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.

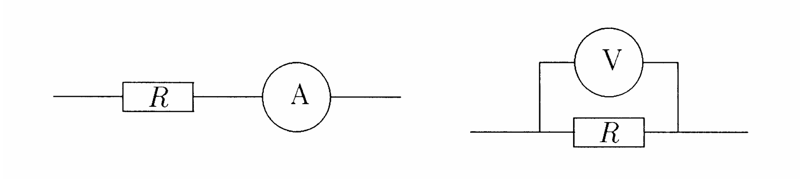
Et av målene med dette kurset er at du skal lære å bruke en del forskjellige måleinstrumenter. I praksis trenger vi ofte et instrument for å måle elektrisk strøm og spenning, hvor vi lett kan skifte måleområde, fra amperemeter til voltmeter, fra likestrøm til vekselstrøm osv. Et slikt instrument kalles et multimeter eller et universalinstrument. 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 en del multimetrene må en velge følsomheten selv. Figur 2 viser et slikt instrument. De tall som står påført venderstillingene angir måleverdien ved fullt utslag. På mange moderne instrument er det bygget inn automatisk områdevalg (autoranging). For disse instrumentene er det nok å stille inn målefunksjon, for eksempel likespenning (V DC), så sørger instrumentet selv for å velge det måleområdet som gir best oppløsning. Måling av store strømmer gjøres ofte over en egen inngangskontakt. Et multimeter er et av de mest anvendelige instrumentene vi har både i faglig og privat sammenheng.

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. Det kan være viktig å kjenne verdien av R_i ved bruk av instrumentet.



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

For å innvirke minst mulig på den kretsen 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 måleinstrumenter som kalles digitalinstrumenter. Måleverdien angis her ved tall på et display og ikke ved en viser på en skala, slik som det er på et analoginstrument. Et digitalinstrument 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.

Figur 2: *Frontsiden av et digitalt multimeter uten automatisk områdevelger. På dette instrumentet må en stille inn både funksjon og måleområde.*

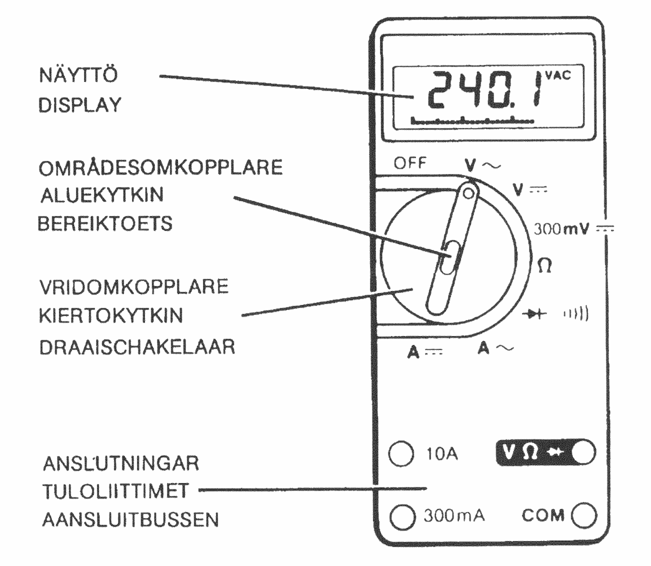
Instrumenter i denne øvelsen.

Figur 3 og 4 viser frontsiden av to av de multimetrene vi kommer til å bruke mest i dettekurset, 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 kobles til **10A** bøssingen når store strømmer skal måles eller til bøssingen merket **300mA** (eller **100mA**, Fluke 45) for små strømmer.

Noen av de tekniske spesifikasjonene for Fluke 75 er gitt i tabell 1.

Vi har kun gjengitt spesifikasjonene for resistansmålinger for Fluke 45 instrumentet (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.



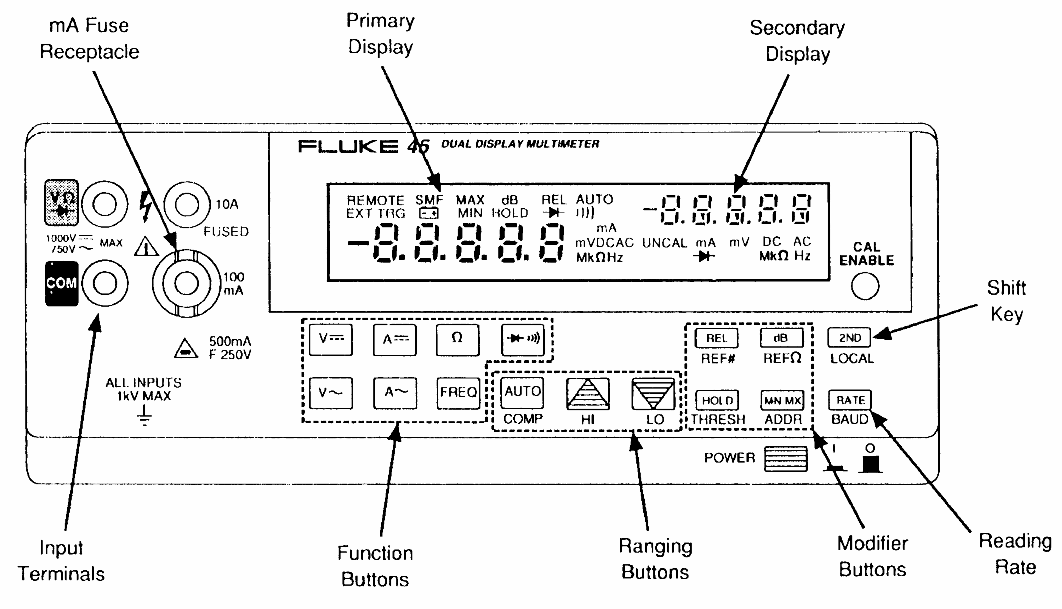
Figur 3: *Digitalmultimeter med automatisk områdevelger (Fluke 75). Brukeren stiller kun inn riktig funksjon og passer på at måleledning er koblet til riktig inngang. (NB: Strømmålinger skjer fra egen inngang!).*

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.

NB : Et multimeter som er innstilt for å måle strøm har meget liten indre motstand. Pass derfor på at du ikke har multimeteret innstilt for strømmåling når du skal måle spenning ! 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 4: *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 :

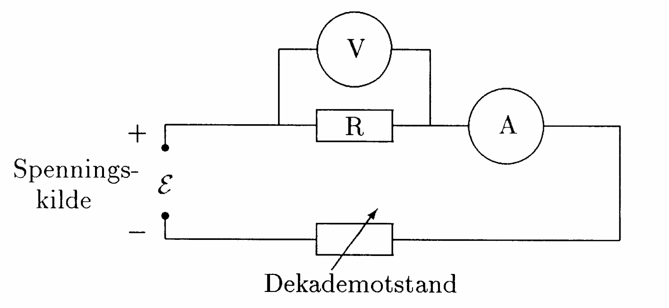
$$V = R\,I$$

I denne oppgaven skal du sende strøm gjennom en motstand med en viss resistans og måle spenning over denne. Du vil forhåpentligvis finne at strøm og spenning er proporsjonale. Du bestemmer resistansen ved å bestemme proporsjonalitetskonstanten.

Motstanden som du skal måle på har en oppgitt (nominell) resistans R = 1.2 kΩ. 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 5 der to multimetre brukes samtidig.

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. Sett måleresultatene inn i en oversiktlig tabell.

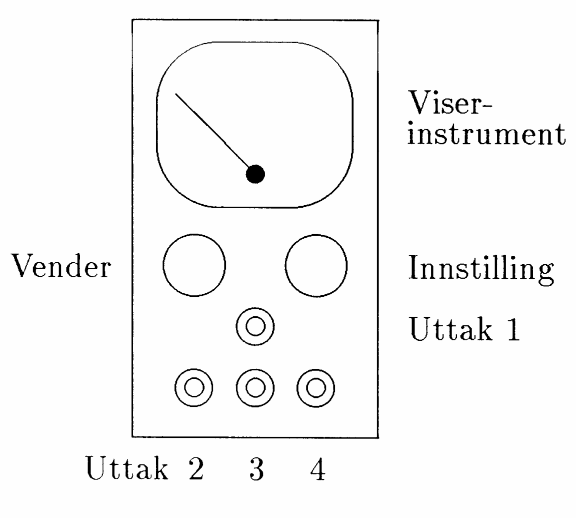


Figur 5: *Koblingsskjema for oppgave 1.*

Plott spenning som funksjon av strøm på et 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 7. Bruk store, klare symboler når målepunktene skal tegnes inn (se også kommentarer nedenfor).

Ohms lov sier at spenning og strøm er proporsjonale, resistansen *R* er da proporsjonalitetskonstanten som kan beregnes fra måledataene (se på side 8 hvordan dette gjøres). Beregn *R* fra den beste linjen du kan trekke gjennom punktene i din grafiske fremstilling. Bestem også resistansen 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.

Bruk av spenningskilden.



Figur 6: *Frontpanelet på spenningskilden som vi skal bruke.*

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?

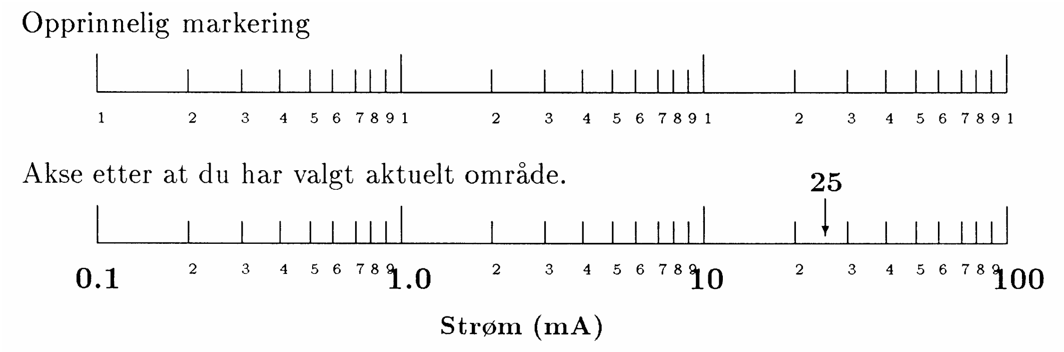
Mange er usikre på hvordan tallene på multimeteret skal forstås. Dersom sifrene ved spenningsmålingen f.eks. er 0.274, er dette da volt (V) eller millivolt (mV)? På noen multimetre gis også enheten benevningen på selve displayet. *Hvis ikke må du ta utgangspunkt i selve innstillingen.* Har du stilt inn 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. 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 7.



Figur 7: *Eksempel på hvordan en velger område og markering langs aksene på et logaritmepapir.*

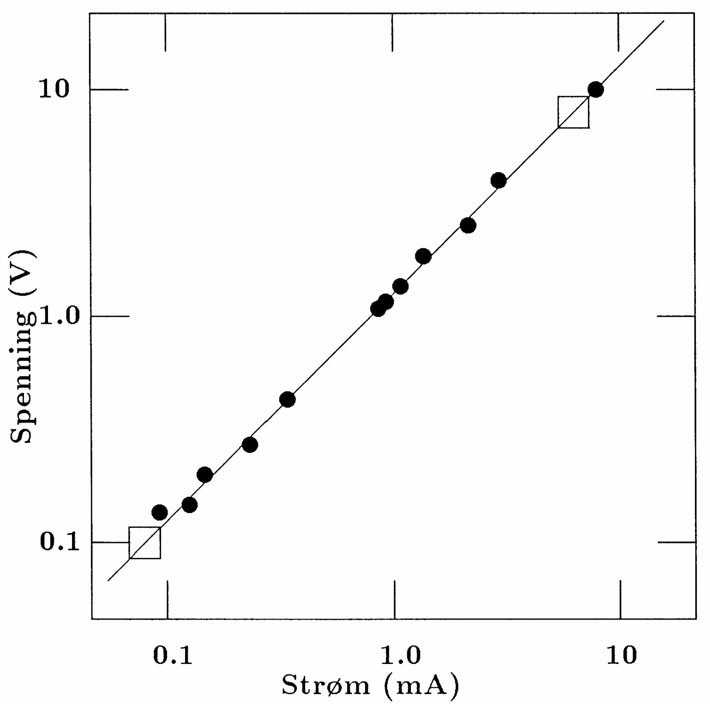
Figurtegning og bestemmelse av proporsjonalitetskonstanter.

I figur 8 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:

- 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 × ● □⊙○▽ 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).



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

Figur 8: *Eksempel på en grafisk framstilling.*

Vi har i figur 8 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. En mer utførlig behandling av temaet vil bli gitt i Modul 3.

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, fundamentale prinsipper. 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* kan det vises at summen av de to bidragene utgjør en usikkerhet som er kvadratsummen av de to enkeltbidragene, altså: $\pm\sqrt{(1.9)^2 + (0.1)^2}\ \Omega = \pm 1.9\ \Omega$.
(For kvadrat-summen av to tall bruker vi ofte symbolet ©, det vil si: 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). (Begrepet *uavhengighet* eller *stokastisk uavhengighet* gis i statistikken et presist matematisk innhold, som det vil føre for langt å gå inn på her)

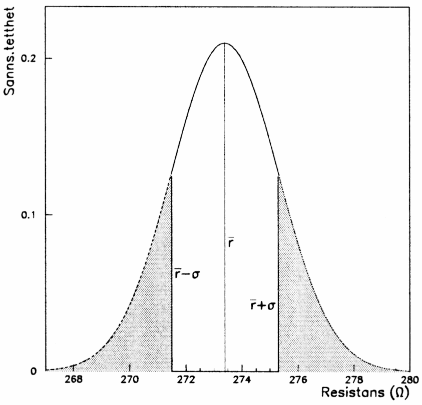
Sannsynligheten for at den sanne verdi skal være lik den målte verdi, *r*, er likevel ikke like stor uansett hvor *r* ligger i dette intervallet. Sannsynligheten er større for at sann og målt verdi ligger nær hverandre enn at de ligger langt fra hverandre. Dette kan vi fremstille grafisk, og sannsynlighets-fordelingen 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 9 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 9: *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 9 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 %

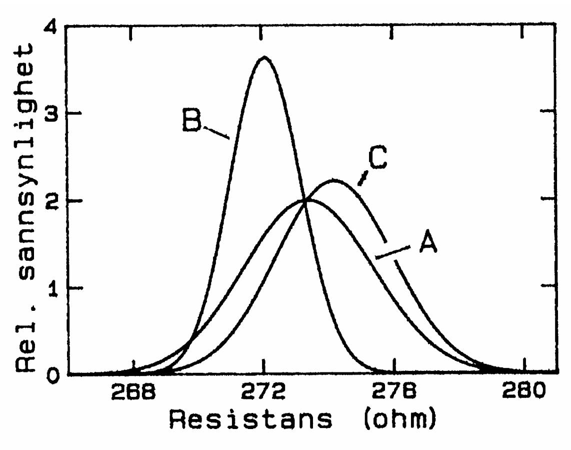
sikkerhet ligger i intervallet (271.5 - 275.3 Ω) (Arealet under kurven i intervallet $\bar{r} \pm \sigma$ er ca. 68 % av det totale areal.)

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 et *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 ofte inneholder samme systematiske feil.

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 10.

Måling	Estimat (Ω)	Usikkerhet (Ω)
A	273.4	± 2.0
B	272.1	± 1.1
C	274.2	± 1.8

Tabell 3: *Tenkte måleresultater med usikkerhet.*



Figur 10: *Grafisk angivelse av sannsynlighetsfordelingen for den sanne verdi av en resistans ved tre målinger med hver sin usikkerhet.*

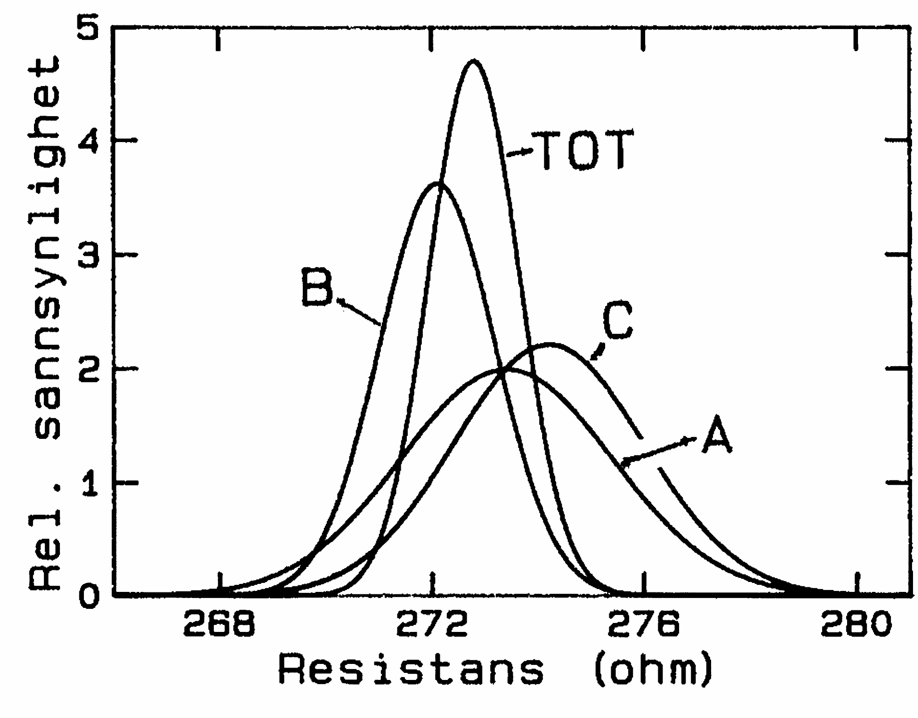
Du ser av figur 10 at gauss-kurvene ligger litt forskjøvet i forhold til hverandre og at målingen med minst usikkerhet gir en høyere og smalere kurve enn de andre (skyldes at arealet under hver av kurvene skal være lik 1.0).

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:

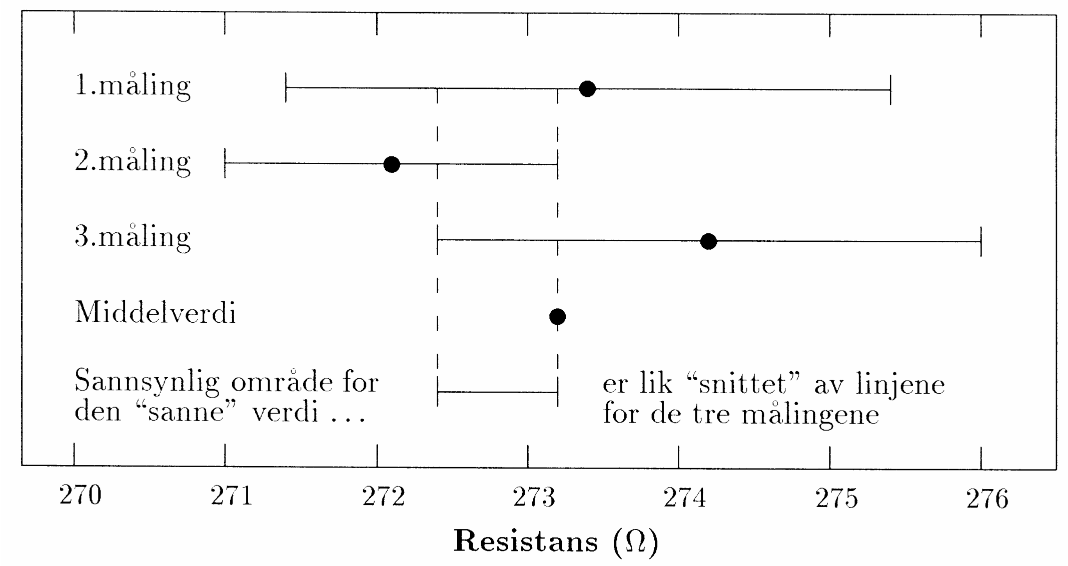
$$p_{TOT}(r) = konst \times p_A(r)\, p_B(r)\, p_C(r)$$

Ved å beregne p_{TOT} for de kurvene vi presenterte i figur 11 får vi resultatet som er vist i figur 11. 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} kurven 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 11 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 12. 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 12 er en grov forenkling av det vi så i figur 11. Likevel vil du se at "Sannsynlig område … " i figur 12 har en del til felles med fordelingen p_{TOT} i figur 11.



Figur 11: *Denne figuren inneholder de samme kurvene som på forrige figur, men i tillegg er også sannsynlighetfordelingen for de tre målingene samlet vist (p_{TOT}).*



Figur 12: *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 måle en og samme resistans med nominell verdi 270 Ω med tre ulike typer multimetre. 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 9. 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. Du skal også tegne resultatet inn i et diagram liknende figur 12. Prøv å angi et 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 12), er ingen metode du kan anvende i vitenskapelig sammenheng. Vi har konstruert det hele bare for å forenkle situasjonen. Skal du gjøre det mer seriøst, må du gå fram liknende det vi gjorde i figur 11, eller bruke analytiske metoder. I Modul 3 vil du lære mer om beregning av middelverdier og usikkerhet. I denne delen av kurset (Modul 1 og 2) begrenser vi teorien til stort sett å si: *Husk at en målt verdi ikke er en sann verdi, bare et estimat*.

Oppgave 3: Antall gjeldende sifre

Antall sifre som oppgis sier noe om nøyaktigheten man har i tallet. Det er for eksempel forskjell mellom 3000 og $3x10^3$. En gjennomgående feil både i hverdagen og i beregninger er at slurves når man oppgir antall gjeldene sifre. Den tilsynelatende nøyaktigheten er ofte større enn den virkelige. Det kan derfor være på sin plass å gi noen enkle regler for dette.

Ethvert måleresultat og beregnet resultat skal gis med riktig "antall gjeldende sifre". Men hva mener vi så med dette uttrykket? Vi vil illustrere det ved hjelp av eksempler. Studer dem nøye og legg spesielt merke til at antall gjeldende sifre *ikke* på noen måte har noe med "antall desimaler etter komma" å gjøre. Her kommer eksemplene:

45	har 2 gjeldende sifre
1498.723	har 7 gjeldende sifre
0.13	har 2 gjeldende sifre
0.00481	har 3 gjeldende sifre (NB!)
3000	har 4 gjeldende sifre
$3x10^3$	har 1 gjeldende siffer

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 $R = 273.2 \pm 2.0\ \Omega$, så skulle svaret ifølge denne regelen kun oppgis som $R = 273 \pm 2\ \Omega$.

En må likevel være litt varsom med denne regelen. Dersom f.eks. måleresultatet var $R = 273.4 \pm 1.1\ \Omega$, og en avrundet til å oppgi bare $R = 273 \pm 1\ \Omega$, så ville selve avrundingen (0.4 Ω) bli forholdsvis stor relativt til usikkerheten $\pm$ 1.1 Ω). I dette tilfellet ville vi unngå å følge regelen slavisk, og oppgi svaret som $R = 273.4 \pm 1.1\ \Omega$, eventuelt $273.4 \pm 1\ \Omega$. Dersom måleresultatet derimot var $R = 273.4 \pm 8.8\ \Omega$, ville vi fulgt regelen og gitt svaret som $R = 273 \pm 9\ \Omega$. 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 $(0.1/6.3) \cdot 100\ \% = 1.6\ \%$. 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 $R = 4.609756098\ \mathrm{k}\Omega$. 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.*

OPPGAVEN:

For å få litt øving med ”antall gjeldende siffer”, har vi laget en tabell med en rekke målte verdier og formlene de skal brukes i (tabellen finner du bakerst i øvelsesteksten). 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. 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 med tiden. I eksperimentalfysikk støter vi ofte på fenomener som varierer med tiden, og oscilloskopet er et standardinstrument for å registrere slike signaler. Vi legger vekt på at du allerede tidlig i dette kurset skal kunne håndtere et oscilloskop som måleinstrument. Vi vil gi deg erfaring med å bruke tradisjonelle, analoge, oscilloskop og mer moderne digital-skop. I denne innledende øvelsen vil vi bare bruke analoge oscilloskop

Et oscilloskop tegner på en måte en graf av hvordan en spenning varierer med tiden. 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. I de tradisjonelle oscilloskopene blir grafen tegnet av en elektronstråle på en fluorescerende skjerm. I moderne digitale oscilloskop blir signalet digitalisert og grafen tegnet opp på en LCD skjerm etter at dataene har vært gjennom enkle behandlingsrutiner. Man kan også få kjøpt "oscilloskopkort" til å sette inn i en PC.

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 starte tegningen av 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. Dernest må vi også kontrollere at denne startspenningen opptrer på samme flanke (positiv eller negativ) i signalet.

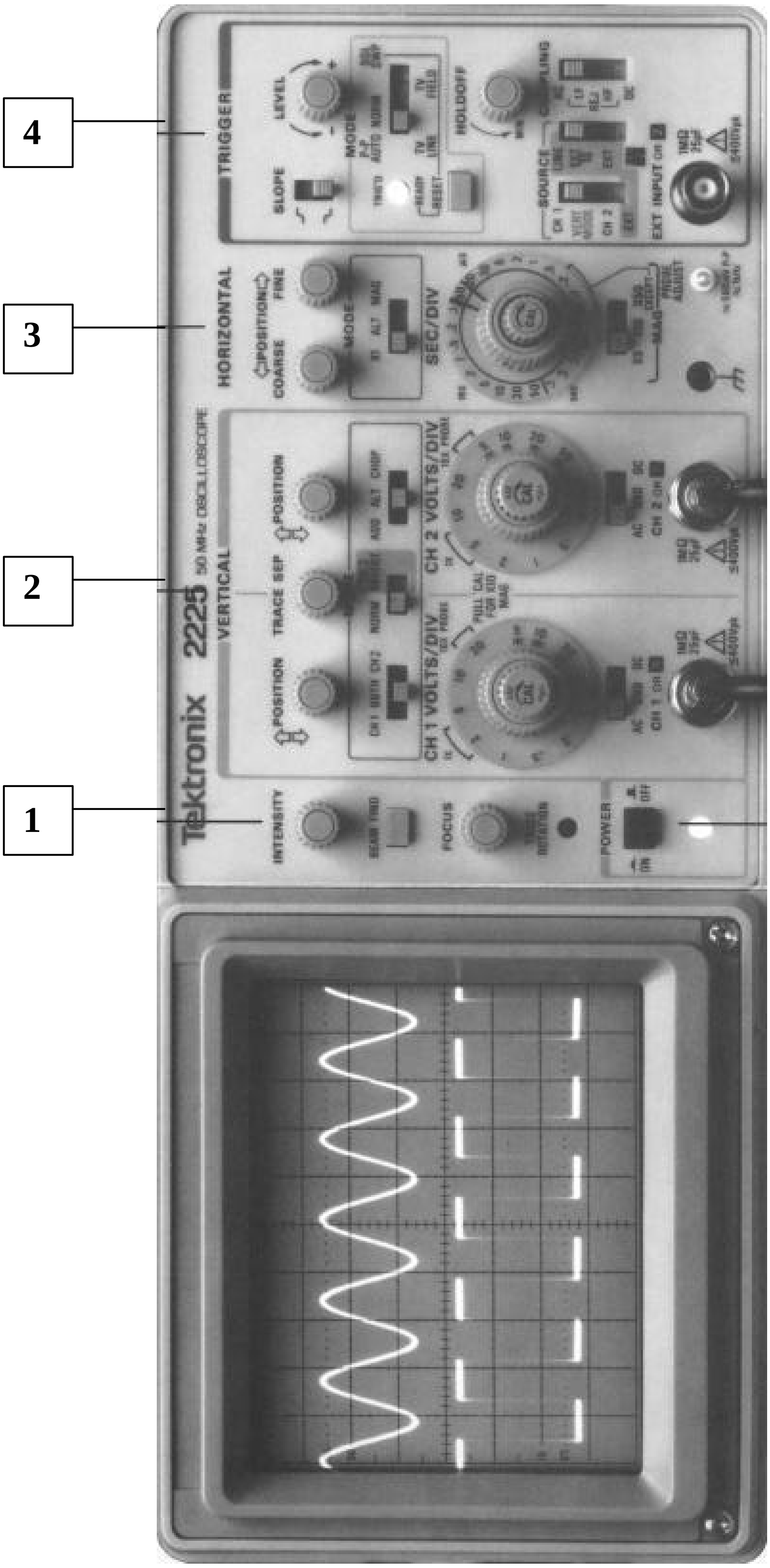
Oscilloskopet kan synes vanskelig å betjene når du møter det for første gang. Slik er det ofte med måleinstrumenter. Dersom du klarer å systematisere kontrollene slik at du vet hvilken *gruppe* de tilhører, og dersom du grovt sett vet hvilken funksjon hver gruppe har, så hjelper dette innlæringen. Et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

1. Skalering langs y-aksen (to nesten identiske sett for dobbeltstråleinstrument).
2. Skalering langs x-aksen.
3. Triggekontroll, hvor du velger hvor i signalgangen strålen skal starte og hvilken kanal som skal styre triggingen.
4. Av/på knapp, innstilling av intensitet og fokusering av elektronstrålen på skjermen.

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.

Våre oscilloskop.

I figur 13 er det vist et bilde av en av oscilloskoptypene vi har her på labben. Dette er et analog-skop. Du kan finne igjen de fire gruppene av kontroller:



Figur 13: *Frontkontrollene på et Tektronix oscilloskop.*

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* regulering (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, kanal 1 (Ch1) og kanal 2 (Ch2). Vi vil da også ha 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 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 *alltid* 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.

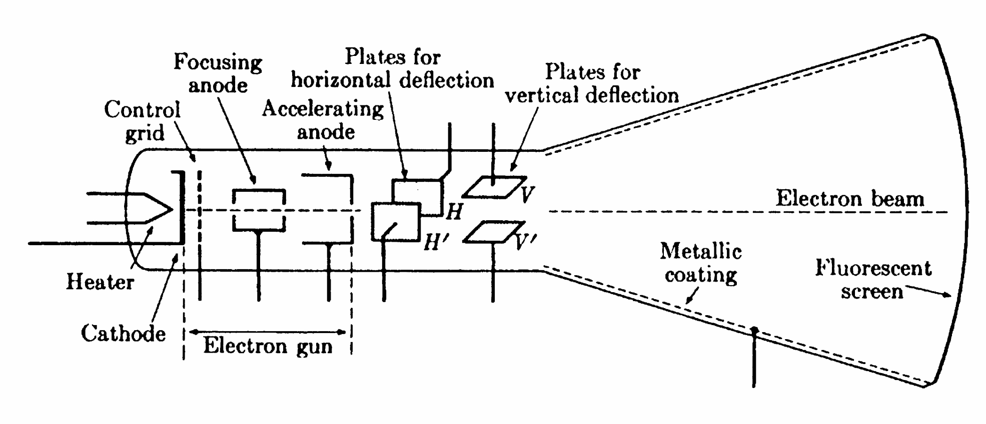
[a] **For de mest interesserte:**

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 (figur 14). På sin vei framover i røret passerer elektronene først elektroder som sørger for skarpstilling. Deretter blir de avbøyet i xy-retningene av to platepar med kontrollerbart elektrisk felt mellom hvert par. Feltet kontrolleres av signalet på inngangen (y-retning) eller fra en sagtann-spenningskilde (x-retning) (se nedenfor og figur 15).

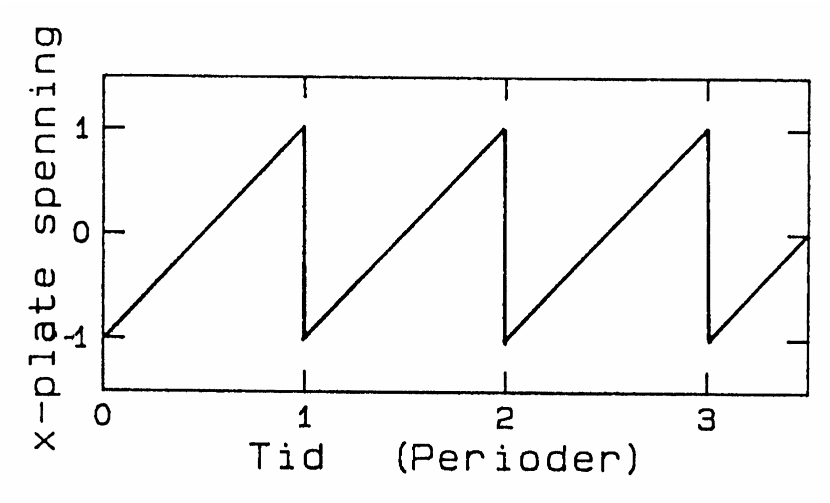
Skjermen er inndelt i et rutenett hvor hver av rutene er tilnærmet 1 cm^2. Den midterste av de horisontale linjene kalles gjerne for ”nullinjen” fordi vi ofte (men ikke alltid) lar strålen ligge langs denne linjen når det ikke er noe signal på inngangen, eller når inngangen er satt til GND.

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 15). 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).



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

For kontroll av spenningen over y-platene er det 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 17 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: *Sagtannspenningen 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.

Senere i kurset vil du også bruke et digitalt oscilloskop. Dette bruker en annen teknologi for å gi et skjermbilde, digitalisering av signalet og avtegning på en LCD skjerm. Det er også lagt inn en del programvare som gjør det mulig å foreta en del beregninger og få frem tall for, for eksempel, frekvenser og amplituder. Du vil imidlertid kjenne igjen de forskjellige knappene, og den logiske oppbygging av kontrollpanelet, med signaldel, tidsbasedel og triggerdel, fra det analoge oscilloskopet.

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 16 viser skjematisk frontpanelet til den type funksjonsgenerator vi bruker mest i dette kurset.

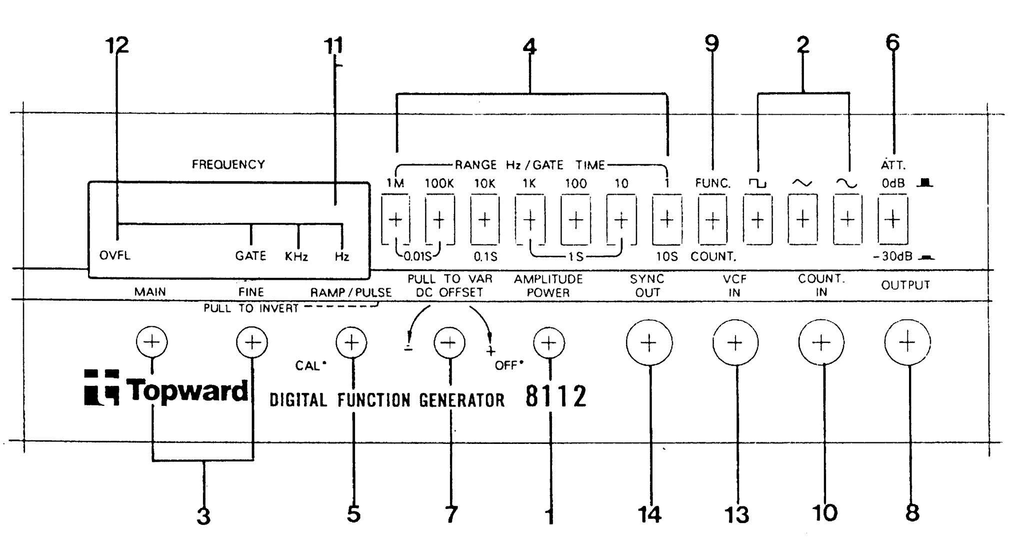
En funksjonsgenerator kan gi vekselspenninger, og frekvensen på disse varierer du med trykknapper (merket 4 i figur 16) og med to dreieknapper (merket 3). Frekvensen på signalet vises med tall på displayet (merket 12). Enhetene er angitt ved at det lyser over enten Hz eller kHz merket på displayet (merket 11).

Funksjonsgeneratoren kan gi tre forskjellige typer vekselspenning, nemlig firkant-spenning, trekantspenning eller sinusspenning, og du kan velge mellom disse ved trykknapper merket 2. 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).

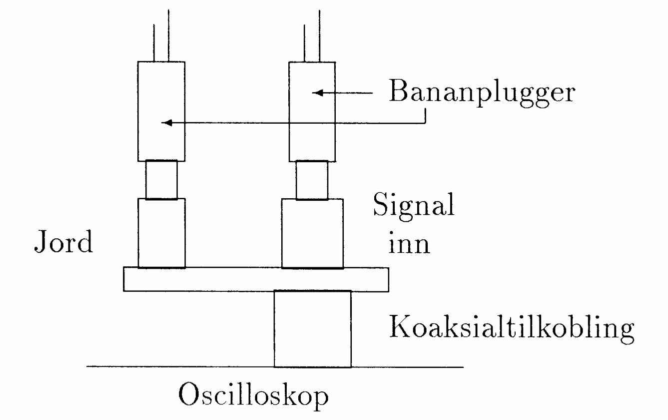
Signalet tar vi ut på koaksialpluggen merket 8. Du kan bruke spesiell ledning, en koaksialkabel, eller vanlige måleledninger med en "banan til BNC overgang". Koakskabelen består av en midtleder og en metallkappe (skjerm) som ligger som en sylinder omkring midtlederen. Begge lederne ligger symmetrisk 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". To styrepinner på pluggen på funksjonsgeneratoren eller oscilloskopet 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).

Ofte har vi bruk for å stille inn vekselspenningssignalet til en bestemt amplitude. Mange synes det er dumt at det ikke finnes en *skala* på amplitude-knappen. Grunnen er at amplituden fra funksjonsgeneratoren vil variere når vi belaster generatoren ved å koble den til forskjellig utstyr. Vi bruker derfor gjerne et oscilloskop for å stille amplituden slik vi ønsker den mens funksjonsgeneratoren er koblet inn i den aktuelle kretsen



Figur 16: *Frontpanelet på den type funksjonsgenerator som du kommer til å bruke mye i dette kurset.*

Våre funksjonsgeneratorer kan også brukes som frekvenstellere. Dette vil vi ikke bruke i dette kurset. Trykknapp 9 må derfor stå i ytre posisjon. Plugg 13 og 14 blir heller ikke brukt foreløpig. <u>Dreieknapp 5 skal alltid stå dreid helt til venstre</u> (mot urviseren).



Figur 17: *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 som regel plassert til siden for koaksialpluggen.*

En funksjonsgenerator skal primært levere en vekselspenning (AC). Har vi en *ren* vekselspenning, varierer denne omkring 0 V, men legger vi til en likespenning (DC), 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 4: 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!)

Signalet du skal se på hentes fra en funksjonsgenerator. Koble funksjonsgeneratoren til kanal 1 på oscilloskopet. Pass på at jord på funksjonsgeneratoren kobles til jord på oscilloskopet. (Bruker du en koakskabel vil jord og midtleder alltid komme riktig ut.) Funksjonsgeneratoren skal innstilles på omtrent 1000 Hz sinus, og amplitudeknappen settes ca. i midtstilling. Bruk 0 dB demping (knapp 6 i figur 16 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. 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).

Oppgave 5: Følsomhet og tidsbasesetting.

To av kontrollergruppene på oscilloskopet brukes for å velge skalering langs x- og y-aksene. I denne oppgaven vil vi at du skal forstå hva dette innebærer. Forsterkning i y-retningen må reguleres slik at signalet fyller ut en passe stor del av skjermen. Forsterkningen langs y-aksen varieres med V/DIV kontrollen. Bruk bare den trinnvise innstillingen!

Elektronstrålen må fare over x-aksen omtrent på like 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 eller µsec pr. rute ganger med antall ruter langs x-aksen, det vil si ti ganger SEC/DIV innstillingen.

Still nå 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 du får et godt bilde på skjermen. Pass først på at alle knapper merket med CAL er dreid med urviseren helt til de stopper, slik at de er i kalibrert posisjon.

Husk at 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. Avstanden mellom topp og bunn i signalet kaller vi "peak-to-peak" verdi, forkortet ptp.)

Dersom du ikke får et stillestående bilde på skjermen, kan dette skyldes at du trigger på feil kanal, at triggerkontrollen ikke står i AUTO, eller at du har feil innstilling av LEVEL på triggekretsen. Sjekk de to første innstillingen, og dersom de står riktig kan du dreie levelkontrollen forsiktig omkring midtstillingen til bildet kommer fram og blir forholdsvis stabilt. Får du ikke dette til selv, så spør en veileder om hjelp.

Varier tidsbase (SEC/DIV) og forsterkning (V/DIV) på oscilloskopet slik at du får et optimalt bilde på skjermen, dvs. at mellom 1.5 og 3 perioder av signalet tegnes på skjermen, og at kurven strekker seg over minst halve skjermen i vertikal retning. Noter innstillingene i skjema 2. (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 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. Husk å markere 0-nivået på Y-aksen. Det er ikke gitt at dette ligger på midten.

Sammenlign frekvensen bestemt ved avlesing på oscilloskopet med innstillingen på funksjonsgeneratoren.

Frekvensen bestemmer du slik: Innstill oscilloskopet slik at du har 1.5-3 perioder på skjermen med så stor amplitude som mulig. Flytt strålen (kurven) slik at utslaget blir like stort på begge sider av null-linjen. Finn avstanden i antall ruter mellom to sammenhørende skjæringspunkt av sinuskurven med denne linjen. Multipliser med den innstilte tid/rute for å finne periodetiden. (Merk at den minste inndelingen av rutene er 1/5 av ruten, ikke 1/10.) Frekvensen er da inversverdien til periodetiden, $f = 1/T$.

Oppgave 6: Forskjellen mellom AC og DC innstilling på et oscilloskop.

På oscilloskopet kan vi velge mellom AC, DC og GND på inngangene. I stilling GND (engelsk: ground) blir inngangen jordet. Dette brukes for å sette null-nivå for signalet. (Individuelt for hver kanal.) Hva er så forskjellen mellom AC og DC innstillingene?

Sett oscilloskopet i GND, og still strålen med POSITION slik at den ligger langs midtlinjen på rutenettet. Dette er nå 0-nivået. Still oscilloskopet deretter i DC funksjon.

Benytt et ca. 3 kHz harmonisk signal med 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 DC OFFSET knappen på funksjonsgeneratoren i midtstilling. Trekk ut knappen, og drei den sakte fram og tilbake rundt midtstilling. Beskriv hva du ser på oscilloskopet. Still oscilloskopet i AC funksjon og varier igjen DC OFFSET mens du betrakter signalet. 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 inn offset knappen). Still oscilloskopet i DC funksjon. Innstill 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 det du ser. Hvilken innstilling tror du gir det mest korrekte bildet av det virkelige signalet?

Utstyrsliste:

Del A:

Oscilloskop

Funksjonsgenerator (TFG 8112 eller lignende)

1 BNC - bananstikk overgang

Koaksledning

Del B:

Regulerbar spenningskilde (0-15V)
Tre forskjellige multimetre (Fluke 75, Caltek CM2500, Fluke 45)
Dekademotstand
Motstander: 270 Ω og 1,2 k Ω
mm-papir, dobbeltlogaritmisk papir

Sist oppdatert JAH 06.01.2006

Oppgave 3: Måleresultater og uttrykkene der disse inngår. Beregn svaret og oppgi dette med korrekt antall gjeldende sifre

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

Oppgave 4: Skjema for innstilling av oscilloskop og registrering av hva som skjer når kontrollene varieres

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

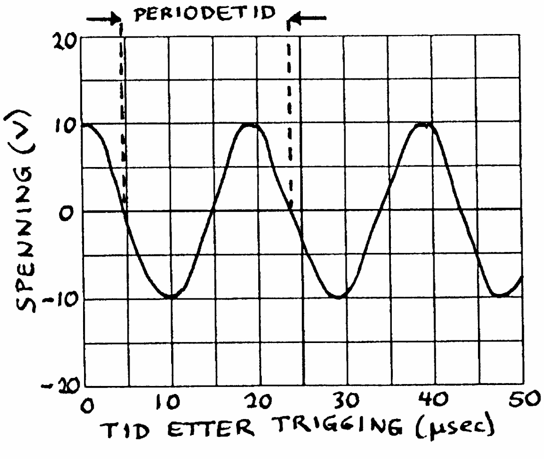
Skjema 2 : Innstilling av funksjonsgenerator, og for registrering av ”best mulig” innstilling av oscilloskopet (Oppgave 5).

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 dB demping for å lette innstillingen av denne amplituden.

Eksempel på inntegning og markering i rutenettet:



Signal: 60kHz, 10V (innstilt)

V/div: 5V/div

sec/div: 5 μsec/div

PERIODETID: (T)

3.7 ruter × 5μsec/rute = 18.5 μsec

FREKVENS: (f)

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