

Laboratorieøvelse 3 - Elektriske kretser

FYS1000, Fysisk institutt, UiO

Våren 2014 (revidert 15. april 2016)

Innledning

I denne oppgaven skal du måle elektriske størrelser som strøm, spenning og resistans. Du vil få trening i å bruke de sentrale begrepene, samtidig som du blir kjent med målemetoder og apparatur som du vil møte senere i ditt studium. Hvis du ikke har hatt om elektrisitet på videregående skole bør du lese litt på forhånd.

Forhåndsoppgaver

1. Tegn koblingskjemaet til en krets med en spenningskilde, en motstand og en lyspære. Motstanden og lyspæra skal være koblet i serie. Du vil måle spenningen over lyspæra og strømmen gjennom den. Tegn inn amperemeteret og voltmeteret i kretsen.
2. Man skal aldri koble et amperemeter direkte på en spenningskilde, men alltid sørge for å ha et motstandselement (lyspære eller liknende) i serie med amperemeteret. Finn ut hvorfor det er slik.
3. Studér I-U-karakteristikkene på s. 506 i grunnboka. Hva kan du si om resistansen til de forskjellige komponentene? Hvordan ville karakteristikkene ha sett ut om vi klarte å holde temperaturen konstant?
4. Finn ut og fortell med egne ord hva som er innholdet i Kirchhoffs 1. og 2. lov.
5. Finn uttrykk for resultantresistansen R_{tot} når to motstander R_1 og R_2 kobles
 - (a) i serie,
 - (b) i parallell.

1 Amperemeter og voltmeter

Innledning

Vi måler strøm med et amperemeter og spenning med et voltmeter. Et amperemeter har lav indre resistans og et voltmeter har høy indre resistans. Vi skal gjøre noen enkle koblinger som viser dette. I disse målingene må spenningen være maksimalt 3 V.

Utstyr

- Amperemeter
- Voltmeter
- Ledninger
- Lommelyktpære (glødetråd)
- Spenningskilde

Fluke (multimeter)

I praksis bruker vi to eksemplarer av samme instrument, Fluke multimeter (se Figur 1), i amperemeter- og voltmeter-funksjon. Vi programmerer multimeteret som amperemeter eller voltmeter ved å trykke inn knappene merket henholdsvis 'A' eller 'V' (knappene i øvre rad, også merket med rette linjestykker). Displayet skal da vise de tilsvarende måleenhetene, A (mA) eller V (mV). For å få mest mulig nøyaktige målinger, trykker du også noen ganger på knappen merket 'RATE', til symbolet 'S' kommer til syne i displayet.

Når multimeteret brukes som amperemeter i en krets, kobles ledningene til inngangene merket 'COM' og '10A' for store strømmen, '100mA' for små strømmen. Hvis du ikke vet på forhånd hvor stor strøm du har å gjøre med, så test først med '10A'-inngangen. Hvis du ser at strømmen er liten, kan du koble til '100mA'-inngangen for å få en mer nøyaktig avlesning. Når multimeteret brukes som voltmeter, brukes inngangene merket 'COM' og 'V'.

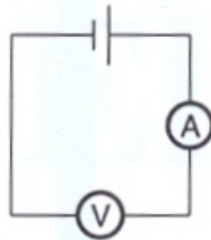
Oppgaver

Oppgave 3.1.1: Koble opp en krets der spenningskilden, amperemeteret og voltmeteret er i serie (Figur 2). Bruk amperemeterinngangen for små strømmen. Les av verdiene på voltmeteret og amperemeteret. Forklar verdiene. Bytt ut amperemeteret med en lyspære. Hva skjer?

Oppgave 3.1.2: Koble opp en krets med spenningskilden, amperemeteret og lyspæra i serie. Bruk amperemeterinngangen for store strømmen. Voltmeteret skal så kobles

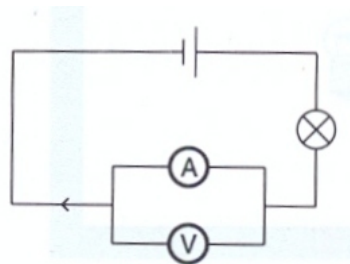


Figur 1: Frontpanelet av multimeteret Fluke45.



Figur 2: Voltmeter og amperemeter i seriekopling

i parallell med amperemeteret slik at vi får kretsen vist i Figur 3. Hva skjer med lyspæra i denne kretsen? Les av amperemeteret og voltmeteret. Forklar verdiene.



Figur 3: Voltmeter og amperemeter i parallell. Husk lyspæra!

Deretter skal voltmeteret kobles i parallell med lyspære. Les av og forklar verdiene nå.

Oppgave 3.1.3: Bruk verdiene du målte i oppgavene 3.1.1 og 3.1.2 til å anslå indre resistans i henholdsvis voltmeteret og amperemeteret ved hjelp av Ohms lov ($R = \frac{U}{I}$). Av definisjonen ser du at ohm er lik volt per ampere, $1 \Omega = 1 \text{ V/A}$.

2 Serie- og parallellkobling

Utstyr

- Amperemeter
- Voltmeter
- Ledninger
- Spenningskilde
- To motstander på ca. 100 k Ω

Tips for mest mulig ryddige oppkoblinger

1. Koble sammen motstandene, i serie eller parallell.
2. Koble opp seriekretsen med spenningskilde, motstandskombinasjon og amperemeter.
3. Koble voltmeteret i parallell med de ønskede komponenter.

Oppgaver

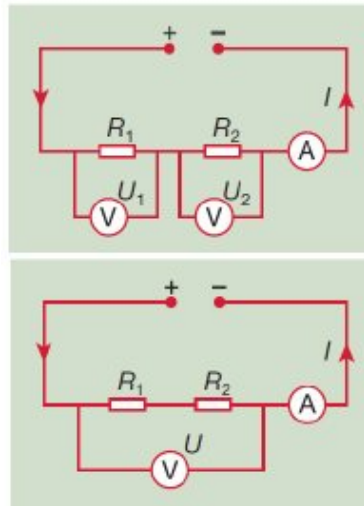
Oppgave 3.2.1: Koble to motstander i serie (Figur 4) og mål spenningen over hver av motstandene og strømmen i kretsen. Bestem resistansen i hver av motstandene R_1 og R_2 ved hjelp av definisjonen av resistans,

$$R = \frac{U}{I}.$$

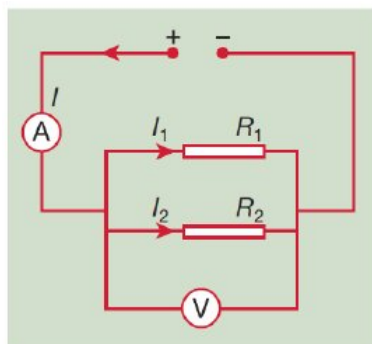
Mål spenningen over de to motstandene og beregn resultantresistansen R_{tot} (den samlede resistansen) i kretsen. Sammenlign resultatet med teoretisk resultantresistans for to motstander R_1 og R_2 i serie (her kan du sette inn verdiene du nettopp målte for R_1 og R_2). Går resultantresistansen opp eller ned når vi kobler inn en ny resistans i serie? Kommenter kvalitativt.

Oppgave 3.2.2: Koble de to motstandene fra oppgave 3.2.1 i parallell (Figur 5). Bruk samme utgangsspenning som før. Mål strømmen i hovedkretsen og spenningen over parallellkoblingen av motstander. Hvorfor har hovedstrømmen I endret seg fra forrige oppgave?

Mål strømmen i hovedkretsen og i hver av greinene (I_1 og I_2 i Figur 5). Dette kan gjøres ved å koble om på kretsen slik at du får en seriekrets med spenningskilde, amperemeter og en av motstandene, mens den andre motstanden kobles i parallell med kombinasjonen av motstand og amperemeter. Forklar



Figur 4: Seriekobling av motstander.



Figur 5: Parallellkobling av motstander.

sammenhengen mellom greinstrømmene og hovedstrømmen. Hvilken lov er dette?

Bruk målt spenning over parallellkoblingen og målt strøm i hovedkretsen til å beregne resultatresistansen R_{tot} for kretsen med parallellkoblingen. Sammenlign resultatet med teoretisk resultatresistans for to motstander R_1 og R_2 i parallell (bruk igjen verdiene R_1 og R_2 målt i oppgave 3.2.1). Går resistansen opp eller ned når vi kobler inn en ny resistans i parallell? Kommenter kvalitativt.

Oppgave 3.2.3: Forklar hvorfor vi alltid vil påvirke en krets i det øyeblikket vi kobler inn et måleinstrument.

3 Indre resistans i et voltmeter

Utstyr

- Voltmeter
- Ledninger
- Spenningskilde
- Kondensator
- Stoppeklokke

Hensikt

I denne øvelsen skal du bli kjent med den elektriske komponenten kondensator, og du skal bruke en kondensator til å bestemme den indre resistansen i et voltmeter.

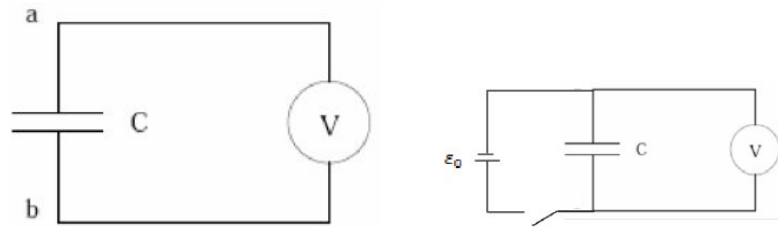
Teori

Den enkleste typen av kondensator er to metallplater atskilt av tomrom (luft). Den viktigste egenskapen til en kondensator er at den kan "lagre" elektrisk ladning. Den ladningen Q som kan lagres er proporsjonal med spenningen U over platene, og proporsjonalitetskonstanten kalles kondensatorens kapasitans C . Sammenhengen er gitt som

$$Q = C \cdot U.$$

Enheten for kapasitans er Farad, F, ($F = C/V = s/\Omega$). Er kapasitansen $1 \mu\text{F}$ og spenningen 1 V , vil altså ladningen på kondensatoren være 10^{-6} C . (Legg merke til at C (i kursiv) er symbolet for kapasitans, mens C (i rett) er enheten for ladning (Coulomb).)

Når vi kobler en kondensator (med kapasitans C) sammen med en motstand (med resistans R), får vi en RC-krets. RC-kretser er vanlig i mange elektroniske apparater, som for eksempel pacemakeren. Et eksempel på en RC-krets er vist i Figur 6(a). Hvis denne RC-kretsen



(a) En lukket krets med en kondensator og voltmeter (RC-krets) (b) En RC-krets med mulig tilkobling til spenningskilde.

Figur 6: RC-kretser

tilkobles en likespenningskilde med spenning ϵ_0 , vil kondensatoren lades opp til en spenning $U_0 = \epsilon_0$ og ha en ladning $Q_0 = CU_0$. Brytes forbindelsen til spenningskilden, vil ladningen på kondensatoren begynne å “lekke” ut gjennom motstanden R (Figur 6(b)). Ladningen på kondensatoren C avtar, og spenningen U synker. Teoretisk synker spenningen U med tiden etter en eksponentialfunksjon

$$U = U_0 e^{-\frac{t}{RC}} = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}.$$

For å forstå hva betydningen av τ er, kan vi undersøke hva som skjer når tiden er lik τ :

$$U(t = \tau) = U_0 e^{-\frac{\tau}{\tau}} = U_0 e^{-1} = \frac{U_0}{e} = 0.368 \cdot U_0.$$

Størrelsen $\tau = RC$ har dimensjon tid og kalles tidskonstanten for kretsen. Den angir altså hvor lang tid det tar for spenningen å synke fra verdien U_0 til verdien $\frac{U_0}{e} = 0.368 \cdot U_0$. tidskonstanten er derfor et mål for hvor fort spenningen kan endres over RC-kretsen.

Oppgaver

Oppgave 3.3.1: Lad opp kondensatoren med kapasitans C ved hjelp av en spenningskilde. Mål spenningen over kondensatoren ved hjelp av voltmeteret, som vist i Figur 6. For å få et inntrykk av hvor fort oppladningen skjer, bør du koble voltmeteret til kondensatoren før oppladning, og så lese av spenningen mens du kobler til spenningskilden. Noter spenningen $U_0 = U(t = 0)$ over kondensatoren etter oppladningen, mens spenningskilden fortsatt er tilkoblet.

Oppgave 3.3.2: Bryt forbindelsen mellom kondensator og spenningskilde slik at kondensatoren lades ut gjennom voltmeteret, som vist i Figur 6(b). Avles spenningen U over kondensatoren med jevne mellomrom i tid (ta data 3 – 4 ganger per minutt i ca. 5 minutter).

Oppgave 3.3.3: Tegn inn måleresultatet med tid langs førsteaksen og U langs andreaksen.

Oppgave 3.3.4: Bestem tidskonstanten τ fra grafen. Bruk deretter relasjonen $\tau = RC$ til å bestemme voltmeterets indre resistans R . Sammenlikn resistansen R med det du fikk i oppgave 3.1.3.

Oppgave 3.3.5: Sammenlikn tiden det tok å lade opp kondensatoren med tiden det tok å lade den ut. Kommenter.

4 Resistans og temperatur

Innledning

I denne oppgaven skal du måle hvordan resistansen varierer med temperaturen i en leder (kobber) og halvleder (germanium).

Utstyr

Utstyret er satt opp på forhånd

Det er to oppsett, et for kobber og et annet for germanium (Figur 4). Temperaturen til en prøve økes ved hjelp av et varmelement koblet til en strømforsyning. Termospenningen U_T er proporsjonal med temperaturforskjellen ΔT mellom prøven og ca. romtemperatur:

$$U_T = 40 \mu\text{V}/\text{K} \cdot \Delta T[\text{K}] = 0.040 \text{ mV}/\text{K} \cdot \Delta T[\text{K}] . \quad (1)$$

NB! Temperaturforskjeller i K og °C er like.

Teori

(Fra ERGO Fysikk 1 (Callin m.fl.))

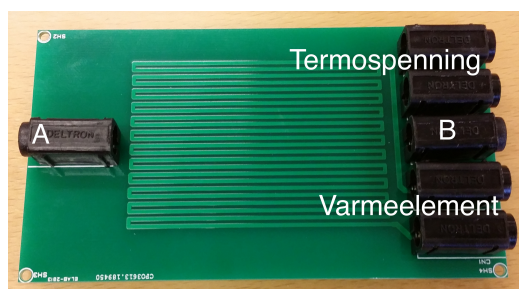
Ledere, halvledere og isolatorer

Det er energidifferansen mellom valensbåndet og ledningsbåndet som bestemmer hvor mange ledningselektroner det er i et stoff, og dermed om stoffet er en leder eller en isolator. I en *isolator* er energigapet ganske stort, typisk rundt 10 eV (Figur 10-2a). Ved normal temperatur er det nesten ingen elektroner i ledningsbåndet. Da er det heller ingen elektroner som kan bevege seg når vi kobler til en spenningskilde. Strømmen blir liten selv ved svært høye spenninger. Derfor er resistansen høy i en isolator. Eksempler på gode isolatorer er plast, glass og porselen.

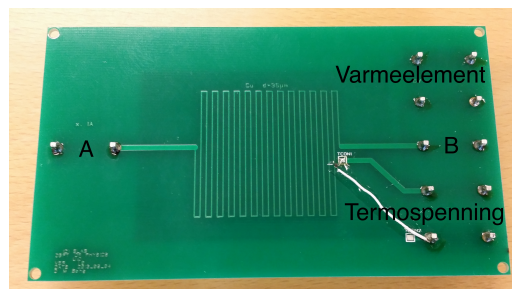
Jo mindre energigapet mellom valensbåndet og ledningsbåndet er, desto flere elektroner vil det være i ledningsbåndet ved den samme temperaturen. Dermed øker strømmen ved bruk av den samme spenningen, og resistansen blir mindre. Når energigapet er kommet ned i rundt 3 eV, snakker vi ikke lenger om en isolator. Da har vi i stedet en *halvleder* (Figur 10-2b). Silisium, germanium og karbon er eksempler på halvledere.

I en *leder* overlapper valensbåndet og ledningsbåndet (Figur 10-2c). Da er det mange ledningselektroner ved normal temperatur. Selv ved lave spenninger blir strømmen høy. Derfor er resistansen lav i en leder. Eksempler på gode ledere er sølv, kobber og aluminium.

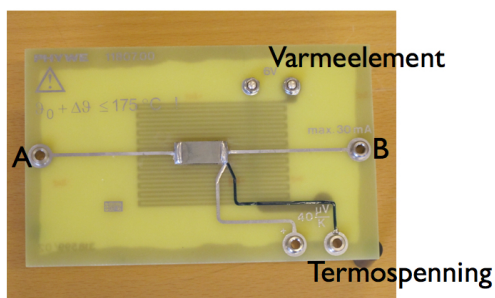
I halvledere og isolatorer er det et energigap mellom valensbåndet og ledningsbåndet (figur 10-2). Vi kan eksitere elektroner til ledningsbåndet ved å tilføre elektronene *termisk energi*.



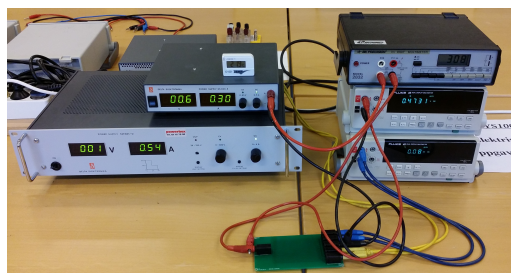
(a) Kobberkort (siden med varmeelementet)



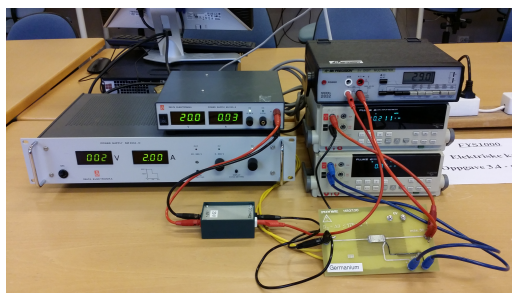
(b) Kobberkort (siden med kobberprøven)



(c) Germaniumkort



(d) Oppsett for måling av resistansen til kobber

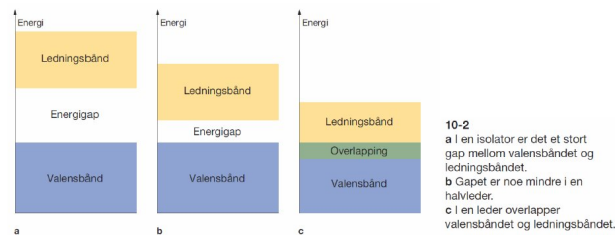
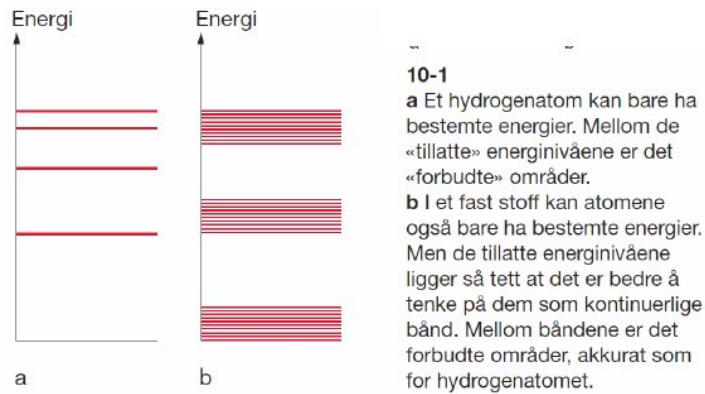


(e) Oppsett for måling av resistansen til germanium

Figur 7: Oppsett for måling av resistansen til kobber (7(a), 7(b), og 7(d)) og germanium (7(c) og 7(e)). Begge kort varmes opp med innebygde varmeelementer som forsynes med en strøm på 1–3 A. Temperatur måles med et voltmeter som kobles til et termoelement som gir en termospenning på $40 \mu\text{V}/\text{K}$. En konstant strøm I_{AB} (like under 30 mA for germanium prøven og ca. 200 mA for kobberprøven) sendes gjennom prøven og spenningsfallet U_{AB} over prøven (mellom punktene A og B i Figurene 7(c) og 7(a)) måles. Resistansen R_{AB} beregnes fra Ohms lov, $R_{AB} = U_{AB}/I_{AB}$.

Når temperaturen øker, vil stadig flere elektroner ha høy nok energi til å bli eksitert. Antallet ledningselektroner øker når temperaturen øker, og dermed *avtar* resistansen.

I en leder overlapper valensbåndet og ledningsbåndet, og den termiske energien til elektronene har derfor liten betydning. Men *atomene* i lederen har også termisk energi. Når temperaturen øker, kommer atomene til å vibrere kraftigere om likevektsstillingen. Det fører til at det blir flere kollisjoner mellom de frie ledningselektronene og atomene i lederen. Derfor blir det



vanskeligere for elektronene å passere gjennom lederen. Resistansen i en leder *øker* derfor når temperaturen øker. En enkel sammenlikning: Det er vanskeligere for en hund å løpe gjennom en urolig folkemengde enn gjennom en tropp soldater som står oppstilt på geledd.

Oppgaver

Husk at du må lage en god tabell for hver prøve *før* du begynner (se under for detaljert beskrivelse av hvilke størrelser som skal måles for kobber og germanium). I tabellen for germanium må du ha plass til den beregnede resistansen. Du bør lage tabellene slik at det er lett å se utviklingen i strøm og spenning for begge prøvene.

Termospenning skal starte under 0.100 mV. Få hjelp av en veileder til nedkjøling av prøven hvis det er dårlig tid og dere får prøven kort tid etter en annen gruppe er ferdig med den.

Oppvarmingen gjøres ved å sende en strøm på 1–3 A gjennom varmeelementet ved hjelp av den store strømforsyningen. Tips: Hold øye med termospenningen U_T for å følge med på den stigende prøvetemperaturen (Tabell 1 gir et typisk eksempel på sammenheng mellom U_T og $T_{\text{Cu,Ge}}$). **Pass på at temperaturen ikke overstiger 100°C!**

Oppgave 3.4.1: Noter romtemperatur (et digitalt termometer skal være plassert ved arbeidsplassen).

Oppgave 3.4.2: For *kobber*prøven noter strømmen I_{AB} (den skal være konstant og ca. 200 mA), spenningsfallet U_{AB} og termospenning U_T for ca. 7 forskjellige temperaturer mellom ca. 20 og 80 °C.

For *germanium*prøven noter strømmen I_{AB} (den skal være konstant og like un-

der 30 mA), spenningsfallet U_{AB} og termospenningen U_T for ca. 7 forskjellige temperaturer mellom ca. 20 og 80 °C.

Oppgave 3.4.3: Beregn prøvenes resistanser ut ifra Ohms lov.

Oppgave 3.4.4: Legg inn målepunktene i et koordinatsystem der du har temperatur (i K eller °C) langs førsteaksen (horisontalaksen) og resistans langs andreaksen (vertikalaksen). Du kan lage separate grafer for kobber og germanium eller en felles graf med en vertikalakse for f.eks. kobber på venstre siden og en annen vertikalakse på høyre siden for den andre prøven. Beregn prøvenes temperatur $T_{\text{Cu,Ge}}$ ut fra romtemperatur og målt termospennning U_T .

Oppgave 3.4.5: Beskriv med ord hvordan resistansene for kobber og germanium varierer med temperaturen. Stemmer resultatene med teorien over?

| $\Delta T = T_{\text{Cu,Ge}} - T_{\text{Rom}}$ (K) | U_T [mV] | $T_{\text{Cu,Ge}}$ (°C) |
|--|------------|-------------------------|
| 0 | 0.000 | 22 |
| 10 | 0.400 | 32 |
| 20 | 0.800 | 42 |
| 30 | 1.200 | 52 |
| 40 | 1.600 | 62 |
| 50 | 2.000 | 72 |
| 60 | 2.400 | 82 |

Tabell 1: Termospennning U_T over termoelementet som funksjon av temperaturforskjell ΔT mellom prøven (Cu eller Ge) og rommet. Prøvens temperatur $T_{\text{Cu,Ge}}$ vises eksempelvis for en romtemperatur på 22 °C.

Tilleggsmateriell - Manuell plotting

Utstyr

- Eget papir
- Blyant og viskelær (anbefales framfor penn)
- Linjal
- (Lommekalkulator)

Hvis du skal lage et plott blyant og papir, er det noen ting du bør tenke på.

Valg av papir

Først og fremst bør du bruke et egnet papir. Ideelt sett skal dette være et papir som er laget som er laget for manuell plotting (millimeterpapir¹, enkeltlogaritmisk papir, dobbeltlogaritmisk papir). Til nød kan du bruke et ark med ruter. Hvis intet annet er å oppdrive, kan du bruke et linjert eller et blankt ark, men kalle det en skisse i stedet for et plott.

Akser

Når du så har fått tak i et egnet ark, markerer du aksene. De skal trekkes opp med linjal så de blir rette og fine. Videre skal de markeres med navn, symbol og enhet, eksempelvis "Spennings U [V]", eller "Tellerate N [Bq]". Aksene skal ha et passende antall aksemerker (delestreker) for markering av runde/halvrunde antall av den aktuelle enheten. Det er også viktig at plottet ditt utnytter tilgjengelig plass på arket, for best mulig tegnenøyaktighet/leselighet.

Markering av datapunkter

Nå er alt klart til å legge inn datapunktene dine. Datapunktene skal markeres tydelig med passelig store markører, for eksempel 'X'-er, eller andre enkle symboler, typisk sirkler, trekkanter eller firkanter, som sentreres i de faktiske målepunktene. Pass på at de er så store at de ikke kan forveksles med støv eller urenheter i papiret (det vil si minst et par millimeter i diameter), og at de synes under en eventuell regresjonslinje/lineærttilpasning.

¹Kan lastes ned fra for eksempel <http://www.printfreegraphpaper.com/>

Lineærtilpasning

Hvis punktene dine er ment å illustrere en underliggende lineær sannhet (og kun da) kan du trekke en tilpasset rett linje gjennom punktmengden². Når du gjør dette for hånd, er det meningen at du skal trekke den rette linjen som passer best til *alle punktene*³. Den skal **ikke** (nødvendigvis) gå fra punktet lengst til høyre til punktet lengst til venstre.

Estimere stigningstall

Hvis du skal estimere et stigningstall for linjen $y = ax + b$, velger du to punkter på den tilpassede linjen, (x_1, y_1) og (x_2, y_2) , som ligger langt fra hverandre (du skal *ikke* bruke datapunkter til dette). Stigningstallet er da gitt som:

$$a = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}.$$

Gratulerer

med et flott plott!

²Hvis dette ikke er tilfelle for dine data, må du ikke trekke noen linje, heller ikke linjestykker i prikk-til-prikk-stil.

³Hvis du ser at et eller flere punkter avviker kraftig fra en kjent lineær sammenheng (vesentlig større avvik enn for majoriteten av punktene), kan du gjøre en av to ting:

1. Ta målingen som svarer til det avvikende punktet en gang til, hvis du har mulighet.
2. Se bort fra den eller de målingene. Dette må i så tilfelle begrunnes i rapporten.