

# Strøm og Spenning

Oline A. Ranum

February 10, 2018

## Abstract

Eksperimentet er en gjennomgang av de viktigste metodene for måling av elektriske størrelser på labben. I artikkelens første segment gjennomgås noe sentral teori fra kretsanalysen og usikkerhetsmålingene. Deretter følger en metodisk gjennomgang av de ulike eksperimentene. I eksperiment A undersøkes det hvordan multimeteret utfører målinger og hvordan målingen selv påvirker kretsen. I eksperiment B undersøkes to metoder for måling av resistans og forskjellige måter å koble inn instrumenter på. I eksperiment C undersøkes behandlingen av en termistor-motstand. I eksperiment D undersøkes måling av AC-spenning med et oscilloscop sammenliknet med et multimeter. Det diskuteres så begrensninger og effekter av de ulike instrumentene. Eskpreimentene vil være illustrative for hva slags effekter instrumentene har på målingene som blir gjort og hvilke usikkerheter som assosieres med deres bruk.

## 1 Introduksjon

Eksperimentene som diskuteres herunder har til hensikt å utvikle en forståelse for de viktigste metodene ved måling av elektriske størrelser på labben. Ved å etablere en mer dyptgripende innsikt i instrumentenes mekanismer håper vi å bli bedre rustet til å forstå samspillet mellom relevant teori og eksperiment. Det vil si en forståelse for de praktiske effektene av måleinstrumenter på kretser og de fysiske begrensningene som naturlig ilegges mekanikken.

Da de færreste teoretiske konsepter kan representeres nøyaktig i praksis må vi nøye oss med tilnærmende metoder. Av den grunn er det helt sentralt å kontrollere effektene av den tilnærmelsen vi gjør og hvordan

instrumentet påvirker det forventede resultatet. Når et elektrisk måleinstrument kobles til en krets burde vi forvente en påvirkning på signalet i kretsen. Kun ved å vite hvordan dette signalet samvirker med parameteret vi ønsker å måle kan vi tilnærme oss den faktiske størrelsen og øke målingens nøyaktighet. I de følgende forsøkene vil slike effekter betraktes for målinger undergått ved en rekke forskjellige instrumenter.

## 2 Teori

### 2.1 Kretsanalyse i teori og praksis

Når vi konstruerer elektriske måleinstrumenter søker vi å lage instrumenter som i minst mulig grad påvirker signalet vi ønsker å måle. I den teoretiske analysen av elektriske kretser innebærer dette både motstandsfrie amperemetre og voltmetre med uendelig resistans. Da slike forhold er umulig å oppnå i praksis må vi isteden bygge instrumentene på tilstrekkelige og lett kontrollerbare materialer. Det vil si godt ledende metaller og materialer med høye resistanser hvis indre struktur vi forstår, slik at vi har en forståelse for effektene av instrumentet i kretsen.

I praksis er det slik at multimeteren vi benytter kun måler spenning. Det vil si at når et slikt multimeter benyttes som et ampere- eller ohmmeter så må de avleste størrelsene avledes fra spenningsmålingen. Det fremstår da rimelig å anta at disse beregningene gjøres i henhold til den teoretiske kretsanalysen, der Ohms- og Kirchhoffs lover er svært sentrale. Ohms lov postulerer at gir følgende relasjon mellom strøm, spenning og resistans. Når to av størrelsene er kjent for instrumentet, kan den siste enkelt beregnes.

$$U = RI \quad (1)$$

Der  $U$  er spenning,  $R$  er motstand og  $I$  er strømmen. Kirchhoffs lover etablerer så konserveringen av elektrisk ladning og elektrisk energi i strømkretser.

$$\sum_{k=1}^j I_k = 0 \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^j V_k = 0 \quad (3)$$

Kirchhoffs lover kan derav benyttes til å finne ukjente strømmer, spenninger og motstander over komponenter ved direkte relasjoner eller ved å etablere større ligningssystemer.

## 2.2 Behandling av usikkerheter

For direkte målinger med instrumenter av typen som her benyttes vil usikkerhetene alltid være angitt i instrumentets datablad. Usikkerheten kan så estimeres ved hjelp av den simple relasjonen

$$\frac{\text{Målt verdi} \times \text{Feilprosent}}{100} + \text{feil i siste siffer} \quad (4)$$

Når de målte tallene derimot kun er parametere som inngår i en funksjon må en ny usikkerhet også estimeres. Ved eksperimentene som utføres her vil vi kun få behov for å estimere usikkerheter ved funksjoner av typen fraksjoner. Squiers angir at slike usikkerheter kan beregnes ved

Relasjon mellom Z og A,B	Relasjoner mellom standardfeil
$Z = A/B$	$\frac{\Delta Z^2}{Z^2} = \frac{\Delta A^2}{A^2} + \frac{\Delta B^2}{B^2}$

Der Z angir den nye størrelsen, A og B angir de målte parameterene som inngikk i funksjonen og  $\Delta A, \Delta B, \Delta Z$  angir de korresponderende usikkerhetene.

## 3 Eksperimentelt

Utstyrliste	Modell	Serienummer
Ett håndholdt multimeter	Fluke 75	8428.1504
Ett Lab-multimeter	Fluke 45	0266.1994
Breadboard		
Motstand 10 $\Omega$		
Motstand 1 M $\Omega$		
Termistor		
Variabel spenningskilde $\pm 15$ V		
Oscilloscop	PicoScope 2000 Series	
PC med AD-omformer	NI USB-6211	
Løse ledninger		
Koaks-kabel med BNC i hver ende		
To BNC-til-banan-overganger		
EN BNC-forgreining		

### 3.1 Eksperiment A: Måling av multimeter

Det første forsøket vi utførte var sentrert om å la to multimeter måle på hverandre ved tre ulike målingsinnstillinger. Formålet er å få en bedre

innsikt i hvordan et multimeter måler strøm, spenning og motstand, og hvordan måleinstrumentene påvirker kretsen de selv måler på.

Som illustrert i figur 1 seriekoblet vi et håndholdt Fluke 75 multimeter til ett Fluke 45 Lab-multimeter. Vi varierte så på multimeterenes innstillinger, og måledataen vi registrerte finnes i tabell 1, 2 og 3 under seksjonen for resultater. Målingene ble gjort etter følgende mønster og rekkefølge.

Før vi kobler opp kretsen settes raten til både Fluke 45 og Fluke 75 til Slow, som korresponderer til den største følsomheten. Vi kobler så opp kretsen i figur 4, der Fluke 45 innstilles til å måle DC strøm og Fluke 75 til å måle motstand. Fluke 45 kobles først til porten for måling av DC strømmer på 10 Ampere i Fluke 75, for å undersøke strømmens størrelsesart. Strømmen viser seg å være for liten til at denne konfigurasjonen kan produsere nyttig data. Derfor kobles Fluke 45 til inngangen for 300 mA, og målingene avleses. Deretter lar vi multimeterene bytte funksjoner med hverandre, og gjør et nytt sett med målinger. Dataen er registrert i tabell 1

Ved den andre konfigurasjonen vi gjør settes Fluke 45 til å måle motstand og Fluke 75 til å måle DC spenning. Vi regulerer så raten på Fluke 45 mellom innstillingene S (Slow), M (Medium) og F (Fast). Vi ønsker å gjøre betraktninger over hvordan endringer i følsomheten virker inn på måledataen. Deretter lar vi multimeterene bytte funksjon igjen, og noterer målingene i tabell 2.

Ved den tredje konfigurasjon settes Fluke 45 til å måle DC strøm og Fluke 75 til å måle DC spenning. Resultatene er angitt i tabell 3. Usikkerhetene ved både Fluke 45 og Fluke 75 er angitt i egne tabeller under appendix A.

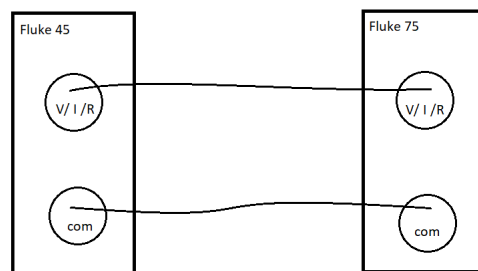


Figure 1: Krets-skisse for seriekobling av multimeterer ved eksperiment A

### 3.2 Eksperiment B: Motstand, likestrøm og like spenningsmålinger med multimeter

For å teste verdien av motstandene ohmes begge resistanser med klypeledninger seriekoblet til Fluke 75 multimeteret. Jeg sjekker først at  $R1 \sim 10\Omega$  og etterpå sjekker jeg at  $R2 \sim 1M\Omega$ . Begge verdiene er tilnærmet riktig, og angitt under i tabell 4 og 5.

Vi ønsker så å måle like spenningen og likestrøm gjennom en krets som anvist i figur 2. Vi benytter videre Fluke 45 som amperemeter da dette multimeteret har den høyeste nøyaktigheten, og Fluke 75 stilles vil anvendes som voltmeter. Før oppkobling søker vi å velge en passende spenning for hver motstand der vi har benyttet likning ???. Vi antar at en vanlig motstand av typen vi har anvendt tåler maksimalt omtrent 0.25W. Følgelig er det ønskelig å påtrykke en spenning på 1V over motstand R1 og 15V over motstand R2.

$$V(R1) = \sqrt{PR_1} = \sqrt{0.25W \times 10\Omega} = 1.58 \quad (5)$$

$$V(R2) = \sqrt{PR_2} = \sqrt{0.25W \times 1M\Omega} = 5 \times 10^5 V \quad (6)$$

Deretter kobler vi i samarbeid opp kretsen angitt i figur 2, der motstanden er koblet opp i et breadboard. Vi måler spenningen påtrykket av spenningskilden med fluke 75 multimeteret før vi kobler inn resten av kretsen. Motstanden kobles i hver sin tur til breadboardet, deretter kobles multimeterene inn og så kobles spenningskilden til. Deretter tas mål over motstanden R1, før vi bytter motstand og påtrykket spenning og tar mål over motstanden R2. Resultatene er angitt i tabell 6 og 7. Avslutningsvis endrer vi koblingen av multimeteret til kretsen angitt i figur 3 for å undersøke om det har noe å si hvor på kretsen vi måler usikkerheten. Deretter anvendes Ohms lov til å beregne motstanden, diskusjon omkring usikkerheter og resultater ligger inn under sine respektive kategorier. Dette innebærer blant annet at en ny usikkerhet må estimeres i henhold til funksjonen for å beregne R. Se resultater for disse beregningene.

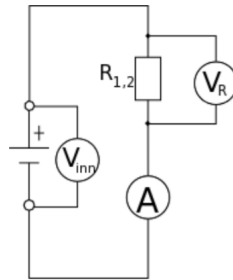


Figure 2: Skjematisk oppsett av krets for likespenningsmåling

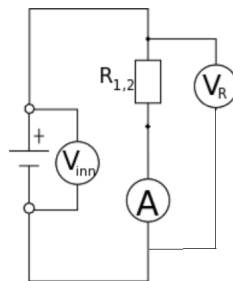


Figure 3: Skjematisk oppsett av krets for likespenningsmåling

### 3.3 Automatiserte målinger av termistor-motstand

Ved oppkobling av kretsen tas utgangspunkt i at computeren allerede er koblet til Picoscopet. Deretter kobles akvisisjonsboksen til jord i termistoren, og termistoren videre inn i AI0 på akvisisjonsboksen. Det settes opp en parallellkobling til inngang AI0 til breadboardet, og fra breadboardet inn i AI1. Vi kobler opp en motstand  $R = 1M\Omega$  til breadboardet, og Maiken skrur fast koblingene inn i akvisisjonsboksen mekanisk med en passende skrutrekker. Oppkoblingen er illustrert i figur 3.3 Maiken gjør så en test av kretsen ved å måle spenningen over motstanden og jord i breadboardet. Der finner vi en testforsyning på 5V og avlester 2.5 V, som skyldes påvirkningen av termistoren. Deretter stilles forsyningen inn på 5V og vi gjør følgende eksperimenter ved hjelp av det vedlagte scriptet.

1. Vi lar termistoren ligge i luften uten å eksponere den for neon direkte endringer i temperaturen. eVi gjør forsøket over 60 sekunder og resultatene er illustrert i plot 1.

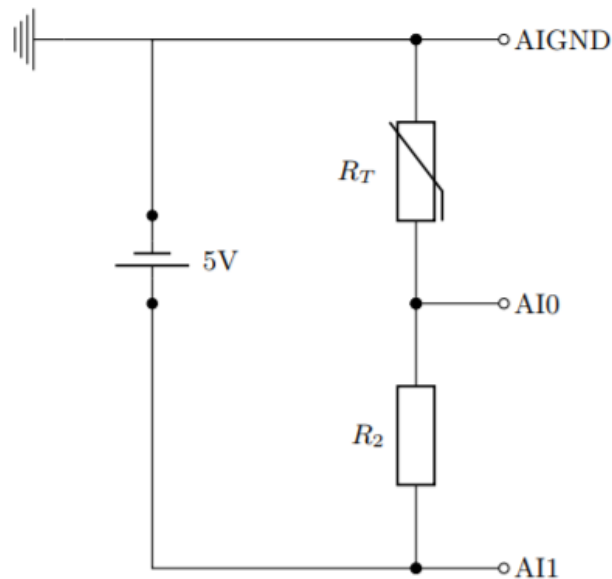


Figure 4: Skjematisk oppsett av krets for laboppgave C

2. Vi gjør så et forsøk der vi lar termistoren ligge i luften i ca. 20 sekunder før jeg presser finrene mine mot termistoren. Etter omtrentlig 20 nye sekunder slipper jeg termistoren og vi ser kurven falle. Endringene som skjer i motstanden er illustrert i plot 2.

### 3.4 Vekselspenning med frekvensgenerator, oscilloscop og multimeter

I denne seksjonen skal vi betrakte ulike funksjonsformer av spenningen ved hjelp av et oscilloscop. AC-spenningen vil leveres av en innebygd generator i PicoScope 2000. Maiken gjør oppkoblingen ved å direkte koble utgangen AWG til inngang A på scoopet. Vi stiller så funksjonsgeneratoren inn etter kravene satt av skjemaet vedlagt. Videre gjør vi oss godt kjent med oscilloscopets funksjoner, og fyller følgelig ut skjemaet. Se appendix A for resultater. Vi betrakter sinus-, sagtann- og firkantkurver ved varierende parametere. Et eksemplifiserende sett er vedlagt under resultater. Vi henter så ut den målte spenningen fra funksjonsgeneratoren med hvert av signalene med fluke 75 innstilt på AC-funksjonen. Vi ønsker så å måle DC-komponenten ved sinussignalet og gjør dette ved å måle likestrømgjennomsnittet på Picosopet og Fluke 45 multimeteret.

## 4 Resultater

### 4.1 Måling av multimeterere

Table 1: Data ved måling av multimeterere - Første konfigurasjon.

Instrument	R [ $\Omega$ ]	I [mA]
Fluke 45	$5.900 \pm 0.006$	$0.4972 \pm 0.0015$
Fluke 75	$11.500 \pm 0.2301$	$0.7800 \pm 0.0003$

Table 2: Data ved måling av multimeterere - Annen konfigurasjon.

Rate Fluke 45	S	S	M	M
Instrument	R [ $M\Omega$ ]	U [V]	R [ $M\Omega$ ]	U [V]
Fluke 45	$11.100 \pm 0.015$	$0.72672 \pm 0.00021$	$11.100 \pm 0.031$	$0.7267 \pm 0.0003$
Fluke 75	$10.020 \pm 0.003$	$1.563 \pm 0.001$	$10.020 \pm 0.003$	$1.563 \pm 0.001$
Rate Fluke 45	F	F		
Instrument	R [ $M\Omega$ ]	U [V]		
Fluke 45	$\sim$	$\sim$		
Fluke 75	$10.020 \pm 0.003$	$1.563 \pm 0.001$		

Table 3: Data ved måling av multimeterere - Tredje konfigurasjon.

Instrument	I [mA]	U [V]
Fluke 45	-0.002	0.00
Fluke 75	-0.003	0.00

Det bemerkes at det ikke er noen motstandsmåling og følgelig ikke et batteri i kretsen. Det bemerkes at strømveridene fluktuerer konstant i et intervall [-0.001,-0.003] mA.

### 4.2 Motstand, likestrøm og likespenningsmålinger med multimeter

Tabell 4 og 5 angir de målte motstandende med henholdsvis et fluke 75 og fluke 45 multimeter. Data presentert i tabell 6 og 7 korresponderer til



Table 4: Data ved målte resistanser i Fluke 75

Instrument	R [ $\Omega$ ]	Sensitivitet
R1	$10.0 \pm 0.1$	To barer
R2	$1.002 \times 10^6 \pm 0.001$	To barer

Table 5: Data ved målte resistanser i Fluke 45

Instrument	R [ $\Omega$ ]	Sensitivitet
R1	$10.264 \pm 0.008$	S
R2	$1.0019 \times 10^6 \pm 0.009$	S

målingene gjort i eksperiment B for henholdsvis konfigurasjonen i figur 2 og 3.

Table 6: Data fra eksperiment B ved oppkobling som i figur 2

Motstand	U[V]	I [mA]	Oppløsning i 45	Oppløsning i 75
R1	$0.489 \pm 0.003$	$44.756 \pm 0.027$	S	Optimal
R2	$15.03 \pm 0.06$	$0.0164 \pm 0.0015$	S	Optimal

Table 7: Data fra eksperiment B ved oppkobling som i figur 3

Motstand	U[V]	I [mA]	Oppløsning i 45	Oppløsning i 75
R1	$1.007 \pm 0.005$	$44.965 \pm 0.027$	S	Optimal
R2	$15.03 \pm 0.06$	$0.0149 \pm 0.0015$	S	Optimal

Ohms lov benyttes for å beregnes motstandene med utgangspunkt i målt spenning og strøm. Beregner resistansen  $R_1$  ved målt data:

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{0.489V}{44.765mA} = 10.9\Omega \quad (7)$$

Beregner ny usikkerhet

$$\Delta R = \sqrt{\left(\frac{0.003}{0.489}\right)^2 + \left(\frac{0.027}{44.756}\right)^2} \times 10.9\Omega = 0.669 \quad (8)$$

Følgelig er estimert motstand

$$R_1 = 10.9 \pm 0.669\Omega \quad (9)$$

Beregner resistansen  $R_2$  ved målt data:

$$R_2 = \frac{U_2}{I_2} = \frac{15.03V}{0.0164mA} = 0.916M\Omega \quad (10)$$

Beregner ny usikkerhet

$$\Delta R = \sqrt{\left(\frac{0.06}{15.03}\right)^2 + \left(\frac{0.0015}{0.0164}\right)^2} \times 0.916M\Omega = 0.0839M\Omega \quad (11)$$

Følgelig er estimert motstand

$$R_2 = 0.916 \pm 0.0839M\Omega \quad (12)$$

### 4.3 C. Automatiserte målinger av termistor-motstand

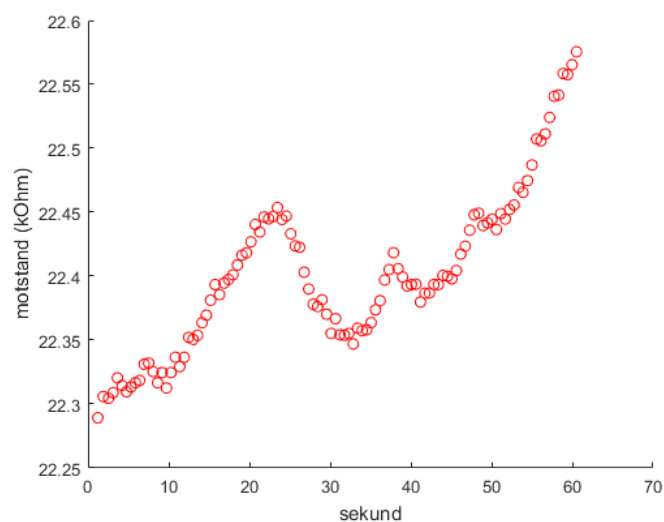


Figure 5: Termistor-motstand som ligger fritt i luften uten noen eksterne påkjenninger

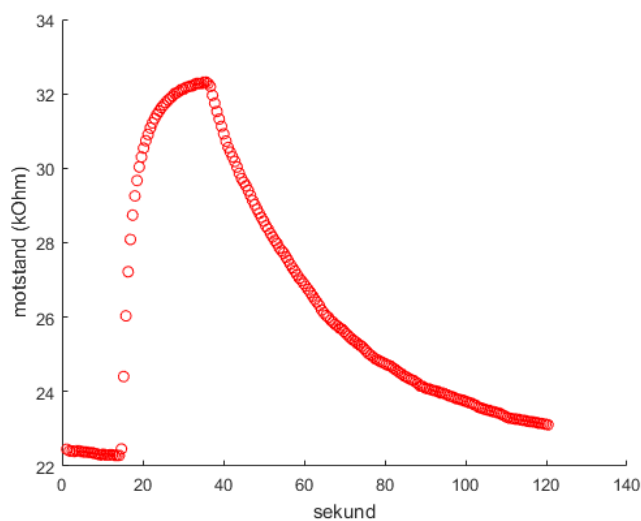


Figure 6: Termistor-motstand som ligger fritt i luften uten noen eksterne påkjenninger

#### 4.4 D. Vekselspanning med frekvensgenerator, oscilloscop og multimeter

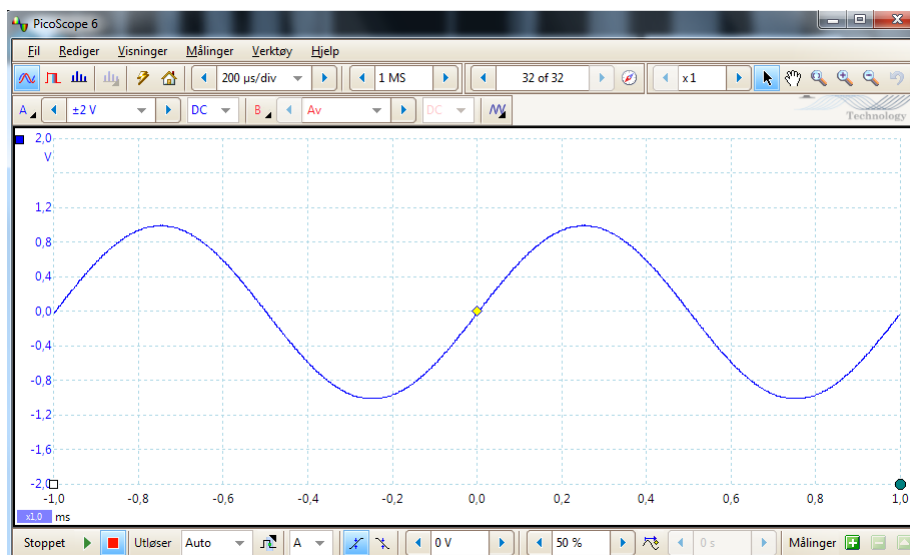


Figure 7: Sinuskurve med amplitude = 1.0

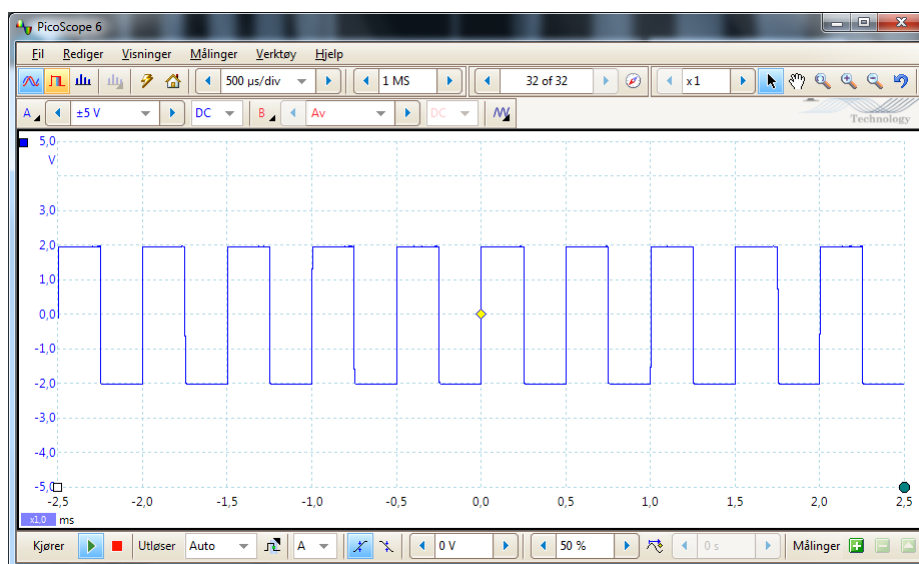


Figure 8: Firkantkurve med amplitude = 2.0

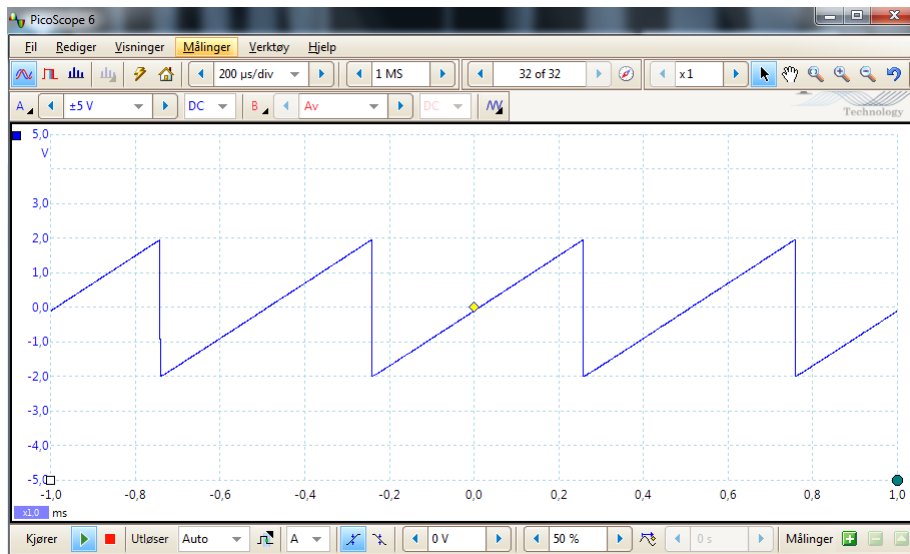


Figure 9: Sagtannkurve med amplitude = 2.0

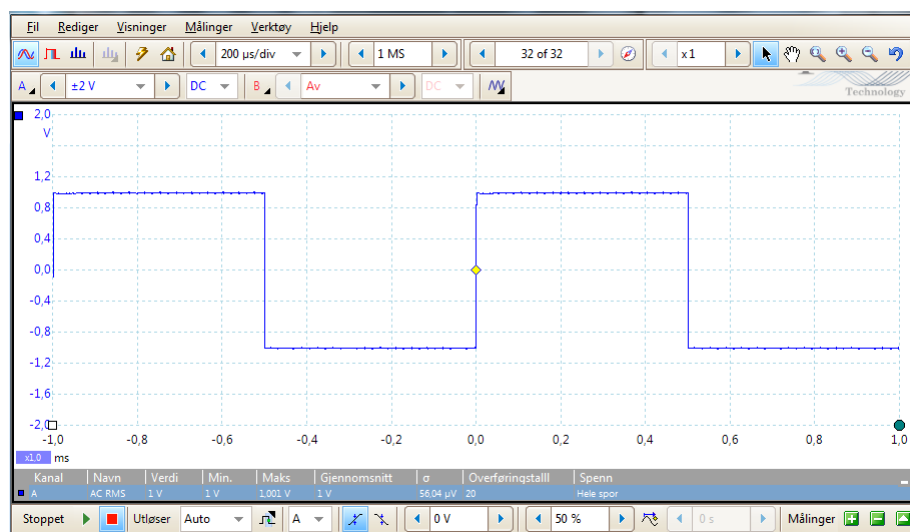


Figure 10: Firkantbølge med AC RMS verdi tillagt

Signaltype	Verdispenn [V]	$\mu\text{s}/\text{div}$	Frekvens [kHz]	U [V]
Sinusbølge	$\pm 2$	200	1	0.70532
Sagtannbølge	$\pm 5$	200	2	1.1430
Firkantbølge	$\pm 5$	500	2	1.988

Den siste kolonnen angir den målte spenningen fra funksjonsgeneratoren for hvert av signalene.

Måling av likestrømsgjenomsnittet ved sinussignalet:

Instrument	U [mV]	rate
Picoscop	989	
Fluke 45	997.65	S

## 5 Diskusjon

### 5.1 Måling av multimeter

Det totale bildet utgjort av de tre konfigurasjonene ved eksperiment A gir et grunnlag for å forstå hvordan et multimeter opererer som voltmeter, amperemeter og ohmmeter. Det mest fremtredende resultatet fra eksperimentet er at vi i konfigurasjon 3 (jf. tabell 3) ikke måler noen spenning eller betydningsfull strøm. Dette er en indikator på at ohmmeteret innehar en form for spenningsforsyning som induserer en strøm i kretsen. Med tanke på at strømmen som måles ved de andre konfigurasjonene er av størrelsesorden mA kan vi anta at spenningsforsyningen supplerer en relativt lav spenning. At spenningen er lav er å forvente da det naturligvis er ønskelig at ohmmeteret skal interferere minst mulig med selve kretsen. Da det også er gitt at multimeteret kun måler spenning må vi regne med at det eksisterer en motstand i ohmmeteret som lar ohmmeteret beregne spenningen. Da spenningstilførsel, strøm og motstand i ohmmeteret allerede er kjent for instrumentet vil det for eksempel være mulig å beregne resistansen ved det andre multimeteret ved hjelp av Kirchhoffs spenningslov og ohms lov. Vedrørende det minimale utslaget som likevel gis på amperemeteret kan dette skyldes feilkilder eller andre forstyrrende elementer som i praksis kan oppstå i kretser. Figur ?? illustrerer ideen bak ohmmeterinnstillingen.

For den første konfigurasjonen måles resistansen over et amperemeter og strømmen gjennom et ohmmeter. Fra et teoretisk perspektiv er det igjen lite overraskende at motstanden over et amperemeter er liten, da vi søker at et amperemeter ideelt sett skal være resistansfri. Det vil likevel være et lite utslag på motstanden da det i praksis ikke eksisterer ideelle ledere. At strømmen gjennom ohmmeteret også er liten korresponderer godt til ideen om hvordan ohmmeteret setter opp en lav spenning. Trolig benytter amperemeterinnstillingen også Kirchhoffs lover og kjente relasjoner fra kretsanalysen for å beregne den ukjente parameteren.

Ved den andre konfigurasjonen måles resistansen over et voltmeter og spenningen over ohmmeteret. Som forventet i henhold til teori er resistansen i voltmeteret relativt stort. Ettersom resistansen ideelt sett skal

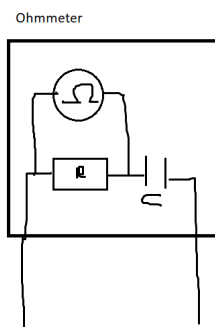


Figure 11: Hvordan et parallellkoblet ohmmeter virker

være oppimot uendelig tilnærmer vi denne situasjonen ved å la et volt-meter lese spenningen over et sampel med høy resistans. At den avleste spenningen over ohmmeteret er såpass lav relativt til resistansen er en indikator på at strømmen som går gjennom instrumentet er svært lav. Spenningen avleses trolig ved en metode som ligger tett opptil den beskrevet under seksjonen for teori.

For den andre konfigurasjonen har vi også undersøkt ulike rate innstillinger for Fluke 45 multimeteret. Den høyeste nøyaktigheten er angitt ved rate S. Det observeres at innstillingen i praksis ikke skiller seg stort fra resultatene angitt ved rate M, forutenom en minimal nøyaktighetsøkning og noe variasjoner i de angitte usikkerhetene. For den siste rateinnstillingen F fluktuerer derimot måledataen kraftig og det er ikke mulig å lese noe ut av dataen som produseres.

Trolig fungerer begge multimeterene ved de samme mekanismene, men det er rimelig å anta at lab-multimeteret evner å foreta mer nøyaktig og presise målinger enn det håndholdte multimeteret. Dette vises i resultatene der Fluke 45 angir et siffer mer enn Fluke 75 presenterer. Det ser videre ut som om spenningsmålingene ved Fluke 45 har en gjennomgående betydelig lavere usikkerhet for rate S og M, mens usikkerheten omkring motstandsmålingene er høyere enn for Fluke 75.

## 5.2 Motstand, likestrøm og likespenningsmålinger med multimeter

Hvor på kretsen man måler spenningen vil ha noe å si for hvilken verdi som måles. Spenningen måles over komponentene, og er en konsekvens av komponentens indre resistans. Dette kan også bekreftes ved å sammen-

ligne måledataen fra tabell 6 og tabell 7. Som allerede fastslått vil et amperemeter ha en svært liten motsand, og følgelig vil ikke spenningsendringene være så drastiske. Det observeres at koblingsendringen har langt mer å si for  $R_1$  enn  $R_2$ . Noe som ikke kommer som en overraskelse da den relative forskjellen mellom  $R_1$  og resistansen i amperemeteret er langt mindre enn for den andre motstanden. Dette illustrerer eksperimentelt hva vi allerede forventet fra teorien.

Når vi beregner usikkerhetene ut ifra den målte spenningen og strømmen blir usikkerhetene assosiert med parameteret betraktelig større. Med andre ord kan en slik estimering av motstand føre til større systematiske feil med tiden, og motstanden burde trolig måles direkte der det lar seg gjøre.

### 5.3 Automatiserte målinger av termistor-motstand

I figur fem observeres den uberørte termistormotstanden. Vi ser at det er små variasjoner i motstanden over tid. Det endringsspennet som allikevel antydes på grafen skyldes trolig naturlige temperaturvariasjoner i luften. Dette er en indikator på instrumentets sensitivitet. Den naturlige stigende tendensen i plottet skyldes trolig en tilfeldighet ved når vi målte i henhold til temperaturfeltet omkring termistoren i perioden. Trenden kunne trolig like fullt vært avtakende.

I figur 6 har vi derimot eksponert grafen for en brå og relativt kraftig temperaturendring. De små variasjonene som fremgikk i figur fem fremstår lineære og relativt konstant i henhold til den nye endringen. Det ser tilsynelatende også ut som om endringen av temperatur observert av termistoren følger en eksponentiell trend. Det kan videre se ut som om motstanden i termistoren vil stabilisere seg noe over sitt utgangspunkt. Hadde målingene vært utført over en lengere periode vil man med større nøyaktighet kunne uttalt seg om dette. Ergo kan et slik resultat enten være en indikator på at det ligger noen form for permanent eller lengre varig motstandsending, eller bare en videreførelse av det eksponentielt avtakende tapet.

### 5.4 Vekselspenning med frekvensgenerator, oscilloscop og multimeter

Når man skal betrakte sammenhengen mellom spenningene angitt av multimeteret og de verdiene vi ser på skopet er disse angitt av RMS-verdien. Vi kan uttrykke følgende relasjoner mellom spenningsutslagene:



Bølgetype	U-Picoscop [ $V_0$ ]	U-Fluke 45 [V]	Relasjon	V estimert ved $V_0$
Sinusbølge	1.0	$0.705 \pm 0.101$	$V = \frac{V_0}{\sqrt{2}}$	0.707
Sagtannbølge	2.0	$1.430 \pm 0.103$	$V = \frac{V_0}{\sqrt{3}}$	1.155
Firkantbølge	2.0	$1.988 \pm 0.104$	$V = V_0$	1.988

Som kan observeres gir disse relasjonene i varierende grad nøyaktige estimater relativt til den målte verdien. Det bemerkes en relativt stor feil ved særlig sagtannbølgen. Ut ifra tidligere feilbetraktninger i denne rapporten er det grunn for å tro at det mest nøyaktige er å bruke multimeteret til å måle spenningen. Ser vi til slutt på en tillagt AC RMS for spenningen ser vi at denne har et standardavvik på kun  $56.04 \mu\text{V}$ , og vil igjen være langt mer nøyaktig.

## 6 Konklusjon

I denne rapporten har vi sett på mekanismene omkring multimeterer, termistorer, frekvensgeneratorer og oscilloscoper. Vi har blitt bedre kjent med bruken av disse, og undersøkt mer dyptgripende hvordan og hvorfor instrumentene interagerer med kretsen de behandler. Vi har funnet at det er en risiko ved multimeterer supplerer en viss spenningskilde i kretsen, og hvordan vi skal analysere denne for senere å kunne trekke den fra et endelig resultat.

Videre har vi observert at usikkerheten blir større når den estimeres fra andre målte parametre enn ved en direkte måling ved et ohmmeter. Kanskje vil det i en situasjon som herover derfor være bedre å søke å måle elektriske størrelser direkte der det lar seg gjøre. Da dette ikke alltid er mulig forstås i lys av denne artikkelen behovet for å kunne beregne nye estimerte feil. Vi har også vist at det kan være av betydning hvor langs kretsen disse målingene utføres

Mot de to siste eksperimentene har vi sett nærmere på hvordan målinger kan automatiseres ved hjelp av termistor-motstander. Ved det enkle eksperimentet kunne vi gjøre noen betraktninger om termistorens sensitivitet og hva slags tendenser endringsratene i termistoren følger. Vi så også litt på vekslespenningene produsert i en frekvensgenerator ved hjelp av oscilloscoper og multimeterer. Vi fant at relasjonen mellom de avleste verdiene er gitt ved en RMS-verdi, men valgte på grunnlag av tidligere spekulasjoner å holde oss til at en direkte måling ved multimeteret var den beste. Da vi inntil videre fant at det var lettest å frembringe et feilestimat for denne metoden.

## References

- [1] G. L. Squires, Practical Physics, Cambridge University Press 2001, 4th edition

# Appendix A

## Usikkerheter

### Fluke 45

DC VOLTAGE					
Range	Resolution			Accuracy	
	Slow	Medium	Fast	(6 Months)	(1 Year)
300 mV	—	10 $\mu$ V	100 $\mu$ V	0.02% + 2	0.025% + 2
3V	—	100 $\mu$ V	1 mV	0.02% + 2	0.025% + 2
30V	—	1 mV	10 mV	0.02% + 2	0.025% + 2
300V	—	10 mV	100 mV	0.02% + 2	0.025% + 2
1000V	—	100 mV	1V	0.02% + 2	0.025% + 2
100 mV	1 $\mu$ V	—	—	0.02% + 6	0.025% + 6
1000 mV	10 $\mu$ V	—	—	0.02% + 6	0.025% + 6
10V	100 $\mu$ V	—	—	0.02% + 6	0.025% + 6
100V	1 mV	—	—	0.02% + 6	0.025% + 6
1000V	10 mV	—	—	0.02% + 6	0.025% + 6

# TRUE RMS AC VOLTAGE, AC-COUPLED

Range	Resolution		
	Slow	Medium	Fast
300 mV	—	10 $\mu$ V	100 $\mu$ V
3V	—	100 $\mu$ V	1 mV
30V	—	1 mV	10 mV
300V	—	10 mV	100 mV
750V	—	100 mV	1V
100 mV	1 $\mu$ V	—	—
1000 mV	10 $\mu$ V	—	—
10V	100 $\mu$ V	—	—
100V	1 mV	—	—
750V	10 mV	—	—

## Accuracy

Frequency	Linear Accuracy			dB Accuracy		Power*	Max Input at Upper Freq
	Slow	Medium	Fast	Slow/Med	Fast		
20-50 Hz	1% + 100	1% + 10	7% + 2	0.15	0.72	2% + 10	750 V
50 Hz -10 kHz	0.2% + 100	0.2% + 10	0.5% + 2	0.08	0.17	0.4% + 10	750 V
10-20 kHz	0.5% + 100	0.5% + 10	0.5% + 2	0.11	0.17	1% + 10	750 V
20-50 kHz	2% + 200	2% + 20	2% + 3	0.29	0.34	4% + 20	400 V
50-100 kHz	5% + 500	5% + 50	5% + 6	0.70	0.78	10% + 50	200 V

\* Error in power mode will not exceed twice the linear accuracy specification

## DC CURRENT

Range	Resolution			Accuracy	Burden Voltage*
	Slow	Medium	Fast		
30 mA	—	1 $\mu$ A	10 $\mu$ A	0.05% + 3	0.45V
100 mA	—	10 $\mu$ A	100 $\mu$ A	0.05% + 2	1.4V
10 A	—	1 mA	10 mA	0.2% + 5	0.25V
10 mA	100 nA	—	—	0.05% + 15	0.14V
100 mA	1 $\mu$ A	—	—	0.05% + 5	1.4V
10 A	100 $\mu$ A	—	—	0.2% + 7	0.25V

\* Typical at full range

Fluke 75

OHMS						
Range	Resolution			Accuracy	Typical 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".

Figure 12: Usikkerheter for DC spenning, DC strøm og motstand hentet fra instrumentets datablad. Tilgjengelig fra emneside i fys2150

Function	Range	Resolution	Accuracy		
			70	73/75/21	77/23
<b>V<sub>DC</sub></b>	3.200V	0.001V	±(0.5%+1)	±(0.4%+1)	±(0.3%+1)
	32.00V	0.01V	±(0.5%+1)	±(0.4%+1)	±(0.3%+1)
	320.0V	0.1V	±(0.5%+1)	±(0.4%+1)	±(0.3%+1)
	1000V	1V	±(0.6%+1)	±(0.4%+1)	±(0.4%+1)
<b>mV<sub>DC</sub></b>	320 mV	0.1 mV	±(0.5%+1)	±(0.4%+1)	±(0.3%+1)

Function	Range	Resolution	Accuracy	Burden Voltage (Typical)
<b>V<sub>AC</sub></b> (45-500 Hz, 3.2V rmg. Other ranges 45-1kHz)	3.200V	0.001V	±(2%+2)	Not Applicable
	32.00V	0.01V	±(2%+2)	
	320.0V	0.1V	±(2%+2)	
	750V	1V	±(2%+2)	
<b>Ω</b>	320.0 Ω	0.1 Ω	±(0.5%+2)	Not Applicable
	3.200 kΩ	0.001 kΩ	±(0.5%+1)	
	32.00 kΩ	0.01 kΩ	±(0.5%+1)	
	320.0 kΩ	0.1 kΩ	±(0.5%+1)	
	3.200 MΩ	0.001 MΩ	±(0.5%+1)	
	32.00 MΩ	0.01 MΩ	±(2%+1)	
<b>→</b> <b>mV<sub>AC</sub></b>	2.0V	0.001	±(1% Typical)	Not Applicable
<b>A<sub>AC</sub></b> (45 Hz to 1 kHz)	32.00 mA†	0.01 mA	±(2.5%+2)	6 mV/mA
	320 mA††	0.1 mA	±(2.5%+2)	6 mV/mA
	10.00 A††	0.01A	±(2.5%+2)	50 mV/A
<b>A<sub>DC</sub></b>	32.00 mA†	0.01 mA	±(1.5%+2)	6 mV/mA
	320 mA†	0.1 mA	±(1.5%+2)	6 mV/mA
	10.00 A††	0.01A	±(1.5%+2)	50 mV/A

\* Current function not available on Fluke 70  
† Ranges available on Fluke 75/21 and 77/23 only.  
†† 10A continuous, 20A for 30 seconds maximum


Function	Overload Protection	Input Impedance (Nominal)	Common Mode Rejection Ratio (1 k $\Omega$ Unbalance)	Normal Mode Rejection
V <sup>~</sup>	1000V dc 750V ac rms (sine)	>10 M $\Omega$ , <50 pF	>120 dB at dc, 50 Hz, or 60 Hz	>60 dB at 50 Hz or 60 Hz
mV <sup>~</sup>	500V dc 500V ac rms (sine)	>10 M $\Omega$ , <50 pF	>120 dB at dc, 50 Hz, or 60 Hz	>60 dB at 50 Hz or 60 Hz
V <sup>~</sup>	1000V dc 750V ac rms (sine) (ac-coupled)	>10 M $\Omega$ , <50 pF	>60 dB, dc to 60 Hz	
$\Omega$	500V dc, 500V rms (sine)	Open Circuit Test Voltage	Full Scale Voltage To 3.2 M $\Omega$ 32 M $\Omega$	Short Circuit Current
		<3.1V dc <2.8V dc (typical)	<440 mV dc <420 mV dc (typical)    <1.4V dc <1.3V dc (typical)	500 $\mu$ A (typical)
 D	500V dc, 500V rms (sine)	<3.1V dc	2.0V dc	700 $\mu$ A typical
		Typical Test Current		V <sub>F</sub>
		0.7 mA		0.0V
		0.5 mA		0.6V
		0.3 mA		1.2V
		0.1 mA		2.0V

Figure 13: Usikkerheter for DC spenning, DC strøm og motstand hentet fra instrumentets datablad. Tilgjengelig fra emneside i fys2150