

Strøm og Spenning

HAUGERUD, IVAR SVALHEIM
University of Oslo

(Dated: 8. februar 2018)

We need to test if our system behaves as it should based on the equations we have in the theory section, which is derived in the appendix. To start with this we visualized the particles in the compartment. Since the visualizing demands more computer power than our computers can handle here at the university of Soby, we had to limit ourselves to only 100 particles. We saw that the particles behaved as they should, and did bounce on the walls when they were meant to, and it looked like their kinetic energy was conserved.

I. INTRODUKSJON

Eksperimentet diskutert i denne rapporten ble gjennomført i håp om å finne ut av, og forstå, samspillet mellom komponenter, og effekten komponentene og måleapparatene har på kretsen de er en del av. De følgende kretsene vi skal se på ble lagd for å teste denne effekten. Spenningen i kretsen vil være generert av DA-omformere og oscilloscop, dette lar oss variere frekvens og amplitude som vi ønsker. Dette vil bli målt av multimeter, AD-omformere og oscilloscop. Kretsen kommer i all hovedsak til å bestå av resistanser, kondensatorer og termistorer. Med disse komponentene og måleapparatene kan vi måle hvordan komponentene oppfører seg i samspill for forskjellige amplituder og frekvenser. Spesielt vil vi se på hvordan kondensatorer oppfører seg for høye og lave frekvenser, og vi kan sammenlikne målingene med hva teorien fra Ohm's lov, sammen med kirchhoffs lover, forutsier at resultatene skal være.

II. TEORI

Vi jobber med elektriske kretser hvor vi bruker Ohm's lov [2] for å regne på kretsene våre

$$V = IR, \quad (1)$$

hvor V er spenningsfallet over en komponent, I er strømmen som gjør gjennom komponenten,

og R er resistansen til komponenten. Dette gir oss forholdet mellom motstand, strøm og spenningsfall, som er nødvendig for en hver krets. Denne formelen kommer vi til å bruke mye gjennom forsøket siden vi kan finne resistansen ved å måle spenningsfallet over en komponent når vi vet hva strømmen er. Dette blir spesielt nyttig hvis resistansen til en komponent er avhengig av temperaturen i rommet.

I kretsene våre kommer vi til å bruke kondensatorer. Kondensatorer kan lagre elektriske ladninger med netto ladning Q , dette generer et spenningsforskjell mellom kondensatorplatene V . Disse to egenskapene til kondensatoren gir oss kapasitansen til kondensatoren som er gitt av

$$C = \frac{Q}{V}, \quad (2)$$

hvor C er kapasitansen. Kapasitansen er bare avhengig av materialet og de geometriske størrelsene til kondensatorplatene [2]. Kapasitansen sier oss hvor mye ladning kondensatoren klarer å oppbevare før den blir *full*. Hvis man kobler inn en resistanse i kretsen også, slik at man får en RC-krets, vil man ha lagd et lavpassfilter. Grunnen til dette er at forflyttingen av ladninger i kretsen tar tid, og gjør at, hvis man har en vekselstrøm (AC) vil spenningen over kondensatoren være en funksjon av tid, og med for stor frekvens på strømmen vil ikke strømmen i kretsen ha tid til å fylle opp kondensatoren med ladninger før strømmen endres igjen. Og derfor vil man ha en høy frekvens som går inn i kondensatoren, men en lav frekvens

som går ut av kondensatoren. Forholdet mellom spenningen inn V_i og spenningen ut V_u kan vises at [3] er

$$\left| \frac{V_u}{V_i} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2}} \quad (3)$$

som, ved å ta logarytmen på begge sider, kan skrives om til

$$\log \left| \frac{V_u}{V_i} \right| = -\frac{1}{2} \log \left\{ 1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right\} \quad (4)$$

Her har spenningen inn en frekvens ω og $\omega = 1/RC$, som er den karakteristiske frekvens til kretsen. For lave frekvenser ser vi at $\log |V_u/V_i| \approx 0$. For høye frekvenser ser vi at $\log |V_u/V_i| \approx -\log(\omega) + \log(\omega_0)$, som, hvis plottet med logaritmiske akser, er en rett linje med konstantledd $\log(\omega_0)$ og stigningstall -1 , der x -aksen er ω og y -aksen er $|V_u/V_i|$. Dette betyr at den relative amplituden faller en faktor 10 for hver faktor 10 vi øker frekvensen. Dette gjør at de høye frekvensene vil falle bort, som gjør kretsen til et lavpassfilter.

Når vi jobber med vekselstrøm (AC) er man ofte interessert i effektverdien, eller RMS-verdien til signalet. Denne verdien er definert som

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V(t)^2 dt}, \quad (5)$$

hvor T er tiden for en full periode og $V(t)$ er spenningen i kretsen. Hvis man løser dette integralet for forskjellige signalformer får man RMS-verdien. De signalene vi skal se på er sinus-signal, firkantsignal og sagtann signal, det kan vises at RMS-verdiene til signalene er henholdsvis lik $A/\sqrt{2}$, A , $A/\sqrt{3}$, hvor A er amplituden av signalet [4].

Et av eksperimentene går ut på å måle resistansen til en temperatursensitiv termistor, der motstanden er en funksjon av temperatur, og ut ifra målingene av resistansen måle temperaturen. Utrykket for dette forholdet er

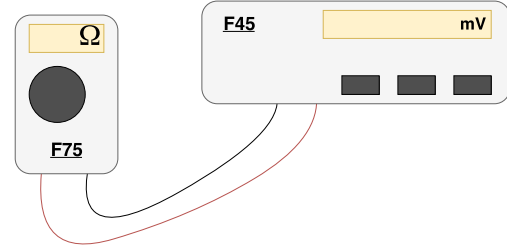
$$T(R) = \frac{1}{a + b \log R + c (\log R)^3} - 273.16 \text{ C} \quad (6)$$

hvor a , b og c er konstanter. Her sender vi med en resistanse, og får ut en temperatur målt i celcius.

III. METODE

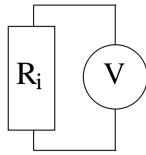
Vi ønsket å finne ut hvordan det å måle motstand, strøm eller spenning påvirker kretsen som måleapparatet er med i. For å gjøre dette brukte vi to multimeter Fluke 75 (F75) som er et håndholdt multimeter, og Fluke 45 (F45), som er et stasjonært multimeter. Vi lot multimeterene måle på hverandre i en ekstremt simpel krets der måleapparatene er de eneste komponentene i kretsen, dette er vist i figur 1. Dette gjorde vi for alle kombinasjonene av resistans, strøm og spenning i kretsen, og varierte sensitiviteten og samplingsfrekvensen (slow (S), medium (M) og fast (F)) til måleapparatene.

Nå som vi viste hvordan måleapparatene



Figur 1: Figur som viser F45 og F75 som måler på hverandre i en veldig simpel krets. I dette eksempelet måler F75 resistansen gjennom kretsen, mens F45 måler spenningen.

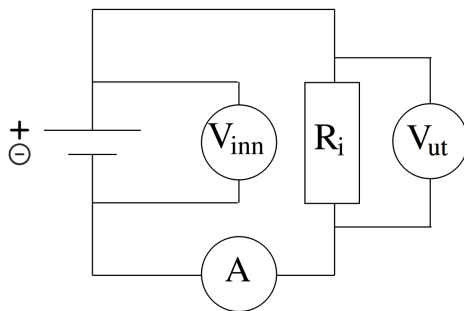
påvirket krets de selv er med i brukte vi dem til å måle resistansen til to motstander hvor vi vist den eksakte verdien av resistansen. Dette gjorde vi ved å sette opp en enkel krets vist i figur 2 on the next page ved hjelp av et breadbord. Vi valgte denne kretsen siden dette var den letteste mulige kretsen for hensikten vår. Vi brukte to forskjellige resistanser i kretsen, først $R_1 \sim 10\Omega$ og så $R_2 \sim 1M\Omega$. Vi gjorde først målingene med F75 og så med F45. Hvor begge apparatene brukt ohm-funksjonen, slik at de



Figur 2: Krets brukt for å måle resistansen til motstander der vi kunne variere R_i .

genererte strømmen i kretsen selv.

Vi ønsket så å utvide kretsen og gjøre den litt mer komplisert. Kretsen vi lagde er vist i figur 3. I denne kretsen måler vi spenningsfallet

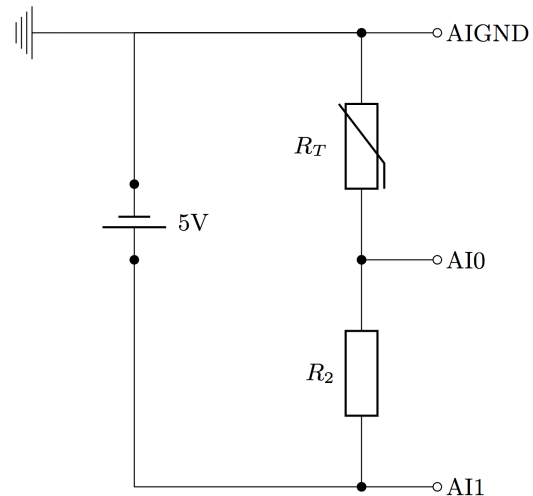


Figur 3: Krets brukt for å måle resistansen til motstander der vi kunne variere R_i .

over hele kretsen ved V_{inn} , spenningsfallet over resistansen ved V_{ut} , og strømmen som går gjennom kretsen ved amperemeteret. Med disse målingene kan vi regne ut resistansen til motstanden. Siden vi hadde to multimeter, og tre verdier vi ønsket å måle i kretsen måtte vi koble om kretsen under forsøket for å gjøre de forskjellige målingene. Når alt var riktig koblet opp varierte vi strømmen i kretsen, og gjorde målinger for begge resistanser for hver frekvens. Da vi gjorde målinger med $R = 10\Omega$ brukte vi F45 som voltmeter, og F75 som amperemeter. Når vi gjorde de samme målingene for $R = 1$ måtte F45 være amperemeter, siden F45 hadde

høyere sensitivitet, og kunne derfor gi målinger på den lave strømmen i kretsen. I kretsen vår brukte vi F45 for å måle V_{inn} og V_{ut} , mens vi brukte F75 som amperemeter, grunnen til dette var at det ga oss minst omkoblinger underveis.

Vi ønsket nå å gjøre målinger ved hjelp av en datamaskin for å automatisere målingene, og få en grafisk fremstilling av dataen. For å få dataen fra målingene inn på datamaskinen koblet vi tre forskjellige punkter i kretsen inn til en dataakvisisjonsboks (DAQ, NI USB-6211). I kretsen hadde vi en konstant spenning på 5 V, og en termistor (R_T) og en resistans (R_2) koblet i serie. Mellom hver av resistansen koblet vi kretsen inn til akvisisjonsboks, kretsen er vist i figur 4. Her er $AIGND$, $AI0$, $AI1$ inngangene vi brukte på akvisisjonsboksen og referanse motstanden R_2 var på $1M\Omega$. Her er R_T mot-



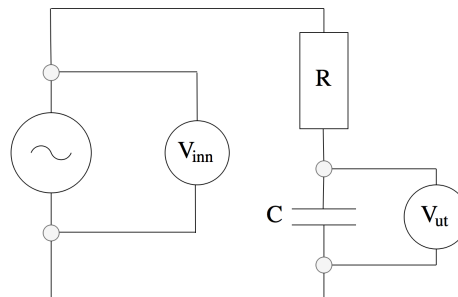
Figur 4: Krets brukt for å måle R_T og sende informasjon fra kretsen til en datamaskin, som regner ut og plotter dataen [3].

standen til en halvleder som er mer følsom mot temperaturforandring enn andre motstander. Ved at datamaskinen regner spenningsfallet over termistoren, og vet strømmen som går i kretsen, kan den regne ut resistansen til R_T over tid, og dermed få data om temperaturen

til termistoren. Først lot vi termistoren ikke oppleve temperaturforandring, for å se om resistansen var konstant, deretter varmet den opp ved kontakt med huden.

Hittil har vi brukt likestrøm (DC), men nå ønsker vi å gjøre eksperimenter med vekselstrøm (AC). Vekselstrømmen skal komme fra en funksjonsgenerator innebygd i oscilloscopet (PicoScope 2000 Series). Med funksjonsgeneratoren kunne vi variere amplitude og frekvensen til signalet fra datamaskinen. Vi koblet F45 inn i kretsen for å måle spenningen, her må multimeteret være stilt inn på AC. Vi sammenlignet så verdien vi leste av på F45, med verdien vi valgte for spenningen med oscilloscopet. Vi gjorde dette for signaler med sinus, sagtann og firkantsignal.

Til slutt ønsker vi å se på forholdet mellom to spenningsfallet i en RC krets med vekselstrøm som fungerer som et lavpassfilter på grunn av tregheten i kondensatoren, kretsen er vist i figur 6 on the following page. Vekselstrømmen skal komme fra en funksjonsgenerator innebygd i oscilloscopet (PicoScope 2000 Series) og fra DA-omformer (digital-to-analog-omformer). Vi kunne henholdsvis lese av signalet på datamaskinen ved hjelp av en oscilloscopet og AD-omformer (analog-to-digital-omformer) for å gjøre målinger på kretsen. Som beskrevet i teoridelen (seksjon II on page 1) skaper kondensatoren en treghet i systemet hvis vi har en høy frekvens på spenningen i kretsen. For å gjøre målinger på denne effekten varierte vi frekvensen til et sinussignal fra spenningsgeneratoren logaritmisk fra 10 til 10^6 Hz, og gjorde noen ekstra målinger på området der vi merket forandring, som var for 500, 5000 og 50000 Hz. Amplituden til signalet fra vekselstrømmen var på 706.5 mV. For hver instilling noterte vi frekvens og amplitude til V_{inn} og V_{ut} . Vi gjorde målingene først med oscilloscopet deretter med en AD-omformeren (analog-to-digital-converter). Kapasitansen til kondensatoren var 100 nF, og motstanden hadde resistans på 10 k Ω .



Figur 5: Krets brukt for å finne forholdet mellom V_{inn} og V_{ut} som blir forårsaket av tregheten i kondensatoren. De små sirklene ved batteriet representerer hvor vi koblet ledningene inn til først oscilloscopet, og senere til DA-omformeren for å generere signalet. De to små sirklene ved kondensatoren representerer hvor vi målte av dataen, først med oscilloscopet og senere med AD-omformeren for å sende data til datamaskinen.

IV. RESULTATER

Resultater fra måling av kretsen vist i tabell I on the following page. Dataen i denne tabellen kommer fra avlesninger av kretsen vist i figur 1 on page 2, der vi bare hadde måleapparatene F45 og F75 i krets med hverandre og varierte hva apparatene målte. Fra denne dataen kan vi se hvordan måleapparatet selv påvirker kretsen de selv er med i.

Kretsen vist i figur 2 on the preceding page ble brukt til å måle resistansen til to motstander. Målingene vi gjorde er vist i tabell II on the next page.

I kretsen vist i figur 3 on the preceding page målte vi spenningen over batteriet og over resistansen, og vi målte strømmen ved et amperemeter. Ved hjelp av Ohm's lov (1) kunne vi regne ut resistansen til motstanden. Dataen fra denne målingen er vist i tabell III on the next page.

Tabell I: Data fra elektrisk krets kunn med måleapparater F45 og F75. Kretsen som dataen er hentet fra er vist i figur 1 on page 2. Ut fra enhetene til verdiene målt finner du hva de målte av hverandre.

Fluke 75	Fluke 45	Rate F45
$1.559 \pm 0.008\text{V}$	$11.1 \pm 0.4\text{M}\Omega$	S
$1.559 \pm 0.008\text{ V}$	$11.100 \pm 0.031\text{M}\Omega$	M
$1.559 \pm 0.008\text{V}$	$11.0 \pm 0.3\text{M}\Omega$	F
$10.00 \pm 0.06\text{M}\Omega$	$721.9 \pm 0.7\text{mV}$	S
$10.00 \pm 0.06\text{M}\Omega$	$0.7219 \pm 0.0004\text{V}$	M
$10.02 \pm 0.06\text{M}\Omega$	$0.720 \pm 0.002\text{V}$	F
$0.000 \pm 0.001\text{V}$	$0 \pm 1.5 \cdot 10^{-6}\text{ A}$	S
$0.000 \pm 0.001\text{V}$	$0 \pm 3 \cdot 10^{-5}\text{ A}$	M
$0.000 \pm 0.001\text{V}$	$0 \pm 3 \cdot 10^{-6}\text{ A}$	F

Tabell II: Data fra Fluke45 og Fluke75 som måler resistansen til to kjente motstander. Kretsen for målingene er vist i figur 2 on page 3.

	Ω oppgitt	Ω målt	$\Delta\Omega$
Fluke45	10 Ω	10.141 Ω	$\pm 33\text{ m}\Omega$
Fluke75	10 Ω	10.0 Ω	$\pm 0.2\Omega$
Fluke45	1 M Ω	1.004M Ω	$\pm 3.1\text{k}\Omega$
Fluke75	1 M Ω	1.004M Ω	$\pm 6\text{k}\Omega$

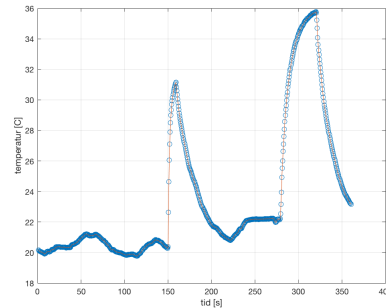
Tabell III: Målingene gjort på kretsen vist i figur 3 on page 3

Strøm I (mA)	Spennning V (V)	Resistans $R = V/I$ (Ω)
0.0042 ± 0.0015	4.22 ± 0.03	1.00 ± 0.36
0.0046 ± 0.0015	4.25 ± 0.03	0.92 ± 0.31
0.0060 ± 0.0015	6.04 ± 0.04	1.01 ± 0.26
0.0066 ± 0.0015	6.04 ± 0.04	0.92 ± 0.21
0.0081 ± 0.0015	8.22 ± 0.05	1.01 ± 0.19
0.0089 ± 0.0015	8.22 ± 0.05	0.92 ± 0.16

A. Måle temperatur ved hjelp av resistanse

Dataen fra kretsen vist i figur 4 on page 3 ble sendt til datamaskinen hvor vi kunne fremstille temperaturen til termistoren som en funksjon av tid ved å regne ut resistansen med Ohm's

lov (1), og bruke (6) til å finne temperaturen. Grafen vist i figur ?? on page ?? viser hvordan temperaturen endrer seg over tid.



Figur 6: Temperaturen til termistoren som en funksjon av tid. Hver sirkel representerer en måling. Vi kan med dette lettere se hvor rask endringen er. Den oransje linja under er en linje trukket mellom hver måling.

B. Vekselspenning med frekvensgenerator, oscilloscop og multimeter

I den elektriske kretsen vist i figur 6 varierte vi formen på signalet mellom sinus, sagtann og firkant-signal. Da vi leste av målingene gjort med oscilloscopet fant vi dataen vist i tabell ?? on page ??.

Tabell IV: Målingene gjort på kretsen vist i figur 6. Her er Amplituden den vi valgte på oscilloscopet, F45 er verdien vi leste av multimeteret, og RMS er RMS verdien til signalet, utregnet av oscilloscopet.

Signalform	Amplitude V (V)	F45 V (mV)	RMS
Sinus	1	705.79 ± 2.41	$705.7 \pm 2.5 \cdot 10^{-4}$
Firkant	50	49.627 ± 0.20	50.6 ± 0.0024
Sagtann	2	1.1419 ± 0.0214	$1.149 \pm 3.5 \cdot 10^{-4} V_{inn}$

V. DISKUSJON

A. Måling av multimeter

Fra dataen vist i tabell I on the preceding page ser vi at det er null i de tre nederste radene. Fra dette kan vi trekke slutningen at det ikke kreves å sende strøm gjennom en krets for å måle spenning og strøm, i motsetning til måle-kombinasjonen ovenfor i tabellen. Vi ser også at voltmeteret i F75 har en resistanse på $11.1M\Omega$. For at det ikke skal gå noe strøm gjennom voltmeteret er det viktig at voltmeteret har en stor resistanse, og det gjelder for F75. Hvis resistansen F75 måler spenningsfallet over begynner å nærme seg $11.1M\Omega$ vil det være en merkbar effekt i kretsen på grunn av påvirkningen til voltmeteret fra F75. Andre veien ser vi at reistansen til F45 er på $10M\Omega$, og akkurat de samme poengene gjelder her. Vi ser også fra dataen at måleapparatene sender en strøm inn i kretsen for å klare å måle av resistanse, men ikke for å måle av spenning eller strøm.

B. Motstand, likestrøm og likespenningsmålinger med multimeter

Når vi ser på dataen vist i tabell III on the previous page over måling av resistansen til motstanden på $1M\Omega$ ser vi at det er mye mer nøyaktig å regne ut resistansen til motstanden ved hjelp av spenningen målt på V_{inn} enn ved spenning målt over V_r . Grunnen til dette er at her er resistansen R til motstanden var av samme størrelsesorden med motstanden i voltmeteret, som vi fant tidligere at var på $11.1M\Omega$. For at et voltmeter skal gjøre jobben sin godt må motstanden over voltmeteret være mye større enn motstanden over komponenten den måler over. Siden den ikke er det i dette tilfellet vil det gå mindre strøm gjennom resistansen, og vi får målt en lavere resistanse på motstanden. Siden vi ikke hadde nok måleapparater målte vi ikke spenningsfallet over batteriet og spenningsfallet over resistansen samtidig. Derfor var, når vi målte spenningsfallet over kretsen, tilnærmet lik bare fra motstanden på $1M\Omega$, siden motstanden fra amperemeteret er neglisjerbar. Vi ser fra tabellen III on the preceding page at vi får mye mer nøyaktig måling av å regne ut motstanden ved å bare se på målinger fra V_{inn} .

C. Automatiserte målinger av termistor-motstand

Å måle termistormotstanden klarte vi å finne temperaturen til termistoren over tid.

-
- [1] Squires, G.L. Practical Physics, Cambridge University Press, 2001.
 - [2] Skaar, J. Elektromagnetisme, 2017
 - [3] Dysthe, D.K Røyne, A. Ulven, O.I Strøm og spenning, 2018

- [4] Wikipedia Root mean square, 07.02.2018