

FY0001 Lab

Oppgave 2 - Motstand og kondensator

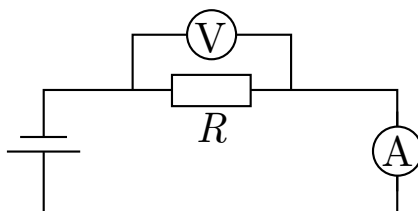
1 Introduksjon

Motstander og kondensatorer utgjør, sammen med spoler, de grunnleggende elementene i elektriske kretser. Med disse elementene kan vi lage kretser med forskjellige funksjoner. I denne oppgaven skal vi gjøre oss kjent med hvordan motstander og kondensatorer oppfører seg i elektriske likestrøms- og vekselstrømskretser.

2 Teori

2.1 Måling av strøm og spenning

Et idéelt voltmeter har en indre resistans på $R_V = \infty$, mens et idéelt amperemeter har en indre resistans på $R_A = 0$. Dette er for at de ikke skal påvirke kretsen man måler på. Det er imidlertid umulig å lage idéelle voltmeter og amperemeter, og det kan føre til at vi får feil måleresultat.



Figur 1: Krets for måling av spenningsfall over motstand og strøm gjennom motstand.

I Fig. 1 er det vist en kobling for å måle spenningsfall over en motstand, og strøm gjennom en motstand. Vi ser at hvis voltmeteret ikke har uendelig stor indre motstand vil det gå en strøm gjennom voltmeteret. Dette vil kunne endre strømmen som går gjennom motstanden, og dermed spenningsfallet over motstanden. Videre, hvis amperemeteret har en indre motstand større enn 0 vil amperemeteret redusere strømmen i kretsen når vi kobler det inn, og vi påvirker dermed kretsen når vi prøver å måle på den. Den første oppgaven viser hvordan vi kan kompensere for disse effektene når vi måler strøm og spenning.

2.2 Likestrøm

I en elektrisk krets vil det være spenningsfall over motstander og kondensatorer. Spenningsfallet over en motstand finner vi fra Ohms lov,

$$\Delta V = RI. \quad (1)$$

I en vekselstrømskrets vil en motstand oppføre seg akkurat som i en likestrømskrets, mens en kondensator oppfører seg annerledes. En kondensator har en kapasitans,

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

som beskriver hvor mye ladning som er lagret i kondensatoren ved en gitt spenningsforskjell. Når en kondensator utlades gjennom en motstand vil spenningen synke, etterhvert som det blir mindre og mindre ladning lagret i kondensatoren. Når spenningen synker vil også strømmen bli mindre, og dermed vil utladningen gå langsommere og langsommere. Det kan vises at strømmen som funksjon av tid vil være

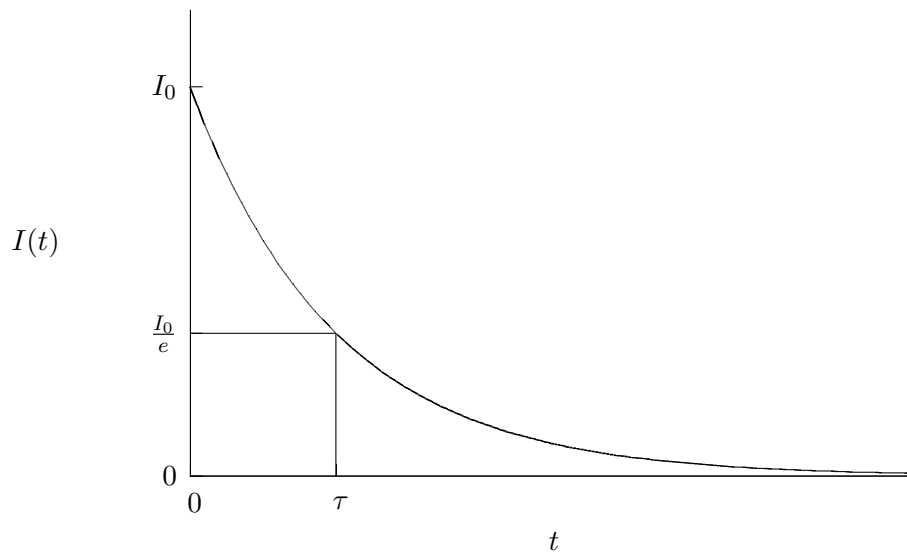
$$I(t) = I_0 e^{-\frac{t}{RC}}, \quad (3)$$

Der

$$I_0 = \frac{V_0}{R} \quad (4)$$

er strømmen ved tiden $t = 0$. Den tiden det tar før strømmen er redusert til I_0/e kaller vi tidskonstanten, τ , til RC-kretsen. Ved å se på uttrykket for $I(t)$ ser vi at dette skjer når uttrykket i eksponenten er lik -1. Vi har altså

$$\tau = RC \quad (5)$$



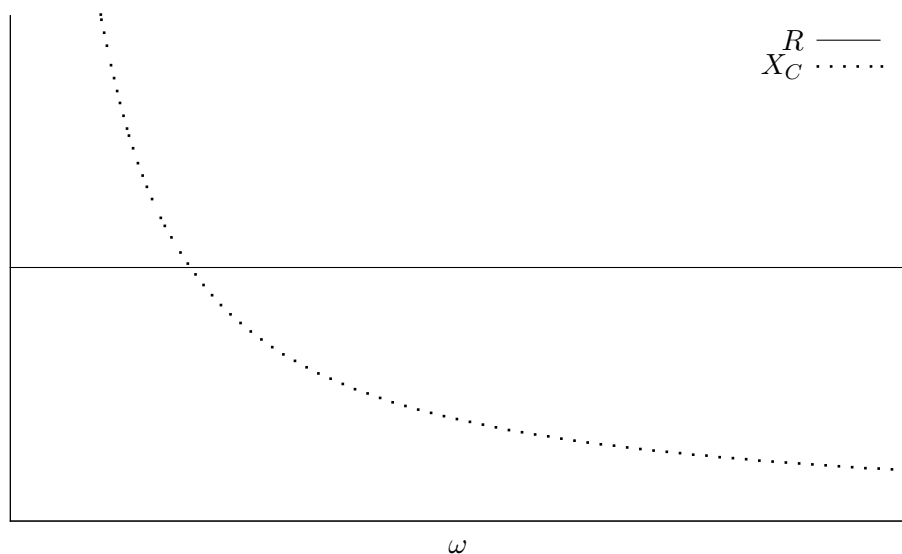
Figur 2: Strøm i en RC-krets som funksjon av tid. Tidskonstanten, τ , er den tiden det tar for strømmen å falle fra I_0 til $\frac{I_0}{e}$.

2.3 Vekselstrøm

For en kondensator i en vekselstrømskrets kan vi definere en størrelse som vi kaller kondensatorens reaktans:

$$X_C = \frac{1}{\omega C}, \quad (6)$$

der $\omega = 2\pi f$ kalles vinkelfrekvensen, og C er kapasitansen.



Figur 3: Motstand og reaktans som funksjon av vinkelfrekvens

Fig 3 viser hvordan vekselstrømresistans for motstand og kondensator varierer med vinkelfrekvensen ω til den påtrykte spenningen i en vekselstrømskrets. Legg merke til at resistansen til en motstand er den samme for alle frekvenser. Legg også merke til at for likestrøm, dvs. $\omega = 0$ er X_C uendelig stor, mens når ω blir meget stor, vil X_C bli null. Størrelsen X_C har grovt sett samme funksjon som resistansen til en motstand. Det går an å vise at RMS-strømmen i en RC-krets koblet til en vekselspenningskilde er

$$I = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}, \quad (7)$$

der V_0 er RMS-verdien til spenningskilden. RMS-verdien er det du leser av hvis du måler strøm eller spenning med et multimeter som er stilt inn på vekselspenning. Vi ser at når frekvensen blir veldig liten vil X_C bli stor. Det betyr at det er kondensatoren som begrenser strømmen. Vi ser videre at når frekvensen blir veldig stor går X_C mot 0. Dermed er det motstanden som begrenser strømmen, og strømmen i kretsen blir rett og slett $I \approx V_0/R$.

3 Oppsettet

3.1 Utstysrliste

- Digitalt multimeter
- Analogt voltmeter
- Analogt amperemeter
- Likespenningskilde
- Vekselspenningskilde
- Brett med 3 ukjente motstander
- Boks med innebygd RC-krets for måling av utladning
- Boks med innebygd RC-krets for vekselspenning
- Stoppeklokke
- Ledninger

4 Oppgavene

4.1 Likestrømskretser

Oppgave 1

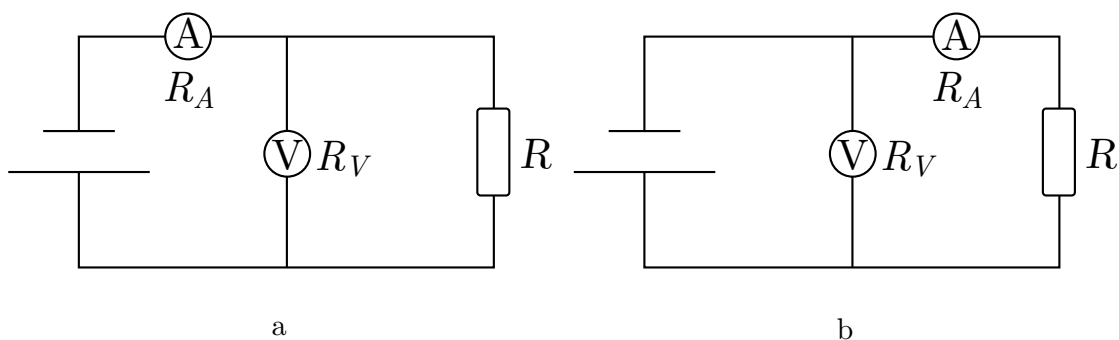
Mål den indre resistans R_A i mA-meteret, R_V i mV-meteret og resistansen til de tre ukjente motstandene (R_1 , R_2 , R_3) med digitalmultimeteret.

Oppgave 2

Bestemmelse av resistans ut fra strøm- og spenningsmåling kan gjøres på to måter som vist i Fig. 4. På figuren er R den ukjente resistansen, R_A er amperemeterets egenresistans og R_V er voltmeterets egenresistans. Vi skal nå undersøke hvordan måleinstrumentenes egenresistans i kopling a og b, vil påvirke måleresultatene.

- a) Ved denne koplingen viser voltmeteret korrekt spenning, mens amperemeteret viser summen av strømmen I_R gjennom motstanden og strømmen I_V gjennom voltmeteret. Strømmen I_R er lik $I - I_V$ slik at spenningen U over motstanden er

$$U = R(I - I_V) = R_V I_V, \quad (8)$$



Figur 4: To måter å koble på

som gir

$$R = \frac{U}{I - I_V} = \frac{U}{I - \frac{U}{R_V}}. \quad (9)$$

Hvis vi ikke korrigerer for strømmen gjennom voltmeteret, får vi

$$R = \frac{U}{I} \quad (10)$$

- b) Ved denne koplingen viser amperemeteret den riktige strømmen gjennom motstanden, mens voltmeteret viser summen av spenningsfallene over motstanden og amperemeteret. Spenningen U over voltmeteret er:

$$U = I(R_A + R) \quad (11)$$

Løst med hensyn på R får vi:

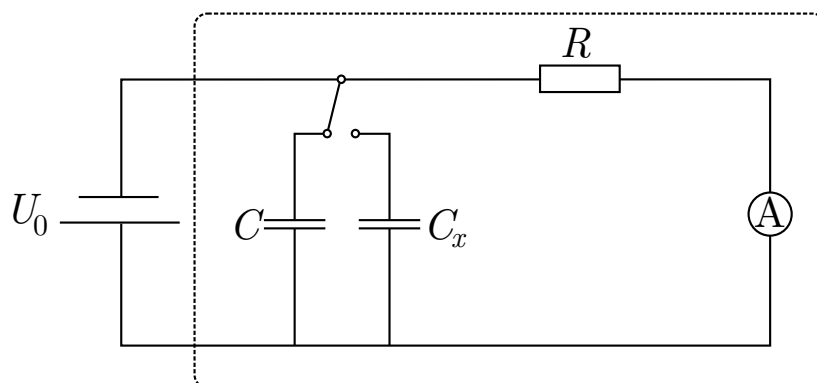
$$R = \frac{U - R_A I}{I} = \frac{U}{I} - R_A. \quad (12)$$

Uten korreksjon har vi som før resistansen R gitt ved

$$R = \frac{U}{I}. \quad (13)$$

Begge metodene gir riktig resultat når vi korrigerer for instrumentenes egenresistans som beskrevet ovenfor. For R_A brukes den målte verdi fra pkt. 2. R_V er oppgitt i veiledningsheftet.

Finn resistansen til to motstander ved strøm- og spenningsmålinger etter kopling a) og kopling b). (Reguler spenningen til et av instrumentene viser fullt skalautslag). Oppgi både ukorrigert og korrigert verdi. Beregn den prosentvise feilen når vi bruker ukorrigerte verdier. Kommenter feilprosenten, hvorfor er den slik?



Figur 5: RC-krets

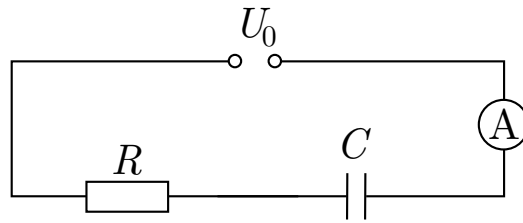
Oppgave 3

I denne oppgaven bruker en boks med en innebygd kobling som vist i Fig. 5 og en ladespenning $U_0 = 30\text{V}$. Strømmen i kretsen måles med et elektronisk galvanometer. Utslaget, s , på dette er proporsjonalt strømmen i kretsen, I . Galvanometeret er bygget inn i samme boks som motstanden og de to kondensatorene. Med en vender kan vi skifte mellom en kondensator med kjent kapasitans C og en ukjent kondensator C_x . Ved å trykke ned knappen merket «OPPLADNING» lades kondensatoren praktisk talt momentant. Når knappen slippes vil kondensatoren utlades gjennom motstanden R . Tidskonstanten τ kan vi måle direkte som tiden det tar fra galvanometeret viser et utslag s_0 , til det viser $\frac{s_0}{e}$.

- Mål hvordan galvanometerutslaget s endrer seg med tiden t når kondensatoren C utlades gjennom motstanden R . Les av utslaget på galvanometeret for $t = 0$, deretter hvert halve minutt de to første minuttene, senere hvert minutt i tilsammen 5 min.
- Tegn opp utladningskurven for strømmen I både på vanlig mm-papir og på enkelt-logaritmisk kurvepapir hvor utladningstiden t er i lineær målestokk. Marker tidskonstanten τ på kurvene og sammenlign den eksperimentelle verdi for τ med beregning på grunnlag av oppgitt verdi for R og C .
- Mål tidskonstanten $\tau_x = RC_x$ når kondensator C_x utlades gjennom motstanden R . Gjenta målingene 5 ganger. Bestem middelveiden τ_x og finn usikkerheten i bestemmelsen av τ_x (standardavvik). Bruk τ_x og oppgitt R til å finne hvor stor C_x er.

4.2 Vekselstrøm

Oppgave 4



Figur 6: RC-krets

Vi bruker koplingen i Fig. 6 hvor motstand og kondensator er koplet sammen i en boks. Som inngangsspenning U_0 bruker vi en vekselstrømskilde (signalgenerator) hvor vi kan variere frekvens og spenning. Fra signalgeneratoren sendes sinusformet vekselspenning inn på kretsen. Velg utgangen merket «Lo Ω ». Når du bruker denne utgangen er den indre resistansen i spenningskilden mye, mye mindre enn resistansen til motstanden i kretsen, så du kan se bort fra den indre resistansen. Juster først spenningen til 5 V ved hjelp av multimeteret. Vi bruker så multimeteret til å måle strømmen gjennom kretsen. Pass på at multimeteret er innstilt på vekselstrøm.

- a) Noter ned strøm som funksjon av frekvens for frekvensene 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000, 5000 og 10000 Hz. (Tidsmessig lønner det seg å måle: 10, 100, 1000, 10000 Hz, deretter 20, 200, etc. Dette reduserer dreiningen av frekvenshjulet betraktelig, da man kan gange frekvensen med 10 ved å trykke på knappene.
- b) Plott strøm som funksjon av frekvens på millimeterpapir.
- c) Plott ligning (7) i samme figur, og tegn også inn linjen $I = V_0/R$.

5 Rapport

Hvis du skal skrive rapport fra denne oppgaven er det viktig at du tar vare på målingene, slik at du kan lage nye grafer i GNUplot eller Excel eller hva du måtte foretrekke. Rapporten skal inneholde en grundig diskusjon av både resultater og feilkilder. Husk at en rapport idéelt sett skal kunne benyttes av noen som ønsker å etterprøve resultatene dine ved å gjøre det samme forsøket, så den bør inneholde en nokså detaljert beskrivelse av utstyr og fremgangsmåte.