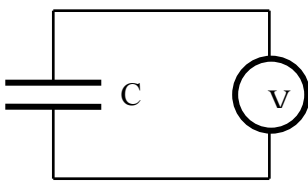


# FYS 1120: Labøvelse 1 – Grunnleggende elektromagnetisk måleteknikk

I denne øvelsen skal vi studere hvordan voltmetre og amperemetre påvirker kretsene de kobles til og hvordan deres egenskaper dermed kan undersøkes. Vi skal se hvordan vi måler indre resistans til en spenningskilde (her en termogenerator basert på et Peltier-element) og hvordan vi skal unngå målefeil når vi måler veldig små resistanser. Til slutt skal vi bruke veldig enkelt utstyr for å lage et følsomt instrument som kan måle jordens (nokså lille) magnetfelt.

## 1. Indre resistans i et voltmeter.



**Figur 1.** Krets der kondensator C utlades gjennom seriekoblet voltmetre V.

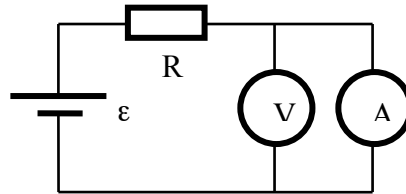
Ved potensialmålinger med et voltmetre regner vi som regel at den indre resistansen i voltmeteret er svært høy, dvs. at det ikke går noe strøm av betydning gjennom voltmeteret. Det er likevel viktig å vite hva den faktiske verdien av voltmeterets indre resistans er for å kunne vurdere om denne tilnærmingen kan brukes eller ikke i et konkret tilfelle. Vi skal derfor se på en metode for å bestemme indre resistans.

**Oppgave 1.1:** En kondensator med kjent kapasitans  $C$  skal lades opp ved hjelp av et batteri (ikke vist på figur 1). Kondensatoren utlades så gjennom et voltmetre (V). Potensialforskjellen  $U = U_0 e^{-t/\tau}$  over kondensatoren avleses samtidig som funksjon av tid på det samme voltmeteret under ut-ladningen (ta 2-3 målinger per minutt i 6-7 minutter). Tegn inn måleresultatet på millimeter-papir ( $\ln U$  versus  $t$ ) og bestem tidskonstanten  $\tau$  fra grafen. Bruk deretter definisjonen  $\tau = RC$  til å bestemme voltmeterets indre resistans  $R$ .

**PRELAB-Oppgave 1:** Spenningen over en oppladet kondensator med  $C=1 \mu\text{F}$  som er koblet til inngangen på et voltmetre halveres på 20 sekunder. Hva er indre resistansen til voltmeteret?

**Oppgave 1.2:** La dere merke til hvor fort kondensatoren ble ladet opp? Hvorfor går det så mye forttere enn ut-ladningen gjennom voltmeteret?

## 2. Indre resistans i et amperemeter



**Figur 2.** Voltmetre V og amperemeter A er parallellkoblet og videre seriekoblet til en motstand R og spenningskilde  $\epsilon$ .

Tilsvarende regner man ofte den indre resistansen i et amperemeter som ubetydelig, slik at man ikke trenger å ta hensyn til noe spenningsfall over amperemeteret når man måler strømmen i en krets. Vi skal her se på en metode for å finne den faktiske verdien av den indre resistansen i et amperemeter.

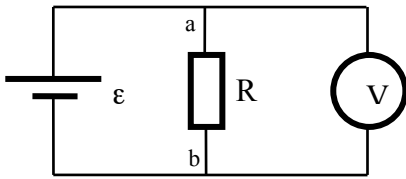
**Oppgave 2.1:** Som vist i figur 2 kobles en motstand  $R$  i serie med et amperemeter og strømmen  $I$  gjennom amperemeteret og potensialforskjellen  $U$  over amperemeteret, måles og legges i en tabell. Velg følgende verdier for  $R$ :

$R$ [ $\Omega$ ]	500	700	1000	1200	1500
------------------	-----	-----	------	------	------

**PRELAB-Oppgave 2:** Lag et MATLAB-skript basert på MATLAB-metodene polyfit og polyval som tilpasser en linje til et sett med datapunkter  $x,y$  og viser punktene og den tilpassede linjen på en figur. Dette skriptet kan også brukes i labøvelse 3 (Hall-effekt).

**Oppgave 2.2:** Lag en figur som viser måleresultatene ( $I$  langs  $x$ -aksen og  $U$  langs  $y$ -aksen). Punktene bør, i følge teorien, ligge på en rett linje gjennom origo slik at  $U = R_i \cdot I$ . Bestem amperemeterets indre resistans  $R_i$  ut ifra linjens stigningstall. NB! Den indre resistansen  $R_i$  avhenger av amperemeterets måleområdet som benyttes.

### 3. Indre resistans i et termoelement (Peltier-element)



**Figur 3.** Seriekobling av Peltier-element  $\varepsilon$  og motstand  $R$ . Spenningen over  $R$  måles med et voltmeter  $V$ .

I en krets sammensatt av to forskjellige metaller eller halvledere vil en strøm føre til oppvarming eller avkjøling av kontakten, avhengig av strømmens retning. Denne Peltier-effekten skyldes at ladningsbærerne som går gjennom kontaktflaten, passerer et potensialsprang og derfor mottar eller avgir energi. En del av temperaturendringen skyldes også oppvarming pga. resistansen. Avgitt energi finnes igjen som varme og mottatt energi vil medføre nedkjøling av omgivelsene. Hvis man istedet for strøm utsetter man et Peltier-element for en temperaturforskjell over kontakten, genereres det en elektrospenning som kan drive en krets (Seebeck-effekten). Den indre resistansen begrenser effektiviteten til Peltier-elementer som termogenerator eller kjølelement.

**Oppgave 3.1:** Utforsk Peltier-elementet ved å koble den til (1) et voltmeter og se hva små temperaturforskjeller fører til og (2) en strømkilde med maks strøm 0.5A og kjenn på de to sidene.

**Oppgave 3.2:** Generatoren  $\varepsilon$  (et Peltier-element plassert mellom en kobbersylinder og en metallkopp fylt med varmt vann) kobles til en motstandsbox ( $R$  på figuren). For hvert valg av resistansen  $R$  i tabellen måles potensialforskjellen  $U_{ab}$  med et voltmeter med stor indre resistans:

$R$ [ $\Omega$ ]	1	1,5	2,5	4	10

Strømmen  $I_R$  gjennom motstandsboxen er gitt ved:

$$I_R = \frac{U_{ab}}{R}.$$

Strømmen  $I$  gjennom generatoren er gitt ved

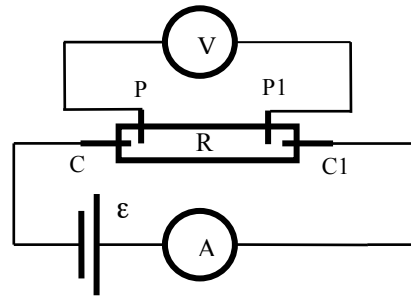
$$I = I_R + I_V,$$

der  $I_V$  er strømmen gjennom voltmeteret. Siden voltmeterets indre resistans er mye større blir  $I_V \ll I_R$ , slik at vi med god tilnærming kan skrive

$$I = I_R = \frac{U_{ab}}{R}.$$

**Oppgave 3.3:** Potensialforskjellen  $U_{ab}$  fremstilles grafisk som funksjon av strømmen  $I$  på millimeterpapir. Punktene forventes da å ligge på en rett linje som kan skrives som  $U_{ab} = \varepsilon - R_i I$ , der  $\varepsilon$  er generatorens elektromotoriske spenning og  $R_i$  er generatorens indre resistans. Er forventningene innfridd? Bruk grafen til å bestemme  $R_i$  og  $\varepsilon$ .

### 4. Firepunktsmåling av resistans



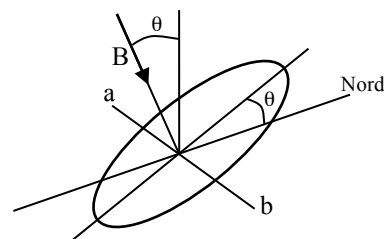
**Figur 4.** Seriekobling av spenningskilde  $\varepsilon$  med amperemeter  $A$  og motstand  $R$ . Voltmeteret  $V$  er koblet til kontaktpunktene  $P$  og  $P1$  slik at spenningsfall i kontaktene  $C$  og  $C1$  unngås.

Ved måling av veldig små resistansverdier vil vi få inn kontaktresistansen ved tilkoblingen til motstanden som feilkilde. Vi kan løse dette problemet ved å måle potensialforskjellen over motstanden i andre tilkoblingspunkter enn de vi bruker til å sende strøm gjennom motstanden. Resistansen i tilkoblingspunktene for voltmeteret betyr ikke noe siden denne resistansen er mye lavere enn den indre resistansen i voltmeteret.

**Oppgave 4:** Mål resistansen til to motstander som har lav resistans (kobber og aluminium). Bruk koblingen som er vist i figuren over. Strømmen gjennom prøven skal ikke overstige 2 A. Legg merke til at motstanden har fire kontakter:  $C$  og  $C1$  for "current", og  $P$  og  $P1$  for "potential". Bekreft at resistansen er uavhengig av strømmens verdi. Anslå hvor stor feil vi gjør ved eventuelt ikke å bruke firepunktsmåling, ved å gjøre en to-punktsmåling og så sammenlikne resultatene.

### 5. Jordas magnetfelt

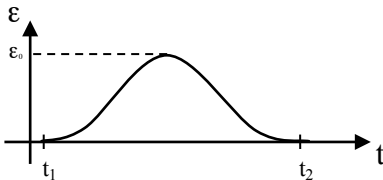
Når vi skal måle den jordmagnetiske flukstettheten  $B$ , trenger vi et følsomt instrument. Vi skal bruke en spole med stort areal og mange vindinger og utnytte Faradays induksjonslov.



**Figur 5.** Illustrasjon av geometrien i oppgave 5. Her står spolens flate lodrett på jordens magnetfelt  $B$  og rotasjonsaksen  $ab$  peker øst-vest.

Geometrien i forsøket er vist skjematisk i figur 5. Spolen holdes slik at feltet står normalt på spoleflaten. Vinkelen  $\theta$  mellom en loddrett linje og feltet  $B$  måles med en *inklinator*.

Spolen (jordinduktoren) kobles til et mikrovoltmeter med viser. Så dreies spolen  $180^\circ$  om en horisontal vest-øst akse  $ab$ . (Du trenger et kompass når du skal orientere stativet med spolen). Under bevegelsen induseres en ems  $\varepsilon$  i spolen. ”Spenningspulsens” tidsforløp er antydnet i figuren under.



**Figur 6.** Spenning  $\varepsilon$  som funksjon av tiden  $t$  når spolen i oppgave 5 dreies  $180$  grader for hånd. Ideelt (ved konstant vinkelhastighet) er formen  $\sin(\omega t)$  med  $0 < \omega t < \pi$ , der  $\omega$  er vinkelhastigheten til spolen.

Den magnetiske fluksen gjennom spolen betegnes med  $\Phi$ . Vi integrerer Faradays induksjonslov

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}$$

og får

$$\Phi(t_2) - \Phi(t_1) = -\int_{t_1}^{t_2} \varepsilon(t) dt.$$

Spolen har areal  $A$  og vindingstall  $N$ . Vi orienterer spoleflaten slik at  $\Phi(t_1) = NAB$ , slik at

$$2NAB = \int_{t_1}^{t_2} \varepsilon(t) dt.$$

**PRELAB-Oppgave 3:** Finn et uttrykk for  $B$  dersom vi dreier spolen med konstant vinkelhastighet  $\omega$  og måler den maksimale verdien  $\varepsilon_0$  for  $\varepsilon(t)$ . Hva er forholdet mellom  $\omega$  og  $t_2 - t_1$ ?

**Oppgave 5:** Mål tiden og spenningstoppen 6-10 ganger. Regn ut et gjennomsnitt for  $B$ .<sup>1</sup> Hvorfor kan vi ikke bruke gjennomsnitt for  $\varepsilon_0$  og  $t_2 - t_1$  når vi skal finne gjennomsnittet i  $B$ ?

<sup>1</sup> NB! Denne fremgangsmåten kan bare gi en tilnærmet riktig verdi for flukstettheten  $B$ . For å få en mer nøyaktig verdi må vi bruke en spennings-integrator.