

Strøm og spenning

Dag Kristian Dysthe, Anja Røyne, and Ole Ivar Ulven

Fysisk institutt, UiO

(Dated: February 1, 2017)

Målet i denne oppgaven er å bli kjent med de viktigste metodene for måling av elektriske størrelser på labben. Vi skal fokusere på hvordan man kobler riktig for å gjøre nøyaktige målinger. Vi vil se både på likestrøm/spenning og vekselstrøm/spenning.

I. BAKGRUNN

Måling av elektriske størrelser som strøm, spenning og resistans er ofte nyttig i seg selv, men også fordi så og si alle måleinstrumentene vi bruker til å måle andre størrelser på labben gir et elektrisk signal som vi må måle og deretter tolke for å finne den egentlige størrelsen vi var på jakt etter. Dette gjelder for eksempel måling av temperatur, som ofte gjøres ved termokopler, som gir en spenning som er proporsjonal med temperaturen, eller termistorer, som forandrer resistans når temperaturen forandrer seg.

Kapittel 4.1 og 7.2 i Squires er pensum, og nyttig for å løse denne øvingen. Kapittel 2 og 3 i Squires er fremdeles nyttig å ha oversikt over.

A. RC-kretser

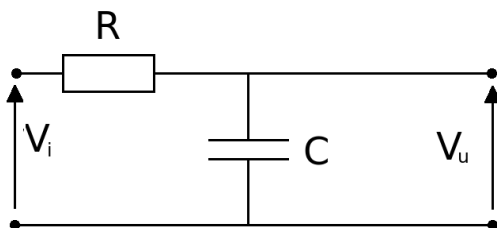


FIG. 1: En RC-krets som et lavpassfilter med påtrykt spenning (inn) V_i og målt spenning (ut) V_u .

En ideell kondensator er en komponent som lagrer ladninger og ikke slipper gjennom noe strøm. En kondensator karakteriseres ved sin kapasitans, C , som angir forholdet mellom hvor mye ladning den lagrer, Q , og spenningen over den, V : $Q = CV$.

Fordi det tar tid å flytte elektroner inn i en kondensator til den er “full”, vil spenningen over en kondensator og en motstand være tidsavhengig. I en seriekoblet RC-krets som den vi skal se på, vil signaler med høy frekvens bli filtrert vekk på grunn av tregheten i kondensatoren, slik at denne kretsen kan brukes som et enkelt lavpassfilter.

Når vi trykker på en innspenning, $V_i(\omega)$ som er tidsavheng med frekvens ω på en RC-krets som i figur 1 så

er forholdet mellom inn og ut-spenningene:

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

der $\omega_0 = 1/RC$ er den karakteristiske frekvensen til kretsen. For lave frekvenser, det vil si for $\frac{\omega}{\omega_0} \ll 1$, vil $\log |V_u/V_i| \simeq 0$, det vil si at spenningsamplitudene $V_u/V_i \simeq 1$. For høye frekvenser, $\frac{\omega}{\omega_0} \gg 1$, er $\log |V_u/V_i| \simeq -\log \omega + \log \omega_0$. Vi ser at dette uttrykket beskriver en rett linje med stigningstall -1 og konstantledd $\log \omega_0$. Det vil si at for frekvenser over $\omega_0 = 1/RC$ faller amplituden til utsignalet V_u med en faktor ti for hver faktor ti vi øker frekvensen på innsignalet. Det vil si at høye frekvenser dempes og lave frekvenser passerer uten å dempes, derav navnet “lavpassfilter”.

B. AD-omforming

I eksperimenter vil vi ofte sende signalet gjennom en analog til digital (AD) omformer, for å kunne lagre og bearbeide signalet på datamaskinen. Det er også viktig å være klar over hva denne AD omformeren gjør med signalet og hvordan vi skal optimalisere informasjonen vi får fra måleinstrumentet og inn på datamaskinen. Opplysningen til en omforming fra analog til digital (AD-omforming) eller omvendt (DA-omforming) oppgis med hvor mange bit (0 eller 1) signalet omformes til (eller fra). Følsomheten avhenger også av hvor stor den maksimale amplituden, U_{max} for omformingen er. En AD-omformer med 8 bits oppløsning og maksimum utslag $U_{max} = \pm 5$ V har dermed følsomhet $\Delta U_{AD} = 10/2^8$ V = 0.0391 V. Presisjonen til en spenningsmåling δU kan være dårligere enn følsomheten på grunn av andre støykilder $\delta U \geq \Delta U_{AD}$ og må i praksis måles.

II. LABORATORIEØVING

Dere skal bli kjent med virkemåten og bruk av fire måleinstrumenter (håndholt multimeter, lab-multimeter, oscilloscop og AD-omformer) samt spenningsforsyninger for likespenning og vekselspenning (funksjonsgenerator). Spesifikasjoner og nærmere forklaringer av instrumentene som blir brukt i denne oppgaven er gitt i appendiks A.

Husk at dere må tegne opp koblingsskjema for alle koblinger dere gjør i labjournalen!

A. Måling av multimeter

Hvordan måler et multimeter strøm, I , spenning, U , og motstand, R ? Hvordan påvirker måleinstrumentene den kretsen de selv måler på? For å nærme oss et svar på disse spørsmålene skal dere begynne med å bruke to og to multimeter og la dem måle på hverandre. Gjør følgende målinger med ett Fluke 45 (bruk største følsomhet, rate = S) koblet sammen og med ett Fluke 75 (pass på å stikke ledningene inn på riktig sted, og prøv å lage en oversiktlig tabell til å notere resultatene i):

1. Still det ene instrumentet på strømmåling og det andre på motstandsmåling
2. Still det ene instrumentet på spenningsmåling og det andre på motstandsmåling, endre på følsomheten (rate) til instrumentet som måler motstand.
3. Still det ene instrumentet på spenningsmåling og det andre på strømmåling
4. Et multimeter er i utgangspunktet bare i stand til å måle spenning. Ut fra målingene du har gjort over hvordan du tror et multimeter utfører de forskjellige målingene? (Lag gjerne en krets-skisse.)

Hvilke andre observasjoner gjorde du? Hva er forskjellen på de to multimetrene? Hvilke konklusjoner trekker du av disse målingene?

B. Motstand, likestrøm og likespenningsmålinger med multimeter

Dere har fått utdelt et breadboard og to motstander på $R_1 \sim 10\Omega$ og $R_2 \sim 1M\Omega$. Breadboardet er laget slik at det er kontakt mellom de seks hullene i hver rad. I tillegg er det kontakt mellom alle hullene langs svart strek, som er "jord", og mellom hullene langs hver av de røde strekene. Disse brukes til spenningsforsyning. Motstander og ledninger plasseres mellom rader for å danne en krets.

1. Start med et håndholdt multimeter (Fluke 75). Mål motstandene R_1 og R_2 med ohm-funksjonen. Noter målingene og usikkerheten, δR i målingene slik den fremkommer av databladet.
2. Gjenta de samme målingene med et labmultimeter (Fluke 45).
3. Sett opp koblingen vist i figur 2 med multimetrene. Velg en passende spenning for hver motstand, ut fra at en vanlig motstand av typen vi bruker her tåler

maksimalt omtrent 0,25 Watt. Mål de to spennin-gene og strømmen gjennom motstanden for både R_1 og R_2 . Siden du bare har to slike multimeter, blir du nødt til å måle den ene spenningen først, og koble om for å måle den andre. Betyr det noe hvor på kretsen du måler spenningen? Bruk Ohms lov til å beregne motstandene R_1 og R_2 . Hvordan blir usikkerheten nå?

4. Vi skal nå se på hvordan vi kan automatisere målinger ved hjelp av en datamaskin og en dataakvisisjonsboks (DAQ). Dere har fått utdelt en termistor, R_T , og skal bruke $R_2 \sim 1M\Omega$ som referansemotstand. Matlab-scriptet `les_RT.m` skal brukes til å lese inn data.

- Sett opp koblingen vist i figur 3. Jord skal kobles til inngangen merket *AI GND* på DAQ-en, mens spenningen over R_T skal kobles til inngangen merket *AI 0* og spenningen fra strømforsyningen skal kobles til inngangen merket *AI 1*.
- Sett inn verdien for R_2 dere allerede har målt i `les_RT.m`.
- Still inn strømforsyningen på omtrent 5 volt.
- Kjør scriptet `les_RT.m`, og sjekk at du får forholdsvis konstante verdier for motstand når termistoren ikke utsettes for temperaturodringer.
- Kjør scriptet igjen, men sørg denne gangen for at termistoren endrer temperatur underveis, for eksempel ved å holde den i hånda. Juster om nødvendig antall målepunkt for at målingen skal ta lang nok tid til at den målte motstanden stabilisere seg.

Dette er et eksempel på hvordan man kan automatisere måling av for eksempel temperatur ved hjelp av en spenningsmåling. I laboppgave 5 skal vi kalibrere spenningsmålinger med termistorer til å gi oss korrekte verdier for temperatur. Vi kan også legge merke til at vi i motstandsmålinger trenger en kjent referansemotstand, noe multimeter har innebygget. I dette tilfellet måtte vi sette referansemotstanden selv, siden DAQ-en kun måler spenninger.

C. Vekselspenning med frekvensgenerator, oscilloskop og multimeter

I vekselstrømkretser kan dere bruke multimetret til å måle gjennomsnittlige størrelser, eller dere kan bruke oscilloskop til å se på funksjonsformen til spenningen. I denne oppgaven får vi AC-spenningen fra en funksjons-generator.

Dere begynner med å se på en enkel sinusbølge for å bli kjent med oscilloskopet.

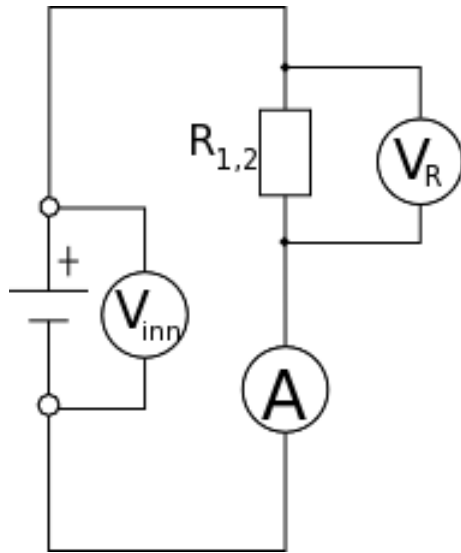


FIG. 2: Koblingen for oppgave B 3.

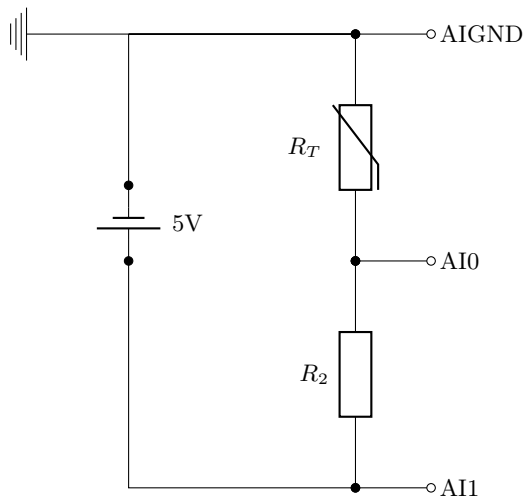


FIG. 3: Koblingen for oppgave B 4. Merk at du må kanskje se på merkingen under skrukontaktene.

- Bruk en koaks-kabel til å koble direkte fra utgangen på funksjonsgeneratoren til inngang 1 på scopet. Funksjonsgeneratoren skal innstilles på omtrent 1000 Hz sinus, og amplitudeknappen settes ca. i midtstilling. Bruk 0 dB damping (knappen i øvre høyre hjørne skal være i ytterstilling).
- Print ut skjemaet i appendiks A og lim det inn i labjournalen.
- Sett alle oscilloskopets innstillinger slik som beskrevet i skjemaet. Still inn fokus og intensitet slik at bildet blir skarpt og med passe kontrast, og benytt denne settingen for resten av øvelsen. Varier deretter etter tur de forskjellige innstillingene som er nevnt i skjemaet, og noter på skjemaet hva som skjer med bildet på skjermen.

Du skal bruke litt tid på å bli vant til å bruke funksjonsgeneratoren og oscilloskopet.

- Velg et sinus-, et sagtann- og et firkantsignal med forskjellig frekvens og amplitude. Still inn oscilloskopet ved å variere tidsbase (SEC/DIV) og forsterkning (V/DIV) slik at du får et best mulig bilde på skjermen. Pass først på at alle knapper merket med CAL er dreid med urviseren helt til de stopper, slik at de er i kalibrert posisjon.
- For hver av de tre innstillingene: Tegn opp skjerm-bildet i labjournalen og noter innstillingene du bruker på funksjonsgeneratoren og oscilloskopet.

Dersom du ikke får et stillestående bilde på skjermen, kan dette skyldes at du trigger på feil kanal, at triggerkontrollen ikke står i AUTO, eller at du har feil innstilling av LEVEL på triggekretsen. Sjekk de to første innstillingene, og dersom de står riktig kan du dreie levelkontrollen forsiktig omkring midtstillingen til bildet kommer fram og blir forholdsvis stabilt. Får du ikke dette til selv, så spør en veileder om hjelp.

- For hver av innstillingene, mål spenningen fra funksjonsgeneratoren med lab-multimetret innstilt på AC. Disse kan kobles på kretsen samtidig.
- Hva er sammenhengen mellom verdien du får fra multimetret og det du ser på skopet?
- Kan du regne ut verdien du får fra multimetret ut i fra det du ser på skopet?
- Hva er mest nøyaktig, multimetret eller skopet? Har frekvensen noe å si for nøyaktigheten?
- Sett på en DC-komponent på funksjonsgeneratoren (trekk ut DC-knappen). Hvordan kan du måle denne?

D. Krets med frekvensavhengig respons

Figur 4 viser oppkobling av en enkel RC-krets. Bruk motstanden på 10 k Ω og den utdelte kondensatoren til å koble opp kretsen på breadboardet. Koble til funksjonsgeneratoren og oscilloskopet som vist i Figur 4. Dere kan eventuelt også koble til multimetre for å måle effektivverdiene av spenningene. Finn en passende amplitude på frekvensgeneratoren og varier frekvensen i dekaner fra ca. 10 Hz til 1 MHz.

1. For hver frekvensinnstilling, still inn oscilloskopet og les av frekvens og amplituden til spenningene.
2. Noter alle avlesningene (med anslåtte usikkerheter) i en tabell.
3. Skriv inn de målte frekvensene og spenningene i Matlab og plott dem mot hverandre.
4. Gjør flere målinger i det frekvensområdet der det skjer store endringer og ta dem med i plottet.

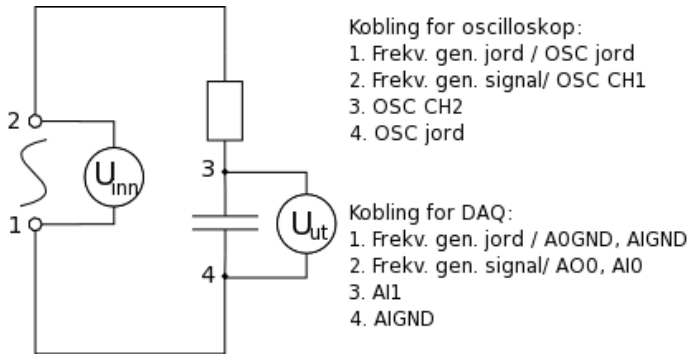


FIG. 4: Enkel RC-krets. Med labinstrumenter: påtrykt spenning (1-2) fra frekvensgenerator, spenninger (1 - 2 og 3 - 4) målt med oscilloskop (og evt. multimeter). Med NI USB-6211: påtrykt spenning fra digital-analog-omformer (DA-omformer), spenninger målt med analog-digital-omformer (AD-omformer).

1. DA-omformer og AD-omformer

1. Koble til NI USB-6211 som vist for DAQ i figur 4.
2. Kjør Matlab-scriptet `gen_osc.m` til dere har fått en fin responskurve.
3. Sett tekst på aksene og forklar plottet.
4. Sammenlign med resultatene fra målingene med funksjonsgenerator og oscilloskop.

III. UTSTYRSLISTE

- Breadboard
- To motstander (10 Ω , 1 M Ω)
- En termistor (motstand som endrer seg med temperaturen)
- Ett Håndholdt multimeter (Fluke 75)
- Ett Lab-multimeter (Fluke 45)
- Variabel spenningskilde, +/- 15V
- Funksjonsgenerator
- Oscilloskop (Tektronix 2225 eller lignende)
- PC med AD-omformer (NI USB-6211) og Matlab installert
- Løse ledninger (enkeltledere) for å koble fra AD-omformer til breadboard
- Koaks-kabel med BNC i hver ende
- To BNC-til-banan-overganger
- En BNC-forgreining

- Til siste oppgaven: 100 nF kondensator og 10 k Ω motstand

IV. PRELABOPPGAVER

Kort informasjon

Disse oppgavene må løses før dere skal på laben. Besvarelsen skal leveres på **på Fronter**. Maksimal uttelling er 20 poeng, grense for bestått er 15 poeng. **Prelaboppgavene må være levert og bestått før labdagen**. Disse oppgavene skal sørge for at dere har lest og forstått oppgaveteksten før dere kommer på laben, slik at arbeidet der blir mest mulig effektivt.

Dere vil trenge noen datasett (i en fil) for å gjøre beregningene i oppgavene under. Filen finner dere på samme sted som dere fant denne oppgaveteksten. Du trenger følgende fil til disse oppgavene:

- RC_data.mat

Oppgavene

DC-Måling

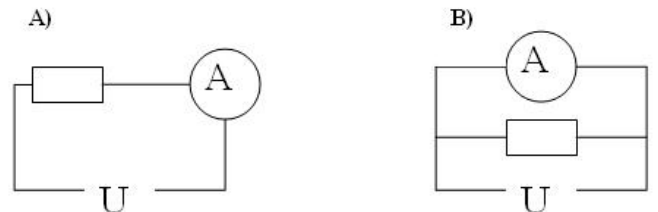


FIG. 5: Hvilken kobling er rett for å måle strømmen gjennom komponenten?

1. Se figur 5. Hvilken av koblingene er riktig for å måle strømmen gjennom en komponent?

1.5 poeng

A. B.

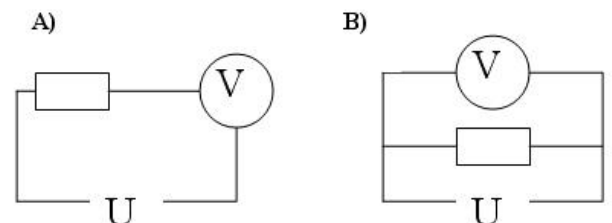


FIG. 6: Hvilken kobling er rett for å måle spenningen over komponenten?

2. Se figur 6. Hvilken av koblingene er riktig for å måle spenningen over en komponent?

1.5 poeng

- A. B.

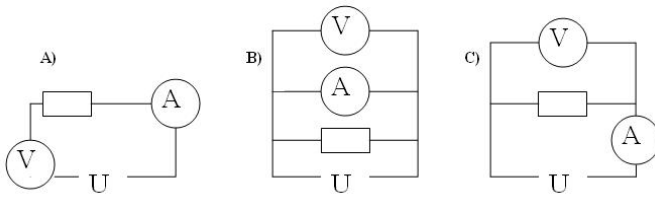


FIG. 7: Hvilken kobling er rett for å måle motstanden til komponenten?

3. Se figur 7. Hvilken av koblingene er riktig for å måle motstanden til en komponent?

1.5 poeng

- A. B. C.

AD-omforming

4. Hva er følsomheten til en AD-omformer med 16 bits oppløsning, og måleområde ± 10 V?

2 poeng

- A. 1 V
B. 16 mV
C. 10 V
D. 0.1 mV
E. 0.3 mV

5. Du skal måle et signal med maksimum 0.4V utslag. Hvilket måleområde velger du på AD-omformeren?

2 poeng

- A. ± 0.2 V
B. ± 1 V
C. ± 10 V

6. Hva vil du se om du prøver å måle en ukjent frekvens med 1 kHz innlesningsfrekvens, og den ukjente frekvensen egentlig er på 5 kHz?

2 poeng

- A. Du måler den riktige frekvensen, 5 kHz
B. Du får et flatt signal, frekvens 0 Hz
C. Du måler det ukjente signalet til å være 1 kHz

RMS verdier

7. Hva er RMS-verdien funnet analytisk for en cosinusbølge med amplitude V_0 ?

1.5 poeng

- A. $\frac{V_0}{\sqrt{2}}$ B. $\frac{V_0}{2}$ C. $\frac{V_0}{\sqrt{3}}$

8. Hva er RMS-verdien funnet analytisk for en firkantbølge med amplitude V_0 ?

1.5 poeng

- A. V_0 B. $\frac{V_0}{2}$ C. $\frac{V_0}{\sqrt{2}}$

9. Hva er RMS-verdien funnet analytisk for en trekantbølge med amplitude V_0 ?

1.5 poeng

- A. $\frac{V_0}{\sqrt{2}}$ B. $\frac{V_0}{2}$ C. $\frac{V_0}{\sqrt{3}}$

Steinhart-Hart

En *termistor* er en elektrisk motstand som varierer med temperaturen den har. Forholdet mellom temperaturen T og motstanden R blir ofte modellert ved Steinhart-Hart ligningen:

$$\frac{1}{T} = a + b \ln R + c(\ln R)^3 \quad (2)$$

Hvor a, b og c er parametere som må tilpasses termistoren. Vi gjør problemet litt enklere her, og antar at vi kan sette $c = 0$. Da kan vi skrive ligningen over som:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \ln \left(\frac{R}{R_0} \right) \quad (3)$$

Her er T temperaturen i Kelvin, og T_0 er en referansetemperatur (gjerne $T_0 = 25^\circ\text{C}$). $B > 0$ er en parameter som tilpasses termistoren.

10. Løs ligning 3 for motstanden R , slik at du ser hvordan motstanden bør variere med temperaturen. Hva finner du? Øker eller avtar motstanden ved økende temperatur?

2 poeng

- A. $R = R_0 e^{B(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T})}$
B. $R = R_0 e^{B(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})}$
C. $R = R_0 e^{B(T - T_0)}$
D. $R = R_0 e^{B(T_0 - T)}$

RC-krets


11. Datasettet i "RC_data.mat" inneholder frekvens ω og tilhørende spenningsforhold $|V_u/V_i|$ målt på en krets som i figur 1. Last inn dataene i Matlab og plott dem på logaritmisk skala "plot(log10(frekvens), log10(Vu_over_Vi), 'o')". Bruk funksjonene "polyfit" og "polyval" på de siste 9 datapunktene til å finne ω_0 . Sett denne ω_0 inn

i ligning 1 og generer et modell-datasett som du plotter i samme figur (bruk "hold on") for å sjekke. Hva er ω_0 ?

3 poeng

- A. 1 rad/s
- B. 2 rad/s
- C. 10 rad/s
- D. 100 rad/s

Appendix A: Skjema for innstilling av oscilloscop

Kontroll/funksjon	Startverdi	Hva skjer når kontrollen endres
ON/OFF Intensity Focus	ON Ca. midtstilling Ca. midtstilling	Skal ikke endres
Channel 1: AC-GND-DC VOLTS/DIV CAL 10X PULL* Position	DC 2 V CAL (se pil) Inntrykket Ca. midtstilling	
Kanalvelger: Ch1 - Both - Ch2 Norm - Ch2 invert Add - Alt - Chop Trace separation*	Ch1 Norm Chop	Skal ikke utprøves Behøver ikke utprøves Skal ikke utprøves
Tidsbase: SEC/DIV CAL Position X1-(X10)/(ALT-MAG) X5-X10-X50*	0.2 msec CAL (se pil) Ca. midtstilling X1 X5	Skal ikke utprøves Skal ikke utprøves
Trigger: LEVEL MODE SOURCE COUPLING* SLOPE	Ca. midtstilling P-P AUTO CH 1, LINE HF REJ 	Skal ikke utprøves
* Kun for Tektronix 2225 oscilloskop.		