gå videre til neste punkt.

7. Monter lysdiode og/eller lyd giver

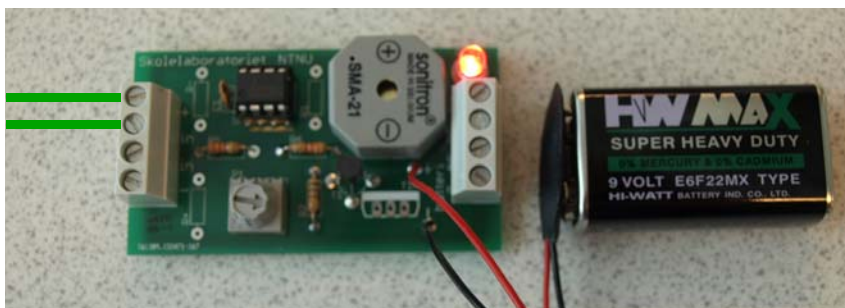
D_1 - Lysdiode (velges når en ønsker lyssignal ved alarm)

Z_1 - Lydgiver (velges når en ønsker lydsignal ved alarm)

Figur 8.29 viser plasseringen av lydgiver eller lysdiode.



Figur 8.29 Montering av lysdiode (D_1), lydgiver (Z_1) eller lastmotstand (R_1).



Figur 8.30 Den ferdigmonterte kretsen.

I det videre benyttes lydgiver for å vise hvordan vi kobler opp ulike detektorer.



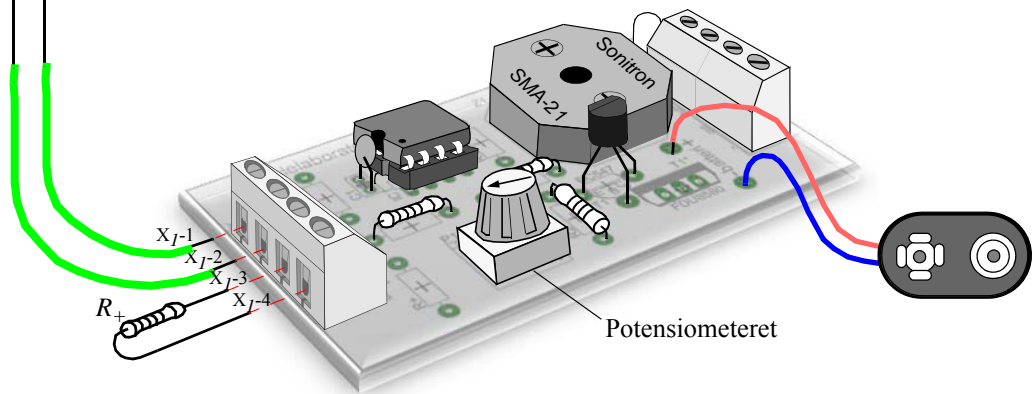
8.4.3 Fuktighets- og tørkedetektor:

Fuktighetsdetektor

To grønne ledninger kobles til X_I-1 og X_I-2

R_+ - 1 M Ω kobles til X_I-3 og X_I-4 (vi velger å koble motstanden eksternt)

Figur 8.31 viser hvordan vi kobler opp kretsen som fuktighetsdetektor.



Figur 8.31 Oppkobling som fuktighetsdetektor.

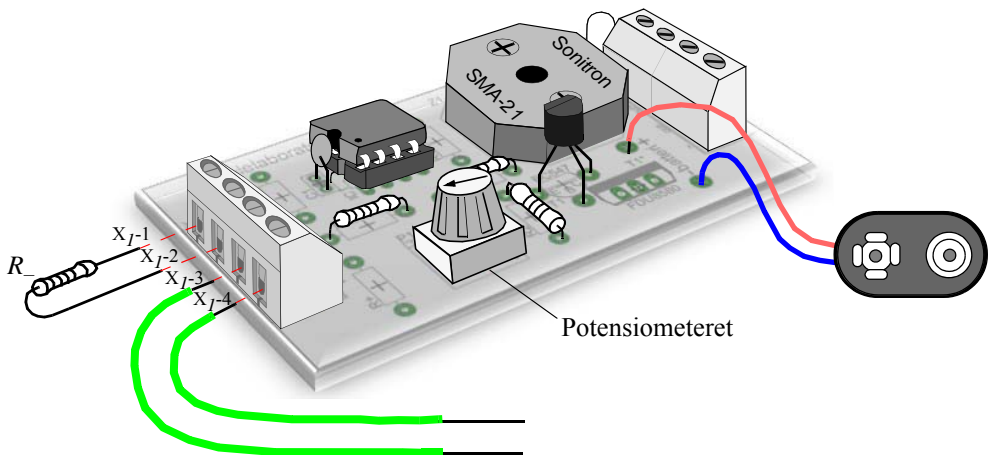
Koble til batteriet og juster potensiometeret til ønsket følsomhet.

Tørkedetektor

To grønne ledninger kobles til X_I-3 og X_I-4

R_- - 1 M Ω kobles til X_I-1 og X_I-2 (vi velger å koble motstanden eksternt)

Figur 8.32 viser hvordan vi kobler opp kretsen som tørkedetektor.



Figur 8.32 Oppkobling som tørkedetektor.

Koble til batteriet og juster potensiometeret til det høres lyd fra summeren. Kretsen testes lett ved å forbinde de to grønne ledningene gjennom fingrene. Prøv med fuktige og tørre fingre.

Oppgave:

Undersøk hvordan følsomheten endrer seg når potensiometeret endrer posisjon. Er det mulig å kvantifisere denne sammenheng på noe vis?

Undersøk hva som skjer med følsomheten dersom verdien til R_- (ev. R_+ for fuktighetsdetektoren) endres. Blir følsomheten for uttørring større eller mindre når verdien økes (ev. reduseres)?

8.4.4 Temperaturdetektor med NTC-motstand:

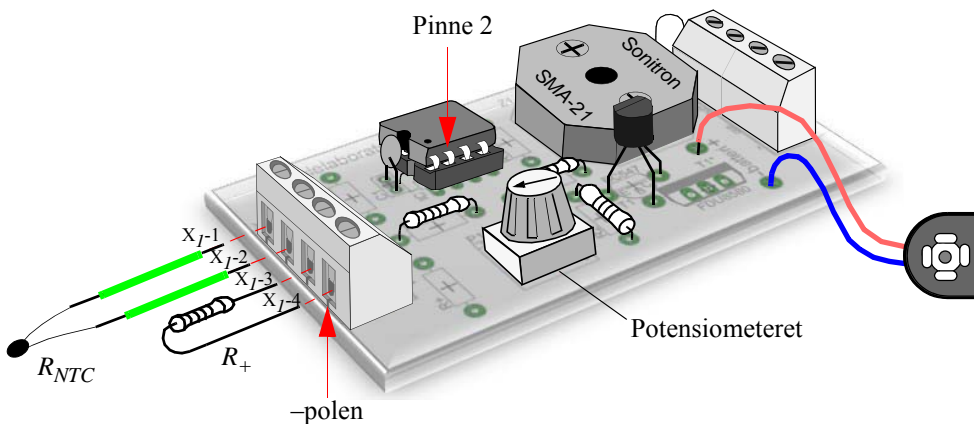
Lag en krets som gir signal når temperaturen faller under et visst nivå (terskelverdi).

Temperaturdetektor (signal når temp. kommer under terskelverdi)

R_{NTC} - RH16, 50 k Ω kobles til X_I-1 og X_I-2

R_+ - 47 k Ω kobles til X_I-3 og X_I-4 (vi velger å koble motstanden eksternt)

Figur 8.33 viser hvordan vi kobler opp kretsen som temperaturdetektor som gir signal ved fallende temperatur.



Figur 8.33 Oppkobling som temperaturdetektor som gir signal ved fallende temperatur.

For karakterisering og beregning av R_+ se avsnitt 8.2.3. Husk at terskelspenningen i dette tilfellet settes med potensiometeret. Dermed må man først bestemme seg for terskelspenning ved omslag (f.eks. 4 V). I prinsippet er ikke valget av terskelspenning særlig kritisk. Tommefingerregelen kan være å velge en terskelspenning nær halvparten av batterispenningen.

En benytter terskelspenningen når en skal beregne R_+ i spenningsdeleren. Terskelspenningen for potensiometeret bestemmes ved måling mellom minuspolen og midtuttaket på potensiometeret eller pinne 2 på IC-kretsen (se figur 8.33).

Oppgave:

Hvordan vil oppkoblingen bli dersom vi ønsker å lage en temperaturdetektor som gir signal ved økende temperatur, dvs. varsler når temperaturen passerer over et bestemt nivå?



8.4.5 Lys- og mørkedetektor med fototransistor:

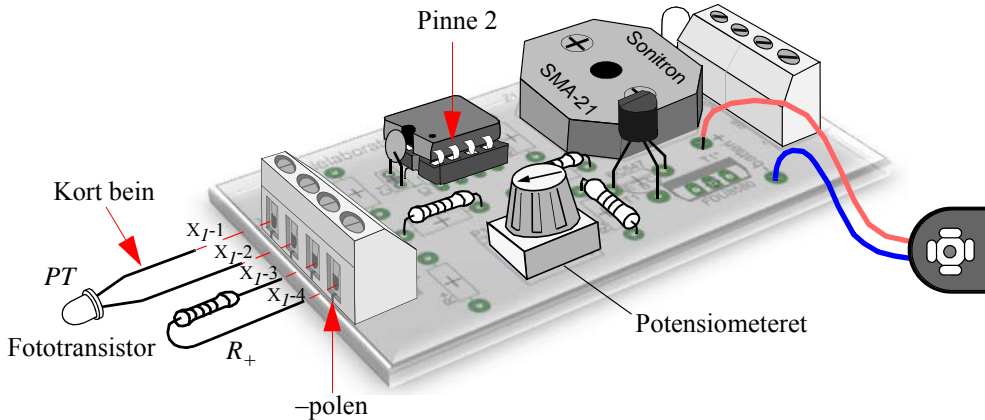
Lysdetektor (signal når lysmengden overskrider en bestemt terskelverdi)

PT - PT204-6C, Fototransistoren har et kort og et langt bein.

Kort bein kobles til X_{J-1} og langt bein X_{J-2}

R_+ - kobles mellom X_{J-3} og X_{J-4} (vi velger å koble motstanden eksternt)

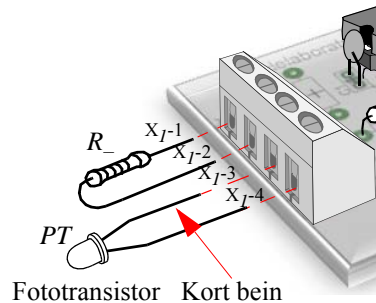
Figur 8.34 viser hvordan vi kobler opp kretsen som lysdetektor som gir signal ved økende lysmengde.



Figur 8.34 Oppkobling som lysdetektor som gir signal ved økende lysmengde.

For karakterisering og beregning av R_+ se avsnitt 8.2.7. Husk at terskelspenningen i dette tilfellet settes med potensiometeret. Dermed må man først bestemme seg for terskelspenning ved omslag (f.eks. 4 V). Denne verdien tar en med seg når en skal beregne R_+ i spenningsdeleren. Terskelspenningen for potensiometeret bestemmes ved måling mellom $-$ polen og midttuttaket på potensiometeret eller pinne 2 på IC-kretsen (se figur 8.34).

Vi kan lage en mørkedetektor ved å bytte om på motstanden R_+ og PT, som vist i figur 8.35. Legg merke til hvor det korte beinet til fototransistoren skal kobles.

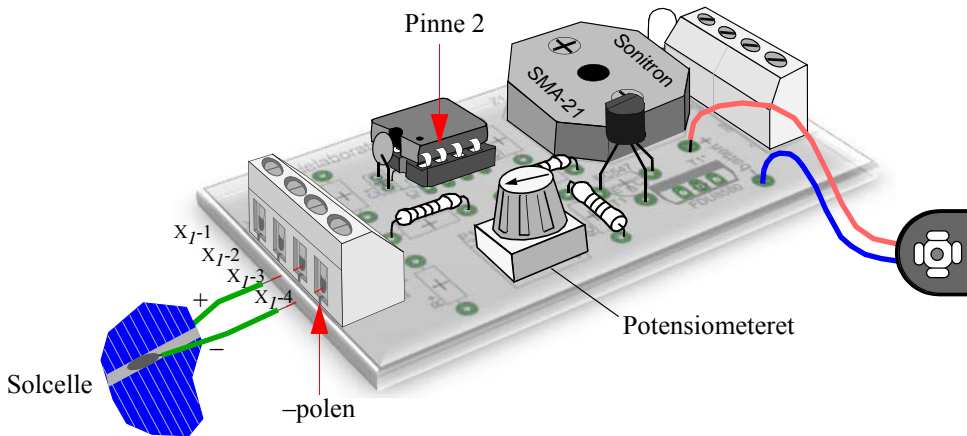


Figur 8.35 Oppkobling som mørkedetektor.

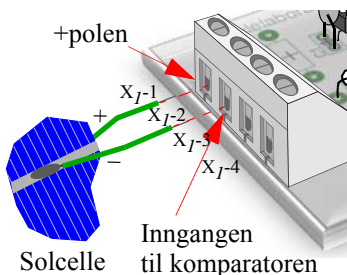
8.4.6 Lys- og mørkedetektor med solcelle:

I stedet for å bruke fototransistor kan en benytte en bit av en solcelle eller en ferdig montert solcelle. Siden solcellen selv produserer en spenning så trengs det ikke noen ekstra motstand.

Figur 8.36 viser hvordan vi kobler opp kretsen som lysdetektor som gir signal ved økende lysmengde.



Figur 8.36 Oppkobling som **lysdetektor** som gir signal ved økende lysmengde.

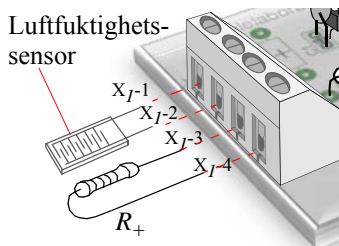


Figur 8.37 Mørkedetektor

Som nevnt vil en solcelle gi ut en spenning når den belyses, med den negative polen på belysningssiden (blå side) og den positive på baksiden (metallplan). Kobler vi solcellen mellom inngangen til kretsen X_{I-3} og den negative polen på batteriet X_{I-4} (figur 8.36), så får vi en lysdetektor. Kobler vi solcellen mellom plusspolen og inngangen til komparatoren (figur 8.37), så får vi en mørkedetektor. Ved hjelp av potensiometeret vil vi kunne regulere terskelen for deteksjon, dvs. hvor mørkt eller lyst det skal være før alarmen går.

For nærmere beskrivelse av solceller se avsnitt 6, for karakterisering av lysdetektoren se avsnitt 8.3.3.

8.4.7 Luftfuktighetsdetektor:



Figur 8.38 Luftfuktighetsdetektor

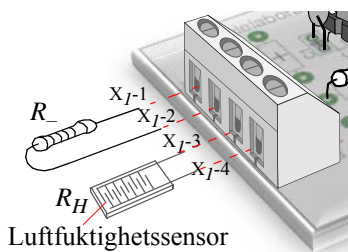
Dersom vi ønsker å lage en detektor som detekterer høy eller lav luftfuktighet, må vi bruke en luftfuktighetssensor. H25K5A er en resistiv luftfuktighetssensor som har fallende resistans med økende luftfuktighet. **Luftfuktighetsdetektoren** på figur 8.38 gir signal når fuktigheten *overskrider* terskelverdien. For nærmere beskrivelse se avsnitt 7.5.2.

H25K5A, *Luftfuktighetssensor* kobles til X_{I-1} og X_{I-2}
 R_+ - kobles til X_{I-3} og X_{I-4} .

Dersom vi ønsker deteksjon når fuktigheten passerer *under* en bestemt terskel, signal når det blir for tørt, så kobles kretsen som vist i figur 8.39.



Luftfuktighetsdetektoren på figur 8.38 gir signal når det blir for tørt.



Figur 8.39 Luftfuktighetsdetektor, gir signal når det er for tørt.

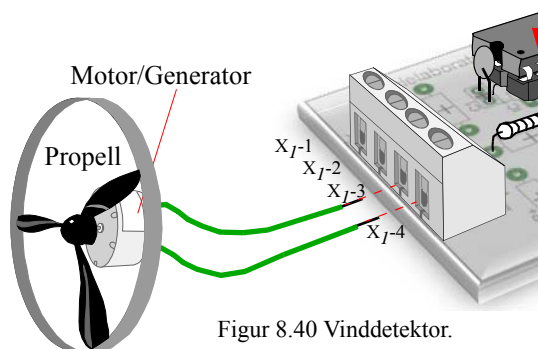
R_- - kobles til X_J-1 og X_J-2 .

R_H - H25K5A, Luftfuktighets sensor kobles til X_J-3 og X_J-4

Etter som luftfuktigheten avtar, øker resistansen i sensoren slik at spenningen på inngangen overskrider en terskel.

For beregning av riktig resistans for R_+ og R_- se avsnitt 8.2.8.

8.4.8 Vinddetektor:



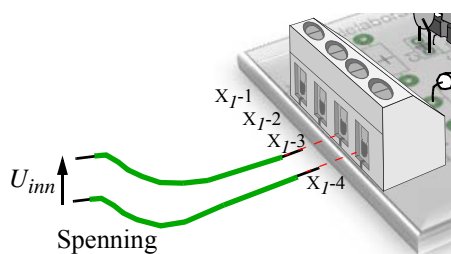
Figur 8.40 Vinddetektor.

En enkel vinddetektor kan lages ved hjelp av en motor og en propell koblet til kretskortet. I dette tilfellet vil motoren fungere som en generator og generere en spenning når propellen går rundt. Dersom det er en likespenningsmotor vil det ut av motoren komme en pulserende "likespenning". Skal vi få deteksjon må vi passe på å sette motoren rett vei.

Avhengig av hvilken vei vi dreier motoren så vil den gi en positiv eller negativ spenning.

Ved hjelp av potensiometeret kan følsomheten justeres.

8.4.9 Spenning og strøm-detektor:



Figur 8.41 Spenningsdetektor

Spenningsdetektor: Siden komparatoren i kretsen sammenligner spenningen mellom inngangen (X_J-3) og $-$ polen (jord), og den spenningen som er innstilt ved hjelp av potensiometeret, er det ikke vanskelig å tenke seg hvordan kretsen kan brukes som en spenningsdetektor.

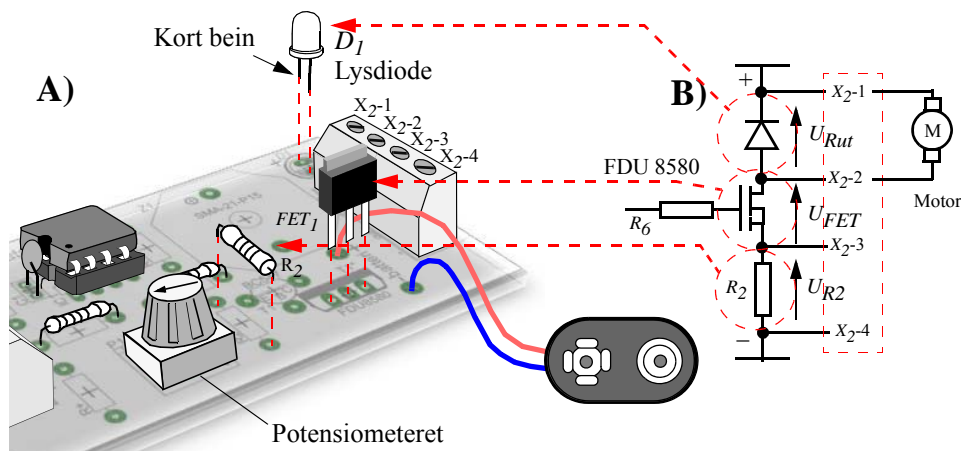
Koble to ledninger i X_J-3 og X_J-4 .

Spenningsnivået (U_{inn}) som skal detekteres kobles mellom disse to ledningene. Når spenningen mellom dem når nivået innstilt på potensiometeret, går alarmen.



Bruk av FET-transistor når vi skal drive en motor

FET-transistoren monteres i stedet for den bipolare transistoren vi brukte i forrige eksempel. R_2 (560 Ω) og transistoren T_1 fjernes før MOSFET-transistoren (FDU 8580) monteres. Fjern også R_1 (1 k Ω) dersom den er montert.



Figur 8.42 A) Monteringa FET-transistor (FET_1), diode (D_1) og drain-motstand (R_2).
B) Kretsskjemaet for utgangen.

La oss tenke oss at vi skal montere en likestrømsmotor som trekker $I_{ut} = 100$ mA ved $U_{Rut} = 6$ V når den går med ønsket turtall. Når FET-transistoren er slått på (åpen) har den en indre motstand på 1 - 2 Ω , dvs. at vi kan se bort fra spenningsfallet over transistoren ($U_{FET} \approx 0$).

$$\text{Vi vet at: } U_{Rut} + U_{FET} + U_{R2} = 9 \text{ V} \quad (8.1)$$

$$\text{Vi antar at: } U_{FET} \approx 0 \text{ V}, \quad (8.2)$$

$$\text{Vi får da: } U_{Rut} = 6 \text{ V}, U_{R2} = 3 \text{ V} \quad (8.3)$$

$$\text{Drain motstanden blir da: } R_2 = 3 \text{ V}/100 \text{ mA} = \underline{30 \Omega} \quad (8.4)$$

Vi monterer en motstand på $R_2 = 33 \Omega$ som er en standardverdi. Videre må vi beregne hvor stor effekt (P_{R2}) motstanden må kunne tåle.

$$P_{R2} = I_{ut} \times U_{R2} = 100 \text{ mA} \times 3 \text{ V} = 300 \text{ mW} \quad (8.5)$$

Dvs. vi må velge en 1/2 Watt motstand.

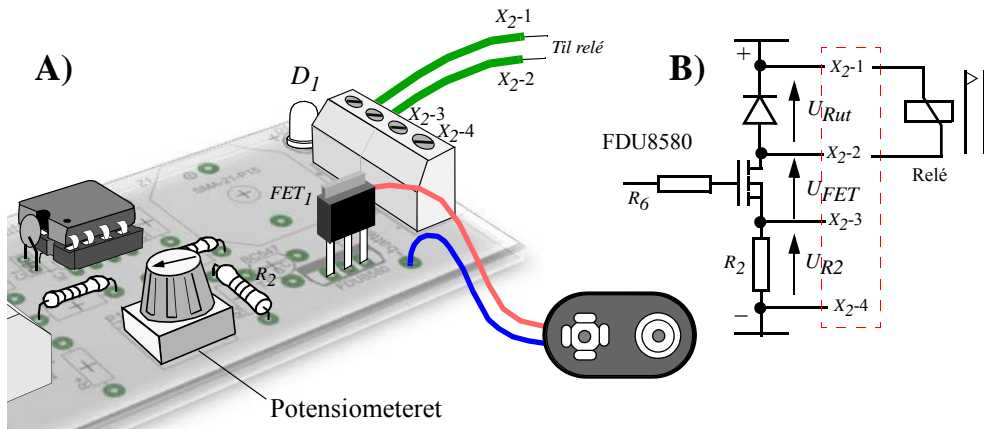
I tillegg skal vi montere en lysdiode, D_1 , **motsatt vei** som vist på figur 8.42.



Grunnen til dette er at når strømmen i en induktiv last (spole eller motor) brytes, så kan det oppstå høye spenninger. Disse settes opp motsatt vei i forhold til den vanlige spenningen over motoren. Dioden vil kortslutte disse spenningene og spare transistoren.

Bruk av rele for styring av 230 V (AC)

Et rele er en elektronisk styrt bryter. Bryteren kan lett håndtere 230 V, 1–10 A og vil derfor egne seg godt for styring av utelys eller pumper som går på 230 volt. Men den kan også kobles opp mot et 12 V anlegg.



Figur 8.43 Tilkobling av relé.

R_2 beregnes på samme måte som eksemplet med motoren i avsnitt på side 236. En bør kjenne strøm og spenning for reléet, som finnes i databladet.

8.5 Komparator sensorkrets.

I dette avsnittet skal vi ganske kort vise et par eksempler på hvordan komparatoren kan brukes til å bygge detektorer.

8.5.1 Fjernstyrt ballongsprenger

Problemstilling:

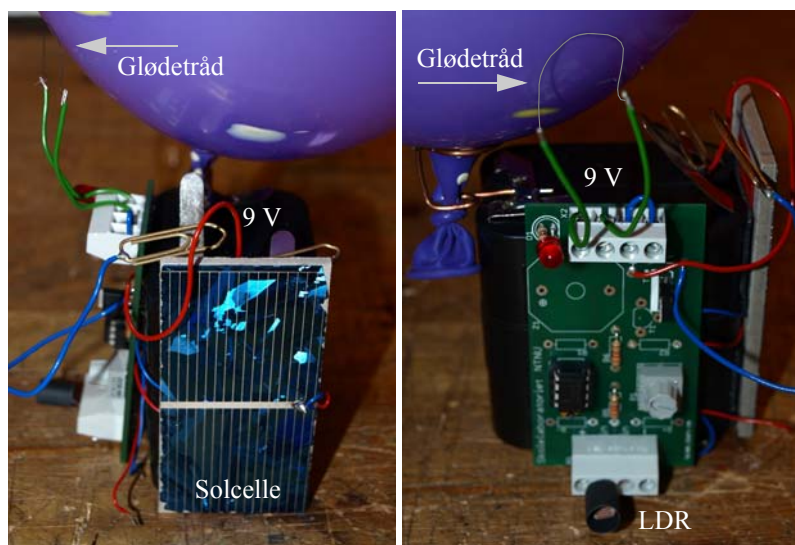
Det skal lages en krets som gjør det mulig å sprengne en ballong ved hjelp av en laserpeker.

Oppgaven består av to hovedutfordringer:

1. Deteksjon av lysstrålen
2. Mekanisme for sprengning av ballongen



I utgangspunktet synes **deteksjon av lysstrålen** som en enkel oppgave. Enten kan man bruke en lysfølsom motstand (LDR) eller en fotodiode. Begge disse løsningene fungerer greit i teorien. Imidlertid vil en oppdage at det kan være ganske krevende å treffe den lille sensoren på avstand av noen meter. Sensoren bør også skjermes fra uønsket lys fra omgivelsene slik at en unngår at ballongen sprenges til galt tidspunkt.



Figur 8.44 Detektorkrets for fjernstyrt sprenging av ballong med laserpeker.

Alternativt kan en bruke et lite solcellepanel. Med en flate på ca. 20 cm^2 er det en smal sak å treffe målet. Imidlertid får en problemer med å skjerme for uønsket belysning. Løsningen synes å være å skjerme solcellepanelet for uønsket belysning, med en pappskjerm. Dermed faller panelet skyggen og problemet er løst. En slik løsning krever imidlertid at strålen treffer solcellepanelet i rett vinkel.

Mekanismen for sprenging av ballongen ble enkelt løst ved hjelp av en glødetråd. Et 9 V batteri (2 x 4,5 V) gir nok effekt til å få tråden til å gløde. FET-transistoren er kraftig nok til å styre strømmen på non ampere.

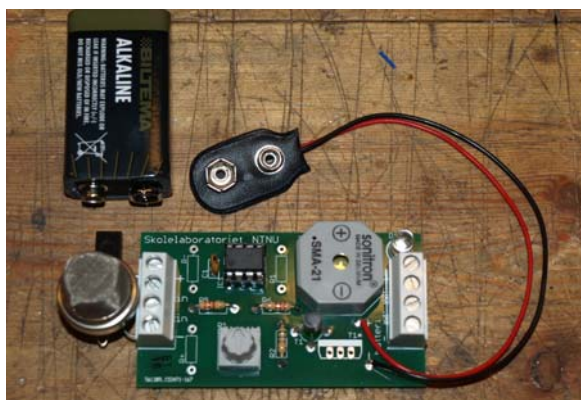
8.5.2 Gassdetektor

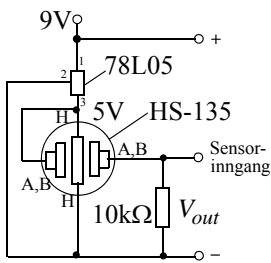
Problemstilling:

Det skal lages en detektor som gir alarm ved små gasslekkasjer. F.eks. dersom butan.

Utfordringen er primært å finne en god detektor for gass. I dette tilfellet ble HS-135 valgt (se avsnitt 7.9.2).

Figur 8.45 Detektor for PLG gasser (butan, propan, acetone o.l.)





En spenningsregulator på 5 V leverer spenning til gass-sensoren som er resistiv. Når sensoren utsettes for små mengder gass vil sensorens resistivitet synke og spenningen på inngangen stige. Alarmen utløses når terskelspenningen er nådd.

8.6 Bygg en løgndetektor

Det er utviklet et kretskort for bygging av en liten “løgndetektor”. Detektoren er en oscillator som lager en tone i en liten høyttaler. Tonehøyden bestemmes blant annet av endringer i fuktigheten på huden. Detektoren tilkobles personen som skal testes ved hjelp av to ledninger som festes til fingeren med en borrelås. Økt fuktighet på huden vil gi redusert resistans og høyere tone.

I dette avsnittet skal vi beskrive i detalj hvordan vi kan bygge opp kretsen på kretskortet, men la oss først høre litt om historien bak løgndetektoren.

8.6.1 Litt løgndetektorhistorikk

At kroppen reagerer på psykisk stress er det liten tvil om. I West-Afrika lot man et egg passere mellom de ulike mistenkte. Man regnet med at den skyldte vil avsløre seg ved å knuse egget som en følge av det press vedkommende ble satt under.

Den italienske kriminologen **Cesare Lombroso** (1835–1909) fra Verona gikk i 1895 mer vitenskapelig til verks. Han målte puls og blodtrykk hos mistenkte i kriminalsaker. Han hevdet at han kunne registrere små endringer i puls-frekvens og blodtrykk som reaksjon på at de mistenkte løy.



Cesare Lombroso

Fram mot 2. verdenskrig ble løgndetektoren videreutviklet ved at en målte en rekke kroppsfunksjoner. Deriblant pust, puls, blodtrykk og hudens elektriske ledningsevne. Ved å studere hvordan disse endret seg under avhør, fikk man støtte for om vedkommende løy eller talte sant. Siden man registrerte flere kroppsfunksjoner samtidig, fikk instrumentet navnet *Polygraf*.

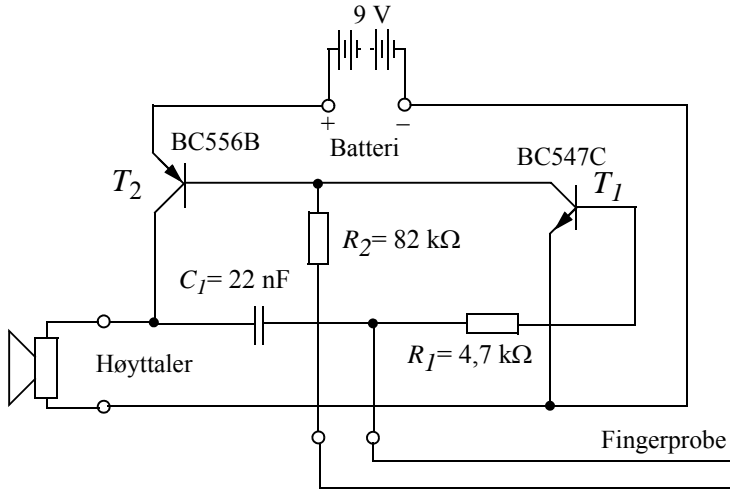
Det ble også utviklet strategier for utspørring som skulle redusere risikoen for feil. Ved å la kandidaten innledningsvis svare på spørsmål som man visste var sanne eller løgnaktige, kunne man danne seg et bilde av personens reaksjonsmønster. Slik kunne man så og si kalibrere instrumentet til den aktuelle kandidaten.

Bruken av løgndetektorer som hjelpemiddel i forbindelse med rettssaker er imidlertid sterkt omdiskutert og blir sjelden brukt i Norge.



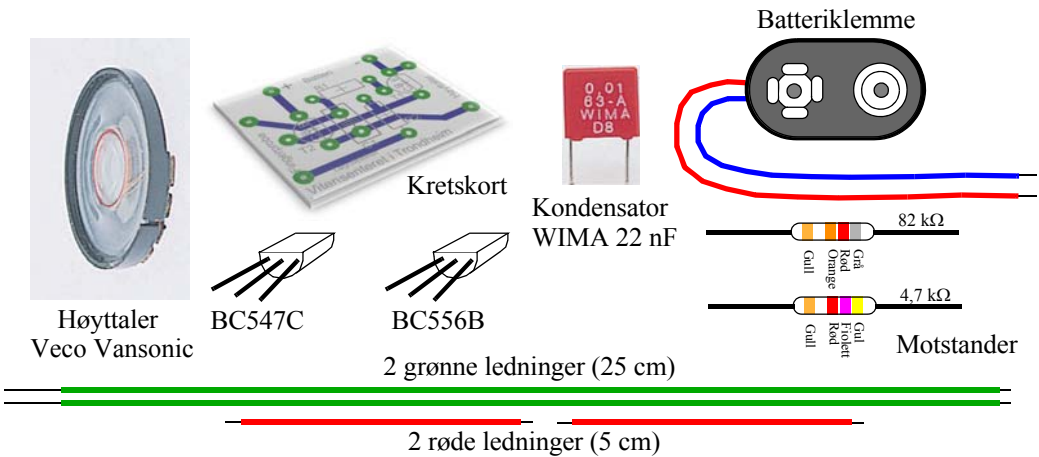
8.6.2 Kretsskjema

Figuren under viser kretsskjemaet.



8.6.3 Komponentliste

Byggesettet består av følgende deler:



I det neste avsnittet skal vi beskrive hvordan kretsen monteres.

8.6.4 Byggebeskrivelse løgndetektor

Byggebeskrivelse for løgndetektoren, trinn for trinn.



1. Monter motstandene

R_1 (gul, fiolett, rød, gull) 4,7 k Ω

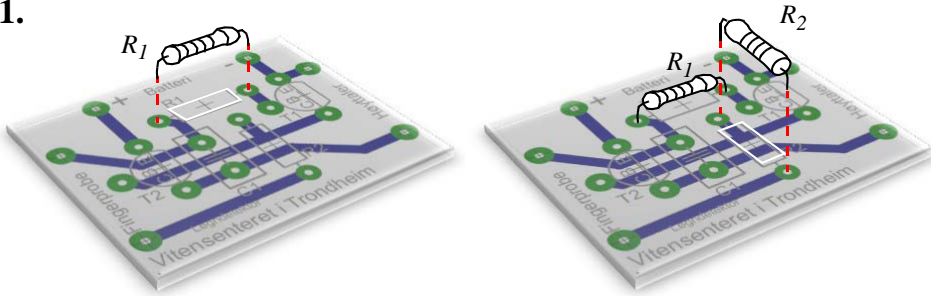
R_2 (grå, rød, orange, gull) 82 k Ω

Fargene skal leses fra venstre mot høyre når gullringen er til høyre.

Beina til motstanden bøyes i rett vinkel og stikkes gjennom hullene fra komponentensiden og presses helt ned til monteringsplata. **Det spiller ingen rolle hvilken vei de plasseres.**

Lodd motstandene til kobberbanene på loddessiden.

1.



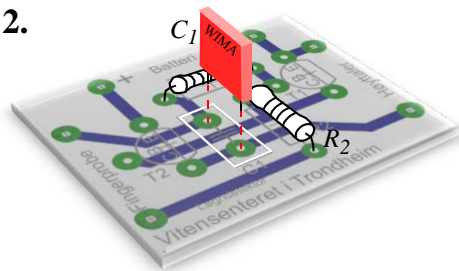
2. Monter kondensatoren

C_1 (rød WIMA) 22 nF

Beina stikkes gjennom hullene fra komponentensiden og presses helt ned til monteringsplata. **Det spiller ingen rolle hvilken vei den plasseres.**

Lodd kondensatoren til kobberbanene på loddessiden.

2.



3. Monter transistor BC547C

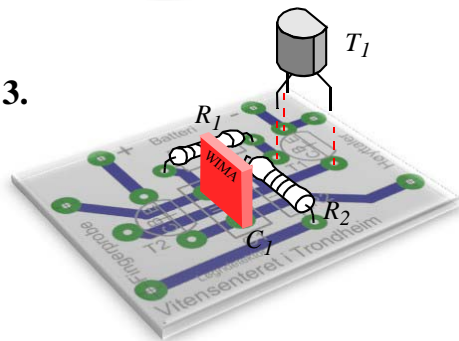
T_1 - BC547C

(NB - Sjekk at du bruker rett transistor)

NB! De to transistorene er ulike. Sjekk at transistoren har riktig betegnelse - BC547C. Spre beina slik at de passer i de tre hullene. Det er viktig at den *flate siden* av transistoren er som vist på tegningen på kretskortet.

Lodd transistoren til kobberbanene på loddessiden.

3.





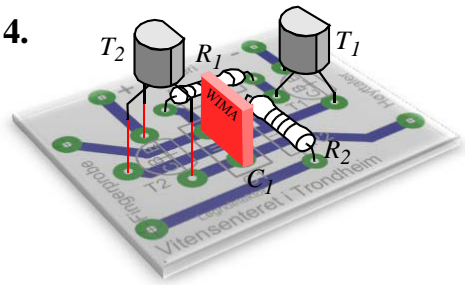
4. Monter transistor BC556B

T_2 - BC556B

NB! Sjekk at transistoren har riktig betegnelse BC556B. Spre beina slik at de passer i de tre hullene. Det er viktig at den *flate siden* av transistoren står som vist på kretskortet.

Lodd transistoren til kobberbanene på loddessiden.

4.



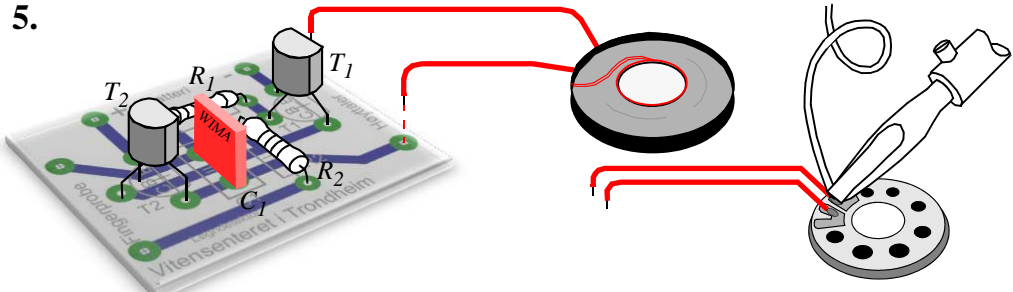
5. Monter høyttaleren

H_1 - WECO 28CSO8G 8 Ω

2 røde ledninger (5 cm)

Avisoler ledningene i begge endene ca. 5 mm. Lodd en ledning til hver av kontaktene på baksiden av høyttaleren. Ledningene loddes til de to tilkoblingspunktene merket *Høyttaler* på høyre side av kortet. Vær forsiktig når du lodder på høyttaleren, den kan lett ødelegges.

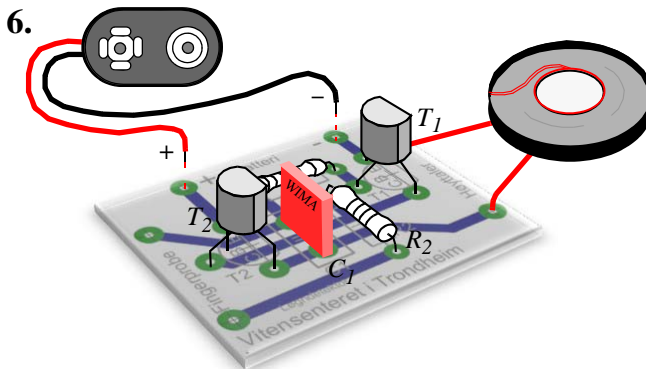
5.



6. Monter batterikontakten

Batterikontakten har en rød og en sort ledning som skal kobles til batteri-tilkoblingene øverst på kortet. Den røde ledningen kobles til kontakten merket +, og den sorte til kontakten merket -.

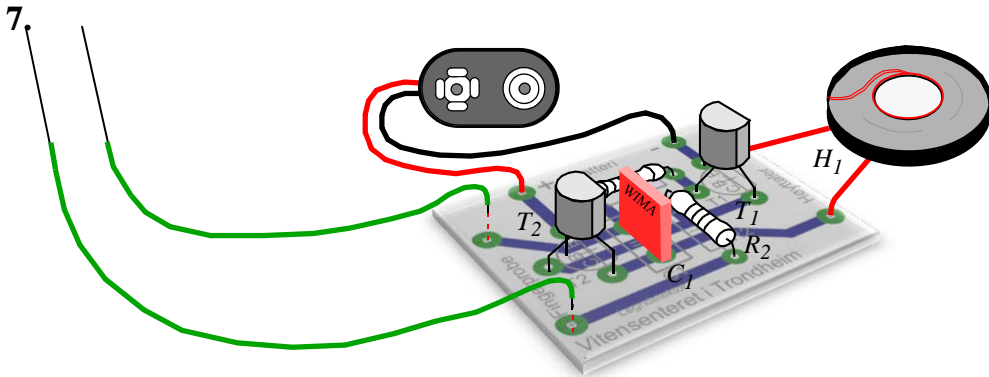
6.





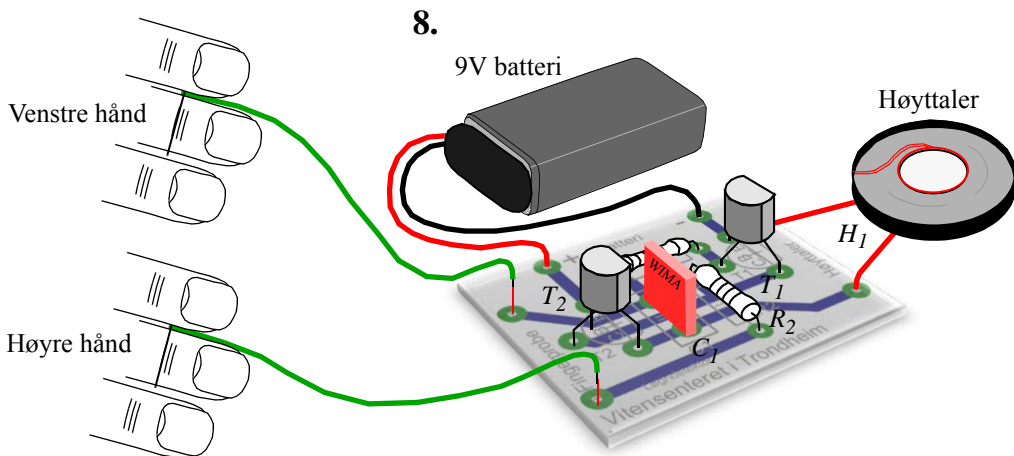
7. Monter ledningene til fingerproben

Fingerproben er to grønne ledninger hver på 25 cm. Avisoler ledningene 5 mm i den ene enden og ca. 25 mm i den andre. Denne enden skal legges mot fingeren.



8. Fest proben til fingerene og koble til batteriet

Legg en sløyfa av den avisolerte endene rundt langfingeren på høyre og venstre hånd. Sørg for at det er god kontakt mellom ledningen og fingeren. Når du kobler til batteriet vil du høre en tone fra høyttaleren. Dersom du bli nervøs eller opphisset vil huden bli litt svett. Dette reduserer motstanden mellom ledningene og huden, og tonen blir lysere.

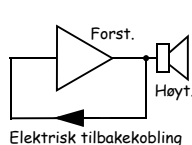
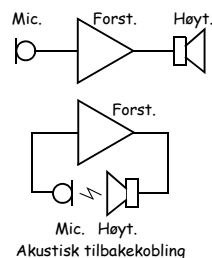




8.6.5 Slik virker løgndektoren

“Løgndektoren” er en elektronisk krets som lager elektriske svingninger som omdannes til en tone i høyttaleren. En slik krets kalles også *oscillator*.

Svingninger lages enklest ved å koble signaler fra utgangen til inngangen på en forsterker. De fleste har opplevd dette når mikrofonen til et forsterkeranlegg holdes for nær høyttaleren. Da oppstår en høy hyletone. Dette skyldes at signalet fra høyttaleren fanges opp av mikrofonen, som igjen forsterkes på nytt og sendes ut på høyttaleren litt sterkere enn sist. Slik går lyden i en runddans som stadig blir sterkere til den ender i et hyl. Vi sier at forsterkeren er *akustisk tilbakekoblet*: Den er blitt en uønsket oscillator.

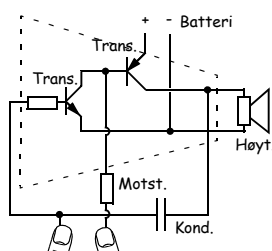
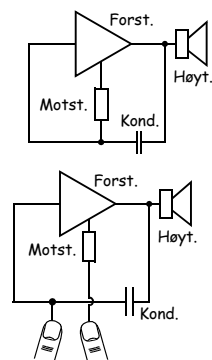


En trenger ikke mikrofon og høyttaler for å lage en oscillator. Det er tilstrekkelig å koble en ledning fra høyttalerutgangen til mikrofoninngangen. Vi kan derfor sløyfe mikrofonen, men må beholde høyttaleren om vi vil høre tonen. Vi bruker en motstand og en kondensator til å bestemme tonehøyden (frekvensen).

Jo **større** verdi på **kondensatoren**, jo **dypere** tone.
Jo **mindre** verdi på **kondensatoren**, jo **høyere** tone.

Jo **større** verdi på **motstanden**, jo **dypere** tone.
Jo **mindre** verdi på **motstanden**, jo **høyere** tone.

Tørr hud har høy motstand for elektrisk strøm, fuktig hud har mindre motstand. Ved å koble kroppen vår inn i kretsen gjennom høyre og venstre langfinger, kan vi påvirke verdien til motstanden. Tørre fingre har større motstand og gir en dyp tone. Fuktige fingre har mindre motstand og gir derfor en høyere tone.



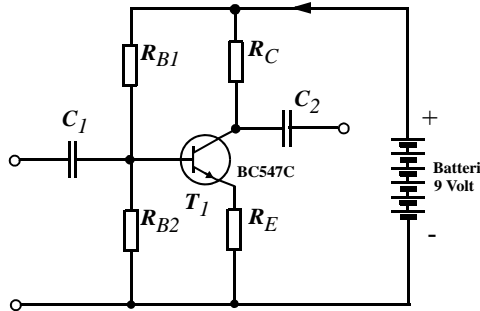
Når vi lyver eller blir nervøs skiller kroppen ut svette gjennom porer i huden. Denne svetten gjør huden fuktig, motstanden avtar og tonen stiger. Dermed kan kretsen avsløre om vi blir nervøs eller stresset, som vi lett kan bli når vi lyver eller blir forlegne. Figuren til venstre viser kretsens koblingskjema.

8.7 Bygg en transistorsforsterker på koblingsbrett

I dette avsnittet skal vi bygge opp en enkel transistorforsterker. Kretsen er en realisering av simuleringen gjort i avsnitt 5.5.

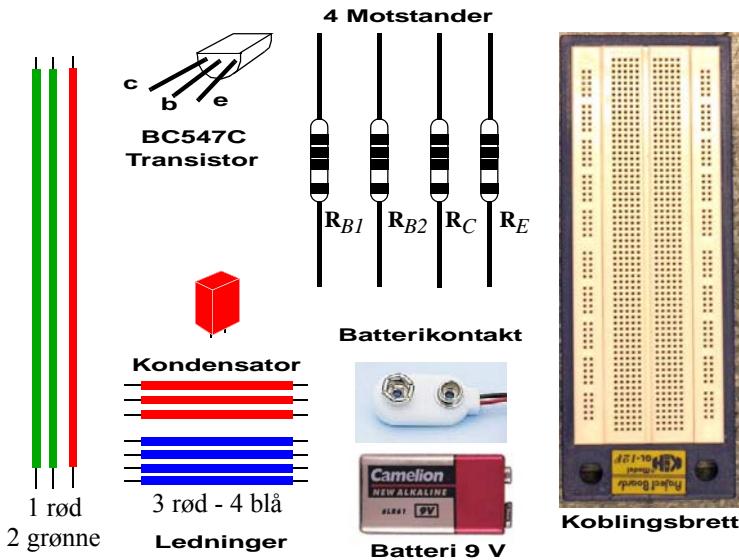


Figur 8.46 viser koblingskjema for kretsen. Verdiene for komponentene er ikke oppgitt, da disse beregnes i avsnitt 5.5.



Figur 8.46 Koblingskjema for den komplette kretsen

Kretsen skal bygges opp på et koblingsbrett. Figur 8.47 viser hvilke komponenter vi trenger til oppgaven.



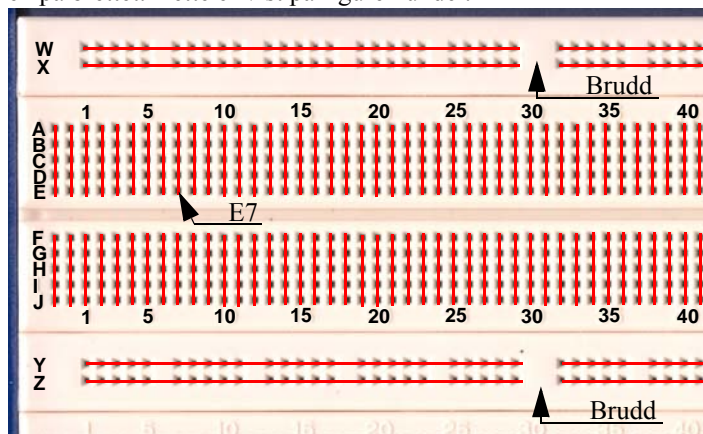
Figur 8.47 Komponenter som skal brukes ved oppbygging av forsterkeren.

Koblingsbrett

For å kunne koble opp kretsen må vi vite hvilke koblingspunkter som er forbundet på koblingsbrettet. Dette er vist på figur 8.48. Legg spesielt merke til bruddene i de horisontale skinnene. Legg også merke til at radene er merket med bokstaver A - J, og kolonnene med tall. Vi har også merket de to øverste og de to nederste radene med henholdsvis W, X og Y, Z. Dette er *ikke* gjort på koblingsbrettene. Merk at de to første kolonnene er unummererte.



Når vi monterer komponentene, vil vi noen ganger henvise til rader og kolonner, som f.eks. hull E7. Selv om det er foreslått en plassering, er det greit å ha en klar fordeling om hvilke hull som er koblet sammen på brettet. Dette er vist på figuren under.



Figur 8.48 Sammenkobling av kontaktpunkter på koblingsbrettet.

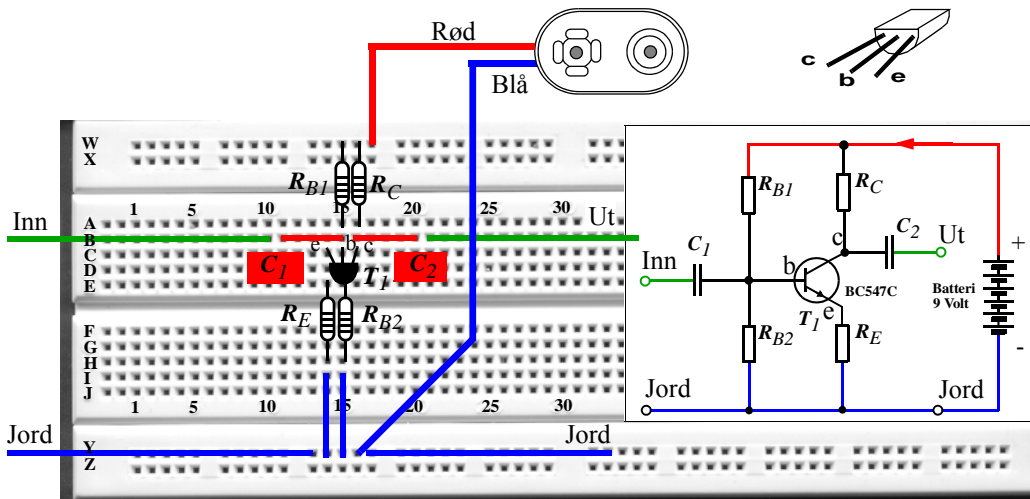
8.7.1 Monter transistorforsterkeren

Oppgave 1

Koble opp en enkel transistorforsterker.

Vi begynner med å plassere komponentene. Her er noen regler for plassering av komponenter som vil gjøre det enklere å beholde oversikten:

1. Gjør oppkoblingen så lik kretsskjemaet som mulig, dette forenkler feilfinning og gir god oversikt. La signalgangen, fra inngang til utgang, gå fra venstre mot høyre.
2. Sørg for at plussterminalen ligger lengst fra deg på kortet og minusterminalen (jord) nærmest deg. Det kan være lurt å bruke de langsgående koblingsradene til dette formålet.
3. Om mulig spre komponentene slik at de er lette å plassere og gir god oversikt. Det er imidlertid ikke lurt å spre dem så mye at det må benyttes ledninger for å koble dem sammen.
4. Forsøk å bruk færrest mulig ledninger ved oppkobling
5. Bruk ledningsfarger konsekvent (blå for minus, rød for pluss, grønn for signal). Dette forenkler feilfinningen.



Figur 8.49 Forslag til organisering av oppkoblingen.

Når kretsen er koblet opp og kontrollert. Kobles inngangen til signalkilden og utgangen til måleinstrumentet.

Oppgave 2

Koble signal og mål signalnivået på inn og utgang.

8.8 Bygg et kolorimeter

8.8.1 Innledning

Hensikten med prosjektet er å lage et instrument som er så enkelt at elever selv kan bygge og forstå hvordan det fungerer. Så nøyaktig at det kan brukes til å gjøre pålitelige målinger av konsentrasjonen til oppløsninger, og så billig at skoler kan kjøpe inn klassesett. Bygge settes ved Skolelaboratoriet ved NTNU.

Et kolorimeter er et instrument som bestemmer konsentrasjonen i en oppløsning ved å måle relativ lysabsorpsjon i oppløsningen. Ved hjelp av noen få oppløsninger med kjent konsentrasjon, kan kolorimeteret kalibreres. Kalibreringskurven brukes deretter til å bestemme prøver med ukjent konsentrasjon.

En kan velge mellom fargene rød (650 nm), grønn (520 nm) og blå (468 nm). Instrumentet blir mest følsomt ved å velge den fargen som gir høyest absorpsjon i oppløsningen. Dersom oppløsningen f.eks. er blå, vil det være best å velge rød som er nær komplementærfargen til blå.



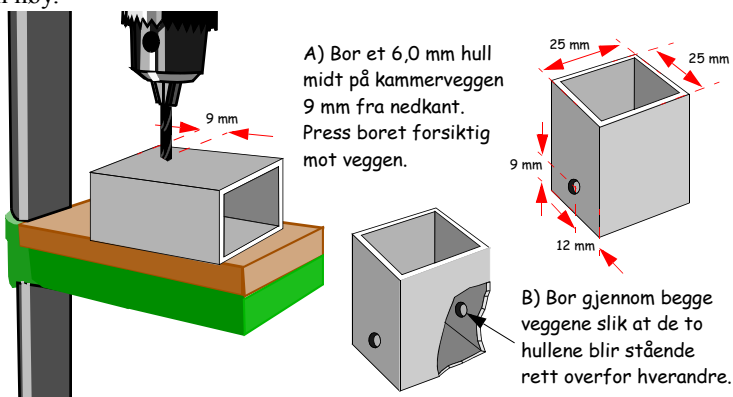
8.8.2 Byggeveiledning

Bygg kyvettekammeret

Kyvettekammeret er et lystett kammer hvor oppløsningen plasseres for å gjennomlyses. I denne modellen har vi valgt å bruke en aluminiumsprofil, 25 mm x 25 mm og ca. 40 mm høy.

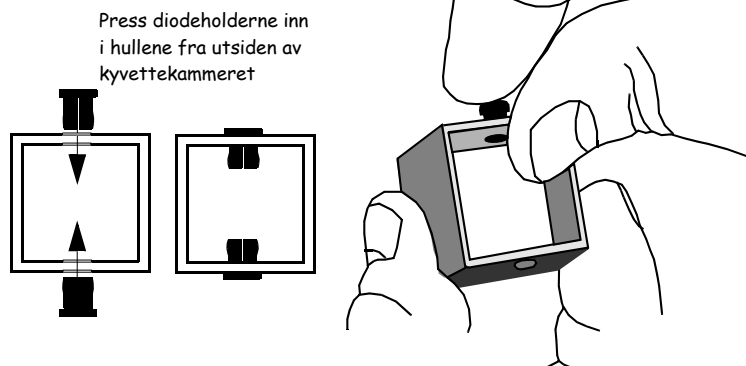
1. Kyvettekammeret

Kammeret lages av en kvadratisk aluminiumsprofil, 25 mm x 25 mm og ca. 40 mm høy.



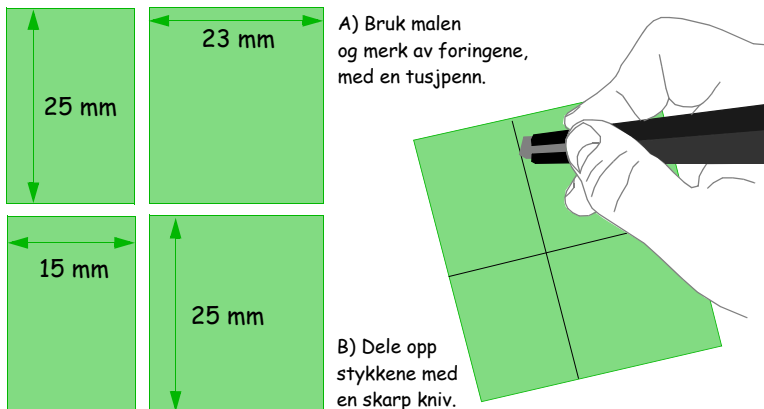
2. Monter diodeholdere.

Diodeholderne presses gjennom hullene *fra utsiden*. Dette kan være litt vanskelig.



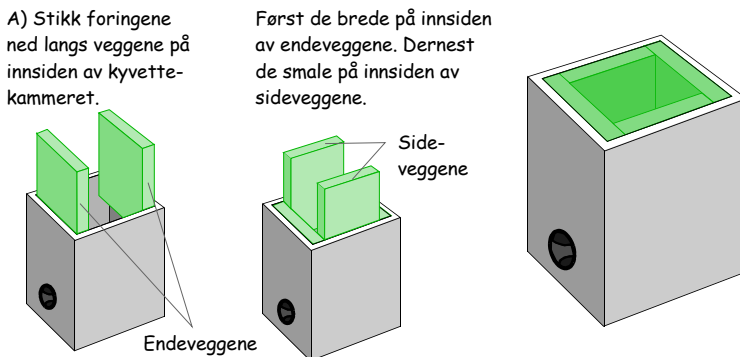


3. Kammeret fores innvendig av fire stk. 4 mm mosegummi.



4. Plasser foringene.

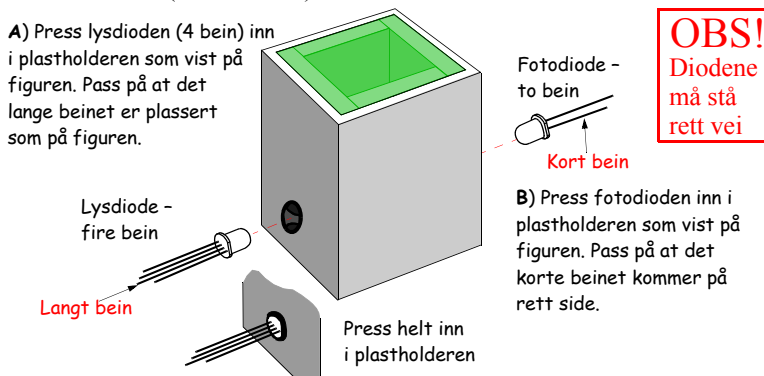
Press foringene ned på innsiden av kyvettekammeret slik at de står kant i kant med toppen av kammeret og ikke rekker ned til diodene.



5. Monter lysdioden og fotodioden i kyvettekammeret

D₁ - Trefarge lysdiode - fire bein (L-154A4SURKPBAVGAW)

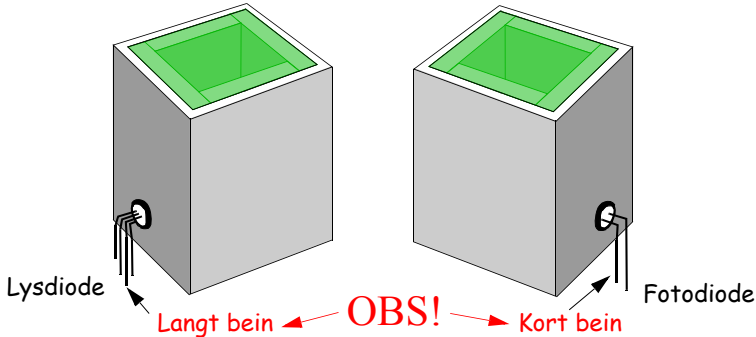
D₂ - Fotodiode - to bein (SFH203 IR)





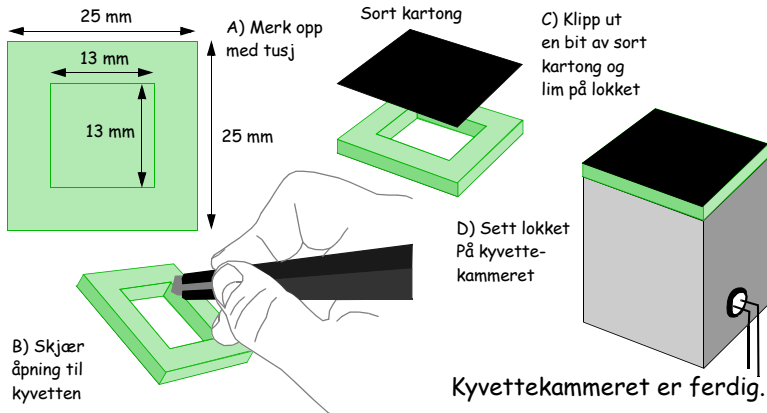
1. Tilpass beina til diodene

Bøy beina til diodene i rett vinkel som vist på figuren. Tilpass av standen mellom beina slik at de passer til hullene i kretskortet.



6. Løkk

Lag et løkk av mosegummi og sort papp og reduser lyslekkasjen.



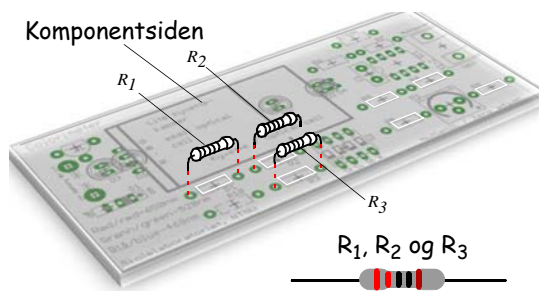
Monter kretskoret

1. Monter motstandene

R_1 , R_2 og R_3 – 220 Ω (rød, rød, sort, brun)

Bøy beina til motstandene og stikk dem inn fra *komponentsida* (siden med tekst) og bøy dem litt til siden slik at de ikke faller ut. Lodd dem til kobberbanene på *loddessida* (undersiden) og klipp av beina inntil loddingen.

Bøy beina *litt* ut til sidene på loddessiden

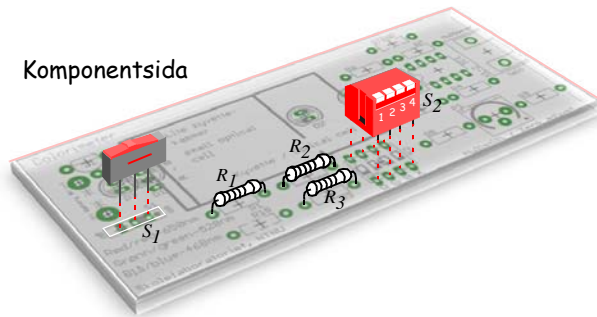


2. Monter bryter S1 og S2

S_1 - Batteribryter

S_2 - Bryter for lysfarger

Plasser bryterne som angitt på kortet og lodd.

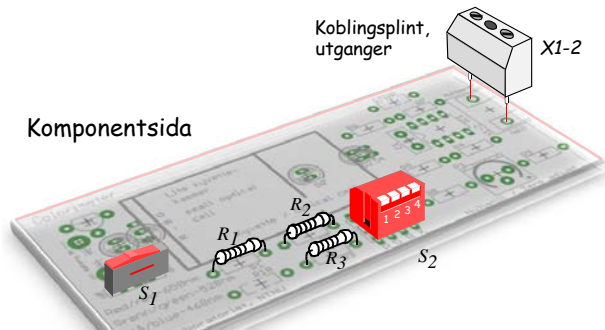


3. Monter koblingsplint på utgangen

X1-2 – koblingsplint, 2 polt

Plasser koblingsplinten som vist på figuren.

Lodd komponenten til kobberbanene på loddessida.

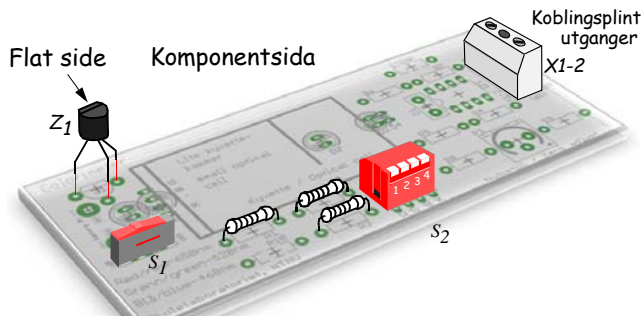


4. Monter spenningsregulatoren

Z_1 – LM78L05 (5V spenningsregulator)

Spre beina på spenningsregulatoren og plasser den som vist på figuren.

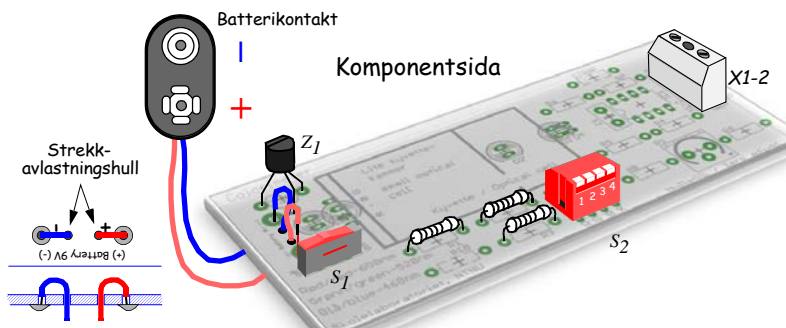
NB! Pass på at den flate sida vender riktig vei. Ikke press komponenten helt ned til monteringsplata.





5. Monter batterikontakten

Stikk rød ledning opp gjennom strekkavlastningshullet merket + og ned gjennom loddestedet til høyre. Stikk blå ledning opp gjennom strekkavlastningshullet merket - og ned gjennom loddestedet til venstre. Lodd ledningen på loddessiden som vist på tegningen nederst til venstre.



6. Monter motstandene:

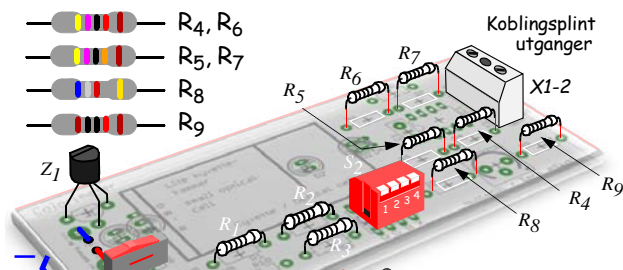
R_4, R_6 – 47 k Ω (gul, fiolett, sort, rød, brun)

R_5, R_7 – 470 k Ω (gul, fiolett, sort, orange, brun)

R_8 – 680 Ω (blå, grå, brun, gull)

R_9 – 10 k Ω (brun, sort, sort, rød, brun)

NB! Strap'en monteres ikke.

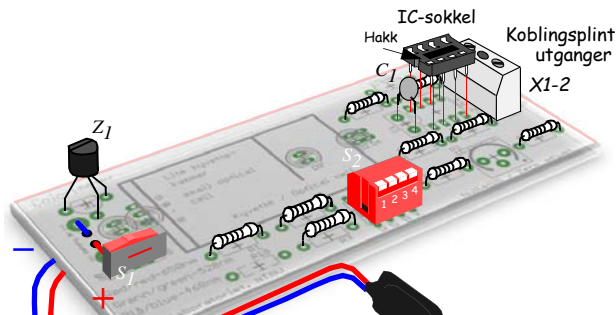


7. Monter IC-sokkel og kondensator

C_1 – 47 nF (kondensator)

IC-sokkel – 8 pin sokkel

Pass på at hakket i sokkelen plasseres over hakket til omrisset på monteringsplata. Bøy beina til sokkelen ut til siden på loddessida.



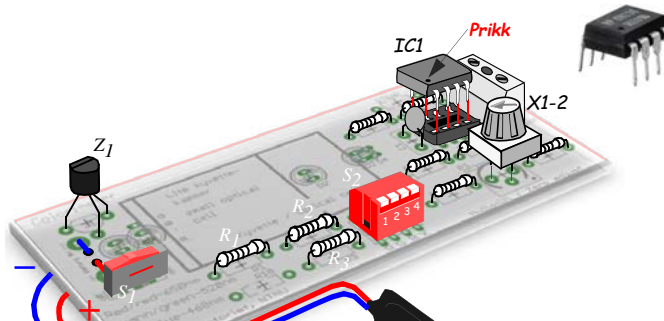


8. Monter trimpotensiometeret og integrert krets

P_1 – 500 Ω (trimpotensiometer)

IC1 – CA3130FZ (operasjonsforsterker)

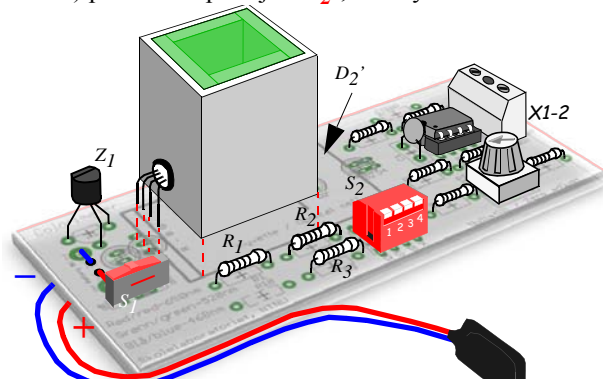
Pass på at **prikken** på den integrerte kretsen skal være på samme side som hakket i sokkelen.



9. Montering av kyvettehus

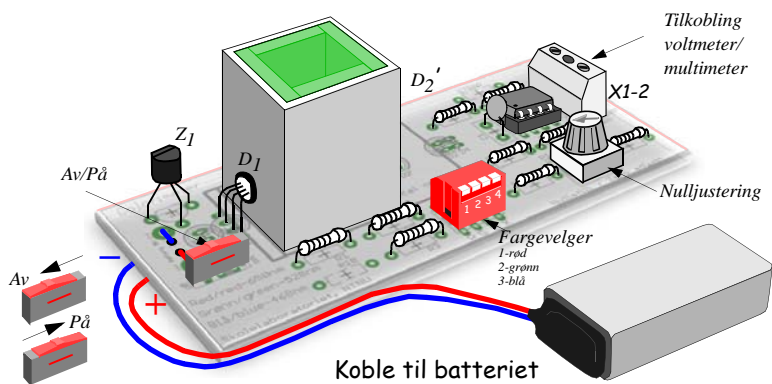
Pass på at lysdioden (fire bein) plasseres i posisjon D_1 .

Fotodioden (to bein) plasseres i posisjon D_2' , bak kyvettekammeret



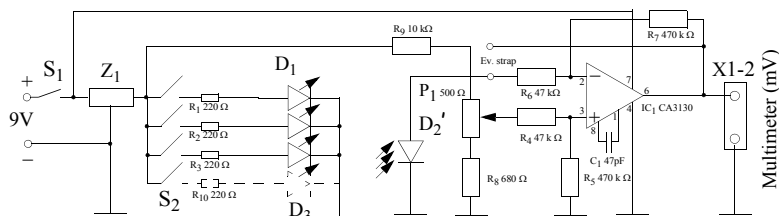
10. Ferdig kolorimeter med nulljustering

Figuren viser funksjonene til de ulike bryterne og potensiometeret.





8.8.3 Kolorimeterets koblingskjema m/nulljustering



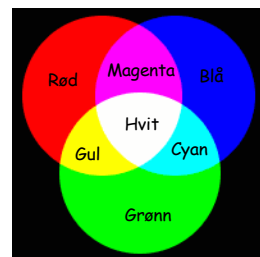
8.8.4 Komponentliste (100-pris) okt. 2011

| | | | |
|---|-----------|--|-------------------------|
| Spenningsregulator LM78L05ACZ, ELFA: 73-285-50, Stk.pris: | kr. 4,12 | Kullfilmotstand 220 Ohm (3 stk) ELFA: 60-502-24. 3 stk. pris: | kr. 0,33 |
| Lysdiode tricolour L-154A4SURKPBAVGAW, Skolelaboratoriet Stk.pris: | kr. 12,00 | Kullfilmotstand 10 kOhm ELFA: 60-502-44. Stk.pris: | kr. 0,17 |
| Fotodiode SFH203 IR 5 mm, ELFA 75-100-09, Stk.pris: | kr. 6,59 | Kullfilmotstand 680 Ohm ELFA 60-502-30. Stk.pris: | kr. 0,17 |
| LED-holder plast, Clas Ohlson, 2 stk.pris: | kr. 4,64 | Metallfilmotstand 47 kOhm ELFA: 60-592-59. 2 stk.pris: | kr. 2,16 |
| Batterikontakt, ELFA 69-143-11, Stk.pris: | kr. 7,33 | Metallfilmotstand 470 kOhm ELFA: 60-592-84. 2 stk.pris: | kr. 2,16 |
| DIL strømbryter, ELFA 35-397-23, Stk.pris: | kr. 10,50 | Plastposer, 20,3 x 12,7 cm: ELFA 80-075-54. Stk.pris: | kr. 1,37 |
| Koblingsplint 2 polt, ELFA 48-374-64, Stk.pris: | kr. 1,90 | Kond. Skum 300 x 300 x 5 mm, ELFA80-092-76. Stk.pris: | kr. 0,50 |
| Operasjonsforsterker CA3130EZ, ELFA: 73-063-01, Stk.pris: | kr. 10,60 | 8 pins sokkel, ELFA: 48-155-61, Stk.pris: | kr. 0,58 |
| Potensiometer, ELFA: 64-634-34: Stk.pris: | kr. 23,40 | Kretskort Skolelaboratoriet Stk.pris | kr. 8,00 |
| Skyvebryter, ELFA 35-360-18: Stk.pris: | kr. 7,41 | Kyvettekammer, verksted Alluminium profil: 25 x 25 x 40 mm | |
| Keramisk kondensator 47 pF, ELFA 65-691-98, Stk.pris: | kr. 0,55 | Totalt komponentkostander: | kr. 108,90 + MVA |

8.8.5 Enkel fargelære

Ved å blande rødt, blått og grønt lys kan vi i prinsippet frambringe en hvilken som helst farge. Vi kaller disse for *primærfargene*.

Blander vi to av primærfargene får vi tre nye farger: **Cyan**, som er en blanding av blått og grønt, **magenta**, som er en blanding av rødt og blått, og **gult**, som er en blanding av rødt og grønt. Cyan, magenta og gult kalles *sekundærfarger*.

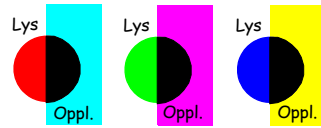


Additiv fargeblanding



Blanding av alle tre primærfargene gir hvitt dersom om fargene er mettet.

Vi legger merke til at blandingen av magenta og grønt også gir hvitt lys. Disse kalles derfor *komplementær farger*. Av samme grunn er blått og gult, og rødt og cyan komplementære fargepar.



Den ene av to komplementære farger har ikke spor av den andre, og omvendt. Det betyr at rødt lys vil bli stoppet helt av et cyan-farget filter om fargen er mettet. Tilsvarende stoppes grønt lys av et magentafarget filter, og blått lys stoppes av et gult filter.

En farget oppløsning vil oppføre seg som et filter og absorbere farget lys. Jo sterkere oppløsningen er, jo mer mettet er fargen, og jo mer lys absorberes. Absorpsjonen vil øke jo nærmere lyset kommer komplementærfargen til oppløsningen.

Har vi en cyanfarget oppløsning vil det lønne seg å velge rødt lys.

Følgende gir fornuftige fargevalg:

| | | |
|--------------------------|----|-----------|
| Cyanfagert oppløsning | -> | Rødt lys |
| Magentafarget oppløsning | -> | Grønt lys |
| Gul oppløsning | -> | Blått lys |

Har vi derimot en rød oppløsning burde vi velge cyanfarget lys. I prinsippet fås dette ved å blande grønt og blått lys. Om dette er riktig kan vi undersøke ved å tenne to lysioder.

| | | |
|------------------|----|--------------------------|
| Rød oppløsning | -> | Bland grønt og blått lys |
| Grønn oppløsning | -> | Bland blått og rødt lys |
| Gul oppløsning | -> | Bland rødt og grønt lys |

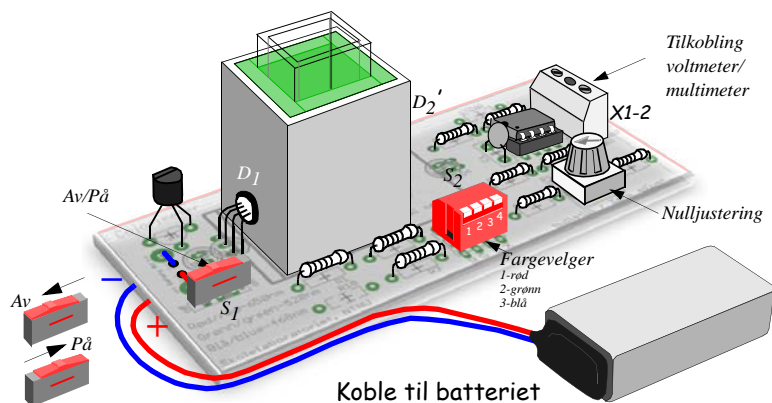
Vær oppmerksom på at blandet og rent lys ikke trenger å oppføre seg likt.

8.8.6 Bruk av kolorimeteret med nulljustering

1. Slå på kolorimeteret ved å skyve den røde Av/På bryteren (S_1) mot høyre.
2. Velg farge ved å skyve ned en av de fire bryterne
R - Rød (650 nm)
G - Grønn (520 nm)
B- Blå (468 nm)
3. Sett en kyvette med rent vann ned i kammeret. Vend kyvettens blanke sider i kammerets lengderetning. Sett på lokket.
4. Koble til et multimeter på utgangen (X_{I-2}) merket *Multimeter*.
5. Sett multimeteret på mV (f.eks. 200 eller 2000 mV).
6. Juster potensiometeret merket "Nullstill" slik at multimeteret viser ca. 10 mV. På denne måten kallibrerer vi bort det som er av lyslekkasje i kyvettekammeret.



7. Kolorimeteret er nå klart til å kalibreres.



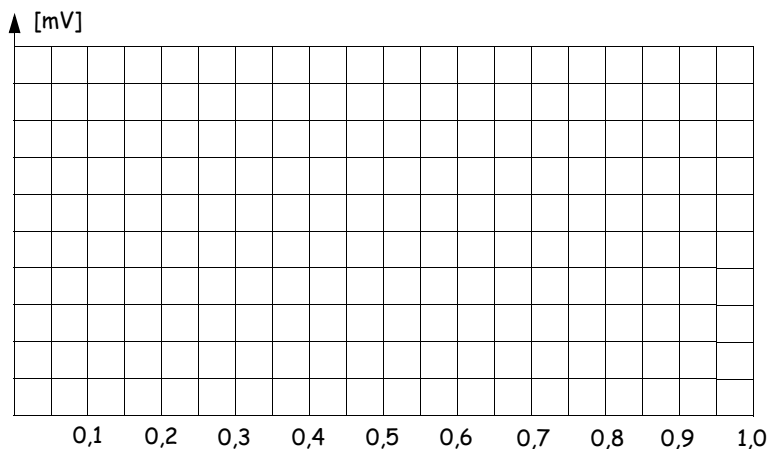
8.8.7 Kalibrering av kolorimeteret

1. Lag kontrollerte oppløsninger med det stoffet som skal måles:
0,0 (rent vann) 0,1, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 og 1,0 mol/liter.

| Konsentrasjon | 0,0mol/L | 0,1mol/L | 0,2mol/L | 0,4mol/L | 0,6mol/L | 0,8mol/L | 1,0mol/L | X |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---|
| Gram CuSO_4^a i 100 ml vann | 0,00 | 2,50 | 5,00 | 10,00 | 15,00 | 20,00 | 25,00 | |
| Avlesning mV (Rødt lys) | | | | | | | | |
| Avlesning mV (Blått lys) | | | | | | | | |

a. Vanlig, blått kobbersulfat med krystallvann ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). 249,70 gram/mol.

2. Sett kyvettene ned i kammeret og les av verdiene på multimeteret for hver av oppløsningene.





8.8.8 Måling av konsentrasjon med standardkurve

1. Nulljuster slik som beskrevet på side 255.
2. Les av verdiene for alle løsningene med rødt lys, og fyll inn i en tabell lik den på side 256.
3. Les av verdiene for alle løsningene med blått lys, og fyll inn i den samme tabellen.
4. Avgjør hvilket lys (hvilken bølgelengde) som er best egnet til å lage en standardkurve.
5. Avgjør hvilken del av kurven du anser som rettlinjert (bare den delen er egnet som standardkurve).
6. Mål den ukjente løsningen og finn konsentrasjonen ved å se på standardkurven. Hvis den ukjente løsningen er for konsentrert, kan man fortynde den (vær nøyaktig med fortynningen!) for å komme innenfor standardkurven.

8.8.9 Måling andre salter i vann

Drikkevann i bolighus har man normalt flere metallioner i løsning. To eksempler kan være kobberioner og jernioner. Kobberioner kan komme fra kobberrør, jernionene fra jernrør eller fra jordsmonnet. Forsøket under belyser hvordan man kan måle konsentrasjonen av kobberioner, selv om vannet i tillegg inneholder jernioner.

1. Nulljuster slik som beskrevet på side 255.
2. Lag standardkurve for kobberioner som beskrevet på sidene 256-257
3. Lag en tilsvarende kurve for jernioner.
4. Prøv å finne hvor stor feilkilde du får om du måler kobberioner, men har en prøve som er litt forurenset av jernioner.
5. Gjør samme vurdering for måling av jernioner i en løsning som er forurenset av kobberioner.





9 Måling av tøyning i materialer

I dette kapittelet skal vi ta for oss måling av tøyning i materialer. Dersom vi også kjenner materialets egenskaper kan vi også bestemme kreftene materialet utsettes for. Et eksempel kan være å bestemme kreftene eksperimentelt i et par av stavene i en fagverksbro ved ulike belastninger. Dette gjør vi ved å måle tøyninger i stavene for så å regne om til krefter eller spenninger. Vi bruker en målerigg (*lastrigg*) til å påføre belastningen og strekkklapper for å bestemme tøyningen.

Vi skal først se på hvordan strekkklapper virker og hvordan vi kan bruke disse til å bestemme kreftene i et stag.

9.1 Strekkfølsom motstand (Strekkklapper)

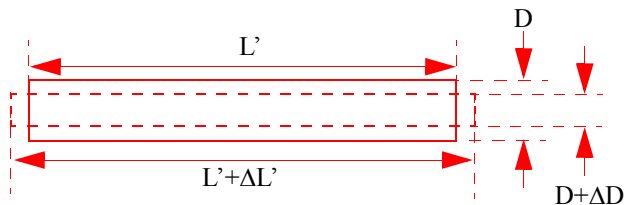
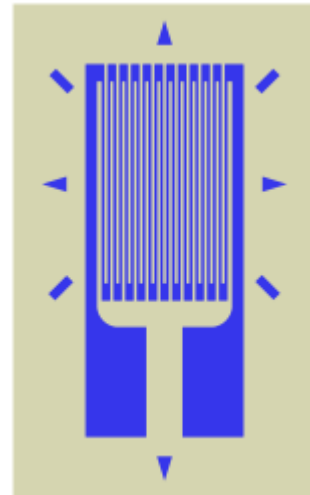
Strekkklapper er en liten innretning som gjennom mange år er brukt for å måle deformasjon av et materiale. Det var den amerikanske elektroingeniøren *Edward E. Simmons* (1911–2004) som i 1938 første gang brukt en strekkklapp, og som dermed regnes for strekkklappens oppfinner.

9.1.1 Strekkklappens oppbygning og virkemåte

Det finnes ulike typer strekkklapper. Felles for dem alle er at de endrer elektriske egenskaper når de tøyes (strekkes) i en retning. Vanligvis endres strekkklappens resistans som funksjon av graden av tøyning. Strekkklapper er tilgjengelige med verdier fra 30 - 3000 Ohm, mens verdiene 120, 350 og 1000 Ohm er de vanligste⁵⁷.

Det finnes hovedsakelig tre typer strekkklapper på markedet: Folie-strekkklapper, tråd-strekkklapper og halvleder-strekkklapper. Her skal vi stort sett se på den første typen.

Folie-strekkklappen består av en tynn metallfilm formet som en meander. Figuren over viser et eksempel på en slik strekkklapp. Tilkoblingsterminalene er nederst (grå felter). Når metallfilmen strekkes, endres resistansen i meanderen, og vil være et mål for hvor mye meanderen strekkes.



Figur 9.1 Utsnitt av meanderstripen.

⁵⁷Se <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3642>



Når strekkklappen strekkes vil hver stripe bli litt lengre og litt smalere som vist på figuren over. Tilsvarende vil en strekkklapp som trykkes sammen, bli litt kortere og litt bredere. I det første tilfellet vil resistansen øke, i det andre tilfellet vil den avta.

For at vi skal kunne karakterisere denne komponenten må vi definere noen størrelser.

Forholdet mellom forlengelsen ΔL og den opprinnelige lengden L kalles *tøyningen* (eng. *strain*) og kan uttrykkes slik:

$$\text{Tøyningen} = \Delta L/L = \varepsilon \quad (9.1)$$

Tøyningen, er som vi ser, ubenevnt.

Eksempelvis kan vi tenke oss at den opprinnelige lengden til meanderen for en strekkklapp er 100 mm, mens forlengelsen måles til 0,01 mm. Så vil tøyningen ε bli lik:

$$\text{Tøyning} = \varepsilon = 0,01/100 = 0,0001 = 100 \cdot 10^{-6} \text{ eller } \mu\varepsilon = 100 \mu\text{m/m (}\mu\text{Strain)} \quad (9.2)$$

Ofte er vi mer interessert i spenningen (σ måles i N/m^2) i materialet enn selve forlengelsen. Sammenhengen mellom materialspenningen og forlengelsen kan uttrykkes ved Hookes lov:

$$\text{Materialspenning} = \sigma = E \cdot \varepsilon \quad (9.3)$$

hvor E er materialets *elastisitetsmodul* og sier noe om hvor lett materialet lar seg tøye, eller hvor mye en gitt kraft pr. tverrsnittsareal, gir av tøyning pr. meter av materialet. Elastisitetsmodulen måles i N/m^2 eller Pascal (Pa) som er et mål for trykk. Hooks lov gjelder bare så lenge tøyningen er så liten at strukturen i materialet ikke ødelegges.

Kjenner vi et materiales elastisitetsmodul, kan vi altså måle spenningen i materialet ved hjelp av en strekkklapp.

Foreløpig har vi operert med ε , eller tøyningen (lengdeendring pr. lengdeenhet). Det vi egentlig måler er en endring i resistansen i strekkklappen. La oss derfor se på sammenhengen mellom tøyningen og endringen i resistans.

K-faktoren⁵⁸ (K_s) til en strekkklapp uttrykker sammenhengen mellom den relative forlengelsen av strekkklappen ($\Delta L/L = \varepsilon$) og den relative endringen i resistans ($\Delta R/R$).

$$K_s = \frac{\Delta R}{R} / \frac{\Delta L}{L} \Rightarrow \frac{\Delta R}{R} = K_s \cdot \varepsilon \text{ hvor } \frac{\Delta L}{L} = \varepsilon \quad (9.4)$$

Endringene i resistans er ofte svært små gjerne got under én ohm. For å registrere endringen er det vanlig å bruke en motstands- eller målebrot. Før vi går videre med å se hvordan vi kan bruke strekkklapper, vil vi kort omtale *Wheatstons målebrot*.

58. Engelsk - *Strain gauges*

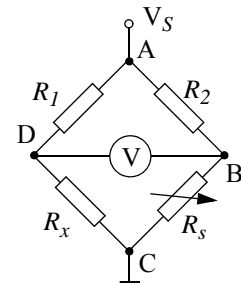


9.1.2 Wheatstons målebro

Mange sensorer gir små endringer i resistans når de utsettes for endringer i betingelser. dette gjelder f.eks. strekkklapper som gir små endringer i resistans når de utsettes for strekk, eller enkelte temperatur sensorer ved temperaturendringer.

Istedet for å måle endringer i resistansen til sensoren, så måleren endring i spenning over en såkalt brokobling, hvor sensoren inngår som en av fire motstander koblet i firkant (en bro).

Dersom forholdet mellom R_2 og R_x er lik forholdet mellom R_1 og R_x vil spenningsforskjellen mellom B og D være lik null. Relativt små endringer i R_x vil imidlertid kunne gi store utslag i voltmeteret mellom A og B. Utstalgetes størrelse er bestemt av endring i R_x og størrelsen av V_S .



Spenningen V er gitt av følgende uttrykk:

$$V = \left(\frac{R_x}{R_s + R_x} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_S \quad (9.5)$$

Dersom $R_1 = R_2 = R$ og vi samler de to brøkene, kan vi skrive:

$$V = \left(\frac{2R_x R - R(R_s + R_x)}{(R_s + R_x)2R} \right) V_S \quad (9.6)$$

Vi kan også tenke oss at R_x er summen av $R_s + \Delta R$. Dette kan vi lett få til ved å gjøre R_s justerbar. Før måling justeres R_s lik R_x . Under målingen vil ΔR bli forskjellig fra null.

$$V = \frac{\Delta R}{4R_s + 2\Delta R} V_S \quad (9.7)$$

Vi kan også anta at $\Delta R \ll R_s$, dermed kan vi gjøre følgende tilnærming:

$$V \approx \frac{\Delta R}{4R_s} V_S \quad (9.8)$$

Denne målebroen går under navnet Wheatstones målebro etter den engelske vitenskapsmann og oppfinneren **Sir Charles Wheatstone** (1802–1875) som i 1843 forbedret og gjorde **Samuel Hunter Christie** (1784–1865) oppfinnelse fra 1833 allmennt kjent⁵⁹.

59. Stoffet er hentet fra: http://en.wikipedia.org/wiki/Wheatstone_bridge .



9.1.3 Omregning fra spenning til strekk

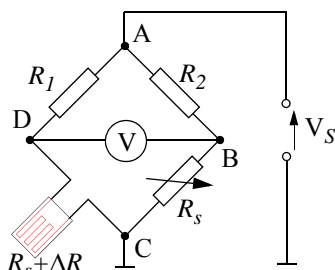
Normalt vil de fire motstandene i motstandsbroa være like. Dersom vi bruker en strekkklapp på 120Ω bør $R_1 = R_2 = R_S = 120 \Omega$.

I ligning (9.9) fant vi at:

$$V \approx \frac{\Delta R}{4R_s} V_S \quad (9.9)$$

Innsatt fra lign. (9.4) får vi:

$$V \approx \frac{1}{4} K_s \cdot \varepsilon \cdot V_S \quad (9.10)$$



Hvor:

V er spenningen vi måler

V_S er spenningen over målebrua

K_s er en egenskap ved strekkklappen (k-faktoren til strekkklappen (strain-gauges))

ε sier noe om hvordan trekkklappen og materialet tøyer seg.

Legg merke til at denne måles i m/m eller altså er ubenevnt.

Siden det er denne siste parameteren vi er interessert i, vil det være mer naturlig å skrive lign. (9.10) som:

$$\varepsilon \approx \frac{4V}{K_s \cdot V_S} \quad (9.11)$$

Dersom vi er mer interessert i spenningen i materialet, bør vi kombinere lign. (9.11) med lign. (9.3):

$$\sigma \approx \frac{4V \cdot E}{K_s \cdot V_S} \quad (9.12)$$

Hvor:

σ er spenningen i materialet som måles i N/m^2 og er et uttrykk for trykk eller strekk

E er materialets elastisitetmodul, og sier noe om hvor lett materialet lar seg strekke.

Denne måles også i N/m^2 .

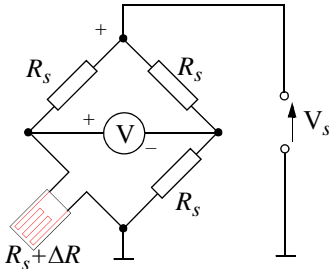
Vi aner at det er særdeles viktig at strekkklappen festes korrekt til måleobjektet. Dersom strekkklappen ikke er festet korrekt, vil ikke strekket i materialet gjenspeiles i strekkklappen.



9.1.4 Kobling av strekkklapper

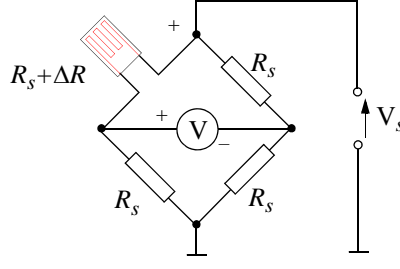
En kan bruke en, to eller flere strekkklapper koblet til samme målebros, på denne måten kan en oppnå ulike ting.

Ved bruk av en trekkklapp kan en tenke seg følgende to mulige oppkoblinger:



Trykk: $V \approx -\frac{\Delta R}{4R_s} V_S$

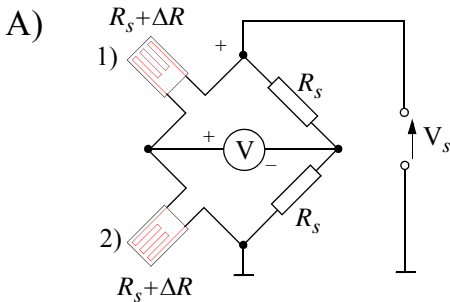
Strekk: $V \approx \frac{\Delta R}{4R_s} V_S$



Strekk: $V \approx -\frac{\Delta R}{4R_s} V_S$

Trykk: $V \approx \frac{\Delta R}{4R_s} V_S$

Ved bruk av to strekkklapper kan en koble dem på flere ulike måter:

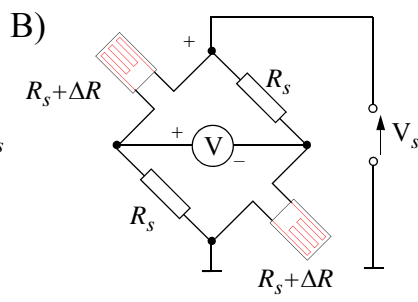
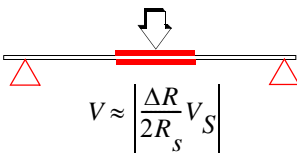


Begge trykkes like mye: $V = 0$ V

Begge strekkes like mye: $V = 0$ V

1) strekkes og 2) trykkes: $V \approx -\frac{\Delta R}{2R_s} V_S$

1) trykkes og 2) strekkes: $V \approx \frac{\Delta R}{2R_s} V_S$

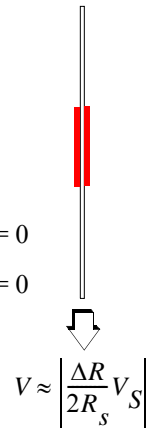


Begge trykkes like mye: $V \approx \frac{\Delta R}{2R_s} V_S$

Begge strekkes like mye: $V \approx -\frac{\Delta R}{2R_s} V_S$

1) strekkes og 2) trykkes like mye: $V = 0$

1) trykkes og 2) strekkes like mye: $V = 0$





I tilfelle A) vil vi oppnå en positiv spenning dersom strekkklapp 1) strekkes og 2) trykkes sammen. Vi legger merke til at spenningen dobles i forhold til bruk av én strekkklapp. Denne oppkoblingen egner seg godt ved nedbøyning av en bjelke hvor en strekkklapp plasseres på oversiden og en på undersiden av bjelken.

Tilfelle B) egner seg til måling av strekk i en bjelke. En kan også legge merke til at vridning av bjelken vil kanselleres dersom strekkklappene monteres korrekt.

Se kapittel 8 for eksempler på bruk.

9.1.5 Leverandør av strekkklapper

Det finnes et stort utvalg av strekkklapper i alle typer og resistanser. Her vil det bli brukt strekkklapper med 120Ω eller 350Ω .

En mulig leverandør er:

Caseb, PB 2742 Solli, 0204 Oslo, Tlf.: 22124600, E-post: caseb@caseb.no

Disse fører bl.a. strekkklapper fra firmaet: TML Tokyo, Sokki, Kenkyujo Co, Ltd.

Aktuell type:

WFLA-3-11-3L (Lengde 3 mm, k-faktor (K_s) - 2,14, Motstand - $120,8\Omega \pm 0,5\Omega$)

Ved kjøp av 10 er prisen ca. kr. 120,- + MOMS pr. stykk.

9.2 Montering av strekkklapper

Det er viktig at strekkklappene blir montert forskriftsmessig for at en måleserie skal bli vellykket. I dette avsnittet vil vi vise hvordan strekkklapper monteres på et stag.

Montering av strekkklapper er ikke vanskelig, dersom en følger noen enkle retningslinjer. Den vanligste feilen er at ledningene ikke sikres med tilstrekkelig strekkavlastning slik at tilkoblingspunktene brytes av. Ellers er strekkklapper skjøre slik at de må behandles med forsiktighet.

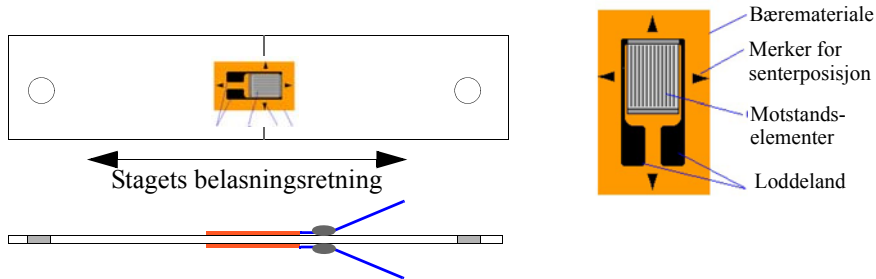
Det er dessuten særdeles viktig at strekkklappen festes så godt at den ikke glipper i festet under normalt strekk. Skjer dette vil måleresultatet bli verdiløst.

Følgende verktøy kan være godt å ha:

1. Loddebolt med tynn og god spiss, gjerne med trinnløs temperaturregulering, loddetinn
2. Godt lys, ev. forstørrelsesglass
3. Hurtiglim
4. Epoxy-lim og sterk tape
5. Aceton for vasking av festestedet
6. Pinsett, linjal, rissepenn eller syl
7. Ohmmeter



Strekklappens monteres slik at motstandselementets lengderetning ligger i samme retning som kreftene som skal måles.



Dersom staget utsettes for bøyning kan det være aktuelt å montere strekklapper både på over- og undersiden.

Før montering av strekklapper slipes målestedet plant med smergelpapir eller pusseskive.



Ved montering, gå fram på følgende måte:

1. Finn midtpunktet for staget med linjalen og riss en linje på tvers av retningen til kreftene.



2. Vask stedet hvor strekklappene skal festes med aceton eller lignende. NB **Brannfarlig materiale, kastes i egen avfallsbeholder.**





3. Fjern beskyttelsesplasten på strekklassen. Unngå å berøre limsidene.



4. Smør lim på strekklassen *matte side* (NB!) og plassér den over merkelinjen, slik at merkene for senterposisjonen er på linje med merkelinjen. Press strekklassen ned mot staget og vent til limet er tørket.



5. Fest ledningene med litt epoxylim som strekkavlastning. Alternativt kan tape brukes som strekkavlastning som vist på figuren til høyre. Bruk Ohm-meteret til kontrollmåling som sjekk på at det ikke har oppstått brudd under monteringen.

6. Sørg for at limet på strekklassene får tilstrekkelig tid til å herde før de anvendes.

Avhengig av hvor strekklassen skal brukes, kan vi velge å beskytte den med et eget beskyttelsesmateriale.



Bildene er tatt av Jens Jacob Jensen.

I det neste avsnittet skal vi se hvordan vi kan bygge vår egen målebru.

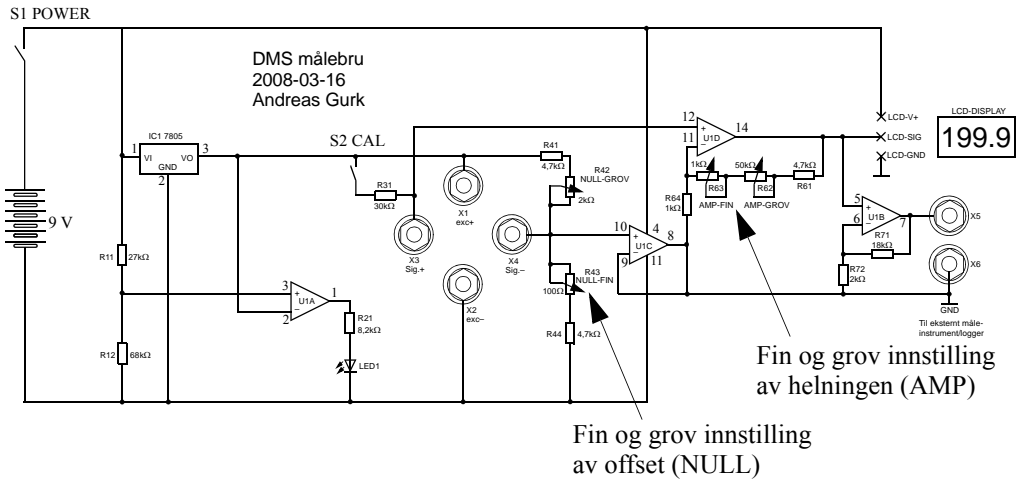
9.3 Bygg ei målebru

I dette avsnittet skal vi beskrive hvordan vi kan bygge en målebru for måling med strekklasser.

Vi har tidligere omtalt Wheatstones målebru for registrering av små endringer i resistanser. Dette vil f.eks. være tilfelle ved måling med strekklasser og enkelte andre sensorer (f.eks. temperatur, lys, fuktighet m.fl.).

9.3.1 Koblingskjema

Måleforsterkeren for bruk sammen med målebrua kan utformes på mange ulike måter. Her vil vi beskrive en løsning som er utviklet av *Andreas Gurk* ved Institutt for konstruksjonsteknikk ved NTNU.



Figur 9.2 Koblingskjema over målebrua og måleforsterker.

I avsnitt 9.1 har vi utviklet en sammenheng mellom elastisiteten i materialet og spenningen V , målt over målebrua (fra X4 til X3):

$$\sigma \approx \frac{4V \cdot E}{K_s \cdot V_S} \quad (9.13)$$

hvor:

σ er spenningen i materialet målt i N/m^2 og uttrykker trykk eller strekk avhengig av fortegnet.

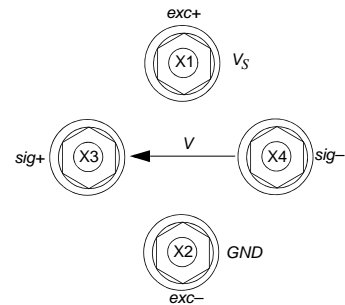
V er den elektriske spenningen over målebrua mellom $sig+$ og $sig-$.

V_S er den elektriske spenningen påtrykt målebrua mellom V_S ($exc+$) og GND ($exc-/Jord$).

K_s er en egenskap ved strekkklappen.

E er materialets elastisitetmodul, og sier noe om hvor lett materialet lar seg strekke. Verdien benevnes N/m^2 .

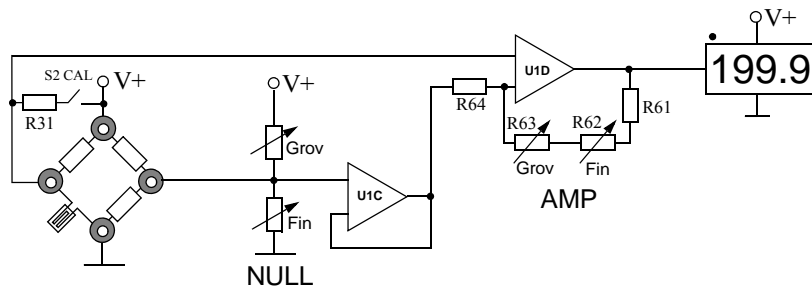
Ideelt ønsker vi en lineær sammenheng mellom strekkklappens tøyning og spenningen over målebrua. Videre vil vi at spenningen er null når tøyningen er null, og at endringen i avlest spenning er proporsjonal med endringen i tøyningen av materialet.





9.3.2 Virkemåte

Som det framgår av figur 9.3 så består selve måleforsterkeren av to operasjonsforsterkere, U1C og U1D.



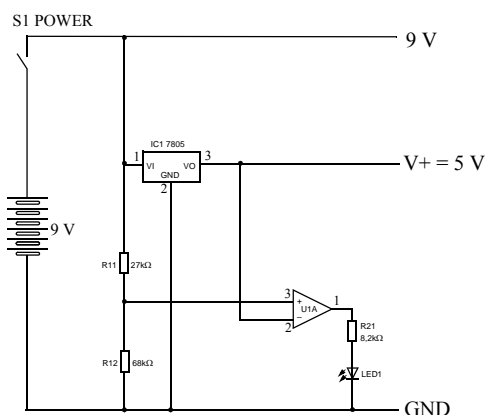
Figur 9.3 Forenklet koblingsskjema for målebru med forsterker.

U1C virker som en skilleforsterker (buffer) mellom NULL-potensiometrene (grov og fin) og måleforsterkeren. NULL-potensiometrene GROV og FIN fungerer som en spenningsdeler som adderer eller trekker fra en spenning til målebrua slik at målekurven treffer origo, vi sier at vi justerer målekurvens *offset*.

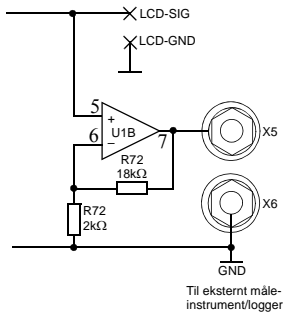
U1D er en operasjonsforsterker med en tilbakekobling som gir betydelig forsterkning. Forsterkningen bestemmes bl.a. av innstillingen av AMP-potensiometrene GROV og FIN. Med disse kan vi justere helningen til målekurven slik at vi treffer kalibreringspunktet.

Kalibreringsmotstanden R31 kobles inn ved hjelp av bryteren S2 CAL. Denne er valgt slik at den skal gi et på forhånd kjent utslag på voltmeteret (f.eks. 199.9 μ Strain ved bruk av én strekklapp).

I figur 9.4 ser vi strømforskyningen til måleinstrumentet. Den består av en regulator (IC1-7805) som lager en stabilisert spenningen på 5 V til målebrua, og operasjonsforsterkeren U1A som fungerer som batterisjekk. Om spenningen på batteriet faller under 7 V, vil lysdioden LED1, slukke og det er på tide å skifte batteri.



Figur 9.4 Strømforsyningssdelen.



Figur 9.5 Bufferforsterker for ekstern tilkobling.

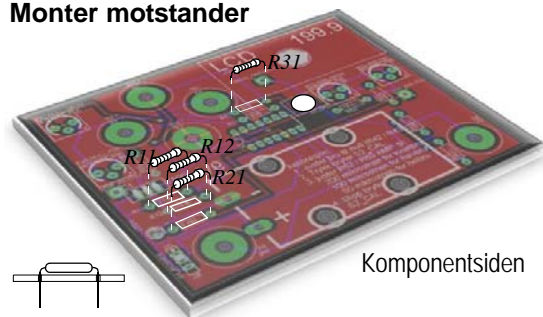
I den andre enden finner vi nok en operasjonsforsterker. Denne fungerer som buffer for ekstern måling eller datalogging. Denne forsterkeren som har en forsterkning på 10 x. Den er dessuten ikke-inverterende slik at fortegnet på signalspenningen blir den samme enten vi leser av verdien på det innebygde voltmetret eller på et eksternt måleinstrument, f.eks. en datalogger.

9.3.3 Byggebeskrivelse

I dette avsnittet skal vi i detalj beskrive hvordan vi kan bygge opp målebroa. Vi tar da utgangspunkt i byggesettet som er utviklet i et samarbeid mellom Skolelaboratoriet ved NTNU, Firmaene JJJ Consult AS (ConTre) og AndreasGurk Elektronikk. Komponentliste finnes i vedlegg C.5.

1. Ta ut monteringsplata. Komponentene skal monteres på *komponentsida*, på *lodd siden* skal vi lodde komponentene til kobberbanene.

Monter motstander

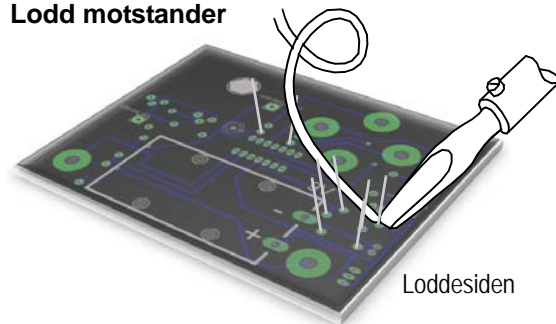


2. Finn motstandene R11, R12, R21 og R31. Bøy beina og stikk dem ned fra komponentsiden, ved firkantene merket R11, R12, R21 og R31. Press dem helt ned til plata. Det er likegyldig hvilken vei de monteres.

- R11 - 27 kOhm (rød, fiolett, oransje, gull)
- R12 - 68 kOhm (blå, grå, oransje, gull)
- R21 - 8,2 kOhm (grå, rød, rød, gull)
- R31 - 1,0 kOhm (brun, sort, rød, gull)

3. Snu kortet slik at lodd siden kommer opp. Lodd fast beina til de to motstandene, og klipp dem av inntil loddingen.

Lodd motstander





4. Finn motstandene R44, R61, R64, R71 og R72. Bøy beina og stikk dem ned fra komponentsiden ved firkantene merket R44, R61, R64, R71 og R72. Press dem helt ned til plata.

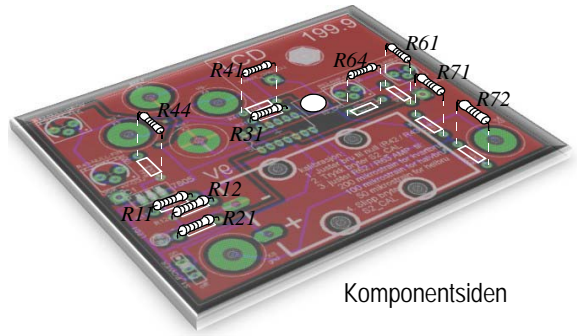
R44 - 4,7 kOhm (gul, fiolett, rød, gull)
R61 - 4,7 kOhm (gul, fiolett, rød, gull)
R64 - 1 kOhm (brun, sort, rød, gull)
R71 - 18 kOhm (brun, grå, sort, rød, brun)
R72 - 2 kOhm (rød, sort, sort, brun, brun)

5. Lodd fast de fem motstandene.
6. Finn sokkel til U1 og monter i posisjon U.
PASS på at hakket kommer på rett side.
7. Lodd alle 14 beina fast til loddepunktene på loddessiden. Pass på at det ikke blir kontakt mellom beina.

8. Finn potensiometrene R42, R43, R62 og R63. Stikk beina ned fra komponentsiden ved firkantene merket R42, R43, R62, R63. Press komponentene helt ned til plata.

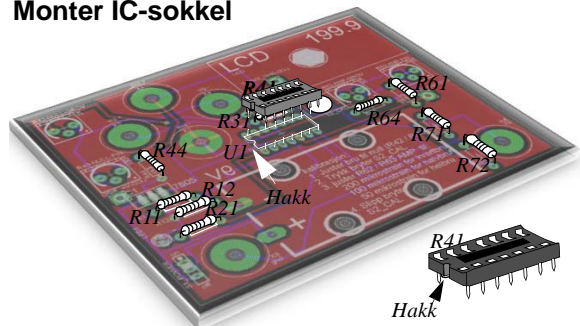
R42 - 2 kOhm (NULL-GROV)
R43 - 100 Ohm (NULL-FIN)
R62 - 50 kOhm (AMP-GROV)
R63 - 1 kOhm (AMP-FIN)

Lodd fast alle beina til potensiometrene.

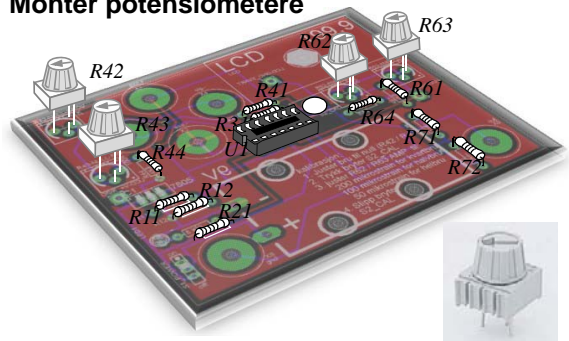


Komponentsiden

Monter IC-sokkel



Monter potensiometere





9. Finn bryterne S1 og S2 og monter riktig bryter i posisjonene:

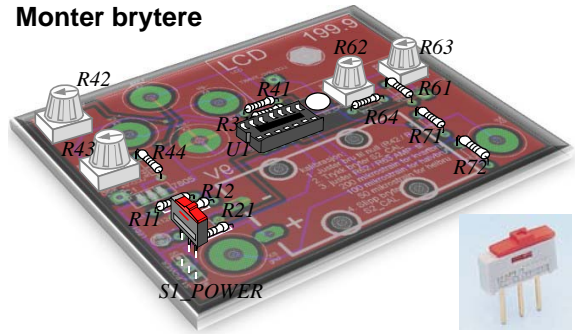
S1_Power

S2_CAL (denne vil være montert når settet leveres)

Det er likegyldig hvilken vei S1_Power monteres.

10. Lodd fast beina til bryteren på loddessiden.

Monter brytere



11. Finn regulatoren IC1-7805.
Monter regulatoren i posisjon IC1.

PASS på at den monteres rett vei. Den flate siden skal vende mot potmeteret R43.

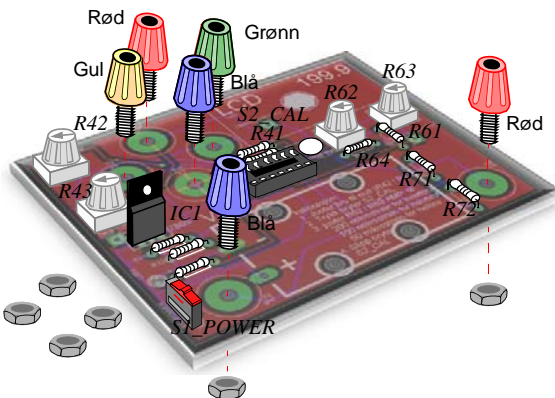
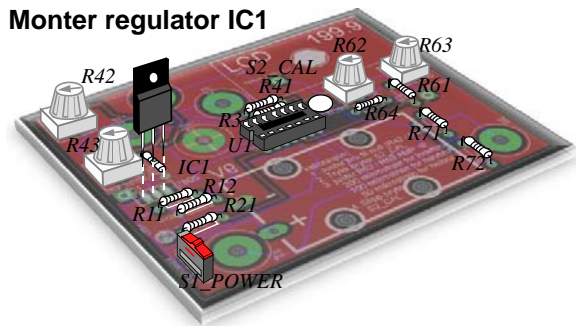
Lodd fast beina til regulatoren på loddessiden.

12. Finn de seks bøsningene.
Fjerne muttrene, loddeøret og isolasjonsskivene i plast (se til høyre på figuren under).

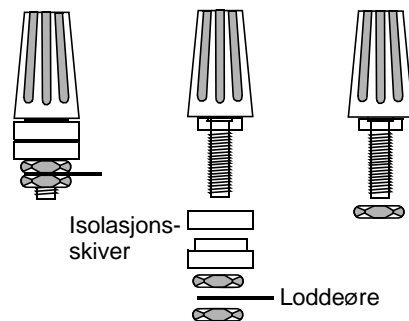
Stikk skruene gjennom hullet i monteringsplata merket X1 (rød), X2 (blå), X3 (gul), X4 (blå), X5 (rød) og X6 (blå).

Fest bøsningene med hver sin mutter.

Monter regulator IC1



Monter bøsninger





13. Finn voltmeteret og fjern mutteren fra gjengetappen på undersiden.

Stikk de tre ledningene gjennom hullet i monteringsplata merket LCD. Press voltmeteret helt ned til plata slik at gjengetappen stikker ut på baksiden.

Fest voltmeteret med en mutter på gjengetappen.

14. Stikk ledningene fra voltmeteret ned i hullene merket:

Rød ledning -

LCD V+ RØD

Svart ledning -

LCD GND SVART

Gul ledning -

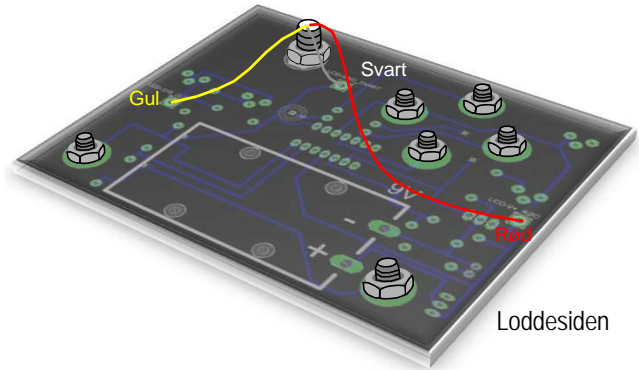
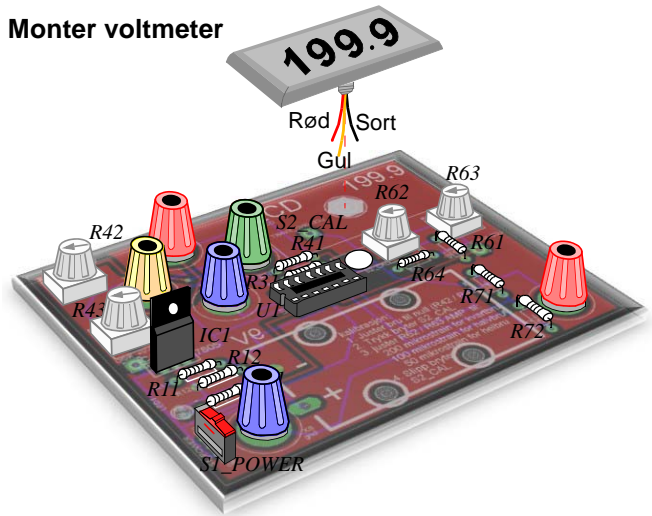
LCD SIG GUL

Tilpass lengden til ledningen, avisoler og **lodd på komponentsiden**.

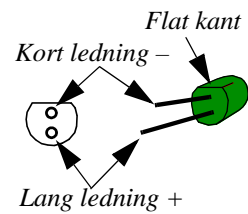
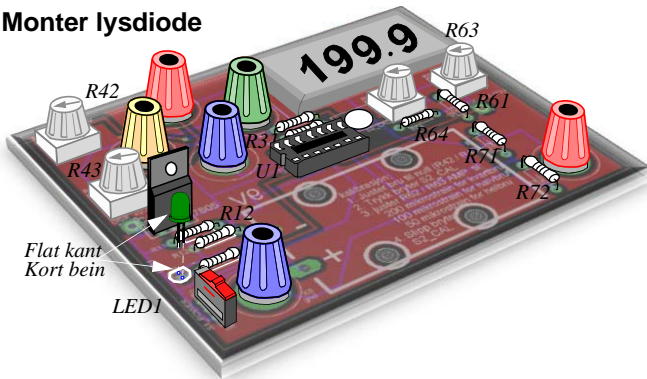
15. Finn den grønne lysdioden og monter den som vist.

Pass på at den korte ledningen kommer i rett hull, nær den flate kanten.

Monter voltmeter



Monter lysdiode



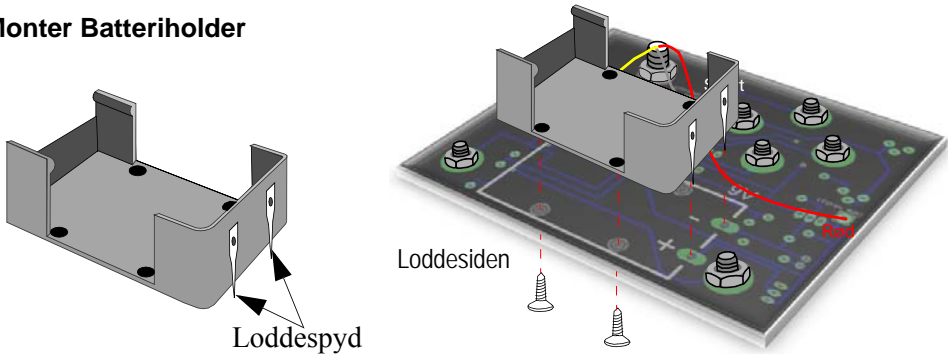
16. Monter batteriholderen.



Loddespydene i enden føres ned i hullene merket + og -. Holderen skrues fast med fire plateskruer fra loddessiden.

17. Lodd fast loddespydene *fra komponentsiden*.

Monter Batteriholder



18. Monter IC-kretsen.

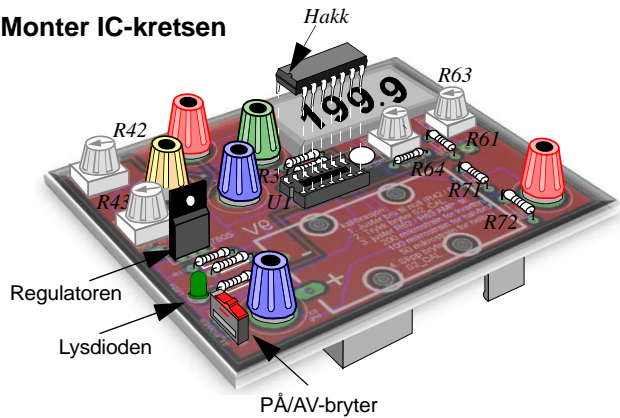
Pass på at hakket settes på rett side, samme side som hakket på sokkelen.

19. Sjekk at alle komponentene er montert riktig.

Sjekk spesielt at:

- IC-krets står rett vei
- lysdioden står rett vei
- regulatoren står rett vei

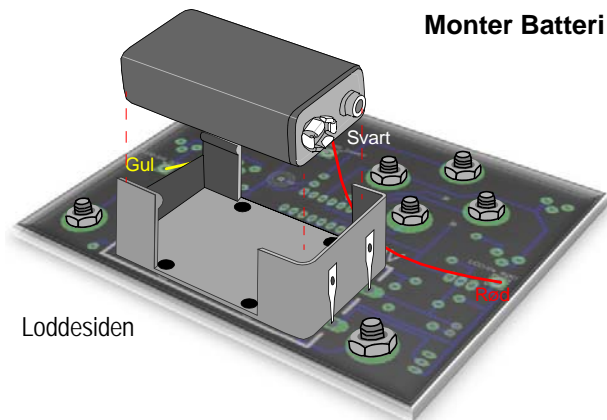
Monter IC-kretsen



20. Når alt er sjekket, koble til batteriet

Slå på kretsen med bryter S1_Power og se at lysdioden lyser.

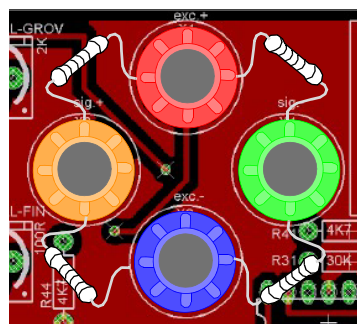
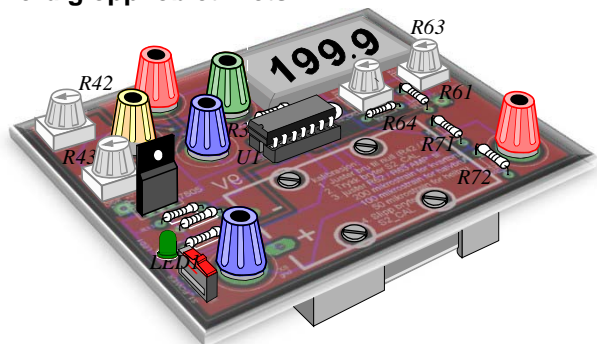
Monter Batteri





21. Finn fire motstander med verdien 120 Ohm (brun, rød, sort, sort, brun).

Ferdig oppkoblet krets



Koble motstandene i brua som vist på figuren under.

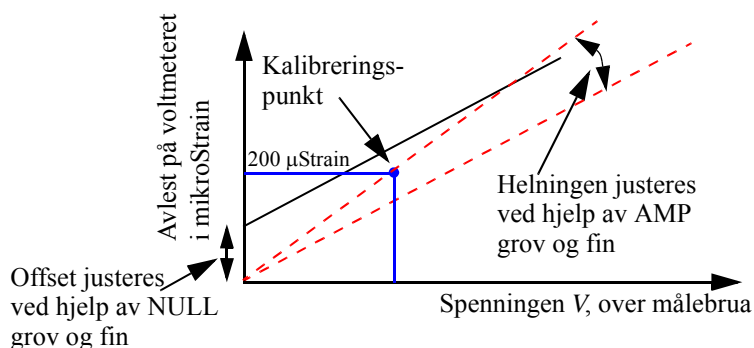
Du er nå klar til å kalibrere brua.

9.3.4 Kalibrering av målebrua

Vi forventer at målebrua skal gi null spenning for strekkklappen og måleobjektet utsettes for strekk (eller trykk). Vi justerer derfor potensiometrene *NULL* (grov og fin) slik at voltmeteret viser 0 Volt. Det vil si at kurven i figur 9.6 heves/senkes slik at den går gjennom origo. Dermed er nullpunktet justert.

Ved hjelp av potensiometrene *AMP* (grov og fin) kan forsterkningen justeres. Dette tilsvarer å endre helningen til kurven som vist på figur 9.6. Ved å legge inn en kjent kalibreringsmotstand i parallell med en av greiene i brua (R31), vet vi hva dette skal tilsvare i avlest μStrain (se kalibreringspunkt i figur 9.6). I vårt tilfelle skal denne gi en spenning tilsvarende 199.9 μStrain når vi bruker én strekkklapp, 100 μStrain når vi bruker to strekkklapper, og 50 μStrain når vi bruker fire strekkklapper.

Årsaken til at vi kalibrerer forskjellig avhengig av antall strekkklapper, er at vi forutsetter at vi monterer og kobler strekkklappene inn i målebrua slik at de forsterker hverandre. Dermed blir utslaget dobbelt så stort når vi bruker to strekkklapper som når vi bruker en. Siden strekket i det måler



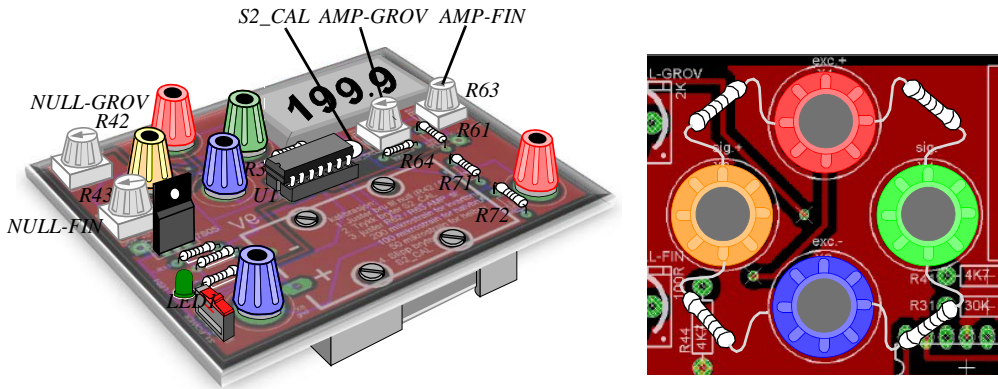
Figur 9.6 Kalibrering av sammenhengen mellom spenning målt over målebrua og avlest tøyning i μStrain på voltmeteret.



er det samme uavhengig av antall strekkklapper vi bruker, må vi kalibrere til halve verdien. Tilsvarende når vi går fra å bruk to til fire.

Vi legger inn bryter S2_CAL og justerer helningen til kuven ved hjelp av AMP (grov og fin) slik at avlest verdi på voltmeteret viser 199.9 μ Strain.

Slik går du fram:



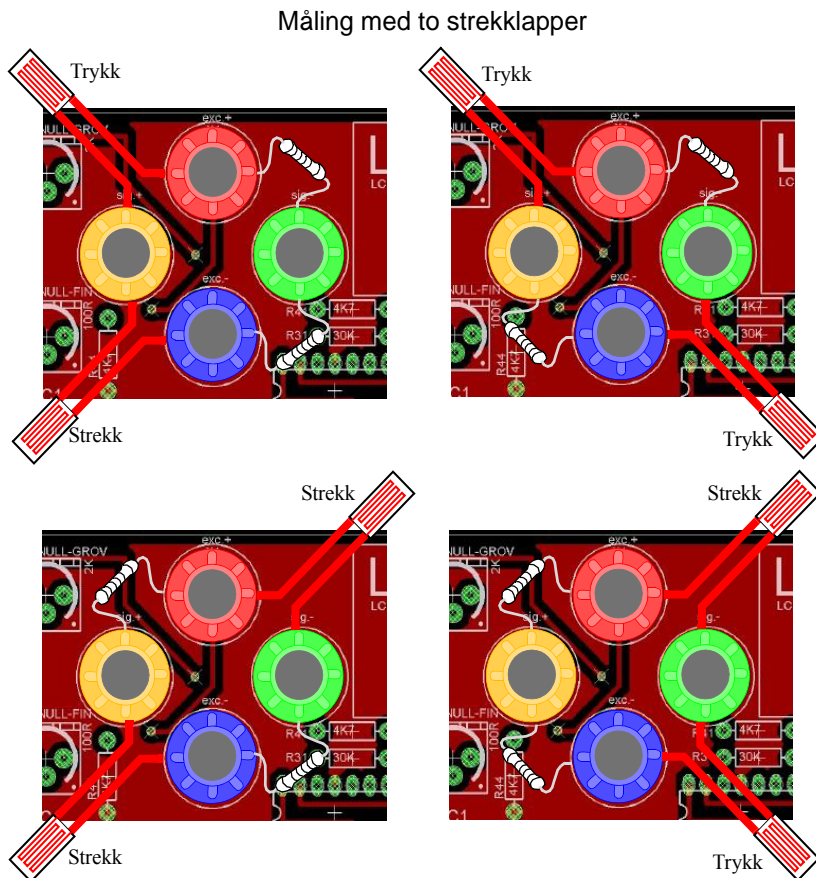
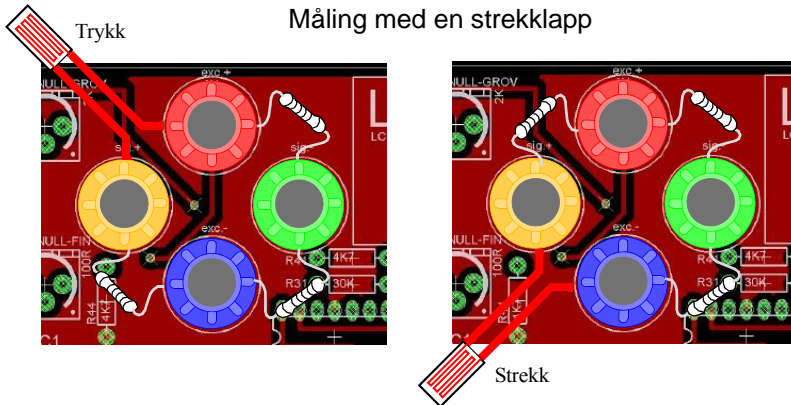
1. Brua skal være tilsluttet fire motstander (120 Ohm) som vist på figuren over. Alternativt kan en kalibrere brua med det ønskede antall strekkklapper og motstander. Under kalibreringen skal strekkklappene være ubelastet.
2. Slå på kretsen.
3. Juster NULL-GROV slik at voltmeteret er i nærheten av 0.0 mV.
4. Finjuster med NULL-FIN.
5. Trykk ned S2_CAL og juster potetrene AMP-GROV og AMP-FIN til ønsket verdi på voltmeteret

Kalibreringsverdien er bestemt av hvor mange strekkklapper som er tenkt brukt (se tabellen under).

| Antall strekkklapper | Kalibreringsverdi |
|----------------------|--------------------|
| 1 strekkklapp | 199.9 μ Strain |
| 2 strekkklapper | 100 μ Strain |
| 4 strekkklapper | 50 μ Strain |

Oppkobling

Figuren under viser hvordan henholdsvis en og to strekkklapper kan kobles opp for ulik bruk.





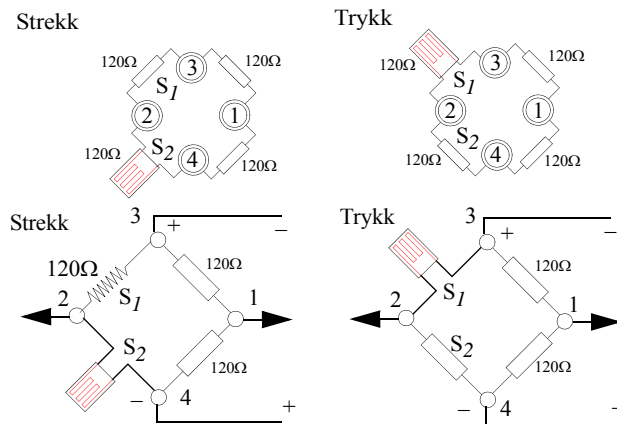
9.4 Måling med hjemmelaget målebro

I dette avsnittet skal vi se hvordan vi kan utføre målinger av nedbøyningen i et stag. Denne gangen gjør vi målingene med hjemmelaget utstyr.

9.4.1 Oppkobling

Følgende er tilfelle for dette hjemmelagede instrumentet:

- Dersom én strekkklapp brukes, vil en kunne måle strekk (*tension*) ved å plassere strekkklappen i posisjon S_2 , mens S_1 erstattes av en $120\ \Omega$ motstand, og trykk ved å plassere strekkklappen i posisjon S_1 , mens S_2 erstattes med den interne resistansen på $120\ \Omega$.

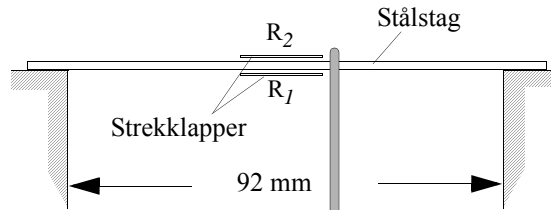


Figur 9.7 Oppkobling med en strekkklapp for måling av strekk eller trykk.

9.4.2 Problemstilling – Nedbøyning av stag brukt som vekt

Vi skal måle sammenhengen mellom nedbøyning av et stålstag som funksjon av belastningen i kN (vi regner tyngdeakselerasjonen $g = 10\ \text{m/s}^2$). Det er gjort én måleserie med to strekkklapper, en på oversiden og en på undersiden av staget.

Måleoppstilling er vist i figuren under. En metallkrok er lagt over staget til høyre for strekkklappene.



Figur 9.8 Stålstag påmontert strekkklapp på over- og undersiden.



Figuren under viser et bilde av måleoppstillingen. En bøtte med varierende mengde vann fungerer som variabel vekt.



Figur 9.9 Måleoppstilling for måling av nedbøyning som funksjon av belastning.

Målingene er gjort med to strekkklapper en over og en under staget.

9.4.3 Resultater

Tabellen under viser måleresultatene:

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Lodd (kN) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Målt μ Strain | 0 | 51 | 102 | 151 | 200 | 250 | 296 | 341 | 386 | 433 | 479 | 525 | 569 |
| Differanse | | -51 | 49 | 49 | 50 | 46 | 45 | 45 | 45 | 47 | 46 | 46 | 44 |

1kN tilsvarer en masse økning i belastningen på 100 gr, eller 100 ml vann i spannet.

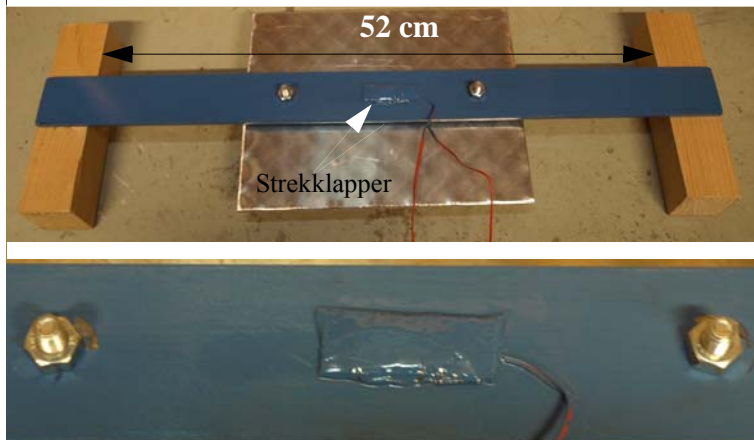
Vi kan registrere at økningen er omtrent helt lineær.

9.5 Lag en badevekt

Vi skal lage en enkel badevekt basert på to strekkklapper og en målebro.



Figuren viser undersiden av vekta og hvordan den i all sin enkelhet, er bygget opp.



Figur 9.10 Strekkklappene er montert på hver side av stålbjelken.



Figur 9.11 Vi finner sammenhengen mellom målt μStrain og vekta i kg ved å bruke lodd.

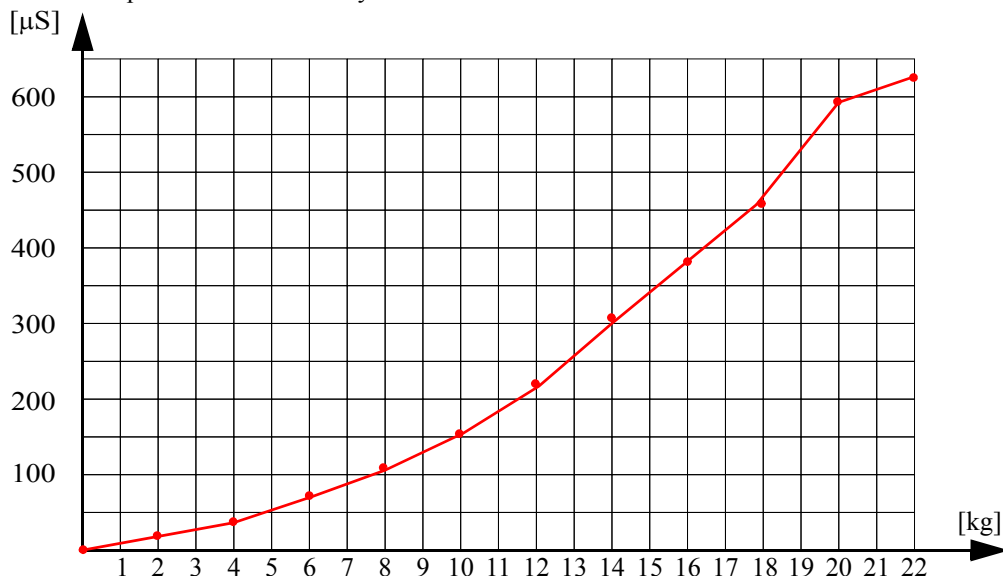
Vi tabellerer en sammenheng mellom vekt (masse) og avlest verdi for å undersøke om sammenhengen er linjær.

Tabellen under viser måleresultatene:

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|---|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| Lodd (kg) | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | |
| Målt μStrain | 0 | 20 | 46 | 72 | 106 | 152 | 220 | 304 | 379 | 455 | 596 | 626 | |



Resultatene plottes i et koordinatsystem.



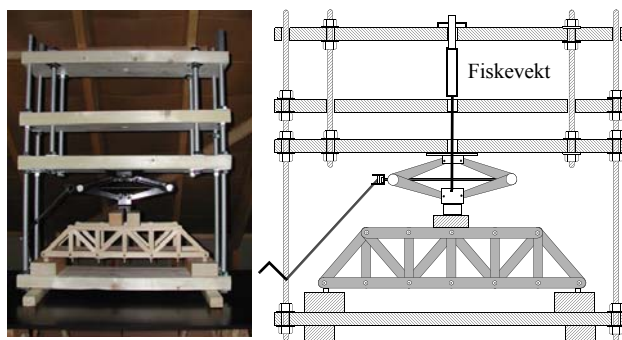
Figur 9.12 Sammenhengen mellom belastning i kg og avlest μ Strain.

Av plottet ser at sammenhengen langt fra er linjær. I dette tilfellet kan det skyldes at badevekta tidligere er overbelastet

9.6 Bygging av målerigg⁶⁰

Følgende målerigg er bygget av lett tilgjengelige materialer. Det er bruket 20 mm gjengestål (M20) med tilhørende muttere og skiver, og 1980 · 48 mm justert plank. En ordinær saksejekk med løftekapasitet 1 tonn (pris ca kr. 100,- hos Biltema) brukes for å skape press.

Måleriggen er egnet til å utføre både trykk og strekkforsøk (f.eks. materialprøving av betong, gips ved trykk, stål, tre ved strekk).



Figur 9.13 Målerigg for måling av spenninger i brokonstruksjoner og annet

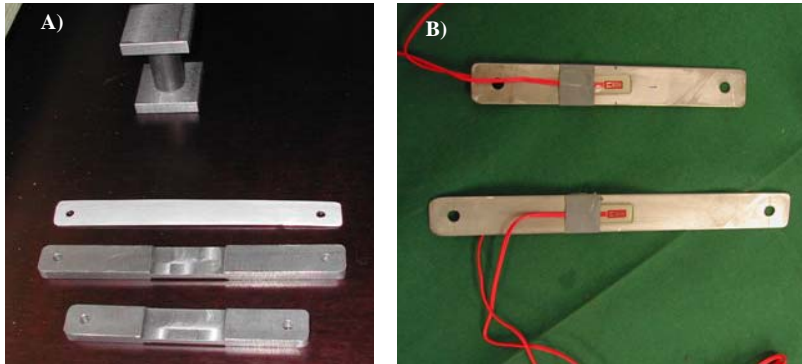
60. Måleriggen går under navnet ConTre målerigg og er utviklet av Jens Jacob Jensen ved JJJ Consult AS Trondheim for Teknologiverkstedet NTNU i Trondheim.



Som "kraftmåler" kan vi for eksempel bruke en eller to badevekter, eller en selvlaget kraftmåler hvor det brukes strekkklapper (se figur 9.14A).

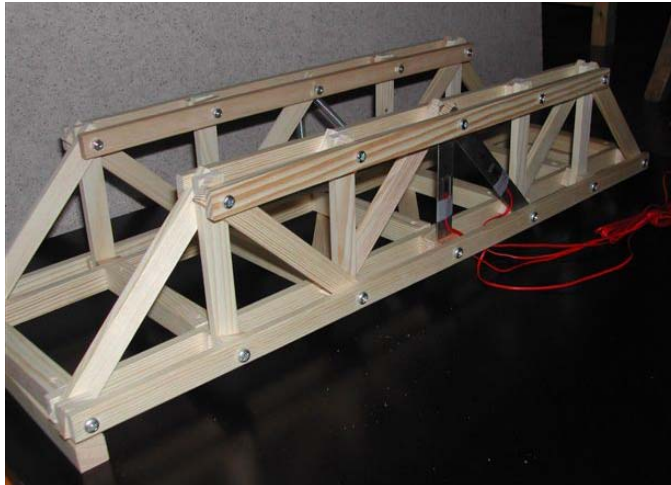
Dersom vi ønsker å bestemme kreftene/tøyingene eksperimentelt i et av stavene i fagverket (figur 10.39), må vi bytte ut en av trestavene med en stålstav med kjent elastisitetsmodul og korrekt lengde. Ett slikt stag er vist i figur 9.14B.

Ett slikt stag er vist i figur 9.14.



Figur 9.14 A) Brostag i stål for måling av spenninger i materialet
B) brostag påmontert strekkklapper.

Figur 9.15 viser stagene montert i fagverksbroa.



Figur 9.15 Stag med strekkklapper montert på fagverksbroa.





10 Referanser

- [1] Håvard Karoliussen, *Energi for Framtida*, SLserien nr. 8, april 2006
- [2] Stig Øyvann, *Det digitale hjem*, Digital World Nr. 2 - 2005
- [3] Rossing, Steffanson og Bungum, *Elektronikk for skolen*, SLserien nr. 2, des 2003
<http://www.ntnu.no/skolelab/publikasjoner>
- [4] Rossing, Praktisk solcelleteknologi for bruk i skolen, Blå bokserie jan. 2014
<http://www.ntnu.no/skolelab/sl-bla-bokserie>
- [5] M.K. Solberg, M. Dahl, A. Berg, Fordypningsoppgave – Teknologi og design, Na–130, HiST høst 2007.
- [6] Grytli, Rimstad, Hansen, Bojsen, Muggerud, *Produkt rapport*, NTNU 06.05.09, EiT-landsby 37 Elle-Melle Solcelle, 2009
- [7] Betten, Espe, Rostad, Skarsgaard og Stokland, *Solcelleproduksjon i Norge - Prosjektrapport*, EiT-landsby 37 Elle-Melle Solcelle, 2009
- [8] Young and Freedman, *Sears and Zmansky's University Physics with Modern Physics*, Pearson International Edition – 12th Ed. 2008
- [9] Neil Storey, *Electronics – a systems approach*, Fourth Edition 2009
- [10] Callin, Pålsgård, Stadsnes, Tellefsen, *ERGO - Fysikk 1, Grunnbok*, Aschehoug 2007
- [11] CanSat Lesson 4 – CD som følger med kitet
040726CanSat_section4_rev4
- [12] Datablad MPX4115A
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/motorola/MPX4115A.pdf>
- [13] **Liste over mange sensorer:**
<http://www.alge-timing.no/>
- [14] **Automatisk utstyr i trafikken**
<http://www.sonnico.no/wbch3.exe?p=1249>
- [15] **Lyssensorer**
a) <http://www.servodan.dk/Produkter.html>
b) http://slogen.hials.no/fag/Ad10600_Del2/Instrumentering/sensor_lys.htm
- [16] **Fotomotstand** (LDR – Light Dipendent Resistor):
a) <http://en.wikipedia.org/wiki/Photoresistor>
- [17] **Fototransistor:**
a) <http://www.elfa.se/pdf/75/07520323.pdf> (datablad PT204-6C)
- [18] **Bevegelsessensorer**
a) <http://www.filtenborgel.dk/el-installationer/bevegelsessor.htm>
b) <http://www.bilradiospes.no/alarm3.html>



- [19] **IR detektorer**
a) <http://www.glolab.com/pirparts/infrared.html>
b) <http://home.howstuffworks.com/question238.htm>
- [20] **Bilalarmer**
<http://www.bilradiospes.no/alarm.html>
- [21] **Dataloggere for skolen**
a) <http://legacy.gammadata.se/norway/>
b) <http://kptnaturfag.no/shop/Datalogging>
c) <http://www.kometnaturfag.no/shop/>
- [22] **Alarm og utrykningsutstyr**
<http://www.simarud.no/Produktoversikt.html>
- [23] **Røykvarslere**
a) <http://www.kidde.com.au/How+Smoke+Alarms+Work.shtml>
- [24] **Ozon sensorer:**
a) http://www.ozoneapplications.com/products/o3sensors/electrochemical_HMOS_ozone.htm
b) <http://www.delphian.com/sensor-tech.htm#ELECTROCHEMICAL%20SENSORS>
- [25] **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>
- [26] **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&fbody-longid=1443>
e) E. M. Purcell, *"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>
- [27] **Gassensorer:**
a) Kousuke Ihokura, Kousuke Ihokura, *The Stannic Oxide Gas Sensor Principles and Applications*
b) Jacob Fraden, *Handbook of modern sensors - Physics, designs, and applications*, 2. utg., Springer 2001



[28] **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



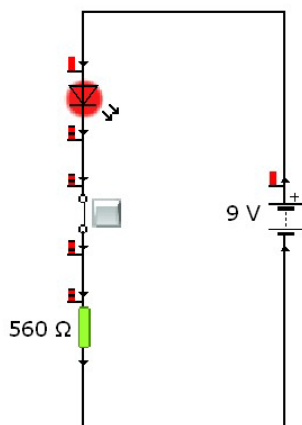
Vedlegg A Svar på simuleringsoppgaver


A.1 Svar på oppgaver knyttet til: Simulering av operasjonsforsterker med driver

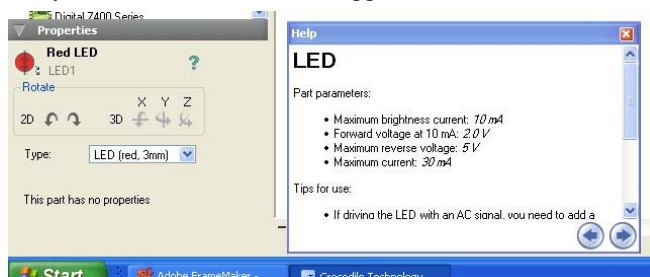
I dette avsnittet vises svarene til oppgavene.

A.1.1 Svar oppgave 1

A Med en seriemotstand på $560\ \Omega$ vil det gå $12,67\ \text{mA}$ i kretsen. Da kan vi måle en potesialforskjell på ca. $2\ \text{Volt}$ over lysdioden, mens resten, ca. $7\ \text{V}$, ligger over seriemotstanden.

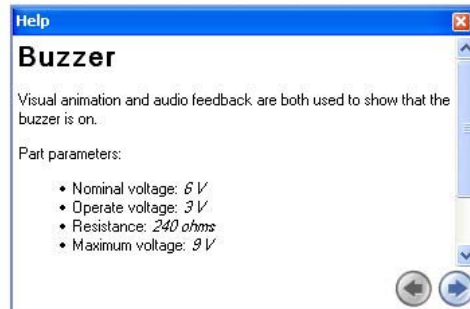
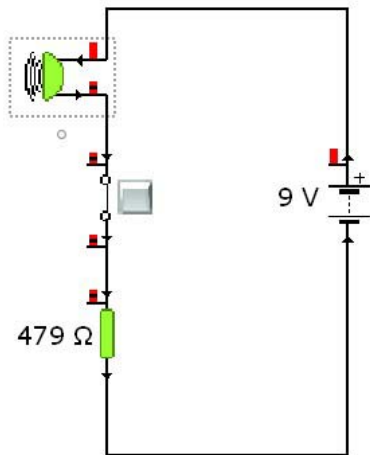


Dersom vi **merker lysdioden** vil det komme opp en meny under *Properties*, nederst lengst til venstre. Trykker vi på det vesle spørsmålsteget  øverst til høyre i denne menyen, vil det komme opp et vindu som viser viktige parametere for lysdioden. Vi ser at ved $10\ \text{mA}$ lyser den maksimalt. Da ligger det ca. $2\ \text{Volt}$ over dioden. Vi ser også at den maksimale strømmen som lysdioden tåler før den ødelegges er $30\ \text{mA}$





B Dersom vi bytter ut lysdioden med en buzzer uten å endre resistansen, vil vi ikke få noen lyd. Dette skyldes at seriemotstanden er for stor, slik at strømmen i buzzeren blir for liten. Ved å redusere resistansen vil den etter hvert gi lyd.



En seriemotstand på 479Ω , er akkurat nok til å få buzzeren til å gi lyd. Strømmen i kretsen er da $12,52 \text{ mA}$. Det avgjørende er imidlertid at spenningen over buzzeren er akkurat 3 V , hvilket er det kravet som er satt for at den skal gi lyd. Dette får vi vite om vi trykker det vesle spørsmålsteget

 i *Properties* menyen.

A.1.2 Svar oppgave 2

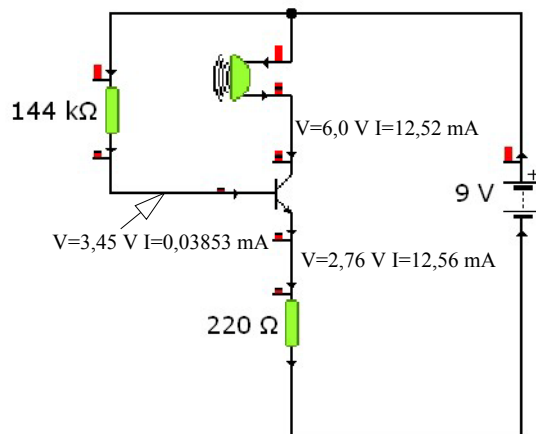
A. Vi bytter ut bryteren med en NPN-transistor. Collectoren kobles til buzzeren, mens emitteren kobles til motstanden. Vi velger i utgangspunktet en basemotstand på $1 \text{ M}\Omega$.

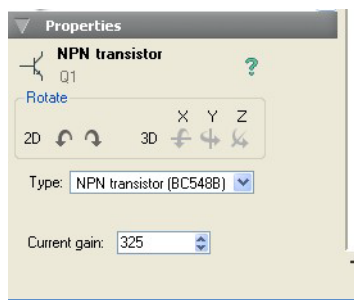
B. Strømmer og spenninger er målt og skrevet på koblingskjemaet til høyre.

C. Forholdet mellom collectorstrømmen og basestrømmen gir:

$$h_{FE} = \frac{12,52 \text{ mA}}{0,03853 \text{ mA}} = 325$$

Dette forholdet kalles transistorens strømforsterkning og angis noen ganger med h_{FE} .





Dersom vi markerer transistoren og ser på menyen *Properties*, kan vi avlese hvilken strømforsterkning denne transistoren har. Har vi regnet rett, så skal resultat vårt være lik strømforsterkningen angitt under *Properties* som vist på figuren til venstre. Som vi ser er strømforsterkningen lik 325, som er i overenstemmelse med målingene våre.

Her kan vi også lese av hvilken type transistor vi har valgt, BC548C. Når vi senere skal koble opp kretsen, skal vi bruke en transistor med betegnelsen BC547C. Dersom vi sjekker den på nettet, finner vi at strømforsterkningen h_{FE} ligger mellom 200–450, det vil si at forskjellen i strømforsterk-

ning kan være ganske stor fra transistor til transistor, men at middelverdien er den samme for disse to transistorene og lik 325.

A.1.3 Svar oppgave 3

I denne oppgaven skal vi bygge opp en komparator. Hensikten med en komparator er å sammenligne to spenningsnivåer. Et nivå som vi velger ved hjelp av en spenningsdeler eller et potensiometer, og en ukjent spenning vi ønsker å undersøke. Det valgte nivået kaller vi gjerne *referansenivået* eller *terskelspenningen*, mens spenningsnivået vi ønsker å undersøke, kaller vi den *ukjente spenningen*.

Dersom den *ukjente spenningen* er større enn *terskelspenningen* vil spenningen på utgangen av komparatoren bli høy (ca. 7,5 V). Er den derimot lavere enn terskelspenningen, vil spenningen på utgangen være lav (ca. 0 V).

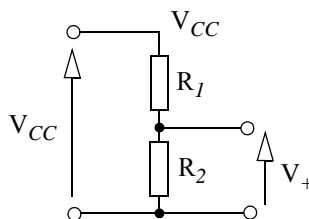
Etter å ha bygget opp kretsen i oppgave 3 A skal vi beregne verdien til motstand R_2 i spenningsdeleren.

Svar oppgave 3B:

$$V_+ = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

I dette tilfellet er V_+ , V_{CC} og R_1 kjent. Vi løser derfor ligningen med hensyn på R_2 og får:

$$R_2 = \frac{V_+ \cdot R_1}{V_{CC} - V_+}$$



Setter vi inn:

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$V_{CC} = 9 \text{ Volt}$$

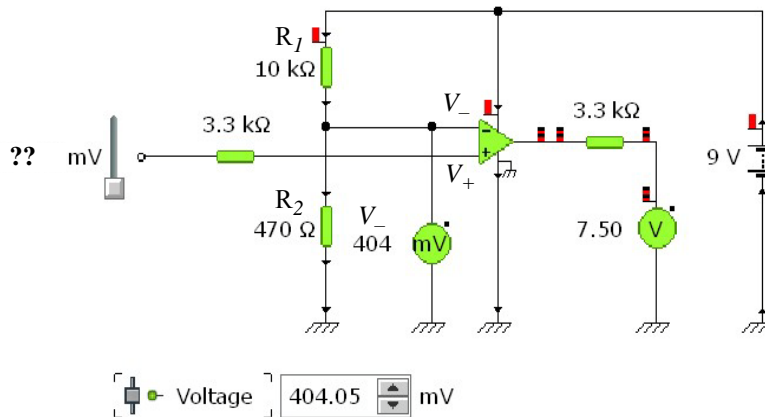
$$V_+ = 0,4 \text{ Volt}$$

Får vi $R_2 = 465,2 \Omega$. Nærmeste standardverdi er 470Ω



Svar oppgave 3C:

Det endelige koblingskjemaet skal nå se ut som på figuren under.



Svar oppgave 3D:

Vi måler den virkelige terskelspenningen ved å finjustere spenningen på inngangen (ukjent spenning) og ser når omslaget skjer på utgangen:

$$V_+ = \underline{404,1 \text{ mV}}$$

Svar oppgave 3E:

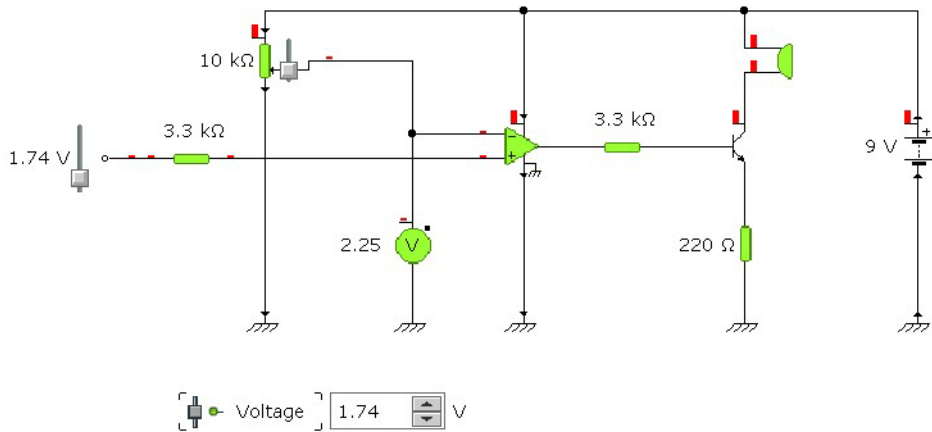
Når operasjonsforsterkeren ikke er tilbakekoblet med en motstand fra utgangen til inngangen, vil den ha meget stor forsterkning. Likespenningsforsterkningen til denne kretsen er satt til 100 000. Det vil si at $1 \mu\text{V}$ mellom inngangsterminalene V_+ og V_- vil gi en spenning på utgangen lik 1 V. Så lenge $V_+ < V_-$ vil spenning ha stor negativ forsterkning og utgangen vil være så negativ den bare kan, eller lik 0 V. Når $V_+ > V_-$ vil spenning ha stor positiv forsterkning og utgangen vil være så positiv den bare kan, eller lik 7,50 V. Grunnen til at den ikke blir 9,0 V skyldes at utgangstrinnet i kretsen gir opphav til et spenningsfall på ca. 1,5 V. Overgangsspenningen fra 0 til 7,5 V vil inntruffe med en spenning på 0 - 7,5 μV mellom inngangsterminalene.



A.1.4 Svar oppgave 4

Svar oppgave 4C:

En variabel terskelspenning kan lages ved hjelp av et potensiometer som kobles inn istedet for spenningsdeleren. Hvordan dette kan gjøres er vist i figuren under.



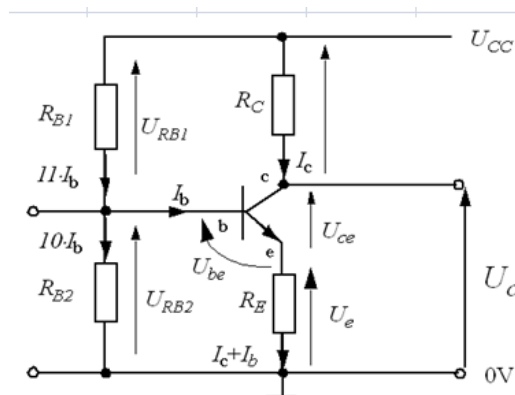


A.2 Svar på oppgaver knyttet til: Simulering av enkel spenningsforsterker

Under er vist noen eksempler på verdier til komponentene i kretsskjemaet ved ulike hvilestrøm.

| | | | |
|---|-------------|-----------------|------------------------------|
| Velg supplyspenning | $U_{CC} =$ | 9 V | |
| Velg spenningsforsterkning | $A_V =$ | 15 | |
| Velg spenning på collector | $U_C =$ | 4,5 V | |
| Velg arbeidspunkt, I_C | $I_C =$ | 5,0 mA | |
| Angi transistorens strømforst. h_{FE} | $h_{FE} =$ | 325 | |
| Beregnet collector motstand R_C | $R_C =$ | 900,0 Ω | $R_C = (U_{CC} - U_C) / I_C$ |
| Beregnet emitter motstand R_E | $R_E =$ | 60,0 Ω | $R_E = R_C / A_V$ |
| Beregnet basestrøm I_b | $I_b =$ | 0,015 mA | $I_b = I_C / h_{FE}$ |
| Beregnet basespenning U_b | $U_b =$ | 1,00 V | $U_b = 0,7V + R_E * I_C$ |
| Beregnet strøm i forsp. motst. R_{B1} | $I_{RB1} =$ | 0,169 mA | $I_{RB1} = 11 * I_b$ |
| Beregnet strøm i forsp. motst. R_{B2} | $I_{RB2} =$ | 0,154 mA | $I_{RB2} = 10 * I_b$ |
| Beregnet U_{RB2} | $U_{RB2} =$ | 1,00 V | $U_{RB2} = U_b$ |
| Beregnet U_{RB1} | $U_{RB1} =$ | 8,00 V | $U_{RB1} = U_{CC} - U_{RB2}$ |
| Beregnet R_{B1} | $R_{B1} =$ | 47,3 k Ω | $R_{B1} = U_{RB1} / I_{RB1}$ |
| Beregnet R_{B2} | $R_{B2} =$ | 6,5 k Ω | $R_{B2} = U_{RB2} / I_{RB2}$ |

Figur A.1 Beregnet komponentverdier for collectorstrømmen $I_C = 5$ mA.



Figur A.2 Kretsskjema for den analyserte kretsen.



| | | | |
|---|-------------|-----------------|------------------------------|
| Velg supplyspenning | $U_{CC} =$ | 9 V | |
| Velg spenningsforsterkning | $A_V =$ | 15 | |
| Velg spenning på collector | $U_C =$ | 4,5 V | |
| Velg arbeidspunkt, I_C | $I_C =$ | 10,0 mA | |
| Angi transistorens strømforst. h_{FE} | $h_{FE} =$ | 325 | |
| Beregnet collector motstand R_C | $R_C =$ | 450,0 Ω | $R_C = (U_{CC} - U_C) / I_C$ |
| Beregnet emitter motstand R_E | $R_E =$ | 30,0 Ω | $R_E = R_C / A_V$ |
| Beregnet basestrøm I_b | $I_b =$ | 0,031 mA | $I_b = I_C / h_{FE}$ |
| Beregnet basespenning U_b | $U_b =$ | 1,00 V | $U_b = 0,7V + R_E * I_C$ |
| Beregnet strøm i forsp. motst. R_{B1} | $I_{RB1} =$ | 0,338 mA | $I_{RB1} = 11 * I_b$ |
| Beregnet strøm i forsp. motst. R_{B2} | $I_{RB2} =$ | 0,308 mA | $I_{RB2} = 10 * I_b$ |
| Beregnet U_{RB2} | $U_{RB2} =$ | 1,00 V | $U_{RB2} = U_b$ |
| Beregnet U_{RB1} | $U_{RB1} =$ | 8,00 V | $U_{RB1} = U_{CC} - U_{RB2}$ |
| Beregnet R_{B1} | $R_{B1} =$ | 23,6 k Ω | $R_{B1} = U_{RB1} / I_{RB1}$ |
| Beregnet R_{B2} | $R_{B2} =$ | 3,3 k Ω | $R_{B2} = U_{RB2} / I_{RB2}$ |

Figur A.3 Beregnet komponentverdier for collectorstrømmen $I_C = 10$ mA.

| | | | |
|---|-------------|-----------------|------------------------------|
| Velg supplyspenning | $U_{CC} =$ | 9 V | |
| Velg spenningsforsterkning | $A_V =$ | 15 | |
| Velg spenning på collector | $U_C =$ | 4,5 V | |
| Velg arbeidspunkt, I_C | $I_C =$ | 20,0 mA | |
| Angi transistorens strømforst. h_{FE} | $h_{FE} =$ | 325 | |
| Beregnet collector motstand R_C | $R_C =$ | 225,0 Ω | $R_C = (U_{CC} - U_C) / I_C$ |
| Beregnet emitter motstand R_E | $R_E =$ | 15,0 Ω | $R_E = R_C / A_V$ |
| Beregnet basestrøm I_b | $I_b =$ | 0,062 mA | $I_b = I_C / h_{FE}$ |
| Beregnet basespenning U_b | $U_b =$ | 1,00 V | $U_b = 0,7V + R_E * I_C$ |
| Beregnet strøm i forsp. motst. R_{B1} | $I_{RB1} =$ | 0,677 mA | $I_{RB1} = 11 * I_b$ |
| Beregnet strøm i forsp. motst. R_{B2} | $I_{RB2} =$ | 0,615 mA | $I_{RB2} = 10 * I_b$ |
| Beregnet U_{RB2} | $U_{RB2} =$ | 1,00 V | $U_{RB2} = U_b$ |
| Beregnet U_{RB1} | $U_{RB1} =$ | 8,00 V | $U_{RB1} = U_{CC} - U_{RB2}$ |
| Beregnet R_{B1} | $R_{B1} =$ | 11,8 k Ω | $R_{B1} = U_{RB1} / I_{RB1}$ |
| Beregnet R_{B2} | $R_{B2} =$ | 1,6 k Ω | $R_{B2} = U_{RB2} / I_{RB2}$ |

Figur A.4 Beregnet komponentverdier for collectorstrømmen $I_C = 20$ mA.

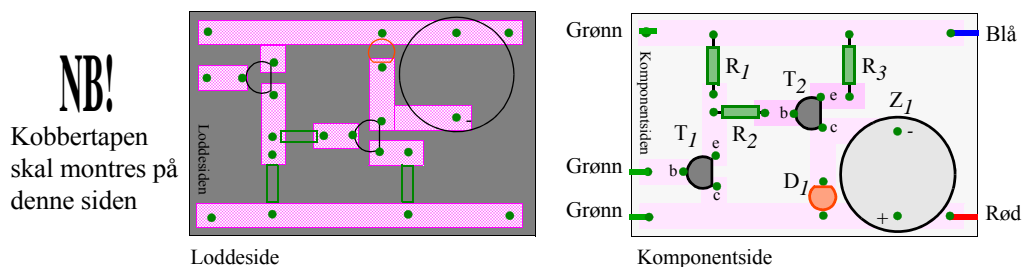


Framstilling av monteringsplata

Monteringsplata har en *komponentside* og en *loddesside*. Komponentene skal plasseres på komponentsida, mens beina til komponentene loddes til kobberbanene på loddessida. Det stikkes hull i monteringsplata på angitte steder slik at komponentbeina kan stikkes gjennom monteringsplata.

Kobbertapen festes til papp-plata slik at beina på de elektriske komponentene lett kan loddes til kobberbanene. Med utgangspunkt i koblingsskjemaet i figur 8.1, har vi på figur B.2 vist hvordan tapen kan legges.

Figur B.3⁶¹ (øverst) viser hvordan kobbertapen kan legges på loddessida. Tilsvarende viser figur B.3 (nederste) hvordan komponentene er montert på komponentsida.



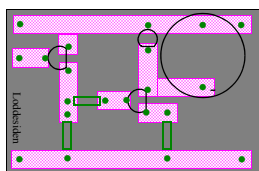
Figur B.3 Monteringsplata for strømdektoren.

De svarte punktene angir hvor det skal stikkes hull i monteringsplata.

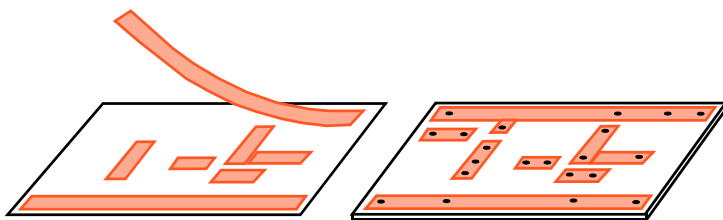
Montering av kobbertapen på plata gjøres på følgende måte:

1. Legg monteringsplata med loddessiden opp. De skraverte feltene angir hvor kobbertapen skal festes til plata.
2. Klipp kobbertapen opp i lengder som passer til utlegget.
3. Riv av det hvite beskyttelsesbelegget på tapen og klistre den på monteringsplata.

Loddesside



Monteringsanvisning



Figur B.4 Montering av kobbertape og merking av hull.).

61. Etter en idé av Berit Bungum ved ILS ved Universitetet i Oslo.



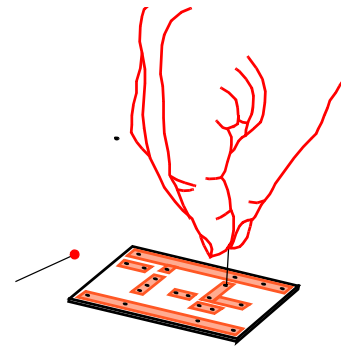
4. Derne stikkes hull fra loddessiden med en kraftig nål.
For at du skal se hvor hullene skal være må du snu plata
å se etter prikkene på komponentsida.

Nå er monteringsplata klar for montering av komponentene.

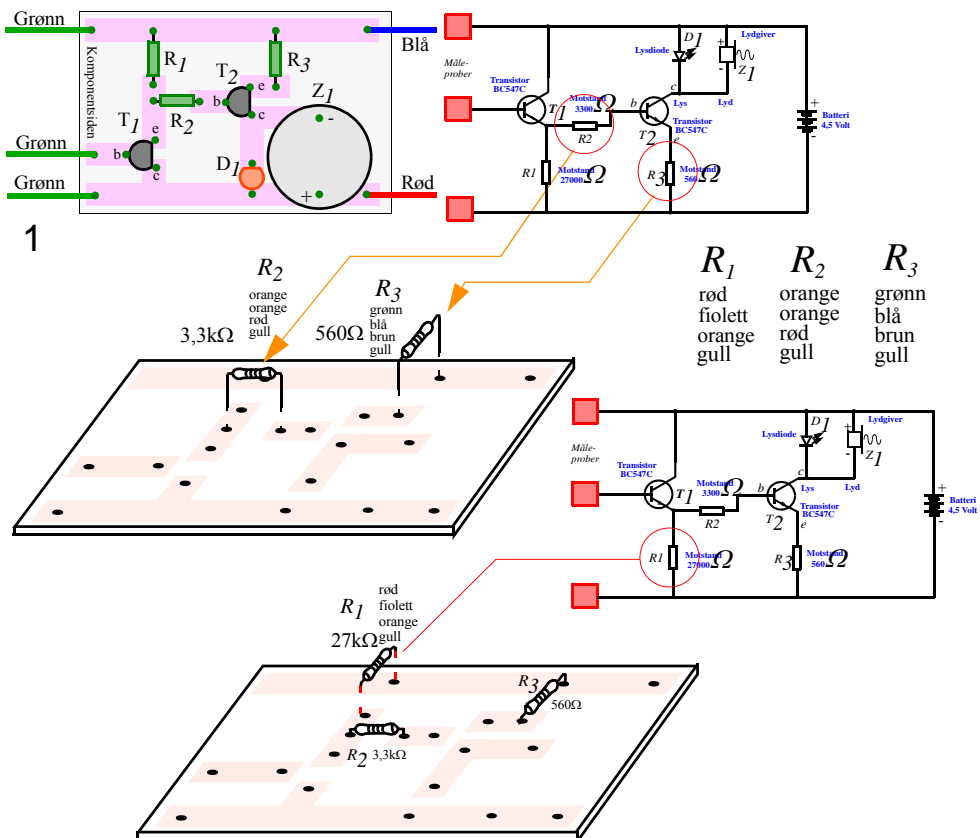
Montering av komponentene

Monteringsanvisningen legges med komponentsiden opp.
Montering av komponentene gjøres på følgende måte:

1. **Montering av motstandene R_1 , R_2 og R_3 :**
Begynn med å montere de tre motstandene R_1 , R_2 og R_3 .



Figur 10.1 Hullene stikkes opp med en nål.



Figur B.5 Montering av motstandene.

R_1 skal ha verdien $27\,000\Omega$ ($27k\Omega$), som angis med fargene **rød, fiolett, orange, gull**.



R_2 skal ha verdien 3300Ω (3,3k Ω), som angis med fargene **orange, orange, rød, gull**.

R_3 skal ha verdien 560Ω , som angis med fargene **grønn, blå, brun, gull**.

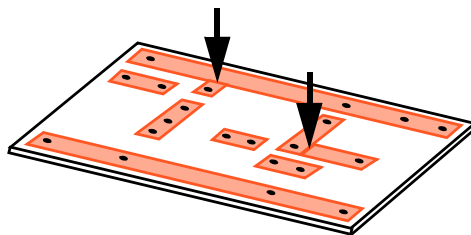
Det spiller ingen rolle hvilken vei motstandene monteres.

Når motstandene er montert loddes de til kobbertapen på loddessida av plata. For riktig lodding se miniloddekurset i vedlegg E.

Etter at motstandene er loddet fast, kan bena klippes av inntil loddingen med en avbitertang.

2. Lodd skjøtene i kobbertapen

To steder er kobberstripene skjøtet sammen. Det er viktig at det legges loddetinn over disse skjøtene for å oppnå god kontakt.

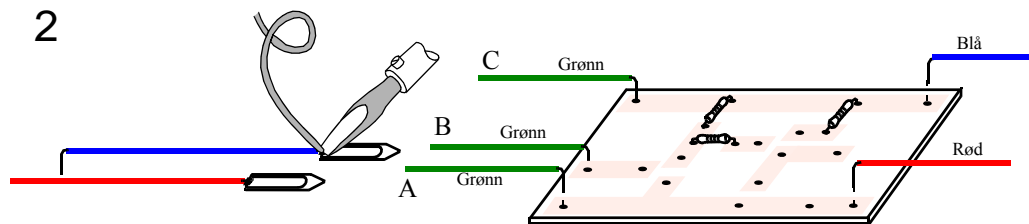


Figur 10.2 Lodd skjøtene i kobbertapen.

3. Montering av ledningene:

Fest en binders til den røde og en til den blå ledningen. Før lodding vriss ledningen rundt endene av bindersene som vist på figur 10.3. Lodd bindersene til ledningene.

Stikk de tre grønne (merket A, B og C), den røde og den blå ledningen gjennom hullene som vist på figur 10.3. Lodd ledningene til kobberbanene på loddessiden (undersiden).



Figur 10.3 Monter ledningene.

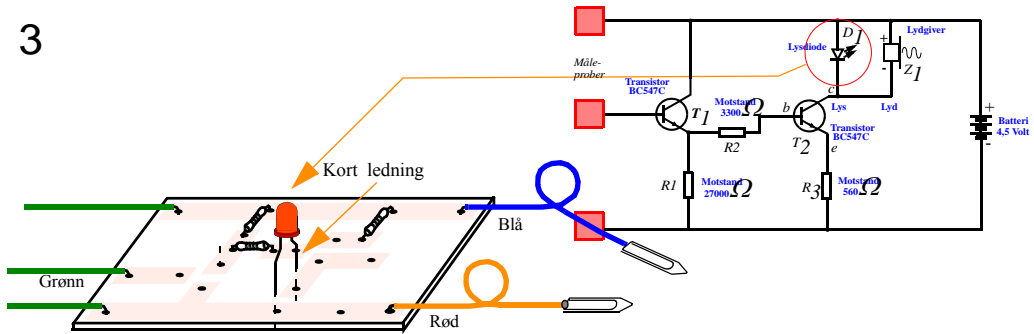
4. Montering av lysdiode D_1 (ikke nødvendig om lyd giver monteres):

Monter **lysdioden** slik at den korte ledningen (katoden) er lengst bort fra deg når monteringsplaten ligger som vist på figur B.6. Monteres lysdioden feil vei gir den ikke lys.



Lodd lysdioden til kobberbanene på loddesiden.

3

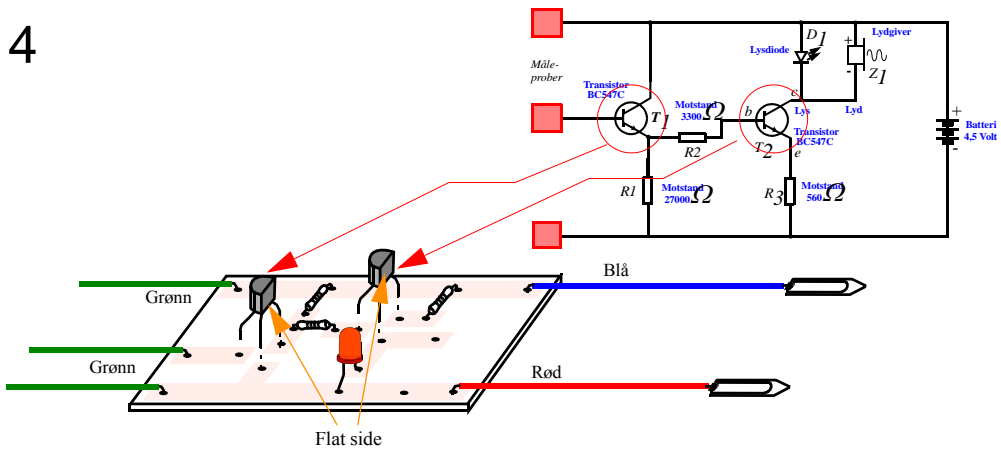


Figur B.6 Montering av lysdiode.

5. **Montering av transistoren T_1 og T_2 :**

Spre beina på transistorene litt fra hverandre slik at de når ut til hullene i monteringsplata. Sørg for at den flate siden av transistorene står rett vei. Stikk beina gjennom hullene. Det er viktig at rett bein kommer i rett hull. Lodd beina til kobberbanene på loddesida. Unngå at transistorene varmes opp for lenge av gangen (mer enn 15 sek.)

4

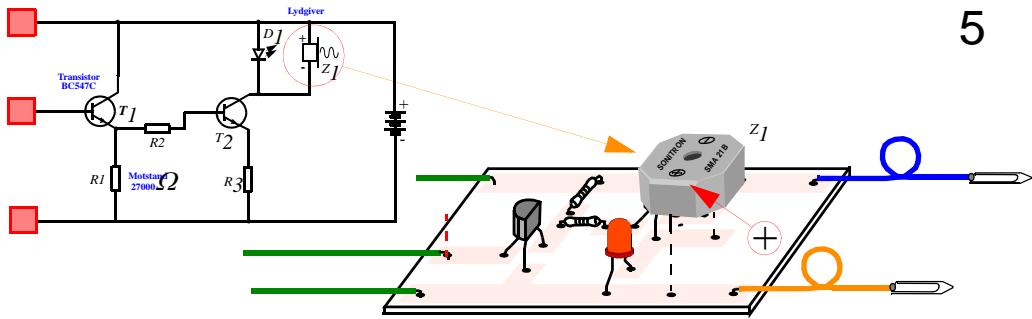


Figur B.7 Montering av transistorene.

6. Montering av lydgiveren Z_1 :



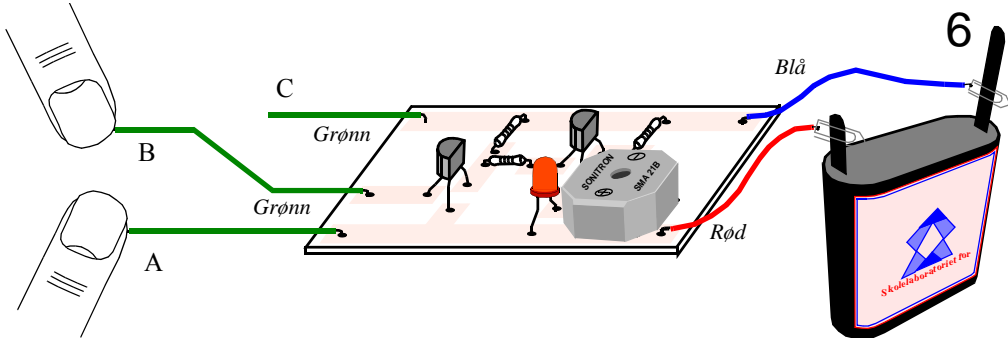
Pass på at lydgiveren blir plassert rett vei. Den har en pluss- og en minuspol.



Figur B.8 Monter lydgiveren Z_1 .

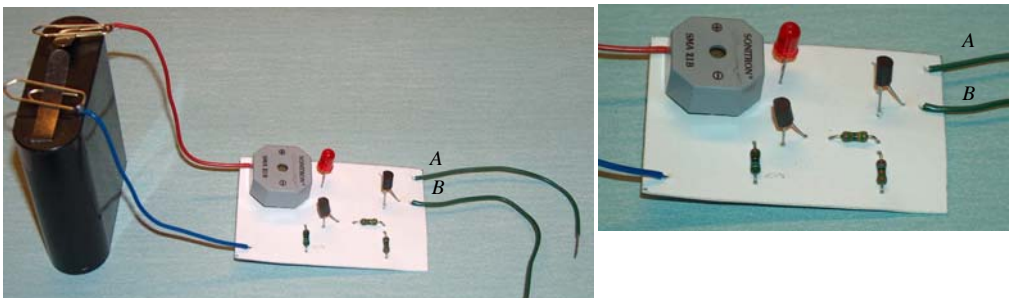
7. Prøv kretsen:

Til sist kobles batteriet til og kretsen prøves.



Figur B.9 Utprøving av to-trinnsforsterkeren.

Utprøvingen skjer ved at de to av ledningene som er montert tettest berøres med hver sin hånd. Om kretsen virker vil den registrere at det går en ørliten strøm gjennom kroppen og gi signal.



Figur B.10 Den ferdige strømdektoren (bare to av de grønne ledningene er montert).



Vedlegg C Innkjøp av komponenter

C.1 ELFA - kjøp av elektroniske komponenter generelt

En kilde til mye data om komponenter og bestilling er ELFA. For å få komponentdata kan en gå fram på følgende måte:

1. Skriv inn: www.elfa.se/no/
Da kommer en inn i den norske avdelingen av ELFA som egentlig er et svensk firma
2. I søkeruta overst til venstre skriver du betegnelsen på den komponenten du søker, f.eks.: *BC547C* og trykker *SØK*.
3. Da kommer det opp flere alternativer (3 stk)
Trykk: *Småsignaltransistorer, kisel BC108 - BC850*
4. Dernest kommer det opp en lang liste over transistorer. Dersom en går nedover lista vil en etterhvert finne *BC547C*. Følger en raden mot høyre vil en komme til en **I**, trykker en på denne åpnes databladet i Acrobat reader (pdf-file).
5. På den samme raden finner en også priser oppgitt. Prisene er oppgitt som 100 priser. Dette kan virke litt forvirrende. Kjøper du under 10 transistorer er prisen 149.00 for 100. Dvs. du betaler kr. 1,49 pr. stykk. Dersom du kjøper 30 stk koster de kr. 0,84 pr. stykk, og om du kjøper 100 koster de kr. 0,41 pr stykk. Vi ser altså at det er lønnsomt å kjøpe mange.
6. Bestilling kan gjøres ved å skrive inn i “boksen” til venstre.

Bestillingen kan også sendes til:

ELFA Skandinavia AS, Sandakerveien 76, 0483 Oslo

eller til ordretelefon: *80010135*, Ordrefax: *80010136*

eller også gjøres via e-mail:

order@elfa.se

eller direkte på nettsiden som vist foran:

Internett: <http://www.elfa.se/no/>

C.2 Komponentliste for innkjøp til strømdetektoren/fuktighetsindikatoren

Komponenter fra ELFA:

| | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------|-------|-------------------------|
| 1 stk. motstand: | 27k Ω | 60-106-64 | 0,52 | 100 stk/pris (eks moms) |
| 1 stk. motstand: | 3.3k Ω | 60-105-57 | 0,52 | 100 stk/pris (eks moms) |
| 1 stk. motstand: | 560 Ω | 60-104-66 | 0,52 | 100 stk/pris (eks moms) |
| 2 stk. transistorer | BC547C | 71-027-67 | 0.25 | 100 stk/pris (eks moms) |
| 1 stk. lysdiode | EL333URC-275-014-89 | | 2.43 | 100 stk/pris (eks moms) |
| 1 stk Piezoel. summer | SMA-21-P15, 37-788-75 | | 18,10 | 100 stk/pris (eks moms) |
| | SONITRON | | | |



| | | | | |
|-------------------------|------------|-----------|--------|---------------------------|
| 2 stk grønne ledninger | 4 cm | 55-254-56 | 73,70 | 1 rull a 100 m (eks moms) |
| 2 stk. grønne ledninger | 15 cm | 55-254-56 | 73,70 | 1 rull a 100 m (eks moms) |
| 1 stk rød ledning | 10 cm | 55-254-23 | 73,70 | 1 rull a 100 m (eks moms) |
| 1 stk. blå ledning | 10 cm | 55-254-64 | 73,70 | 1 rull a 100 m (eks moms) |
| 1 stk. monteringsplate | 45 · 30 mm | 49-553-16 | 43,50 | 233 · 160 mm (eks moms) |
| 1 rull kobbertape 1245 | 6 mm | 80-904-09 | 164,00 | 16,5m·0,6 mm (eks moms) |
| Etsepulver | | 49-577-42 | 147,- | 1 kg (eks moms) |

Prisene er pr. stykk og oppnås ved kjøpe av 30/100 stk eller 1 rull.

2 stk. binders 25 mm

1 stk. batterier (Clas Ohlson) 4.5 V 10,- 12 stk/pris
(inkl moms)

Prisene over er priser hentet fra ELFA's komponentkatalog pr. 25.01.2010. I tillegg kommer moms pluss frakt og evt. oppkrav.

C.3 **Innkjøp av komponenter til generell sensorkrets**

Komponenter fra ELFA:

| | | | | |
|-----------------------------|-----------------------|-----------|-------|--------------------------|
| 2 stk. motstand: | 3.3 k Ω | 60-105-57 | 0,52 | 100 stk/pris (eks moms) |
| 1 stk. motstand: | 560 Ω | 60-104-66 | 0,52 | 100 stk/pris (eks moms) |
| 1 stk. transistorer | BC547C | 71-027-67 | 0,25 | 100 stk/pris (eks moms) |
| 1 stk. kondensator | ker. 47 pF | 65-849-08 | 0,62 | 100 stk/pris (eks moms) |
| 1 stk. lysdiode | EL333URC-275-014-89 | | 2,43 | 100 stk/pris (eks moms) |
| 1 stk. piezoel. summer | SMA-21-P15, 37-788-75 | | 18,10 | 100 stk/pris (eks moms) |
| | SONITRON | | | |
| 2 stk. grønne ledninger | 15 cm | 55-254-56 | 73,70 | 1 rull a 100m (eks moms) |
| 1 stk. batterikontakt | 9V bat. | 69-143-11 | 5,94 | 100 stk/pris (eks moms) |
| 1 stk. operasjonsforsterker | CA3130 | 73-063-01 | 7,64 | 100 stk/pris (eks moms) |
| 1 stk. sokkel | 8 pin. lod. | 48-161-12 | 0,30 | 60 stk/pris (eks moms) |
| 1 stk. trimmepot. | 10 k Ω | 64-634-75 | 14,40 | 100 stk/pris (eks moms) |
| 2 stk. koblingsplint | 4 polt | 48-374-07 | 2,88 | 100 stk/pris (eks moms) |

Prisene over er priser hentet fra ELFA's komponentkatalog pr. 25.01.2010. I tillegg kommer moms pluss frakt og evt. oppkrav.

Sensorer fra ELFA

| | | | | |
|--------------------------|------------|-----------|-------|-------------------------|
| 1 stk. fototransistor | PT-204-6C | 75-203-23 | 1,26 | 100 stk/pris (eks moms) |
| 1 stk. luftfukt-detektor | H25K5A | 73-026-65 | 13,60 | 100 stk/pris (eks moms) |
| 1 stk. gassdetektor | HS-135 | 73-027-30 | 43,50 | 100 stk/pris (eks moms) |
| 1 stk. NTC-motstand | RH16 (50k) | 60-279-57 | 5,58 | 50 stk/pris (eks moms) |

Komponenter fra Farnell:

| | | | | |
|-----------------------|---------|---------|------|-------------------------|
| 1 stk. FET transistor | FDU8580 | 1324815 | 3,20 | 100 stk/pris (eks moms) |
|-----------------------|---------|---------|------|-------------------------|



C.4 Innkjøp av koblingsbrett og måleinstrumenter m.m.

Også disse komponentene kan kjøpes fra **ELFA**:

| | | | | |
|-------------------|--------|-----------|--------|-------------------------|
| Koblingsbrett | GL-12F | 48-427-04 | 63,20 | 1 stk/pris (eks. moms) |
| Multimeter | CHY 17 | 76-044-40 | 464,00 | 1 stk/pris (eks. moms) |
| Trimnepotmeter | | 64-634-34 | 18,50 | 25 stk/pris (eks. moms) |
| Bananstikk u/led. | rød | 40-226-20 | 11.30 | 10 stk/pris (eks. moms) |
| Bananstikk u/led. | blå | 40-226-61 | 11.30 | 10 stk/pris (eks. moms) |

Også **KPT** selger også billige og gode multimeterer:

| | | | | |
|------------|--------|-------|-------|-----------------------|
| Multimeter | DVM891 | 46880 | 250,- | 1 stk/pris (eks moms) |
|------------|--------|-------|-------|-----------------------|

C.5 Innkjøp av komponenter til målebro for strekklapper

Tabellen under viser en oversikt over komponenter brukt i byggesettet. Prisene er stort sett priser ved kjøp av 10 eller 100 stk. (priser 2008)

| Komponent | Ant. | Betegnelse | Type | Leverandør | Best. nr. | Pris i ant. | Pris |
|----------------------|------|-------------|-----------------------|------------|-----------|-------------|--------|
| Kretskort | 1 | - | - | EL-print | | 20 | 132,00 |
| Voltmeter | 1 | LCD-Display | LASCAR EMV1025S-01 | RS-Norge | 419-9356 | 1 | 235,75 |
| Spenningsregulator | 1 | IC1 | LM7805/5V | ELFA | 73-262-75 | 10 | 9,68 |
| Operasjonsforsterker | 1 | U1 | TS924IN | ELFA | 73-458-46 | 10 | 18,90 |
| Motstand | 1 | R11 | 27 k Ω | ELFA | 60-106-64 | 100 | 0,52 |
| Motstand | 1 | R12 | 68 k Ω | ELFA | 60-107-14 | 100 | 0,52 |
| Motstand | 1 | R21 | 8,2 k Ω | ELFA | 60-106-07 | 100 | 0,52 |
| Motstand | 1 | R31 | 30,0 k Ω | ELFA | 60-705-28 | 100 | 1,05 |
| Motstand | 1 | R41 | 4,7 k Ω | ELFA | 60-105-73 | 100 | 0,52 |
| Trim potensiometer | 1 | R42 | 2 k Ω | ELFA | 64-634-59 | 25 | 17,80 |
| Trim potensiometer | 1 | R43 | 100 Ω | ELFA | 64-634-18 | 25 | 17,80 |
| Motstand | 1 | R44 | 4,7 k Ω | ELFA | 60-105-73 | 100 | 0,52 |
| Motstand | 1 | R61 | 4,7 k Ω | ELFA | 60-105-73 | 100 | 0,52 |
| Trim potensiometer | 1 | R62 | 50 k Ω | ELFA | 64-634-91 | 25 | 17,80 |
| Trim potensiometer | 1 | R63 | 1 k Ω | ELFA | 64-634-42 | 25 | 17,80 |
| Motstand | 1 | R64 | 1 k Ω | ELFA | 60-104-90 | 100 | 0,52 |
| Motstand | 1 | R71 | 18 k Ω | ELFA | 60-702-70 | 100 | 1,05 |
| Motstand | 1 | R72 | 2 k Ω | ELFA | 60-760-79 | 100 | 1,05 |



| Komponent | Ant. | Betegnelse | Type | Leverandør | Best. nr. | Pris i ant. | Pris |
|-----------------------|------|------------------|-----------------|------------|-----------|-------------|--------|
| Lysdiode | 1 | LED1 | EL484/Grønn/3mm | ELFA | 75-048-71 | 100 | 0,96 |
| Dombryter | 1 | S2_CAL | B3D-5112 | Farnell | 87-744-71 | 100 | 2,55 |
| Glidevender | 1 | S1_Power | EAO, 1K2 | ELFA | 35-365-21 | 10 | 13,10 |
| Polskrue | 2 | X1/X5 | Rød | ELFA | 40-735-24 | 10 | 41,60 |
| Polskrue | 2 | X2/X6 | Blå | ELFA | 40-735-65 | 10 | 41,60 |
| Polskrue | 1 | X3 | Gul | ELFA | 40-735-40 | 10 | 20,80 |
| Polskrue | 1 | X4 | Grønn | ELFA | 40-735-57 | 10 | 20,80 |
| | | | | | | | |
| Batteriholder | 1 | 1294 PC-montasje | - | ELFA | 69-135-29 | 69-135-29 | 15,70 |
| Maskinskruer m/mutter | 4 | - | | - | - | - | - |
| Totalt (eks moms) | | | | | | | 631,43 |

Aktuelle firma har følgende nettadresser:

ELFA - www.elfa.se

RS Norge - www.rsonline.no

Clas Ohlson - www.clasohlson.no

Strekklapper av typen: WFLA-3-11-3L, Ved kjøp av 10 er prisen kr.118,- +MOMS pr. stk

Forhandles av:

NFM Caseb P.B. 2742 Solli 0204 Oslo,

e-post: info@caseb.no

Tlf: 22 12 46 00

Faks: 22 12 46 05



C.6 Kjøp av ledende lim

Ledende lim kan kjøpes hos ELFA. 14 gr. for kr. 377,- +MOMS (pr. 10.08.10)

Elektrisk ledende lim 2400



Fabri Circuit Works

Tvåkomponents epoxilim fylt med silver, vilket gör att de elektrisk ledande egenskaperna är mycket goda. Mycket lämpligt vid reparation av kretskort. Limmet ger en ledande förbindning på 3-5 minuter och är fullt uthärdat efter ca 24 timmar i rumstemperatur. Fäster bra mot de flesta material, dock ej mot "feta" plaster.

Temperaturområde: -55 till +100 °C

Värmeledningsförmåga: 1,6 W/m×°C

Volymresistivitet: 0,001 Ω/cm

| | Förpackning | Artikel- nummer | Pris per styck | |
|---|---|---|----------------|--------|
| | | | 1- | 12- |
| 1 |  7 g | 80-867-12   | 349.00 | 318.00 |

www.elfa.se - produktnummer 80-867-12

C.7 Innkjøp av lysfølsom motstand (LDR) og Høy-Ohmig ørepropp

ELFA har sluttet å føre slik de seneste årene. De kan imidlertid skaffes fra en særdeles billig leverandør: Elektrokit: <http://www.electrokit.se>

LDR

LDR 18 - 50 kΩ - Art. nr. 40850005 - Stk. pris ved kjøp av 10 - SEK 6.00 inkl. MOMS

LDR 2 - 5 kΩ - Art. nr. 40850001 - Stk. pris ved kjøp av 10 - SEK 6.00 inkl. MOMS

Høy-Ohmige ørepropper (20 MΩ)

Keramisk ørepropp med plugg 3,5 mm - Art. nr. 41002976 - stk. pris SEK 39,- inkl. MOMS

Keramisk ørepropp uten plugg - Art. nr. 41002977 - stk. pris SEK 39,- inkl. MOMS

Ellers har dette firmaet stort utvalg i særdeles billige komponenter. Er imidlertid usikker på kvaliteten.

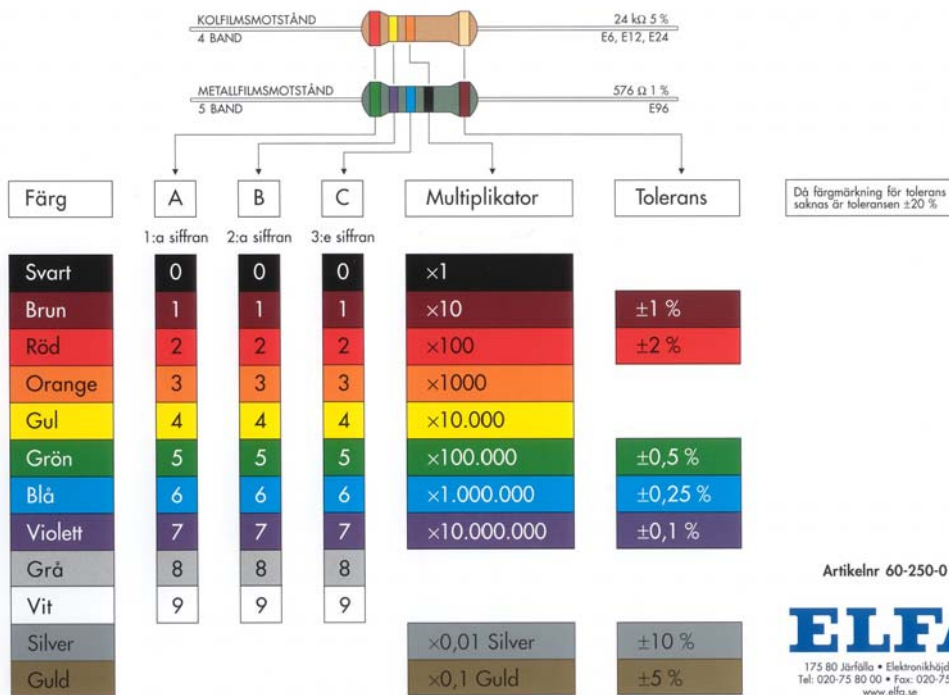




Vedlegg D Fargekoding av motstander

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.

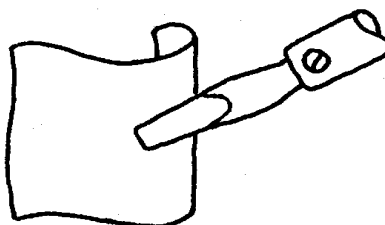


Vedlegg E Loddekurs

Før vi lodder fast komponentene kan det være greit å se litt på hvordan vi utfører en god lodding. Dersom loddingene ikke blir gode nok, kan vi lett risikere at ingenting virker som det skal.

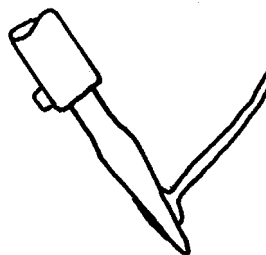
1.

Figur 1 Se til at loddebolten er ren for loddeslagg. Tørk av spissen med en fuktig klut mens den er varm.



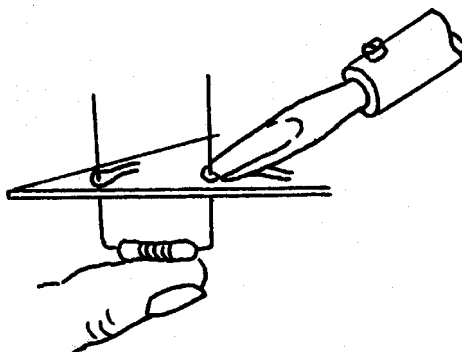
2.

Figur 2 Etter at loddebolten er rengjort, fortinnes begge sider med litt tinn.



3.

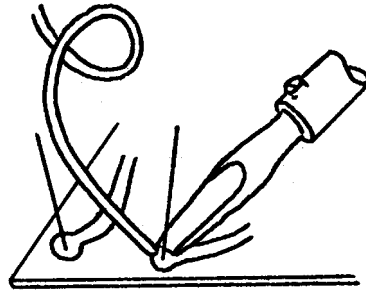
Figur 3 Monter komponenten og varm opp loddestedet og beina på komponenten samtidig.





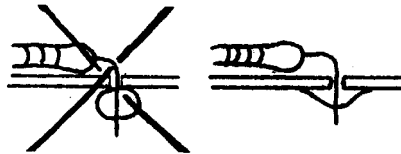
4.

Figur 4 Tilfør loddetinn der loddebolten berører kobberbanen og beinet på komponenten slik at det smelter utover. Ikke varm for lenge.



5.

Figur 5 Se til at loddingen ikke er en kaldlodding. For at loddingen skal være god, bør loddetinnet ha flytt utover.



Etter at komponentene er loddet fast, kan bena som er for lange klippes av inntil loddingen med en avbitertang.





Vedlegg F Bruk av multimeter

Når vi skal undersøke elektriske kretser og komponenter, vil vi få behov for å bruke måleinstrumenter for elektriske størrelser. Til vårt formål er multimeteret et egnet måleinstrument. Vi vil beskrive modell CHY 17 som levers av bl.a. ELFA.

F.1 CHY 17

F.1.1 Måling av elektriske størrelser

Som det framgår av navnet multimeter, så er dette et måleinstrument med flere funksjoner. Med et multimeter kan vi måle både spenning, strøm og motstand. I tillegg kan vi med dette multimeteret måle strømforsterkningen i transistorer og sjekke at dioder er i orden. Vi kan også måle kapasitans og frekvens opp til 15MHz.

1. Gummibeskyttelse
2. 3 1/2 siffer utlesningsvindu
3. Av/På-bryter
4. Område for måling av strøm
5. Måling av strømforsterkning i transistorer
6. Område for måling av resistans
7. Funksjonsvelger
8. Testsokkel for transistorer
9. Tilkoblingsterminaler
10. Testsokkel for kapasiteter
11. Posisjon for måling av dioder
12. Område for måling av kapasitet
13. Område for måling av spenning
14. AC/DC -
valg av like- og vekselspenning/strøm
15. Område for måling av frekvens

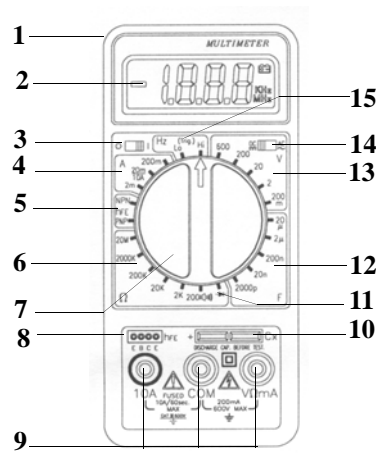


Figure F.1 Multimeteret Modell CHY 17

Dette måleinstrumentet har ikke automatisk av-funksjon. **Husk derfor å slå av instrumentet etter bruk.**



I alt er det tre tilkoblingsterminaler og det følger to målepinner (rød og sort ledning) med instrumentet.

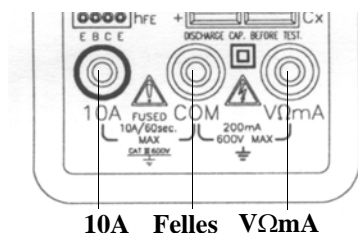


Figure F.2 De tre tilkoblingsterminalene

Terminalen i midten bærer navnet **Felles** (COM), den svarte ledningen skal alltid stå tilkoblet denne terminalen. Terminalen til høyre bærer navnet **VΩmA**. Den røde ledningen skal tilkobles denne terminalen når vi skal måle like- og vekselspenning (V), resistans (Ω) og like- og vekselstrøm (mA).

Vi vil beskrive i detalj hvordan vi skal gå fram for å gjøre målinger av spenning, strøm og resistans.

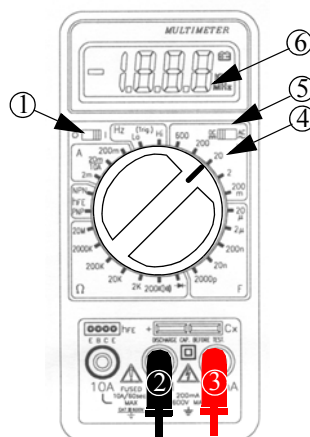
Legg merke til at vi bør anslå verdien til det vi skal måle slik at vi kan stille funksjonsvelgeren til riktig måleområde og innstilling. Hvis vi ikke har grunnlag for å anslå en forventet verdi, bruker vi det groveste måleområdet. Om vi bommer på innstillingen skjer ikke noe annet enn at vi må endre innstilling. Vi bør imidlertid unngå å stille instrumentet i strømmåling når vi egentlig har til hensikt å måle spenning. Gjør vi denne feilen, vil i verste fall sikringen i instrumentet gå.

F.1.2 Måling av likespenning

Likespenningsfunksjonen er oppe til høyre og har fem måleområder: 200 mV, 2000 mV, 20 V, 200 V og 600 V (mV står for milliVolt).

Når vi skal måle **likespenning** går vi fram på følgende måte:

1. Slå på måleinstrumentet.
2. Koble den sorte målepinnen til **Felles** (COM).
3. Koble den røde målepinnen til **VΩmA**.
4. Sett funksjonsvelgeren til riktig funksjon og måleområde, f.eks. 20 V (oppe til høyre).
5. Sett DC/AC-bryteren i posisjon DC (*Direct Current*) - likespenning.
6. Forbind målepinnene til målestedene og les av verdien i utlesningsvinduet.





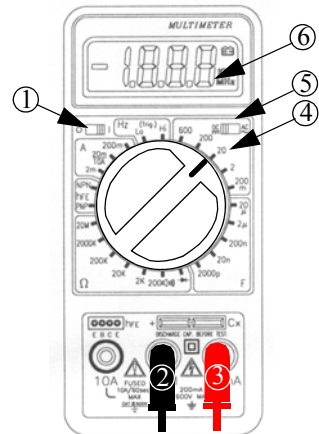
Utlesegningsvinduet vil nå vise resultatet av målingen. Det har 3 1/2 siffer, dvs. at det første sifferet lengst til venstre bare kan ha verdiene 0 og 1. Dette er nok dersom området kun strekker seg opp til f.eks. 20 V. Dersom spenningen overskrider denne verdien må vi velge neste område som er 200 V. Instrumentet kan ikke måle høyere likespenninger enn 600 V.

F.1.3 Måling av vekselspanning

Måleprosedyren for måling av vekselspanning er den samme som for likespenning med unntak av at vi setter DC/AC-bryteren i posisjon AC (Alternating Current) - vekselspanning.

Vi går da frem på følgende måte:

1. Slå på måleinstrumentet.
2. Koble den sorte målepinnen til **Felles (COM)**.
3. Koble den røde målepinnen til **VΩmA**.
4. Sett funksjonsvelgeren til riktig funksjon og spenningsområde, f.eks. 20 V (oppe til høyre).
5. Sett DC/AC-bryteren i posisjon AC (*Alternating Current*) - vekselspanning.
6. Forbind målepinnene til målestedene og les av verdien i utlesningsvinduet.



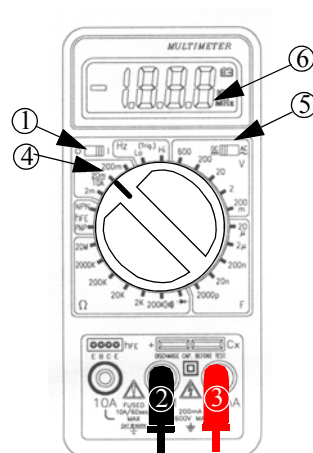
Utlesegningsvinduet vil nå vise resultatet av målingen. Det har 3 1/2 siffer, dvs. at det første sifferet lengst til venstre kan ha verdiene 0 og 1. Dette er nok dersom området kun strekker seg opp til f.eks. 200 V. Dersom spenningen overskrider denne verdien må vi velge neste område som er 600 V. Høyere vekselspanninger enn 600 V kan ikke måles med dette instrumentet.

F.1.4 Måling av likestrøm

Likestrømsfunksjonen er oppe til venstre og har fire måleområder: 2000 μ A (milliontedels Ampère), 20 mA, 200 mA og 10 A.

Når vi skal måle likestrøm opp til f.eks. 20 mA går vi fram på følgende måte:

1. Slå på måleinstrumentet.
2. Koble den sorte målepinnen til **Felles (COM)**.
3. Koble den røde målepinnen til **VΩmA**.
4. Sett funksjonsvelgeren til riktig måleområde, f.eks. 20mA (oppe til venstre).
5. Sett DC/AC-bryteren i posisjon DC (*Direct Current*) - likestrøm.
6. Forbind målepinnene til målestedene og les av verdien i utlesningsvinduet.



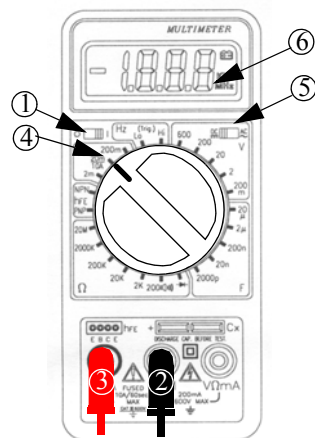


Utlønningsvinduet vil nå vise resultatet av målingen. Det har 3 1/2 siffer, dvs. at det første sifferet lengst til venstre bare kan ha verdiene 0 og 1. Dette er nok dersom området kun måler opp til f.eks. 20mA. Dersom strømmen overskrider denne verdien vil utlønningsvinduet vise O.L (Overload), og vi må en velge neste område som er 200mA. I denne stillingen kan vi ikke måle større strømmer enn 200mA.

Ønsker vi derimot å måle større likestrømmer må vi gå fram på følgende måte:

1. Slå på måleinstrumentet.
2. Koble den sorte ledningen til **Felles (COM)**.
3. **Koble den røde ledningen til 10A.**
4. Sett funksjonsvelgeren til måleområdet 10 A (oppe til venstre, samme posisjon som 20 mA).
5. Sett DC/AC-bryteren i posisjon DC (*Direct Current*) - likestrøm.
6. Forbind målepinnene til målestedene og les av på displayet.

Utlønningsvinduet vil nå vise resultatet av målingen. Dersom strømmen overskrider 10A vil sikringen i instrumentet gå og må skiftes.



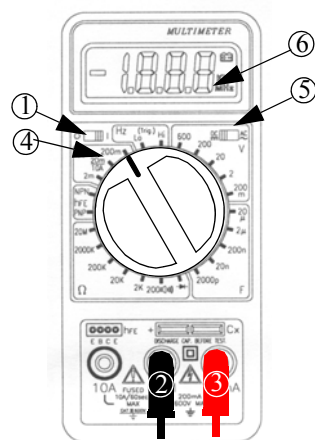
F.1.5 Måling av vekselstrøm

Vekselstrømsfunksjonen er oppe til venstre og har fire måleområder: 2000 μ A, 20 mA, 200 mA og 10 A.

Når vi skal måle likestrømmer opp til f.eks. 200 mA går vi fram på følgende måte:

1. Slå på måleinstrumentet.
2. Koble den sorte målepinnen til **Felles (COM)**.
3. Koble den røde målepinnen til **V Ω mA**.
4. Sett funksjonsvelgeren til riktig funksjon og måleområde, f.eks. 200 mA (oppe til venstre).
5. Sett DC/AC-bryteren i posisjon AC (*Alternating Current*) - vekselstrøm.
6. Forbind målepinnene til målestedene og les av verdien i utlønningsvinduet.

I denne stillingen kan vi ikke måle større strømmer enn 200 mA. Om utlønningsvinduet viser O.L betyr dette "Overload" og vi må sette funksjonsvelgeren til et høyere måleområde.

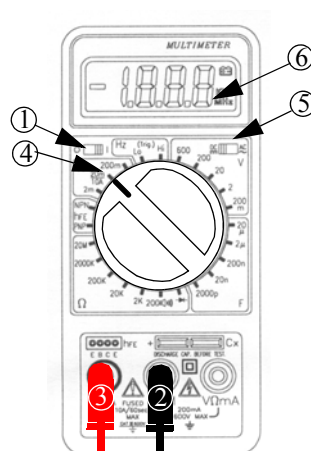




Ønsker vi derimot å måle større vekselstrømmer må vi gå fram på følgende måte:

1. Slå på måleinstrumentet
2. Koble den sorte ledningen til **Felles** (COM).
3. Koble den røde ledningen til **10 A**.
4. Sett funksjonsvelgeren 10 A (oppe til venstre, samme posisjon som 20 mA).
5. Sett DC/AC-bryteren i posisjon AC (*Alternating Current*) - vekselstrøm.
6. Forbind målepinnene til målestedene og les av på displayet.

Utleesningsvinduet vil nå vise resultatet av målingen. Dersom strømmen overskrider 10 A vil sikringen i instrumentet gå og må skiftes.



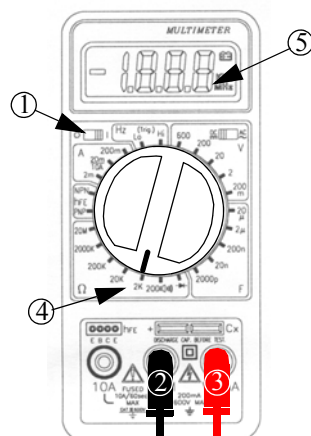
F.1.6 Måling av resistans

Funksjonsområdet for resistans er nede til venstre og har seks måleområder: 200 Ω , 2 k Ω , 20 k Ω , 200 k Ω , 2000 k Ω og 20 M Ω

Når vi skal måle resistansen i en motstand på f.eks. 1k Ω går vi fram på følgende måte:

1. Slå på måleinstrumentet
2. Koble den sorte målepinnen til **Felles** (COM).
3. Koble den røde målepinnen til **V Ω mA**.
4. Sett funksjonsvelgeren til riktig funksjon og måleområde, f.eks. 2 k Ω (nede til høyre).
5. Forbind målepinnene til målestedene og les av verdien i utlesningsvinduet.

Utleesningsvinduet vil nå vise resultatet av målingen. Det har 3 1/2 siffer, dvs. at det første sifferet lengst til venstre kan bare ha verdiene 0 og 1. Dette er nok dersom området kun måler opp til f.eks. 2 k Ω . Dersom resistansen overskrider denne verdien, må vi velge neste område som er 20 k Ω . Med dette multimeteret kan vi ikke måle større resistanser enn 20 M Ω . Om utlesningsvinduet viser O.L betyr dette "Overload" og en må sette funksjonsvelgeren til et høyere område.





F.1.7 Måling av transistorer og dioder

Som omtalt tidligere i dette heftet har NPN- og PNP-transistorer en strømforsterkning, som ofte kalles h_{FE} . De transistorene vi bruker (BC547C) har en typisk strømforsterkning på mellom 250 - 450. Dersom denne faktoren er mye lavere, er det rimelig å anta at transistoren er skadet.

Når vi skal måle strømforsterkningen, h_{FE} , i en transistor går vi fram på følgende måte:

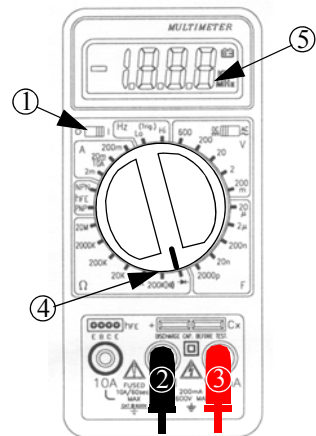
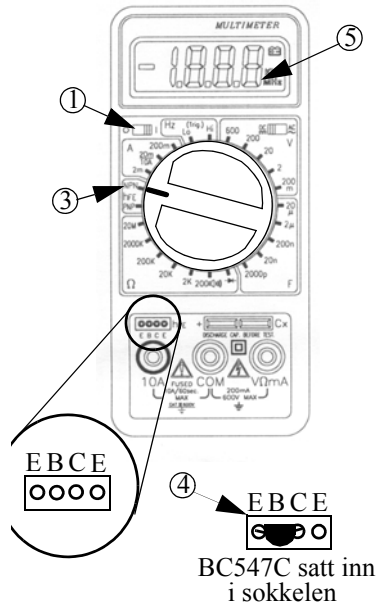
1. Slå på måleinstrumentet.
2. Bestem om transistoren er en PNP- eller en NPN-transistor og finn ut hvilke ben som er emitter (E), base (B) og collector (C). BC547C er en NPN-transistor. Normalt vil en gå inn i databladet for transistoren for å finne ut av dette.
3. Sett funksjonsvelgeren til riktig funksjon, h_{FE} , opp til høyre.
4. Stikk transistorens ben inn i sokkelen som vist nederst på bildet til høyre. Sørg for at de tre beina kommer i riktig hull.
5. Les av forsterkningen i utlesningsvinduet.

I dette tilfellet trenger vi ikke målepinnene.

Dersom vi ønsker å sjekke om en diode er i orden eller er ødelagt, går vi fram på følgende måte:

1. Slå på måleinstrumentet.
2. Koble den sorte ledningen til **Felles** (COM).
3. Koble den røde ledningen til **VΩmA**.
4. Sette multimeteret i posisjon \rightarrow ..
5. Forbind målepinnene til hvert av beina på dioden. Først den ene veien, deretter byttes pinnene om, og en måler den andre veien.

Instrumentet gir fra seg en pipelyd dersom dioden kobles i lederetning, mens det gir ingen lyd når den kobles i sperreledning. En diode oppfører seg derfor korrekt dersom instrumentet piper når målepinnene er koblet den ene veien, men er taust når målepinnen kobles den andre veien. Alt annet indikerer at det er noe galt med dioden. En lysdiode kan testes på samme måte.





F.1.8 Måling av kapasitans

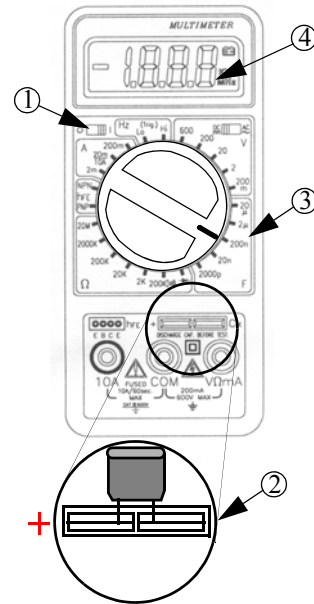
Dette multimeteret gir også mulighet til å måle kapasitans.

Målefunksjonen for kapasitans er nede til venstre og har fem måleområder: 2000pF, 20nF, 200nF, 2μF og 20μF. Farad (F) er en meget stor måleenhet og *p* står for *piko* og er en multiplikasjonsfaktor lik 10^{-12} . *n* står for *nano* og er en multiplikasjonsfaktor lik 10^{-9} , mens μ står for mikro og er en multiplikasjonsfaktor 10^{-6} .

Når vi skal måle kapasitansen i en kondensator (kapasitet) på f.eks. 100nF, går vi fram på følgende måte:

1. Slå på måleinstrumentet.
2. Stikk beina på kondensatoren ned i de to spaltene ned til høyre. Noen kapasiteter er polare og har en pluss- og en minus-side. Vi må da passe på at pluss-siden av kondensatoren stikkes ned i spalten merket +. Press gjerne kondensatorbeina til siden slik at det oppnås god kontakt.
3. Sett funksjonsvelgeren til riktig funksjon og måleområde, f.eks. 200nF (nede til høyre).
4. Les av verdien i utlesningsvinduet.

Utlesningsvinduet vil nå vise resultatet av målingen. Om utlesningsvinduet viser O.L betyr dette "Overload" og vi må sette funksjonsvelgeren til et høyere måleområde.



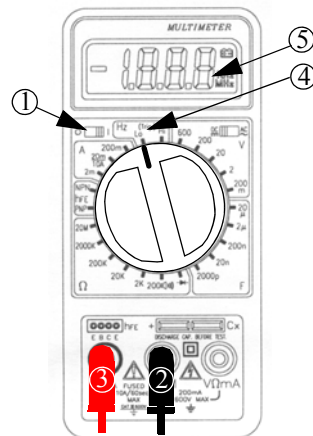
F.1.9 Måling av frekvens

Funksjonsområdet for frekvens er øverst og har to måleområder: Lav frekvens (Lo) og høy frekvens (Hi). De to måleområdene strekker seg fra 10Hz (10 svingninger i sekundet) og opp til 15Mhz (15 millioner svingninger i sekundet).

Når vi f.eks. skal måle frekvens på spenningen i stikk-kontakten, går vi fram på følgende måte:

1. Slå på måleinstrumentet.
2. Koble den sorte målepinnen til **Felles** (COM).
3. Koble den røde målepinnen til **VΩmA**.
4. Sett funksjonsvelgeren til lavt eller høyt frekvensområde, f.eks. Lavt (Lo).
5. Forbind målepinnene til målestedene og les av på utlesningsvinduet.

Utlesningsvinduet vil nå vise resultatet av målingen. Med dette instrumentet kan vi måle frekvensen på spenninger opp til 500 V.







Vedlegg G Datablader

G.1 Transistoren BC547C

ON Semiconductor™



Amplifier Transistors NPN Silicon

MAXIMUM RATINGS

| Rating | Symbol | BC546 | BC547 | BC548 | Unit |
|--|----------------|-------------|-------|-------|-------|
| Collector-Emitter Voltage | V_{CE0} | 65 | 45 | 30 | Vdc |
| Collector-Base Voltage | V_{CBO} | 80 | 50 | 30 | Vdc |
| Emitter-Base Voltage | V_{EBO} | 6.0 | | | Vdc |
| Collector Current — Continuous | I_C | 100 | | | mAdc |
| Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C | P_D | 625 | | | mW |
| | | 5.0 | | | mW/°C |
| Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C | P_D | 1.5 | | | Watt |
| | | 12 | | | mW/°C |
| Operating and Storage Junction Temperature Range | T_J, T_{stg} | -55 to +150 | | | °C |

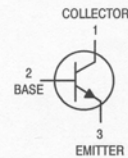
THERMAL CHARACTERISTICS

| Characteristic | Symbol | Max | Unit |
|---|-----------------|------|------|
| Thermal Resistance, Junction to Ambient | $R_{\theta JA}$ | 200 | °C/W |
| Thermal Resistance, Junction to Case | $R_{\theta JC}$ | 83.3 | °C/W |

BC546
BC546B
BC547A
BC547B
BC547C
BC548B
BC548C



CASE 29-04, STYLE 17
TO-92 (TO-226AA)



ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

| Characteristic | Symbol | Min | Typ | Max | Unit | |
|---|---------------|---------------|-----|-----|------|---------------|
| OFF CHARACTERISTICS | | | | | | |
| Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 1.0\text{ mA}, I_B = 0$) | BC546 | $V_{(BR)CEO}$ | 65 | — | — | V |
| | BC547 | | 45 | — | — | |
| | BC548 | | 30 | — | — | |
| Collector-Base Breakdown Voltage ($I_C = 100\ \mu\text{Adc}$) | BC546 | $V_{(BR)CBO}$ | 80 | — | — | V |
| | BC547 | | 50 | — | — | |
| | BC548 | | 30 | — | — | |
| Emitter-Base Breakdown Voltage ($I_E = 10\ \mu\text{A}, I_C = 0$) | BC546 | $V_{(BR)EBO}$ | 6.0 | — | — | V |
| | BC547 | | 6.0 | — | — | |
| | BC548 | | 6.0 | — | — | |
| Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 70\text{ V}, V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = 50\text{ V}, V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = 35\text{ V}, V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = 30\text{ V}, T_A = 125^\circ\text{C}$) | BC546 | I_{CES} | — | 0.2 | 15 | nA |
| | BC547 | | — | 0.2 | 15 | |
| | BC548 | | — | 0.2 | 15 | |
| | BC546/547/548 | | — | — | 4.0 | μA |



BC546 BC546B BC547A BC547B BC547C BC548B BC548C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted) (Continued)

| Characteristic | Symbol | Min | Typ | Max | Unit |
|--|-------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|------|
| ON CHARACTERISTICS | | | | | |
| DC Current Gain ($I_C = 10\ \mu\text{A}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$) | BC547A | — | 90 | — | — |
| | BC546B/547B/548B | — | 150 | — | — |
| | BC548C | — | 270 | — | — |
| (I _C = 2.0 mA, V _{CE} = 5.0 V) | BC546 | 110 | — | 450 | — |
| | BC547 | 110 | — | 800 | — |
| | BC548 | 110 | — | 800 | — |
| | BC547A | 110 | 180 | 220 | — |
| | BC546B/547B/548B | 200 | 290 | 450 | — |
| | BC547C/BC548C | 420 | 520 | 800 | — |
| (I _C = 100 mA, V _{CE} = 5.0 V) | BC547A/548A | — | 120 | — | — |
| | BC546B/547B/548B | — | 180 | — | — |
| | BC548C | — | 300 | — | — |
| Collector–Emitter Saturation Voltage (I _C = 10 mA, I _B = 0.5 mA) (I _C = 100 mA, I _B = 5.0 mA) (I _C = 10 mA, I _B = See Note 1) | V _{CE(sat)} | — | 0.09 0.2 0.3 | 0.25 0.6 0.6 | V |
| Base–Emitter Saturation Voltage (I _C = 10 mA, I _B = 0.5 mA) | V _{BE(sat)} | — | 0.7 | — | V |
| Base–Emitter On Voltage (I _C = 2.0 mA, V _{CE} = 5.0 V) (I _C = 10 mA, V _{CE} = 5.0 V) | V _{BE(on)} | 0.55 — | — — | 0.7 0.77 | V |
| SMALL–SIGNAL CHARACTERISTICS | | | | | |
| Current–Gain — Bandwidth Product (I _C = 10 mA, V _{CE} = 5.0 V, f = 100 MHz) | BC546 BC547 BC548 | 150 150 150 | 300 300 300 | — — — | MHz |
| Output Capacitance (V _{CB} = 10 V, I _C = 0, f = 1.0 MHz) | C _{obo} | — | 1.7 | 4.5 | pF |
| Input Capacitance (V _{EB} = 0.5 V, I _C = 0, f = 1.0 MHz) | C _{ibo} | — | 10 | — | pF |
| Small–Signal Current Gain (I _C = 2.0 mA, V _{CE} = 5.0 V, f = 1.0 kHz) | BC546 | 125 | — | 500 | — |
| | BC547/548 | 125 | — | 900 | — |
| | BC547A | 125 | 220 | 260 | — |
| | BC546B/547B/548B | 240 | 330 | 500 | — |
| | BC547C/548C | 450 | 600 | 900 | — |
| | BC548 | — | — | — | — |
| Noise Figure (I _C = 0.2 mA, V _{CE} = 5.0 V, R _S = 2 k Ω , f = 1.0 kHz, Δf = 200 Hz) | BC546 BC547 BC548 | — — — | 2.0 2.0 2.0 | 10 10 10 | dB |

Note 1: I_B is value for which I_C = 11 mA at V_{CE} = 1.0 V.

Figure 1.



BC546 BC546B BC547A BC547B BC547C BC548B BC548C

BC547/BC548

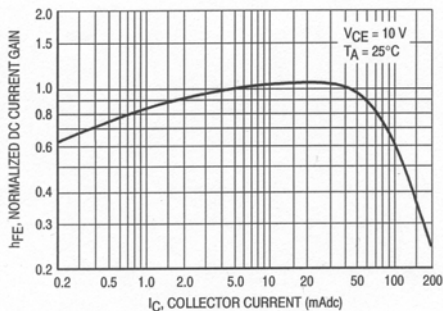


Figure 1. Normalized DC Current Gain

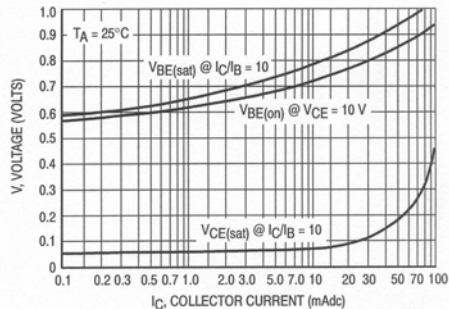


Figure 2. "Saturation" and "On" Voltages

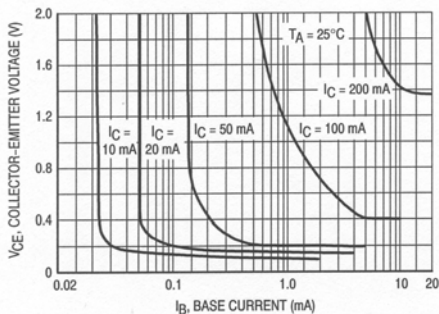


Figure 3. Collector Saturation Region

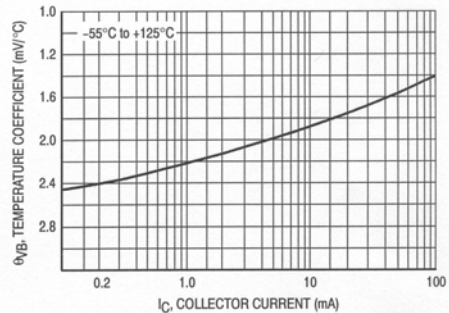


Figure 4. Base-Emitter Temperature Coefficient

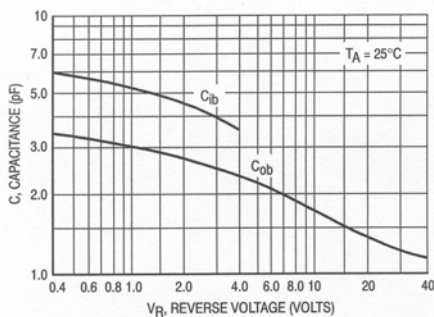


Figure 5. Capacitances

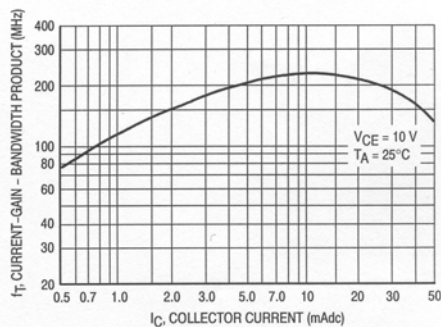


Figure 6. Current-Gain - Bandwidth Product



G.2 Datablad strekkapper

Strekkapper av typen: WFLA-3-11-3L, Pris av kr. 118,- + MOMS for 10 stk

| | |
|---|------------------------------|
| TYPE WFLA-3-11-3L | |
| LOT NO. A510511 | GAUGE LENGTH 3 mm |
| GAUGE FACTOR 2.14 ± 1 % | |
| GAUGE RESISTANCE 120.8 \pm 0.5 Ω | QUANTITY 10 |
| TEMP. COMPENSATION FOR 11 $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ | TEST CONDITION 23°C 50%RH |
| TRANSVERSE SENSITIVITY 0.0 % | BATCH NO. AF12K |
| LEAD WIRES 7/0.12 3m | |

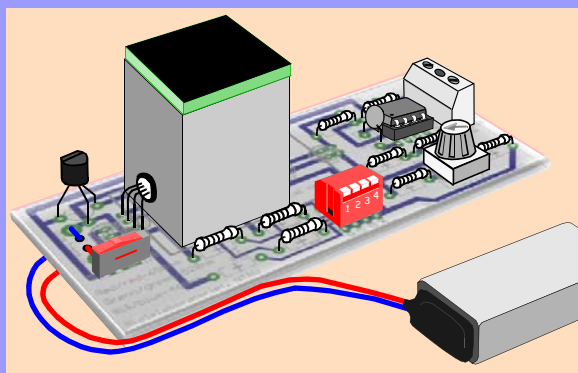
Forhandles av:
NFM Caseb P.B. 2742 Solli 0204 Oslo,
e-post: info@caseb.no
Tlf: 22 12 46 00
Faks: 22 12 46 05











Heftet gir en innføring i grunnleggende elektronikk og sensorteknologi. Ved siden av å beskrive sensorer som vi finner i hjemmet og eller i samfunnet, beskrives noen sensorer bruk i forbindelse oppskyting av studentraketter og ballongslipp ved NARUM på Andøya. Det legges også vekt på å kombinere bruken av simulatorer og arbeid på lab. I den forbindelse er det gitt en kortfattet innføring i simuleringsprogrammet Yenka Technology.

Heftet er primært rettet mot lærere i videregående skole som skal arbeide med faget Teknologi og Forskningslære.

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

NTNU

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>