FYS 2150. ØVELSE 1
MULTIMETER OG OSCILLOSKOP

Fysisk institutt, UiO

DEL A: Multimetermålinger og usikkerhet

Mål.

Etter Del A av denne øvelsen skal du kunne måle elektrisk spenning, strøm og resistans ved hjelp at et multimeter. Du skal få trening i å koble opp enkle kretser og få litt erfaring med måleusikkerhet og gjeldende siffer.

Innledning.

Et av våre mål med dette kurset er at du skal lære å bruke en del forskjellige måleinstrumenter. Et multimeter er et av de mest anvendelige instrumentene vi har både i faglig og privat sammenheng. Skal du sjekke en spenning til symaskinen, bilen eller PC-en, eller skal du finne ut hvorfor ikke baklyset på sykkelen virker, da er et multimeter til uvurderlig hjelp. Instrumentet er lett å bruke når en først har lært det, men det er lett å ta knekken på sikringer hvis man ikke vet hva man gjør. Prøv å unngå det.

Amperemeter, voltmeter og indre resistans.

Et instrument som skal brukes som strømmåler (amperemeter) må kobles i *serie* i den kretsen hvor strømmen skal måles. Som spenningsmåler (voltmeter) kobles det *parallelt* til den del av kretsen som spenningen skal måles over som vist i figur 1.

Idet strøm og spenning er proporsjonale (Ohms lov), kan ett og samme instrument prinsipielt brukes både som voltmeter og amperemeter. Hvis et bestemt utslag svarer til en strøm I gjennom et instrument, svarer det samme utslag til en spenning $V = R_i I$ over instrumentet. R_i er resistansen i instrumentet, såkalt indre resistans. Ved bruk av instrumentet kan det være viktig å kjenne verdien av R_i.

Figur 1: *Amperemeteret A måler strømmen gjennom motstanden R, voltmeteret V måler spenningen over R.*

For å innvirke minst mulig på den krets hvor det skal måles, bør et amperemeter ha liten indre resistans. Tilsvarende bør et voltmeter ha stor indre resistans. Hvorvidt den indre resistansen kan betegnes som stor eller liten, avhenger av resistansen i den kretsen som måles.

Digitalinstrumenter.

Moderne elektronikk har gjort det mulig å bygge nye typer måleinstrumenter som kalles digitalinstrumenter. Måleverdien angis her ved bestemte siffer på et display. Et slikt instrument har selvfølgelig ingen avlesningsusikkerhet, og selve målenøyaktigheten ligger ofte, men ikke alltid, i begrensningen på antall siffer. Digitalinstrumenter kan bygges med vesentlig bedre nøyaktighet enn tradisjonelle analoge instrumenter. Et digitalinstrument er avhengig av en ekstern spenningskilde (batteri, nett) for å fungere. Digitalinstrumenter kan lages med meget høy indre resistans som voltmetre og lav resistans som amperemetre.

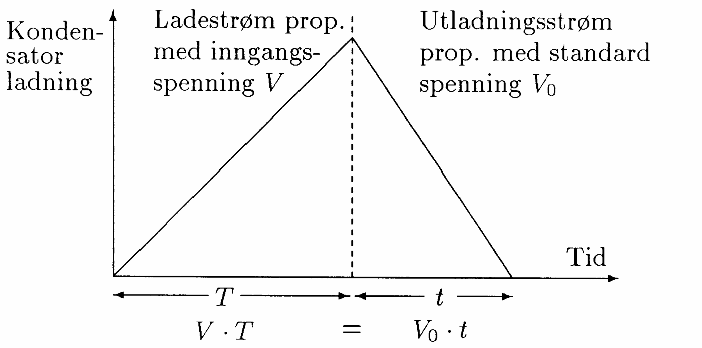
I dag kan brukbare digitale multimetre kjøpes svært rimelig. Disse kan være til nytte i hverdagen idet man kan sjekke nettspenning, lyspærer, sikringer, jordfeil etc. med dem.

?For de mest interesserte:

Litt om virkemåten til et multimeter:

Den sentrale enheten i et digitalinstrument er en analog til digital omvandler. Denne gjør et analogt signal, f.eks. en likespenning, til et digitalt signal, f.eks. et pulstog hvor antallet pulser er proporsjonalt med inngangssignalet. Det finnes flere prinsipielt forskjellige analog-digital omvandlere, men i mindre måleinstrumenter brukes gjerne den typen som på engelsk kalles ”Dual slope integrator”. Den virker på følgende måte (se figur 2):

En forsterker lader opp en kondensator med en strømstyrke som er proporsjonal med inngangssignalet. Oppladningen foregår i en fast tid T. Etter oppladningsperioden kobles forsterkeren til en standardspenning V_0 med motsatt polaritet av inngangssignalet slik at kondensatoren lades ut, men nå med en fast strøm uavhengig av inngangssignalet. Den tid som går med til utladningen vil da være proporsjonal med ladningen på kondensatoren, og dermed proporsjonal med inngangssignalet. Mens utladningen foregår, sender kretsen pulser med en fast frekvens inn på et telleverk. Siden utladningstiden er proporsjonal med inngangssignalet, blir også antall pulser som sendes til telleverket proporsjonalt med inngangssignalet. Ved å velge passende proporsjonalitetskonstanter kan man få telleverket til å vise inngangssignalet direkte i volt.



Figur 2: *Grafisk framstilling av opp-/utladning av kondensator i multimeter.*

Multimeter.

I praksis trenger vi ofte et instrument hvor vi lett kan skifte måleområde, skifte fra amperemeter til voltmeter, fra likestrøm til vekselstrøm osv. Et slikt instrument kalles et multimeter eller et universalinstrument. Dette kan ved hjelp av en vender gjøres om fra voltmeter til ohm-meter etc. De tall som står påført venderstillingene angir måleverdien ved fullt utslag. Betegnelsen for likestrøm er DC (direct current) og for vekselstrøm AC (alternating current). For måling av resistans har instrumentet en elektronisk krets som sender en konstant strøm gjennom den ukjente motstanden. Instrumentet måler spenningen over motstanden, og siden målestrømmen er konstant, blir spenningen proporsjonal med verdien av resistansen.

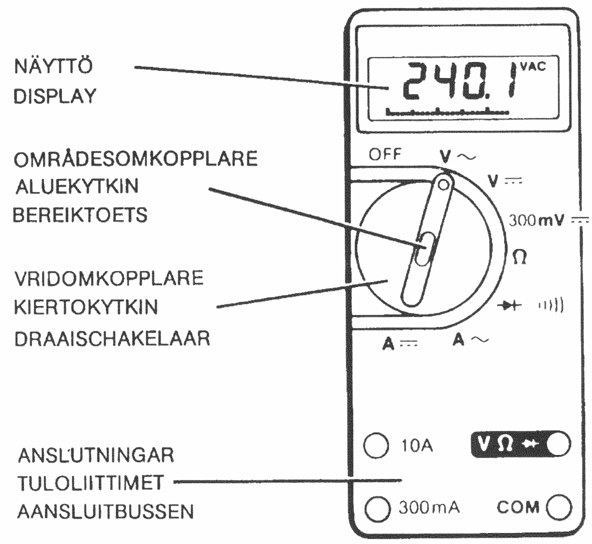
På de fleste multimetrene må en velge følsomheten selv, f.eks. ved å la fullt utslag være 10 V eller 100 V. Figur 3 viser et slikt instrument. På en del moderne digitalinstrument er det bygget inn automatisk områdevalg (autoranging). For disse instrumentene er det nok å bare stille inn målefunksjon, for eksempel likespenning (V DC), så sørger instrumentet selv for å velge måleområdet som gir best oppløsning. I noen tilfelle gjelder ikke autorange for hele måleområdet. Spesielt gjelder dette måling av sterk strøm som ofte skilles ut også med egen inngangskontakt.

Figur 3: *Frontsiden av et digitalt multimeter uten automatisk områdevelger. På dette instrumentet må en stille inn både funksjon og måleområde.*

Instrumenter i denne øvelsen.

Figur 4 og 5 viser frontsiden av to av de multimetrene vi kommer til å bruke mest i denne øvelsen, nemlig et Fluke 75 og et Fluke 45 multimeter. Begge har automatisk områdevalg.

Bøssingen merket COM (common) er instrumentets referansepunkt. Det skal *alltid* kobles en ledning til dette punktet (velger vanligvis en svart ledning). Den andre ledningen skal kobles til ” V/Ω ” bøssingen når spenning, resistans eller ledningsevne måles. Ledning nr. to skal imidlertid kobles til **10A** bøssingen når store strømmer skal måles og til bøssingen merket **300mA** (eller 100mA) for små strømmer.



Figur 4: *Digitalmultimeter med automatisk områdevelger (Fluke 75). Brukeren stiller kun inn riktig funksjon og passer på at måleledning er koblet til riktig inngang. (NB: Strømmålinger skjer fra egen inngang!).*

FUNKTION	OMRÅDE	UPPLÖSNING
V~ 45 Hz-1 kHz (*45-500Hz)	3.2V 32V 320V 750V	0.001V 0.01V 0.1V 1V
V⎓	3.2V 32V 320V 1000V	0.001V 0.01V 0.1V 1V
300mV⎓	320 mV	0.1 mV
Ω	320Ω 3200Ω 32 kΩ 320 kΩ 3.2 MΩ 32 MΩ	0.1Ω 1.0Ω 0.01 kΩ 0.1 kΩ 0.001 MΩ 0.01 MΩ
⊳⊢ ·)))	2.0V	0.001V
A~ 45 Hz-1 kHz	32 mA 320 mA 10A	0.01 mA 0.1 mA 0.01A
A⎓	32 mA 320 mA 10A	0.01 mA 0.1 mA 0.01A

FUNKTION	MAXINGÅNGS-SPÄNNING (mellan ingångs-kontakterna)	INGÅNGSIMPEDANS
V~	1000V dc 750V ac rma (sinus)	>10MΩ parallellt med <50pF (AC)
V⎓	1000V dc 750V ac rma (sinus)	>10MΩ (ingångs-kapacitans <50pF)
300mV⎓	500V dc 500V ac rma (sinus)	>10MΩ (ingångs-kapacitans <50pF)

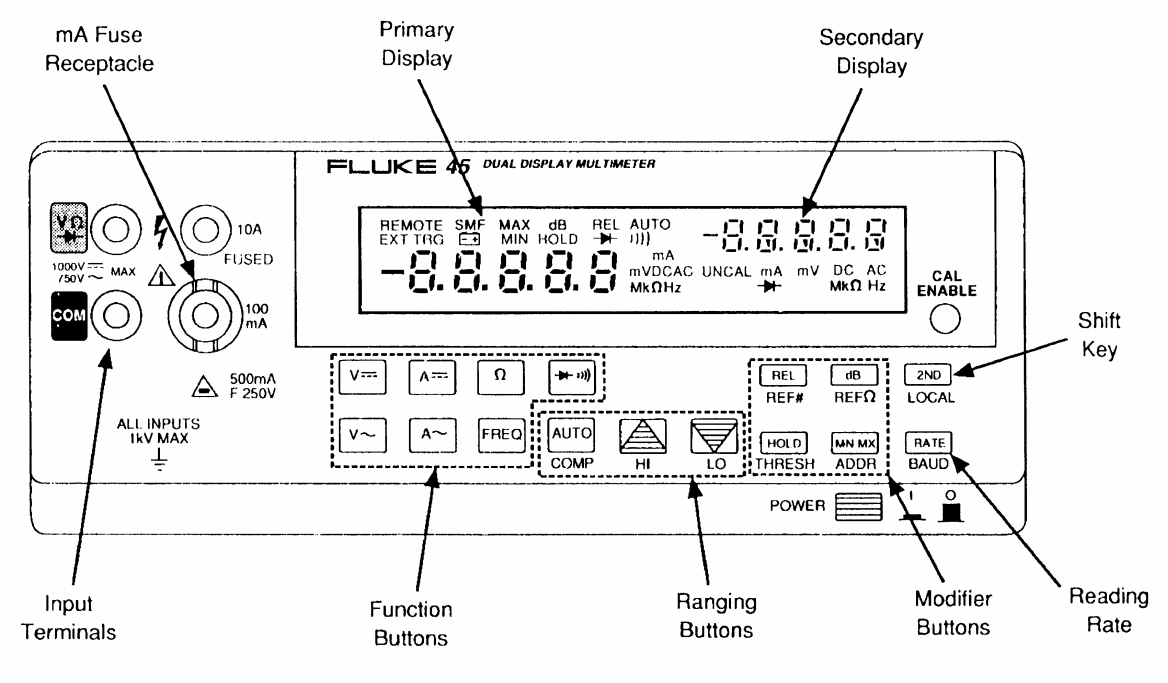
Tabell 1 : Enkelte tekniske data for Fluke 75 multimeter.

Noen av de tekniske spesifikasjonene for Fluke 75 er gitt i tabell 1. Merk deg enkelte nøkkelverdier slik som følsomhet for måling av strøm, spenning og resistans, og ikke minst, maksimal-verdiene du kan anvende.

For Fluke 45 instrumentet har vi kun gjengitt spesifikasjonene for resistansmålinger (tabell 2). Et fullstendig sett tekniske spesifikasjoner finnes på labben. Legg merke til at målenøyaktigheten (”accuracy”) på dette instrumentet er avhengig av måletiden (tre områder, slow, medium, fast, med henholdsvis 2.5, 5 og 20 målinger pr. sekund). En kan skifte fra en måletid til en annen ved ”RATE” kontrollen.

Start ut i denne øvelsen med å gjøre deg fortrolig med de to multimetrene slik at du forstår hvordan du skal stille dem inn for ulike typer målinger.

NB : Som sagt ovenfor har et multimeter som er innstilt til å måle strøm meget liten indre motstand. Pass derfor på at du ikke har multimeteret innstilt for strømmåling når du skal måle spenning ! Dette har ofte tidligere vært den sikreste måten å ødelegge et slikt instrument på. (Idag er det ofte satt inn beskyttelse, men det er ikke lurt å teste denne!) Dette betyr at det vanligvis er ”forbudt” å endre målefunksjon for et multimeter mens det er tilkoblet en krets. Den eneste endringen som vanligvis er sikker er å skifte mellom forskjellige følsomhets-områder innenfor samme type måling. Det vil si, en kan skifte mellom området volt til millivolt mens instrumentet er innkoblet. NB.



Figur 5: *Et avansert digitalmultimeter med automatisk områdevelger (Fluke 45).*

Range	Resolution			Accuracy	Typical Full Full Scale Voltage	Max Current Through the Unknown
	Slow	Medium	Fast			
300Ω	—	10 mΩ	100 MΩ	0.05% + 2 + 0.02Ω	0.25	1 mA
3 kΩ	—	100 MΩ	1Ω	0.05% + 2	0.24	120 μA
30 kΩ	—	1Ω	10Ω	0.05% + 2	0.29	14 μA
300 kΩ	—	10Ω	100Ω	0.05% + 2	0.29	1.5 μA
3 MΩ	—	100Ω	1 kΩ	0.06% + 2	0.3	150 μA
30 MΩ	—	1 kΩ	10 kΩ	0.25% + 3	2.25	320 μA
300 MΩ*	—	100 kΩ	1 MΩ	2%	2.9	320 μA
100Ω	1 mΩ	—	—	0.05% + 8 + 0.02Ω	0.09	1 mA
1000Ω	10 mΩ	—	—	0.05% + 8 + 0.02Ω	0.10	120 μA
10 kΩ	100 mΩ	—	—	0.05% + 8	0.11	14 μA
100 kΩ	1Ω	—	—	0.05% + 8	0.11	1.5 μA
1000 kΩ	10Ω	—	—	0.06% + 8	0.12	150 μA
10 MΩ	100Ω	—	—	0.25% + 6	1.5	150 μA
100 MΩ*	100 kΩ	—	—	2 % + 2	2.75	320 μA

*Because of the method used to measure resistance, the 100 MΩ (slow) and 300 MΩ (medium and fast) ranges cannot measure below 3.2 MΩ and 20 MΩ, respectively. "UL" (underload) is shown on the display for resistances below these nominal points, and the computer interface outputs "+1E-9".

Tabell 2 : *Tekniske spesifikasjoner for resistansmålinger ved Fluke 45 multimeter. OBS: Et par steder er det trykkfeil: "Resolution" i MW i stedet for mW.*

Oppgave 1 : Ohms lov.

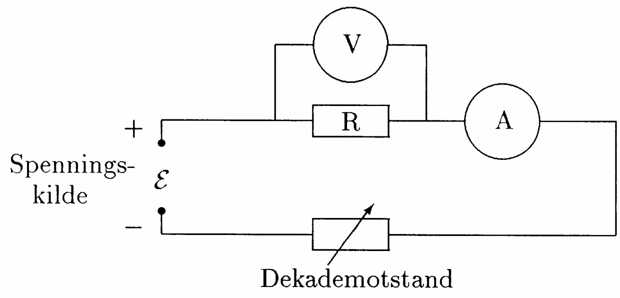
Ohms lov sier at sender du en strøm gjennom en motstand, så vil det oppstå en spenning over motstanden, og spenningen vil være proporsjonal med strømmen. Vi bruker symbolene I, V og R for henholdsvis strøm, spenning og resistans, og Ohms lov skrives da på formen :

$$V = R\,I$$

I denne oppgaven skal du sende strøm gjennom en motstand med en viss resistans og måle spenning over denne. Dataene du får vil (forhåpentligvis) vise at strøm og spenning er proporsjonale, dvs. at Ohms lov gjelder. Ved å bestemme proporsjonalitetskonstanten, skal du bestemme resistansen.

Det er en motstand med oppgitt resistans R = 1.2 kΩ du skal sende strøm gjennom. Strømmen varierer du ved å endre en ekstra motstand ("dekademotstand") i serie med spenningskilden. Du skal måle en del sammenhørende verdier av strøm I og spenning V.

Koble opp som vist i figur 6 der to multimetre brukes samtidig. Du bør bruke den samme fremgangsmåten som ble gjennomgått under introduksjonen til kurset.



Figur 6: *Koblingsskjema for oppgave 1.*

NB. Bruk Fluke 45 eller Fluke 25 multimeter for måling av strøm, og et Fluke 75 for måling av spenning.

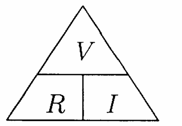
Vi ønsker at du varierer strømmen med en faktor minst 100 (dvs. minst to dekader, hvor én dekade betyr en variasjon med en faktor 10). Dette kan du gjøre ved å variere dekademotstanden fra 0 til 10 kΩ (i steg på 0, 2, 4,…., 10 kΩ for så vel 1V som 10 V (eller 1.5 og 15 V) spenningskilde. Til denne oppgaven har vi med vilje *ikke* laget noe skjema for registrering av måledata. Det er meningen at du skal lære å lage pene og oversiktlige tabeller selv.

Plott spenning som funksjon av strøm på et grafisk papir med logaritmiske akser. *Alle* målingene (fra *begge* måleseriene!) skal inn i *samme* diagram. (Spør veileder dersom du er usikker på om spenning eller strøm skal være langs f.eks. x-aksen.) Dersom du er usikker på hvordan du bruker et logaritmepapir, har vi gitt en forklaring side 10. Bruk store, klare symboler når målepunktene skal tegnes inn (se også kommentarer side 11).

Ohms lov sier at spenning og strøm er proporsjonale, resistansen R er da proporsjonalitetskonstanten som kan beregnes fra måledataene (se på side 12 hvordan dette gjøres). Beregn R fra den beste linjen du kan trekke gjennom punktene i din grafiske fremstilling. Bestem resistansen også ved direkte måling (multimeter i ohmmeter-funksjon). Still opp i en samlet oversikt de tre resistansverdiene du nå har for denne motstanden (oppgitt verdi, indirekte målt verdi (vha. ohms lov), og direkte målt verdi). Kommenter resultatene.

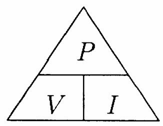
♠ **For de mest interesserte:**

Har du lært Ohms lov på ”trekantform” ? Hvis ikke har du den nedenfor. Trekanten kan være praktisk å huske. Likningen blir da:



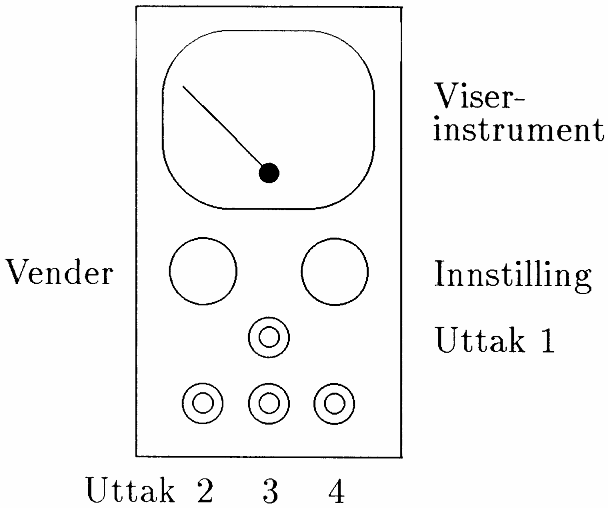
Trekanten brukes ved å la størrelser som står i samme høyde multipliseres med hverandre, og de som står overfor hverandre betraktes som en brøk. Herav får vi : $V = R\,I$, $R = V/I$, og $I = V/R$.

Tilsvarende finnes trekant for forholdet mellom strøm, spenning og effekt (*P*). Den ser slik ut:



Altså vil f.eks. en motstand gi fra seg en effekt $P = V\,I$ dersom spenningen over motstanden er V og strømmen gjennom denne er I. Du kan lett kombinere de to trekantene til å finne f.eks. *at* $P = R\,I^2$ eller $P = V^2/R$.

Bruk av spenningskilden.



Spenningen tas fra uttak 3 og 4 (med 3 som ”jord”). Spenningen justeres til 1.5 og 15.0 V (eller 1.0 og 10.0 V) med innstillingsknappen. Spenningen må sjekkes med et multimeter (i voltmeterfunksjon) *før* kretsen knyttes til spenningskilden.

♥ Nyttige tips:

Hvordan avleses multimeteret?

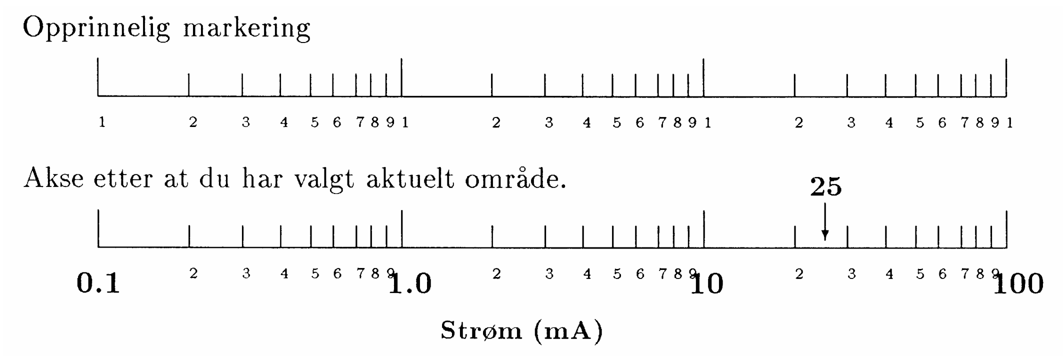
Mange er usikre på hvordan tallene på multimeteret skal forstås. Dersom sifrene ved spenningsmålingen f.eks. er 0.274, er dette da volt (V) eller millivolt (mV)? På noen multimetre gis også enheten benevningen på selve displayet. *Hvis ikke må du ta utgangspunkt i selve innstillingen.* Har du stilt inn på et 300 *mV* område, vil sifrene angi antall *millivolt* (mV).

Merk altså at du *ikke* skal multiplisere avlest tall med følsomheten på instrumentet, det vil si at får du en avlesning på 1.20 når du måler strøm i 300 mA området, så er strømmen rett og slett 1.20 mA og *ikke* $1.20 \cdot 300 = 360$ mA.

Logaritmepapir.

Dersom du ikke har benyttet logaritmepapir tidligere, bør du lese dette avsnittet før du setter i gang med inntegningen av målepunkter.

Det logaritmepapiret du skal benytte her har logaritmisk akse i både *x*- og *y*-retning. Slikt papir kalles *dobbeltlogaritmisk*, mens papir som har en vanlig millimeterskala og en logaritmisk akse, kalles *enkelt-logaritmisk* papir. Ser du etter på en logaritmisk skala, finner du inntegnet tallene 1, 2, 3,…, 9, 1, 2,… papiret behandler alle dekader (tall fra 1 til 10) likt. Når du skal bruke papiret må *du* angi hvilken tier-potens som gjelder. Dersom dine måleverdier f.eks. varierer fra 0.3 mA til 47 mA, trenger du et papir med tre dekader langs den aktuelle aksen. Det "nederste" 1- tallet skriver du da over med "0.1" (bruk **store lesbare** tall), neste 1-tall skriver du over med "1.0", neste "10" og siste "100". De øvrige småtallene som er trykt på papiret kan bare bli stående som de står (se figur 8). Teksten langs aksen blir da f.eks. "Strøm (mA)". Når du så har valgt hvordan aksen skal være, skulle det ikke være så vanskelig å tegne inn målepunktene korrekt. Har du f.eks. en måleverdi ved 25 mA, vil den tilsvarende posisjonen langs aksen bli som indikert med en pil i figur 8.



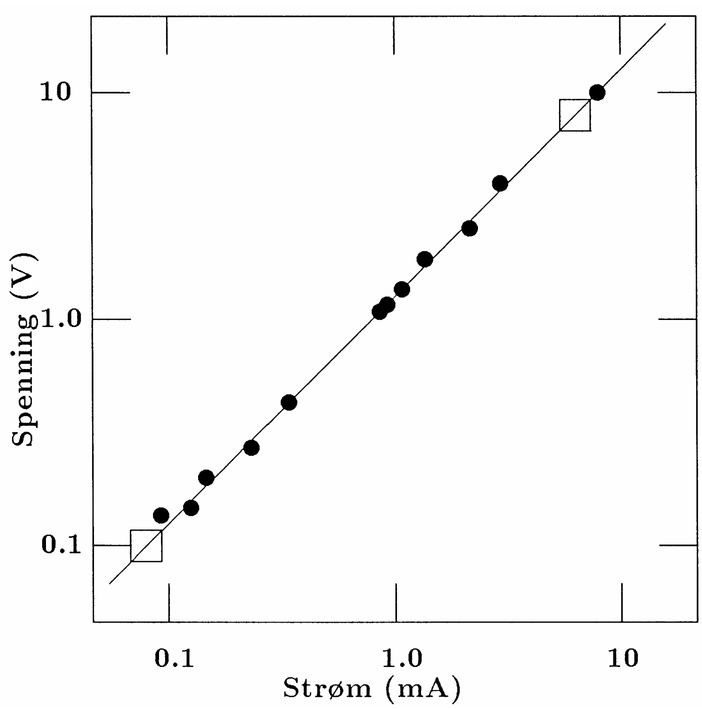
Figur 8: *Eksempel på hvordan en velger område og markering langs aksene på et logaritmepapir.*

♥ <u>Nyttige tips:</u>

Figurtegning og bestemmelse av proporsjonalitetskonstanter.

I figur 9 er det vist et eksempel på figurtegning, og figuren har mange detaljer som vi anbefaler at du merker deg og selv benytter. Legg spesielt merke til:

Figur 1: Spenning over en motstand som funksjon av strømmen gjennom denne (oppgave1)



Figur 9: *Eksempel på en grafisk framstilling.*

- Figuren har overskrift.
- Aksene har tekst, ikke bare symbol (dvs."Strøm" i stedet for "*I*").
- Enheten på aksene er gitt i parantes etter teksten, f.eks. "(mA)".
- Det er passe mange tall (3-8) langs aksene, og det er brukt store, tydelige tall.
- Målepunktene er markert med store, tydelige symboler. Vi anbefaler symboler så som ×● ◻⊙O∇ og liknende.
- Linjen er trukket slik at det er lik fordeling av punkter over og under linjen, langs ethvert rimelig element av linjen. Når en linje trekkes på denne måten, sier vi at vi foretar en *grafisk utjevning.* Generelt sett vil kvaliteten av en grafisk utjevning bli stadig bedre etter som antall målepunkter øker.

Når proporsjonalitetskonstanter skal beregnes, må vinkelkoeffisienten (stigningstallet) for linjen bestemmes. Generelt velges da to punkter på linjen som ligger langt fra hverandre. Vi tar vanligvis *ikke* utgangspunkt i et *målepunkt* (med mindre usikkerheten i målingene er spesielt liten). Punktet på linjen som vi benytter kan med fordel markeres (forskjellig fra målepunktene).

Vi har i figur 9 valgt punktene merket med ÿ for beregning av proporsjonalitetskonstanten. Resultatet blir:

$$R = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1} = \frac{(8.00 - 0.10)\text{V}}{(6.15 - 0.08)\text{mA}} = 1.30\ \text{k}\Omega$$

Dersom vi vet at en rett linje går gjennom origo, vil f.eks. V_1=0 og I_1=0. I så fall holder det med å lese av *ett* punkt på en linje for å bestemme en proporsjonalitetskonstant. Dette lar seg ikke gjøre når en bruker en eller to logaritmiske akser, fordi tallet 0 (null) ikke finnes i en logaritmisk skala.

En detalj for de mest interesserte:

Dersom du ser nøye på figuren din, vil du se at når strømmen øker med en dekade, øker også spenningen med en dekade (stigningstall 1). Dette viser at V er proporsjonal med I, i motsetning til I^2 eller I^{-1} og liknende. Hadde V vært proporsjonal med I^2, ville V variert to dekader når I varierte med en. Dobbeltlogaritmiske plot er ofte nyttig å bruke for å bestemme funksjonssammenheng ved potensfunksjoner.

Oppgave 2: Statistikk og usikkerhet

I Modul 1 skal vi ta en forsiktig behandling av statistikk og måleusikkerhet. Dette betyr *ikke* at kunnskap om måleusikkerhet er lite viktig. En mer utførlig behandling av temaet gis i Modul 3. Etter at du først har foretatt en del målinger, tror vi du vil føle på kroppen at du *trenger* litt mer kunnskap om statistikk for å trekke mest mulig informasjon ut fra målingene dine.

La oss poengtere med det samme: Vi legger vekt på at hver enkelt *forstår* at ethvert måleresultat ikke representerer den *sanne* verdien for den størrelsen vi måler. Måleresultatet er alltid beheftet med en usikkerhet, og det eneste vi kan vite er at den sanne verdien med rimelig grad av sikkerhet ligger i et gitt intervall omkring den målte verdien. Dette får også følger for hvor mange sifre en har dekning for når et måleresultat (eller størrelser avledet av dette) skal oppgis. Vi anbefaler at du legger litt innsats i å beherske de litt vage reglene på dette området, fordi dette er viktig i all eksperimentell virksomhet.

I denne oppgaven skal vi bare ta for oss noen enkle prinsipper som er såpass fundamentale at du vil få problemer med forståelsen dersom du ikke skjønner dem — selv i vårt innledende laboratoriekurs. Da du målte resistansen til en motstand, kunne du lese av en verdi R på multimeteret ditt. Mange lever da i den villfarelse at resistansen virkelig *er* verdien R du leste av. Dette er generelt sett ikke tilfelle.

Ethvert måleinstrument har en viss usikkerhet. For Fluke 75 multimetrene er usikkerheten for resistansmålinger i størstedelen av måleområdet gitt som ± 0.7 % ± 1 siffer. La oss forklare hva dette vil si. Anta at du har lest av resistansen 273.4 Ω. Usikkerheten på ± 0.7% tilsvarer da ± 0.7% av 273.4 Ω, dvs. ± 1.9 Ω. I tillegg kommer usikkerheten angitt som ± 1 siffer. Siden den målte verdien var 273.4Ω, tilsvarer siste siffer 0.1 Ω. (Hadde målt verdi vært 320 Ω, ville siste siffer svart til 1 Ω.) Vi har i dette tilfellet altså to bidrag til måleusikkerheten. Vi ønsker så å anslå den totale måleusikkerheten. Dersom de to bidragene er *uavhengige* (begrepet *uavhengighet* eller *stokastisk uavhengighet* gis i statistikken et presist matematisk innhold, men det vil føre for langt å gå inn på det her) kan det vises at summen av de to bidragene utgjør en usikkerhet som er kvadratsummen av de to enkeltbidragene, altså: $\pm\sqrt{(1.9)^2 + (0.1)^2}\ \Omega$ = ± 1.9 Ω. (For kvadrat-summen av to tall *a* og *b* bruker vi ofte symbolet ©, altså *a* © *b*= $\sqrt{a^2 + b^2}$). Det du da kan si med denne målingen, er at den *virkelige* resistansen med omtrent 68 % sikkerhet ligger innenfor intervallet (271.5 — 275.3 Ω).

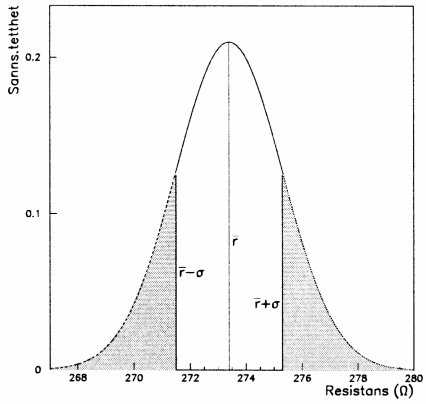
Sannsynligheten for at den sanne verdi skal ha en verdi når *r* er likevel ikke like stor uansett hvor *r* ligger i dette intervallet. Sannsynligheten er større for at sann og målt verdi ligger nær hverandre enn at de ligger langt fra hverandre. Dette kan vi fremstille grafisk, og sannsynlighets-fordelingen følger ofte en «normalfordeling” eller en gausskurve, gitt som:

$$p(r) = \frac{1}{s\sqrt{2p}} e^{-\frac{(r-\bar{r})^2}{2s^2}}$$

der $\bar{r}$ vanligvis er middelverdien for flere målinger og σ er usikkerheten (”standardavviket”). *Her* velger vi å la $\bar{r}$ være den målte verdi og σ usikkerheten til instrumentet.

Funksjonen *p(r)* er proporsjonal med sannsynligheten for at den sanne verdi ligger i et lite intervall omkring *r*. (Sannsynligheten for at den sanne verdi ligger i et lite område *Dr* omkring *r* er *p(r)Dr*.)

I figur 10 er fordelingsfunksjonen *p(r)* vist for vårt talleksempel. Du ser at sannsynligheten er størst for at den sanne verdi skal være nær $\bar{r}$, men at sannsynligheten er relativt stor i hele intervallet $\bar{r}$ ± σ (273.4 ±1.9 Ω).



Figur 10: *Normalfordelingsfunksjonen (eller gausskurven) med middelverdi* $\bar{r}$ *og standard-avvik* s. *Sannsynligheten for at den sanne verdi ligger innenfor et lite intervall dr omkring r er p(r) dr. Sannsynligheten for at den sanne verdi ligger innenfor ± ett standardavvik fra den målte verdien* $\bar{r}$ *(dvs i det uskraverte området på figuren) er 68.3%. Den målte verdien tilsvarer posisjonen til toppunktet for kurven (merket* $\bar{r}$ *).*

[a] **For de mest interesserte:**

Funksjonen *p(r)* er egentlig en *sannsynlighetstetthetsfunksjon*. For en slik funksjon må *p* integreres over et visst *r*-område, og det er *arealet* under *p* i dette intervallet som egentlig er sannsynligheten for at *r* skal ligge i dette intervallet.

Vi tillater oss å bruke normalfordelingsfunksjon i vårt tilfelle. Dette gjør vi i mangel på andre eventuelt bedre modeller. Detaljert kunnskap om hvert måleinstrument ville neppe vise en normalfordeling for sann verdi relativt til målt verdi. Argumentene våre vil likevel, kvalitativt sett, være gyldige siden de er uavhengig av fordelingsfunksjonens form.

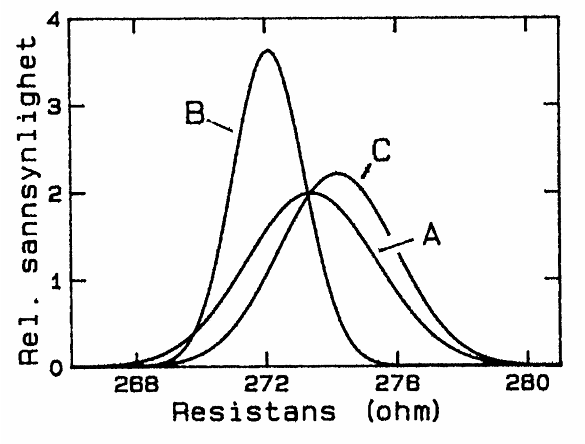
Ut fra kurven på figur 10 kan vi da si: Med vår ene måling har vi ikke bestemt en resistans nøyaktig en gang for alle, men vi har fått et estimat («forslag”) til verdi, nemlig 273.4 Ω. Og vi vet, ut fra multimeterets spesifikasjoner, at den riktige verdi med ca. 68 % sikkerhet ligger i intervallet (271.5 — 275.3 Ω) (Arealet under kurven i intervallet $\bar{r} \pm \sigma$ er ca. 68 % av det totale areal.)

Hvordan skal vi eventuelt få bestemt den sanne resistansen mer nøyaktig? Det nytter ikke å gjøre dette med gjentatte målinger med vårt ene multimeter. Sifrene vil bli de samme nesten hver gang om vi gjentar målingen mange ganger. Multimeteret gir reproduserbare resultat, men altså ikke nødvendigvis *riktig* resultat. En måte å forbedre bestemmelsen av sann resistansverdi vil da være å foreta målinger med forskjellige instrumenter. Helst bør da instrumentene være av forskjellig type, fordi samme type instrumenter gjerne inneholder samme systematiske feil.

Måling	Estimat (Ω)	Usikkerhet (Ω)
A	273.4	$\pm$ 2.0
B	272.1	$\pm$ 1.1
C	274.2	$\pm$ 1.8

Tabell 3: *Tenkte måleresultater med usikkerhet.*

Anta at du har målt resistansen med tre forskjellige typer multimetre, og at du da har oppnådd et estimat og tilsvarende usikkerhet for hvert av de tre tilfellene. Anta at resultatet ble som vist i tabell 3. Resultatet kan tegnes inn i et diagram som vist i figur 11.



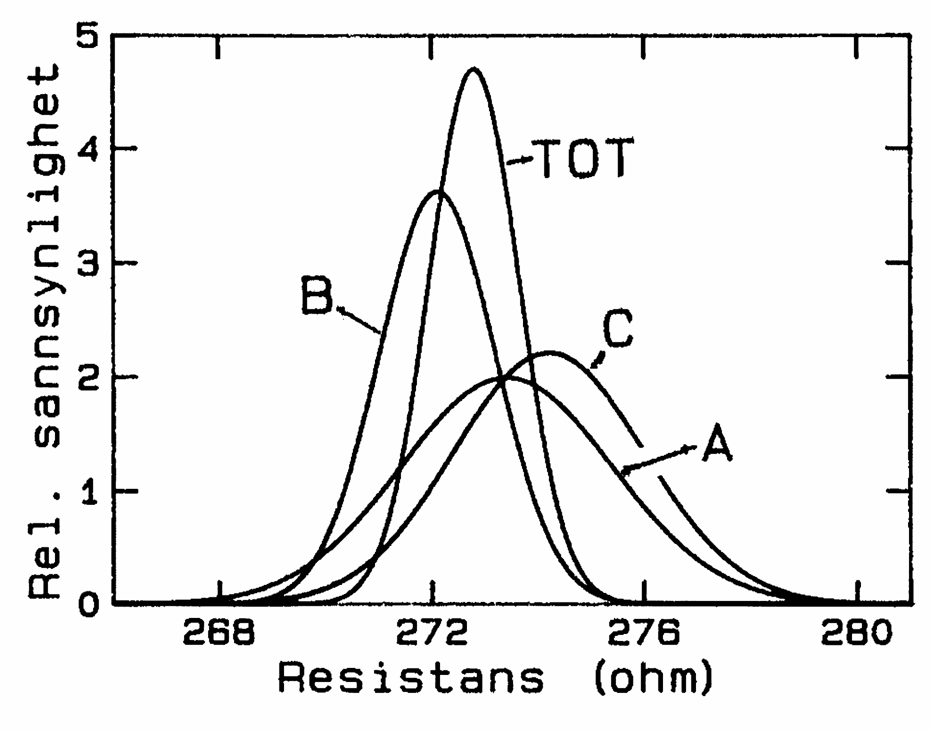
Figur 11: *Grafisk angivelse av sannsynlighetsfordelingen for den sanne verdi av en resistans ved tre målinger med hver sin usikkerhet.*

Du ser av figur 11 at gauss-kurvene ligger litt forskjøvet i forhold til hverandre og at målingen med minst usikkerhet gir en høyere og smalere kurve enn de andre (skyldes at arealet under hver av kurvene skal være lik 1.0).

Hvordan blir resultatet *samlet* etter disse tre målingene? Vi kan få en idé om dette ved å multiplisere sannsynlighetsfunksjonene for hver av målingene med hverandre. Altså:

$$p_{TOT}(r) = konst^{x}\, p_A(r)\, p_B(r)\, p_C(r)$$

Ved å beregne p_{TOT} for de kurvene vi presenterte i figur 11 får vi resultatet som er vist i figur 12.

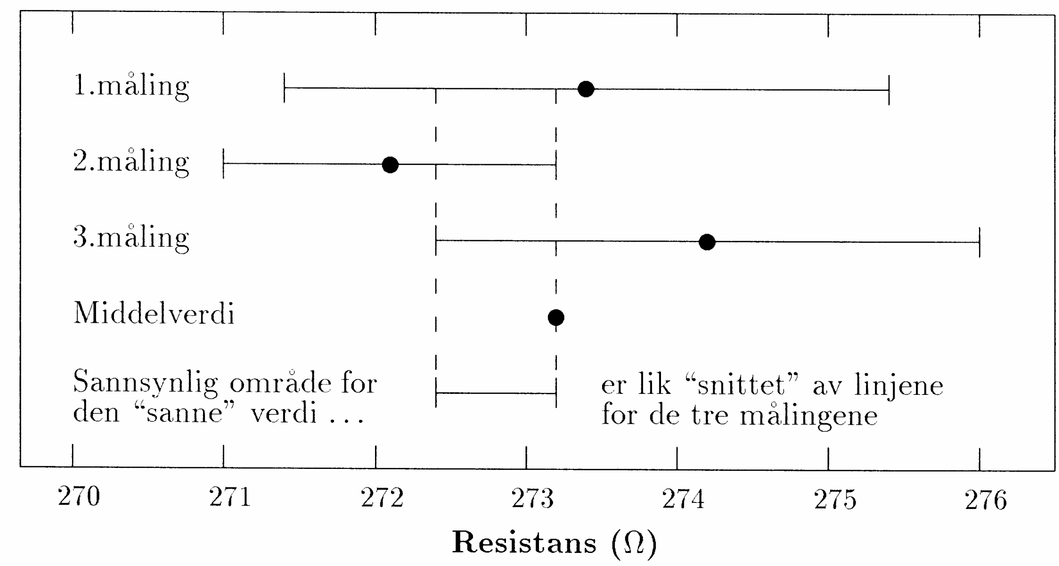


Figur 12: *Denne figuren inneholder de samme kurvene som på forrige figur, men i tillegg er også sannsynlighetfordelingen for de tre målingene samlet vist (p_{TOT}).*

Grovt sett kan en se at p_{TOT} er betydelig bare i det området p_A, p_B og p_C alle har betydelig verdi (klart forskjellig fra null).

Du vil se at p_{TOT} har en bredde som er mindre enn hver av de enkelte sannsynlighets-fordelingene. Dette er et vanlig trekk, og viser at *ved flere målinger blir den resulterende usikkerheten mindre enn for enkeltmålingene.*

Det er vanskelig å tegne sannsynlighetsfordelinger liknende de vi har i figur 12 for hånd. Vi kan forenkle prosedyren betraktelig dersom vi nøyer oss med å tegne inn linjer for intervallene $\bar{r} \pm \sigma$. Dette har vi gjort i figur 13. Vi har i denne figuren også tegnet inn middelverdien for de tre målingene og dessuten det intervallet som er felles for alle tre målingene. Du vil se at et diagram som vist i figur 13 er en grov forenkling av det vi så i figur 12. Likevel vil du se at "Sannsynlig område … " i figur 13 har en del til felles med fordelingen p_{TOT} i figur 12.



Figur 13: *Grafisk angivelse av målt verdi og området gitt ved målt verdi ± usikkerheten. Figuren viser tre målinger med hver sin usikkerhet, samt middelverdi av målingene og angivelse av resistansområdet som ligger innenfor alle tre måleusikkerhetsområdene samtidig.*

For å få *litt* trening med usikkerheter skal du nå selv måle en og samme resistans (for eksempel motstanden med nominelt 270 Ω) med tre ulike typer multimetre. Veilederne kan vise deg hvilke instrumenter som skal brukes dersom du er i tvil. Disse er:

Multimeter	**Usikkerhet**
Fluke 75	0.7 % © 1 D
CM2500	0.8 % © 1 D
Fluke 45 (slow)	0.05 % © 8 D © 0.02 Ω
Fluke 45 (medium, fast)	0.05 % © 2 D © 0.02 Ω

Symbolet © betyr kvadratsum, som forklart på side 13. Uttrykket *n*D (der du har eksempler med *n* lik 1,2 og 8 i tabellen over) betyr ”*n* i siste siffer”. Har du for eksempel lest av verdien 270.03 Ω, betyr 8D et usikkerhetsbidrag på 0.08Ω.

Du skal beregne usikkerheten (i antall Ω) for hver måling, og sette opp estimat og usikkerhet i en tabell omtrent som i tabell 3 på side 15. Du skal også tegne resultatet inn i et diagram liknende figur 13. Prøv å angi et nytt intervall (basert på grafen) der du mener sannsynligheten er stor for at den sanne verdien for resistansen må ligge.

Metoden vi har skissert for å innskrenke området for hvilke verdier den sanne resistansen må ha (figur 13), er ingen metode du kan anvende i vitenskapelig sammenheng. Vi har konstruert det hele bare for å forenkle situasjonen for deg. Skal du gjøre det litt mer seriøst, må du gå fram liknende det vi gjorde i figur 12, eller bruke analytiske metoder. I Modul 3 vil du lære mer om beregning av middelverdier og usikkerhet når en tar hensyn til flere ulike målinger. For enda bedre behandling av emnet anbefaler vi et statistikkurs. I *dette* kurset begrenser vi teorien til stort sett å si: *Husk at en målt verdi ikke er en sann verdi, bare et estimat*.

Noen ord om ”antall gjeldende sifre”:

Hvert år har vi en del problemer med at studentene bruker alt for mange sifre i sine beregninger. Dette trekker automatisk ned dersom det forekommer til eksamen. Det kan derfor være på sin plass å gi noen enkle regler for dette allerede her.

Ethvert måleresultat og beregnet resultat skal gis med riktig «antall gjeldende siffer”. Men hva mener vi så med dette uttrykket? Vi velger å gi en forklaring ved hjelp av eksempler. Studér dem nøye og legg spesielt merke til at antall gjeldende siffer *ikke* på noen måte har noe med ”antall desimaler etter komma” å gjøre. Her kommer eksemplene (skjønner du dem ikke, bør du ta kontakt med en veileder!):

45	har 2 gjeldende siffer
78.3	har 3 gjeldende siffer
1498.723	har 7 gjeldende siffer
0.13	har 2 gjeldende siffer
0.00481	har 3 gjeldende siffer (NB!)

Generelt sett kan en si at et resultat skal oppgis slik at usikkerheten ligger kun i siste (maks. to siste) siffer. Det vil si at når vi har fått måleresultatet R = 273.2 ± 2.0 Ω, så skulle svaret ifølge denne regelen kun oppgis som R = 273 ± 2 Ω.

En må likevel være litt varsom med denne regelen. Dersom f.eks. måleresultatet var R = 273.4 ± 1.1 Ω, og en avrundet til å oppgi bare R = 273 ± 1 Ω, så ville selve avrundingen (0.4 Ω) bli forholdsvis stor relativt til usikkerheten ± 1.1 Ω). I dette tilfellet ville vi unngå å følge regelen slavisk, og oppgi svaret som R = 273.4 ± 1.1 Ω, eventuelt 273.4 ± 1 Ω. Dersom måleresultatet derimot var R = 273.4 ± 8.8 Ω, ville vi fulgt regelen og gitt svaret som R = 273 ± 9 Ω. Vi håper du studerer disse eksemplene litt nøye slik at du får litt føling med hvor mange sifre som skal oppgis.

Ofte er det ikke så opplagt hvor stor en usikkerhet er etter en måling, men med litt omtanke kan du gjøre et brukbart overslag. Dersom du f.eks. avleser en amplitude på en oscilloskopskjerm, kan du med litt øvelse lese av med en nøyaktighet på ca. 0.1 rute. Dersom selve amplituden er f.eks. 6.3 ruter, så vil altså usikkerheten være (0.1/6.3) ·100 % = 1.6 %. Denne usikkerheten vil få følger for hvor mange gjeldende sifre du kan bruke når et måleresultat skal oppgis.

Mange brudd på regelen om antall gjeldende sifre kommer etter at måledataene er brukt i en beregning. Når f.eks. en resistans blir beregnet ved hjelp av Ohms lov, benytter vi oss av formelen $R = V/I$. Anta nå at V = 3.78 V og I = 0.82 mA. Setter du disse verdiene inn i Ohms lov, og beregner R ved hjelp av en kalkulator, vil svaret bli R = 4.609756098 kΩ. Dette svaret har lite med fysikk å gjøre. Det er din oppgave som eksperimentalfysiker å trimme antall sifre til det du har dekning for. Vanligvis bruker en da følgende regel: *En oppgir svaret med så mange gjeldende sifre som det er gjeldende sifre i tallene en starter ut med*. Er det forskjell i antall gjeldende sifre i de ulike start-verdiene, bruker en det minste antallet som forekommer. (”En kjede er ikke sterkere enn sitt svakeste ledd.”) I vårt talleksempel er det I som har minst antall gjeldende sifre, nemlig 2 (”ledende nuller” teller ikke som gjeldende siffer). Svaret vil da bli: 4.6 kΩ.

Merk: Dersom dette svaret skal brukes til videre beregninger, er det ofte lurt å beholde ett (toppen to) sifre mer enn du har dekning for, dette for å unngå rent numeriske avrundingsfeil. Som en *mellomregning* å betrakte, ville vi derfor anbefale at svaret ble oppgitt som 4.61 kΩ.

En spesiell situasjon kan lett oppstå når du skal trekke to temmelig like tall fra hverandre. Anta at du har foretatt to strømmålinger, med resultat I_1 = 1.23 mA og I_2 = 1.18 mA. Anta at disse inngår i en formel av typen $S = k(I_1-I_2)$. Dersom k er kjent med tre gjeldende sifre, hvor mange sifre skal da svaret S oppgis med? Siden k, I_1 og I_2 alle er kjent med tre gjeldende sifre, skulle en først tro at svaret S også skulle oppgis med tre sifre. Det er ikke korrekt. Dersom du beregner (I_1-I_2), så får du 0.05 mA. Svaret skal derfor kun oppgis med ett (toppen to) gjeldende siffer.

Selv om det er mest vanlig at studenter gir for *mange* siffer (mer enn de en har dekning for), er det faktisk ganske mange som gjør motsatt bommert også. Dersom en f.eks. leser av verdien 0.10 V på et multimeter, er det mange som i sin tabell noterer resultatet ”0.1 V”. Dette er direkte feil! Vi er nødt til å holde oss til konvensjonen at usikkerheten stort sett ligger i siste siffer. Er måleresultatet oppgitt som 0.10 V, betyr det at verdien er bestemt til å ligge et eller annet sted i intervallet 0.09 til 0.11V. Er resultatet 0.1 V derimot, betyr det at verdien er bestemt til å ligge et eller annet sted i intervallet 0.0 til 0.2 V. Dette er *stor* forskjell! *Den generelle regel blir derfor denne; Notér alle sifrene du* *oppnår i en måling. Det er lett siden å redusere antall sifre av forskjellige grunner før du oppgir det endelige svaret, men du kan aldri gjenskape sifre som du har slurvet med å notere.*

For å få litt øving med ”antall gjeldende siffer”, har vi laget tabell 4 med en rekke målte verdier og formlene de skal brukes i (tabellen finner du bakerst i denne øvelsesteksten). Vær våken for overraskelser. Du skal finne svaret og oppgi dette med korrekt antall gjeldende sifre.

DEL B: Oscilloskopet

Mål.

Etter denne øvelsen skal du kunne bruke et oscilloskop som måleinstrument (selv om rutine nødvendigvis mangler). Du skal forstå hva bildet på skjermen forteller, f.eks. hvordan spenning varierer som funksjon av tiden. Du skal også ha en viss forståelse for hvilke typer målinger som best kan gjøres med oscilloskop, og få trening i å bruke en funksjonsgenerator.

Innledning.

Et oscilloskop er et hjelpemiddel til å *se* hvordan et signal (f.eks. en spenning) varierer (oscillerer) med tiden. I eksperimentalfysikk støter vi meget ofte på fenomener som varierer med tiden, og vi legger vekt på at du allerede tidlig i dette kurset skal kunne håndtere et oscilloskop som måleinstrument.

Et oscilloskop tegner på en måte en graf av hvordan en spenning varierer med tiden. Det er en tynn elektronstråle som tegner grafen på en fluorescerende skjerm. X-aksen angir tidsforløpet, og y-aksen viser hvordan spenningen varierer innen denne tiden. Mange av innstillingene på oscilloskopet går rett og slett ut på å velge gunstig skala langs x- og y-aksen.

Dersom vi tegner en graf på et papir, er det for å vise et tidsforløp ved én bestemt tidsperiode. Oscilloskopet derimot tegner stadig nye grafer, opptil mange tusen ganger hvert sekund. Signalet som vises på fluorescensskjermen har en viss levetid før det dør ut (etterlysningstid). Vi får tegnet flere forskjellige grafer i løpet av denne tiden. Ved uheldige omstendigheter vil vi derfor kunne få et kaos av grafer som vises samtidig.

Dersom signalet varierer periodisk, kan vi tvinge oscilloskopet til å tegne alle kurvene på samme sted. Da får vi et stillestående bilde på skjermen, og vi kan foreta målinger i ro og mak. Dette kan vi oppnå dersom vi ber oscilloskopet om først å starte tegning av en ny graf hver gang det periodiske signalet passerer et visst punkt i perioden (en viss spenningsverdi). Vi sier da at vi ”*trigger*” (starter) oscilloskopstrålen hver gang denne spenningsverdien forekommer i inngangssignalet.

Oscilloskopet kan synes vanskelig å betjene når du møter det for første gang. Slik er det ofte med måleinstrumenter. Dersom du klarer å systematisere kontrollene slik at du vet hvilken *gruppe* de tilhører, og dersom du grovt sett vet hvilken funksjon hver gruppe har, så hjelper dette innlæringen. Et oscilloskop har stort sett fire forskjellige grupper innstillinger:

- Én gruppe der du velger skalering langs y-aksen (gjerne to nesten identiske sett dersom du har dobbeltstråleinstrument).
- Én gruppe der du velger skalering langs x-aksen.
- Én gruppe der du velger trigging.
- Én gruppe som består av av/på knapp, innstilling av intensitet og fokusering av elektronstrålen som tegner bildet på skjermen.

Du vil finne at disse fire gruppene av innstillinger er samlet til hvert sitt område på frontpanelet på de aller fleste oscilloskop. Start alltid med å identifisere disse områdene når du skal bruke et oscilloskop.

Merk: Denne øvelsesteksten vil beskrive oscilloskopet og noen av dets funksjoner meget kortfattet. En mer utførlig beskrivelse finnes i RVO’s publikasjon ”Oscilloskopet i skolen” (kan kjøpes på instituttkontoret) eller i Tektronix: ”The XYZ’s of using a scope” (som kan lånes på labben).

Våre oscilloskop.

I figur 15 er det vist et bilde av en av oscilloskoptypene vi har her på labben. Forsøk å finne igjen de forskjellige innstillingsknappene på disse figurene når vi forteller om de ulike kontrollene nedenfor. Som nevnt ovenfor kan de forskjellige kontrollene på oscilloskopet inndeles i fire grupper:

1. Av/på bryter, innstilling av intensitet og fokus av strålen.

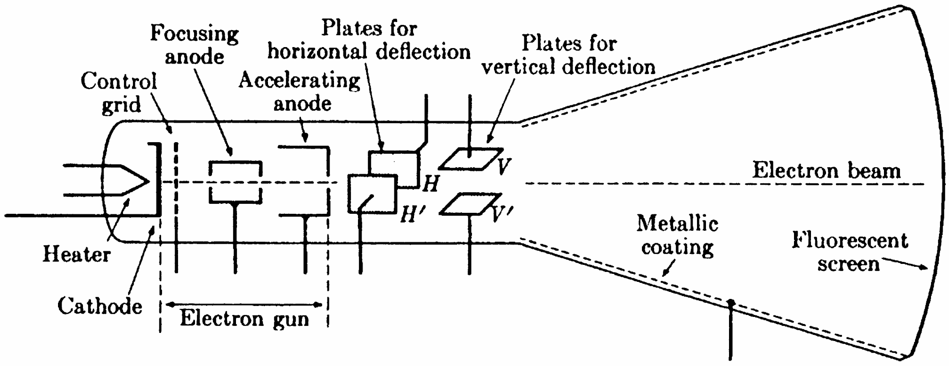
2. Skalering av bildet i y-retning. Dette gjøres vha. en *trinnvis* kontroll for amplituden (VOLTS/DIV, angitt i V/rute) på skjermen, samt en *kontinuerlig* (sitter i midten av den trinnvise). Det er også kontroll for å flytte bildet på skjermen (POSITION), samt en bryter som velger mellom vekselspenning (AC), likespenning (DC) og jord (GND). Ved dobbeltstråleoscilloskop finnes det to sett kontroller for skalering i y-retning, og vi kaller dem kanal 1 (Ch1) og kanal 2 (Ch2). Vi vil da også finne en kanalvelger som tillater oss å velge om én av kanalene eller begge skal tegnes på skjermen.

3. Skalering av bildet i x-retning. Dette gjøres vha. en tidsbasekontroll (SEC/DIV, angitt i s/rute) som regulerer strålens hastighet over skjermen fra venstre til høyre. Denne er inndelt trinnvis, tallangivelsen gir tiden strålen bruker for å gå over én rute. I tillegg er det også en kontroll som varierer tidsbasen kontinuerlig (sitter i midten av den trinnvise). Det er også en kontroll for å flytte bildet på skjermen (POSITION). På de fleste oscilloskop finnes også en xy-instilling. Velges denne funksjonen, vil x-aksen ikke lenger være en tidsakse, men en spenningsakse for det signalet som kommer inn til kanal 1.

4. I den siste gruppen finner vi triggerkontrollen (LEVEL) for inngangssignalet. Denne gjør nettopp hva navnet sier, den setter nivået for triggingen, eller utløsningen, av elektronstrålen. Videre kan vi velge mellom automatisk og ytre trigging (vi skal bruke AUTO). På de fleste oscilloskop kan vi også velge hvilken kanal som skal trigge tidsavbøyningen. Forskjellige oscilloskop har mer eller mindre avanserte triggekretser. Antall knapper i denne siste gruppen kan derfor variere sterkt.

Hvordan oscilloskopet fungerer.

Elektronrøret er den sentrale delen i oscilloskopet. Elektroner blir akselerert i et elektrisk felt bakerst i elektronrøret, og fortsetter fram til den fluorescerende skjermen som lyser opp der elektronene treffer (se figur 14). På sin vei framover i røret passerer elektronene først elektroder som sørger for skarpstilling, og de blir deretter avbøyet i xy-retningene av to platepar med kontrollerbart elektrisk felt mellom hvert par. Dette feltet kontrolleres av signalet på inngangen (y-retning) eller fra en innebygd sagtann-spenningskilde (x-retning) (se nedenfor og figur 16).

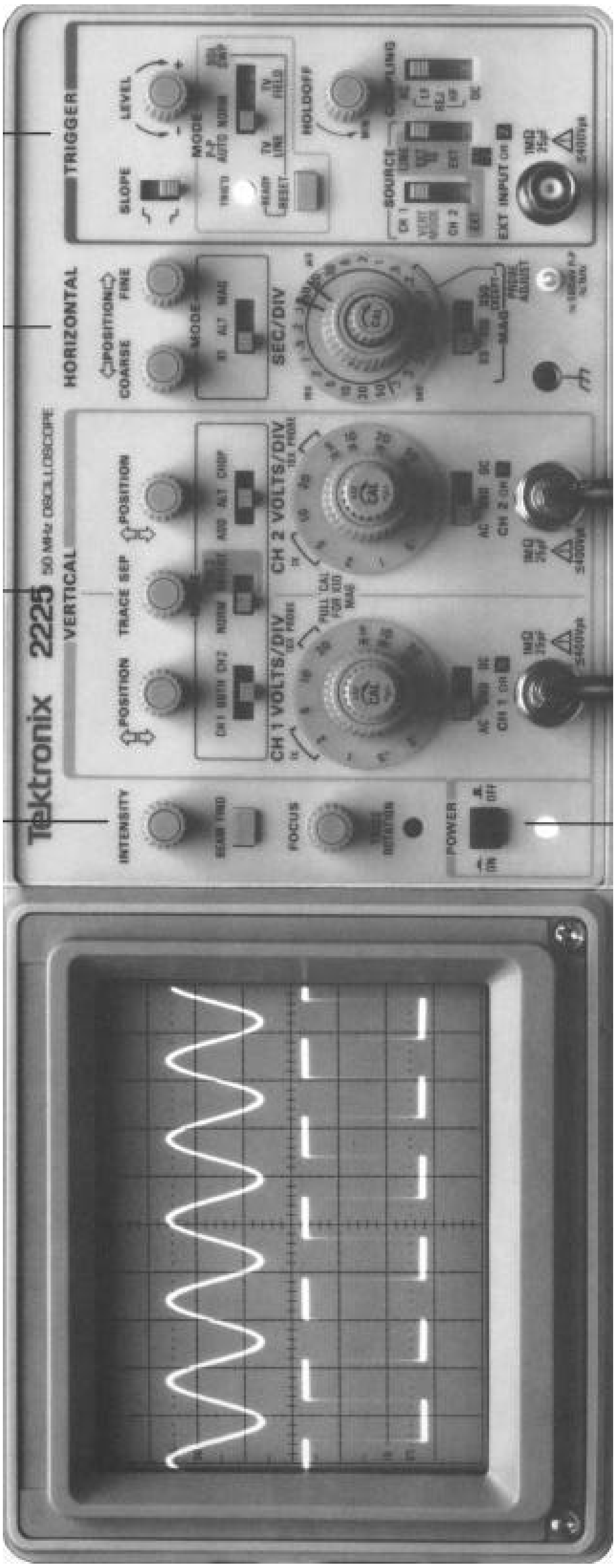


Figur 14*: Skisse av elektronrøret med x og y plater.*

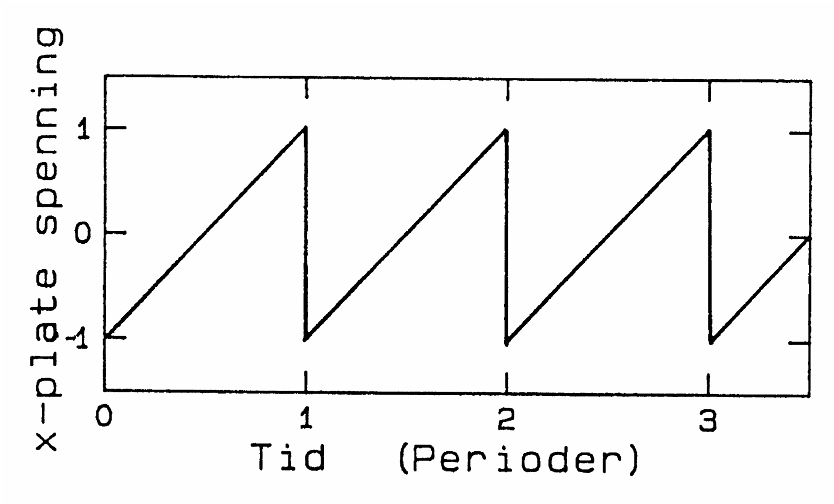
Skjermen er inndelt i et rutenett hvor hver av rutene er tilnærmet 1 cm^2. Den midterste av de horisontale linjene kalles gjerne for ”nullinjen” fordi vi ofte lar strålen ligge langs denne linjen når det ikke er noe signal på inngangen.

Spenningen over x-platene er vanligvis knyttet til en tidsbasespenning som øker jevnt med tiden fra null til en viss verdi, går raskt tilbake til null og starter en ny økning (se figur 16). Et slikt spenningsforløp kaller vi gjerne for sagtannspenning. Spenningen får lysflekken til å flytte seg fra venstre mot høyre side av skjermen. Deretter blir strålen raskt flyttet tilbake til utgangsstillingen lengst til venstre. Strålen syns ikke under tilbakeløpet. Hvor hurtig strålen går over skjermen reguleres ved hjelp av tidsbasekontrollen (SEC/DIV).

For kontroll av spenningen over y-platene har vi to sett inngangskontakter i et tostråleoscilloskop. Kontaktene kan være merket ”Ch1 or X” eller ”Input 1” og ”Ch2 or Y” eller ”Input 2”, eller lignende. Hvert sett innganger består av to kontaktpunkter. Et av kontaktpunktene er jordet, dvs. forbundet med apparatkassen. Det andre kontaktpunktet leder videre til komponenter inne i oscilloskopet. Kontaktene står inne i hverandre (koaksialt), med jordkontakten ytterst (kalles BNC kontakt). Vi bruker ofte et adapter for å kunne koble ledninger med bananplugger til oscilloskopet. Figur 18 viser hvordan dette adapteret brukes. Noen av disse adapterne har svart bøssing der signalet skal inn og metallbøssing der jord skal inn. Dette leder ofte til misforståelser siden svart ellers ofte betyr jord. Det er *plasseringen* av bøssingene som sier hva som er jord og signalinngang på disse adapterne, og du bør studere dem nøye.



Figur 15: *Frontkontrollene på et Tektronix oscilloskop.*



Figur 16: *Sagtann-spenningen som brukes for å styre oscilloskopstrålen fra venstre til høyre. Tiden pr. tann kan varieres ved hjelp av SEC/DIV kontrollen.*

Dersom vi legger en spenning over ett sett av inngangskontaktene, vil denne spenningen forsterkes av en innebygd forsterker, og spenningen settes så over y-platene. Denne spenningen fører til at strålen blir avbøyd i vertikalretningen. Forsterkningen blir regulert med følsomhetskontrollen VOLTS/DIV.

Selv om oscilloskopet er utstyrt med to kanaler, er det bare én elektronstråle og bare ett sett y-plater. Innebygde kretser ordner det slik at signalene fra de to inngangene virker vekselvis på strålen. Vekslingene går så fort at vi vanligvis ikke kan se det. I praksis kan vi derfor betrakte det som to stråler, og vi kan studere og sammenligne spenninger over de to inngangene samtidig.

På en del oscilloskop kan vi velge mellom to metoder for veksling mellom kanalene (ALT/CHOP). Ved ALT (alternering) veksler en slik at strålen går helt fra venstre til høyre for den ene kanalen, dernest helt fra venstre til høyre for den andre kanalen osv. Ved CHOP (chopping, oppkutting) veksler en mellom de to kanalene f.eks. 10000 ganger i sekundet. Strålen slukkes når den veksler mellom de to signalene. Ved måling av lavfrekvenssignaler der en bruker høye verdier på SEC/DIV, er CHOP ofte å foretrekke for å få et roligere bilde av begge kanalene samtidig. Ved høyfrekvenssignaler må en derimot ofte bruke ALT for at ikke choppingen skal lage en tilsynelatende opphakking av signalet.

På de fleste oscilloskop kan vi også velge hvilket av de to signalene som skal trigge elektronstrålen. Dette betyr at trigging i stilling Ch1 bestandig bruker signalet på Ch1 for trigging, - selv når strålen annen hver gang (i ALT stilling) viser signalet fra Ch 2.

Når oscilloskopet er i xy-stilling, er tidsbasespenningen satt ut av virksomhet. Da kan x-platenes spenning reguleres av en ytre spenning som er koblet til et sett av inngangskontaktene, oftest til kanal 1. Xy-innstillingen finner du som regel på tidsbasekontrollen, men ikke alltid.

Hva brukes oscilloskopet til?

I denne øvelsen har vi lagt hovedvekten på at du skal lære å *bruke* et oscilloskop, så *hva* oscilloskopet kan brukes til vil ikke bli berørt nevneverdig. Du vil skjønne dette etter hvert som kurset skrider fram. For selv om oscilloskopet ”bare” kan brukes til å betrakte (veksel)spenninger, så er det utrolig mange sammenhenger dette kan være nyttig. Vi kan bestemme frekvenser på signal, hvordan forskjellige signal varierer med tiden, hvordan signal kan bli forvrengt, forsinket (faseforskjøvet) og dempet eller forsterket. Det er lett å forestille seg at vi kan bruke oscilloskopet i rene elektronikkoppgaver. Ved hjelp av egnede ”følere” (transducere), kan imidlertid oscilloskopet også gi opplysninger om svært mange andre målbare forhold, fra vibrasjoner i en flymotor, til overvåkning av hjerteaktivitet hos pasienter.

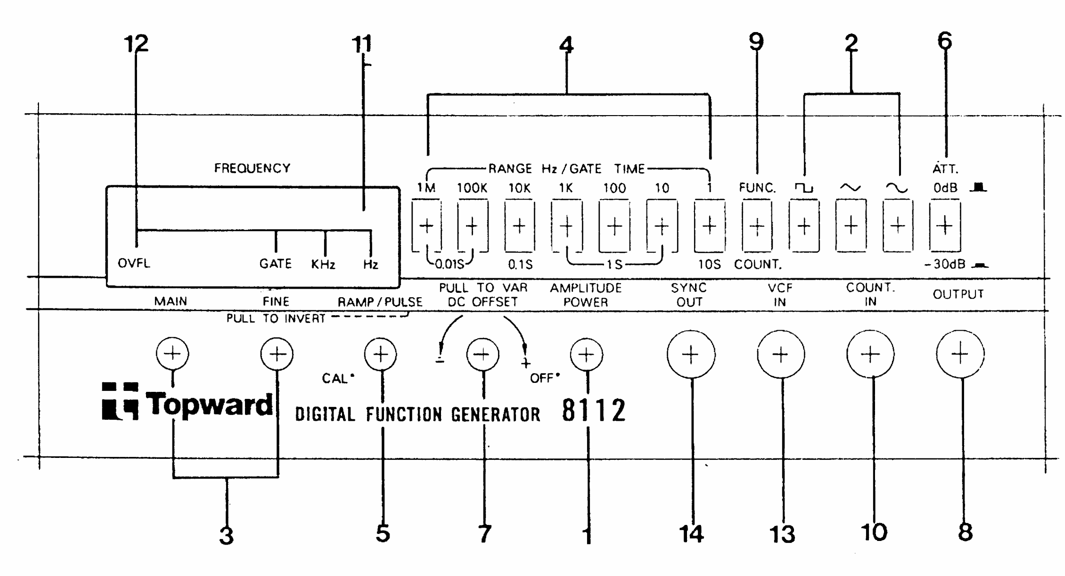
Funksjonsgeneratoren.

En funksjonsgenerator er en enhet som ofte brukes sammen med et oscilloskop. Funksjonsgeneratoren kan generere vekselspenninger som ofte brukes i forskjellige måle/teste-oppgaver. Figur 4 viser skjematisk frontpanelet til den type funksjonsgenerator vi bruker mest i dette kurset. Det er nødvendig at du lærer å bruke funksjonsgeneratoren ordentlig.

En funksjonsgenerator kan gi vekselspenninger, og frekvensen på disse varierer du med trykknapper (merket 4 i figur 17) og med to dreieknapper (merket 3 i samme figur). Frekvensen på signalet vises med tall på displayet (merket 12). Enhetene er angitt ved at det lyser over enten Hz eller kHz merket på displayet (merket 11 i figur 17).

Funksjonsgeneratoren kan gi tre forskjellige typer vekselspenning, nemlig firkant-spenning, trekantspenning eller sinusspenning, og du kan velge mellom disse ved trykknapper merket 2 i figur 17. Merk: Vi vil for det meste skrive *”harmonisk signal”* i stedet for sinusspenning eller sinussignal i dette kurset.

Funksjonsgeneratoren slås på ved knapp 1, og amplituden (styrken) på signalet varieres med samme knapp. Med knapp 6 i ytterste posisjon (0 dB) kan amplituden varieres fra ca. 0 til 20 V (peak-to-peak). Trykkes knapp 6 inn (-30 dB) blir signalet kraftig redusert (dempet).



Figur 17: *Frontpanelet på den type funksjonsgenerator som du kommer til å bruke mye i dette kurset.*

Signalet fra funksjonsgeneratoren tar vi ut på koaksialpluggen merket 8 i figur 17. Du kan bruke en koaksledning for å lede signalet dit du trenger det. Koakskabelen består av en midtleder og en metallkappe (skjerm) som ligger som en sylinder omkring midtlederen. Begge lederne ligger altså symmetrisk omkring ledningens midtakse. De har altså felles akse, derav navnet (engelsk co-axial). I enden av en koakskabel har vi en spesiell plugg (BNC plugg) som sørger for at både midtleder og kappe blir koblet til koakspluggen på f.eks. funksjonsgeneratoren. En BNC plugg festes med "bajonettfatning", det vil si at vi har to styrepinner på pluggen på funksjonsgeneratoren eller oscilloskopet som må passe inn i to spor i BNC pluggen på kabelen. Pluggen skyves inn i disse sporene, og den dreies til den butter (ca. en halv omdreining). Ikke bruk makt ved bruk av BNC plugger!

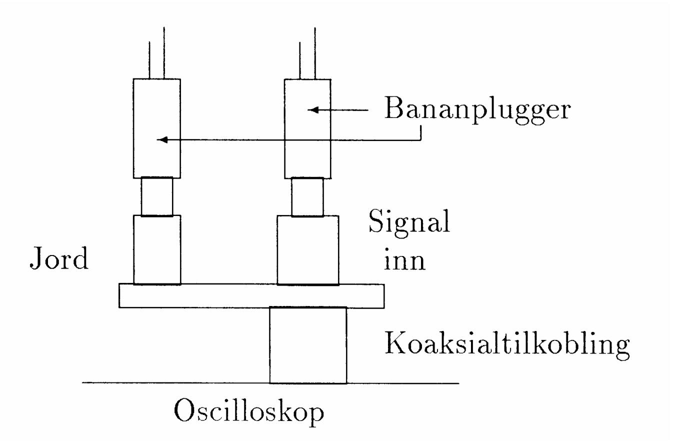
Ofte har vi bruk for å stille inn vekselspenningssignalet til en bestemt amplitude. Mange studenter synes det er dumt at det ikke finnes en *skala* på amplitude-knappen (knapp 1 i figur 17). Grunnen er den at amplituden fra funksjonsgeneratoren vil variere kraftig når vi kobler funksjonsgeneratoren til forskjellig utstyr (selv om innstillingen holdes konstant). Vi bruker derfor gjerne et oscilloskop for å stille amplituden slik vi ønsker den mens funksjonsgeneratoren er koblet inn i den kretsen den skal benyttes.

Våre funksjonsgeneratorer kan også brukes som frekvenstellere for å bestemme frekvensen på et ukjent signal. Dette vil vi sjeldent bruke i dette kurset. Trykknapp 9 må derfor stå i ytre posisjon, og plugg 10 vil stå ubrukt. Plugg 13 og 14 blir heller ikke brukt foreløpig, og dreieknapp 5 må stå dreid helt til venstre (mot urviseren).

Vi skal diskutere vekselspenning i mer detalj i øvelse 3, men vi håper at du allerede nå vet litt forskjell på likespenning og vekselspenning (DC og AC). Har vi en *ren* vekselspenning, varierer denne omkring 0 V, men legger vi til en likespenning, kan vi få vekselspenningen til å variere omkring en annen "gjennomsnittsverdi". Med våre funksjonsgeneratorer kan vi oppnå en slik blanding av vekselspenning og likespenning dersom knapp merket 7 trekkes ut. Dreies knappen (mens den er i ytre stilling), vil du kunne variere likespenningen ("gjennomsnittsverdien") som er addert til vekselspenningen. Er knapp 7 trykket inn (mest vanlig), er det *ikke* addert noe likespenning til vekselspenningssignalet. Prosessen med å legge til likespenning til en vekselspenning kaller vi "å foreta en DC forskyvning" (på engelsk: DC OFFSET).

Oppgave 3 : Bli kjent med kontrollene.

Som et første punkt i denne øvelsen, vil vi forsøke å redusere det vi kaller «knappe-skrekken". Vi ønsker at du skal *ta* på de forskjellige kontrollknappene på oscilloskopet og prøve dem litt ut. Du vil da se at oscilloskopet er et temmelig robust instrument som du ikke klarer å ødelegge ved å stille inn knappene feil. (Ved å bruke for stor spenning, f.eks.>100 V, på inngangen, kan du likevel ødelegge et oscilloskop!)



Figur 18: *Adapter (sett fra siden) for overgang fra koaksial tilkobling til tilkobling med bananplugger. Merk spesielt at når en av bananbøssingene ligger på samme akse som koaksialtilkoblingen, så er dette "signal inn" bøssingen. Dette gjelder selv om bøssingen f.eks. er farget svart. Jord-inngangen er ofte plassert til siden for koaksialpluggen (ikke på samme akse).*

Signalet du skal se på er et vekselspenningssignal fra en funksjonsgenerator. Koble funksjonsgeneratoren til Ch1-inngangen på oscilloskopet. Pass på at jord på funksjonsgeneratoren kobles til jord på oscilloskopet (se figur 18). (Brukes en koakskabel mellom disse, vil jord og midtleder alltid komme riktig ut.) Funksjonsgeneratoren skal innstilles på omtrent 1000 Hz sinus, og amplitudeknappen kan settes ca. i midtstilling. Bruk 0 dB demping, det vil si knapp 6 i figur 17 i ytterstilling.

Sett *alle* oscilloskopets innstillinger slik som beskrevet i skjema 1 bak i denne teksten. Vi har to typer oscilloskop; Tektronix 2225 og 2205, hvor 2225 modellen er den mest avanserte av disse. Er det et 2225 oscilloskop på din plass, får du derfor litt flere kontroller å holde rede på (de merket med $*$ i skjemaet), enn om du har den enklere modellen.

Innstill fokus og intensitet slik at bildet blir skarpt og med passe kontrast, og benytt denne settingen for resten av øvelsen. Varier *deretter* etter tur hver av de nevnte innstillingene i skjema 1, og beskriv hva som skjer med bildet på skjermen (behøver ikke lange forklaringer, hold deg til plassen som er tilgjengelig i skjemaet).

Merk forøvrig at det ikke er lett å skrive labjournal for denne øvelsen sett under ett. Ikke gjenta mye av øvelsesteksten, men forsøk å beskrive kort hovedlinjene i det du gjør, med egne ord! Bruk gjerne bare noen få setninger på hver av oppgavene for denne beskrivelsen. Generelt må du *i tillegg* beskrive dine observasjoner og resultater i detalj. I oppgave 1 er likevel ikke dette nødvendig fordi du kan henvise til det du har skrevet inn i skjema 1.

Oppgave 4 : Følsomhet og tidsbasesetting.

Vi har nevnt at to av gruppene av kontroller på et oscilloskop brukes for å velge skalering langs x- og y-aksene. I denne oppgaven vil vi at du skal gjøre ditt beste for å forstå hva dette innebærer. Kort sagt kan en si at en må bruke større forsterkning langs y-retningen for et lite signal enn for et stort signal for at signalet skal fylle ut en passe stor del av skjermen. Forsterkningen langs y-aksen varieres med V/DIV kontrollen.

Elektronstrålen må fare over x-aksen omtrent på like kort (lang) tid som periodetiden til signalet dersom ca. én periode skal være synlig på skjermen. Tiden strålen bruker på å fare over x-aksen er antall msec μsec) pr. rute ganger med antall ruter langs x-aksen (det vil si ti ganger SEC/DIV innstillingen). Periodetiden til et harmonisk signal med frekvens f, er $T = 1/f$. Ut fra disse opplysningene skulle du da kunne gå i gang med selve oppgaven.

Pass først på at alle knapper merket med CAL er dreid med urviseren helt til de stopper, slik at de er i kalibrert posisjon.

Still så funksjonsgeneratoren på harmonisk signal. Still inn etter tur de frekvenser og spenninger som er gitt i skjema 2 (bakerst i denne øvelsesteksten). Varier tidsbase (SEC/DIV) og forsterkning (V/DIV) på oscilloskopet slik at en får et best mulig bilde på skjermen.

Husk at siden vi ikke kan ha en brukbar skala for amplitude på funksjonsgeneratoren, må amplituden justeres til riktig verdi *mens du betrakter signalet på oscilloskopet*. (Med amplitude mener vi *halve* avstanden (vertikalt) mellom topp og bunn i det harmoniske signalet. Se eksemplet nederst på siden i skjema 2).

Dersom du ikke får et stillestående bilde på skjermen, skyldes dette antakelig feil innstilling av LEVEL på triggekretsen. Drei denne forsiktig omkring midtstillingen til bildet kommer fram og blir forholdsvis stabilt. Får du ikke dette til selv, så spør en veileder om hjelp.

Vi ønsker at du innstiller oscilloskopet slik at mellom 1.5 og 3 perioder av signalet tegnes på skjermen, og at kurven strekker seg over minst halve skjermen i vertikal retning (uten å gå utenfor). Noter i skjema 2 de innstillingene du kommer fram til. (Merk: Vi har gitt ”riktige” innstillinger for første sett frekvens og spenning i skjemaet. Still selv inn også dette signalet og bruk våre verdier for å kontrollere at du skjønner hva vi er ute etter i denne tabellen.)

Skisser også i rutenettene (fås på labben) alle signalene med riktige verdier på aksene. Første sett av frekvens og amplitude er illustrert i første rutenett. Bruk dette som mal for hvordan du skal gå fram ved dine egne skisser. (Mange har problemer med å tegne pene kurver inn i rutenettene. Begynn med å tegne inn skjæringspunktene mellom kurven og selve rutenettet. Fyll dernest inn de mellomliggende linjene. Bruk ikke for lang tid på å få skissene så pene som mulig. Du får mer trening i dette siden i kurset.)

Sammenlign frekvensen avlest på oscilloskopet med innstillingen på funksjons-generatoren. Frekvensen måler du på følgende måte :

Vi går ut fra at du har innstilt oscilloskopet slik at du har 1.5-3 perioder på skjermen med så stor amplitude som mulig. Flytt gjerne på strålen slik at utslaget blir like stort på begge sider av null-linjen. Finn avstanden mellom to sammenhørende skjæringspunkt av sinuskurven med denne linjen. Multipliser med den innstilte tid/rute for å finne periodetiden. Frekvensen er da inversverdien til denne. (Pass på at den minste inndelingen av rutene er 1/5 av ruten, ikke 1/10 som vi ofte er vant med.) Vi har også antydet fremgangsmåten i figuren i skjema 2.

Oppgave 5 : Forskjellen mellom AC og DC innstilling på et oscilloskop.

På oscilloskopet kan vi velge mellom AC, DC og GND på hver av de to inngangene. At inngangen "jordes" (settes lik null) i stilling GND (engelsk: ground), er ikke så vanskelig å forstå, men hva er forskjellen mellom AC og DC innstillingene? Det er svært vanlig med misforståelser på dette punkt. Med denne oppgaven håper vi at *du* unngår de verste misforståelsene.

Sett oscilloskopet i GND, og still strålen med POSITION slik at den ligger langs midt-linjen på rutenettet. Still oscilloskopet deretter i DC funksjon.

Benytt et ca. 3 kHz harmonisk signal, og sett amplitudeinnstillingen ca. i midtstilling. Still oscilloskopet slik at du får 1.5-3 perioder på skjermen, og amplituden blir 1-2 ruter (2-4 ruter peak-to-peak). Still deretter DC OFFSET knappen på funksjonsgeneratoren (knapp 7 i figur 17) i midtstilling. Trekk ut knappen, og drei den sakte fram og tilbake rundt midtstilling. Beskriv hva du ser på oscilloskopet. Still deretter oscilloskopet i AC funksjon og varier igjen DC OFFSET på funksjonsgeneratoren mens du betrakter signalet på oscilloskopet. Beskriv det du nå ser. Hva er forskjellen mellom det du nå observerer og det du så da oscilloskopet var i DC funksjon?

Forskjellen mellom AC og DC innstilling viser seg også i en annen sammenheng enn den du nettopp så på. Still funksjonsgeneratoren på ca. 100 Hz *firkantsignal*, samme amplitude som før. Fjern DC OFFSET (dvs. trykk knapp 7 i figur 17 inn). Still oscilloskopet i DC funksjon, og innstill oscilloskopets tidsbase og y-forsterkning slik at du får et bra bilde av signalet. Skift mellom DC og AC funksjon på oscilloskopet, og beskriv med en enkel skisse den forskjellen du ser. Hvilken av innstillingene tror du gir det mest korrekte bildet av det virkelige signalet?

Utstyrsliste:

Oscilloskop

Funksjonsgenerator (TFG 8112 eller lignende)

1 BNC - bananstikk overgang

Koaksledning

Regulerbar spenningskilde (0-15V)

Tre forskjellige multimetre (Fluke 75, Caltek CM2500, Fluke 45)

Dekademotstand

Motstander: 270 O og 1,2 k O

mm-papir, dobbeltlog. papir

Sist oppdatert JM 12.01.2003

Tabell 4: Måleresultater og uttrykkene der disse inngår. Beregn svaret og oppgi dette med korrekt antall gjeldende sifre (oppgave 2)

Målte verdier	Uttrykk	Beregnet verdi
$V = 3.78\,\mathrm{V}$, $I = 2.15\,\mathrm{mA}$	$R = V/I$	$R =$
$V = 5.92\,\mathrm{V}$, $I = 0.2\,\mathrm{mA}$	$R = V/I$	$R =$
$V = 15.3\,\mathrm{mV}$, $R = 1.2\,\mathrm{k\Omega}$	$I = V/R$	$I =$
$t = 14\,\mathrm{ms}$, $I = 0.638\,\mathrm{A}$	$Q = It$	$Q =$
$V_1 = 4.38\,\mathrm{V}$, $V_2 = 0.07\,\mathrm{V}$, $k = 3.19\,\mathrm{W/V}$	$P = k(V_1 - V_2)$	$P =$
$V_1 = 5.47\,\mathrm{V}$, $V_2 = 5.27\,\mathrm{V}$, $k = 3.19\,\mathrm{W/V}$	$P = k(V_1 - V_2)$	$P =$
$s = 1437.14\,\mathrm{m}$, $t = 14.1\,\mathrm{s}$	$v = s/t$	$v =$

Skjema 1: For instilling av oscilloskop og hva som skjer når kontrollene varieres (Oppg. 3)

Tektronix oscilloskopet

Kontroll/ funksjon	Startverdi	Hva skjer når kontrollen endres
ON/OFF	ON	Skal ikke endres
Intensity	Ca. midtstilling	
Focus	Ca. midtstilling	
Channel 1:		
AC-GND-DC	DC	
VOLTS/DIV	2 V	
CAL	CAL (se pil)	
10X PULL *	Inntrykket	
Position	Ca. midtstilling	
Kanalvelger:		
Ch1-Both-Ch2	Ch1	
Norm-Ch2 invert	Norm	Skal ikke utprøves
Add-Alt-Chop	Chop	Behøver ikke utprøves
Trace separation*		Skal ikke utprøves
Tidsbase:		
SEC/DIV	0.2 msec	
CAL	CAL (se pil)	
Position	Ca. midtstilling	
X1-(X10)/(ALT-MAG)	X1	Skal ikke utprøves
X5-X10-X50*	X5	Skal ikke utprøves
Trigger:		
LEVEL	Ca. midtstilling	
MODE	P-P AUTO	
SOURCE	CH 1, LINE	
COUPLING*	HF REJ	Skal ikke utprøves
SLOPE		

* Kun for Tektronix 2225 oscilloskop

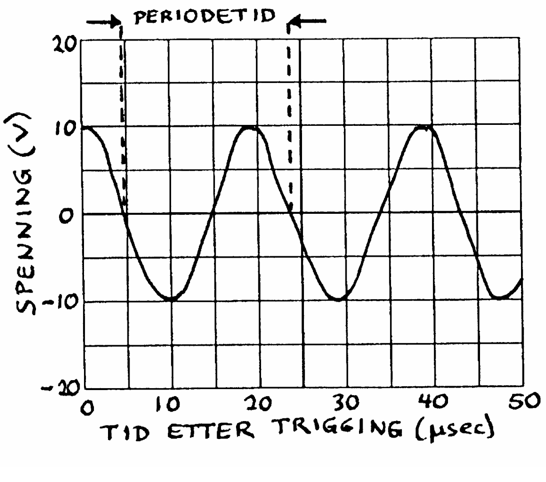
Skjema 2 : Innstilling av funksjonsgenerator, og for registrering av ”best mulig” innstilling av oscilloskopet (oppgave 4).

De første to kolonnene i skjemaet nedenfor viser hvordan funksjonsgeneratoren skal stilles inn, og du noterer i de to siste kolonnene innstillingen på oscilloskopet som gir ”best mulige” bilder av signalet på skjermen. Selve signalet skal i tillegg tegnes inn på rutenettene på neste side. For å hjelpe deg på vei har vi fylt ut første linje i skjemaet allerede, og tegnet inn signal og markeringer langs aksene i rutenettet nederst på denne siden. Forsøk selv med 60 Hz signalet før du går videre på de to neste, men det er ikke nødvendig å tegne akkurat dette signalet opp i rutenett.

Frekvens	Amplitude (V)	Time/Div	Volt/div
60 kHz	Ca. 10	5 μsec	5
400 Hz	Ca. 2		
3 kHz	Ca. 0.1 †		

† Bruk gjerne 30 B demping for å lette innstillingen av denne amplituden.

Eksempel på inntegning og markering i rutenettet:



Signal: 60kHz, 10V (innstilt)

V/div: 5 V/div

sec/div: 5 µsec/div

PERIODETID: (T)

3.7 ruter × 5µsec/rute = 18.5 µsec

FREKVENS: (f)

$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{18.5 \cdot 10^{-6}\,s} = 54\,kHz$

Tabell 2: Måleresultater og uttrykkene der disse inngår. Beregn svaret og oppgi dette med korrekt antall gjeldende sifre (oppgave 2)

Målte verdier	Uttrykk	Beregnet verdi
$V = 3.78\,\mathrm{V}$, $I = 2.15\,\mathrm{mA}$	$R = V/I$	$R =$
$V = 5.92\,\mathrm{V}$, $I = 0.2\,\mathrm{mA}$	$R = V/I$	$R =$
$V = 15.3\,\mathrm{mV}$, $R = 1.2\,\mathrm{k\Omega}$	$I = V/R$	$I =$
$t = 14\,\mathrm{ms}$, $I = 0.638\,\mathrm{A}$	$Q = It$	$Q =$
$V_1 = 4.38\,\mathrm{V}$, $V_2 = 0.07\,\mathrm{V}$, $k = 3.19\,\mathrm{W/V}$	$P = k(V_1 - V_2)$	$P =$
$V_1 = 5.47\,\mathrm{V}$, $V_2 = 5.27\,\mathrm{V}$, $k = 3.19\,\mathrm{W/V}$	$P = k(V_1 - V_2)$	$P =$
$s = 1437.14\,\mathrm{m}$, $t = 14.1\,\mathrm{s}$	$v = s/t$	$v =$