

SL serien

*Nils Kristian Rossing
Thorarinn Stefansson
Berit Bungum*

ELEKTRONIKK FOR SKOLEN



NTNU



Trondheim

**Program for
lærerutdanning**

Skolelaboratoriet
for matematikk, naturfag
og teknologi

NR. 2
Des. 2003

Tidligere utgitt i SL-serien:

*Nr. 1, aug. 2003: Jan Ove Rein: **Hold og stell av vandrende pinner***

ELEKTRONIKK FOR SKOLEN

ISBN 82-7923-026-2

ISSN 1503-9242

Trondheim 2004

Layout og redigering: Nils Kr. Rossing

Redaktør for SL-serien: Torlaug Løkensgard Hoel
Ove Haugaløkken
Sissel Mathiesen

Publikasjoner i skriftserien kan kjøpes
ved henvendelse til:

Program for lærerutdanning (PLU)

NTNU

Låven, Dragvoll Gård

7491 Trondheim

e-post: sissel.kjol.berg@plu.ntnu.no

Telefon: 73 59 19 90

Telefaks: 73 59 10 12

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

Faglige spørsmål rettes til:

**Skolelaboratoriet for matematikk,
naturfag og teknologi (SL)**

NTNU

Realfagbygget, Høgskoleringen 5

7491 Trondheim

Telefon: 73 55 11 42

Telefaks: 73 55 11 40

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

Rev 3.0 - 14.01.2005

Elektronikk for skolen

Hvordan gjøre elektrisitetlære mer spennende

Nils Kr. Rossing
Thorarinn Stefansson
Berit Bungum

Skolelaboratoriet for matematikk, naturfag og teknologi, NTNU

Forord

Læreplanen for fysikk som studieretning for allmenne, økonomiske og administrative fag i videregående opplæring peker på at fysikk utgjør en viktig del av kulturarven. Fysikk og teknikk representerer mye av grunnlaget for vår levestandard, samtidig som naturvitenskapen har hatt stor betydning for vår historiske utvikling og for vår måte å tenke på. Fysikken gir både et grunnlag for det verdensbildet vi har dannet oss, samtidig som fysikken danner et viktig grunnlag for andre fagområder. Teknologi er blant disse. En utfordring for lærere, både i grunnskolen og i videregående opplæring er å presentere faget på en slik måte at elevene får lyst til å lære mer, trenge dypere inn, og få større forståelse for sammenhengene i den teknologiske verden som omgir oss. Skolelaboratoriet ønsker å inspirere til en mer spennende elektronikkundervisning gjennom etterutdanning av lærere. Denne boka er et bidrag i dette arbeidet.

Til slutt en takk til Merete Lysberg ved Skolelaboratoriet som har lest korrektur på denne boka.

Etter kurset i november 2003 ble det gjort noen mindre justeringer og rettinger i innholdet.

Våren 2004 ble det utarbeidet en ny versjon av kretsen for EVINA-prosjektet. For å gjøre det enklere å ta kretsen i bruk i skolen, ble det lagt til rette for at kretsen kunne kobles opp på en pappplate pålagt kobbertape. Dette alternativet er beskrevet i kapittel 14.

Nils Kr. Rossing
Thorarinn Stefansson
Berit Bungum
Desember 2003

Innhold

1 Innledning	11
1.1 Målsettingen med boka	11
1.2 Kurs i grunnleggende elektronikk	11
1.3 Filosofi	12
1.4 Hvorfor lære om elektronikk?	14
2 Motivasjonen	17
2.1 <i>Problemstilling I</i> Går det strøm gjennom kroppen?	17
2.1.1 Strømførsterkeren	18
2.1.2 Serie- og parallellkobling	18
2.1.3 230V er farlig!	20
2.2 <i>Problemstilling II</i> Er det mulig å lage en elektronisk vannlekkasje-detektor?	21
2.3 Hva er egentlig elektrisk strøm?	21
2.4 Øvelser med sluttet krets	22
2.4.1 Den svarte boksen	22
2.4.2 Hvem holder hverandre i hånda?	22
3 Vår første elektroniske krets	25
3.1 Strømførsterkeren	25
3.2 Symbolisering av komponentene	25
3.3 Kretsskjema, strømførsterkeren	28
3.4 Oppbygging av kretsen på koblingsbrett	29
3.5 Utprøving av kretsen	33
4 Kan vi bruke dette i skolen?	35
4.1 Grunnskolen	35
4.2 Videregående skole	36
4.2.1 Naturfag grunnkurs (5t)	36
4.2.2 2FY - VK I videregående skole	36
4.2.3 3FY - VK II videregående skole	37
5 Grunnleggende begreper, en fenomenologisk tilnærming	39
5.1 En atom-modell	39
5.2 Elektrisk strøm og spenning	40
5.3 Det elektriske kraftnettet	44

5.4	Elektrisk energi og effekt	46
5.5	Kirchhoffs lover og sluttet krets	47
6	Grunnleggende komponentkunnskap, en fenomenologisk tilnærming	49
6.1	Resistorer	49
6.2	Dioden	50
6.3	Transistoren	52
6.3.1	Transistoren som bryter	52
6.3.2	Transistoren som forsterker	54
7	Hvilke forståelsesmodeller møter vi hos elevene?	57
8	Grunnleggende begreper, en teoretisk tilnærming	61
8.1	Elektrisk ladning og strøm	61
8.2	Elektrostatisk kraft	61
8.3	Elektrostatisk potensiale og spenning	62
8.4	Mere om feltbegrepet	63
8.5	Ledere, halvledere og isolatorer	64
8.6	Den elektriske kretsen	65
8.7	Den elektriske strømrretningen	67
9	Elektroniske komponenter, en måleteknisk tilnærming	69
9.1	Resistoren	69
9.1.1	Angivelse av resistansen (motstansverdien)	69
9.1.2	Resistorens strøm-spenningskarakteristikk	71
9.1.3	Ohms lov	76
9.1.4	Nettverk med serie- og parallellkobling av resistanser	76
9.1.5	Spenningsdeleren	78
9.2	Lyspæren	79
9.2.1	Lyspærens strøm-spenningskarakteristikk	80
9.3	Dioden	83
9.3.1	Strøm-spenningskarakteristikk for en diode (lysdiode)	84
9.3.2	Typisk datablad for lysdioder	88
9.4	Transistoren	88
9.4.1	Strøm-spenningskarakteristikk for transistoren	89
9.4.2	Datablad for transistoren	93
9.4.3	Anvendelser	93
9.5	Lysfølsomme resistorer (fotomotstand)	94
9.6	Motorer	94

9.7	Batterier	95
10	Slik virker strømforsterkeren	97
11	Hva kan vi bruke kretsen til?	101
11.1	Fuktighetsindikator	101
11.2	Tørkealarm	102
11.3	Lysalarm	103
11.4	Mørkealarm	104
11.5	Stødighetstester	104
12	Simulatoren	107
12.1	Hvorfor skal vi bruke simulator?	107
12.2	Manøvrering i Crocodile Thechnology	107
12.3	Simulering i Crocodile Technology	109
12.4	Vi bygger opp kretsen vår i Crocodile Technology	110
13	Montering og oppkobling av kretsen	113
13.1	Strømforsterkeren monteres på et trykt kretskort	113
13.1.1	Hva er et trykt kretskort?	113
13.1.2	Framstilling av kretskortet til strømforsterkeren	113
13.1.3	Montering av resistorene	115
13.1.4	Loddekurs	117
13.1.5	Montering av batteriklemmer	118
13.1.6	Montering av lysdioden/lydgiver	119
13.1.7	Montering av transistorene	120
13.1.8	Tilkobling til batteriet	120
13.1.9	Feilsøking	120
13.2	Strømforsterkeren montert på papp-plate med kobbertape	121
13.2.1	Monteringsplate, monteringsanvisning og kobbertape	121
13.2.2	Kretsskjema, en-trinns strømforsterker	122
13.2.3	Framstilling av monteringsplata	122
13.2.4	Montering av komponentene	124
13.2.5	To-trinns strømforsterker med lydgiver	128
14	Referanser	135
Vedlegg A	Utdypende komponentkunnskap	137
A.1	Passive komponenter	137
A.2	Aktive komponenter	138

Vedlegg B	Bruk av multimeter	143
B.1	CHY 17	143
B.2	CM2701	150
B.3	Hvordan gjøre målinger med et multimeter?	154
Vedlegg C	Byggekkoffert	157
C.1	Byggekkoffert I	157
C.2	Byggekkoffert II	159
C.3	Målekkoffert	160
C.4	Elektrisitetsskofferten	162
C.5	Bestilling av koffertene	162
Vedlegg D	Strøm i kroppen	163
Vedlegg E	Nedlasting av demo av Crcodille Technology	165
E.1	Installasjon av demo CD som følger med utstyrskofferten:	165
E.2	Nedlasting av demo-versjon via internett	167
E.3	Gratis simuleringsprogram fra Edmark	168
Vedlegg F	Innkjøp av komponenter	169
F.1	ELFA - kjøp av elektroniske komponenter generelt	169
F.2	Komponentliste for innkjøp til strømførsterkeren/fuktighetsindikatoren	169
F.3	Innkjøp av koblingsbrett og måleinstrumenter m.m.	170
Vedlegg G	Datablader	171
G.1	Transistoren BC547B	171
Vedlegg H	Kopieringsmal for kretsutlegg	175
H.1	Mal for trykt kretskort	175
H.2	Mal for monteringsanvisning	176
H.3	Mal for monteringsplate	177
Vedlegg I	Bygg en fuktighetsindikator (elevark)	179

1 Innledning

1.1 Målsettingen med boka

Boka skal gi lærere tilstrekkelig bakgrunnskunnskap til å kunne starte opp og gjennomføre enkle elektronikkprosjekter i klasserommet. Den gir kunnskap om:

- Forklaringsmodeller for strøm, spenning, effekt og energi
- De vanligste misforståelser blant elevene
- Forklaringsmodeller for noen elektroniske komponenter
- Strøm-spenningskarakteristikker
- Koblingsbrett til å lage enkle eksperimentoppkoblinger
- Enkel elektronikksimulator
- Tegning, framstilling, montering og lodding av kretskort
- Leverandører av elektroniske komponenter og byggesett
- Nettsider med datablader og annen relevant informasjon

1.2 Kurs i grunnleggende elektronikk

Boka er også skrevet som kursbok for Skolelaboratoriets kurs i grunnleggende elektronikk. Kurset er lagt opp så praktisk at terskelen for å komme igang i klasserommet med en mindre gruppe skal være overkommelig.

Innledningsvis vil deltagerne bli stilt overfor to problemstillinger:

Kan det gå strøm gjennom kroppen?

Er det mulig å lage en vannlekkasjedetektor?

Gjennom noen enkle eksperimenter kommer de fram til at det går strøm gjennom kroppen, men at den er svært liten når vi bruker et 4,5V batteri. Vi trenger derfor en strømforsterker for å kunne registrere den.

På tilsvarende måte utfordres deltagerne til å foreslå ulike løsninger for å oppdage en vannlekkasje før det er gjort nevneverdig skade. En mulig løsning på dette problemet er å lage en krets som detekterer de meget små strømmene som kan gå gjennom springvann. Også her ser det ut til at oppgaven kan løses ved hjelp av en strømforsterker.

Vi starter derfor kurset med å bygge en strømforsterker før deltagerne har noen kunnskap om elektronikk eller elektroniske komponenter. Bakgrunnen for dette er at de gjennom tett veiledning skal få se at det er mulig å bygge og få en krets til å virke uten særlig store kunnskaper. Deretter håper vi at opplevelsen av å ha lyktes, skal danne grunnlaget for å søke mer kunnskap. Denne kunnskapen skal primært erverves ved å utføre enkle eksperimenter på de enkelte komponentene, for så til slutt å sette sammen kunnskapen til en helhetlig forståelse av den komplette kretsen.

Deretter får deltagerne lov til å bygge opp kretsen i en simulator før kretsen monteres og loddet opp på et kretskort de selv har laget.

Strømførsterkeren, som kan brukes til mange ulike formål, utgjør en rød tråd gjennom hele kurset. Kunnskapen bygges gradvis opp med utgangspunkt i strømførsterkeren og de komponentene som inngår i den. Vi håper at dette etterhvert vil gi deltagerne en betydelig innsikt i komponentenes og kretsens virkemåte. Faglig trygghet er avgjørende for at læreren skal å våge å gjennomføre elektronikkprosjekter av denne typen i klasserommet.

1.3 Filosofi

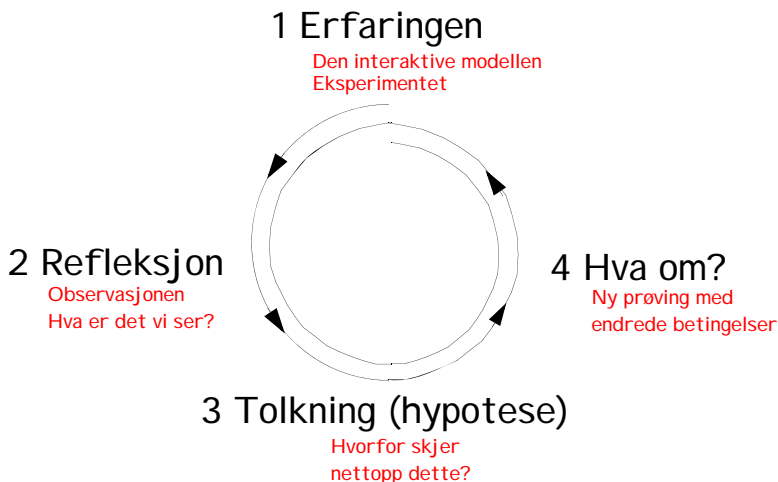
Skolen har tradisjonelt valgt å gi elevene et teoretisk fundament før de får lov til å utføre eksperimenter. I denne aktiviteten skal vi snu litt rundt på dette.

Som barn gjorde vi mange forsøk og eksperimenter. Først og fremst fordi vi var nysgjerrige på å se hva som skjedde og fordi vi syntes det var spennende og gøy å få til ting. På kjøpet skaffet vi oss nyttig erfaringer og bygget opp begrepsapparatet vårt. Noen av oss gjør dette fortsatt.

La oss se på tre metoder for å nærme seg et problem på:

Den erfaringsbaserte læringsmodellen

I den erfaringsbaserte læringsmodellen nærmer elevene seg problemet ved først åskaffe seg en erfaring, ved f.eks. å gjøre et forsøk. Dernest observerer og reflekterer de over det de ser. Refleksjonen bør skje i en mindre gruppe. Dette kan lede til en tolkning eller en hypotese om hva som egentlig skjer. En slik hypotese legger så grunnlaget for nye eksperimenter som kan bekrefte eller avkrefte en mulig hypotese.



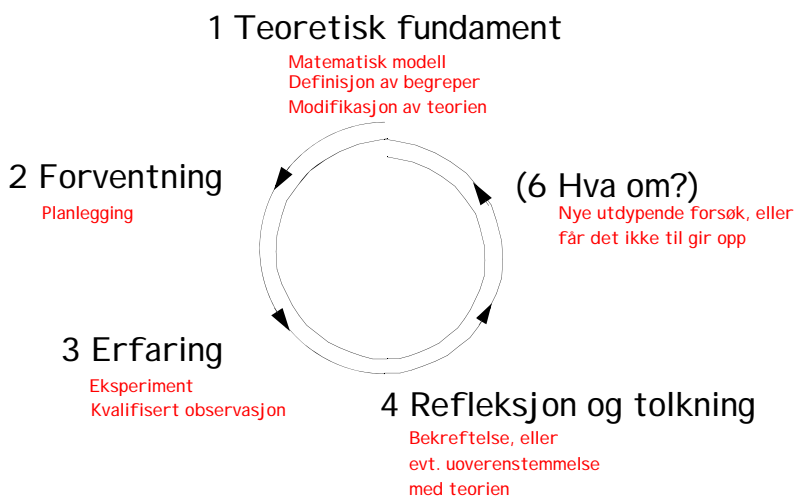
Figur 1 Erfaringsbasert læringsmodell.

Faren med en slik framgangsmåte er at det kan **skapes hverdagsforestillinger**, dvs. sterkt forenklete forklaringsmodeller, som noen ganger harmonerer dårlig med de forklaringsmodeller som naturvitenskapen er kommet fram til. Dessuten **vil ikke observatørene vite hva de skal se etter**,

slik at observasjonen i første omgang ikke blir særlig kvalifisert. Imidlertid vil en slik metode **være motiverende** for elever som i utgangspunktet er lite motivert, og vi kan håpe på at selve forsøket vil være motivasjon nok til at de ønsker å trenge dypere inn i forståelsen.

Den teoribaserte læringsmodellen

En annen variant starter med å legge det teoretiske grunnlaget, for deretter å gjøre et forsøk som kan bekrefte eller avkrefte teorien. Forsøket vil kunne fylle de teoretiske begrepene med meningsfylt konkret innhold. Det er viktig på forhånd å gjøre seg opp en mening om hva en forventer å se, samtidig som en kan være åpen for avvik. En kan evt. i ettertid gå tilbake til teorien for å endre på modellene slik at teori og praksis harmonerer. Det er også naturlig å gjøre flere forsøk under endrede betingelser.



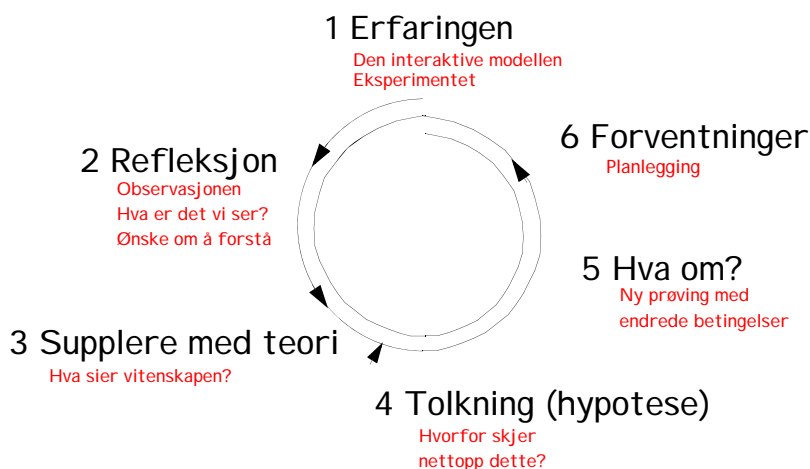
Figur 2 Teoribasert læringsmodell.

En slik framgangsmåte vil **neppe skape hverdagsforestillinger** og en vil ha alle muligheter til å tolke måleresultatene etter som en **vet hva en skal se etter**.

Imidlertid kan elevene få en **følelse av at alt er gjort før**, fasitsvaret er der og de vil enten trekke resultatene i retning av forventede resultater eller rett og slett **gi opp** fordi de ikke får "riktig" svar. Dessuten vil mange kunne falle av under gjennomgangen av teorien fordi de mangler konkrete knagger å henge teorien på. For den teoretisk sterke, vil denne framgangsmåten fungere, men for de som er lite motivert vil den kanskje bare bekrefte hvor kjedelig eller vanskelig dette er.

Den modifiserte erfaringsbaserte læringsmodellen

En kan tenke seg en tredje læringsmodell som tar det beste fra begge de to foregående. For å motivere den umotiverte starter vi med et eksperiment og en erfaring. Gjennom refleksjon over det en har observert skapes et behov for en dypere forståelse. Dette danner grunnlag for supplerende teori som sammen med observasjonen danner grunnlag for en tolkning med påfølgende nye eksperimenter.



Figur 3 Modifisert erfaringsbasert læringsmodell.

Denne modellen vil både kunne ta vare på den umotiverte og den teoretisk sterke. En vil videre skape kvalifiserte forventninger, på bakgrunn av erfaringsmessige og teoretisk baserte refleksjoner.

Denne boka med tilhørende kurs bygger opp formidlingen etter denne tredje modifiserte erfaringsbaserte læringsmodellen.

1.4 Hvorfor lære om elektronikk?

Elektrisitet har gjennom snart 100 år vært en viktig del av vår hverdag. Dette gjenspeiles i de fleste læreverk for grunn- og videregående skole. Elektronikken, som i dag anvendes overalt, er fortsatt omtrent helt fraværende i norsk grunnskole. Det er spesielt innen kommunikasjons- og datateknologien at elektronikken har gjort seg gjeldende. Disse to anvendelsene preger i dag samfunnet vårt totalt og det vil være uriktig om ikke også denne teknologien etter hvert får plass i pensum.

Mange mener at moderne kommunikasjons- og datateknologi er for komplisert til å bringes inn i norsk skole. De mener at det vil kreve alt for mye av både lærere og elever i en allerede overfylt læreplan. Likevel skal det ikke så mye til for å gi en liten flik av grunnleggende forståelse.

Vi håper at denne boka skal vise hvordan en med relativt enkle midler kan:

- gjøre det mulig for elever helt ned i mellomtrinnet å bygge elektroniske kretser som virker uten først å ha inngående teoretiske kunnskaper om emnet
- gi innblikk i viktige deler av dagens teknologi
- skape motivasjon til læring via eksperimentet
- gi den tradisjonelle elektrisitetslæra et løft med utfordringer både til de teoretisk flinke elevene og elever med mer praktiske anlegg

2 Motivasjonen

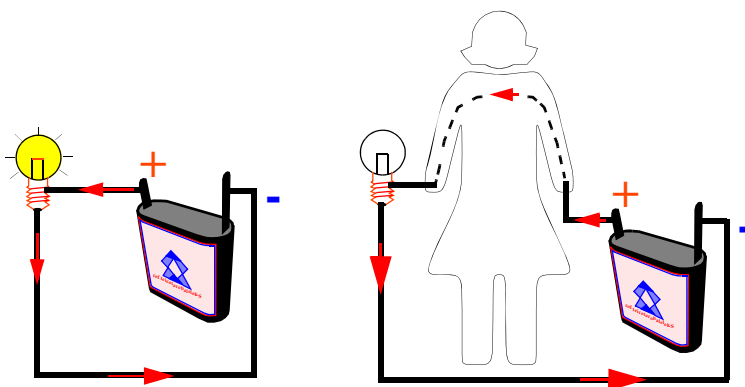
Vi tror det er viktig at elevene blir motivert til å løse en oppgave. En slik motivasjon kan skapes på mange måter. En måte er å sette det de skal gjøre inn i en sammenheng hvor de kan kjenne seg igjen. Vi har foreslått følgende to problemstillinger:

2.1 Problemstilling I

Går det strøm gjennom kroppen¹?

Vi har et batteri, en lyspære og noen ledninger. Dersom vi kobler en ledning fra den ene polen på batteriet til den ene polen på lyspæra, og videre fra den andre polen på lyspæra og tilbake til den andre polen på batteriet, så ser vi at pæra lyser. Strømmen går fra batteriets positive pol (+) gjennom ledningen til lyspæra, gjennom glødetråden inne i pæra og tilbake til batteriets negative pol (-).

Når strømmen passerer glødetråden i lyspæra, varmes den opp slik at den begynner å gløde.



Figur 4 Lyspæra lyser ikke når kroppen blir en del av strømkretsen.

Dersom vi kobler oss selv inn i kretsen, som vist på tegningen til høyre på figur 4, får vi ikke lys i lyspæra. I dette tilfellet må strømmen gå både gjennom kroppen og gjennom glødetråden i lyspæra.

Hva kan dette komme av at vi nå ikke får lys i pæra?

Dette kan ha to årsaker:

1. At kroppen vår ikke leder strøm
2. At kroppen vår kan lede så lite strøm at strømmen som både må passere kroppen vår og glødetråden i lyspæra, ikke er stor nok til at glødetråden begynner å gløde. Sagt på en annen måte: Den elektriske resistansen i kroppen er så stor at strømmen gjennom glødetråden i lyspæra blir for liten til at glødetråden kan gløde.

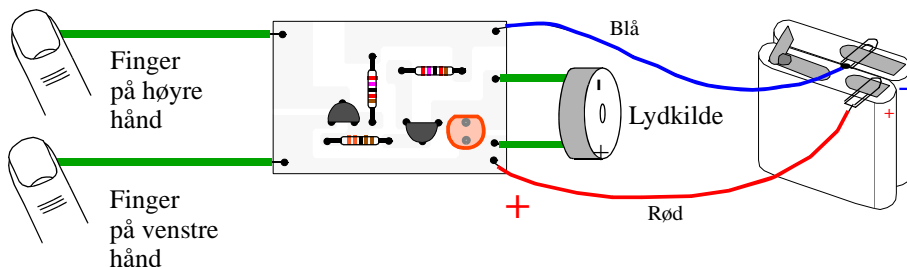
Hvordan skal vi finne hvilken av disse to antagelsene som er den riktige?

1. Om elektrisk resistans i kroppen se vedlegg D.

2.1.1 Strømførsterkeren

En måte å finne ut om et lite batteri kan få strøm til å gå gjennom kroppen, er å bruke en strømførsterker. En strømførsterker vil registrere og forsterke opp svært små strømmer slik at vi er istand til å registrere om det går svake strømmer gjennom kroppen.

Figur 5 viser en liten elektronisk krets som kan forsterke opp en eventuell liten strøm som går gjennom kroppen.

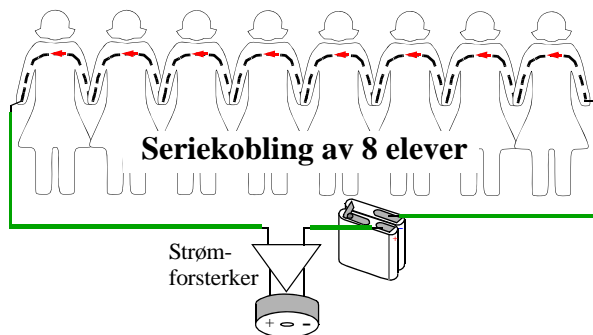


Figur 5 Elektronisk krets som forsterker små strømmer.

Dersom vi berører de to ledningene til venstre, vil kretsen som er monteret på et lite kort, registrere og forsterke opp en eventuell strøm som går fra den ene polen til batteriet gjennom fingrene og kroppen vår til den andre polen på batteriet. Den vesle strømmen vil bli forsterket og vi hører en tone (eller ser et lys), som forteller oss at det faktisk går strøm.

2.1.2 Serie- og parallellkobling

Kretsen er så følsom at vi kan "koble" sammen flere elever og se at det kan gå strøm gjennom en lang kjede av elever.



Figur 6 Seriekobling av åtte elever.

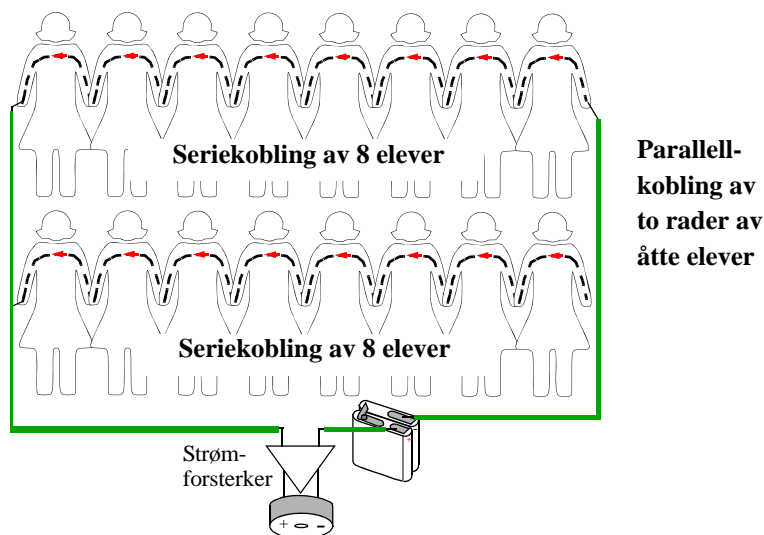
Vi legger merke til at det kreves en *sluttet krets* for at det skal gå strøm. Strømmen går fra den ene polen på kretsen, gjennom elevene og tilbake til den andre polen på kretsen. At kretsen er sluttet

betyr at strømmen har en *returvei* til batteriet. Hvis en eller flere av elevene slipper hverandres hender, brytes den sluttete kretsen og det vil ikke lenger gå noen strøm.

Oppgave:

La elevene stå i en lang rekke og og be dem holde hverandre i hendene. De to elevene i hver ende av kjeden tar i hver sin pol av forsterkerkretsen. La dem erfare at når alle holder hverandre i hendene høres en lyd. Be dem forklare hva det skyldes.

La elevene stå i to rekker som vist på figur 7. La dem erfare at begge rekkene må brytes for at kretsen skal slutte å lage lyd. Utfordre dem til å resonere seg fram til hva det kommer av



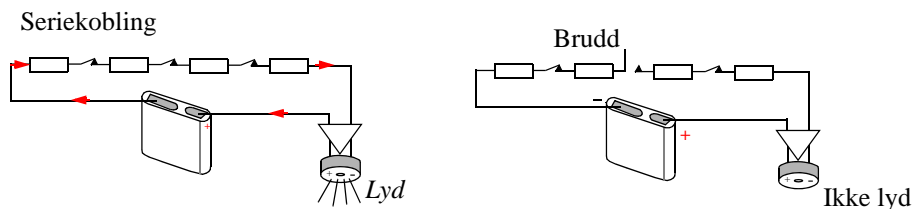
Figur 7 Serie og parallellkobling av elever.

Figur 7 viser to rader hver med åtte *seriekoblete* elever. Deretter er de to radene *parallellkoblete*.

Seri kobling får vi når strømmen må gå gjennom en lang rekke av elever. Dersom to elever slipper taket i hverandre, slutter strømmen å gå i hele rekka.

Parallellkobling får vi når to rekker står side om side og elevene i hver ende holder i samme ledningen. Strømmen vil dermed fordele seg mellom de to rekkene slik at ca. halvparten av strømmen går i hver av rekkene. Dersom to elever slipper taket i hverandre i den ene rekka, vil det fortsatt gå strøm i den andre og kretsen gir fortsatt lyd fra seg. Om derimot begge rekkene brytes vil begge de to strømførende banene brytes og strømmen slutte å gå.

Skjematisk kan seriekobling vises som vist på figur 8:



Figur 8 Seriekobling.

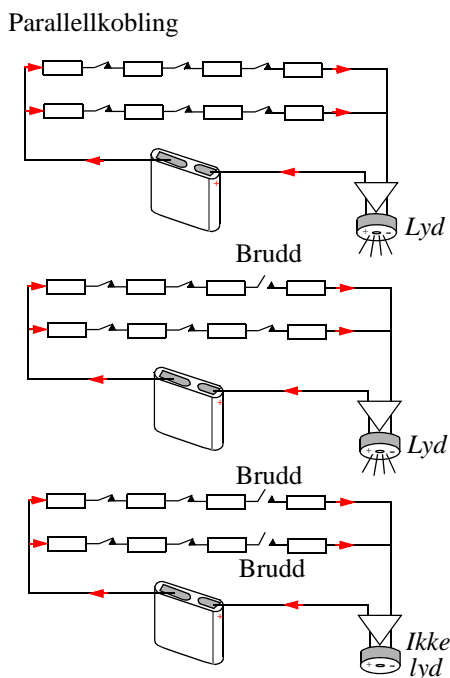
Hver elev er representert ved en resistans sybolisert ved hjelp av et rektangel, og hvert håndtrykk med en bryter, som vist på figur 8 og figur 9. For å bryte strømmen er det nok at kjeden brytes på ett punkt. Skal det gå strøm, må det altså være en sluttet krets fra den ene til den andre polen på batteriet.

Kobler vi to kjeder i parallell så må begge kjedene brytes for å stoppe strømmen. Dersom bare den ene kjeden brytes, vil strømmen likevel gå i den andre greina.

2.1.3 230V er farlig!

Det kan ikke presiseres godt nok at det er livsfarlig å eksperimentere med strømmen fra stikkkontakten.

Batterier leverer vanligvis spenninger fra 1,5V til 9V. Dette er spenninger som er ufarlig for oss mennesker.



Figur 9 Parallellkobling

Egentlig er ikke spenningen særlig farlig. Det er derimot slik at høye spenninger, over ca. 50V, kan drive **store strømmer** gjennom kroppen vår. 230V er derfor langt over faregrensen og kan gi store skader.



2.2 Problemstilling II

Er det mulig å lage en elektronisk vannlekkasje-detektor?

En annen måte å motivere elevene på er å gi dem en problemstilling de kan kjenne igjen, her er et eksempel:

I kjøkkenbenken er det en varmtvannstank, denne begynner å bli gammel og de er redde for at den skal få en lekkasje som vil koste dem dyrt. Hva kan de gjøre med dette? La elevene komme med forslag? Alle mulige forslag er lov, la dem være kreative.

En løsning er imidlertid å lage en alarm som registrerer om det blir fuktig på gulvet under beholderen og som varsler om dette skjer. Hvordan kan en slik alarm lages?

Et forslag kan være å bruke en elektronisk krets. Hvordan kan en tenke seg at den virker? Leder vann elektrisk strøm? Elevene prøver med et batteri og en lyspære eller en alarm. Det ser ikke ut som om det skjer noen ting. Kanskje vann ikke leder strøm? Eller er det slik at vann leder strøm dårlig? Hvorfor leder vann strøm dårlig? Hva gjør at vann leder bedre?

Hva om vi bruker en strømforsterker? Elevene prøver en strømforsterker (fuktighetsindikator) og finner ut at det går en liten strøm gjennom vannet, men at denne kan forsterkes opp slik at den kan få en alarm til å gå? De bruker trekkpapir og undersøker om dråper av vann kan få alarmen til å gå på.

De skal nå bygge sin egen fuktighetsalarm som de skal få med seg hjem og finne en anvendelse for.

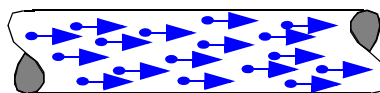
I denne fasen er viktig at alle forslagene som elevene kommer opp blir notert ned og diskutert. Likevel er litt av hensikten å ende opp med en fuktighetsindikatorer. Det er ikke nødvendigvis den beste løsningen, men det er den vi skal utforske nærmere i dette aktiviteten.

2.3 Hva er egentlig elektrisk strøm?

Vi har nå erfart at noe går fra den ene polen på batteriet til den andre gjennom en rekke av elever eller at vann faktisk leder strøm selv om det er en svært liten strøm. Dette noe har vi kalt *elektrisk strøm*.

Alle stoffer er bygget opp av atomer som bl.a. består av noen små partikler kalt elektroner, som hver enkelt bærer en liten ladning¹.

I elektriske ledere som kobber, sølv eller andre metaller, kan de ladete elektronene bevege seg fritt. En elektrisk spenning, slik vi bl.a. har i et batteri, har evnen til å puffe ladningene gjennom en ytre krets, fra den ene til den andre polen på batteriet. Dersom vi hadde evnen til å se inn i en elektrisk leder som leder elektrisk strøm, ville vi se en rekke små ladninger som dyttes framover langs ledningen.



Figur 10 Strøm er ladninger i bevegelse

1. Den såkalte elementærladningen lik $e = 0.16 \times 10^{-18}$ A·s (naturkonstant)

Vi har sett at ladningene, som utgjør den elektriske strømmen, også kan gå gjennom menneskekroppen. Imidlertid er ikke menneskekroppen en like god leder som kobber eller sølv, slik at strømmen blir mye mindre. Øker vi derimot spenningen, øker også strømmen.

Vi skal senere se nærmere på hva elektrisk strøm og spenning er, men vi vil alt nå lage oss noen enkle definisjoner på hva disse viktige begrepene er for noe.

Elektrisk spenning er et mål for den energi som driver elektronene gjennom en ledning. Desto større spenningen er desto større er den strømmen av ladninger som kan drives gjennom ledningen eller i vårt eksperiment, kroppen. Spenning måles i enheter av Volt (V).

Elektrisk strøm er et mål på hvor stor ladning som passerer et tverrsnitt i ledningen (eller kroppen) i løpet av et sekund. Strøm måles med enheten Ampère (A).

2.4 Øvelser med sluttet krets

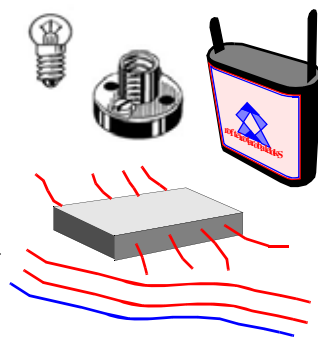
Øvelsene i dette avsnittet er ment å trene elevene i å tenke sluttet krets og å planlegge en måleserie for å løse en logisk oppgave.

2.4.1 Den svarte boksen

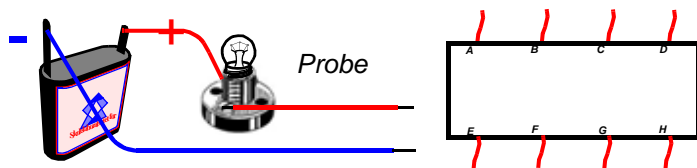
Elevene får utdelt en boks som det stikker 8 ledninger ut av, en lyspære med sokkel, ett batteri, polklemmer og nødvendige ledninger. Først skal elevene lage en måleprobe ved hjelp av batteriet, lyspæra og ledningene. Med denne kan de bestemme om det er elektrisk forbindelse mellom to punkter.

Hver gruppe får en svart boks og skal bruke proben til å finne ut hvordan ledningene er koblet sammen inne i boksen. De skal deretter tegne boksens koblingsskjemaet.

Flere bokser kan gå på rundgang mellom elevgruppene. For å gjøre oppgaven spennende kan en ta tida den enkelte elevgruppen trenger for å tegne det riktige koblingsskjemaet.



Figur 11 Nødvendige deler

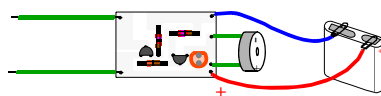


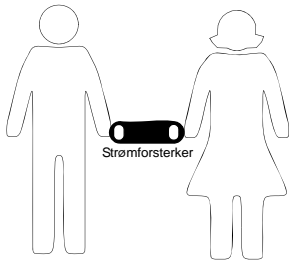
Figur 12 En enkel måleprobe og en svart boks.

Oppgaven egner seg til å gjøres i grupper på to eller tre elever. En elev kan tegne kretsskjema mens de andre to foretar målingene.

2.4.2 Hvem holder hverandre i hånda?

Dette er en variant av den forrige øvelsen. Elevene deles inn i grupper på 8 - 12 stykker. Hver gruppe får tildelt en elevprobe som er en strømforsterker som kan detektere om det er kroppskontakt mellom to eller flere elever.

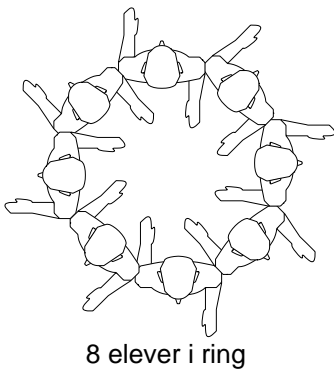




To av elevene tar tak i hver sin side av elevproben. Disse to skal være proben som skal detektere om det er kroppskontakt mellom de andre elevene.

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.

Den siste 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.



	Øystein	
Gunnhild		Eva
Odd		Per-Odd
Sissel		Ingvill
	Nils	

Figur 13 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 elevprobene har funnet riktig svar.



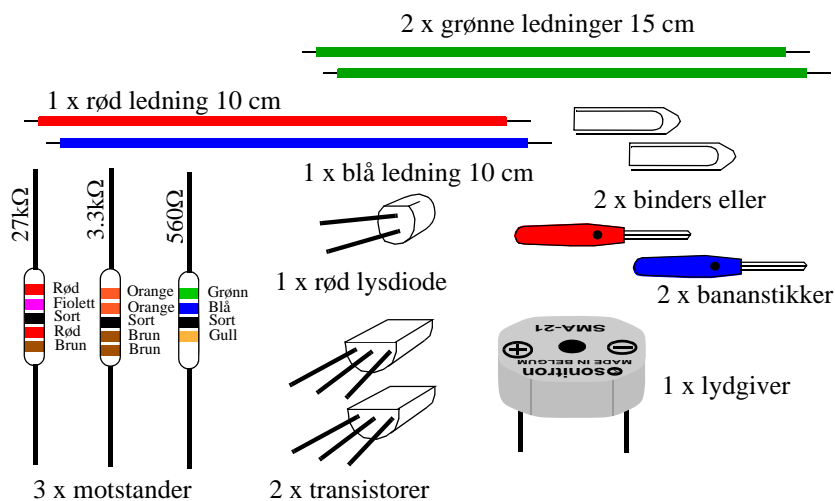
Figur 14 Elevprobe.

3 Vår første elektroniske krets

I dette kapitlet skal vi se nærmere på hvordan vi kan bygge opp en elektronisk krets på et koblingsbrett.

3.1 Strømførsterkeren

Figur 15 viser delene som inngår i den strømførsterkeren vi skal bygge. Selv om vi begynner med å bygge forsterkeren vil vi etterhvert bygge opp større forståelse for hva de enkelte komponentene er og hvordan de virker.



Figur 15 Delene som inngår i byggesettet

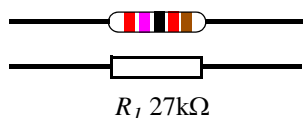
For at det skal bli lettere å bygge opp kretsen på koblingsbrettet, vil vi først gjennomgå hvordan hver enkelt komponent symboliseres i et koblings skjema, og hvordan vi leser et slikt skjema.

3.2 Symbolisering av komponentene

For at funksjonen til den enkelte komponent skal komme tydelig fram og komponentene skal bli lette å tegne, representerer vi komponentene med symboler.

I dette avsnittet skal vi se hvordan de enkelte komponentene kan representeres av ulike symboler. 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.

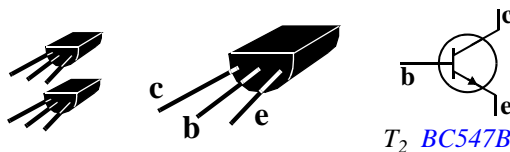
Resistoren



Figur 16 Resistor.

Resistoren har to tilkoblingsledninger og den har ofte fargede ringer som forteller hvilken verdi den har. Symbolet ligner på den virkelige resistoren, men istedet for de fargede ringene får symbolet for resistoren en betegnelse og en verdi (f.eks. hhv. R_1 og $27k\Omega$). R'en foran tallet forteller oss at det er verdien til en Resistor. Vi skal senere se på hvordan vi angir verdien til resistorer. Det spiller ingen rolle hvilken vei resistoren kobles. Legg merke til at komponenten kalles *resistor* og dens verdi *resistans*.

Transistoren

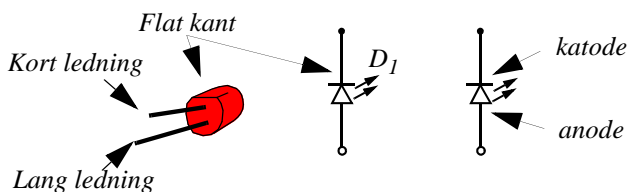


Figur 17 Transistor.

Transistoren har tre tilkoblingsledninger. Disse betegnes som henholdsvis: Base (b), emitter (e) og collector (c)¹. Det er viktig at de forskjellige tilkoblingsledningene kobles riktig inn i kretsen ellers vil ikke kretsen virke som den skal. Symbolet for transistoren gis en betegnelse og en typekode (f.eks. hhv. T_1 og BC547B). T står for transistor, 1 for at det er transistor nr. 1 (av f.eks. 2) og BC547B er type transistor.

Vi må passe på at vi ikke lar det gå for stor strøm gjennom transistoren.

Lysdioden



Figur 18 Lysdioden.

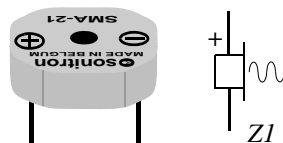
Lysdioden har to tilkoblingsledninger. Det er ikke likegyldig hvilken ledning som kobles til hvilket punkt i kretsen. De to terminalene til dioden kalles *katode*² og *anode*. Den flate kanten

1. Vi har her valgt å bruke de engelske betegnelsene konsekvent

(kort ledning) viser hvor katoden er. For at dioden skal lyse må katoden kobles til den negative polen på batteriet. Legg merke til korrespondansen mellom komponenten og symbolet.

Vi må passe på at vi ikke lar det gå for stor strøm gjennom lysdioden. Lysdioder kan fås i forskjellige farger, rød, blå, gul og blå.

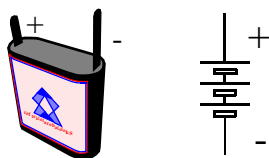
Lydgiveren



Figur 19 Lydgiver eller summer.

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

Batteriet

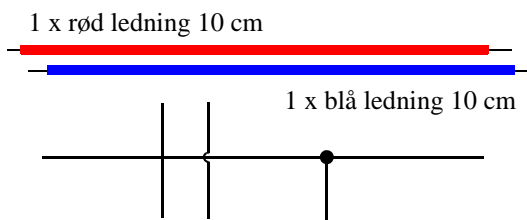


Figur 20 Batteri med tre celler.

Batterier kan være av forskjellige typer og spenninger. På figur 20 over ser vi et flatbatteri som gir 4,5V. Den **lange** tunga på batteriet er den **negative polen** og den **korte** den **positive**. Flatbatteriet består av tre seriekoblede celler som hver gir 1,5V. Symbolet for batteri 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.

-
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'.

Ledningere

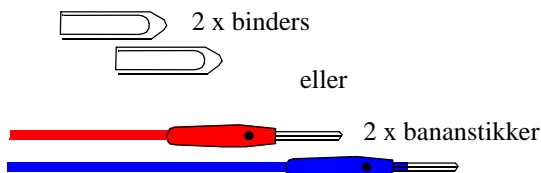


Figur 21 Ledninger, kryssning og sammenkobling.

Ledninger er isolert med plast som kan ha forskjellig farge. I koblingsskjemaet 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. Det spiller ingen rolle hvilken vei en ledning kobles. Røde ledninger brukes ofte i forbindelse med den positive polen på batteriet, mens blå brukes ofte i forbindelse med den negative polen.

Ledninger som antydes i et koblingsskjema antas å ha resistans som er lik null¹.

Bananstikker og binderser



Figur 22 Bananstikkere eller binderser brukes for sammenkobling.

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.

Nå er vi klare til å tegne kretsskjemaet for vår strømforsterker-krets.

3.3 Kretsskjema, strømforsterkeren

Når vi nå kjenner kretssymbolene for de vanligste komponentene, kan vi se nærmere på kretsskjemaet til strømforsterkeren.

Figur 23 viser koblingsskjemaet for strømforsterkeren. Vi kjenner igjen kretssymbolene for transistorer, resistorer, lysdioder og summeren.

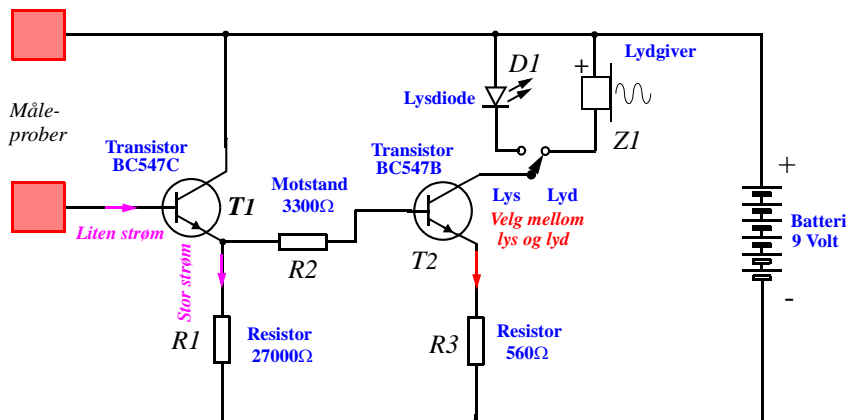
Lengst til høyre har vi symbolet for et batteri, som i dette tilfellet har 6 celler, og leverer en spen-

1. Dersom ledningens egentlige resistans, som er svært liten, spille noen rolle i kretsen, må den angis eksplisitt i kretsskjemaet som en resistor.

ning på $6 \times 1.5V = 9V$.

Strekene som forbinder de enkelte kretssymbolene forteller oss hvordan kretsen er koblet opp. Hver strek er da en ledning som går mellom de ulike polene (eller teminalene) til komponentene. Der tre eller flere ledninger møtes, er det tegnet en liten prikk, som skal vise at her er disse ledningene koblet sammen.

Lengst til venstre i skjemaet ser vi to plater. Disse skal vise at her ender ledningene ut i to åpne måleprober som i vårt tilfelle kan berøres med fingrene.



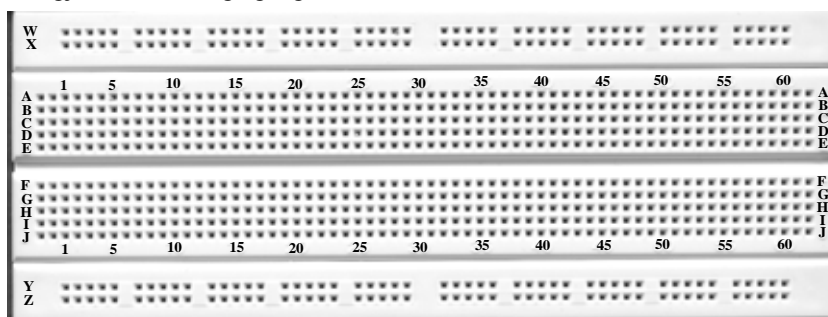
Figur 23 Kretsskjema for strømforsterkeren.

Kretsskjemaet inneholder også noen små piler. Disse viser hvilken vei strømmene går. Vi har også indikert størrelsen på strømmene, dette skal hjelpe oss til å forstå hvordan kretsen virker.

3.4 Oppbygging av kretsen på koblingsbrett

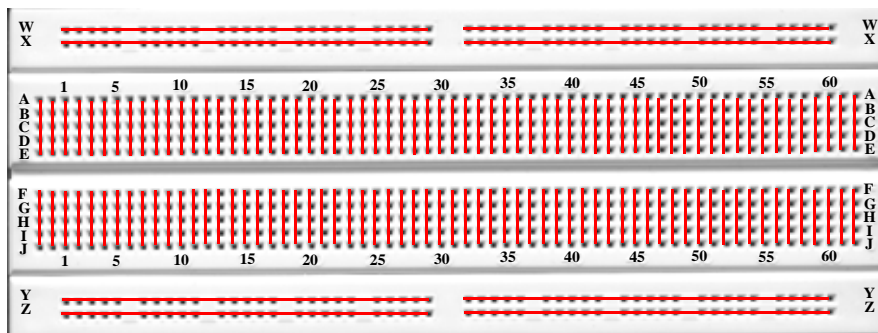
Koblingsbrettet

Et koblingsbrett er en plastplate med hull som vist på figur 24. En slik plate egner seg godt til raskt å koble opp enkle kretser, og burde derfor egne seg godt for bruk i klasserommet. Komponentene kan dessuten gjenbrukes mange ganger.



Figur 24 Koblingsbrettet.

På undersiden av platen er det en matrise med fjærkontaktene, en under hvert hull. Disse kontaktene er elektrisk forbundet med hverandre som vist på figur 25. Hullene på vårt koblingsbrett er ordnet i 65 kolonner som er merket med nummer, og 14 rader som er merket med bokstaver.



Figur 25 Elektrisk sammenkobling av hull.

En avisolert ledning kan stikkes ned i et hull og få kontakt med alle hullene som er forbundet med dette hullet. Ledningene trenger ikke loddes eller skrues fast for å få kontakt.

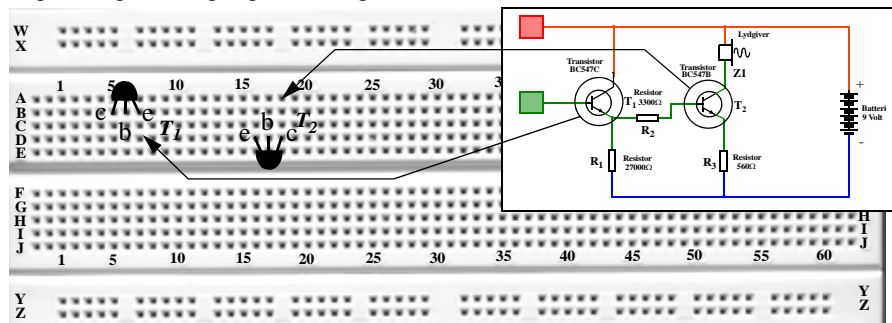
Vi legger merke til at de to øverste og de to nederste radene er forbundet med hverandre på langs av brettet. Legg imidlertid merke til at de er delt i to på midten. Disse radene kan derfor med fordel brukes til å fordele forskyningsspenninger og jord.

Det finnes flere ulike koblingsbrett som kan kjøpes fra forskjellige firma, f.eks. ELFA (se avsnitt F.3).

Montering av komponenter

Vi skal nå montere komponentene på koblingsbrettet.

1. Vi starter med å montere de to transistorene T_1 og T_2 . Det er viktig at transistorene monteres riktig vei, og selvfølgelig i de riktige hullene



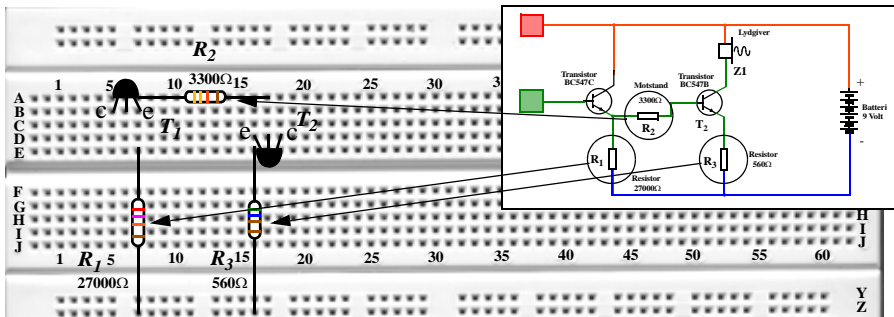
Figur 26 Transistorene monteres.

Transistoren T_1 monteres med den flate siden “ned” (dvs. mot deg). Spre beina utover slik at de kan stikkes ned i hullene B5 (c), B6 (b), og B7 (e).

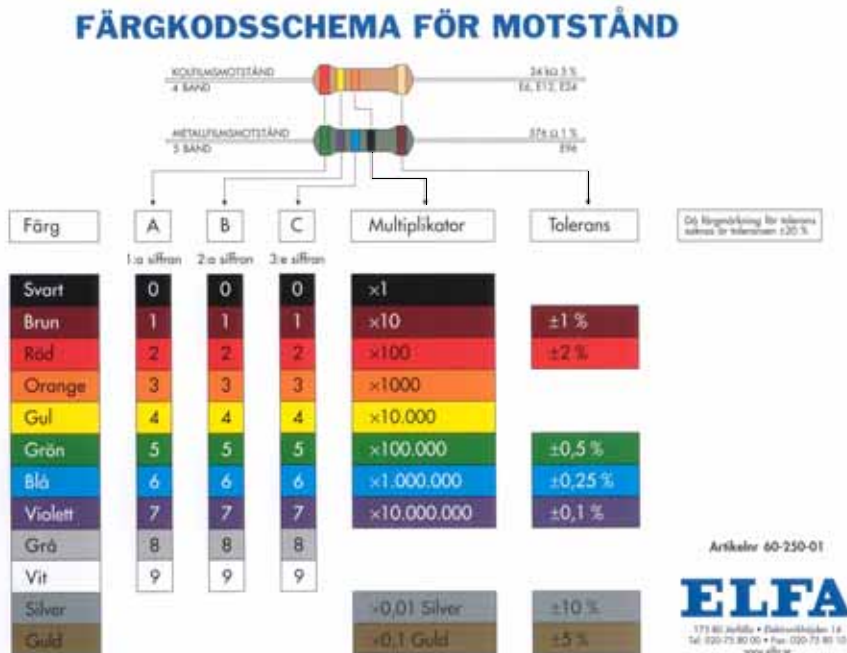
Hvilket betyr at transistorens collector skal stikkes ned i rad B kollonne 5, mens basen skal stikkes ned i rad B og kolonne 6 osv.

Transistoren T_2 monteres med den flate siden “opp” (dvs. bort fra deg). Spre “beina” utover slik at de kan stikkes ned i hullene D16 (e), D17 (b), og D18 (c). (Terminalene til en komponent kalles også ofte bare for “beina” til komponenten.)

2. Dernest monteres de tre resistorene. R_1 (27 000 Ω , rød-fiolett-orange) monteres i hullene Z7 og E7. R_2 (3 300 Ω , orange-orangerød) monteres i hullene A7 og A17, og tilslutt monteres R_3 (560 Ω , grønn-blå-brun) i hullene Z16 og E16.



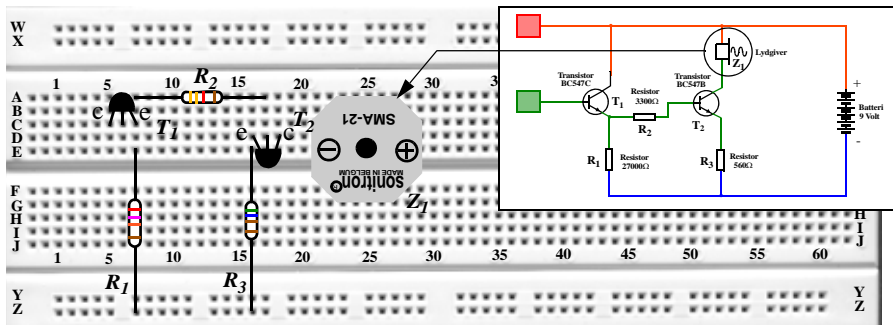
Figur 27 Resistorene monteres.



Figur 28 Fargekoding av motstander fra ELFA.

Se avsnitt for veiledning om hvordan fargekodene på motstandene skal leses.

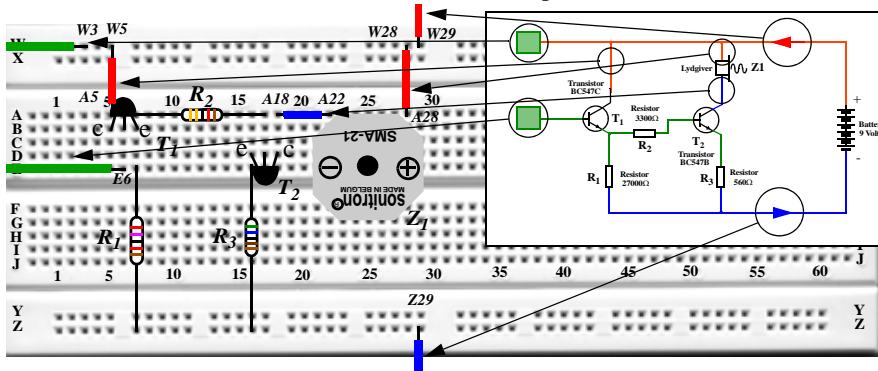
3. Så monteres lyd-kilden (summeren). Vi legger merke til at lyd-kilden har en + og en - pol. Det er viktig at disse kommer ned i de riktige hullene. Bena rettes ut og stikkes ned i E22 (-) og E28 (+).



Figur 29 Montering av lyd-kilde.

4. Til slutt monteres ledningene.

Den lange røde ledningen med en bananstikker i enden monteres i W29, denne skal kobles til batteriets plusspol. Den lange blå ledningen med en blå bananstikke i enden kobles til Z31, denne skal kobles til batteriets minuspol.



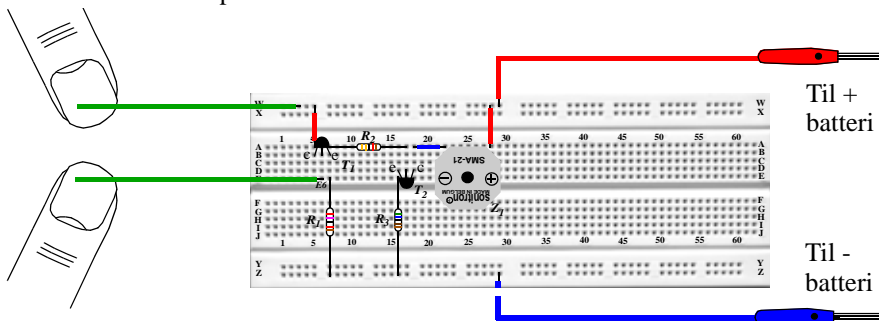
Figur 30 Montering av ledninger.

De to grønne lange ledningene, kobles til W3 og E6. Disse skal brukes som "måle-prober". Dvs. vi skal bruke dem når vi skal registrere om det går strøm gjennom kroppen, eller som sensor i fuktighetsindikatoren.

Så monterer vi to korte røde ledninger. Den ene kobles mellom hullene A28 og W28 og forbinder lyd-kilden til plusspolen. Den andre kobles mellom hullene A5 og W5, og forbinder kollektoren på transistoren T₁ til plusspolen. Tilslutt kobler vi en ca. 2 cm lang blå ledning mellom hullene A18 og A22, denne forbinder transistoren T₂ med lyd-kilden Z₁.

3.5 Utprøving av kretsen

Vi skal nå undersøke om kretsen fungerer som den skal. Vi kobler den røde ledningen til pluss-polen på batteriet (eller spenningsforsyningen), og den blå ledningen til minus-polen. Monter gjerne krokodilleklemmer på bananstikkerne.



Figur 31 Kretsen tilkobles batteriet eller spenningsforsyningen.

Når vi berører de to måleprobene til kretsen skal lydgiveren gi lyd fra seg. Om dette ikke skjer bør du sjekke følgende:

1. Er batteriledningene koblet riktig vei på batteriet?
2. Dersom du er helt tørr på fingrene bør du fukte dem og prøve igjen.
3. Gå så over kretsen og kontroller at alle ledningene og komponentene er plassert i de rette hullene.
4. Står lydgiveren rett vei (+ og -)?
5. Er den flate sida på transistorene plassert rett vei?
6. Har resistansene rett verdi (se fargekode, figur 28 på side 31)?
7. Er alle ledningene koblet inn og på rett plass?
8. Kontroller at alle komponentene er trykket godt ned i hullene.
9. Kontroller at batteriet har spenning.

Dersom alt dette stemmer og det fortsatt ikke er noen lyd, bør du kanskje bytte ut transistorene.

4 Kan vi bruke dette i skolen?

4.1 Grunnskolen

I læreplanens innledende deler henvises det flere steder til vår teknologiske hverdag. Dette finner vi også igjen i innledningen til **Natur og miljøfag**. Læreplanen er imidlertid fattig på konkretisering av stoffet.

Utdrag fra - Innledningen til Natur og miljøfag [7]:

Barna veks opp i eit samfunn prega av vitskap, bruk av avansert teknologi og ein veksande vilje til å ta ansvar for naturen og det felles livsmiljøet vårt. Ein kan vanskeleg meistre, forstå eller påverke samfunnet i dag utan grunnleggjande kunnskap om naturvitskap og teknologi og konsekvensane dei har for naturgrunlaget og for miljøet.

Fra - Felles mål for Natur og miljøfag [7]:

Elevane får øving i å bruke reiskapar, eksperimentelt utstyr og elektroniske hjelpemiddel gjennom eit breitt spekter av aktivitetar og samarbeidsformer. Dei skal utvikle innsikt i å søkje, omarbeide og formidle informasjon. Dei skal kunne bruke kunnskapen sin i faget til praktiske gjeremål og øve opp evna til å bruke og vurdere informasjon, tekniske hjelpemiddel, forbruksvarer og nye produkt.

Fra - Det fysiske verdensbilde - 7 klasse [7]

I opplæringa skal elevane

- *eksperimentere med hobby-elektronikk og få kunnskap om teknologi for styring og kontroll.*

Fra - Det fysiske verdensbilde - 9 klasse [7]

I opplæringa skal elevane

- *bli kjende med sentrale oppdagingar og oppfinningar knytte til elektrisitet, mellom anna statisk elektrisitet og oppdaginga av fenomenet elektrisitet.*
- *arbeide med en enkel modell for elektron i ein straumkrins og bli kjende med omgrepa straum, spenning, motstand og energioverføring.*
- *planleggje og gjere forsøk med komponentar i en enkel krins, arbeide med symbol for desse komponentane i koplings skjema, og gjennom forsøk få innsikt i samanhengen mellom straumstyrke og spenning og bruke måleiningar for spenning, straumstyrke, motstand og elektrisk effekt.*
- *bli kjende med sikringsforskrifter ved bruk av elektrisk utstyr i heimen og få røynsle med elektriske koplingar.*
- *gjere forsøk med bruk av elektrisk generator og transformator.*

4.2 Videregående skole

4.2.1 Naturfag grunnkurs (5t)

Fra læreplanen [6].

MÅL 4:

Elevene skal kunne gjøre rede for sentrale sider ved energibegrepet. De skal se sammenhengen mellom energibruk i samfunnet, vår levemåte og de belastningene denne bruken påfører naturmiljøet. De skal få et bedre grunnlag for å vurdere ulike alternativer ved omforming og bruk av energi for å kunne begrense miljøproblemene.

Elevene skal:

- 4 a *Kjenne til sammenhengen mellom kraft, energi og effekt, og kunne bruke enheter fra SI-systemet*
- 4 b *Kunne bruke begreper og uttrykk i forbindelse med energi og effekt: energiformer, energioverganger og energikjeder, virkningsgrad, bevaring av energi (1. hovedsetning) og energikvalitet (2. hovedsetning).*
- 4 c *Ha tilegnet seg grunnleggende kunnskaper om elektrisk energi, og kunne gjøre rede for sammenheng mellom strøm, spenning, resistans, energi og effekt.*
- 4 d *Kunne gjøre rede for bruk av energi i hjem og samfunn (bruk av elektrisk energi, elektriske apparater, sikkerhet i hjem og samfunn, energibruk i ulike samfunn, konsekvenser av energibruk og økt energiforbruk, energisparing, ENØK).*
- 4 e *Kunne gjøre rede for forskjellen på fornybare og ikke-fornybare energikilder, og kjenne til deres muligheter og bruk.*

4.2.2 2FY - VK I videregående skole

Fra læreplanen [8]

Mål 2

Elevene skal kunne bruke eksperimentelle arbeidsmetoder.

Elevene skal:

- 2a *Kunne utføre eksperimenter innen ulike områder av faget*
- 2b *Kunne foreslå og utføre egne eksperimenter*
- 2c *Kunne bruke ulike måleinstrumenter, herunder IT-utstyr ved registrering og analyse*
- 2d *Kunne observere, tolke måleresultater og presentere måleresultater på ulike måter*
- 2e *Kunne vurdere usikkerhet og feilkilder og gjøre enkle usikkerhetsberegninger*
- 2f *Kjenne til faremomenter ved eksperimentelt arbeid*

Mål 5

Elevene skal ha grunnleggende kunnskaper om begreper og lover i elektrisitetslæren

Elevene skal:

- 5a *Kjenne til begrepet elektrisk ladning*
- 5b *Kunne beregne strømmer og spenninger i likestrømskretser som består av enkle serie- og parallellkoblinger der spenningskilden kan ha indre resistans*
- 5c *Kunne tegne, tolke og bruke koblingsskjemaer*
- 5d *Kunne tegne og tolke strøm-spenningsgrafer (strøm-spenningskarakteristikker)*

4.2.3 3FY - VK II videregående skole

Fra læreplanen:

Mål 3

Elevene skal ha kunnskaper om ulike typer felt

Elevene skal:

- 3a *Kunne gjøre rede for og gjøre beregninger med kraft, feltstyrke og energi i homogene elektriske felt, i felt rundt ladde partikler og i gravitasjonsfelt*
- 3b *Kunne gi en kvalitativ beskrivelse av magnetisk felt rundt permanente magneter og elektriske ledere*
- 3c *Kunne gjøre rede for og gjøre beregninger med magnetisk flukstetthet og kraft på ladde partikler og strømførende ledere i homogene magnetfelt*
- 3d *Kunne gjøre rede for induksjon og ha kjennskap til hvordan induksjon utnyttes i generator og transformator*
- 3e *Kunne bruke Faradays induksjonslov: $\varepsilon = -d\Phi/dt$*
- 3f *Kjenne til enkel vekselstrømsgenerator : $\varepsilon = \varepsilon_0 \sin t$*
- 3g *Ha kjennskap til fenomenet nordlys*

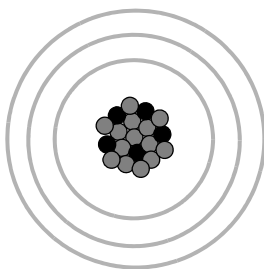
5 Grunnleggende begreper, en fenomenologisk tilnærming

Vi vil i dette kapitlet forsøke å nærme oss noen sentrale begreper innen elektrisitetslæra ut fra ønsket om å gi elevene en kvalitativ forståelse før de blir konfrontert med det matematiske begrepsapparatet. Primært skal vi se på en enkel atommodell, elektriske ledere og isolatorer. Dessuten skal vi forsøke å lage forklaringsmodeller for spenning, strøm, effekt og energi. Det viser seg at disse begrepene ikke alltid er like lette å forstå for elevene. Det er heller ikke sikkert at en dypere teoretisk forståelse bør være elevenes første møte med begrepene. Vi venter derfor med en teoretisk utdypning til et senere kapittel. Språket i presentasjonen er forsøkt gjort slik at det kan brukes i en undervisningssituasjon.

La oss starte med å skissere en atom-modell.

5.1 En atom-modell

Kjennskap til en enkel atommodell er en forutsetning for å forstå elektrisk strøm. Det er imidlertid viktig å presisere at det bare dreier seg om en *modell*. Ingen har sett et atom, det er derfor ingen som kan si eksakt hvordan det ser ut eller er bygget opp. En har imidlertid laget seg modeller som i størst mulig grad harmonerer med den virkelighet en kan observere ved hjelp av avansert måleutrustning.

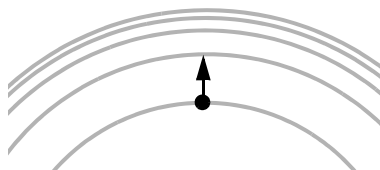


Figur 32 Enkel atommodell.

Alle atomer har en *kjerne* som i utgangspunktet består av to typer elementærpartikler, **protonene** som er positivt ladet og **nøytronene** som er uten ladning. Antall protoner i kjernen bestemmer hvilket grunnstoff vi har med å gjøre. I ulike avstander fra kjernen finner vi svermer av negativt ladede **elektroner**. Disse er ordnet i skall som ligger i forskjellig avstand fra kjernen. Et atom vil ha like mange elektroner som det er protoner i kjernen, og siden ladningen til ett elektron har samme størrelse, men med motsatt fortegn, som ladningen til et proton i kjernen, vil atomet som helhet være **elektrisk nøytralt**.

I følge atomteorien kan en ikke betrakte elektronene som partikler som til enhver tid har en bestemt posisjon. En betrakter dem derfor som diffuse skyer knyttet til skall med forskjellig avstand til kjernen. Flere elektroner kan befinne seg i hvert skall.

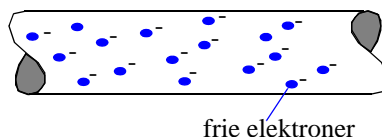
Atomet kan motta energi, bl.a. ved at ett eller flere elektroner flytter seg lengre bort fra kjernen. Alle posisjoner er imidlertid ikke lovlige. For at elektronet skal kunne flytte seg, må det få tilført en energimengde som tilsvarer forskjellen mellom to tillatte posisjoner.



Figur 33 Elektronene kan kun innta tillatte posisjoner.

Videre kan atomet gi fra seg energi bl.a. ved at elektronene faller tilbake til en lavere tillatt posisjon. Slik avgitt energi kan enten resultere i varme, eller som lys som hos lysdioden, som vi skal studere senere. Vi refererer ofte til de tillatte posisjonene som elektronenes *energitilstander*.

Hos enkelte stoffer ligger de tillatte posisjonene så tett at de nesten opptrer som om de var kontinuerlig forbundet med hverandre. Dette er tilfelle hos *metaller*. Hos disse er dessuten atomene bundet til hverandre på en meget regelmessig måte, de danner gitter eller krystallstrukturer. På grunn av generell oppvarming vil mange elektroner i et metall befinne seg i de øverste energinivåene. I denne tilstanden vil dessuten elektronene kunne forlate sin atomkjerne og bevege seg fritt i metallet.



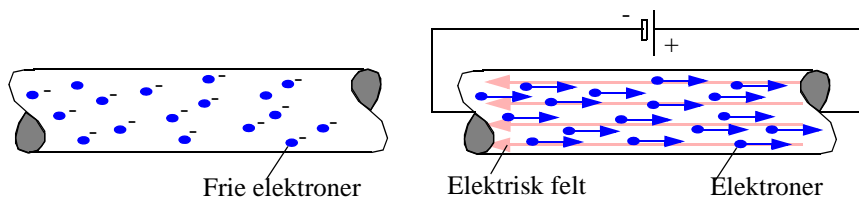
Figur 34 En elektrisk leder er full av mer eller mindre frie elektroner.

Hos isolatorer, som er meget dårlige elektriske ledere, vil elektronene være sterkt bundet til sitt atom, og det skal mye energi til for å frigjøre dem slik at de kan bevege seg fritt.

5.2 Elektrisk strøm og spenning

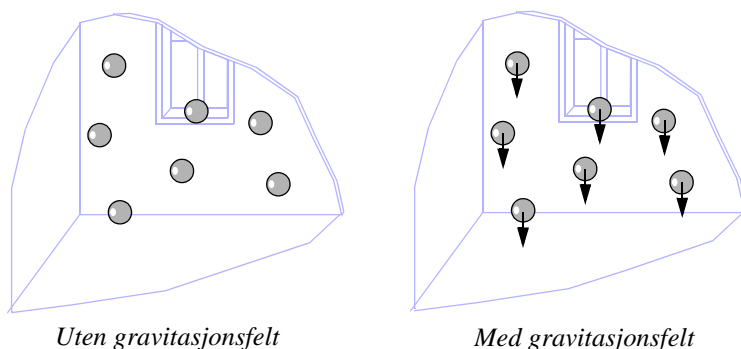
I en elektrisk leder vil de frie elektronene svirre rundt på en tilfeldig måte. Mellom ladningene vil det være elektriske felter. **Like ladninger** danner felter som gjør at de vil frastøte hverandre, og **ulike ladninger** danner felter som gjør at ladningene tiltrekker hverandre. Elektronene, som alle har lik negativ elektrisk ladning, vil derfor frastøte hverandre. Dette hindrer dem i å klumpe seg sammen.

Kobler vi et batteri over ledningen med de frie elektronene, vil de bevege seg mot den positive polen på batteriet. Dvs. i motsatt retning av det elektriske feltet.



Figur 35 Et metall har frie elektroner som vil bevege seg mot den positive polen på batteriet.

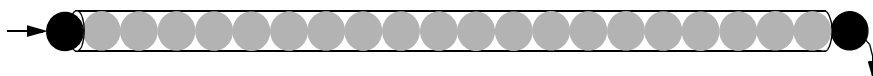
Vi kan som en analogi tenke oss at vi befinner oss i et rom uten tyngdefelt med en mengde bordtennisballer. Dersom vi slipper ballene vil de sveve rundt på måfå.



Figur 36 Rom med og uten gravitasjonsfelt.

Gir vi rommet et gravitasjonfelt, vil alle ballene bevege seg i retning med feltet og legge seg på gulvet.

Det er viktig å presisere for elevene at det ikke bare er batteriet som inneholder elektroner, men at ledningene i utgangspunktet er fulle av dem. Når så batteriet tilkobles, oppstår et elektrisk kraftfelt i ledningen som gjør at elektronene i metallet settes i en ordnet bevegelse mot batteriets positive pol. Det er også viktig å merke seg at feltet utbreder seg med lyshastigheten, men at gjennomsnittsfarten til elektronene bare er noen mm i sekundet.

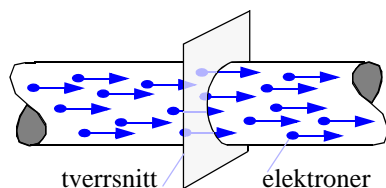


Figur 37 En elektrisk leder kan sammenlignes med et langt rør med baller.

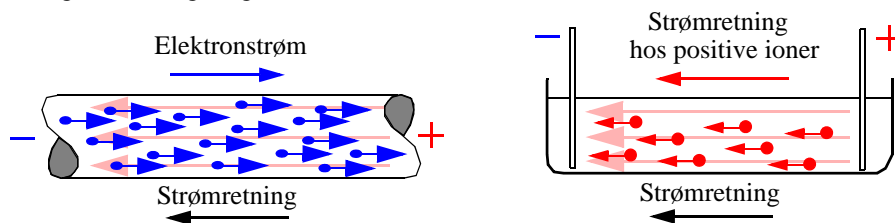
En elektrisk leder kan sammenlignes med et langt rør som er fullt med baller. Dytter vi inn en ball på venstre side faller det umiddelbart ut en på høyre side (figur 37). Gjennomsnittsfarten til ballene er liten, men responsen fra venstre til høyre side er umiddelbar.

Strømstyrken gjennom en elektrisk leder er definert som:

Den totale ladning som passerer gjennom et tverrsnitt av lederen i løpet av ett sekund.



Mange elever synes det er ulogisk at elektronene beveger seg *en* vei, mens strømretningen er definert i motsatt retning. Dette skyldes at positiv strømretning er definert som den retningen positive ladninger vil bevege seg i et elektrisk felt.



Figur 38 I en oppløsning med positive ioner vil ionene bevege seg i strømretningen.

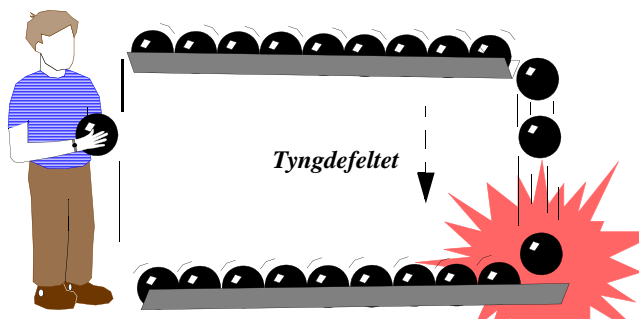
De frie ladningene i en elektrisk leder er negativt ladet, men i batteriet er det positivt ladede ioner som er de frie bevegelige ladningsbærerne. Mens elektronstrømmen går *mot* strømretningen i en elektrisk leder, vil de positive ionene i batteriet gå *med* strømretningen¹.

Ut fra det vi har omtalt foran så vil batteriet sette opp et elektrisk felt inne i lederen som tvinger elektronene til å bevege seg mot den positive polen på batteriet. Jo større spenning batteriet har, jo større strøm vil det klare å drive gjennom kretsen.

For virkelig å forstå hva det elektriske feltet betyr for ladningstransporten og den elektriske strømmen, skal vi se på en mekanisk modell (figur 39).

1. Prosessene i batteriet er mer kompliserte enn omtalt her. I praksis vil det eksistere både positive og negative ioner og elektroner som vil bevege seg i henhold til sin ladning.

Vi tenker oss kuler som ruller langs en renne. I den øverste renna har kulene en viss potensiell energi. Den slake helningen på renna får kulene til å rulle langsomt mot høyre. Når de kommer til enden av renna faller de utfor kanten. I fallet vil kulene utføre et arbeid enten ved at de treffer hindringer underveis, eller ved at de treffer den nederste renna. Energien frigjøres ved at det høres et smell og ved at treffpunktet kan bli deformert og oppvarmet.



Figur 39 Mekanisk modell av elektrisk strøm.

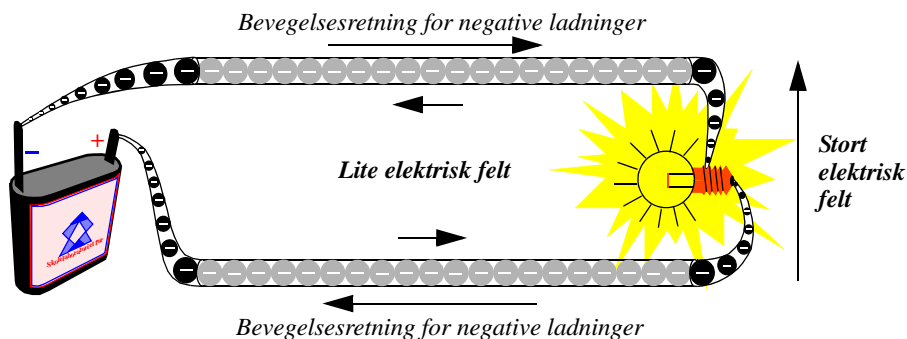
Så ruller kulene langsomt tilbake til gutten som løfter kulene opp i den øverste renna slik at de på nytt kan rulle ut mot høyre og utføre et arbeid.

La oss merke oss følgende:

- **Uten tyngdefelt** vil ikke kulene rulle langs renna, og slett ikke falle utfor kanten. Kulene vil rett og slett ikke ha noen potensiell energi å kan derfor ikke utføre noe arbeid.
- **Uten masse** vil ikke kulene ha noen vekt og kan ikke bli påvirket av tyngdefeltet. De vil ikke rulle langs renna og ikke falle utfor.

Vi kan altså slå fast vi **både må ha et tyngdefelt og kuler med masse** for at energi skal kunne transporteres og frigjøres.

La oss så gå tilbake til elektronene som beveger seg i ledningen.



Figur 40 Elektriske ladede partikler “faller” i det elektriske feltet. I lyspæra faller de “langt” på kort tid og avgir mye energi.

På samme måte som gutten tilfører kulene potensiell energi i tyngdefeltet, tilføres de ladede elektriske elektronene potensiell energi i det elektriske feltet som lages av batteriet. Når elektronene “faller” gjennom det elektriske feltet i lyspæra så avgir de sin potensielle elektriske energi i glødetråden som begynner å gløde pga. oppvarming. Dette skjer ved at elektronene støter sammen med atomer i glødetråden. At dette skjer nettopp i glødetråden og ikke i ledningen til og fra, skyldes at glødetråden er laget slik at den øver stor motstand mot elektronene, mens ledningene øver lite motstand.

På vei tilbake til batteriet har de mistet sin potensielle energi og må få ny energi i batteriet. Her blir de “løftet” opp til toppen av det elektriske feltet og kan falle gjennom feltet på nytt og avgir energi.

La oss igjen merke oss følgende:

- **Uten et elektrisk felt** vil ikke elektronene bevege seg langs ledningen, og slett ikke gå gjennom lyspæra. Elektronene vil rett og slett ikke ha noe potensiell energi å kan derfor ikke utføre noe arbeid i lyspæra.
- **Uten ladning** vil ikke elektronene bli påvirket av det elektriske feltet, og de vil ikke bevege seg langs ledningen og ikke gå gjennom pæra.

Vi kan altså slå fast at vi **både må ha et elektrisk felt og elektroner med ladning** for at elektrisk energi skal kunne transporteres og frigjøres.

Vi skjønner også at strømmen av partikler i begge ledningene er den samme, dvs. strømmen brukes ikke opp i lyspæra. På samme måte som kulene ikke forsvinner selv om de faller fra den øvre til den nedre renna.

5.3 Det elektriske kraftnett

Vi har nå sett hvordan elektroner som beveger seg i et elektrisk felt kan transportere og avgir energi. Så langt har vi benyttet batterier for å skape elektriske felter. I prinsippet er det det samme som skjer når vi bruker elektrisitet fra stikk-kontakten hjemme i stua.

Vi vet at når vi kobler en elektrisk varmeovn til stikk-kontakten i vegg, så vil ovnen kunne tilføre rommet varmeenergi og temperaturen i rommet stiger.

De fleste har stått ved en foss og sett den fantastiske kraftutfoldelsen idet vannet kaster seg utfor en bratt skrent. Vi er ikke i tvil om at en slik foss kan sette store hjul i bevegelse.

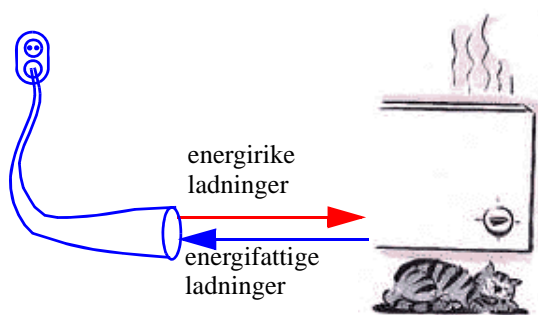
Ved å lede vannet inn i store rør kan vi konsentrere kraftutfoldelsen til stedet der *turbinen* står. En turbin er ikke noe annet enn et stort hjul med skovler som vannstrømmen slår mot slik at den settes i rotasjonsbevegelse. Turbinen er igjen koblet til en slags motor. Vi vet at en motor begynner å gå når vi kobler den til et batteri eller en elektrisk strømkilde. Dersom vi i stedet driver en motor gå fort rundt, vil den selv begynne å levere elektrisk energi (strøm). Da kalles motoren en *dynamo* eller en *generator*.



Figur 41 Kraftanlegg [2].

Generatoren lager på samme måte som batteriet et elektrisk felt som driver ladninger gjennom ledningene. Det elektriske feltet gir ladningene energi som kan avgis hos forbrukeren. Ladningene blir derfor energibærere.

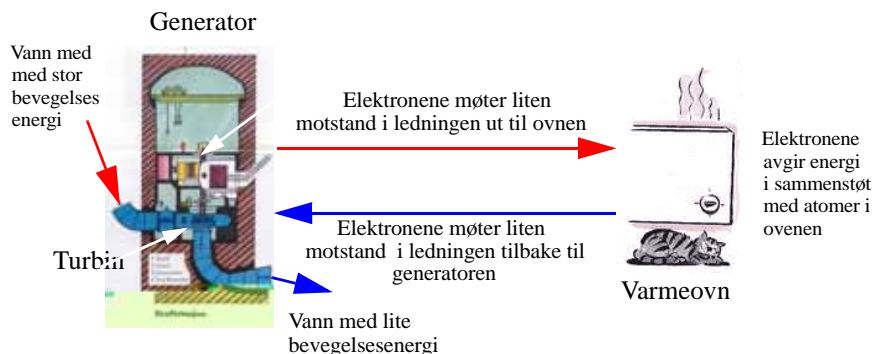
Vi har tidligere sett at elektriske ledninger er fulle av frie elektriske ladninger (elektroner) som settes i bevegelse i et elektrisk felt. Selv om *feltet* forplanter seg raskt i en leder, vil *ladningene* selv bevege seg ganske langsomt og rykkvis.



Figur 42 Energirike ladninger avgir sin energi i varmeovnen før de returnerer til kraftstasjonen.

I ledningen fra kraftstasjonen og ut til forbrukeren møter elektronene lite motstand, og de får anledning til å få opp farten. Dvs. det elektriske feltet i ledningen akselererer elektronene selv om feltet langs ledningene er ganske svakt.

Tilslutt kommer de fram til forbrukeren hvor de f.eks. møter en varmeovn som består av store resistanser som øver motstand mot elektronene. Dvs. inne i ovnen støter de stadig mot atomene i motstandselementene, hvor de avgir energi og mister fart. Mellom hvert støt vil de bli akselerert, før de igjen avgir energi i et nytt støt, osv.



Figur 43 I generatoren omdannes bevegelsesenergi til elektrisk energi.

Når elektronene har passert motstandselementene i ovnene, returnerer de til generatoren gjennom en ledning med lite motstand.

Vi bør også merke oss at størstedelen av det elektriske feltet fra generatoren finner vi inne i ovnen. Dvs. at selv om elektronene støter ofte sammen med atomene i motstandselementene i ovnen, så er feltet så sterkt og akselerasjonen så stor, at de i gjennomsnitt vil ha samme fart som elektronene i tilførselsledningene. På grunn av høy fart og mange sammenstøt er det også her det aller meste av energien blir frigjort.

Vi måler strømmen i den ene ledningen ved å telle antall elektroner som passerer pr. sekund på vei ut til forbrukeren. Derneft flytter vi måleinstrumentet (telleren) over i den andre ledningen og teller antall elektroner som passerer pr. sekund på vei tilbake til generatoren. Siden det ikke hopper seg opp med elektroner ved ovnen, vil vi telle det samme antallet på vei tilbake til kraftstasjonen som vi talte på vei til forbrukeren. Dvs. vi måler den samme strømmen i begge ledningene.

Strømmen brukes altså ikke opp i ovnen. Det er bare energien som avleveres. For at det skal gå en jevn strøm med elektroner, må de kunne returnere til generatoren. Vi trenger en sluttet krets.

Det samme gjelder når vi bytter ut generatoren med et batteri og varmeovnen med en lommelyktpære.

5.4 Elektrisk energi og effekt

Hva er så forskjellen på *energi* og *effekt*?

Legger vi hånda på ovnen etter at vi har slått den på, kjenner vi at den blir varm. Temperaturen stiger til den har nådd ønsket nivå. Vi sier at ovnen *avgir varmeenergi*. En elektrisk ovn er en slags omformer som omdanner elektrisk energi til varmeenergi. Dersom vi ser på merkingen av ovnen

så kan det f.eks. stå at ovnen kan levere 1000Watt. Dette angir hvor mye energi ovnen klarer å **levere i løpet av 1 sek** og kalles ovnens **effekt**. Effekt er altså energi levert pr. sekund. Effekt måles i **Watt** som forkortes **W**.

Dersom vi slår på en ovn på 1000Watt og lar den stå på i en time, så vil den ha levert 1000W i 3600 sek som er en time. I løpet av denne timen har ovnen levert en viss mengde varmeenergi til rommet. For å finne den leverte energien, må vi gange effekten med den tida ovnen har stått på. I vårt eksempel vil ovnen ha levert $1000W \cdot 1\text{time} = 1000\text{Watt-timer}$, som er det samme som *1 kilo-Watt time* eller forkortet kWh. Som kjent er kWh en passende enhet å kjøpe strøm i, og prisen ligger på fra kr. 0,25 - 0,75 avhengig av knappheten på energi.

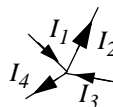
Vi skal nå se nærmere på hvordan strømmen fordeler seg i kretser som har flere greiner.

5.5 Kirchhoffs lover og sluttet krets

La oss se på to meget fundamentale lover som går under navnet **Kirchhoffs lover**. Sammen med **Ohms lov** er disse de viktigste lovene som gjelder for elektriske og elektroniske kretser. Disse lovene hjelper oss å forstå hvordan strøm og spenning fordeler seg i en krets.

Kirchhoffs første lov:

Konsekvensen av denne loven er kort og godt at der hvor ledninger møtes i et knutepunkt der må summen av strømmene inn mot knutepunktet være lik strømmene ut fra knutepunktet.

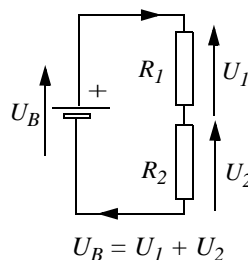


Noen ledninger fører strøm inn mot knutepunktet, andre leder strøm bort fra knutepunktet. Summen av de som leder strøm bort fra punktet må være like de som leder strøm inn mot knutepunktet. Dette betyr at strøm ikke kan forsvinne eller dukke opp i et knutepunkt.

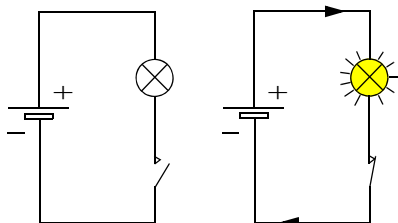
Kirchhoffs andre lov:

En av de viktigste konsekvensene av Kirchhoffs andre lov er at om vi summerer potensialforskjellene langs en sluttet krets så vil summen bli lik null.

I eksempelet i figur 44, ser vi at batterispenningen U_B blir liggende over de to resistorene R_1 og R_2 , slik at summen av spenningene U_1 og U_2 blir lik batterispenningen.



Figur 44 Kirchhoffs andre lov.



Figur 45 En krets må være sluttet for at det skal gå strøm.

Disse lovene har en viktig konsekvens: Nemlig at det *kun kan gå strøm i en sluttet krets*. Med sluttet krets mener vi at strømmen *både* må ha en ubrutt vei fra den ene polen på batteriet fram til lampa, og en returvei tilbake til den andre polen på batteriet. Selv om dette synes opplagt, så er det ikke selvsagt at elevene skjønner det med en gang (se avsnitt 7).

Vi skal se nærmere på disse lovene i avsnitt 8.6.

I det neste kapitlet skal vi se nærmere på noen av de vanligste elektroniske komponentene.

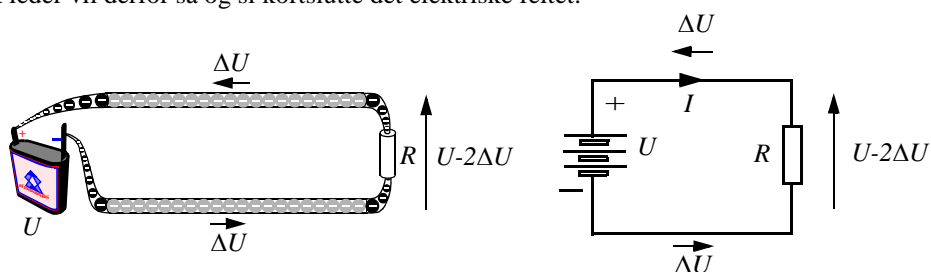
6 Grunnleggende komponentkunnskap, en fenomenologisk tilnærming

I dette kapitlet skal vi se nærmere på hvordan resistanser, dioder og transistorer virker. Tilnærmingen er fenomenologisk, dvs. matematikken er omtrent fraværende.

6.1 Resistorer

Vi har tidligere nevnt at det i en **elektrisk leder** finnes mange frie ladninger (elektroner), som lett lar seg flytte av et elektrisk felt. I en **resistor** er elektronene tettere bundet til atomkjernene og lar seg ikke så lett flytte.

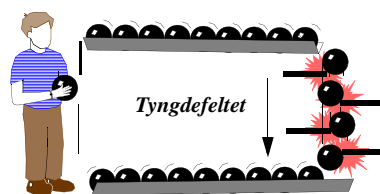
La oss ta utgangspunkt i en enkel elektrisk krets med et batteri, en resistor, R , og to ledninger. Batterispenningen er U , i følge Kirchkoffs andre lov vil summen av potensialforskjellene (spenningsfeltet) langs en sluttet krets alltid bli lik null. Mesteparten av spenningsfeltet blir derfor liggende over resistoren, 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 46 Fordeling av det elektriske feltet U i en enkel sluttet krets.

Vi har tidligere funnet ut at det er det elektriske feltet som driver elektronene framover. En skulle derfor tro at elektronene hadde problemer med å komme seg fram langs ledningene siden feltet her er så svakt, mens de i resistansen 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 resistansen 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 resistoren blir varm.

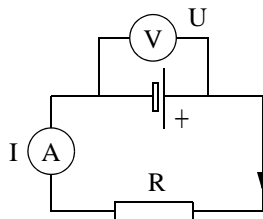


Figur 47 Kulene møter motstand i fallet

Vi husker analogien med kulene som faller i tyngdefeltet. I figur 47 er det lagt inn sperrer som hindrer kulene i fallet. På den måten vil analogien ligne litt mer på en strømkrets med en resistor. Kulene vil som elektronene avgi energi i fallet.

Resistorer kan øve ulik motstand i kretsen avhengig av motstandens resistans. En resistor med høy resistans vil øve stor motstand og strømmen vil bli liten. En resistor med lav resistans vil øve liten motstand og strømmen vil bli større.

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



Figur 48 Måling av strøm (I) og spenning (U) i en sluttet krets med resistor 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**.

$$U = R \cdot I \tag{6.1}$$

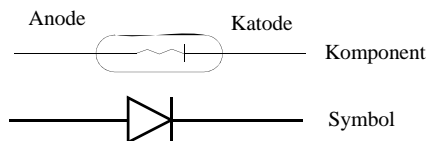
Ohms lov, som er en av de viktigste lovene i elektrisetslære, beskriver sammenhengen mellom strøm og spenning i en krets som inneholder resistanser. Denne loven vil bli utdypet i avsnitt 9.1.

Resistorer er viktige komponenter i elektroniske kretser. De brukes til å begrense strømmen og til å lage spenningsdelere som gjør at f.eks. transistorer får riktig spenning på sine terminaler.

I elektrisetsforsyningen brukes dessuten resistorer i varmeovner for å omdanne elektrisk energi til varmeenergi.

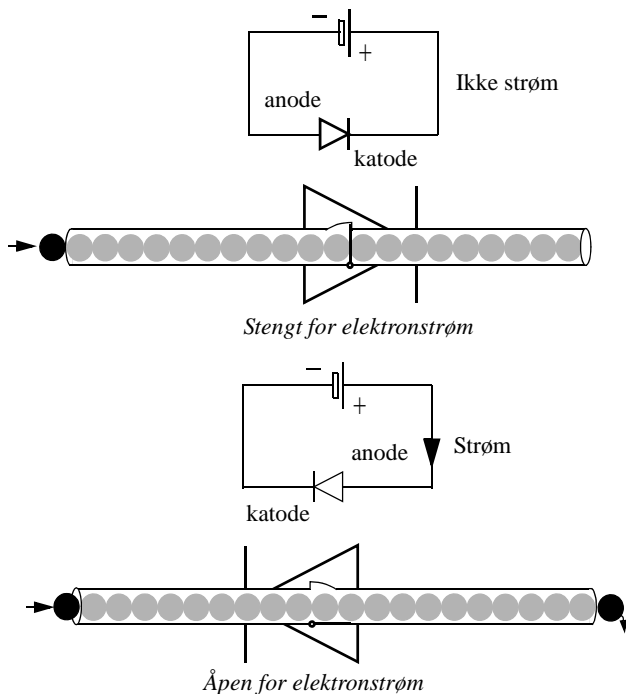
6.2 Dioden

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



Figur 49 Diode

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

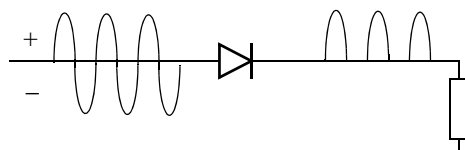


Figur 50 Dioden leder strøm en vei og sperrer den andre.

Dioder brukes f.eks. til å *likerette* vekselspanning.

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

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.

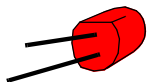


Figur 51 Dioder brukes til å likerette spenninger.

I riktig gamle dager, i radioens barn-dom, ble dioder brukt i *krystallapparater*. Dioden er også senere vært en viktig komponent i radio- og kommunikasjonsteknikk.

Lysdioden

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. Vi husker at elektroner bare kunne oppta og avgi energi i spesielle mengder. Lysdioder er laget slik at dioden avgir denne energien som synlig lys. Fargen på lyset bestemmes av hvor mye energi elektronene avgir idet de faller på plass i gitteret. Enkelte dioder avgir også "lys" i det usynlige området av frekvensspekteret. Dette kalles infrarød stråling (IR). Slike IR-dioder brukes f.eks. i fjernkontroller. Ved å variere intensiteten til de utsendte IR-strålene er det f.eks. mulig å overføre informasjon fra fjernkontrollen og f.eks. til et fjernsynsapparat.



Figur 52 Lysdiode

Lysdioder har ikke glødetråd som blir varm, derfor er lysdioder langt mer driftsikre og har lengre levetid enn lyspærer. Dessuten produserer de svært lite varme og er derfor langt mer effektive, dvs. at mye mer av den tilførte effekten blir til lys enn hva som er tilfelle for en vanlig lyspære, 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 trafikklys.

For å finne ut mer om dette temaet se vedlegg A eller nettsiden www.howstuffworks.com.

6.3 Transistoren

Transistoren ble oppfunnet i 1947 av tre amerikanere. Siden den gang er den tatt i bruk på nær sagt alle områder. Vi finner flere hundre tusen i en mobiltelefon. En moderne datamaskin inneholder over en milliard transistorer. Videre finner vi transistorer i fjernsynet, radioen, bilen, videokameraet, i leketøy, klokker osv.

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

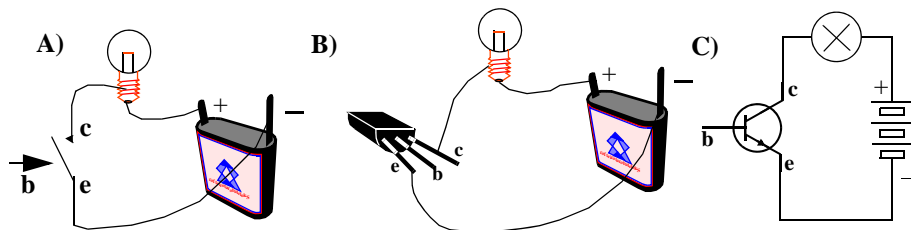
Transistoren brukes hovedsakelig på to måter. Enten til å **forsterke svake signaler** eller som **elektrisk strømbryter**. La oss først se på transistoren brukt som bryter.

6.3.1 Transistoren som bryter

Transistoren har tre terminaler. Dersom vi tenker på transistoren som en bryter vil to av terminalene tilsvare de to strømførende ledningene til bryteren (figur 53 A). Lampa vil ikke lyse siden ingen trykker på knappen (b).

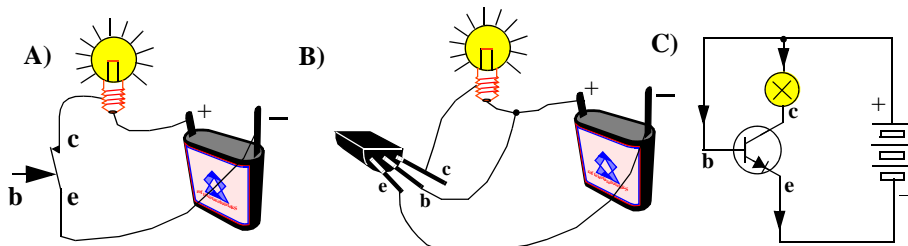
Vi bytter ut bryteren med en transistor (figur 53 B) og ser at pæra fortsatt ikke lyser. Dette skyldes at styreterminalen (**basen**) til transistoren ikke er tilkoblet.

På figur 53 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 53 Transistoren som bryter, av.

Hva får så pæra til å lyse? På figur 54 A) har vi trykket på bryteren og vi får en *sluttet* krets, dvs. at det kan gå strøm fra batteriet, gjennom bryteren, lyspæra og tilbake til batteriet, og lyspæra lyser.



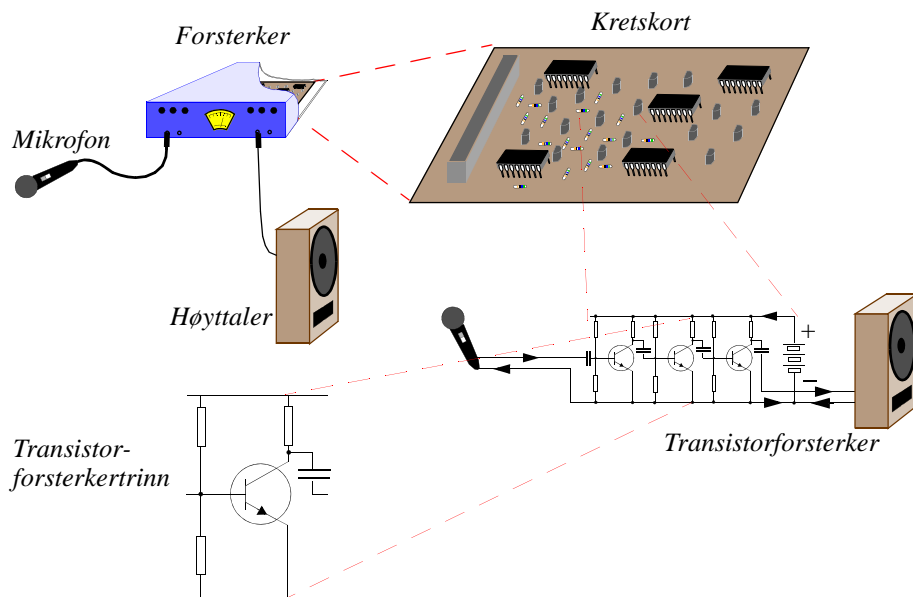
Figur 54 Transistoren som bryter, på.

På figur 54 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. Den som ser nøye på transistorssymbolet, ser at det sitter en liten diode mellom basen (b) og emitteren (e). Når vi legger basen til plusspolen på batteriet, begynner 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.

6.3.2 Transistoren som forsterker

Den andre viktige anvendelsen for transistorer er som signalforsterkere.



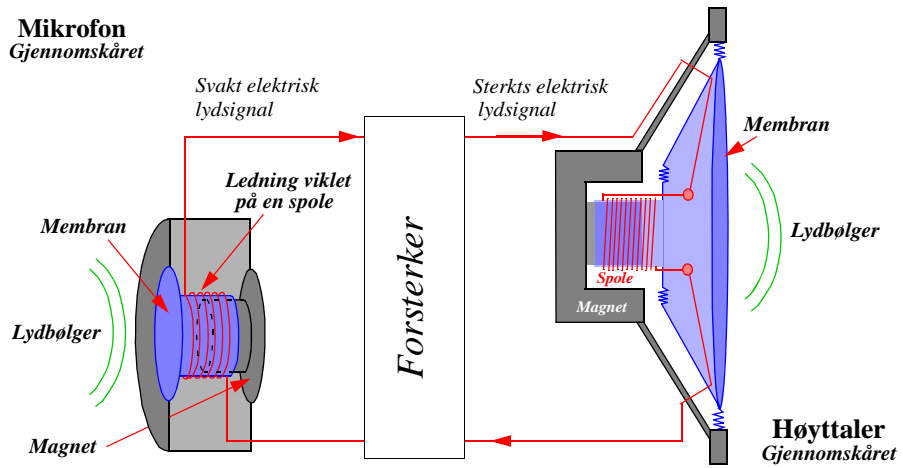
Figur 55 Transistoren som forsterker.

De fleste har brukt forsterkere i form av lydforsterkere. 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.

Inne i forsterkeren føres de små elektriske strømmene inn på styreterminalen (**basen**) til en transistor (figur 55). De små strømmene gjennom basen får en stor strøm til 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 denne 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.



Figur 56 Mikrofonen omdanner lydbølgene til et elektrisk lydsignal. Høytaleren omdanner det forsterkede elektriske lydsignalet til kraftige lydbølger.

7 Hvilke forståelsesmodeller møter vi hos elevene?¹

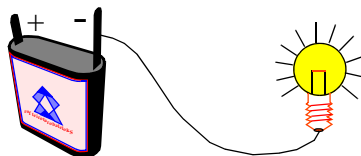
De fleste elever har høstet erfaring med elektrisitet, hovedsakelig ved at alle bruker elektrisk apparater og lamper til daglig. Det er derfor ikke rart at elevene danner seg forestillinger om hvordan disse fungerer.

Undersøkelser både i Norge og fra Gøteborg i Sverige har vist at elevene har mange ulike forestillinger om strøm og spenning i elektriske kretser, og at mange av disse forestillingene harmonerer dårlig med de vitenskapelige forklaringsmodellene.

EKNA-prosjektet (*Elevtænkinge og kurskrav i naturvetenskaplig undervisning*) fra Gøteborg, viser at elevens forestilling av elektriske strømkretser kan deles inn i seks ulike forklaringsmodeller:

1. **En-pol-modellen**

sier at det holder med *en* ledning mellom energikilden og lampen. Det er ikke underlig at mange har en slik forestilling, da en som oftest bare ser “en” ledning mellom stikkontakten og lampen.



2. **To-komponentmodellen**

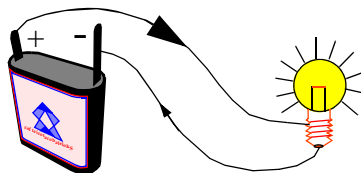
sier at lampen trenger to ledninger. Den ene ledningen fører “*pluss-strøm*”, den andre “*minus-strøm*”. Begge typer strøm trengs for at ei lampe skal virke. Denne modellen kan inkludere en forestilling om en *sluttet krets*.

3. **Sirkuleringsmodellen**

Alle elektriske komponenter har to tilkoblingspunkter. En sluttet krets er nødvendig for at strømmen skal sirkulere.

4. **Strømforbruksmodellen**

inkluderer en sirkuleringsmodell, eller sluttet krets. En relativt stor strøm forlater batteriet og går til lyspæra hvor strømmen brukes opp. Den delen av strømmen som likevel ikke brukes opp, føres tilbake til batteriet. Denne strømmen vil derfor være langt mindre enn den som går fra batteriet til lyspæra.



5. **Konstant-strømkilde-modellen**

inkluderer også en sirkuleringsmodell. Batteriet gir en konstant strøm uansett hvilke komponenter som er koblet inn i kretsen. Batteriet svekkes etterhvert som det brukes opp. I denne forestillingen brukes ikke strømmen opp, men kan være forskjellig i de ulike delene av kretsen.

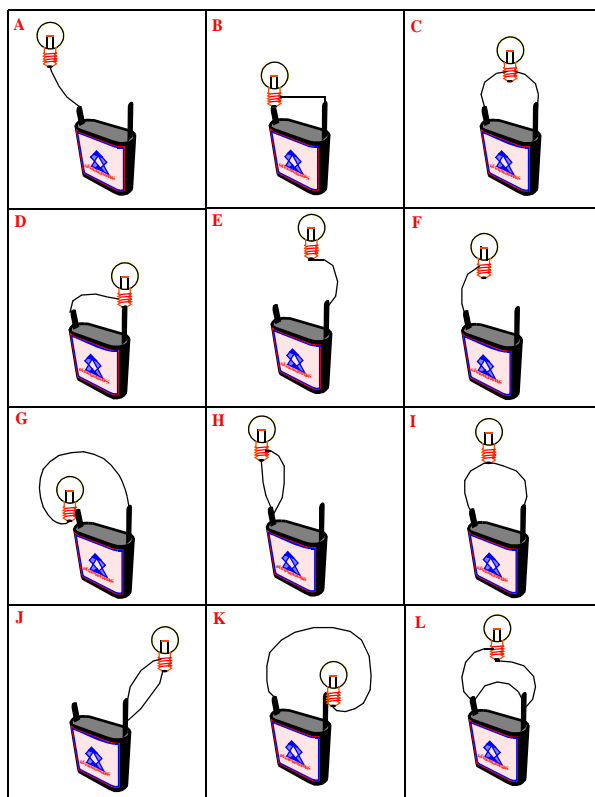
6. **Ohms modell**

inkluderer også en sirkuleringsmodell. Kretsen betraktes som et system der strømmen avhenger av batteriet og alle komponentene som inngår i kretsen. Strømmen er den samme overalt i en krets uten forgreininger.

1. Stoffet til dette avsnittet er hentet fra [1].

Studerer vi disse seks modellene ser vi raskt at sirkuleringsmodellen, 3, og Ohms modell, 6, harmonerer godt med de vitenskapelige forklaringsmodellene.

Følgende testoppgave er brukt for å avsløre hvordan elevene tenker om en eller to tråder. Elevene blir bedt om å krysse av på de koblingene de mener får pæra til å lyse.



Figur 57 Testark brukt for å teste elevenes forestillinger om hvor mange ledninger som trengs mellom en pære og et batteri [1].

Resultatene av undersøkelsen i grunnkurset i videregående skole viser at elevenes svar grupperer seg i tre kategorier:

1. *Enpolet* batteri og *enpolet* lampe
2. *Topolet* batteri og *enpolet* lampe
3. *Enpolet* batteri og *topolet* lampe
4. *Topolet* batteri og *topolet* lampe

I følge [1] ble resultatet som vist i tabellen under.

Klassetrinn	1 pol bat. 1 pol lampe	1 pol bat. 2 pol lampe	2 pol bat. 1 pol lampe	2 pol bat. 2 pol lampe
6. klasse	56%	6%	22%	14%
7. klasse	46%	5%	31%	18%
8. klasse	39%	4%	37%	19%
9. klasse	31%	1%	48%	20%
Gr.k. + VKI ikke realister	39%	2%	48%	11%
Gr.k. + VKI realister	7%	3%	29%	20%

Vi legger merke til at 80% eller flere av elevene, selv blant realister, velger den gale løsningen. Vi legger også merke til at det skjer lite med forståelsen opp gjennom grunnskolen. Dette skulle resultere i at det settes fokus på følgende:

1. En sluttet krets er nødvendig for at en elektrisk strøm skal kunne gå
2. Åpne en lyspære å se hvordan ledningene er koblet inne i pæra
3. La elevene få eksperimentere med batterier og lyspærer slik at de får erfare hvilke koblinger som *gir* lys og hvilke som ikke *gir* lys.

Entråd-modellen

At *en*-ledningsmodellen mellom batteri og lyspære er så populær er kanskje ikke så underlig. Det er dette elevene i mange tilfeller erfarer. En ledning fra stikkontakt til lyspære, *en* ledning mellom dynamo og lykt på sykkel, *en* ledning fra bilbatteri til dynamo.

Det kan være nyttig:

- å ta med en lampeledning, klippe opp og la elevene oppdage at det inne i ledningen går to ledninger
- å se nærmere på en sykkel med lykt og dynamo, og finne den sluttede elektriske kretsen
- å ta elevene med ut i bilen for å studere den sluttede kretsen mellom dynamo og bilbatteriet

Hverdagsspråket

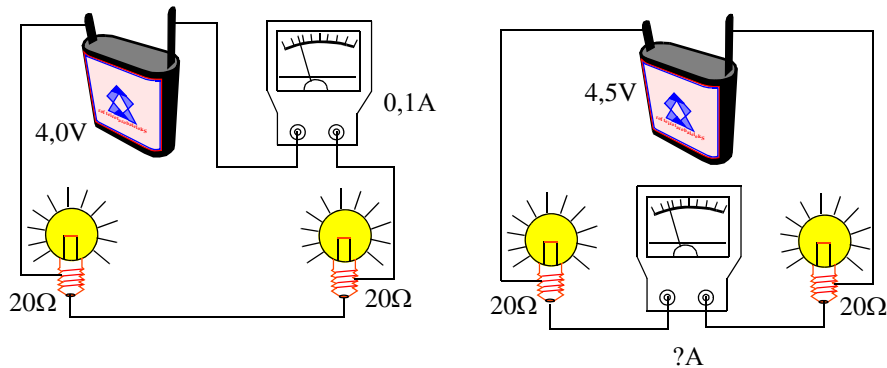
Det kan også være nødvendig å ta tak i vanlige talemåter. Vi sier ofte “*ikke sløs med strømmen*”, “*at vi må spare på strømmen*”, “*at strømmen er blitt så dyr*”. Eller vi spør “*hvor mye strøm har du brukt siste kvartal?*”.

Slike talemåter bygger opp rundt strømforbruksmodellen, og gir inntrykk av at det trengs *en* ledning mellom strømkilden og apparatet, der strømmen brukes opp og blir til varme eller lys.

Diskuter slike hverdagsuttrykk med elevene og spør dem hva de legger i dem.

Forestillinger om strømkretser

La oss til slutt se nærmere på ulike forestillinger om strømkretser. Følgende test ble gitt til elever [1].



Figur 58 Måling av strøm ulike steder i kretsen.

Spørsmålet er hva Ampère-meteret måler dersom det flyttes til ulike steder i kretsen?

Denne testen ble gjennomført blant 2000 elever i 1. klasse på videregående skole av Skolelaboratoriet på fysisk institutt ved Universitetet i Oslo og resultatet ble at bare 20% av guttene og 13% av jentene svarte rett [1].

Noen av elevene svarte at Amper-meteret viste 0,05A da halvparten av strømmen var brukt opp i den første pæra. Andre elever svarte at Ampère-meteret ikke ville slå ut i det hele tatt siden strømmen var brukt opp i hver av de to pærene. Denne gruppen antar at strømmen kommer fra hver sin side og brukes opp i de to pærene.

Begge disse gruppene baserer svarene sine på en forbruksmodell. Strømmen brukes opp i pærene.

8 Grunnleggende begreper, en teoretisk tilnærming

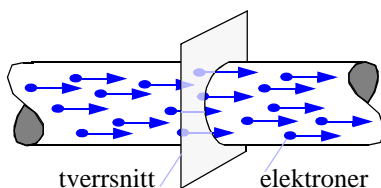
I dette kapitlet skal vi lære mer om de sentrale begrepene knyttet til elektrisitet og gå dypere inn i den matematiske beskrivelsen av de naturfenomener som beskrives i elektrisitetslæren. I denne forbindelse må vi erkjenne noen få grunnleggende forhold i naturen.

8.1 Elektrisk ladning og strøm

Det første grunnleggende forhold som vi må erkjenne er at det eksisterer et fenomen som vi kaller for elektrisk ladning. Vi betegner mengden av ladning med bokstaven Q . Fenomenet elektrisk strøm¹ får da sin definisjon som mengde av ladning som passerer et bestemt tverrsnitt av en strømbane per tidsenhet

$$\text{elektrisk strøm} = I = \frac{\text{Ladning}}{\text{Tidsenhet}} = \frac{Q}{t} \quad (8.1)$$

hvor t er tiden. Ladning måles i enheter av *Coulomb* (C), hvor $1 C = 1 A \cdot s$. Mens strømmen måles i enheter av *Ampère* (A), hvor $1 A = C/s$.



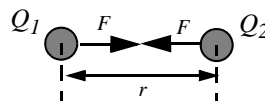
Figur 59 Ladninger som beveger seg langs en strømbane.

8.2 Elektrostatisk kraft

For at det skal kunne gå en strøm av ladninger må det eksistere en kraft som kan bevege ladningene. Det andre grunnleggende forhold som vi må erkjenne er at det eksisterer krefter mellom ladninger.

Den *elektrostatiske kraften* F mellom to elektriske ladninger Q_1 og Q_2 (f.eks. to elektroner) er bestemt av:

$$F = \text{konstant} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \quad (8.2)$$



1. Elektrisk strøm er et flertydig begrep. Dvs. det finnes flere typer av elektrisk strøm. Det vi skal snakke om her er det vi ofte betegner som sann strøm. Dvs. strøm som er identisk med fysisk transport av frie *elektriske ladninger*.

hvor r er avstanden mellom de to ladningene og konstanten er lik $1/(2\pi\epsilon)$, hvor ϵ er den såkalte elektriske permittiviteten¹. Permittiviteten er en materialkonstant som forandrer verdi avhengig av hvilket materiale feltet brer seg i (vakum, luft, plast osv.).

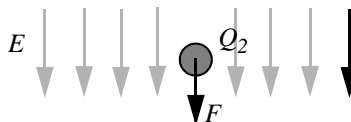
Hvis mange elektriske ladninger virker på hverander samtidig vil det bli svært komplisert å beskrive dette med ligninger av typen (8.2). For praktiske formål er denne beskrivelsen derfor tungvindt. I praktiske sammenhenger er vi vanligvis interessert i den totale kraftvirkningen fra mange ladninger på en enkelt ladning. Som et kunstgrep for å komme fram til en mer praktisk beskrivelse innfører vi begrepet *elektrisk felt* med en størrelse som vi betegner med bokstaven E . *Dermed deler vi problemet i to*. Først finner vi det elektriske feltet fra en gruppe av ladninger. Så studerer vi feltets påvirkning på en enkelt ladning.

Kraften på en enkelt ladning Q_2 fra et elektrisk felt E er:

$$F = Q_2 \cdot E \quad (8.3)$$

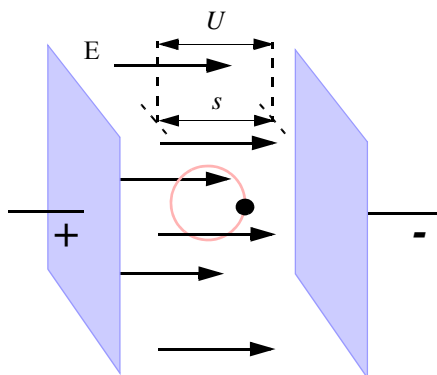
Hvis vi kombinerer ligningene (8.2) og (8.3), ser vi at for en feltbeskrivelse av vekselvirkninger mellom to ladninger, er feltet gitt som:

$$E = \text{konstant} \cdot \frac{Q_1}{r^2} \quad (8.4)$$



Ligningen (8.4) viser at et elektrostatiske felt alltid har sitt opphav i ladninger. Ligningen viser også at feltet rundt en enkeltladning varierer med avstanden fra ladningen og blir således *inhomogent* i rommet, dvs. det endres fra sted til sted i rommet.

Et homogent elektrisk felt kan settes opp mellom to plane og parallelle metallplater som ligger på forskjellig potensiale som vist i figur 60. På hver av platene vil ladninger fordele seg jevnt på overflaten. Positive på den ene og negative på den andre. Ved kantene vil feltet være inhomogent, men etterhvert bli homogent når avstanden til kantene øker



Figur 60 I et homogent elektrisk felt E , vil vi få en potensialforskjell på U over en strekning s .

8.3 Elektrostatiske potensiale og spenning

Siden det elektrostatiske feltet influerer en ladning med en kraft vil ladningens potensielle energi være avhengig av hvor i feltet ladningen er.

En egenskap ved et elektrisk felt er at en testladning² som beveger seg i en lukket sløyfe fra et punkt i feltet tilbake til samme punkt, ikke utfører noe

1. For vakum er permittiviteten $\epsilon = \epsilon_0 = 8.85 \text{ pF/m}$, hvor F er forkortelsen for Farad = A·s/V, som er enheten for kapasitet.

netto arbeid. Slike felt betegnes som *konservative felt*. For konservative felt kan vi definere et potensiale i hvert punkt i feltet. Potensialet i et bestemt punkt er definert som det arbeid (kraft ganger vei) som må utføres for å føre en enhetsladning fra uendelig og fram til dette punktet. Vi kaller forskjellen i potensiale mellom to punkter i et elektrisk felt for *elektrisk spenning*. Størrelsen av denne betegnes gjerne med bokstaven U og måles i enheter av *Volt (V)*. Fra definisjonen av elektrisk potensiale følger at spenningen mellom to punkter i et elektrisk felt er det arbeid som må utføres for å føre en enhetsladning fra det ene punktet til det andre. Spenningen mellom to punkter i avstand s i et elektrostatisk felt er da gitt som:

$$U = E \cdot s \quad (8.5)$$

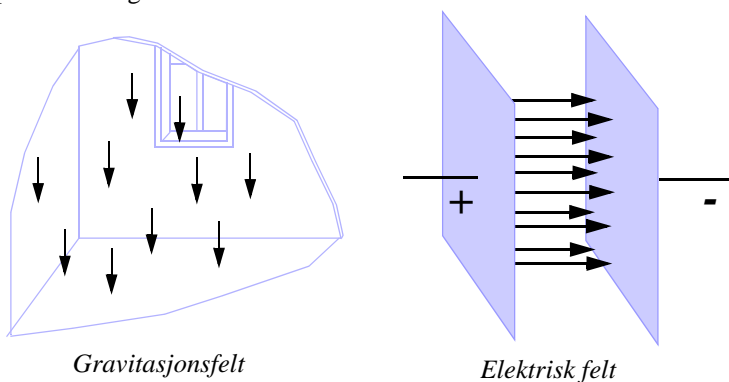
dvs. som kraften på en enhetsladning ganger veien som den forflyttes. Ligningen viser at det elektriske feltet har enheten V/m.

8.4 Mere om feltbegrepet

Feltbegrepet er i fysikken generelt knyttet til en størrelse som har en definert verdi i hvert punkt i en del av rommet. De fleste feltstørrelser har også en retning og er derfor vektorer i matematisk forstand.

Eksempler på feltstørrelser er *kraft* og *hastighet*.

På figur 61 illustrerer vi hhv. et gravitasjonsfelt og et elektrostatisk felt. Størrelsen og retningen i hvert punkt er angitt som en pil (vektor), hvor feltets størrelse angis av pilens lengde, og feltets retning med pilens retning.



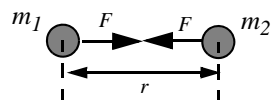
Figur 61 Eksempler på felter som har en retning (vektorfelt).

Gravitasjonsfeltet er konservativt på samme måte som det elektrostatiske. For å få en dypere innsikt i det elektrostatiske feltet er det nyttig å betrakte analogien mellom de to konservative feltene.

Gravitasjons kraften F mellom to masser m_1 og m_2 er bestemt av:

2. En testladning i et elektrisk felt er en ladning som er så liten i forhold til de ladninger som genererer feltet at den ikke influerer feltstyrken på noen vesentlig måte.

$$F = \text{konstant} \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (8.6)$$



hvor r er avstanden mellom de to massene og konstanten er den universelle gravitasjonskraften G^1 .

Analogt med det elektriske feltet kan vi definere feltstyrken som

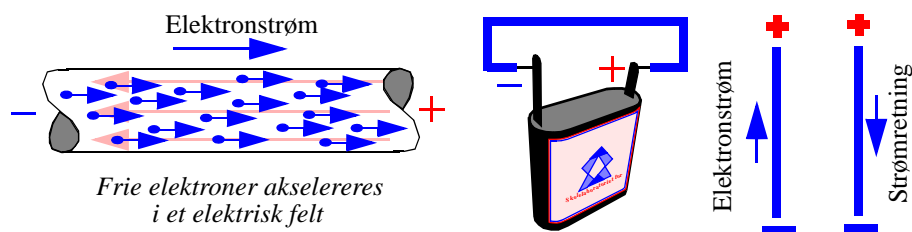
$$g = \text{konstant} \cdot \frac{m_1}{R^2} \quad (8.7)$$

Dere vil gjenkjenne denne størrelsen som tyngdens akselerasjon. Hvis vi tolker R som avstanden fra jordens sentrum og utover vil g være R -avhengig. På jordoverflaten er $R = R_0 =$ Jordradien og g er omtrent konstant.

Potensialenergien for en masse m i gravitasjonsfeltet er gitt som mgh , hvor h er høyden over bakken. En størrelse som er analog med den elektriske spenningen vil være størrelsen gh . Massen og ladningen er analoge siden de begge gir opphav til en kraftvirkning.

8.5 Ledere, halvledere og isolatorer

Det tredje grunnleggende naturfenomen som vi må erkjenne er at det finnes *ledere*. Dvs. materialer som kan lede elektriske ladninger. Hvis vi legger et ytre elektrisk felt over et ledende materiale vil det strømme ladninger fra den ene siden til den andre i materialet. Denne forskyvningen av ladning vil føre til at det dannes et indre motfelt i materialet som nøytraliserer det ytre feltet slik at strømmen opphører. Hvis lederen danner sluttet sløyfe (en krets) vil ladningene imidlertid kunne sirkulere og strømmen vil vedvare så lenge det elektriske feltet i lederen vedvarer. Hvis vi former lederen som en lang og smal tråd, en ledning, kan den lede ladninger over lange avstander.



Figur 62 Feltpretning og strømretning i en elektrisk leder.

Vi kan skape et tilnærmet homogent elektrisk felt i en ledning ved at vi kobler ledningen mellom polene på et batteri, som vist i tegningen i midten av figur 62 over. Da vil det gå en *strøm av ladninger* fra den ene til den andre polen på batteriet.

1. $G = 6,67 \cdot 10^{11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$

Spørsmålene som nå reiser seg er: hva er ledere og hvor kommer ladningene fra?

Alle materialer er sammensatt av atomer. Atomene består av positivt ladede kjerner omkranset av negativt ladede elektroner, slik at atomet totalt sett er nøytralt.

Den vanligste er at elektronene er tett bundet til atomene i hver sin diskrete energitilstand (posisjon), som i sin tur inngår i den materielle strukturen. Elektronene kan dermed ikke gis en vilkårlig akselerasjon gjennom materialet. Det er derfor *ikke å forvente* at det vil gå en elektrisk strøm gjennom materialer når de plasseres i et ytre elektrisk felt. Slike materialer betegner vi som *isolatorer*.

Eksempler på isolatorer er alle gasser, mange faste stoffer som *glass, teflon, keramikk* og pvc (*plast*, som gjerne brukes for å isolere ledninger) og mange væsker som oljer og alkoholer.

I enkelte materialer ligger imidlertid energitilstandene så tett at elektronene i ytterste skall kan vandre mellom tilstandene ved hjelp av tilleggsenergi fra de termiske bevegelsene i materialet. I slike materialer vil i praksis en mindre del av de ytterste elektronene være frie til å bevege seg fra atom til atom i strukturen. Disse elektronene betegnes ofte som *ledningselektroner*, og materialer som har slike elektroner betegnes som *elektriske ledere*. De fleste ledere er metaller.

Eksempler på ledere er *kobber, aluminium, gull* og *sølv*.

De ladningene som vi snakker om i forbindelse med elektriske strømmer sitter derfor vanligvis på elektroner. Når vi snakker om frie ladninger i et fast stoff er det vanligvis ensbetydende med at vi snakker om frie elektroner. Ladningene vi snakker om er derfor på plass i materialet som frie elektroner. I tillegg finnes frie ladninger i elektrolytter som kan være i form av tilnærmet fast stoff eller væske. Da kan det dreie seg om både negative ladninger på elektroner og ioner, og positive eller negative ladninger på ioner. Elektrolytter finnes blandt annet i batterier. I en sluttet krets som består av et batteri og en kobbertråd vil strømmen derfor bli transportert både vha. elektroner og ioner.

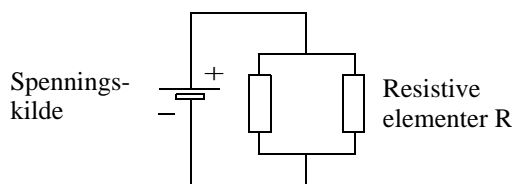
I noen materialer er avstanden mellom tillatte energinivåer for de ytterste elektronene liten, men dog noe større enn hos ledere. Disse materialer leder noe strøm samtidig som ledningsevenen er temperaturavhengig. Disse materialene går under betegnelsen som *halvledere* og brukes bl.a. til framstilling av *transistorer*.

Eksempler på halvledermaterialer er *silisium* og *germanium*.

8.6 Den elektriske kretsen

For at en elektrisk strøm skal vare ved må strømbanen danne en sluttet krets, og den må inneholde en spenningskilde (f.eks. et batteri) som vedlikeholder et elektrisk felt langs kretsen. Kretsen må imidlertid også inneholde resistive elementer som hindrer ladningene i å akselerere til stadig høyere hastigheter for hver omdreining de går i kretsen.

En enkel strømkrets kan se ut som på figur 63.



Figur 63 Enkel strømkrets

For enhver strømkrets gjelder fire fundamentale lover: Ohms lov, effektloven og Kirchhoffs første og andre lov.

Ohms lov sier at sålenge det resistive leddet har en konstant resistans (R) vil strømmen (I) i kretsen være proporsjonal med spenningen (V) over kretsen.

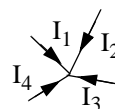
$$V = RI \quad (8.8)$$

Effektloven sier at den effekt (W) som utvikler seg i en elektrisk krets er lik produktet av strømmen og spenningen i kretsen.

$$W = VI \quad (8.9)$$

Effekt er definert som den energi eller det arbeid som utvikles per tidsenhet. Effektloven følger da direkte av definisjonen til strøm og spenning. Spenning er arbeid per enhetsladning og strøm er ladning per tidsenhet.

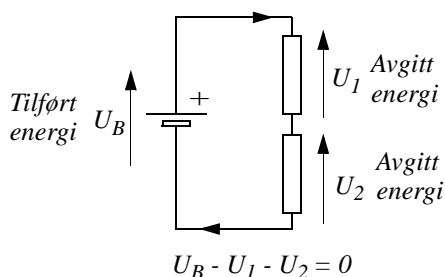
Kirchhoffs første lov er en bevaringslov for ladning som sier at den algebraiske summen av strømmene inn mot et knutepunkt er lik summen av strømmene ut fra det samme knutepunktet.



Med algebraisk menes at strømmene skal regnes med fortegn. Vi kan f.eks. velge strømmer inn mot knutepunktet som positiv og strømmer som går ut fra et knutepunkt som negative. Dette betyr at strøm kan ikke forsvinne eller dukke opp i et knutepunkt. Summen av de strømmene som kommer inn må alltid være lik summen av de strømmene som går ut fra knutepunktet.

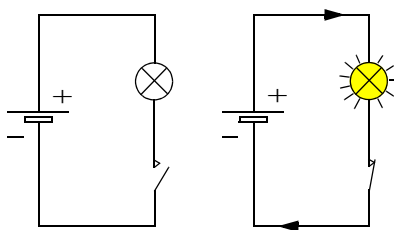
Kirchhoffs andre lov er en energibevaringslov som sier at den potensielle energien som elektronene får tilført når de passerer spenningskilden (batteriet), er lik den energi de taper når de passerer gjennom kretsen (de resistive elementene)

Når elektronene forlater batteriet har de fått tilført potensiell energi. All denne energien går tapt på vei gjennom kretsen slik at når de returnerer til batteriet har de mistet all den tilførte energien. Konsekvensen av Kirchhoffs andre lov er også at om vi summerer potensialforskjellene langs en sluttet krets så vil summen bli lik null.1



Figur 64 Kirchhoffs andre lov

Kirchhoffs lover har en viktig konsekvens: Nemlig at det kun kan gå strøm i en sluttet krets. Se for eksempel på kretsen i figur 65. Der må strømmen både må ha en ubrutt vei fram til lampen og en returvei tilbake til den andre polen på batteriet. Selv om dette synes opplagt så er det ikke selvsagt at elevene skjønner dette (se avsnitt 7).



Figur 65 En krets må være sluttet for at det skal gå strøm

8.7 Den elektriske strømretningen

Elektrisk strøm er forflytning av ladninger som sitter på atomære partikler. Pga. at det finnes to typer ladninger, betegnet som hhv. positive og negative, er det ikke mulig å definere en retning for elektrisk strøm som alltid er i overensstemmelse med retningen til strømmen av de partikler som bærer ladningen.

Ifølge konvensjonen defineres strømretningen i en strømkrets som retningen til partikkelstrømmen til de partikler som bærer positiv ladning. I den ytre kretsen (kretsen utenfor spenningskilden) vil dette si at strømretningen går fra spenningskildens positive pol til den negative. For partikler som bærer negativ ladning (f.eks. elektroner) vil strømretningen være motsatt av retningen til partikkelstrømmen (elektronstrømmen).

9 Elektroniske komponenter, en måleteknisk tilnærming

Praktisk elektronikk beskjeftiger seg med sammenstilling av standardiserte kommersielt tilgjengelige komponenter i den hensikt å oppnå en bestemt nyttevirkning. I dette kapittelet skal vi se nærmere på noen sentrale elektroniske komponenter.

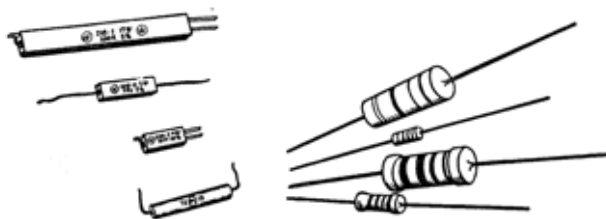
De nyttige egenskapene til elektroniske komponenter kan ofte best karakteriseres ved sammenhengen mellom den strømmen som går gjennom komponenten og den spenningen som legges over komponenten. Denne sammenhengen kan framstilles grafisk og betegnes som komponentens *strøm-spenningskarakteristikk*.

I det følgende skal vi se på noen vanlige elektroniske komponenter og deres strøm-spenningskarakteristikker.

9.1 Resistoren

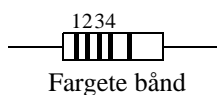
Resistoren er en av de mest grunnleggende elektroniske komponenter. Ved hjelp av den kan vi etablere spenningsnivåer rundt om i kretsen vår.

I praksis kommer resistorer i ulike utførelser og er bygget opp på forskjellig måte, avhengig av hva den skal brukes til. Eksempler på ulike typer resistanser kan være *trådviklede*, *sintret av kullstøv* eller som *metallfilm*.



Figur 66 Eksempler på resistorer

9.1.1 Angivelse av resistansen (motstansverdien)



Figur 67 Merking av resistorer

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

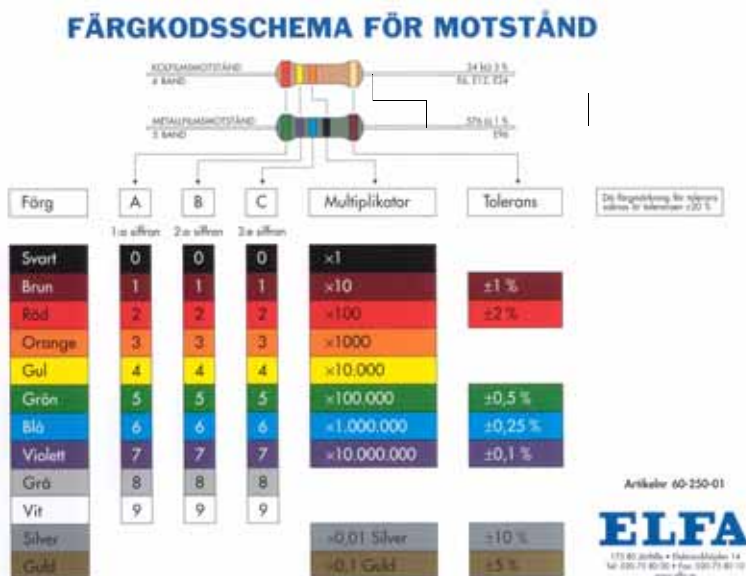
Resistansen måles i enheter av *Ohm* som betegnes med den greske bokstaven Ω (*omega*). Fordi Ohm er en svært liten enhet, får vi resistorer fra med verdier fra under 1Ω opp til flere millioner Ω . Vi kan imidlertid ikke få dem i alle tenkelige størrelser. Resistorer produseres i standardiserte *serier*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

Tabell 1: Fargekoding av resistorer

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

Serien E12, som brukes ganske mye, har 12 verdier for hver dekad (tier-potens). Dvs. det finnes 12 verdier mellom 10 Ohm og 100 Ohm. Disse verdiene er standardisert til 12Ω , 15Ω , 18Ω , 22Ω , 27Ω , 33Ω , 39Ω , 47Ω , 56Ω , 68Ω , 81Ω og 100Ω . Tilsvarende finner vi 12 verdier mellom 100Ω og 1000Ω , osv. På samme måte har vi serien E24. Denne merkes med fire ringer.

I E12 serien angir de to første ringene 1. og 2. siffer i verdien. Den 3. ringen angir multiplikasjonsfaktoren gitt som potens av 10. En resistor 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 $33 \times 100 = 3300\Omega$ eller $3,3\text{k}\Omega$, hvor k står for kilo (1000).



Figur 68 Fargekoding av resistorer (ELFA). Ringene leses fra den siden der de er nærmest kanten.

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 24 og E 48 (presisjonsresistorer) merkes med fem ringe. Disse har henholdsvis 24 og 48 verdier innen hver dekad. De tre første ringene angir de tre første sifrene i resistansen (motstandsverdien). Den 4. ringen angir multiplikasjonsfaktoren i potenser av 10, som vist på figur 68, mens den 5. ringen angir nøyaktigheten til resistoren i henhold til koden i tabell 2.

Tabell 2: Fargekoding av nøyaktighet.

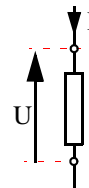
Farge	Betydning	Farge	Betydning
ikke merket	$\pm 20\%$	brun	$\pm 1\%$
sølv	$\pm 10\%$	grå	$\pm 0,5\%$
gull	$\pm 5\%$	blå	$\pm 0,25\%$
rød	$\pm 2\%$	fiolett	$\pm 0,1\%$

9.1.2 Resistorens strøm-spenningskarakteristikk

Vi skal nå se på hvordan strømmen gjennom en resistor avhenger av spenningen over den. Dvs. vi skal måle strøm-spenningskarakteristikken for en resistor. Sammenhengen mellom strøm og spenning i en resistor er elektrisitetens lærens mest anvendte lov.

For å kunne måle strøm-spenningskarakteristikken, må vi ha følgende utstyr tilgjengelig:

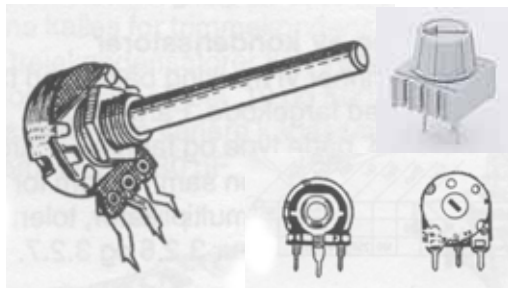
- Variabel spenningskilde
- Ampérmeter
- Multimeter (Volt-meter, Ampére-meter, Ohmmeter i samme instrument)
- Koblingsbrett



En variabel spenningskilde kan vi lage ved hjelp av:

- Batteri (2x4.5 V)
- Potensiometer (1 k, 0,5 W)

Potensiometret er en resistor med flyttbar tapping. Den kan vi bruke til å lage en varierende spenning. På figur 69 har vi vist noen potensiometre.

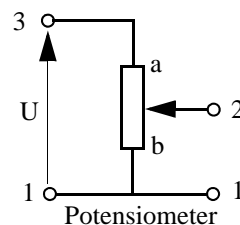


Figur 69 Eksempler på potensiometre

Symbolet for potensiometeret er vist på figur 70. Potensiometeret har tre terminaler (term.) 1, 2 og 3.

Ved å skru den lille skruen som sitter i siden av potensiometeret, flytter vi tappingen opp og ned langs resistoren. Dreier vi akslingen helt til den ene kanten ender vi opp ved **a** på figuren og spenningspotensialet på term. 2 er lik potensialet på term. 3. Dreier vi skruen helt til den andre enden, ender vi opp ved **b** og spenningspotensialet på term. 2 er lik potensialet på term. 1.

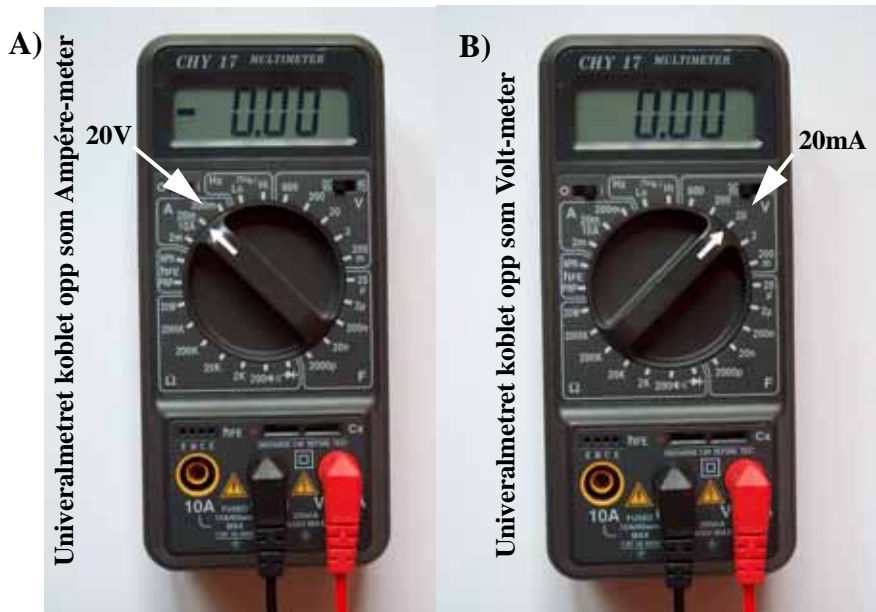
Hvis vi legger batterispenningen over resistoren fra terminal 1 til terminal 3 (U), vil spenningen i forhold til terminal 1 gradvis avta ettersom vi flytter tappingen langs resistoren fra **a** til **b**. Dette gjør vi ved å skru den lille skruen som sitter i siden av potensiometeret mot venstre.



Figur 70 Symbolet for et potensiometer

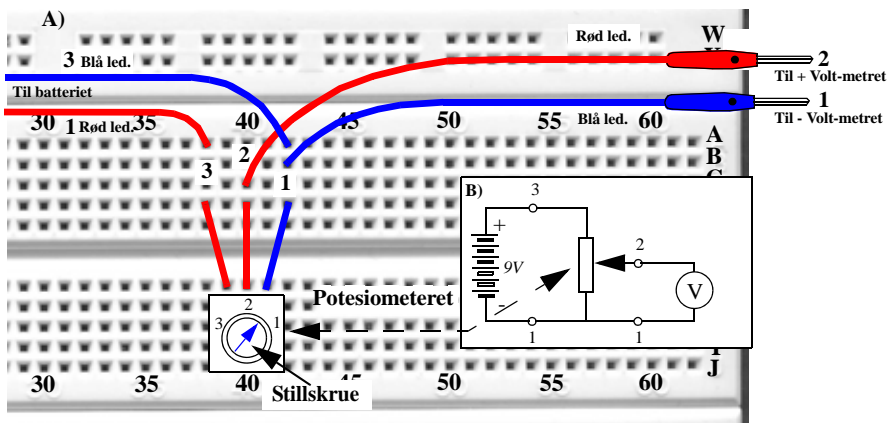
Framgangsmåte for oppkobling og testing

- Sett det ene multimetret til å måle likespenning i området 0-20 V som vist i figur 71.



Figur 71 Multimeteret satt for måling av A) likestrøm i området 0-20 mA, B) likespenning i området 0-20 V.

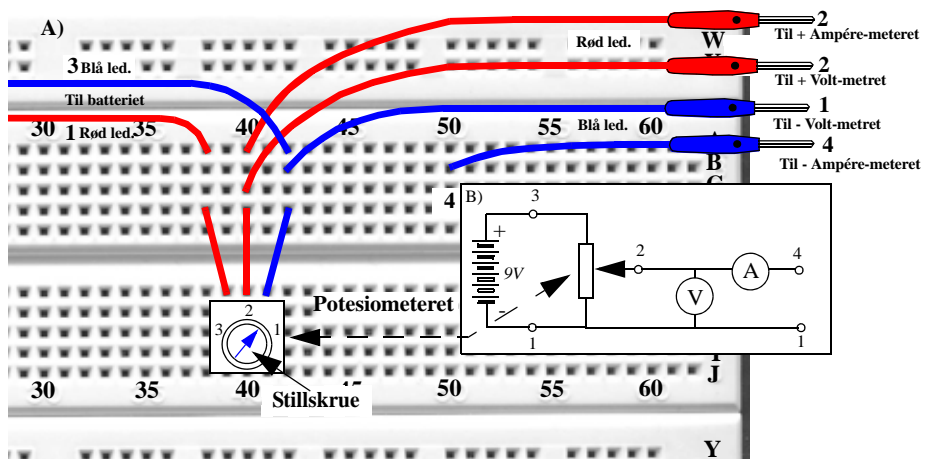
- Koble sammen potensiometeret, batteriet og Volt-metret vha. det hvite koblingsbrettet som vist i Figur 72. Klipp til ledninger med riktig lengde..



Figur 72 A) Bilde av oppkoblingen på koblingsbrettet, B) prinsippskisse av oppkoblingen

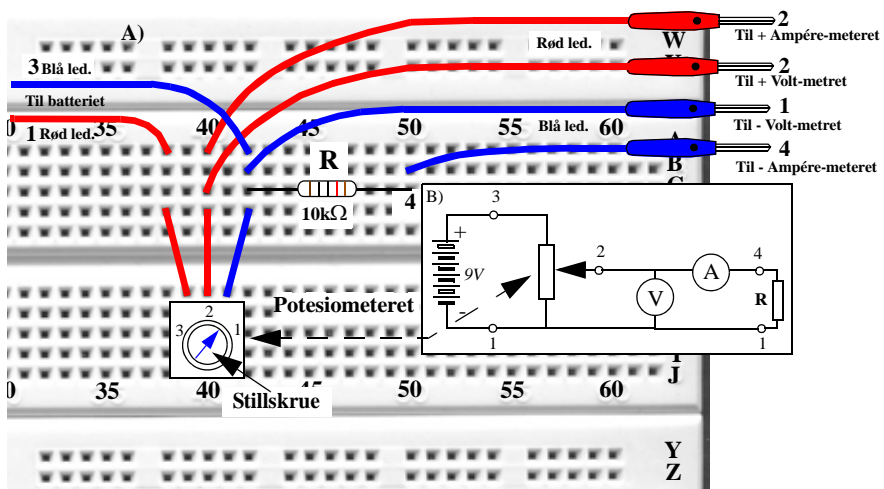
MERK: Det lønner seg å plassere potensiometeret på koblingsbrettet slik at teksten på potensiometeret vender mot deg (pinnenummereringen blir da fra venstre til høyre 3, 2, 1), og koble til ledningene på den siden av potensiometeret som vender fra deg.

- Test spenningskilden ved å skru på potensiometeret og registrer at spenningen endrer seg fra ca. 0V til 9V ved å lese av multimeteret.
- La oppkoblingen av den variable spenningskilden stå urørt.
- Sett det andre multimeteret til å måle likestrøm i området fra 0 til 20 mA som vist i figur 71 B).



Figur 73 A) Bilde av oppkoblingen på koblingsbrettet,
B) prinsippskisse av tilkoblingen av Ampère-metret.

- Koble en 10kΩ metallfilm-resistor til den variable spenningskilden i serie med Ampère-metret som vist i figur 74.



Figur 74 A) Bilde av oppkoblingen på koblingsbrettet,
B) skjematisk oppkobling av testresistoren R..

Testing

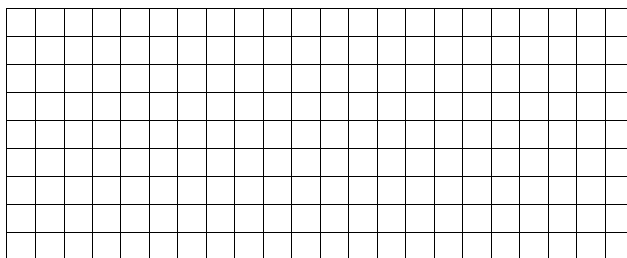
- Teste oppkoblingen ved å se at spenningen på Volt-metret (V) og strømmen i Ampère-metret (A) , endrer seg når du skrur på potensiometret.

Framgangsmåte for måling av strøm-spenningskarakteristikken for en resistor

- Registrer ca. 5 sammenhengende verdier av strøm og spenning (sjekk at strømmen er null når spenningen er null).

Spenning	0V	2V	4V	6V	8V
Strøm					

Strøm-spenningskarakteristikken for en resistans



Figur 75 Strøm-spenningskarakteristikken for en resistor

- Sett benevning på aksene i diagrammet og tegn strømmen som funksjon av spenningen, da kommer sammenhengen mellom strøm og spenning fram, og vi har fått strøm-spenningskarakteristikken for en resistor.

Ofte kaller vi for enkelthets skyld strøm-spenningskarakteristikken for bare *I-V karakteristikken*.

Tolkning av måleresultatene

- Kommenter formen til strøm-spenningskarakteristikken
- Hvilken kjent lovmessighet framstilles av karakteristikken?
- Hvilken tolkning kan du gi til helningskoeffisienten til karakteristikken?
- Beregn helningskoeffisienten til karakteristikken og sammenlign resultatet med data oppgitt for resistoren.
- Se på potensiometret som en variabel spenningskilde. Har oppkoblingen noen åpenbare ulemper?
- Se på oppkoblingen av Ampère- og Volt-metrene under registrering av strøm og spenning. Måler vi, i prinsippet, sann strøm igjennom - og sann spenning over resistoren?

9.1.3 Ohms lov

Dersom vi studerer funksjonen $I(U)$, så ser vi at denne blir en lineær funksjon. Ligningen for en generell lineær funksjon er lik:

$$y = ax + b \quad (9.1)$$

a angir stigningstallet for funksjonen og b krysningpunktet med y akse. I vårt tilfelle har vi funnet strømmen i resistoren som funksjon av spenningen målt over resistoren. Vi kan derfor sette opp:

$$I = aU + b \quad (9.2)$$

Siden strømmen I er lik null når spenningen U er null, vil $b = 0$.

Stigningstallet a er da lik:

$$a = \frac{I}{U} = \frac{1}{R} \quad (9.3)$$

Dette stigningstallet er bestemt av resistorens verdi. Desto brattere strøm-spenningskarakteristikken er, jo større er resistansen. Dvs. desto større resistansen er, jo mer må vi øke spenningen over den for at strømmen skal øke en gitt verdi.

Vi kan da sette opp følgende sammenheng, dersom vi ordner ligningen i figur 9.4:

$$U = R \cdot I \quad (9.4)$$

Denne loven kalles Ohms lov og er en av de viktigste både innen elektrisitetslæra og i elektronikken.

Anvendelser av resistorer

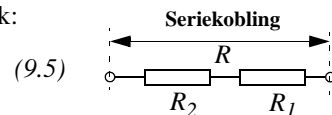
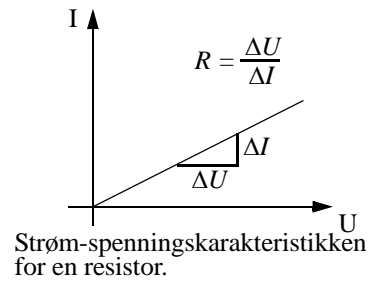
- Resistorer brukes for å oppnå riktige driftsspenninger i en krets. Dette er spesielt viktig når vi skal bruke transistorer.
- Resistorer brukes også i forbindelse med strøm-spenningsomvandling

9.1.4 Nettverk med serie- og parallellkobling av resistanser

For å oppnå resistanser med verdier som ligger mellom de som er tilgjengelige kan vi serie- og parallellkoble resistanser.

Når to resistanser R_1 og R_2 **seriekobles**, vil resultatet, R , bli lik:

$$R = R_1 + R_2$$



Når to resistanser R_1 og R_2 **parallellkobles**, vil resultatet, R , bli lik:

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 \quad (9.6)$$

Desto flere resistorer som kobles i parallell, jo mindre blir den resulterende resistansen.

Disse reglene kan utledes fra Kirchhoffs lover.

Seriekobling av resistanser:

I følge Kirchhoffs 2. lov er:

$$v_1 + v_2 = v \quad (9.7)$$

I følge Ohms lov er:

$$v_1 = R_1 \cdot i_1 \text{ og } v_2 = R_2 \cdot i_2 \quad (9.8)$$

Dersom vi setter ligningene (9.8) inn i (9.7) får vi:

$$R_1 \cdot i_1 + R_2 \cdot i_2 = R \cdot i \quad (9.9)$$

I følge Kirchhoffs 1. lov vet vi at:

$$i_1 = i_2 = i \quad (9.10)$$

Dersom vi setter ligningene (9.10) inn i (9.8) får vi:

$$R_1 + R_2 = R \quad (9.11)$$

Dvs. at når vi seriekobler to eller flere resistorer blir den totale resistansen lik summen av enkeltresistansene.

Parallellkobling av resistanser:

I følge Kirchhoffs 1. lov er:

$$i_1 + i_2 = i \quad (9.12)$$

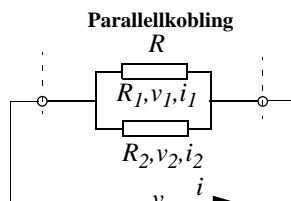
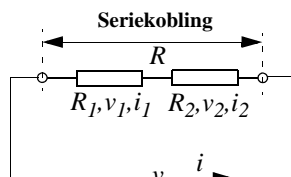
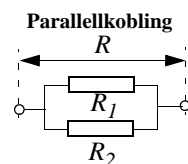
I følge Ohms lov er:

$$\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} = \frac{v}{R} \quad (9.13)$$

I følge Kirchhoffs 2. lov vet vi at:

$$v_1 = v_2 = v \quad (9.14)$$

Dersom vi setter ligningene (9.14) inn i (9.13) får vi:



$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{R}$$

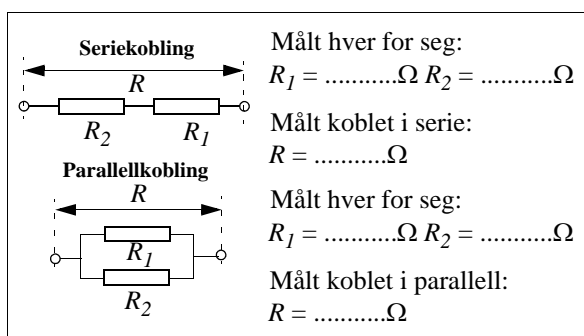
(9.15)

Dvs. at når vi parallelkobler to eller flere resistorer, blir den inverse verdien av den totale resistansen lik summen av de inverse forholdene av enkeltresistansene.

Prøv å koble opp resistorer i serie og parallell og måle resistansen med multimetret.

Framgangsmåte:

- Sett multimetret til å måle resistans som vist i figur 76.
- Mål verdien til noen seriekoblede og noen parallellkoblede resistorer



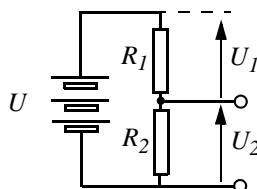
Figur 76 Måling av resistans

- Beregn verdiene og sammenlign resultatene med beregnede verdier ut fra oppgitte verdier og målte verdier for resistorene som inngår.

MERK: Når måleinstrumentet viser et enslig ett-tall så betyr det at resistansen mellom målepinnene er for stor til at instrumentet klarer å måle den.

9.1.5 Spenningsdeleren

Kretsen i figur 77 kalles en spenningsdeler.



Figur 77 Spenningsdeler

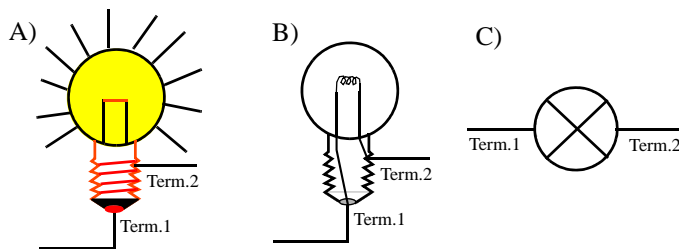
Den deler batterispenningen i forholdet:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad (9.16)$$

Denne koblingen er grunnlaget for fordeling av potensialer mellom punktene i elektriske kretser. Vi brukte den også da vi laget den variable spenningskilden.

9.2 Lyspæren

I kretser betegnes lyspæren med symbolet vist til høyre på figur 78.



Figur 78 A) Lyspære, B) ledningene inne i lyspæra, C) kretssymbolet for ei lyspære

Det er viktig å merke seg lyspærens to terminaler (tilkoblingspunkter). Den ene ser ut som en liten perle nederst, gjerne omkranset av sort isolerende materiale. Den andre er til gjengene langs sidene.

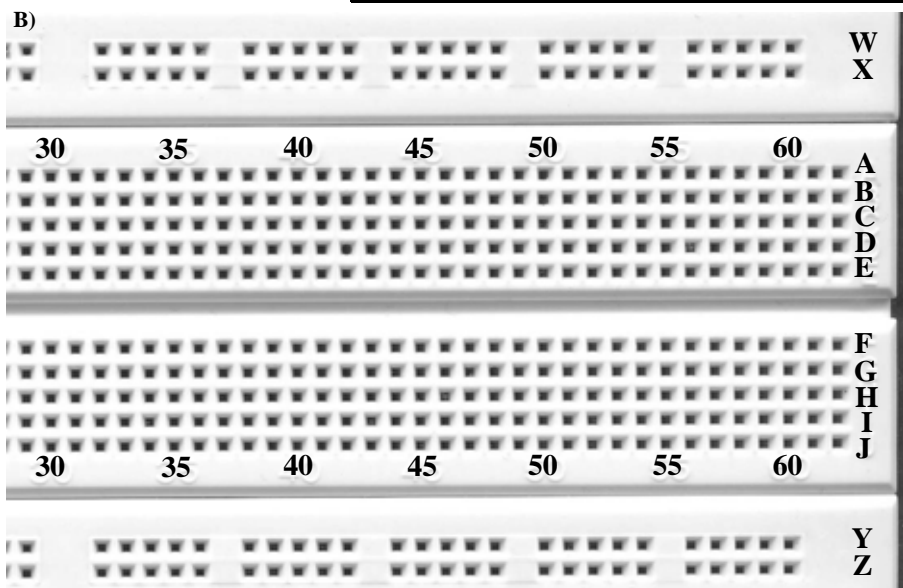
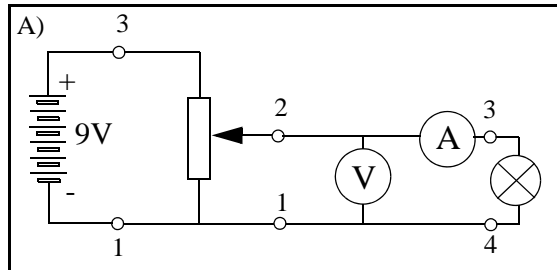
Normalt spiller det ingen rolle hvilken vei lyspæren kobles inn i kretsen.

9.2.1 Lyspærens strøm-spenningskarakteristikk

Framgangsmåte

- Bytt ut resistoren med en lyspære og registrer strøm-spenningskarakteristikken for lyspæra som vist i figur 79.

Bruk det du har lært tidligere og skisser oppkobling for måling av lyspæra slik det er angitt på skjemaet til høyre

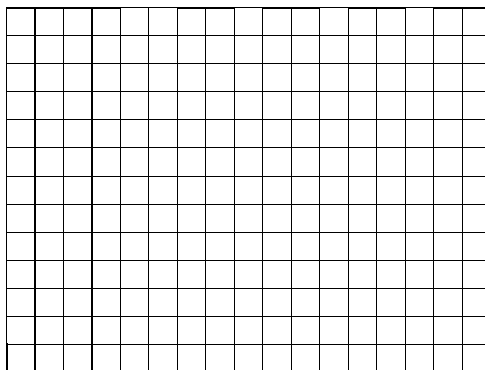


Figur 79 A) Skjematisk oppkobling for måling av strøm-spenningskarakteristikken for lyspæra, B) koblingsbrett for skisse av egen oppkobling.

- Registrer ca. 10 sammenhengende verdier av strøm og spenning (sjekk at strømmen er null når spenningen er null).

Spenning	0V	0,5V	1V	1,5V	2V	2,5V	3V	3,5V	4,0V	4,5V
Strøm										

Strøm-spenningskarakteristikken for lyspæra



Figur 80 Strøm-spenningskarakteristikken for en lyspære.

- Sett benevning på aksene i diagrammet og tegn strømmen som funksjon av spenningen, på den måten framkommer strøm-spenningskarakteristikken for lyspæra.

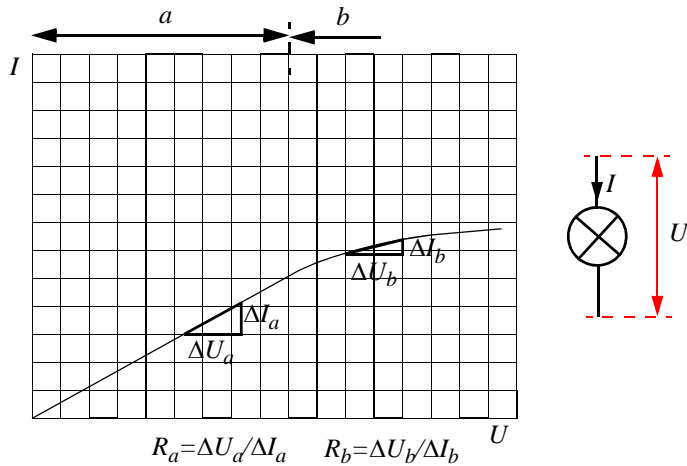
Tolkning av måleresultatene

- Kommenter formen til strøm-spenningskarakteristikken.
- Avviker denne fra strøm-spenningskarakteristikken til resistoren, evt. på hvilken måte?
- Om den avviker, hva kan det skyldes?

Utdypning av måleresultatene

Strøm-spenningskarakteristikken for en resistor er lineær. Dvs. at resistansen i en resistor er uavhengig av strømmen som går gjennom den. Resistansen i en lyspære skyldes primært gløde-tråden. Som vi vet blir den svært varm når vi lar det gå strøm gjennom den. Desto mer strøm, jo varmere blir tråden, til den tilslutt brenner av.

Etterhvert som glødetråden varmes opp, vil atomene i tråden stadig svinge kraftgere og øve større resistans mot strømmen, dvs. at resistansen øker med strømmen som vist i figur 81.



Figur 81 Strøm-spenningsskarakteristikken for en lyspære.

Ut fra Ohms lov er resistansen bestemt av forholdet mellom spenningsendringen (ΔU) og strømendringen (ΔI). Dvs. resistansen R i lyspæra sier noe om hvor mye strømmen i pæra endrer seg når vi endrer spenningen over den. Ut fra strøm-spenningsskarakteristikken for lyspæra ser vi at dette forholdet er forskjellig alt etter hvor vi befinner oss langs karakteristikken, dvs. hvor mye strøm som går gjennom pæra. Når det går lite strøm (område a), så har vi resistansen R_a , øker vi strømmen slik at vi kommer inn i område b , ser vi at strømmen øker forholdsvis mindre for en gitt forandring i spenningen, dvs. at resistansen er blitt større.

Dette kan vi uttrykke matematisk på følgende måte:

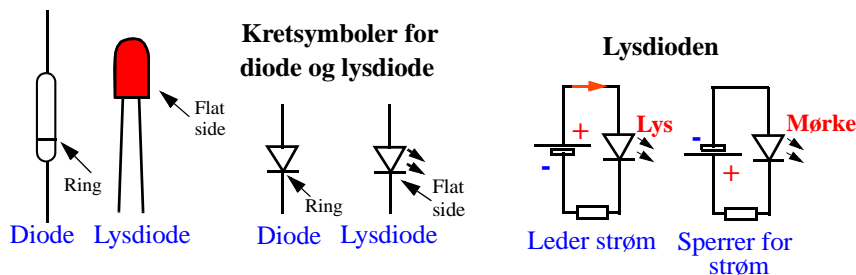
$$R_a = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} < \frac{\Delta U_b}{\Delta I_b} = R_b \quad (9.17)$$

Resistansen i område R_a er mindre en motstanden i område R_b . Med andre ord; resistansen er spenningsavhengig.

Hvordan stemmer dette med målingene dere har gjort?

9.3 Dioden

I kretser betegnes *dioden* med symbolet som vist midt på figur 82.



Figur 82 Tegning og kretssymbol for en diode og en lysdiode.

En diode leder bare strøm den ene veien. Dioder kan ha mange utforminger, de enkleste er som avlange glassperler som vist til venstre på figur 82.

I gamle dager benyttet en såkalte krystaller i noe som ble kalt krystallapparater. Et krystallapparat var en meget enkel radio som nøyde seg med de signalene som kunne tappes ned fra antenna, uten forsterkning og tilhørende batterikraft. Krystallet i krystallapparatet var nettopp en diode.

Dioder brukes også i likerettere for å gjøre en vekselstrøm om til en likestrøm.

En *lysdiode* er en diode som sender ut lys når det går strøm gjennom den. Lysdioder kan ha forskjellig farge som vi tidligere har omtalt. Når vi ser et lysende punkt på et moderne elektrisk apparat, så er det gjerne en lysdiode. De fleste lysdiodene er runde, men det finnes også rektangulære lysdioder.

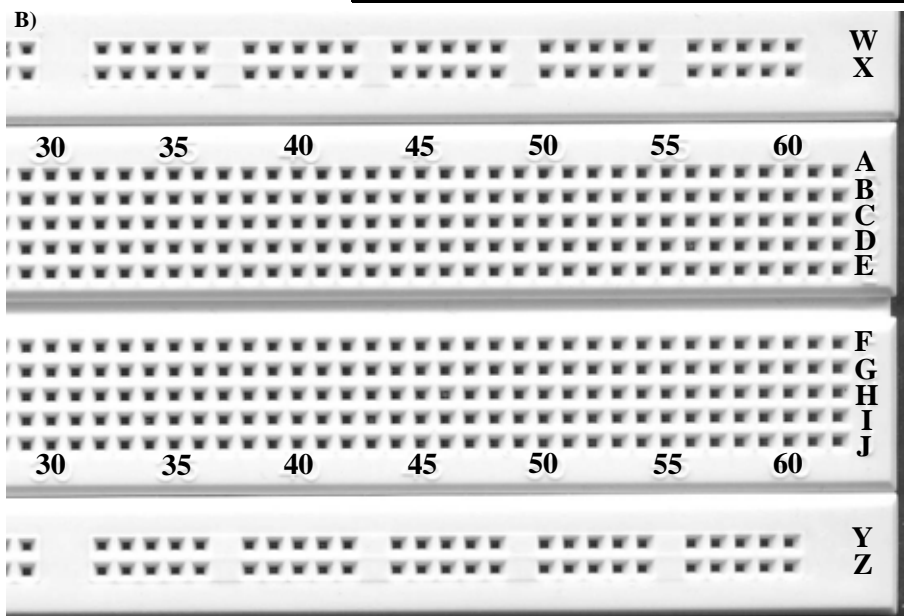
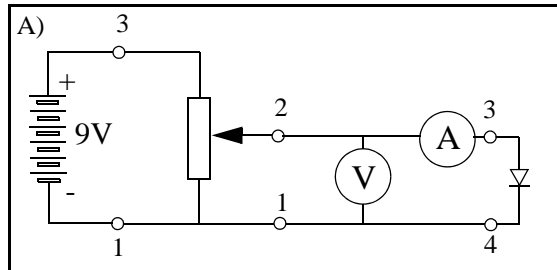
Vi skal nå ta opp strøm-spenningskarakteristikken for en diode.

9.3.1 Strøm-spenningskarakteristikk for en diode (lysdiode)

Fremgangsmåte

- Bytt ut lyspæra med en diode (eller en lysdiode) som vist på figur 83. Pass på at dioden er plassert riktig vei. Pila på symbolet skal vende nedover.

Bruk det du har lært tidligere og skisser oppkobling for måling av dioden slik det er angitt på skjemaet til høyre.

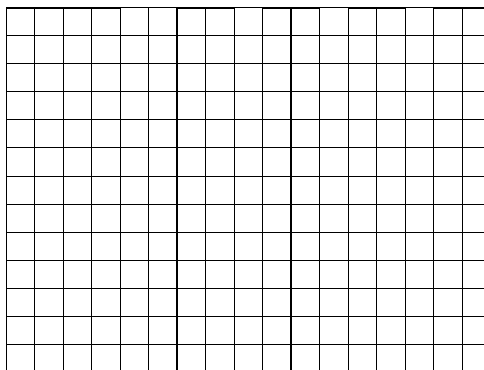


Figur 83 A) Skjematisk oppkobling for måling av strøm-spenningskarakteristikken for en diode.
B) koblingsbrett for skisse av egen oppkobling.

- Ta opp strøm-spenningskarakteristikken for dioden (lysdioden) ved å måle strømmen for ulike verdier av spenningen. Pass på at strømmen ikke overskrider 30mA.

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

Strøm-spenningskarakteristikken for en diode (lysdiode)



Figur 84 Strøm-spenningskarakteristikken for en diode (lysdiode).

- Sett benevning på aksene i diagrammet og tegn strømmen som funksjon av spenningen. På den måten framkommer strøm-spenningskarakteristikken for dioden (lysdioden).

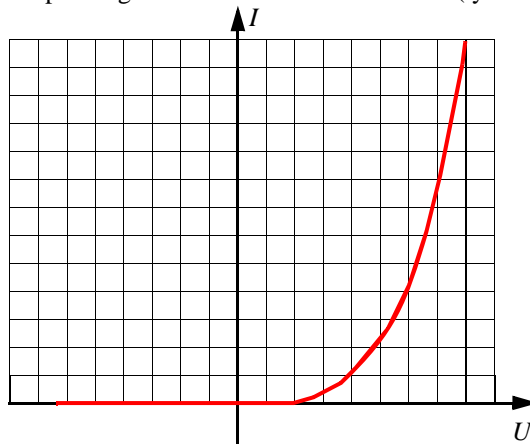
Tolkning

- Kommenter formen til strøm-spenningskarakteristikken
- Sammenlign formen med karakteristikken for resistoren og lyspære. Hva er forskjellene på disse tre?

Utdypning av måleresultatene

Dersom vi studerer strøm-spenningskarakteristikken for en diode vil vi se at i begynnelsen ser det nesten ikke ut til at det går strøm i dioden. Deretter øker strømmen dramatisk med spenningen.

Strøm-spenningskarakteristikken for en diode (lysdiode)



Figur 85 Strøm-spenningskarakteristikken for en diode (lysdiode).

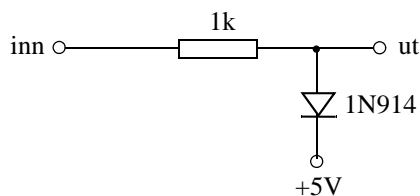
Av karakteristikken ser vi at inntil spenningen over dioden er 0,5 - 0,6V, går det omtrent ikke strøm gjennom dioden. Overskrider spenningen denne verdien, øker strømmen nærmest eksponentielt. Dvs. at strømmen øker stadig mer for hver enhet spenningen øker. Dersom vi hadde satt spenningen motsatt vei over dioden, ville vi sett at det ikke gikk strøm i det hele tatt. Dvs. dioden er en komponent som bare leder strøm den ene veien.

Anvendelser

- Likeretning av vekselspenning
- Begrensning av spenning

Eksempel 1

På Figur 86 vises en enkel krets for å begrense spenningen på utgangen (ut). Kan du forklare virkemåten til kretsen ut fra strøm-spenningskarakteristikken til dioden?



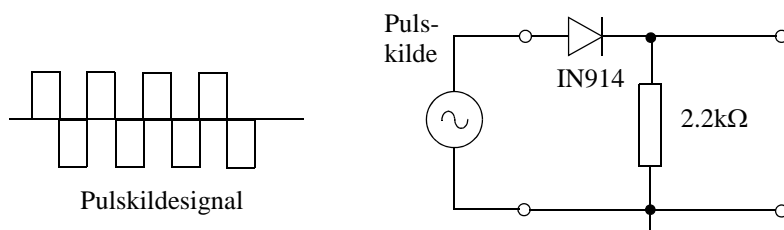
Figur 86 Kretsen begrenser spenningen på utgangen (ut) til maksimum 5,6V.

Eksperiment for videre utforskning av dioden

I dette eksperimentet skal vi utforske de *likerettende* egenskapene til dioden.

1. Koble opp likeretterkretsen i figur 87.

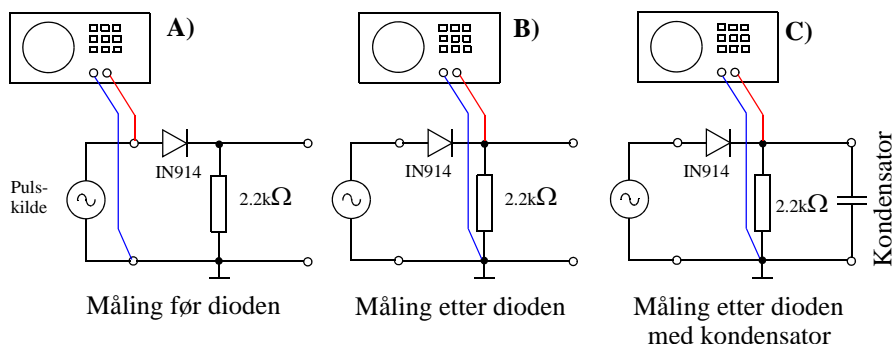
Kretsen tilføres et vekslende signal som skal gjøre det mulig å observere dioden som likeretter. En likeretter er en krets som gjør om en vekselspanning til en likespenning



Figur 87 Diode brukt som likeretter.

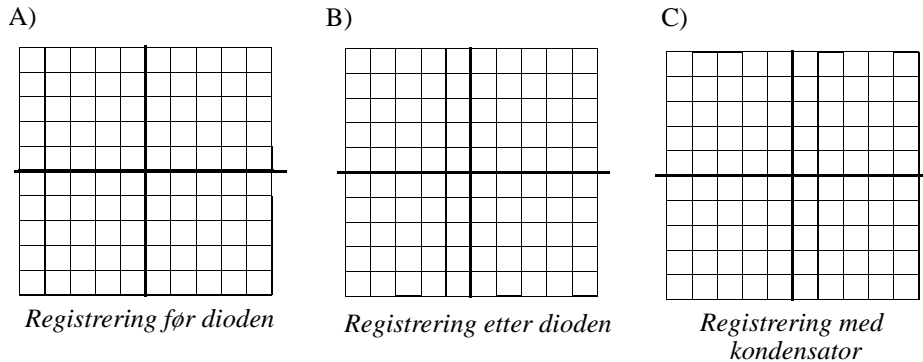
Vi bruker en pulsgenerator og et oscilloskop for å undersøke virkningen av dioden (se figur 88). Pulsgeneratoren lager en spenning både positivt og negativt, dvs. en vekselspanning. Ved hjelp av oscilloscopet kan vi studere hvordan kurveformen endrer seg på forskjellige steder langs kretsen.

2. Koble oscilloscopet som vist på figur 88 A). Hvordan ser signalet ut? Undersøk spesielt hvor null-spenningen er. Lag en skisse av spenningsforløpet i figur 89 A)
 3. Flytt målepunktet forbi dioden som vist på figur 88 B). Hvordan ser signalet ut nå? Undersøk spesielt hvor null-spenningen er. Lag en skisse av spenningsforløpet i figur 89 B)
 4. Koble en stor kondensator over utgangen og undersøk på nytt (se figur 88 C).
 5. Gjør nye målinger som som vist på figur 88 B). Hvordan ser signalet ut nå? Lag en skisse av spenningsforløpet i figur 89 B)
- Tolk observasjonene dine.



Figur 88 Måling av diode. A) Måling på utgangen av pulsgeneratoren, B) måling etter dioden, C) måling etter dioden med kondensator.

Tegn resultatet på oscilloskopskjermer over i diagrammet under. Midtpunktet av skjermen er null-linjen, som angir null-spenning. Pass på at denne er midt på skjermen og at den også er midt på skissen.



Figur 89 Skisser av signalet før og etter dioden, og med kondensator.

6. Sammenlign de tre kurvene. Hvordan vil du tolke resultatet?

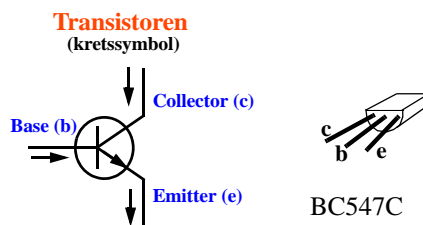
9.3.2 Typisk datablad for lysdioder

Et datablad beskriver egenskapene til en komponent. Dette gjelder også dioder. I dag finnes datablader for de fleste komponentene på Internett. For å finne et slikt datablad kan du f.eks. gå fram på følgende måte:

- Søk etter firmaet EVERLIGHT; f.eks. med søkemotoren www.google.com på internett.
- Bruk søkefunksjonen på firmaets hjemmeside til å finne databladet til lysdioden 1383HD
- Studer databladet

9.4 Transistoren

Figur 90 viser symbolet til transistoren.



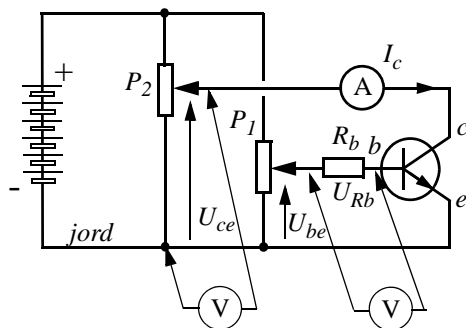
Figur 90 Til venstre kretssymbolet til en transistor.

Tenk etter hva navnene på terminalene til transistoren betyr.¹

9.4.1 Strøm-spenningskarakteristikk for transistoren

Vi skal nå undersøke strøm-spenningskarakteristikken for en transistor. Siden denne har tre terminaler er det ikke så enkelt å se hvordan vi skal bestemme strøm-spenningskarakteristikken til denne komponenten.

Vi må derfor måle karakteristikken med forskjellige spenninger på basen. Den skjematiske oppkoblingen for målingen er vist i figur 91



Figur 91 Måling av strøm-spenningskarakteristikken for en transistor

Vi ser av figur 91 at vi må bruke to potensiometer. Ett potensiometer (P_1) som legger en spenning mellom basen (b) og emitter (e) på transistoren (U_{be}) og ett som legger en spenning mellom collector (c) og emitter (e) på transistoren (U_{ce}). Vi vet også at emitteren er koblet til jord.

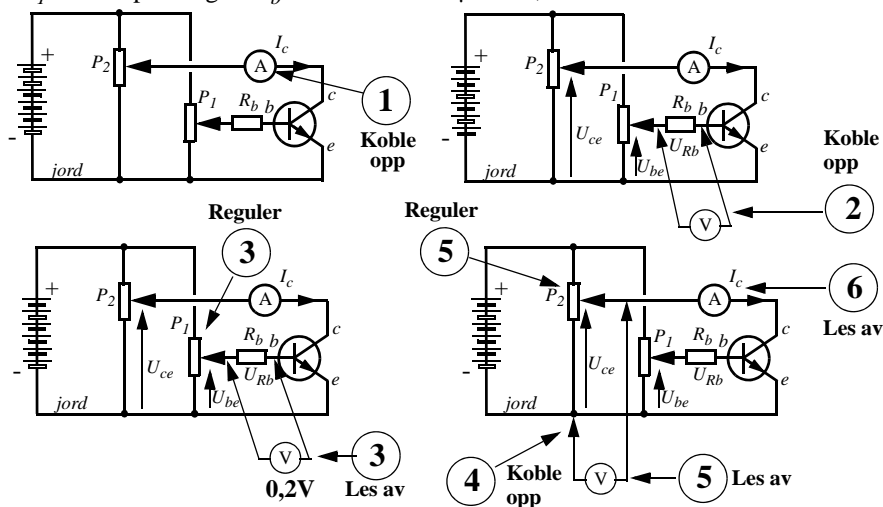
Når vi skal finne strøm-spenningskarakteristikken for en transistor, betyr det at vi skal finne ut hvordan strømmen i collectoren (I_c) varierer med spenningen mellom collector og emitter (U_{ce}). Vi har derfor koblet et milli Ampere-meter i collectoren, samtidig som vi måler spenningen mellom collector og emitter (U_{ce}).

Dette må vi gjøre for forskjellige strømmer inn i basen. For at det skal være litt lettere å måle strømmen inn i basen på transistoren (I_b), har vi koblet en resistor (R_b) i serie med basen. Vi velger $R_b = 10\,000\Omega$. Så det blir lett å regne om fra spenning til strøm. Vi måler spenningen over denne resistoren (U_{Rb}) og regner oss tilbake til strømmen inn i basen I_b :

$$U_{Rb} = R_b \cdot I_b \quad (9.18)$$

-
1. Vi har her valgt å bruke de engelske betegnelsene på transistorens terminaler: collector, base og emitter. Likeså forkortelsene c, b og e.

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 92 Måleprosedyre for måling av strøm-spenningskarakteristikken for en transistor

Måleprosedyren er derfor som følger:

1. Koble milli-Ampère-meteret inn i collectorledningen slik at vi kan måle strømmen i collectoren.
2. Koble Volt-metret over resistoren R_b .
3. Regulere spenningen mellom basen og jord ved hjelp av potensiometeret P_1 , slik at Volt-metret viser en spenning på $0,2\text{V}$. Da vet vi at det går en strøm på $20\mu\text{A}$ inn i basen.
4. Flytt Volt-metret og mål spenningen mellom jord og collectoren.
5. Regulere spenningen mellom collectoren og jord ved hjelp av potensiometeret P_2 slik at Volt-metret viser $0,2\text{V}$.
6. Les av collectorstrømmen.

Gjenta målingene idet collectorspenningen økes jevnt og trutt, fra 0 Volt til ca. 1.6 Volt i trinn på $0,2\text{ Volt}$. Noter collectorstrømmen I_c , for hver ny verdi av collectorspenningen U_{ce} , i Tabell 3.

Tabell 3: Måling av collectorstrøm som funksjon av collectorspenning og basestrøm

Basestrøm (I_b)	Spenning (U_{ce})								
$\dots\mu\text{A}$	Strøm (I_c)								
$\dots\mu\text{A}$	Strøm (I_c)								
$\dots\mu\text{A}$	Strøm (I_c)								
$\dots\mu\text{A}$	Strøm (I_c)								

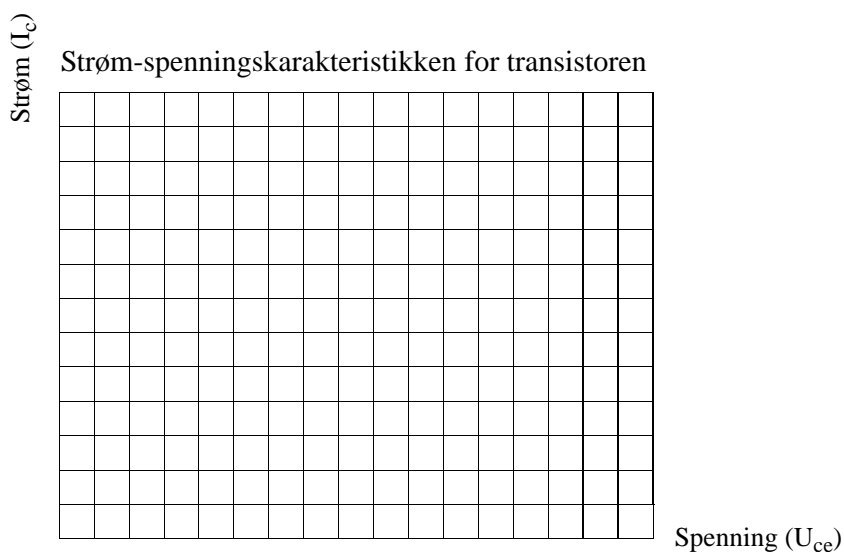
Dernest økes basestrømmen fra $20\mu\text{A}$ til $40\mu\text{A}$, og målingen av collectorstrømmen gjentas for hver collector spenning. Skriv verdiene inn i Tabell 3. Dernest gjentas prosedyren for flere verdier av basestrømmen.

I Tabell 4 har vi angitt spenningen over baseresistoren R_b for noen verdier av basestrømmen.

Tabell 4: Sammenhengen mellom basestrømmen og spenningen over baseresistoren

Basestrøm I_b	$20\mu\text{A}$	$40\mu\text{A}$	$60\mu\text{A}$	$80\mu\text{A}$
Spenning over R_b	$0,2\text{V}$	$0,4\text{V}$	$0,6\text{V}$	$0,8\text{V}$

Etter at tilstrekkelig verdier er målt legges resultatet inn i diagrammet på figur 93.



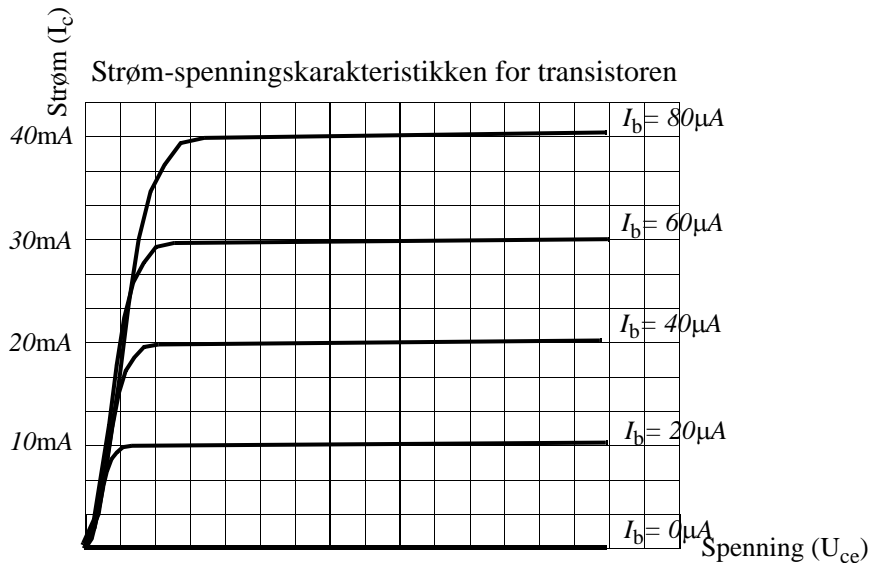
Figur 93 Måling av strøm-spenningskarakteristikken for en transistor.

Tolkning

- Studer *strøm-spenningskarakteristikken*
- Kommenter formen til strøm-spenningskarakteristikken for transistoren.
- Hvordan vil du si at collectorstrømmen endres med basestrømmen?
- Klarer du å antyde hvor stor strømforsterkningen til transistoren er?

Utdypning av måleresultatene

Figur 94 viser en typisk strøm-spenningskarakteristikk for en transistor.



Figur 94 Strøm-spenningskarakteristikk for BC447C.

Studerer vi karakteristikkene i figur 94, 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.

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

Vi legger også merke til at i vårt eksempel vil en basestrøm på $20\mu A$ medføre at collectorstrømmen stabiliserer seg på $40mA$. Vi sier at transistoren har en strømforsterkning på 500. Strømforsterkningen for likestrøm kalles vanligvis h_{FE} .

I vårt tilfelle får vi:

$$h_{FE} = \frac{I_c}{I_b} = \frac{40mA}{20\mu A} = 500 \quad (9.19)$$

Strømforsterkningen i en type transistorer kan variere svært mye, fra f.eks. 200 - 450 for BC547B. Under produksjon måles transistorenes h_{FE} og transistorene sorteres etter dette. De med høyest h_{FE} får f.eks. benevnelsen BC547C, mens vi har valgt en noe billigere variant med noe lavere strømforsterkning som altså bærer betegnelsen BC547B.

9.4.2 Datablad for transistoren

Slik kan du gå fram for å finne datablad for transistoren på Internett:

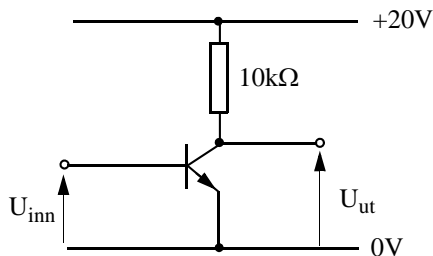
- Søk etter firmaet ON Semiconductor, ved f.eks. ved hjelp av www.google.com
- Bruk søkefunksjonen på firmaets hjemmeside til å søke etter databladet for transistoren BC547B.
- Studer databladet og finn transistorens h_{FE} .

9.4.3 Anvendelser

- Strøm og spenningsforsterkning
- Elektrisk bryter (f.eks. i datamaskiner)

Eksempe 1:

Figur 95 viser en typisk forsterkerkobling for å forsterke en likespenning ved hjelp av en transistor.

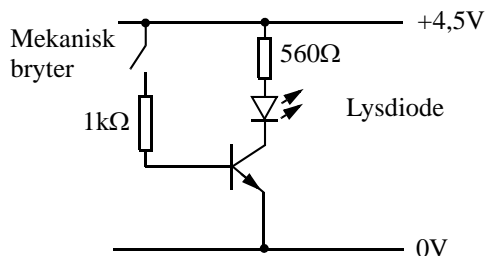


Figur 95 Enkel likespenningsforsterker.

- Bruk strøm-spenningskarakteristikken til å forklare prinsippet for spenningsforsterkningen i denne kretsen.

Eksempel 2

Figur 96 viser en transistor som er koblet opp for å virke som en bryter.



Figur 96 Transistor som bryter.

- Bruk strøm-spenningsskarakteristikken til å forklare virkemåten til kretsen.
- Prøv ut kretsen på koblingsbrettet.

9.5 Lysfølsomme resistorer (fotomotstand)

En lysfølsom resistor er en resistor hvor resistansen er sterkt avhengig av lyset. Typisk så kan resistansen ved totalt mørke være mange titalls $M\Omega$, mens den ved sterkt lys kan være noen få $k\Omega$. Slike komponenter kan f.eks. benyttes for styrings- og koblingsformål innen automasjon. Vi skal se nærmere på bruken av slike lysfølsomme motstander i avsnitt 11.3 og 11.4.

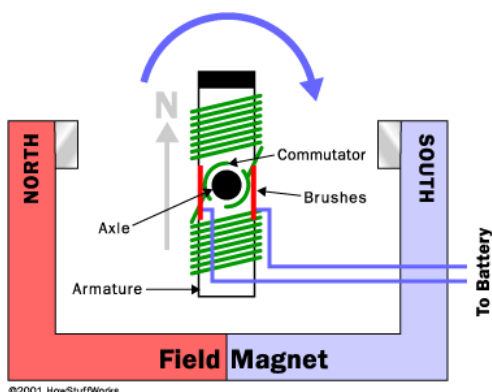


9.6 Motorer

Dersom du ønsker å finne mer stoff om hvordan en elektrisk motor fungerer kan du gå fram på følgende måte:

1. Skriv inn: www.howstuffworks.com i nettleseren.
2. Trykk på rubrikken: *Engine* i lista til venstre i vinduet.
3. Gå deretter nedover å finn rubrikken: *How Electric Motors Works*.

4. Her finner du en mengde stoff, bilder og animasjoner om hvordan små enkle motorer fungerer.



Figur 97 Prinsippskisse over hvordan en elektrisk motor fungerer.

5. Du vil også finne bilder tatt av en demontert liten elektrisk motor.



Figur 98 En liten elektrisk motor.

6. Innkjøp av slike motorer kan f.eks. gjøres hos Clas Ohlson. Pris ligger på ca. kr. 20,- og oppover.

9.7 Batterier

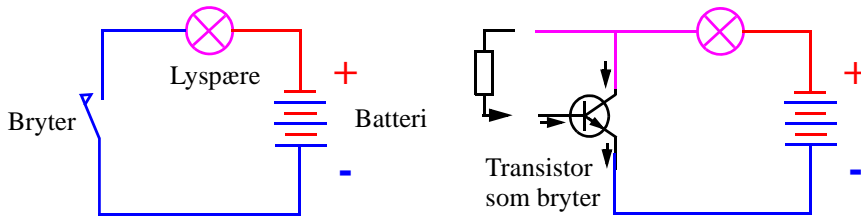
Det finnes også mye stoff om batterier på www.howstuffworks.com.

1. Skriv inn: www.howstuffworks.com
2. Trykk på rubrikken: *Science and Technology* i lista til venstre i vinduet.
3. Gå deretter nedover å finn rubrikken: *How Batteries Works*
4. Her finner du en mengde stoff om batterier

10 Slik virker strømforsterkeren

Vi skal nå forsøke å bruke noe av det vi har lært i kapitlene foran.

Målsettingen med dette kapitlet er å gi en kvalitativ forståelse av hvordan strømforsterkeren virker. Vi begynner da 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 sirene eller lyd giver om vi ønsker det.

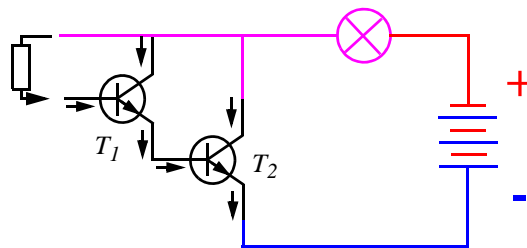


Figur 99 Forenklet forklaringsmodell av strømforsterkeren

Figur 99 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 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 transistoren slik at det kan gå en stor strøm gjennom transistoren fra kollektor til emitter. Strømmen i basen skaper vi ved å legge en resistor mellom plusspolen på batteriet og basen på transistoren. Resistoren kan også være kroppen vår. Den lille strømmen inn i basen medfører at det kan gå en stor strøm gjennom lyspæra som begynner å lyse.

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



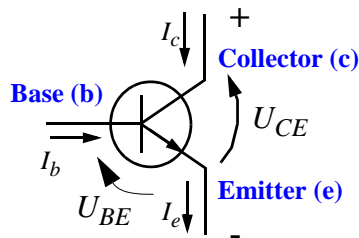
Figur 100 Forenklet forklaringsmodell med to-trinns transistorforsterker.

Figur 100 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 at en stor strøm kan begynne å gå gjennom lyspæra. 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 strømforsterkeren vi har laget virker.

Det er to ting vi må huske på for å forstå hvordan kretsen virker.

- 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. Dette framgår fra strøm-spenningskarakteristikken for transistoren på figur 94.



Figur 101 Strømmer og spenninger i transistoren.

- 2) Når det går en strøm gjennom en resistor kan vi måle en spenning over den. Spenningen bestemmes av Ohms lov som sier:

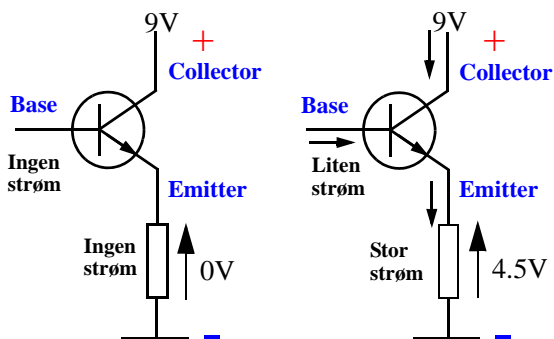
$$\text{Spenningsverdien} = \text{Resistansen} \cdot \text{Strømverdien}$$

$$U = R \cdot I$$

Dersom strømmen gjennom resistoren er null, vil det heller ikke bli noe spenningsfall over den. Eller sagt på en annen måte, dersom spenningen over resistoren er null vil det heller ikke gå noen strøm i den.

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

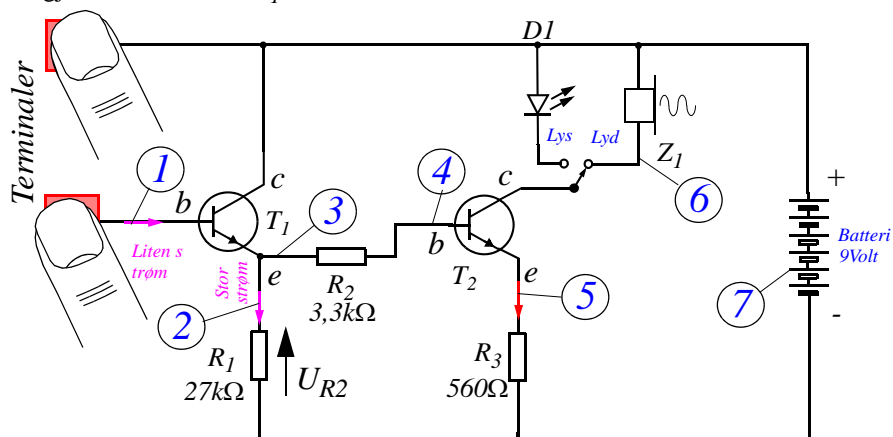
Se på skjemaet på figur 103 mens vi forklarer kretsens virkemåte. Når vi snakker om spenningen i et punkt, mener vi alltid spenningsforskjellen mellom dette punktet og jord, som ofte er minuspolen på batteriet.



Figur 102 Liten strøm styrer en stor strøm.

1. Tenk deg at du holder en finger på hver av de to platene. 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 .

- 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 resistoren R_1 .



Figur 103 Kretsskjema for strømforsterkeren.

- Når det går en stor strøm gjennom resistoren R_1 , vil det i følge Ohms lov, oppstå en spenning over denne resistoren, og spenningen i punktet 3 øker.
- Når spenningen mellom punktet 3 og jord øker, vil også spenningen i punktet 4 øke omtrent like mye. Dette skyldes at strømmen gjennom resistoren R_2 er relativt liten, og dermed, i følge Ohms lov, også spenningen over resistoren.
- Når spenningen i punkt 4 øker, vil spenningen, U_{BE} , mellom basen og emitteren på transistor T_2 øke ut over 0.6V og det begynner å gå strøm gjennom denne transistoren. Denne strømmen er vesentlig større enn strømmen gjennom transistoren T_1 . Kretsen har med andre ord en betydelig strømforsterkning.
- Siden strømmen som går gjennom transistoren fra collectoren (c) og emitter (e) også må gå gjennom lydgiveren eller lysdioden vil vi få lys eller lyd.
- Batteriet sørger for at det står spenning over kretsen og får det til å gå strømmer gjennom transistorene.

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

11 Hva kan vi bruke kretsen til?

Vi skal i dette avsnittet komme med noen forslag til hva kretsen kan brukes til.

11.1 Fuktighetsindikator

Siden det bare skal en ørliten strøm til for at kretsen skal gi alarm eller lyssignal, kan den benyttes til å indikere fuktighet. Rent vann leder strøm svært dårlig. Er vannet forurenset, vil det lede strømmen noe bedre. Forsøk viser at selv om vi bruker destillert vann så vil strømmen gjennom vannet være tilstrekkelig til at kretsen gir signal.



Figur 104 Ved å tre de avisolerte ledningene gjennom et tørkepapir økes detektorens følsomhet for små vannmengder.

La oss ta et stykke tørkepapir og tre to uisolerte ledninger gjennom papiret som vist på figur 104.

Ta av isolasjonen på de grønne ledningene på kretsen og tre dem inn i tørkepapiret.

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

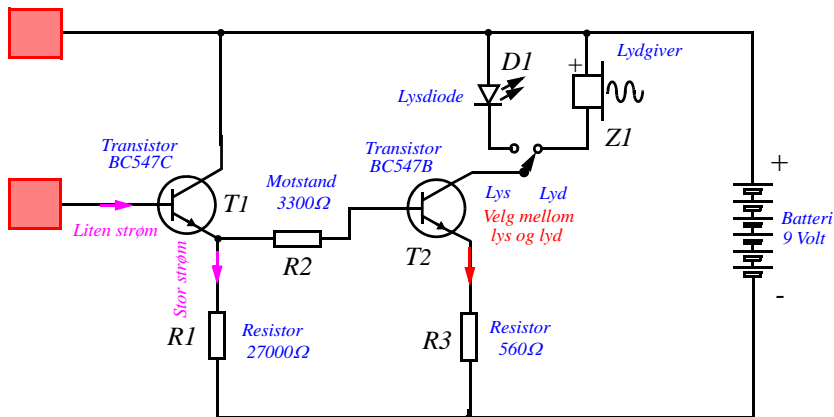
Oppgaver:

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 105 viser koblingsskjema over fuktighetsindikatoren



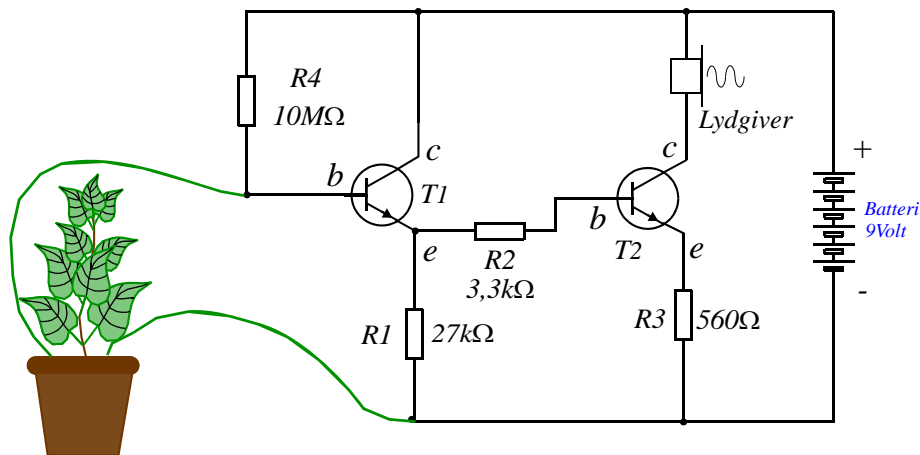
Figur 105 Koblingsskjema for en fuktighetsalarm.

11.2 Tørkealarm

En tørkealarm 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 fuktighetsalarm gjøres om til en tørkealarm. Vi ønsker ingen alarm så lenge det er vått, men så snart planten begynner å bli tørr skal alarmen gå.

Figur 106 viser hvordan dette kan gjøres. En resistor (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. Vi tar så en annen ledning fra den negative polen på batteriet og stikker ned et annet sted i jorda.



Figur 106 Koblingskjema for en tørkealarm.

Hvordan virker så 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), og spenningspotensialet på basen er 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 lyd giveren er “død”.

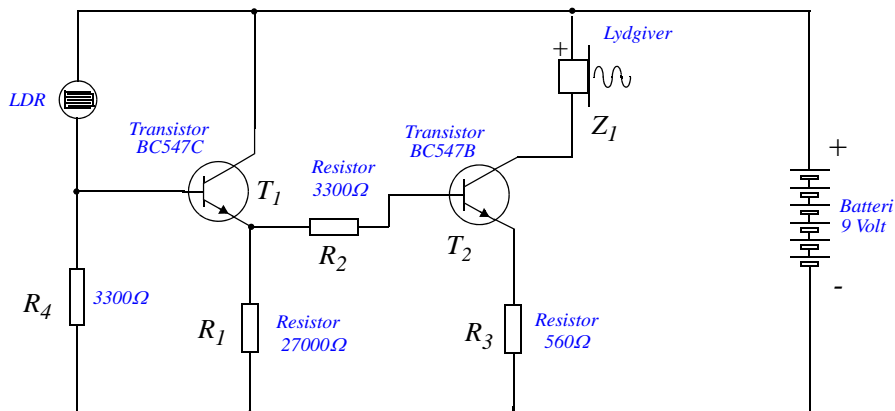
Når så jorda begynner å bli tørr, vil resistansen i jorda bli langt høyere, og resistoren R_4 drar spenningspotensialet på basen til T_1 opp mot plusspolen på batteriet, og transistor T_1 begynner å lede strøm. Strømforsterkeren forsterker opp denne strømmen og lyd giveren avgir lyd.

Vi har fått en tørkealarm.

Dersom lyd giveren gir alarm for sent reduseres verdien på R_4 .

11.3 Lysalarm

Denne kretsen bruker en lysfølsom resistor (LDR) mellom basen på transistoren T_1 og den positive polen på batteriet. Når det er lyst blir resistansen i den lysfølsomme resistoren lav 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 107 Koblingsskjema for en lysalarm.

Når det er mørkt vil resistansen i den lysfølsomme resistoren være høy og basen blir dradd ned til den negative spenningen av resistoren R_4 , og T_1 leder *ikke* strøm.

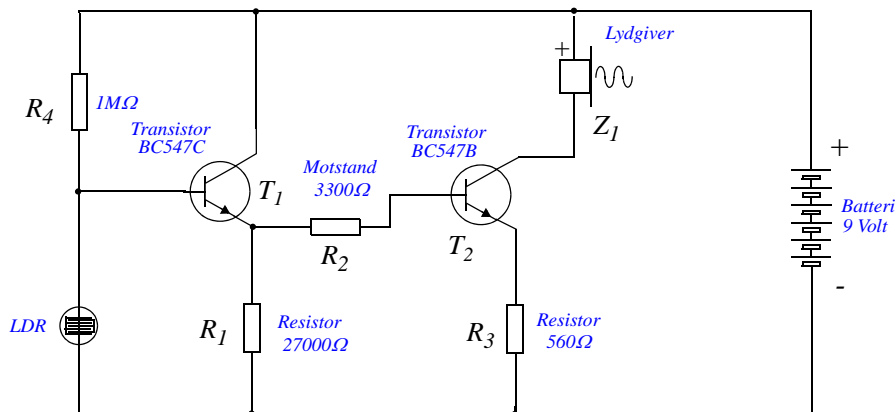
Oppgave:

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

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

11.4 Mørkealarm

Tilsvarende kan vi gjøre om kretsen til en *mørkealarm* ved at den lysfølsomme resistoren kobles mellom basen og minus-polen. I dette tilfellet må vi koble basen til den positive polen gjennom en ganske stor resistans som vist på kretsskjemaet under.



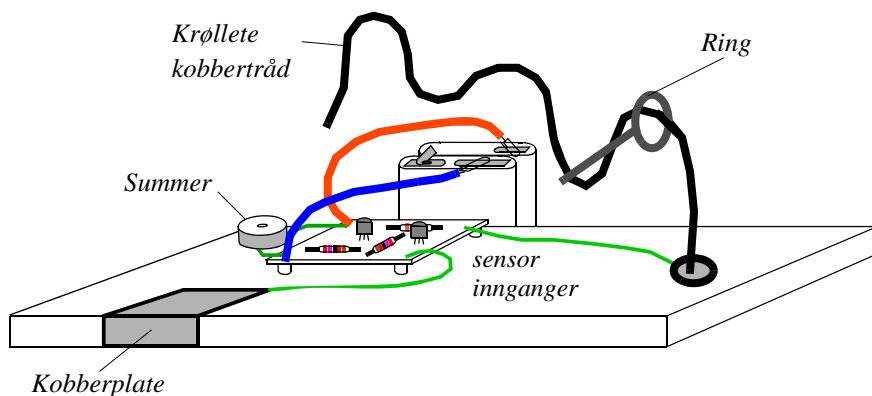
Figur 108 Koblingsskjema for en mørkealarm.

Oppgave:

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

11.5 Stødighetstester

En stødighetstester er et spill hvor en liten metallring skal føres langs en kobbertråd uten å berøre tråden. Dersom en klarer å føre ringen langs hele tråden uten at den berøres, er prøven bestått. Kretsen vi har bygget hjelper oss til å gi alarm når ringen berører tråden.



Figur 109 Oppbygging av stødighetstesteren.

En kobberplate er koblet til den ene sensorinngangen (grønn ledning), mens den andre inngangen (grønn ledning) er koblet til den krøllete kobbertråden. Den ene hånden legges på kobberplaten, den andre tar om ringen. Ringen føres nå langs kobbertråden uten å berøre denne. Dersom den likevel berøres, avsløres dette med et pip i summeren. Det er viktig at kobbertråden er pusset slik at den gir god kontakt dersom ringen skulle komme borti. Vi legger merke til at vi ikke trenger noen ledning fram til ringen. Kroppen fungerer som ledning og leder strøm når vi berører ringen.

Det hele kan monteres på en treplate.

Oppgaver:

Ofte vil pipet bli svært kortvarig. Hvordan kan vi endre kretsen slik at lengden på pipet øker og dermed er lettere å registrere?

12 Simulatoren

I dagens elektronikkindustri “kobler” en omtrent alltid opp kretsene en tenker å bygge i en simulator. En simulator er et dataprogram som inneholder matematiske modeller av alle komponentene. Ved hjelp av et grafisk hjelpemiddel plukker en grafiske symboler og kobler disse sammen som en ville ha gjort på en tegneblokk. Når alle komponenter og ledninger er koblet opp kan en sette “strøm” på kretsen og se om alt virker som det skal.

Simulatorer inneholder også strøm og spenningsmålere slik at en kan se hvilke spenninger og strømmer vi har i kretsen.

Crocodile technology¹ er et datamaskinprogram som er tilpasset bruk i skolen. Programmet gir mulighet til å bygge opp elektriske og elektroniske kretser ved hjelp symbolske komponenter, forbinde dem med symbolske ledninger og undersøke om kretsen fungerer som tiltenkt. Ved hjelp av symbolske måleinstrumenter kan en måle strøm og spenning og tegne grafer.

12.1 Hvorfor skal vi bruke simulator?

Det er mange fordeler med å bruke en simulator framfor en virkelig krets, her er noen momenter:

- Vi går aldri tom for komponenter
- Vi risikerer aldri at noe går virkelig i stykker
- Vi kan endre komponentverdier så ofte vi vil
- Vi kan sette inn så mange måleinstrumenter vi bare måtte ønske
- Vi slipper å bruke loddebolt for å skifte ut komponente

Når vi så kobler opp kretsen etter å ha simulert den først, kan vi være ganske sikre på at den virker slik vi ønsket. Dessuten er det lett å bruke simulatoren før vi foretar eventuelle endringer.

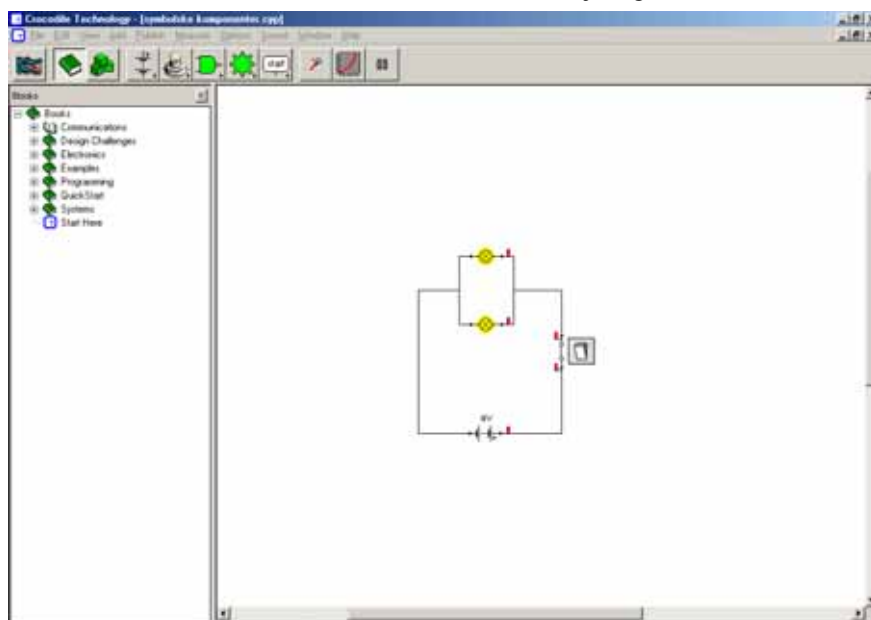
Vi må imidlertid være klar over at en simulator aldri kan erstatte oppkoblingen, men være en hjelp i eksperiment- og konstruksjonsfasen.

12.2 Manøvrering i Crocodile Thechnology

Crocodile-programmene består av flere programmer hvor en kan arbeide med ulike emner som elektriske kretser, mekanikk, kjemi, optikk, matematikk etc. Manøvreringen i de ulike pro-

1. Også Crocodile Physics kan benyttes for å simulere enkle elektroniske kretser.

grammene følger samme mal. I figur 110 ser vi et typisk skjermbilde fra Crocodile Technology programmet hvor vi kan arbeide med elektriske kretser, tannhjul og motorer.



Figur 110 Skjermbilde fra Crocodile Technology hvor vi har simulert en enkel krets.

Vi bygger opp kretsen ved å hente komponenter fra menyen øverst etter "klikk og dra" prinsippet. Når vi klikker på et av symbolene i menyen får vi fram flere valgmuligheter, for eksempel resistorer orientert i ulike retninger for å passe inn i kretsen. Resistansen (motstandsverdien) kan lett settes til ønsket verdi ved å skrive inn i feltet i menyen.



Figur 111 Utsnitt av innboksen for å sette resistansen.

Krokodillen øverst til venstre i menyen er der for å fjerne uønskede komponenter i skjemaet (se figur 111).

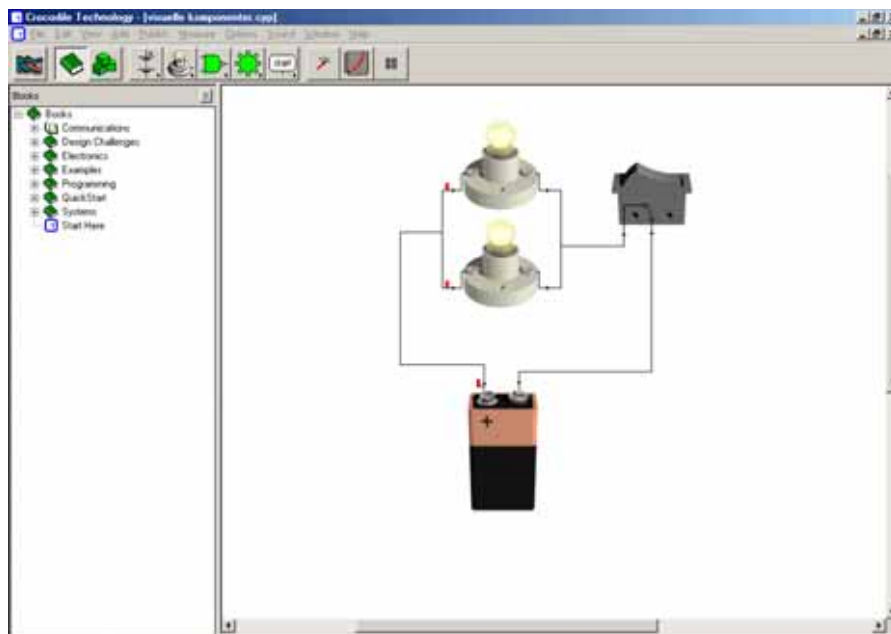
Komponentene koples sammen ved å trekke ledninger mellom dem; dette gjøres ved å klikke på et av koblingspunktene til en komponent, og så bevege markøren dit ledningen skal på neste komponent. Hvis du klikker mens du drar, får du et "hjørne" i ledningsføringen.

Crocodile Technology har to ulike oppsett for simulering av elektriske kretser. Det ene oppsettet bruker symbolske komponenter (symbolsk form), som vist på figur 110. Da blir kretsen omtrent lik koplingskjemaet for kretsen. Legg merke til at lyspæra blir gul når det går strøm gjennom den! Dette indikerer at lyspæra lyser.



Det andre oppsettet viser komponentene slik de ser ut i virkeligheten (bildeform), og kan derfor være egnet for yngre elever. Det vesle bildet til venstre viser "knappen" som gir menyen for visuelle komponenter. Bryteren åpnes og lukkes ved å klikke på tegningen av bryteren.

Figur 112 viser hvordan kretsen på forrige bilde ser ut med komponentene på bildeform:



Figur 112 Kretsen bygget med visuelle komponenter.

Dette oppsettet har klare pedagogiske fordeler ved at simuleringen er visuelt mer lik kretsen slik den ser ut i virkeligheten. Imidlertid kan vi ikke her endre på verdien til resistorer og batterier, og oppsettet har bare de enkleste komponentene (programmet gir imidlertid mulighet for å kombinere visuelle og symbolske komponenter i samme krets).

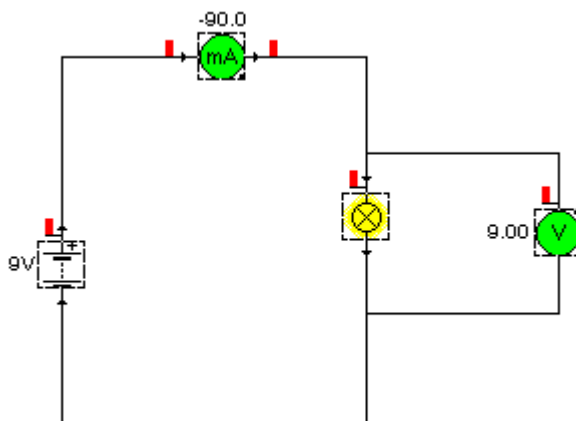
I det følgende vil vi tegne kretsene på symbolsk form.

12.3 Simulering i Crocodile Technology

For å bli kjent med hvordan vi kan simulere forsøk i Crocodile Technology, ser vi først på en veldig enkel krets. Den består av en spenningskilde og en lyspære, og vi har satt inn et Ampère-meter og et Volt-meter for å måle spenningen over og strømmen gjennom lyspæra. Merk at

lyspæra blir gul når det går tilstrekkelig strøm til at den lyser. De små pilene viser hvilken vei strømmen går. Ved å bevege markøren over komponentene får vi fram verdier for strøm, spenning og effekt for de enkelte komponentene.

Undersøk hva som skjer når du endrer spenningen på spenningskilden. Dette gjøres ved å klikke på den, for så å skrive inn ny verdi i feltet som kommer fram oppe i menyen.



Figur 113 Måling av spenning og strøm i en enkel krets.

I figur 113 ser vi at spenningen over lyspæra er 9 Volt. Strømmen gjennom den er 90 mA (milli-Ampère). Denne er negativ, fordi vi har brukt et Ampère-meter med polaritet motsatt av strømretningen. Den svarte prikken til høyre på Ampère-metret viser hvor strømmen må gå inn i Ampère-metret for å få positiv måleverdi. For å snu polariteten må vi bytte ut Ampère-metret med ett som har prikken på motsatt side.

Hva skjer når lyspæra får mer spenning enn den kan tåle? Prøv!

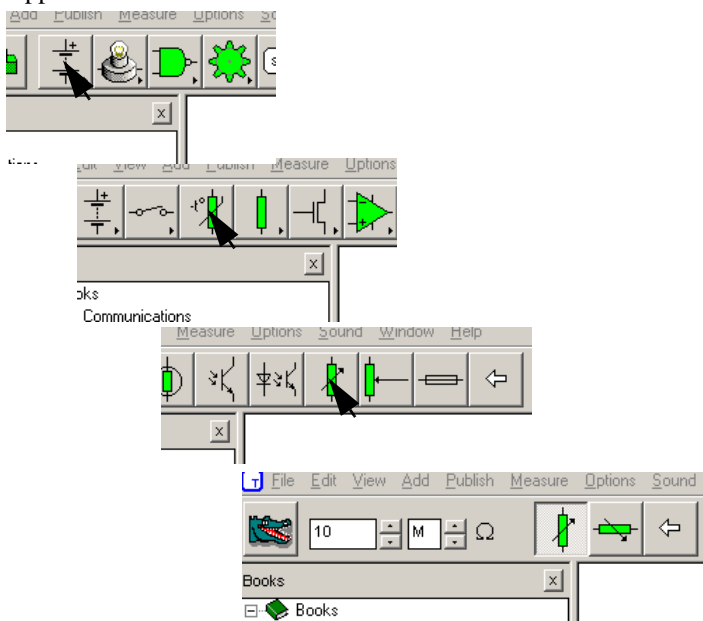
En fordel med simuleringsprogrammet er nettopp at vi kan eksperimentere med å brenne opp komponenter uten at det koster noe som helst!

Hva kan vi si om strøm-spenning karakteristikken for lyspæra i programmet? Vi finner at programmet bruker Ohms lov i sin enkleste form; spenningen og strømmen er proporsjonale og resistansen i lyspæra er følgelig konstant (vi kan finne at den er 100Ω). I virkeligheten er resistansen i lyspæra avhengig av strømstyrken som går gjennom den (se avsnitt 9.2.1). Dette tar ikke programmet hensyn til. Til tross for slike forenklinger, er programmet godt egnet til å visualisere og eksperimentere med elektriske kretser.

12.4 Vi bygger opp kretsen vår i Crocodile Technology

I figur 115 har vi koplet opp en versjon av strømforsterkeren vår i programmet Crocodile Technology. Visse justeringer må til i forhold til den virkelige verden:

For å simulere kroppen¹, anvender vi en variabel resistor. Denne finner du under ”input components” i menyen, eller du kan klikke deg gjennom menyen som vist i figur 114. Legg inn 10M (10 Mega-Ohm) som øvre verdi for resistansen. Da kan vi varierer resistansen fra 0 til 10 MΩ ved å dra regulatoren opp eller ned.



Figur 114 Viser veien for å komme fram til den variable resistoren.

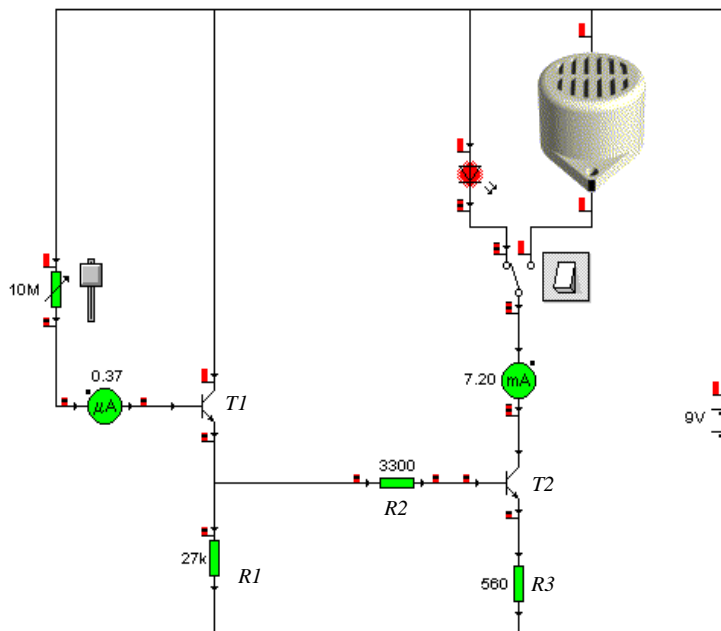
For lyd giveren har vi ”lånt” komponenten fra det visuelle oppsettet. Det fins lyd giver i det symbolske oppsettet også, men denne krever at du har høyttaler til PC’en din. Den visuelle lyd giveren høres som en pipelyd selv om du ikke har lyd kort.

I denne omgang lar vi en vender veksle mellom lysdioden og lyd giveren.

Koble opp kretsen og sett inn to Ampère-metere som vist på figur 115. Det ene Ampère-metret viser strømmen inn på basen på transistor T_1 , og det andre viser strømmen gjennom lysdioden.

1. Om motstand i kroppen se vedlegg D.

Endre forsterkningsfaktor for begge transistorene til $h_{FE} = 520$, som er verdien for transistorene vi har brukt i vår krets. Verdien kommer fram oppe i menyen når du klikker på komponenten.



Figur 115 Simulering av strømforsterkeren i Crocodile.

Les av Ampère-meterne. Vi ser at strømmen inn på basen til T_1 er liten, men at denne åpner for en strøm gjennom T_2 som er tilstrekkelig til at lysdioden lyser. Undersøk nå hvordan strømmen til basen og strømmen gjennom lysdioden endrer seg når du varierer resistansen i den variable resistoren. Vi kan også se at lysintensiteten i lysdioden endrer seg.

Trykk på venderen slik at lyd giveren koples inn. Ingenting skjer. Virker den ikke? Det viser seg at denne lyd giveren krever høyere spenning for å gi lyd. Det kan vi få til ved å gjøre resistansen R_3 mindre. Prøv å finne en verdi som gjør at lyd giveren virker.

Når du nå kople bryteren over på lysdioden, vil du se at endringen som fikk lyd giveren til å virke gjør at spenningen over lysdioden blir for stor! Den eksploderer. Hvordan vil du løse problemet slik at både lyd giveren og lysdioden virker tilfredsstillende? (Hint: En resistor i serie med lysdioden minsker spenningen over lysdioden).

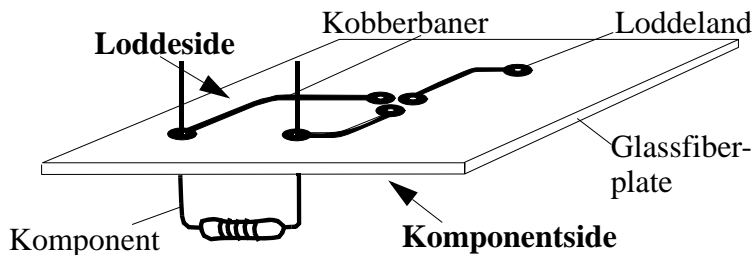
13 Montering og oppkobling av kretsen

Vi vil i dette avsnittet se hvordan kretsen kan kobles opp permanent på ulike måter. Først monterer vi kretsen på et etset kretskort, deretter skal vi gjennom gå hvordan kretsen kan monteres ved hjelp av papp og kobbertape.

13.1 Strømførsterkeren monteres på et trykt kretskort

13.1.1 Hva er et trykt kretskort?

Det fleste elektroniske kretser monteres på såkalte *trykte kretskort*. Disse består av en glassfiberplate med tynne kobberbaner på for- og bakside.



Figur 116 Eksempel på trykt kretskort.

I vårt tilfelle er det bare kobberbaner på den ene siden av kortet. Denne siden kalles *loddessiden* fordi det er på denne siden beina til komponentene loddes fast til *kobberbanene*. Kobberbanene ender opp i *loddeland* hvor det er boret hull til komponentbeina som stikkes gjennom fra komponentsiden.

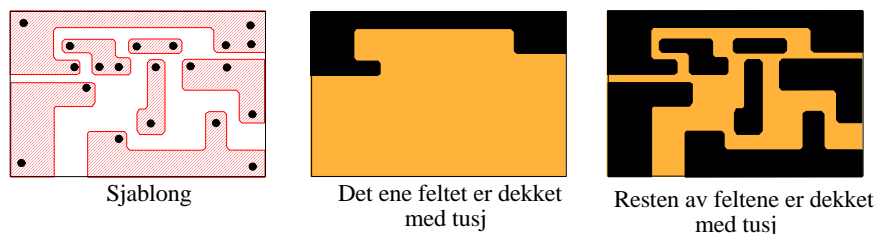
Når en skal lage trykte kretskort starter en med en glassfiberplate som er dekket med et tynt kobberbelegg. Deretter legges det et tynt lag av lakk eller tusj på de delene hvor en ønsker å ha kobberbaner. Når det er gjort, dyppes kortet i en oppløsning som etser bort alt det kobberet som ikke er dekket til. Tilsutt fjernes lakken eller tusjen ved å gni med stålull eller gryteskrubb.

13.1.2 Framstilling av kretskortet til strømførsterkeren

Vi skal nå lage det trykte kretskortet som strømførsterkeren skal bygges opp på.

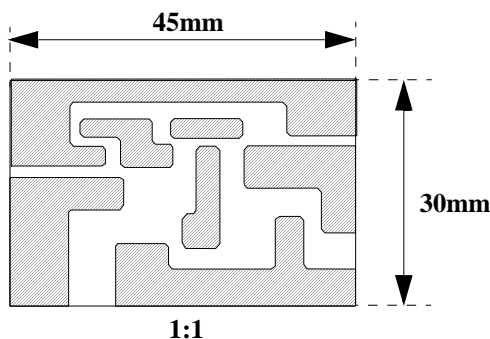
1. Bruk fortrinnsvis kretskort med kobberfolie bare på den ene siden.
2. Rengjør kobberbelegget med litt stålull, skyll bort all såpe og rester av stålull og tørk plata godt.

3. Ta en vannfast tusj og tegn mønsteret på kobbersida (loddessiden) av plata (om begge sidene har kobber velg en av dem). Husk å være nøyaktig med målene. Sørg for at det ikke er huller i tusjstrekene eller at noen av mellomrommene er dekket med tusj, da oppstår kortslutning og kretsen vil ikke virke



Figur 117 Mønsteret påføres.

Tegningen i figur 118 viser kretskortet i naturlig størrelse.



Figur 118 Kretskortet i naturlig størrelse..

4. Klargjøring av etsevesken

Alternativ I, Etsepulver

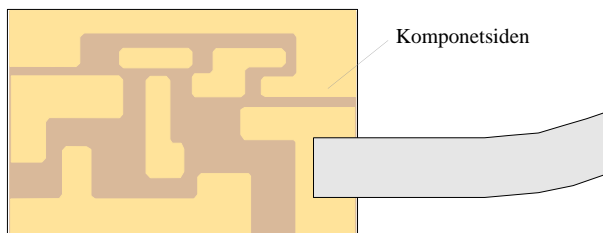
Varm opp 0,5 liter vann til 50°C og tilsett 1 dl etsepulver. Rør rundt og la stå i 30 minutter. Om gruppen er stor, ta dobbel porsjon. Etsepulver kjøpes hos ELFA.

Alternativ II, Jernklorid

Løs opp 500g jernklorid i 5,5dl lunkent vann. Tilsett 25ml konsentrert saltsyre slik at prosessen går raskere. Unngå å få jernklorid på hender og klær. Husk at jernklorid er etsende og giftig. Vask deg skikkelig etter at du er ferdig. Jernklorid kan kjøpes på apoteket.

Det anbefales å bruke etsepulver fra ELFA, da dette er rensligere å arbeide med.

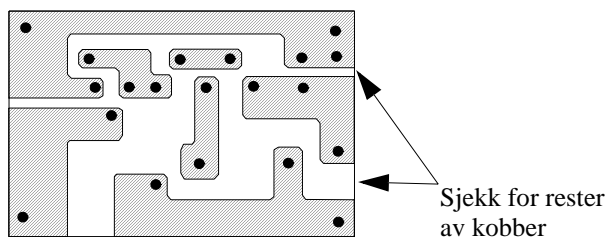
5. Fest en tape på den siden av plata som ikke har kobber (komponentsiden). Om begge sidene har kobberbelegg forsøk å fest tapen som vist på figur 119. Legg merke til at bildet viser mønstret slik en vil se det fra komponentsiden.



Figur 119 Tapen festes som vist.

Sørg for at tapen er lang nok slik at den er lett å holde i mens etsingen pågår. Om nødvendig kan den ev. limes fast i kanten av karet. Før plata sakte fram og tilbake i væsken.

6. Når alt kobberet mellom de tusjdede banene er borte, tas plata opp og skylles godt under rennende vann. Ta av tapen og bruk stålull eller gryteskrubb for å gni bort tusjen til kobberbanene er blanke. Sjekk spesielt at det ikke er kobber igjen langs kantene på plata.
7. Du skal nå merke av hvor det skal bores hull i kobberbanene. Dette kan du gjøre med en syl eller en tynn tusj.



Figur 120 Markeringer for boring av hull.

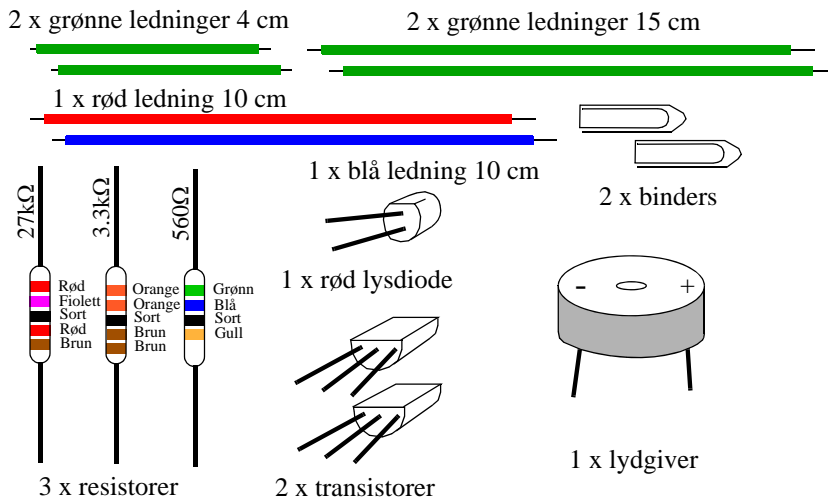
8. Bor opp hullene med en bor med diameter 1 til 1.5 mm. Vær nøye med at hullene treffer der de skal.

Nå er du klar til å begynne å montere komponentene.

13.1.3 Montering av resistorene

Vi skal i dette avsnittet gjennomgå hvordan vi monterer de forskjellige komponentene.

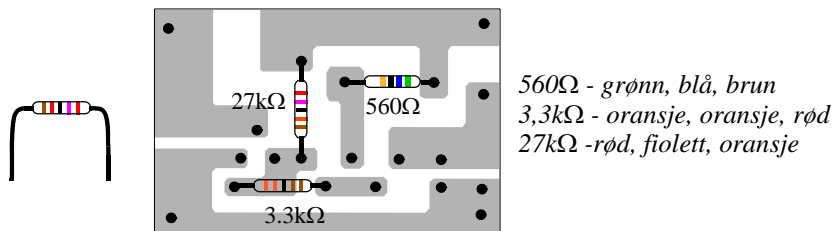
Følgende komponenter er nødvendige:



Figur 121 Komponenter for å lage en strømforsterker/fuktighetsindikator.

Vi begynner med de tre resistorene. Legg merke til at de har forskjellig fargekode. Fargekoden angir resistansen eller hvor mange Ohm resistoren er på. Det er svært viktig at resistorene monteres på rett plass.

Vi snur nå monteringsplata slik at kobberbanene vender ned.



Figur 122 Plassering av resistorene.

Beina på resistorene bøyes slik at de passer til avstanden mellom hullene. Derne st monteres resistorene som anvist. La beina stikke ut på baksiden.

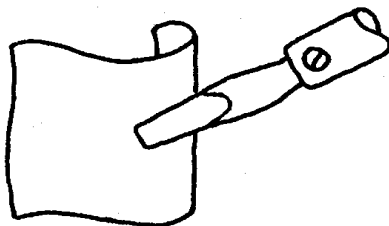
Vi skal nå lodde fast resistorene og trenger et lite loddekurs før vi går videre.

13.1.4 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.

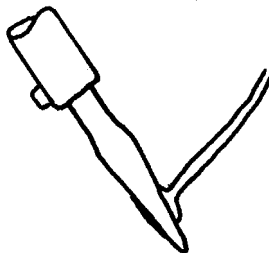
1.

Figur 123 Se til at loddebolten er ren for loddeslagg. Tørk av spissen med en fuktig klut mens den er varm.



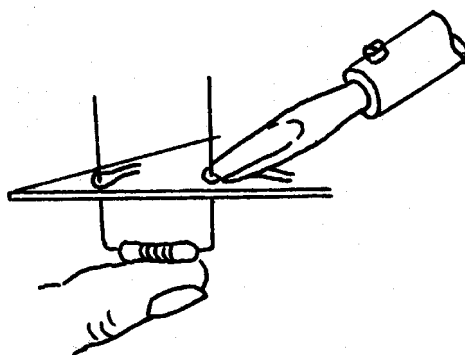
2.

Figur 124 Etter at loddebolten er rengjort, fortinnes begge sider med litt tinn.



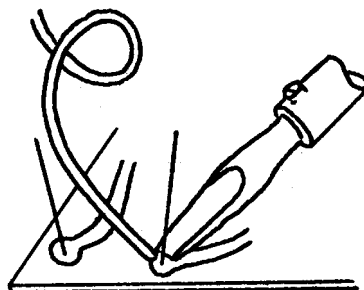
3.

Figur 125 Monter komponenten og varm opp loddestedet og beina på komponenten samtidig.



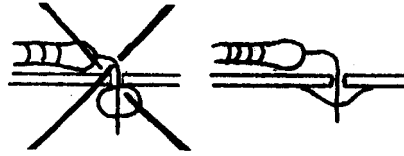
4.

Figur 126 Tilfør loddetinn der loddebolten berører kobberbanen og beinet på komponenten slik at det smelter utover. Ikke varm for lenge.



5.

Figur 127 Se til at lodningen ikke er en kaldlodning. For at lodningen skal være god, bør loddetinnet ha flytt utover.

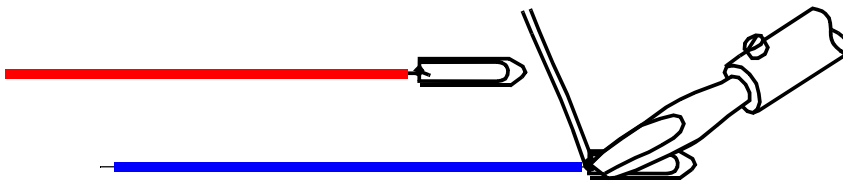


Etter at komponentene er loddet fast, kan bena som er for lange klippes av inntil lodningen med en avbitertang.

Lodd fast alle resistorene.

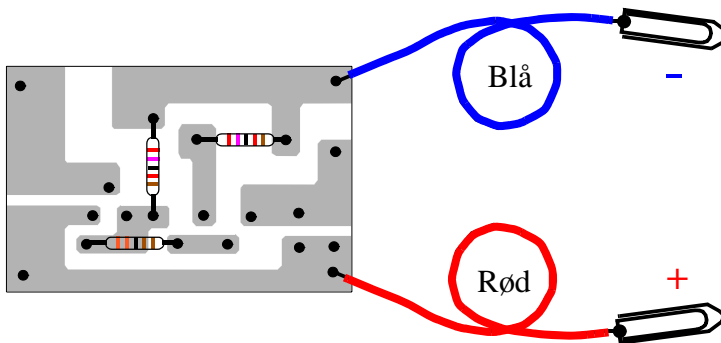
13.1.5 Montering av batteriklemmer

Monter bindersen til ledningene som vist på figur 128. Tråden bendes en gang rundt bindersen og loddet.



Figur 128 Montering av batteriklemmer (binders).

Dernest monteres ledningene til det trykte kretsløpet. Den blå ledningen skal senere kobles til den negative polen på batteriet og den røde til den positive.



Figur 129 Montering av batteriledningene.

Begge ledningene stikkes gjennom de riktige hullene i plata, loddes på loddessiden og klippes av med avbiteren.

Vent med å koble til batteriet til alle komponentene er montert og det er kontrollert at alt er montert slik det skal være.

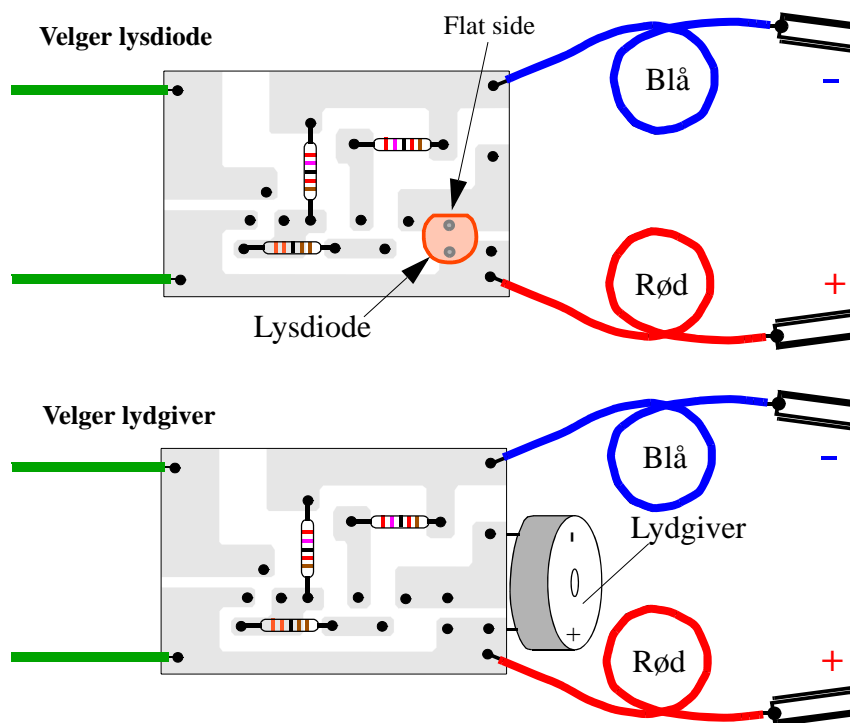
13.1.6 Montering av lysdiode/lydgiver

Du kan nå **velge om du vil ha lys eller lyd**. Både lydgiver (summer) og lysdiode må, til forskjell fra resistorene, monteres riktig vei.

Lysdioden har en flat side. Legg merke til hvilken vei dioden monteres på monteringsplata.

Lydgiveren er merket med + og -. Det er viktig at lydgiveren blir montert slik som vist på figur 130.

For best virkning - ikke monter begge, men velg en av dem.

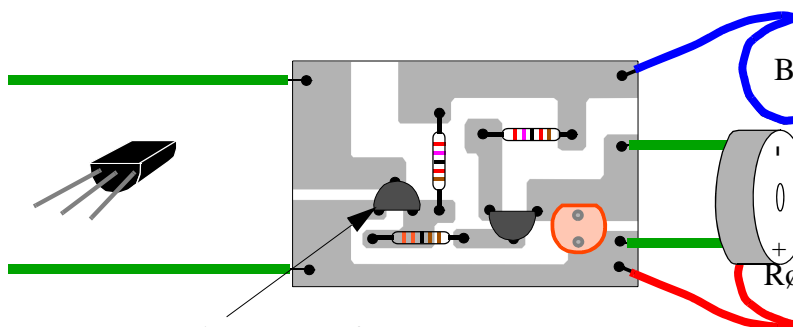


Figur 130 Montering av lysdiode og lydgiver.

Lydgiveren forbindes med kretskortet med de to 4 cm lange grønne ledningene, eller monteres på sida av kortet som vist nederst på figur 130. Lengre ledninger kan eventuelt kobles til senere. Samtidig kobles de lange grønne ledningene til punktene til venstre på kortet.

13.1.7 Montering av transistorene

Transistorene har tre bein. Det er svært viktig at alle tre beina kommer i riktige hull. Dersom dette ikke skjer, oppstår en feil som gjør at kretsen ikke vil virke.



Transistor sett ovenfra

Legg spesielt merke til transistorenes flate kant. Bøy beina litt ut til siden slik at de kan stikkes gjennom hullene i plata. Bøy beina lett på baksiden. Lodd fast og klipp av bein som er for lange.

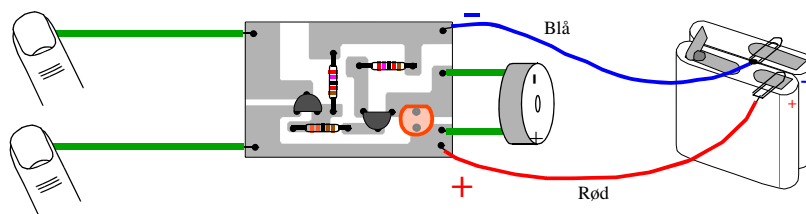
Om hullene er kommet litt skjevt ut under tegning av ledningsbanene, kan det være vanskelig å se hvordan transistoren skal monteres. Det kan være lurt å holde kretsen opp mot lyset slik at ledningsbanene på baksiden skimtes. Da er det lettere å se hvilke hull beina skal stikke ned i.

Når transistorene loddes fast er det spesielt viktig å unngå at beina varmes opp lengre en ca. 10 sekunder av gangen. Planlegg loddingen før du begynner, og vær rask.

13.1.8 Tilkobling til batteriet

Kontroller at alle komponentene er satt riktig på plass før du kobler til batteriet.

For å få sterkere lyd i summeren kan det være greit å koble to flatbatterier i serie. Dette gjør du ved å koble den korte “tungen” på det ene batteriet til den lange “tungen” på det andre.



Dersom du har gjort alt riktig skal kretsen virke når du nå kobler den røde ledningen til den korte ledige tungen på det ene batteriet, og den blå ledningen til den lange tungen på det andre batteriet.

Ved å berøre de to grønne ledningene til venstre på figuren over, vil det høres en lyd i summeren, alternativt lys i lysdioden, alt etter hva som er koblet inn.

13.1.9 Feilsøking

Som oftest virker ikke kretsen slik som den skal med en gang. Dette kan ha flere årsaker.

Det er viktig at elevene får anledning til å feilsøke selv. La dem gå gjennom liste under punkt for punkt. Er de usikre så oppmuntre dem til å spørre. Ingen skal gå hjem uten å ha med seg en krets som virker:

1. Sjekk at alle komponentene er plassert på rett sted og i riktige hull.
2. Sjekk at alle lodninger er utført, og at alle ledninger og komponentbein er loddet **godt** fast.
3. Sjekk at batteriledningene med rett farge er koblet til rett sted på monteringsplata.
4. Sjekk at det er strøm på batteriet (bruk en pære eller stikk det bort i tunga).
5. Sjekk at bindersene er loddet godt til den røde og den blå batteriledningen.
6. Sjekk at batteriet er koblet rett vei.
7. Sjekk at de to grønne ledningene er loddet godt fast og er avisolert.
8. Sjekk at de tre resistorene er plassert på rett sted. Kontroller fargekodene.
9. Sjekk at transistorene er satt rett vei og at beina står i rett hull.
10. Sjekk av lysdioden er satt rett vei og beina i de rette hullene.

Dersom alt dette er i orden, koble til batteriet på nytt.

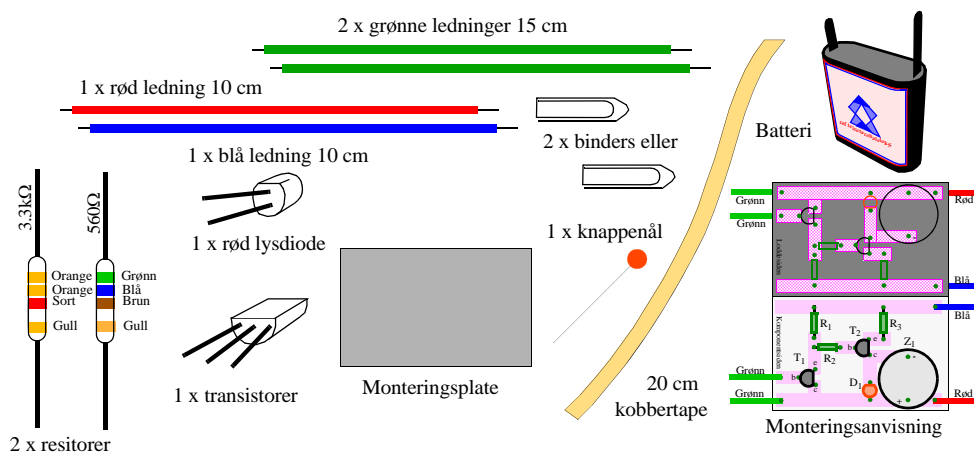
Om kretsen fortsatt ikke virker, gå gjennom lista sammen med eleven. Siste utvei er å bytte en eller begge transistorene eller lysdioden. Det er imidlertid svært sjelden at disse er ødelagt.

13.2 Strømførsterkeren montert på papp-plate med kobbertape

I dette avsnittet skal vi se hvordan den samme kretsen kan monteres på en papp-plate

13.2.1 Monteringsplate, monteringsanvisning og kobbertape

Til denne oppkoblingen trenger vi følgende komponenter



Figur 131 Nødvendige komponenter til en-trinn strømførsterker.

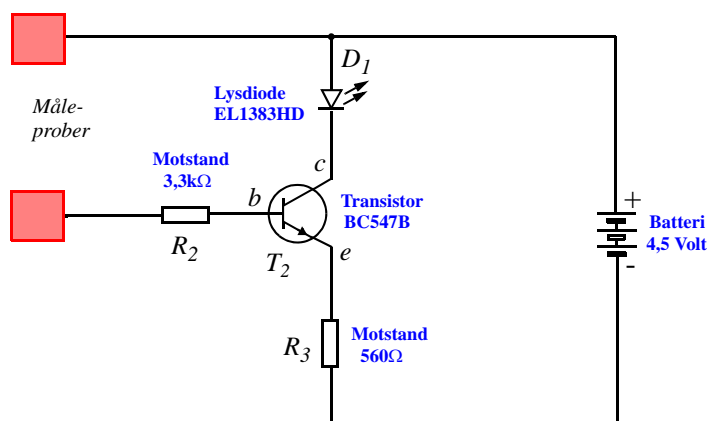
I dette tilfelle skal vi bruke papp-plater (fra 0.2 - 1 mm tykkelse) og kobbertape. Dette er en relativt enkel og billig teknologi selv om den ikke brukes i produksjonsbedrifter. Monteringsanvisningen brettes før vi begynner monteringen. Den ene siden viser kobberbanene og den andre komponentplasseringen.

Vi skal i dette tilfelle bygge opp kretsen i to trinn. Først en en-trinns enkel variant som kan bygges ut til en to-trinns.

13.2.2 Kretsskjema, en-trinns strømforsterker

Figur 132 viser koblingsskjemaet for den enkle en-trinns strømforsterkeren.

Lengst til venstre i skjemaet ser vi to kvadratiske plater. Disse skal vise at her ender ledningene ut i to åpne måleprober som i vårt tilfelle kan trees inn i et tørkepapir når kretsen brukes som fuktighetsindikator.



Figur 132 Kretsskjema for den enkle strømforsterkeren.

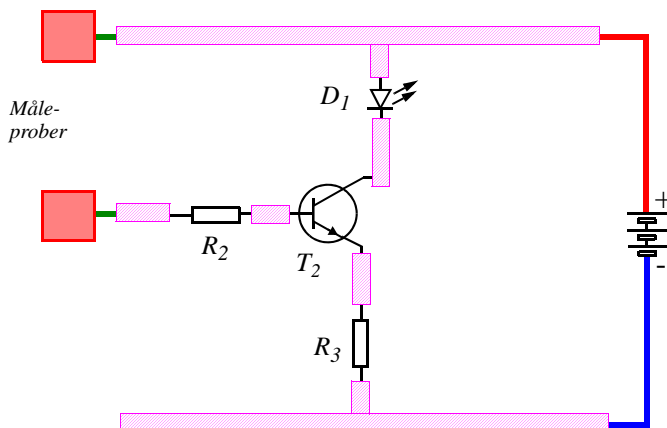
I kretsen i figur 132 har vi valgt å indikere deteksjon av fuktighet med lys¹.

Før vi begynner å montere komponentene må vi tegge kobbertape på den ene siden av monteringsplata. Vi tar utgangspunkt i koblingsskjemaet i figur 132.

13.2.3 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 passende steder slik at komponentbeina kan stikkes gjennom plata.

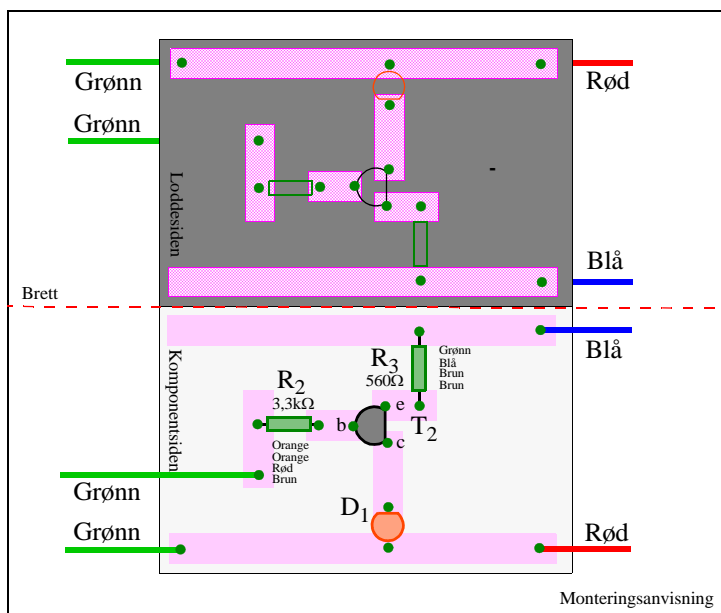
1. I to-trinnsforsterkeren skal se hvordan vi også kan få lyd.



Figur 133 Antydning om hvordan kobbertapen kan legges på monteringsplata.

Kobbertapen festes til papp-plata slik at beina på de elektriske komponentene lett kan lodes til kobberbanene. Med utgangspunkt i koblingsskjemaet i figur 132, har vi på figur 133 vist hvordan tapen kan legges.

Figur 134¹ (øverst) viser et forslag til hvordan kobbertapen kan legges på loddessida. Tilsvarende viser figur 134 (nederste) hvordan komponentene er montert på komponentsida. Ved å brette monteringsanvisningen langs den stiplede linjen, er det lettere å se sammenhengen mellom kobbertapen på loddessida, og komponentplasseringen på komponentsida.



Figur 134 Monteringsanvisningen for en en-trinns strømforsterker.

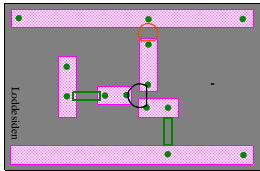
1. Etter en idé av Berit Bungum ved ILS ved Universitetet i Oslo.

De svarte punktene angir hvor det skal stikkes hull i monteringsplata. Vi har latt det være litt romslig på begge sider slik at vi kan bygge ut kretsen til en to-trinns versjon ved en senere anledning.

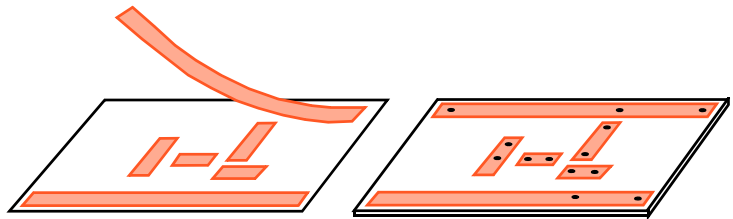
Framstillingen av monteringsplata gjøres på følgende måte:

1. Brett monteringsanvisningen langs den stiplede linja. Legg den med loddesiden opp. De skraverte feltene angir hvor kobbertapen skal festes til monteringsplata.
2. Klipp kobbertapen opp i lengder som vist på monteringsanvisningen.
3. Riv av det hvite beskyttelsesbelegget på tapen og klistre dem på monteringsplata.

Loddeside



Monteringsanvisning



Figur 135 Montering av kobbertape og merking av hull.

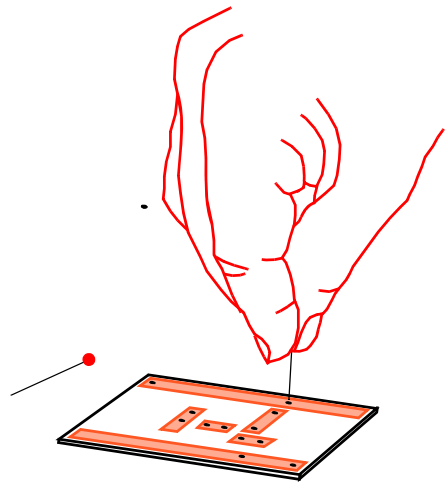
4. Når tapen er montert, markeres plasseringen av hullene med tusj (prikker på kobbertapen).
5. Derne stikkes det hull med en kraftig nål fra loddesiden.

Nå er monteringsplata klar for montering av komponentene.

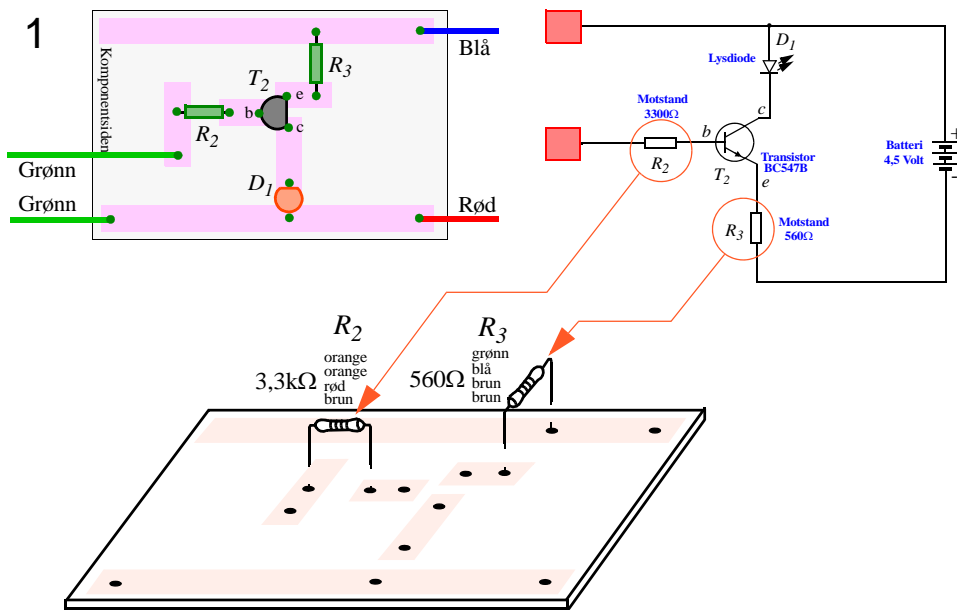
13.2.4 Montering av komponentene

Monteringsanvisningen legges med komponentsiden opp. Montering av komponentene gjøres på følgende måte:

1. **Montering av motstandene R_2 og R_3 :**
Begynn med å montere de to motstandene R_2 og R_3 .



Figur 136 Hullene stikkes opp med en nål.



Figur 137 Montering av motstandene.

R_3 skal ha verdien 560Ω , som angis med fargene **grønn, blå, brun, brun**.

R_2 skal ha verdien 3300Ω ($3,3k\Omega$), som angis med fargene **orange, orange, rød, brun**.

Se figur 28 på side 31 for veiledning om hvordan fargekodene på resistorene skal tolkes.

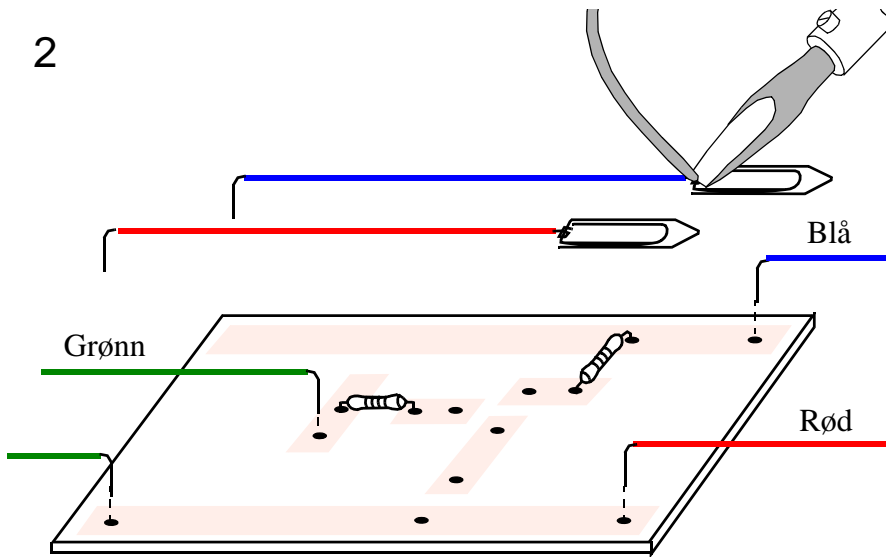
Når resistorene er montert loddes de til kobbertapen på loddessida av plata. Se avsnitt 13.1.4 på side 117 for et enkelt loddekurs.

Etter at resistorene er loddet fast, kan bena klippes av inntil loddingen med en avbitertang.

2. Montering av ledningene:

Fest en binders til den røde og en til den blå ledningen. Før lodding vris ledningen rundt endene av bindersene som vist på figur 138. Lodd bindersene til ledningene.

Stikk de to grønne, den røde og den blå ledningen gjennom hullene som vist på figur 138. Lodd ledningene til kobberbanene på loddessiden (undersiden).

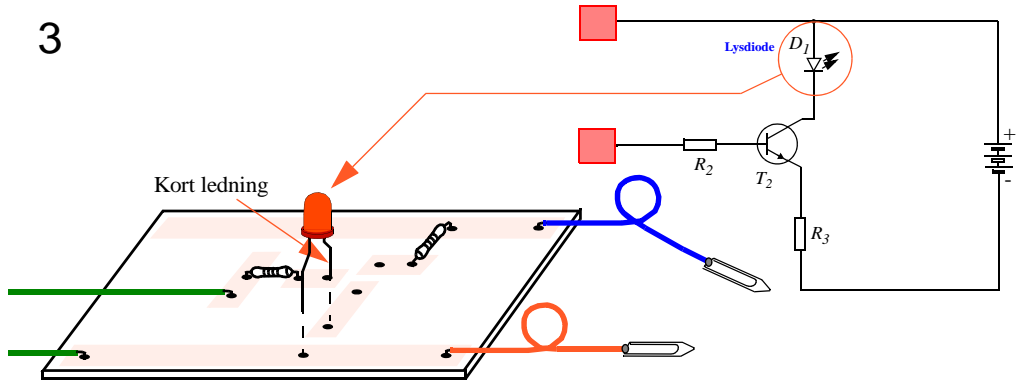


Figur 138 Monter ledningene.

3. Montering av lysdiode D_1 :

Monter **lysdioden** slik at den korte ledningen (katoden) er lengst bort fra deg når monteringsplaten ligger som vist på figur 139. Monteres lysdioden feil vei gir den ikke lys.

Lodd lysdioden til kobberbanene på loddessiden.

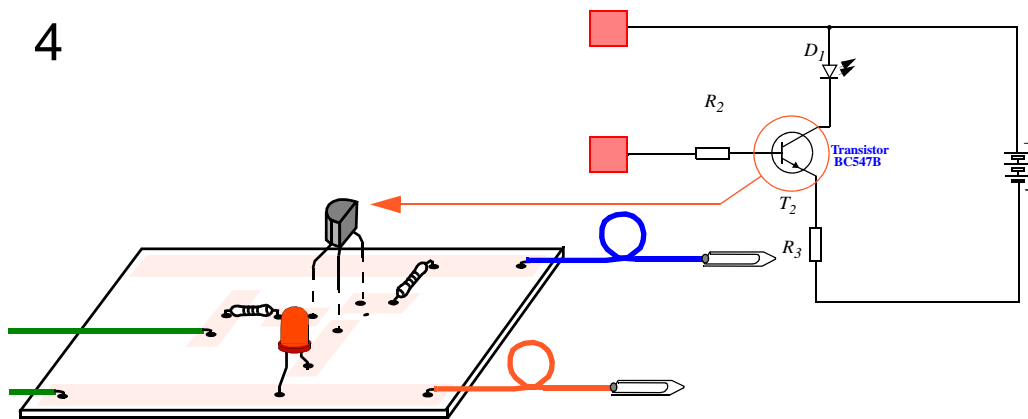


Figur 139 Montering av lysdiode.

4. *Montering av transistoren T_2 :*

Spre beina på transistoren litt fra hverandre slik at de når ut til hullene i monteringsplata. Sørg for at den flate sida av transistoren står rett vei. Stikk beina gjennom hullene. Det er viktig at rett bein kommer i rett hull. Lodd beina til kobberbanene på loddessida. Unngå at transistoren varmes opp unødige lenge

4

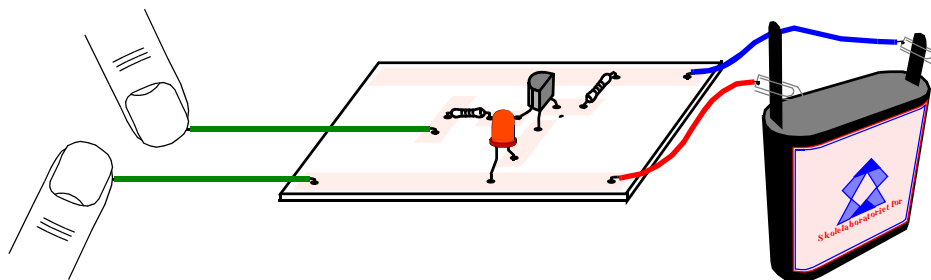


Figur 140 Montering av transistoren.

5. *Utpøving av kretsen*

Vi skal nå undersøke om kretsen fungerer som den skal. Vi kobler den røde ledningen til pluss-polen på batteriet (eller spenningsforsyningen), og den blå ledningen til minus-polen.

6

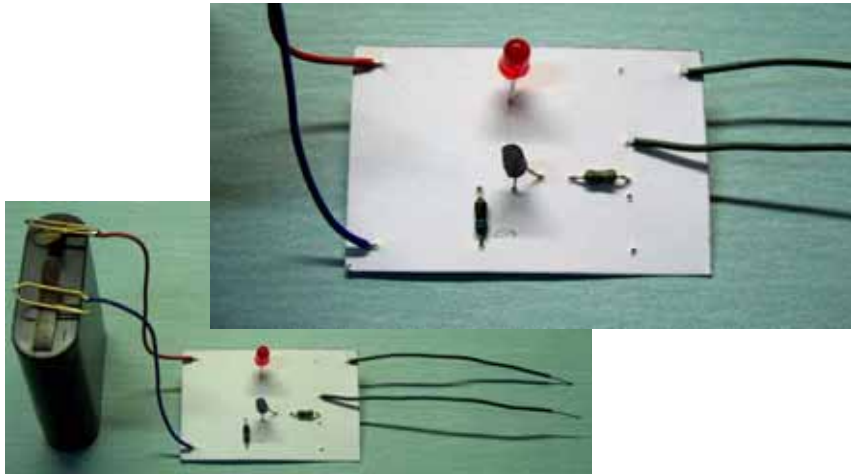


Figur 141 Kretsen tilkobles batteriet eller spenningsforsyningen.

Når vi berører de to måleprobenes til kretsen skal lysdioden lyse. Om dette ikke skjer bør du gå gjennom sjekklista i avsnitt 13.1.9 på side 120.

Prøv også følgende:

Når kretsen virker, undersøk hvor mange elever du må koble i serie før kretsen slutter å gi lys. Får du lys når du dypper måleprobenes i rent vann? Hva skjer om du dypper dem i destillert vann?



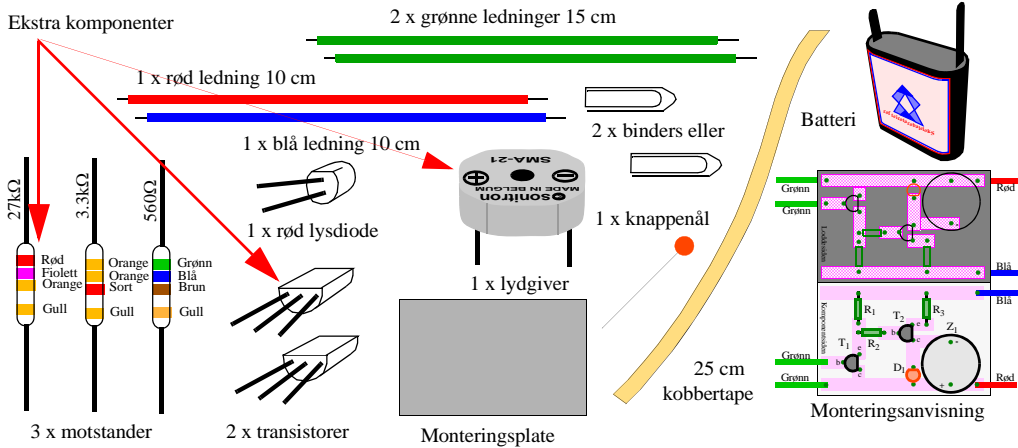
Figur 142 Den ferdige en-trinnsforsterkeren.

13.2.5 To-trinns strømforsterker med lydgiwer

Vi skal i dette avsnittet gjøre strømforsterkeren mer følsom. Dette gjør vi ved å føye til et ekstra forsterkertrinn foran det vi alt har bygget. Siden det er transistoren som gir forsterkning må vi inkludere en ekstra transistor. Dessuten vil vi i tillegg til lysdioden montere en *lydgiwer* som gir fra seg et lydsignal når det registreres strøm.

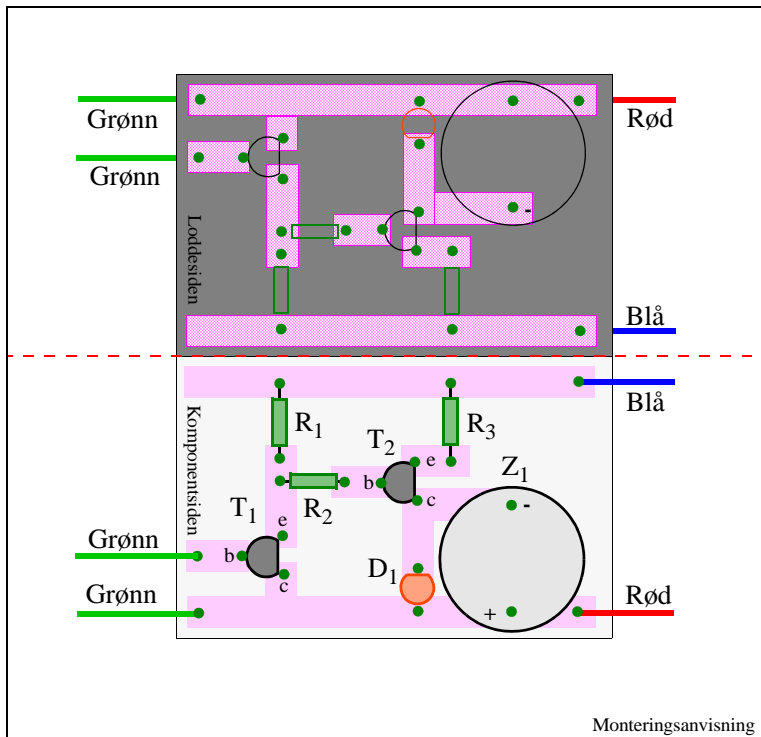
Kretsen kan nå registrere strømmer selv gjennom en seriekobling av flere ti-talls elever (kanskje elevene fra en hel skole).

Til denne kretsen trenger vi noen flere komponenter som vist i figur 143



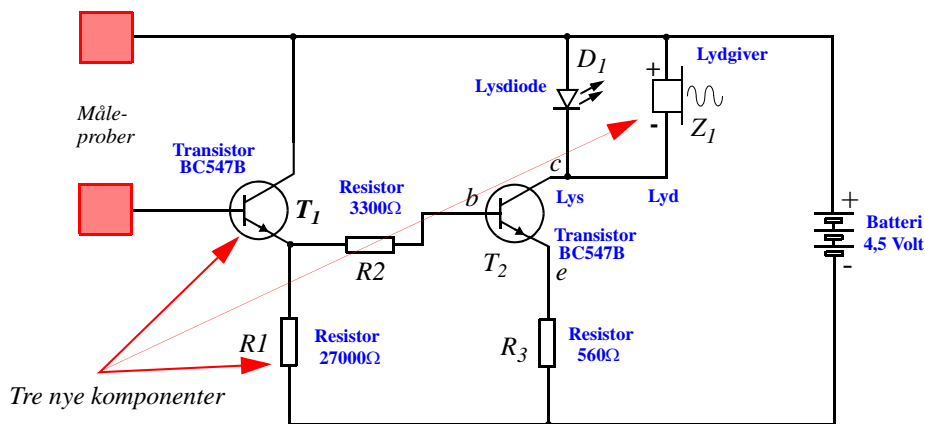
Figur 143 Nødvendige komponenter for å bygge opp en to-trinns strømforsterker.

Vi tar utgangspunkt i en-trinnsforsterkeren og bruker monteringsanvisningen for en to-trinns strømforsterker som vist på figur 144. Vi ser at den er omtrent identisk med den første, men at det er føyd til en ekstra transistor, en resistor og en lygiver. Den ene grønne ledningen er dessuten flyttet.



Figur 144 Monteringsanvisning for en to-trinns strømforsterker.

La oss se på det nye koblingsskjemaet som er vist i figur 145.

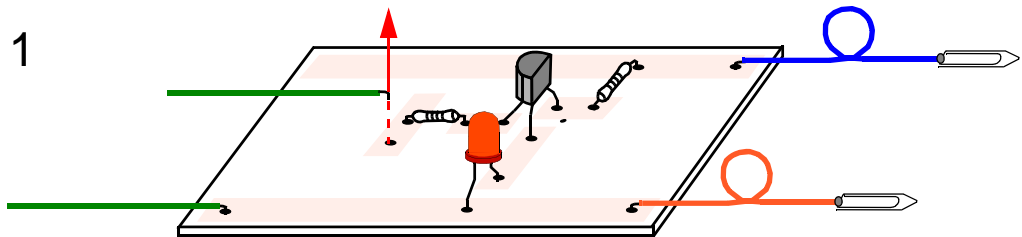


Figur 145 Koblingsskjema for en to-trinns strømforsterker.

Vi ser at de to trinnene ligner på hverandre. Det første trinnet forsterker opp den svake strømmen som går gjennom måleobjektet (f.eks. kroppen). Det andre trinnet forsterker strømmen nok en gang.

1. **Fjern den ene grønne ledningen**

Bruk loddebolten og løsne den ene grønne ledningen som vist på figur 146.

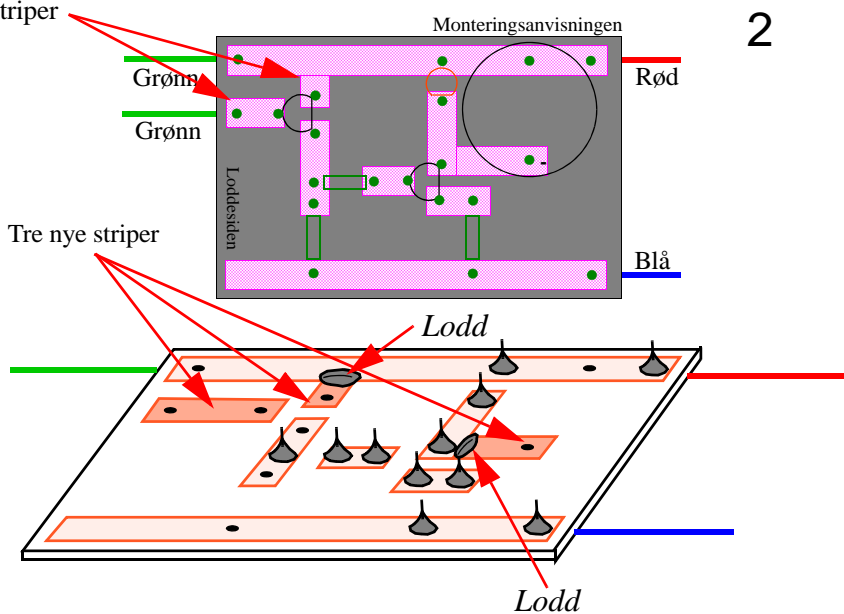


Figur 146 Fjern den ene grønne ledningen.

2. **Monter ekstra kobberbaner**

De ekstra kobberbanene monteres som vist på figur 147

To nye striper



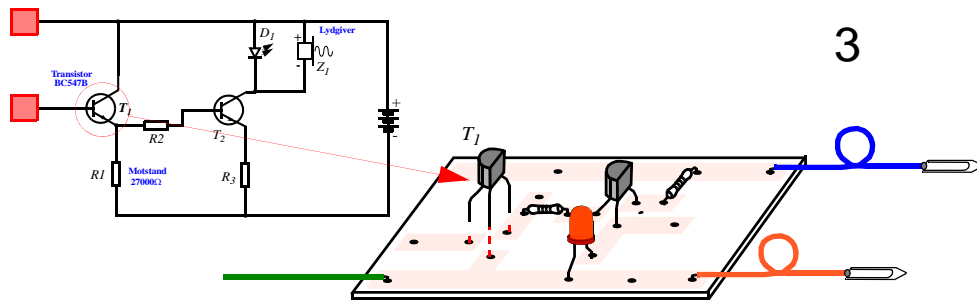
Figur 147 Monter ekstra kobberbaner.

Merk av hvor hullene skal være og stikk hull.

NB! Husk å lodd sammen kobbertapene som antydnet på figur 147.

3. Monter transistoren T_1 :

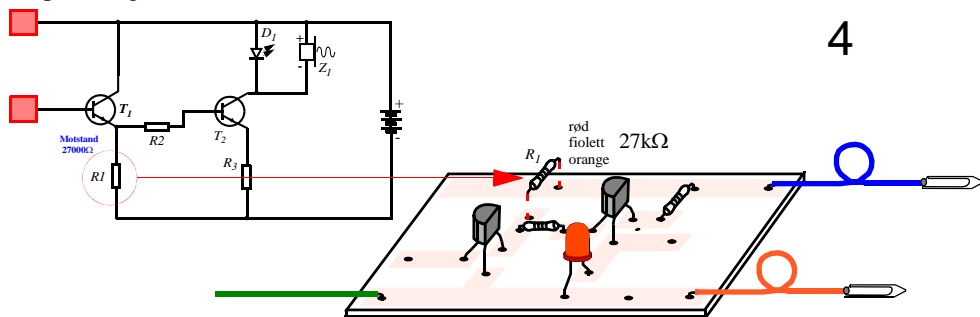
Spre bena på transistoren slik at den passer i hullene. Legg merke til hvilken vei den flate siden skal stå.



Figur 148 Monter transistoren T_1 .

4. Monter resistoren R_1 :

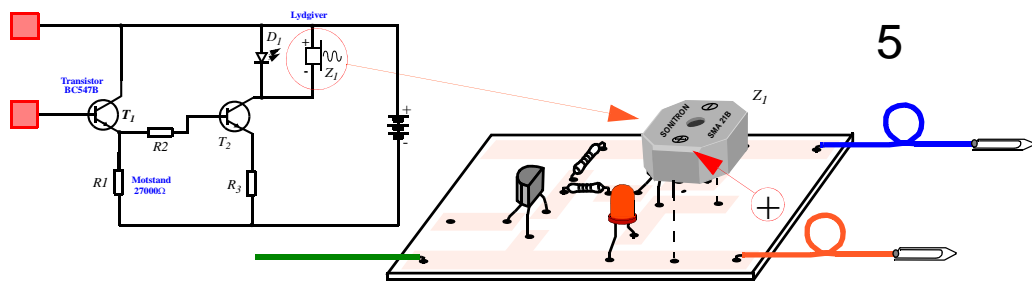
R_1 skal ha verdien 27000 Ω (27k Ω), som angis med fargene **rød, fiolett, orange**. Det spiller ingen rolle hvilken vei resistoren monteres.



Figur 149 Monter resistoren R_1 .

5. Montering av lyd giveren Z_1 :

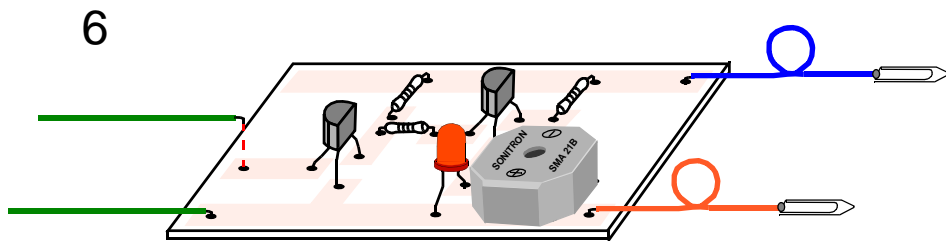
Pass på at lyd giveren blir plassert rett vei. Den har en pluss- og en minuspol.



Figur 150 Monter lyd giveren Z_1 .

6. Monter den siste ledningen:

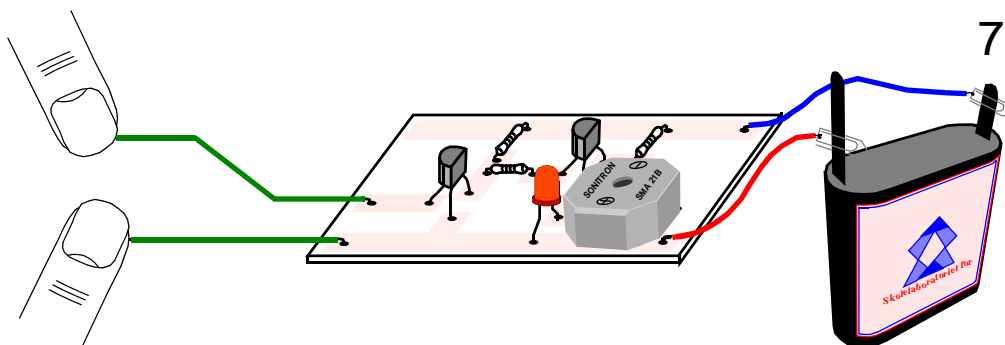
Monter den grønne ledningen i sitt nye kontaktpunkt.



Figur 151 Monter den grønne ledningen.

7. Prøv kretsen:

Til sist kobles batteriet til og kretsen prøves som sist.



Figur 152 Utprøving av to-trinnsforsterkeren.

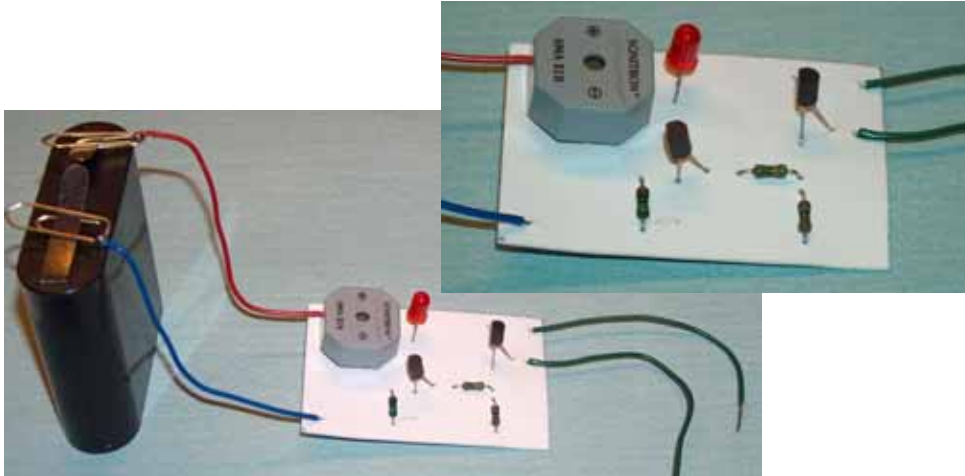
Om den ikke virker kan det være lurt å gå gjennom lista i avsnitt 13.1.9 på side 120.

Lys og lyd blir noe svakere når både lysdioden og lyd giveren er innkoblet samtidig.

Dersom en ønsker kraftigere lyd kan lysdioden fjernes.

Prøv følgende:

Når kretsen virker, undersøk hvor mange elever du nå må koble i serie før kretsen slutter å gi lyd.



Figur 153 Den ferdige to-trinnsforsterkeren.

14 Referanser

Litterurliste:

- [1] NKI-forlaget (1992)
“Fysikk i naturfaget - et fjernundervisningsopplegg med didaktiske refleksjoner”
ISBN 82-562-2805-9
- [2] Trondheim Energiverk
“Kraftverk i Nidelva”
brosjyre
- [3] Rolf Ingebrigtsen
“Elegant elektronikk - små elektronikkprosjekter for grunnskolen”
RENATEsenteret, 2004
<http://www.teknologiforum.no/BUskoler/Praktisk/Elektronikk.pdf>
- [4] Bjørn Andersson (1989)
“Elkreisar från grunnskola til universitet - En internationell Översikt”
EKNA-rapport 18 - mai 1989
Gjøteborg universitet
- [5] Christina Kärrquist (1986)
“Ett sätt att undervisa likeströmkretsen”,
EKNA-rapport 16 - februar 1986
Gjøteborg universitet

Nettreferanser:

- [6] Læreplan for videregående opplæring
Naturfag - felles allement fag for alle studieretninger, Oslo okt. 1993, KUF
<http://skolenettet3.ls.no/dok/lp/naturfag.html>
- [7] Læreplanverket for den 10-årige grunnskolen
Natur og Miljøfaget
<http://skolenettet3.ls.no/dok/197/>
- [8] Læreplan for videregående opplæring
Fysikk - Studieretningsfag i studieretning for almenne, økonomiske og administrative fag, Oslo sept. 1996, KUF
<http://skolenettet3.ls.no/dok/fysikk.html>
- [9] Hvordan ting virker
<http://howstuffworks.com>
- [10] Kjøp av komponenter
<http://www.elfa.se>

- [11] Kjøp av byggesett
<http://www.elfa.se>
<http://www.eriks-elektro.no/index.htm> (Velleman norsk leverandør)
<http://www.velleman.be/> (Velleman)

Vedlegg A Utdypende komponentkunnskap

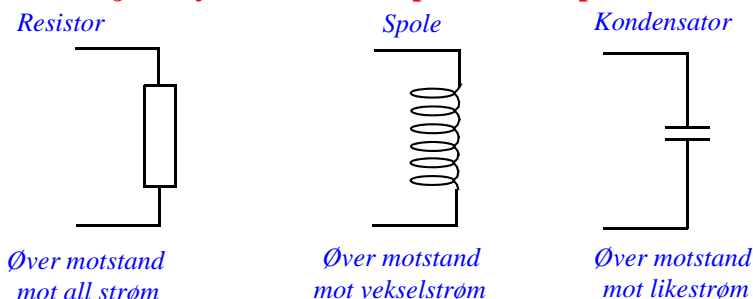
I dette vedlegget skal vi utdype vår kunnskap om hvordan de ulike komponentene virker. La oss først se på de enkleste komponentene som kalles *passive*.

A.1 Passive komponenter

A.1.1 De tre grunnleggende komponentene

Tre av de vanligste passive komponentene er resistoren, kondensatoren og spolen. Disse byggestenene kalles passive, siden de ikke er i stand til å forsterke signaler.

Skjemasympoler for tre passive komponenter



Resistoren er grundig behandlet tidligere i dette heftet, vi vil her bare poengtere at en resistor vil yte like stor resistor mot vekselstrøm som den gjør mot likestrøm. Er strømmen stor nok blir resistoren varm. Størrelsen på resistoren måles i *Ohm* (Ω). Legg også merke til at komponenten kalles *resistor* (motstand), mens dens verdi kalles *resistans* (motstandsverdi).

Spolen er ikke behandlet tidligere i dette heftet. Den er en ledning som er viklet opp på en rørformet holder (spoleform). En spole vil yte motstand mot vekselstrøm. Desto raskere strømmen veksler, desto større motstand vil spolen yte. Motstanden øker også når antall viklinger øker. Størrelsen på en spole måles i enheter av *Henry* (H). Denne komponenten brukes ikke i vår oppkobling, men er likevel en meget viktig komponent som f.eks. brukes mye i forbindelse med radioer.

Kondensatoren er to plater som ligger tett inntil hverandre uten å være i berøring. En kondensator vil sperre for likestrøm, men slippe gjennom vekselstrøm. Desto raskere strømmen veksler og jo større platene er, desto mindre motstand øver kondensatoren mot vekselstrømmen. Størrelsen på kondensatoren måles i enheter av *Farad* (F). Denne komponenten brukes ikke i denne oppkoblingen, men er likefullt en komponent som brukes mye innen elektronikken og kommunikasjonsteknologien.

I tillegg trengs noen *omvandlerere*:

A.1.2 Omvandlerere

Omvandlerere omvandler noe fra en energiform til en annen. F.eks. fra elektriske strømmer til lyd, eller omvendt.

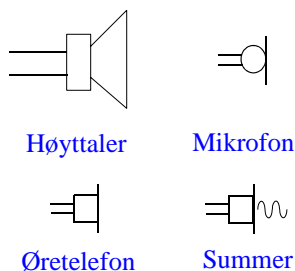
Summer er en omvandler som gir fra seg en summetone når en elektrisk spenning kobles til komponenten.

Høytaleren er en omvandler som gjør variasjoner i en elektrisk strøm om til lydbølger som øret kan høre. Slike finner vi i radioer, TV'er og stereoanlegg, mobiltelefoner o.l.

Mikrofonen er det omvendte av en høytaler og omvandler lydbølger til elektriske strømmer som varierer i takt med lydsignalet. Mikrofoner bruker vi når vi snakker i telefon eller tar opp tale på en båndopptaker.

Figuren under viser krettsymbolene for de fire omvandlerne vi har omtalt.

Omvandlere



Vi skal nå se litt på det som kalles *aktive* komponenter. I denne gruppen finner vi bl.a. dioden og transistoren. I vår oppkobling er begge disse komponentene representert. For å forstå hvordan disse komponentene virker, må vi først se litt nærmere på det materialet de er laget av.

A.2 Aktive komponenter

A.2.1 Halvledermaterialer

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 halvledende¹ materialer.

Før vi studerer virkemåten til transistoren, la oss se på det som kalles en *PN-overgang*². Som vi skal se virker PN-overgangen som en *diode*. Siden denne dioden er laget av halvledermateriale kalles den også ofte for en halvlederdiode.

A.2.2 Dioden

Halvlederdiode er en PN-overgang og består altså av to tynne skiver (sjikt) av grunnstoffet sili-sium, som er et av de stoffene det finnes mest av på jorda. Dette rendyrkes, eller "groes" som store krystaller. Etter at det er rensset på alle mulige måter, forurenses det på en kontrollert måte. Se fak-

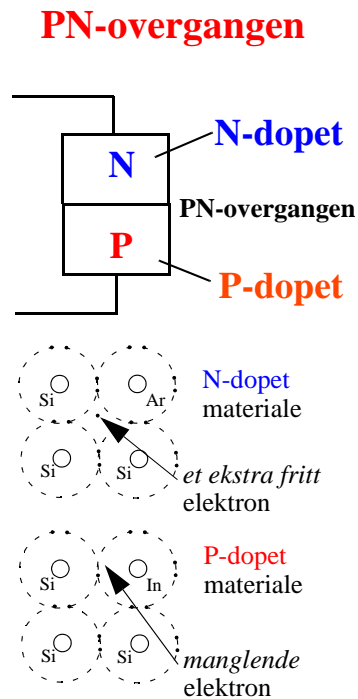
-
1. Vi kaller materialene halvledere fordi de ikke er ledere som metallene kobber eller aluminium, men heller ikke isolerende som plast eller glass. Se forøvrig faktaruta om PN-overgangen.
 2. Faktaruta om PN-overgangen forklarer hva dette er.

PN-overgangen er satt sammen av to tynne sjikt av et krystallinsk materiale som hovedsakelig består av silisium.

Silisiumkrystallene er forurenset med noen atomer av et annet grunnstoff. Å blande inn forurensene stoffer kalles å **dope** krystallet.

N-dopet materiale er forurenset av Arsen som har et ekstra elektron i ytterste skall. Dette elektronet finner ikke noen plass i gitteret og blir fritt.

P-dopet materiale er forurenset av Indium som har et elektron mindre enn silisium, det oppstår derfor et "elektronhull" i gitteret.



taruta om PN-overgangen.

Halvlederdiode er satt sammen av et **N-dopet** og et **P-dopet** sjikt. **N-sjiktet** har frie elektroner som svever rundt i materialet, mens **P-sjiktet** har ledige elektronplasser i krystallgitteret¹. Disse kalles **hull**. Når de to materialene settes inntil hverandre blir elektronene nærmest **P-sjiktet** dratt over til den andre siden og fyller hullene. På denne måten blir **N-siden** litt positiv og **P-siden** litt negativ i et smalt område nær overgangen mellom de to sjiktene (**PN-overgangen**).

Ladningene rundt PN-overgangen vil danne et isolerende sjikt. Når vi setter en elektrisk spenning over diode, vil det - avhengig av hvilken vei spenningen settes - forsterke det isolerende ladningssjiktet, eller bryte det ned. Når sjiktet er brutt ned, vil det begynne å gå strøm i diode. Vi sier at diode **leder**.

På denne måten kan en diode brukes som **likeretter**. Dvs. at en **vekselspenning** kan gjøres om til en **likespenning**.

A.2.3 Lysdiode

Lysdiode er også en diode. Når det settes spenning på diode slik at den begynner å lede strøm, vil den akkurat i overgangen mellom de to sjiktene sende ut lys eller **fotoner**.

1. Vi må huske at selv om materialet har frie elektroner, er det nøytralt, dvs det er like mange elektroner som protoner til stede i materialet.

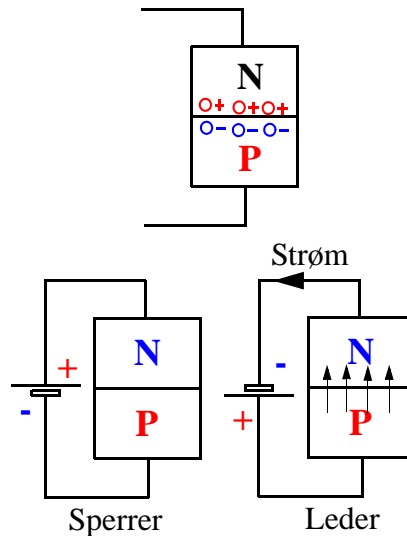
Halvlederdiode

Når **plussen** på batteriet kobles til **N**-sjiktet, økes bredden av sjiktet, og dioden sperrer.

Når plussen på batteriet kobles til **P**-sjiktet, reduseres bredden på sjiktet. Når spenningen blir større enn ca. 0.5V begynner det å gå strøm gjennom dioden.

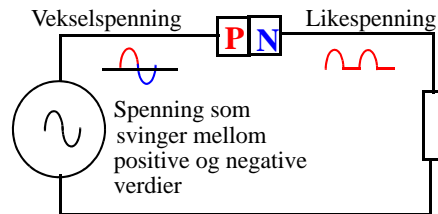
Økes batterispenningen enda mer, øker strømmen kraftig. Vi sier at dioden leder.

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



Likeretning

Dersom en diode settes inn i en strømkrets med **vekselspenning**, som vist på tegningen, vil det bare gå strøm når spenningen er positiv på **P**-skiktet.



Det kan være lurt å legge inn en resistor i serie med dioden slik at ikke strømmen blir for stor. Dette burde imidlertid ikke være noe problem i vår oppkobling.

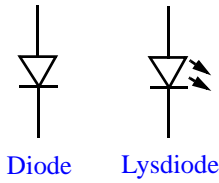
På figuren øverst på neste side ser vi skjemasymbolet for dioden og lysdioden. I vår oppkobling skal vi bare bruke en lysdiode.

A.2.4 Transistoren

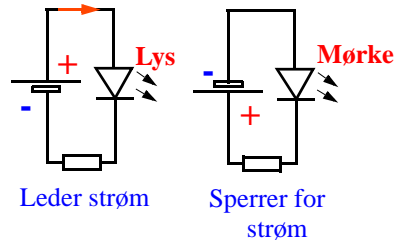
Dioden kan likerette vekselspanning, men kan normalt ikke forsterke et signal. *Transistoren* har imidlertid evnen til å *forsterke en liten strøm til en større strøm*.

Før 1950 brukte en utelukkende rør for å forsterke svake elektriske signaler. På 50-tallet viste transistoren seg snart radorøret totalt overlegent på nesten alle områder. Dette skyldes at den var langt mer pålitelig. Det viste seg etter hvert også at transistorene kunne gjøres svært små. I dag klarer en å plassere ca. 250 millioner transistorer på 3cm^2 . I en vanlig hjemme-PC kan det i dag være mellom 50 og 100 millioner transistorer.

Kretsymboler for diode og lysdiode



Lysdioden



Transistoren

Transistoren består av tre sjikt lagt ved siden av hverandre. To N-sjikt med et tynt P-sjikt i midten.

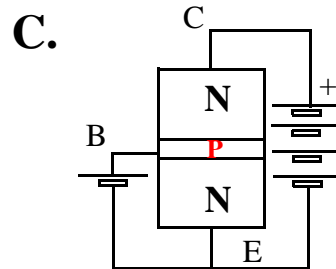
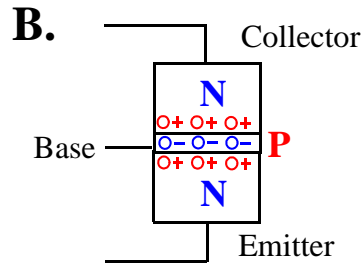
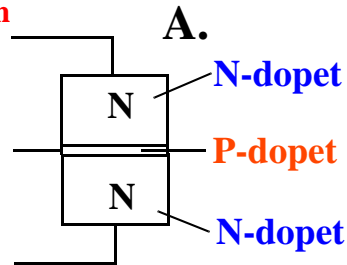
Også her vil de frie elektronene i N-sjiktet bli tiltrukket av hullene i P-sjiktet og danne områder med positiv og negativ ladning som vist på figur B.

Disse sjiktene sperrer for strøm mellom elektrodene, som kalles **collector** og **emitter**.

Dersom vi nå leder en liten strøm inn på det tynne sjiktet i midten, **basen**, kan vi overvinne de isolerende ladningssjiktene og åpne for en strøm mellom **collector** og **emitter**.

Ved hjelp av en liten strøm inn i basen kan vi da styre en stor strøm gjennom collector og emitter.

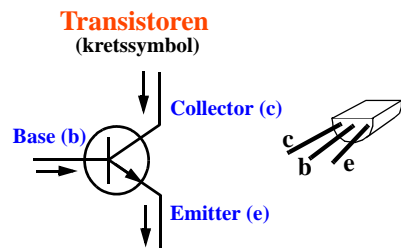
Vi har fått en transistor som kan forsterke strømmer.



Transistoren er, som vi skjønner blitt en viktig komponent i all datateknologi. Her brukes transistoren som *bryter*. Ved hjelp av slike *transistorbrytere* bygges i dag kretser for lagring av data, addisjon, subtraksjon, multiplikasjon og divisjon av tall osv. Likeledes har datakommunikasjon og internett vært umulig uten transistoren. Transistoren brukes dermed innen all elektronikk og

kan på mange måter kalles elektronikkens “hjul”.

Vi har tidligere omtalt kretssymbolet for en vanlig transistor. Som vi ser på figuren til høyre, har transistoren tre “bein” eller ledninger. Pilene på figuren viser retningen til strømmen i de enkelte beina. Vi forstår nå hvorfor de ulike terminalene heter base, emitter og collector.



I alt er det tre tilkoblingsterminaler og det følger to målepinner (rød og sort ledning) med instrumentet.

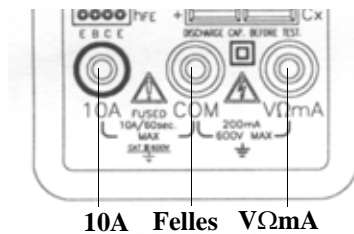


Figure B.2 De tre tilkoblingsterminalene

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.

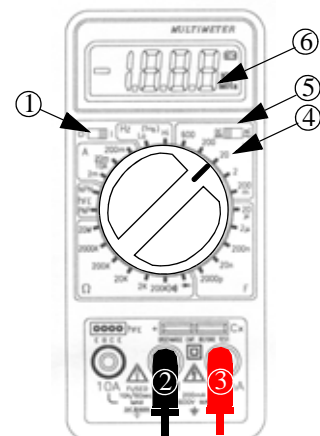
Legg merke til at vi bør anslå verdien til det vi skal måle slik at vi kan stille funksjonsvelgeren til riktig måleområde og innstilling. Hvis vi ikke har grunnlag for å anslå en forventet verdi, bruker vi det groveste måleområdet. Om vi bommer på innstillingen skjer ikke noe annet enn at vi må endre 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.

B.1.2 Måling av likespenning

Likespenningsfunksjonen er oppe til høyre og har fem måleområder: 200mV, 2000mV, 20V, 200V og 600V (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. 20V (oppe til høyre).
5. Sett DC/AC-bryteren i posisjon DC (*Direct Current*) - likespenning.
6. Forbind målepinnene til målesteden og les av verdien i utlesningsvinduet.



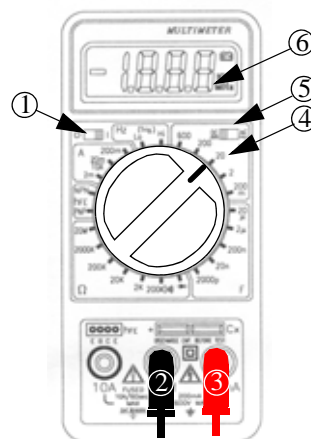
Utleesningsvinduet vil nå vise resultatet av målingen. Det har 3 1/2 siffer, dvs. at det første sifferet lengst til venstre bare kan ha verdiene 0 og 1. Dette er nok dersom området kun strekker seg opp til f.eks. 20V. Dersom spenningen overskrider denne verdien må vi velge neste område som er 200V. Instrumentet kan ikke måle høyere likespenninger enn 600V.

B.1.3 Måling av vekselspenning

Måleprosedyren for måling av vekselspenning er den samme som for likespenning med unntak av at vi setter DC/AC-bryteren i posisjon AC (Alternating Current) - vekselspenning.

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. 20V (oppe til høyre).
5. Sett DC/AC-bryteren i posisjon AC (*Alternating Current*) - vekselspenning.
6. Forbind målepinnene til målestedene og les av verdien i utlesningsvinduet.



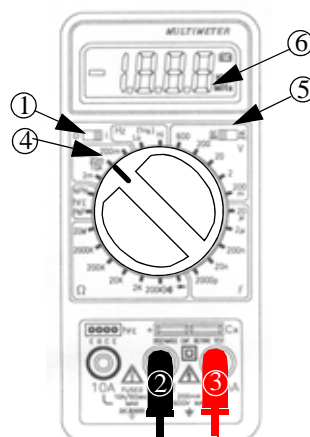
Utleesningsvinduet vil nå vise resultatet av målingen. Det har 3 1/2 siffer, dvs. at det første sifferet lengst til venstre bare kan ha verdiene 0 og 1. Dette er nok dersom området kun strekker seg opp til f.eks. 200V. Dersom spenningen overskrider denne verdien må vi velge neste område som er 600V. Høyere vekselspenninger enn 600V kan ikke måles med dette instrumentet.

B.1.4 Måling av likestrøm

Likestrømsfunksjonen er oppe til venstre og har fire måleområder: 2000μA (milliontedels Ampère), 20mA, 200mA og 10A.

Når vi skal måle likestrøm opp til f.eks. 20mA går vi fram på følgende måte:

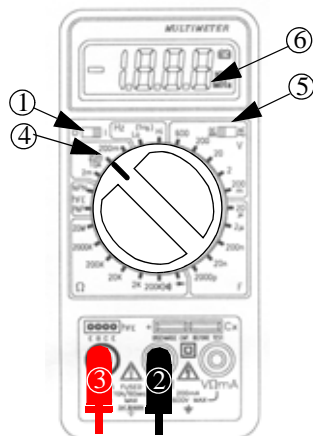
1. Slå på måleinstrumentet.
2. Koble den sorte målepinnen til **Felles** (COM).
3. Koble den røde målepinnen til **VΩmA**.
4. Sett funksjonsvelgeren til riktig måleområde, f.eks. 20mA (oppe til venstre).
5. Sett DC/AC-bryteren i posisjon DC (*Direct Current*) - likestrøm.
6. Forbind målepinnene til målestedene og les av verdien i utlesningsvinduet.



Utlesningsvinduet 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 utlesningsvinduet 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 10A (oppe til venstre, samme posisjon som 20mA).
5. Sett DC/AC-bryteren i posisjon DC (*Direct Current*) - likestrøm.
6. Forbind målepinnene til målestedene og les av på displayet.



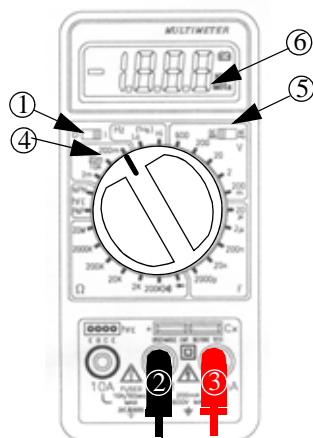
Utlesningsvinduet vil nå vise resultatet av målingen. Dersom strømmen overskrider 10A vil sikringen i instrumentet gå og må skiftes.

B.1.5 Måling av vekselstrøm

Vekselstrømsfunksjonen er oppe til venstre og har fire måleområder: 2000 μ A, 20mA, 200mA og 10A.

Når vi skal måle likestrømmer opp til f.eks. 200mA 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. 200mA (oppe til venstre).
5. Sett DC/AC-bryteren i posisjon AC (*Alternating Current*) - vekselstrøm.
6. Forbind målepinnene til målestedene og les av verdien i utlesningsvinduet.

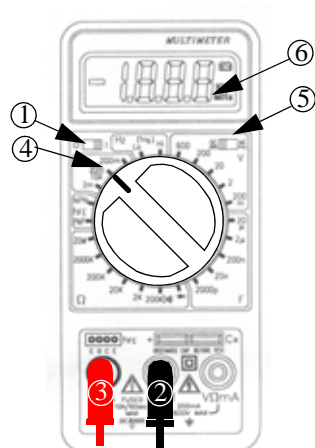


I denne stillingen kan vi ikke måle større strømmer enn 200mA. Om utlesningsvinduet viser O.L betyr dette "Overload" og vi må sette funksjonsvelgeren til et høyere måleområde.

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 **10A**.
4. Sett funksjonsvelgeren 10A (oppe til venstre, samme posisjon som 20mA).
5. Sett DC/AC-bryteren i posisjon AC (*Alternating Current*) - vekselstrøm.
6. Forbind målepinnene til målestedene og les av på displayet.

Utlesningsvinduet vil nå vise resultatet av målingen. Dersom strømmen overskrider 10A vil sikringen i instrumentet gå og må skiftes.



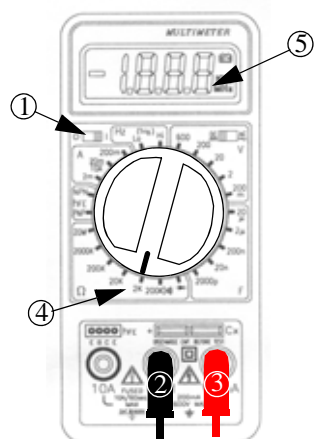
B.1.6 Måling av resistans

Funksjonsområdet for resistans er nede til vestre og har seks måleområder: 200 Ω , 2k Ω , 20k Ω , 200k Ω , 2000k Ω og 20M Ω .

Når vi skal måle resistansen i en resistor 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. 2k Ω (nede til høyre).
5. Forbind målepinnene til målestedene og les av verdien i utlesningsvinduet.

Utlesningsvinduet 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. 2k Ω . Dersom resistansen overskrider denne verdien, må vi velge neste område som er 20k Ω . Med dette multimeteret kan vi ikke måle større resistanser enn 20M Ω . Om utlesningsvinduet viser O.L betyr dette "Overload" og en må sette funksjonsvelgeren til et høyere område.



B.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 (BC547B) 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:

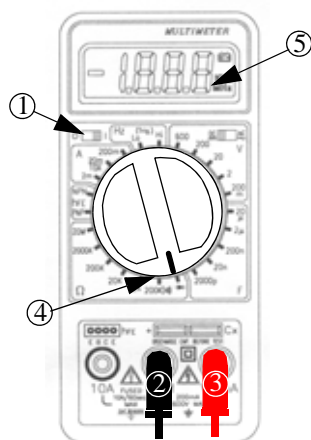
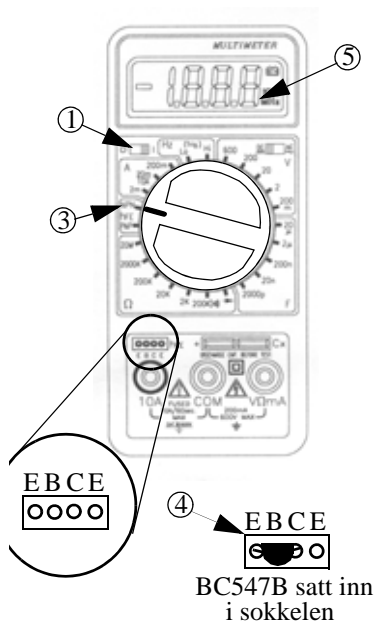
1. Slå på måleinstrumentet.
2. Bestem om transistoren er en PNP- eller en NPN-transistor og finn ut hvilke ben som er emitter (E), base (B) og collector (C). BC547B er en NPN-transistor. Normalt vil en gå inn i databladet for transistoren for å finne ut av dette.
3. Sett funksjonsvelgeren til riktig 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 $\rightarrow \text{di}$..
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 sperre- retning. 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.



B.1.8 Måling av kapasitans

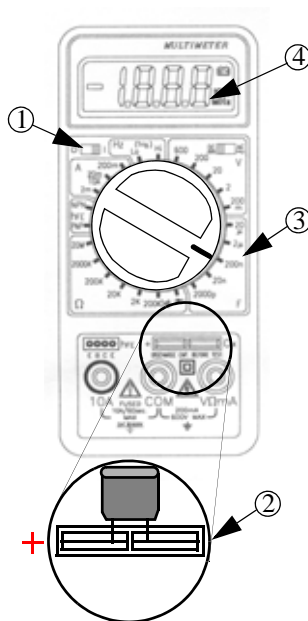
Dette multimeteret gir også mulighet til å måle kapasitans.

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.



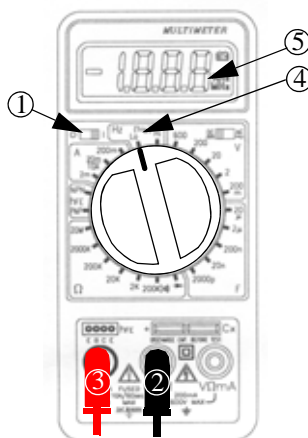
B.1.9 Måling av frekvens

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 500V.



B.2 CM2701

B.2.1 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 resistans. I tillegg kan vi med dette multimeteret måle strømforsterkningen i transistorer og sjekke at dioder er i orden.

6. Gummibeskyttelse
7. 3 1/2 siffer utlesningsvindu
8. Område for måling av likespenning
9. Funksjonsvelger
10. Område for måling av veksel- og likestrøm
11. Tilkoblingsterminaler
12. Avslått
13. Område for måling av vekselspenning
14. Måling av strømforsterkning i transistorer
15. Område for måling av resistans
16. Måling av dioder
17. Testsokkel for transistorer

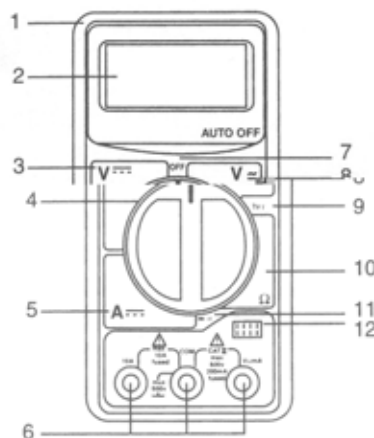


Figure B.3 Multimeteret CM2701 fra CALTEK INSTRUMENTS

I alt er det tre tilkoblingsterminaler og det følger to målepinner (rød og sort ledning) med instrumentet.

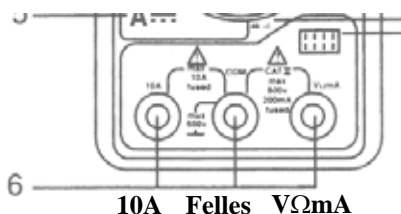


Figure B.4 De tre tilkoblingsterminalene

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 detalje 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 funksjon og måleområde. 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.

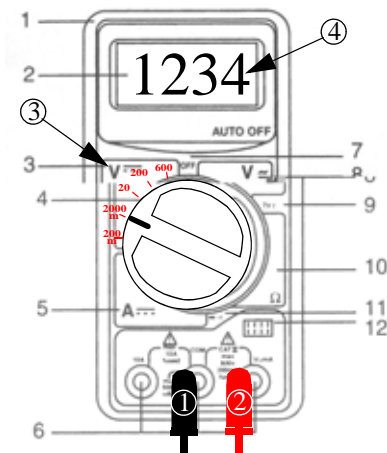
B.2.2 Måling av likespenning

Funksjonsområdet for måling av likespenning er oppe til venstre og har fem måleområder: 200mV, 2000mV, 20V, 200V og 600V (mV står for milliVolt).

Når vi skal måle likespenning går vi fram på følgende måte:

1. Koble den sorte målepinnen til **Felles (COM)**.
2. Koble den røde målepinnen til **VΩmA**.
3. Sett funksjonsvelgeren til riktig spenningsområde, f.eks. 2000mV (oppe til høyre).
4. Forbind målepinnene til målestedene og les av verdien i utlesningsvinduet.

Utlesningsvinduet vil nå vise resultatet av målingen. Vinduet har 3 1/2 siffer, dvs. at det første sifferet lengst til venstre bare kan ha verdiene 0 og 1. Dette er nok dersom vi kun måler spenninger opp til f.eks. 2000mV. Dersom spenningen overskrider denne verdien må vi velge neste måleområde som er 20V. Instrumentet kan ikke måle høyere spenninger enn 600V.

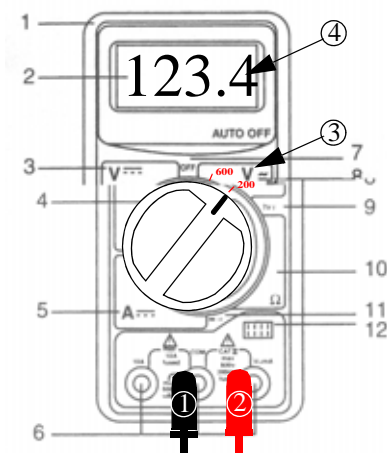


B.2.3 Måling av vekselspenning

Målefunksjonen for vekselspenning er oppe til høyre og har to måleområder: 200V og 600V.

Når vi skal måle vekselspenning, går vi fram på følgende måte:

1. Koble den sorte målepinnen til **Felles (COM)**.
2. Koble den røde målepinnen til **VΩmA**.
3. Sett funksjonsvelgeren til riktig funksjon og måleområde, f.eks. 200V (oppe til høyre).
4. Forbind målepinnene til målestedene og les av verdien i utlesningsvinduet.



Utlesningsvinduet vil nå vise resultatet av målingen. Vinduet 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 skal måle opp til f.eks. 200V. Dersom spenningen overskrider denne verdien må en velge neste område som er 600V. Høyere spenninger enn 600V bør en ikke måle med dette instrumentet.

B.2.4 Måling av likestrøm

Målefunksjonen for likestrøm er nede til venstre og har fem måleområder: 200 μ A, 2000 μ A, 20mA, 200mA og 10A.

Når vi skal måle vekselstrømmer opp til 200mA går vi fram på følgende måte:

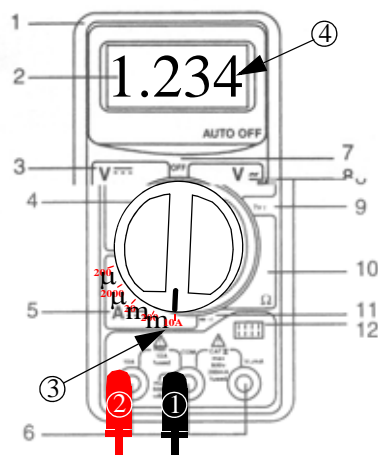
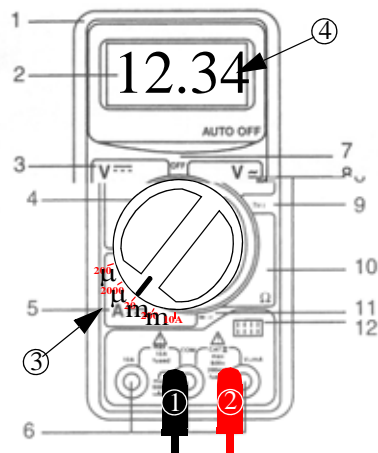
1. Koble den sorte målepinnen til **Felles (COM)**.
2. Koble den røde målepinnen til **V Ω mA**.
3. Sett funksjonsvelgeren til riktig strømområde, f.eks. 20mA (nede til venstre).
4. Forbind målepinnene til målestedene og les av verdien i utlesningsvinduet.

Utlesningsvinduet 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, 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. Koble den sorte ledningen til **Felles (COM)**.
2. Koble den røde ledningen til **10A**.
3. Sett funksjonsvelgeren 10A (nede til venstre).
4. Forbind målepinnene til målestedene og les av på displayet.

Utlesningsvinduet vil nå vise resultatet av målingen. Dersom strømmen overskrider 10A vil sikringen i instrumentet gå og må skiftes.



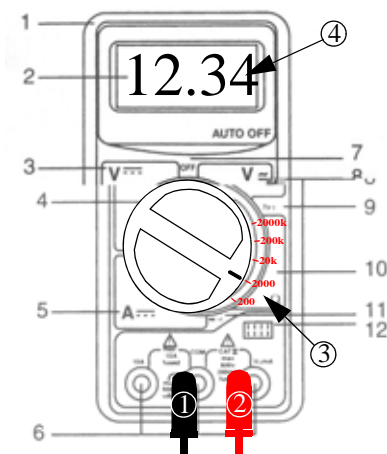
B.2.5 Måling av resistans

Måleområdet for resistans er nede til høyre og har fem innstillinger: 200Ω, 2000Ω, 20kΩ, 200kΩ og 2000kΩ

Når vi skal måle resistansen i en resistor går vi fram på følgende måte:

1. Koble den sorte målepinnen til **Felles** (COM).
2. Koble den røde målepinnen til **VΩmA**.
3. Sett funksjonsvelgeren til riktig resistansområde, f.eks. 2000Ω (nede til høyre).
4. Forbind målepinnene til målestedene og les av på utlesningsvinduet.

Utlesningsvinduet 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 vi måler verdier opp til f.eks. 2000Ω. Dersom resistansen overskrider denne verdien, må vi velge neste område som er 20kΩ. Med dette multi-meteret kan vi ikke måle større resistanser enn 2000kΩ (2MΩ).



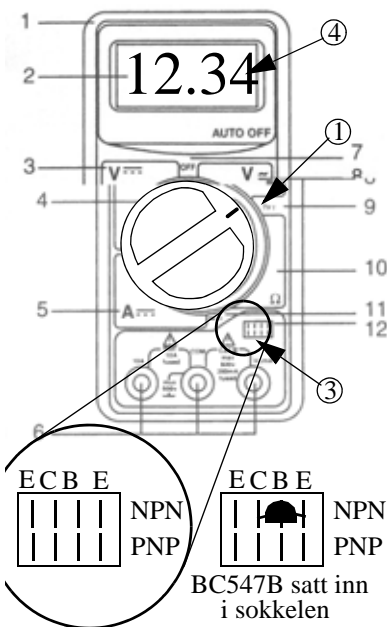
B.2.6 Måling av transistorer og dioder

Som vi senere skal se så har NPN- og PNP-transistorer en strømforsterkning. Den transistoren vi bruker (BC547B) har en strømforsterkning, h_{FE} , 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. Sett funksjonsvelgeren til riktig funksjon og måleområde, h_{FE} , opp til høyre.
2. Bestem om transistoren er en PNP- eller en NPN-transistor. BC547B er en NPN-transistor. Dette finner du fra databladet
3. Stikk transistorens ben inn i sokkelen som vist nederst på bildet til høyre.
4. Les av forsterkningen i utlesningsvinduet.

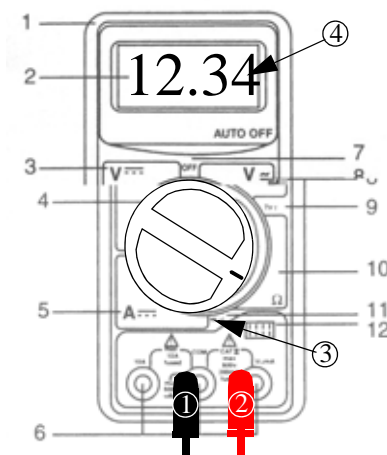
I dette tilfellet trenger vi ikke målepinnene.



Dersom vi ønsker å sjekke om en diode er i orden eller er ødelagt går vi fram på følgende måte:

1. Koble den sorte ledningen til **Felles** (COM).
2. Koble den røde ledningen til **VΩmA**.
3. Sette multimeteret i posisjon 11  ..
4. Forbind målepinnene til hvert av bena på dioden. Først den ene veien, deretter byttes pinnene om og vi måler den andre veien.

Instrumentet gir fra seg en pipelyd dersom dioden kobles i *lederretning*, mens det gir ingen lyd når den kobles i *sperreretning*. 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.



B.3 Hvordan gjøre målinger med et multimeter?

Et ideelt måleinstrument vil ikke på noen måte påvirke kretsen som vi måler på. Et ideelt Voltmeter har uendelig indre resistans mellom målepinnene. Mens når det brukes som Ampéremeter så har det null resistans.

Et virkelig multimeter er dessverre ikke slik. Multimetrene vi har omtalt her har følgende data:

Volt-meter:

Indre resistans: $1\text{M}\Omega - 100\text{M}\Omega$

Ampéremeter:

Indre resistans: $< 1\Omega$ (varierer med måleområdet)

La oss se hvordan måleinstrumentet påvirker måleresultatet når vi ønsker å måle strøm *gjennom* en resistans, og spenningspotensialet *over* resistansen.

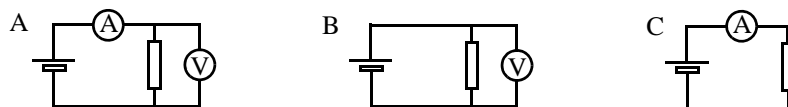


Figure B.5 Måling av strøm og spenning

For å måle strømmen gjennom resistansen, kobler vi et Ampéremeter inn i serie med resistoren. I tillegg benytter vi et Voltmeter som vi kobler parallelt med resistoren.

Siden det også går litt strøm gjennom Volt-metret (ΔI) vil Ampère-meteret måle summen av strømmen gjennom resistoren og gjennom Volt-metret. Vi måler derfor en litt større strøm enn den som egentlig går gjennom resistoren.

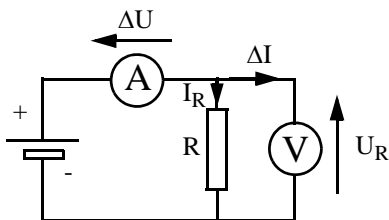


Figure B.6 Måling av strøm og spenning i forbindelse med en resistor.

Dessuten vil det, fordi Ampère-meteret ikke er fullkommet, men har en liten seriemotstand, oppstå et lite spenningsfall over Ampère-meteret som gjør at spenningen (U_R) som Volt-metret måler blir litt for lav. Dette kan være et problem dersom R har en meget stor resistans.

Situasjonen kan bedres noe ved at vi måler spenning og strøm hver for seg.

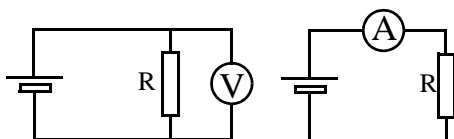


Figure B.7 Feilen blir mindre når vi måler strøm og spenning separat.

Undersøk hvilken feil de siste to måleoppstillingene tilfører målingene.

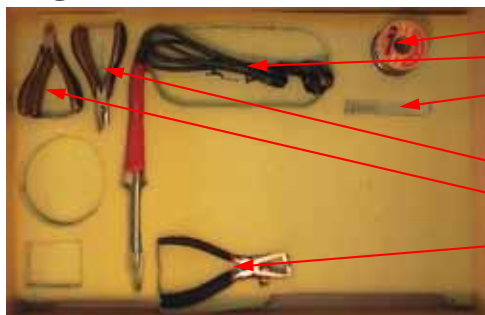
Vedlegg C Byggekofter

Det finnes i alt to byggekofter. Dersom gruppen er reativt liten opp til 12 deltagere lånes kun en koffet. Er gruppen større lånes begge. Da har en utstyr nok til en klasse på inntil 30 elever.

C.1 Byggekofter I

Utstyret er pakket i skumplast i ulike lag som vist på figurene under:

Lag 1



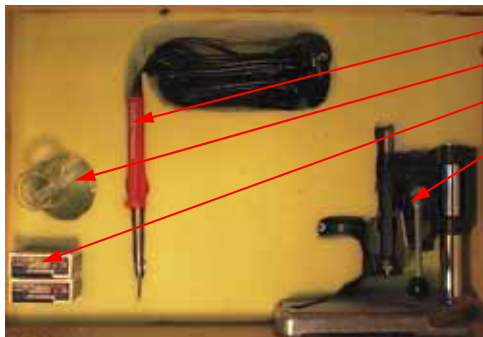
- 1 rull loddetinn
- 6 loddebolter
- 3 1,5mm bor
- 4 flattenger m/sideavbiter
- 4 sideavbitere
- 5 avmantlingstenger

Lag 2



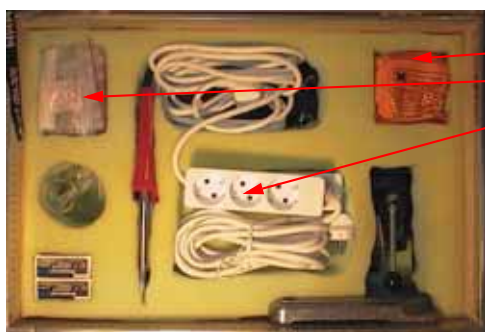
- 1 erlenmeyer kolbe
- 1 skalpell
- 1 Dremel bormaskin
- 20 tusjer
- 1 Dremel borstativ
- 1 Dremel bor chocks

Lag 3



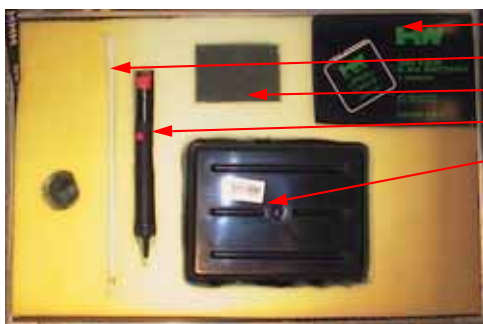
- Loddebolter
- erlenmayer kolbe
- 20 tusjer
- 1 Dremel borstativ

Lag 4



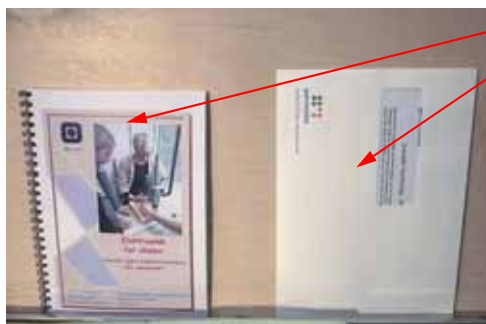
- 1 pose etsepulver
- 12 poser byggesett
- 2 spredekontakter

Lag 5



- 12 batterier
- 1 termometer 10 til 100°C
- 2 svamper
- 1 tinn suger
- 1 fotoskål

Lag 6



- 1 instruksjonsbok
- 1 demo CD (Crocodile Technology)

C.2 Bygge koffert II

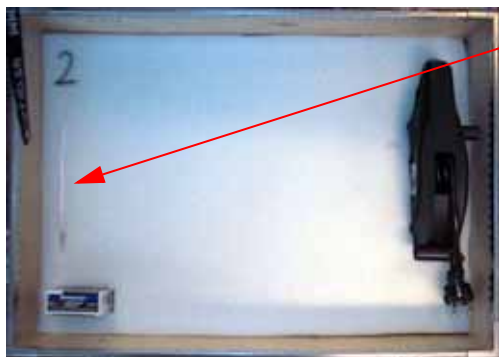
Bygge koffert II inneholder:

Lag 1



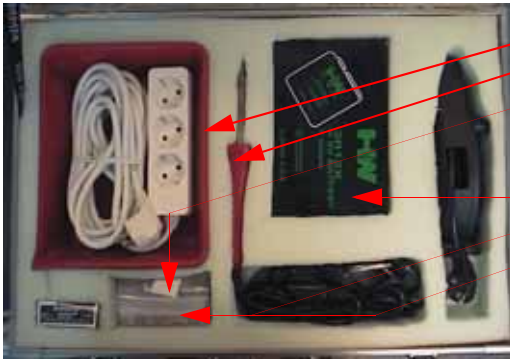
- 1 ledningstrimmel
- 3 spredkontakter (3-veis)
- 6 (+3) loddebolter
- 4 flattenger m/sideavbiter
- 9 loddebolt holdere
- 4 sideavbitere
- 1 svamp
- 10 tusjer

Lag 2



- 1 skalpell

Lag 3



- 1 fotoskål
- 3 (+6) loddebolter
- 3 ferdigbygde fuktighetsindikatorer

Kan beholdes mot betaling:

- 24 batterier (kr. 10,- pr. stk)
- 10 lydgivere (kr. 25,- pr. stk)
- 24 byggesett (kr. 15,- pr. stk)

C.3 Målekoffert

Målekofferten inneholder:

Lag 1



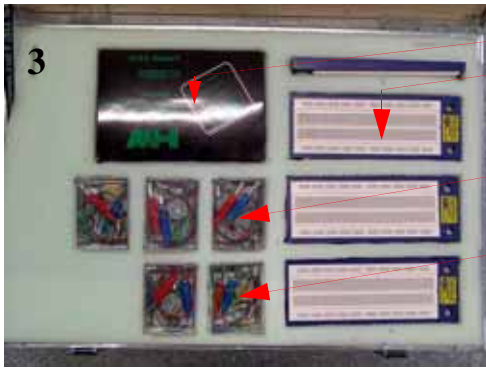
- 10 multimeterer m/måleprober

Lag 2



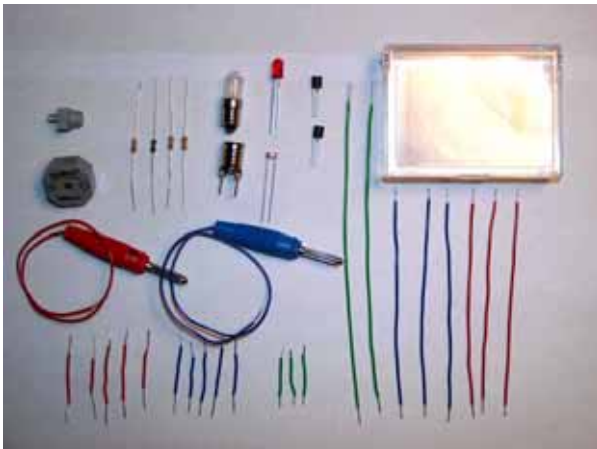
- 10 multimeterer m/måleprober

Lag 3



- 12 batterier
- 10 koblingsbrett
- 10 bokser med komponenter

Komponenter i plastboks



- 1 potensiometer (1k Ω)
- 1 lydkilde
- 4 resistorer (27k Ω , 3,3k Ω , 560 Ω , 1M Ω)
- 1 lysdiode
- 1 lyspære
- 1 lyspæresokkel
- 1 fotoresistor
- 2 transistorer (BC547B)
- 2 batteriledninger m/bananstikk
- 5 korte røde koblingsledninger
- 5 korte blå koblingsledninger
- 3 korte grønne koblingsledninger
- 3 lange røde koblingsledninger
- 3 lange blå koblingsledninger
- 2 lange grønne koblingsledninger
- 1 plastboks

C.4 Elektrisitetskofferten

Denne kofferten er i første rekke beregnet på mellomtrinnet og inneholder komponenter og oppgaver knyttet til elektrisitetslæra.

Øverste "lag"	
15	Termometer
3	Banankabler
2	Krokodilleklemmer, blanke
20	Lyspærer
15	Småesker med følgende innhold: 1 stein 1 treskive 1 kobbering 1 gummistav 1 Aluminiumsplugg 1 Messignskrue 1 Kullstav i plasthylse 1 Porselensbit 1 Taubit 1 Klinkekule 1 Jernspiker 55 mm.
Nederste "lag"	
15	Flatbatteri 4,5 V
15	Knivbrytere på sokkel
15	Lampesokler, runde
1	Lampesokkel på plate med kobling
1	Vippebryter på plate, med kobling
15	Skrutrekere
27	Polklemmer, i eske
15	Jernspiker, 80 mm
1	Spole m/kobberlakkledning
1	Spole m/varmetråd
6	Spoler til ledning



Kofferten er innkjøpt fra Komet Naturfag.

I tillegg til standard innhold, inneholder koffert en tester for å se om det går strøm gjennom elever. Denne er utviklet ved Skolelaboratoriet



C.5 Bestilling av koffertene

Koffertene kan lånes ved **Skolelaboratoriet ved NTNU**, Realfagbygget, Høgskoleringen 5, 7491 Trondheim, Tlf: 73 55 11 42, E-post: merete.lysberg@plu.ntnu.no

Vedlegg D Strøm i kroppen

Kroppens indre resistans er $R_i \approx 500\Omega$. Overgangsresistansen til huden kan variere sterkt avhengig av fuktigheten på hudoverflata. Ved fuktig hud kan den være ned mot 0Ω . Er huden derimot svært tørr kan den komme opp i over $R_h = 10k\Omega$.

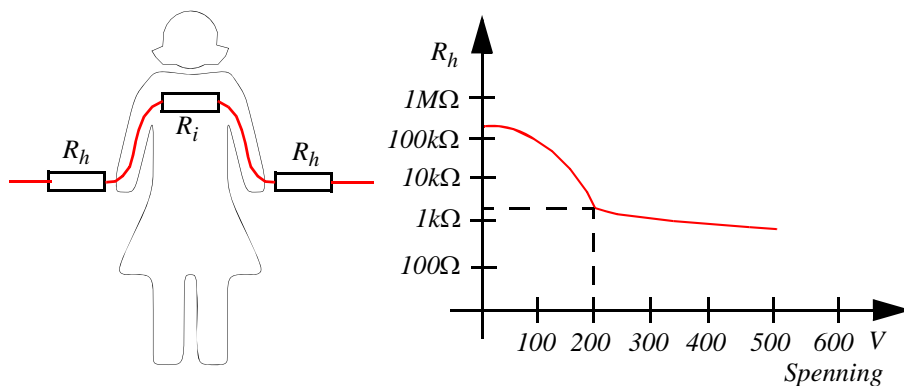


Figure D.1 Resistansen i huden (R_h) avtar med økende spenning.

Nettspenning i stikk-kontakten er som vi vet på 230V. Siden dette er en vekselspenning, er 230V en slags middelvei (effektverdi), dvs. at spenningen inneholder spenningstopper på over 300V. Som vi ser så faller resistansen i huden dramatisk når spenningen nærmer seg 200V. Spennings-toppene på over 300V er derfor spesielt farlige.

Resistansen i hudoverflata varierer også med frekvensen til spenningen. Det viser seg at R_h er spesielt lav i frekvensområdet rundt 50Hz. På grunn av dette er nettspenningen særlig farlig.

Vedlegg E Nedlasting av demo av Crocodile Technology

E.1 Installasjon av demo CD som følger med utstyrs kofferten:



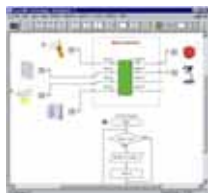
Crocodile Technology - Physics – Chemistry

Denne CD'en inneholder en demo-versjon av de 3 programmene Crocodile Technology, Physics og Chemistry. Hvert av programmene kan installeres på en eller flere datamaskiner og benyttes i 2 timer. Det er den totale brukstiden som er 2 timer, man kan altså åpne og lukke programmene flere ganger.

Vi foreslår at læreren installerer og prøver programmene først for å bli kjent med dem. Deretter kan de installeres på maskinen(e) i klasserommet slik at det også kan demonstreres for eller prøves av elevene.

Kontakt **GAMMADATA Norge** hvis det er behov for en forlenget prøveperiode, eller man ønsker å bestille et eller flere av programmene.

Litt om de forskjellige programmene:



Crocodile Technology gir muligheter til å eksperimentere med programmering og mikrokontroller, bruke enkle flyt-diagrammer, samt simulere elektroniske kretser og mekanikk.

Programmet inneholder 90 komponenter for elektrisitet og elektronikk. I Mekanikk-delen kan du gjøre forsøk med gir, motorer og fjærsystemer. Solenoider, mikrobytere og generatore kan settes inn i de elektroniske kretsene.

Mikrokontroll-simuleringer kan også kombineres med elektronikk og mekanikk, noe som gjør programmet til et ideelt verktøy for å tegne og teste en stor mengde teknologi-prosjekter.



Crocodile Physics er en simulator for krefter og bevegelse, elektrisitet, lyd, bølger og optikk.

Plasser linser, lyskilder, speil og mange andre komponenter og eksperimenter med stråler, brytning og refleksjon.

Velg blant 90 forskjellige elektriske komponenter, koble dem sammen for å simulere kretser. Lag grafer av spenning, strøm, ladning og effekt.

Beveg på objekter og lag grafer av avstand, fart og akselerasjon. Gjør endringer i massen eller kraften og studer Newtons lover. Gjør forsøk med gravitasjon, friksjon, skrått kast, moment, støt og enkle harmoniske svingninger.



Crocodile Chemistry er et virtuelt laboratorium med kjemikalier, glassutstyr og apparater. Velg fra en meny med mer enn 100 kjemikalier og bland dem som du måtte ønske. Bestem konsentrasjon, volum, masse og temperatur, for deretter å få reaksjonen simulert på skjermen.

Du kan også lage grafiske framstillinger av blant annet temperatur, pH, volum, masse og ledningsevne.

Klikk på et begerglass og du får se hvilke reaksjoner som foregår, samt konsentrasjonen til stoffene som reagerer.

Crocodile Mathematics er det nyeste programmet i serien.

Programmene selges enkeltvis som 5, 10, 15, 20 bruker lisens.

Krav til PC: Windows 95 eller bedre.

Gammadata Norge - Postboks 137 - Langgaten 47 - 3081 Holmestrand
Telefon 330 96 330 - Telefaks 330 96 331 - www.gammadata.no - Org. Nr. 983 447 473 MVA

For å installere et eller flere av programmene,
legg platen i CD-skuffen, og følg instruksjonene på skjermen:

1.



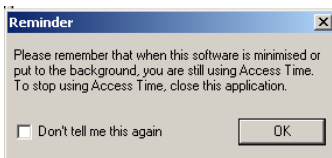
2.



3.



4.



VIKTIG MELDING!

Du kan klikke på *Help -> About Crocodile*
for å følge med på hvor mye som er benyttet av
demo-tiden på 2 timer.

E.2 Nedlasting av demo-versjon via internett

Du kan også laste ned en demonstrasjonsversjon fra nettet. Du går da fram som følger:

1. Går til nettstedet:

<http://www.crocodile-clips.com/crocodile/technology/index.htm>

2. Nede på sida finner du følgende link:

["Download a free demo"](#) version to try on your own computer - you can use all of the features for 30 days.

3. Nede på denne sida finner du:

***"Crocodile Technology [Win]
12.1 MB"***

4. Før du laster ned, kan det være nyttig å trykke på:

"[info](#)"

Hvor du finner følgende informasjon:

"Demo versions of 'Crocodile' software

Our demo downloads are fully working versions of our simulators. They are time-limited, and will run for thirty days from the time you first download them. They have the same features as the full versions. Unlike the full versions, they will not run on a network.

When you download the demo you will be prompted to register and receive an 'Activation Code', which you will need when installing the demo.

If you're downloading online:

1. Download the demo installer to your computer by clicking on the 'download' link beside your chosen demo. You will be prompted to register and receive an Activation Code.

2. Install the demo on your computer by double-clicking on the installer file you have downloaded. You will need to enter the Activation Code during the installation. You will then be able to use the software for 30 days."

Gå tilbake til foregående side.

5. Last ned program ved å trykke:

"download"

6. Før du installerer programmet trykk:

"aktiver"

på samme side. Her blir du bedt om å registrere deg om du er ny bruker. Du vil så få tilsendt en kode som skal brukes ved installasjon av programmet. Du vil da kunne teste programmet i 30 dager.

7. Pakk ut og installer programmet på egen PC.

E.3 Gratis simuleringsprogram fra Edmark

Et amerikansk læremiddelfirma har utarbeidet en mengde læreprogrammer også innen simulering av elektriske kretser. Demonstrasjonsprogrammet som her anbefales kan ikke simulere elektroniske komponenter som f.eks. lysdioder og transistorer, men kan meget vel brukes for å koble opp kretser med lyspærer og andre elektriske apparater som f.eks. motorer og vifter.

Dette programmet kan hentes ned fra følgende nettsadresse:

<ftp://ftp.vobs.at/software/Bildung/VirtualLabsElectricity.zip>

Demo-programmet er på 5,5Mbyte



Figure E.1 Eksempler på skjermbilder av simuleringsprogrammet *VirtualLabs: Electricity™*

Demonstrasjonsversjonen kan gjøre det meste. Det er imidlertid ikke mulig å lagre oppkoblinger for senere å hente dem opp igjen. For å få til det må man kjøpe programmet.

Vedlegg F Innkjøp av komponenter

F.1 ELFA - kjøp av elektroniske komponenter generelt

En kilde til mye data om komponenter og bestilling er ELFA som også antydnet i kapittelet foran. 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.: *BC547B* 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 *BC547B*. 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/>

F.2 Komponentliste for innkjøp til strømforsterkeren/fuktighetsindikatoren

1 stk. resistor:	27kΩ	60-056-64	0,55	100 stk/pris (eks moms)
1 stk. resistor:	3.3kΩ	60-056-57	0,55	100 stk/pris (eks moms)
1 stk. resistor:	560Ω	60-056-66	0,55	100 stk/pris (eks moms)
2 stk. transistorer	BC547B	71-039-22	0.36	100 stk/pris (eks moms)
1 stk. lysdiode	EL1383HD	75-008-04	0.66	100 stk/pris (eks moms)
1 stk Piezoel. summer	SMA-21-P15, 37-788-75 SONITRON		19,70	30 stk/pris (eks moms)
Etsepulver		49-577-42	120,-	1 kg (eks moms)

2 stk grønne ledninger	4 cm	55-254-56	59,30	1 rull a 100m (eks moms)
2 stk. grønne ledninger	15 cm	55-254-56	59,30	1 rull a 100m (eks moms)
1 stk rød ledning	10 cm	55-254-23	59,30	1 rull a 100m (eks moms)
1 stk. blå ledning	10 cm	55-254-64	59,30	1 rull a 100m (eks moms)
1 stk. monteringsplate	45 x 30 mm	49-553-16	38,80	233x160mm (eks moms)
1 rull kobbertape 1245	6mm	80-904-09	146,00	16,5mx0,6mm (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) 4.5V			10,-	12 stk/pris (inkl moms)

Prisene over er priser hentet fra ELFA's komponentkatalog for 03/04. I tillegg kommer moms pluss frakt og evt. oppkrav. Frakt utgjør kr. 65,- og oppkrav kr. 36,-. Forsendelse 4 - 6 dager.

F.3 Innkjøp av koblingsbrett og måleinstrumenter m.m.

Også disse komponentene kan kjøpes fra **ELFA**:

1 stk. koblingsbrett	GL-12F	48-427-04	75,10	10 stk/pris (eks. moms)
1 stk. multimeter	CHY 17	76-044-40	307,-	10 stk/pris (eks. moms)
1 stk. trimmepotmeter		64-634-34	15,80	10 stk/pris (eks. moms)
1 stk. bananstikk u/led.	rød	40-225-21	15.40	10 stk/pris (eks. moms)
1 stk. bananstikk u/led.	blå	40-225-62	15.40	10 stk/pris (eks. moms)

Også **Clas Ohlson** selger billige og gode multimeterer:

1 stk. multimeter	CM2701	32-7161	298,-	1 stk/pris (inkl. moms)
-------------------	--------	---------	-------	-------------------------

Vedlegg G Datablader

G.1 Transistoren BC547B

ON Semiconductor™



Amplifier Transistors NPN Silicon

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	BC546	BC547	BC548	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	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

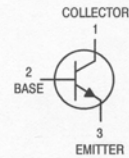
THERMAL CHARACTERISTICS

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 ($I_C = 100\text{ }\mu\text{Adc}$)	BC546	$V_{(BR)CBO}$	80	—	—	V
	BC547		50	—	—	
	BC548		30	—	—	
Emitter-Base Breakdown Voltage ($I_E = 10\text{ }\mu\text{A}, I_C = 0$)	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	hFE	—	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	0.25	V
			—	0.2	0.6	
			—	0.3	0.6	
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	V
			—	—	0.77	
SMALL–SIGNAL CHARACTERISTICS						
Current–Gain — Bandwidth Product (I _C = 10 mA, V _{CE} = 5.0 V, f = 100 MHz)	BC546 BC547 BC548	f _T	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 BC547/548 BC547A BC546B/547B/548B BC547C/548C	h _{fe}	125 125 125 240 450	— — 220 330 600	500 900 260 500 900	—
Noise Figure (I _C = 0.2 mA, V _{CE} = 5.0 V, R _S = 2 kΩ, f = 1.0 kHz, Δf = 200 Hz)	BC546 BC547 BC548	NF	— — —	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

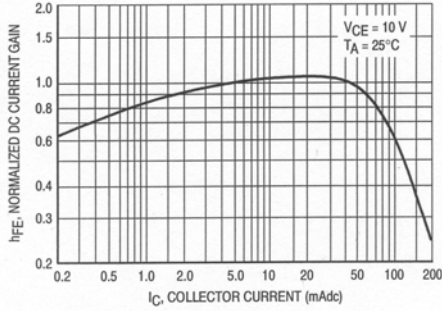


Figure 1. Normalized DC Current Gain

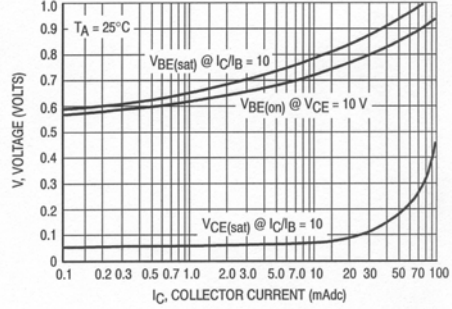


Figure 2. "Saturation" and "On" Voltages

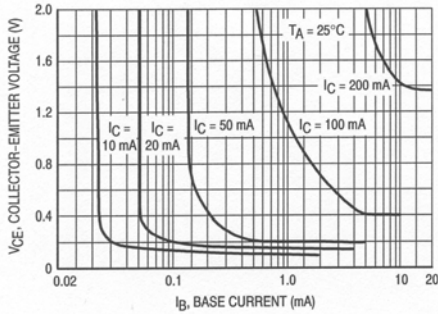


Figure 3. Collector Saturation Region

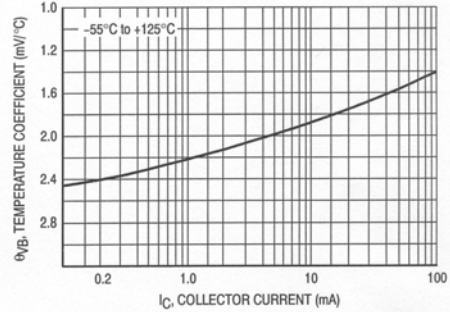


Figure 4. Base-Emitter Temperature Coefficient

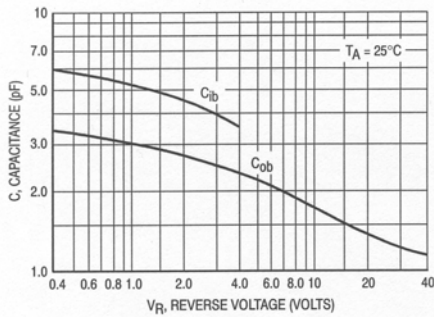


Figure 5. Capacitances

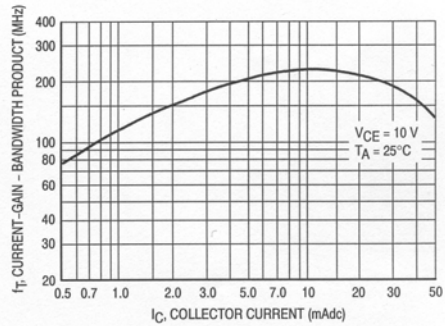
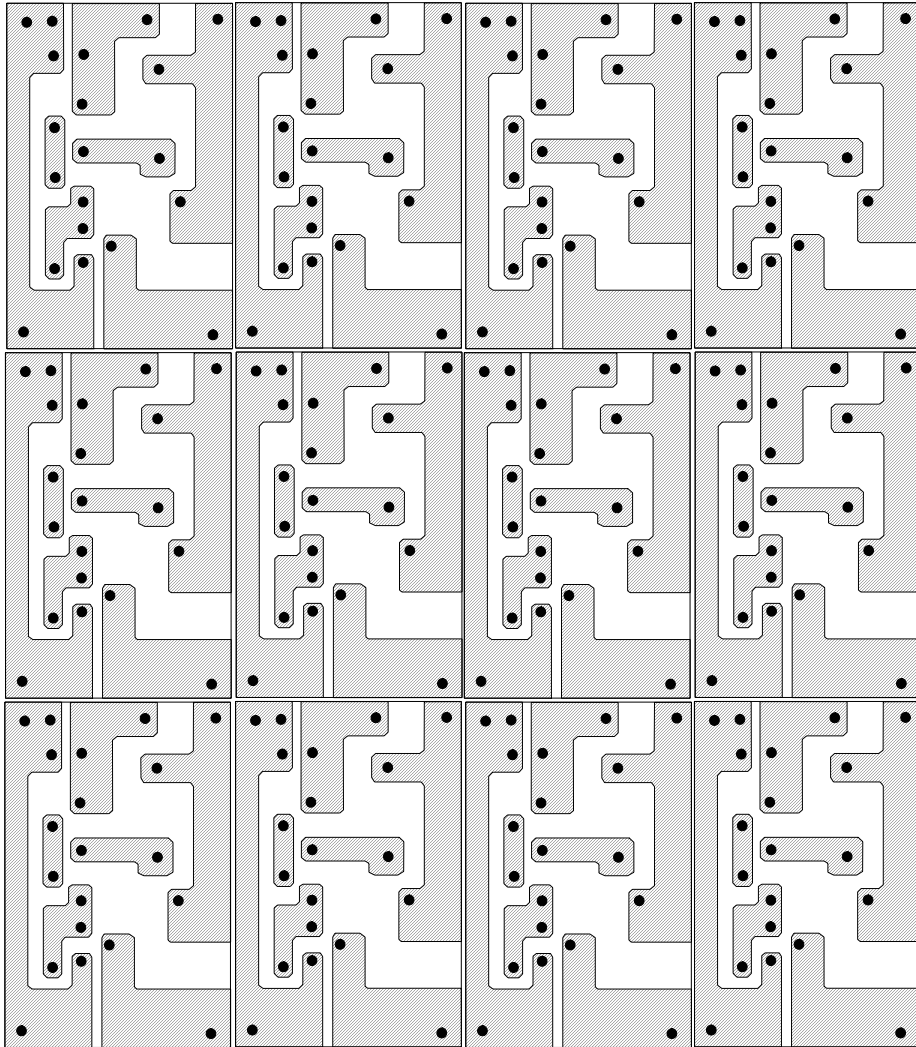


Figure 6. Current-Gain - Bandwidth Product

Vedlegg H Kopieringsmal for kretsutlegg

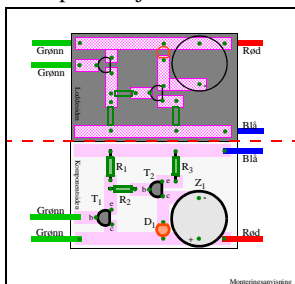
H.1 Mal for trykt kretskort



H.3 Mal for monteringsplate

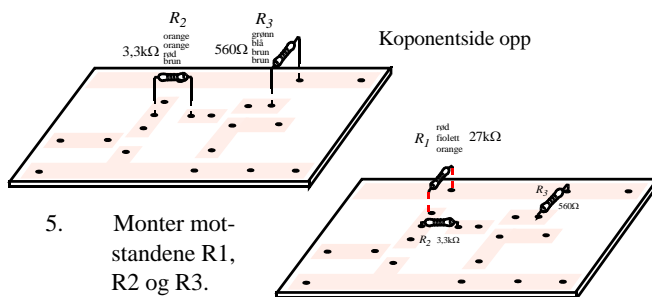
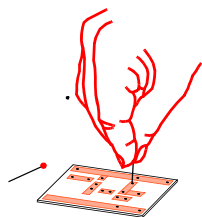
Vedlegg I Bygg en fuktighetsindikator (elevark)

1. Ta ut monteringsanvisningen og brett den langs den stiplede linjen.
2. Klipp opp metalltapen i riktige lengder og klister dem på den ene sida av den hvite pappplata.



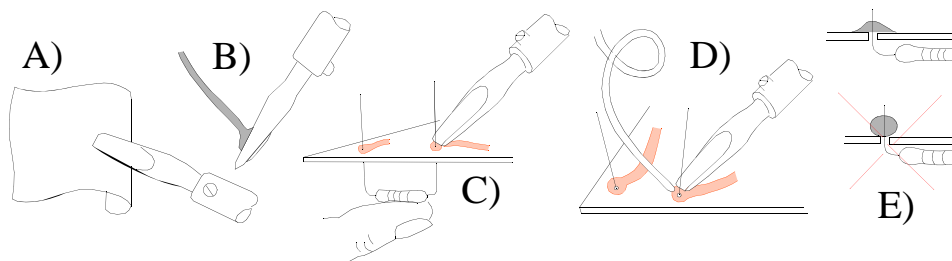
3. Sett merker der det skal stikkes hull i tapen og plata. Se monteringsanvisningen.

4. Stikk hull i plata med nåla på merkede plasser.



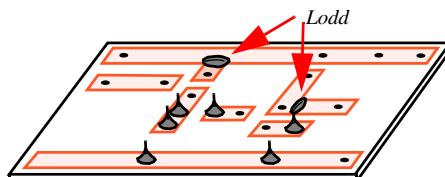
5. Monter motstandene R1, R2 og R3.

Mini loddekurs

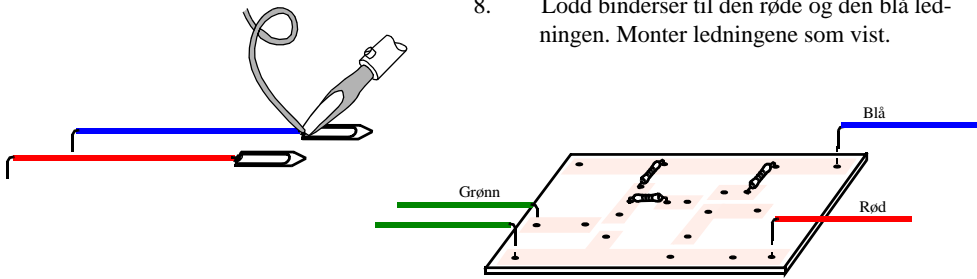


6. Loddekurs: A) Rengjør spissen med en våt klut. B) Fortinn begge sider av bolten. C) Varm opp loddested og kobbertape. D) Tilfør loddetinn til loddestedet. E) Se til at loddetinnet flyter utover.

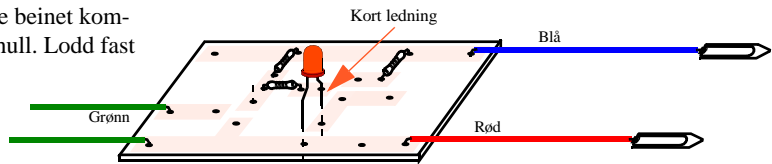
7. Snu monteringsplata med loddesiden opp og lodd fast motstandene. Lodd også på de angitte punktene.



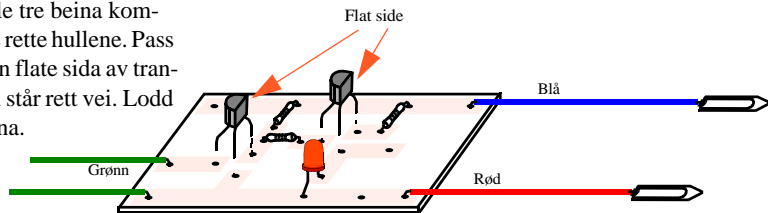
8. Lodd binderser til den røde og den blå ledningen. Monter ledningene som vist.



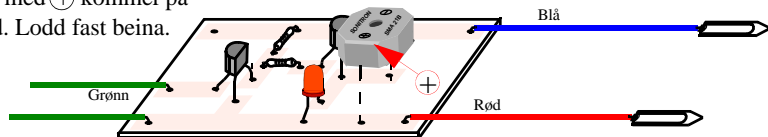
9. Monter lysdioden. Pass på at det korte beinet kommer i rett hull. Lodd fast dioden.



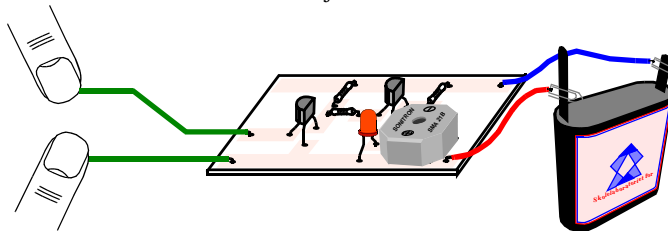
10. Monter transistorene. Pass på at alle tre beina kommer i de rette hullene. Pass på at den flate sida av transistoren står rett vei. Lodd fast baina.



11. Monter lydgiveren. Pass på at siden med ⊕ kommer på rett sted. Lodd fast beina.



12. Koble til batteriet. Rød ledning til pluss, blå ledning til minus. Sjekk kretsen.





*Hftet er primært et kurshefte for deltagere ved Skolelaboratoriets kurs: “Elektronikk for skolen”. Eksperimentet er sentralt i opplegget og er det første som møter kursdeltagerne. Det suppleres med teori når dette er naturlig. Kurset fokuserer på en krets, **strømforsterkeren**. På den måten blir deltagerne godt kjent med kretsen og tør å gjennomføre aktivitetene i klasserommet. Alt nødvendig utstyr kan dessuten lånes ved Skolelaboratoriet.*

Universitetslektor Nils Kristian Rossing
Skolelaboratoriet, NTNU

Førsteamanuensis Thorarinn Stefansson
Institutt for fysikk, NTNU

Stipendiat Berit Bungum
Institutt for fysikk, NTNU

Skolelaboratoriet har som oppgave å drive forsknings- og utviklingsarbeid rettet mot undervisning i realfag og teknologi i skolen. Gjennom SLserien vil PLU og Skolelaboratoriet publisere resultatene av dette arbeidet.



Trondheim

Program for lærerutdanning

Skolelaboratoriet
for matematikk, naturfag
og teknologi

Tlf. 73 55 11 42

Faks 73 55 11 40

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