

## 2. Måling av elektriske størrelser

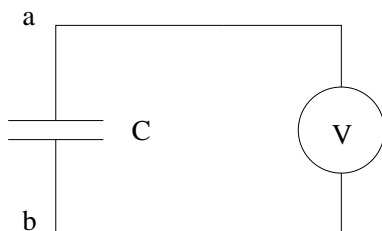
### Innledning

I denne oppgaven skal du måle elektriske og magnetiske størrelser som *strøm*, *spenning* og *resistans* (*motstand*). Videre skal du måle magnetisk flukstetthet ved en sterk magnet, samt verdien av jordas magnetfelt. Du vil få trening i å bruke de sentrale begrepene, samtidig som du blir kjent med viktige målemetoder og apparatur som du garantert vil møte senere i ditt studium.



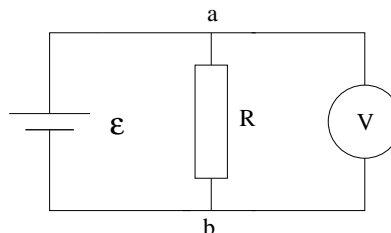
Figur 1: Fra laboratoriet våren 2002.

### Oppgave 1. Indre resistans i et voltmeter.



Figur 2: En lukket krets med en kondensator og voltmeter

En kondensator med kapasitans  $C$  skal lades opp ved hjelp av et batteri (ikke vist på figuren). Kondensatoren utlades så gjennom et voltmeter. Potentialforskjellen  $U_{ab}$  over kondensatoren måles som funksjon av tiden (ta data 3-4 ganger per minutt i ca. 6-8 minutter). Tegn inn måleresultatet på millimeterpapir ( $\ln U_{ab}$  versus  $t$ ) og bestem tidskonstanten  $\tau$  fra grafen (hva er forholdet mellom stigningstallet og  $\tau$ ?). Bruk deretter definisjonen av  $\tau$ ,  $\tau = RC$ , til å bestemme voltmeterets indre resistans  $R$ .



Figur 3: Krets for måling av indre resistans

### Oppgave 2. Indre resistans i en termogenerator

Generatoren (et Peltier-element plassert mellom en kobbersylinder og en metallkopp fylt med varmt vann) kobles til en motstandsbox ( $R$  på figuren). Vi velger  $R = 1, 1, 5, 2, 5, 4$  og  $10 \Omega$ . For hvert valg av resistansen  $R$  måles potentialforskjellen  $U_{ab}$  med et voltmeter som har stor indre resistans. 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. Da voltmeterets indre resistans er  $10 \text{ M}\Omega$  blir  $I_V \ll I_R$ , slik at vi med god tilnærming kan skrive

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

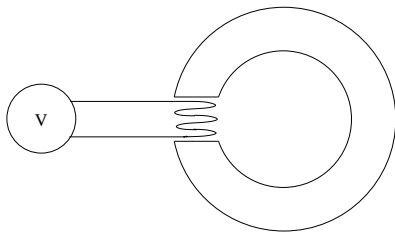
Potentialforskjellen  $U_{ab}$  fremstilles grafisk som funksjon av strømmen  $I$  på millimeterpapir. Punktene forventes da å ligge på en rett linje som kan skrives som:

$$U_{ab} = \varepsilon - r_i I,$$

der  $\varepsilon$  er generatorens elektromotoriske spenning og  $r_i$  er generatorens indre resistans. Bruk grafen til å bestemme  $r_i$ .

### Oppgave 3. Magnetisk flukstetthet mellom to magnetpoler

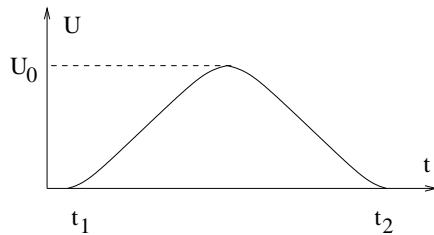
I 3.1 beskrives en tungvint måte, som **ikke** skal gjennomføres, å måle magnetisk fluks mellom to magnetpoler. Her måles tid  $t$  og spenning  $\epsilon(t)$  hver for seg og tidsintegralet av spenningen beregnes med en grov approksimasjon. I 3.2, som **skal** gjennomføres, brukes et instrument som måler tidsintegralet av spenningen direkte.



Figur 4: Oppstilling for måling av magnetisk flukstetthet

### 3.1 Tungvint måling av magnetisk fluks

En liten prøvespole kobles til et voltmeter, helst et instrument med viser. Spolen holdes slik at den er helt inne i feltet mellom polene og med feltretningen normalt (loddrett) på spolens flate. Når spolen trekkes ut av feltet vil det induseres en elektromotorisk spenning i kretsen. Tidsforløpet er antydnet i figur 5. Tidsintervallet ( $t_2 - t_1$ ) måles med stoppeklokke.



Figur 5: Indusert elektromotorisk spenning  $\varepsilon$  i spolen som funksjon av tiden.

Voltmeteret viser et maksimalutslag  $U_0$ . Prøvespolen har  $N$  vindinger med areal  $A$ . Vi integrerer Faradays induksjonslov:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} \quad \text{og får} \quad \Phi_2 - \Phi_1 = -\int_{t_1}^{t_2} \varepsilon(t) dt,$$

$$\Phi_1 = NAB \quad (\text{spolen inne i feltet}),$$

$$\Phi_2 \approx 0 \quad (\text{Spolen ute av feltet}).$$

Dette gir:

$$\Phi_1 = NAB = \int_{t_1}^{t_2} \varepsilon(t) dt \approx \frac{1}{2}(t_2 - t_1)U_0,$$

som gir

$$B = \frac{(t_2 - t_1)U_0}{2NA},$$

der  $B$  er flukstettheten. Tidsintegralet av den elektromotoriske spenningen  $\varepsilon(t)$  er her regnet ut ved å betrakte kurven i figur 5 som en trekant.

Denne fremgangsmåten gir en tilnærmet riktig verdi for flukstettheten  $B$ . For å få en mer nøyaktig verdi må vi bruke en *spenningsintegrator*.

### 3.2 Måling av magnetisk fluks med en spenningsintegrator

En spenningsintegrator gir et totalutslag  $\alpha$  som er proporsjonalt med med tidsintegralet av den elektromotoriske spenningen over inngangskontaktene. Følsomheten kan varieres med en *dempningsfaktor*  $D$ . Totalutslaget  $\alpha$  er produktet av dempningsfaktoren  $D$  og skalaavlesningen  $S$ . Vi har da:

$$\int_{t_1}^{t_2} U dt = k \cdot \alpha = k \cdot D \cdot S.$$

$k$  er en konstant som er karakteristisk for hvert instrument og som må bestemmes ved en spesiell kalibrering. Verdien av  $D$  innstilles med en vender, og  $S$  avleses på en skala. Produktet av de tre størrelsene  $k$ ,  $D$ , og  $S$  gir oss *fluksforandringen* gjennom flaten som omslutes av den ledningen som er tilkoblet integratorens inngangskontakter.

Integratoren har en digital skala. Den kan nullstilles ved å trykke på Reset knappen. Skalaen viser positive eller negative verdier etter hvilken polaritet vi har på inngangsspenningen.

På grunn av elektronisk støy og termisk ubalanse vil integratoren vanligvis ha en viss nullpunktsdrift slik at den kan gi et lite utslag selv om tilkoblet spenning er null. Denne driften kan reduseres ved å regulere "0-justkontrollen på integratoren, slik at skalaavlesningen ikke endrer seg med tiden når inngangen er kortsluttet. For å redusere virkningen av nullpunktsdriften bør man gjøre målingen med utslag i begge retninger.

Integratoren bør ikke slås av før hele eksperimentet er ferdig. Det skal alltid være ledende forbindelse mellom integratorens inngangskontakter. Nullpunktsdriften bør kontrolleres med jevne mellomrom.

Prøvespolen kobles til integratorens inngangskontakter. Integratoren nullstilles så mens spolen holdes i ro mellom magnetens poler. Så dras spolen ut fra magnetfeltet, de aktuelle verdier avleses, og flukstettheten beregnes ved hjelp av formelen:

$$B = \frac{kDS}{NA}.$$

### Oppgave 4. Jordas magnetfelt

Når vi skal måle den jordmagnetiske flukstettheten, trenger vi en spole med stort areal og mange vindinger. Geometrien i forsøket er vist skjematisk i figur 7. Spolen holdes slik at feltet står normalt (loddrett) på spoleflaten. Vinkelen  $\theta$  mellom en loddrett linje og feltet  $B$  måles med en *inklinator*. Spolen

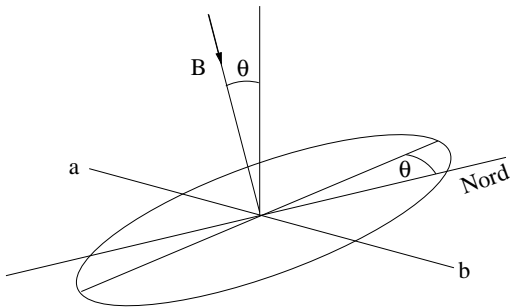


Figur 6: Måling av jordmagnetfeltet, våren 2002.

kobles til integratoren som nullstilles. Så dreies spolen  $180^\circ$  om en horisontal vest - øst akse  $ab$ . Figur 6 viser spolen slik den er montert på et stativ. Du trenger et kompass når du skal orientere stativet. De geometriske størrelsene er vist på figur 7. Den jordmagnetiske flukstettheten  $B$  er gitt ved:

$$B = \frac{kDS}{2NA},$$

der  $N$  er spolens vindingstall og  $A$  er arealet. Tallet  $S$  leses av på integratoren når dreiningen på  $180^\circ$  er avsluttet.



Figur 7: Spolens dreieakse  $ab$ , loddlinjen og feltretningen for måling av jordas magnetfelt.