

Strøm og spenning

Dag Kristian Dysthe, Anja Røyne, and Ole Ivar Ulven

Nina Jeppesen Edin (Revidert: Januar, 2020)

Fysisk institutt, UiO

Målet i denne oppgaven er å bli kjent med multimetre og 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. Eksempel 2.1 i Kompendium for krets-analyse i FYS1120 er nyttig bakgrunnsinformasjon for RC-kretser med påtrykt AC-spenning.

I denne øvelsen bruker vi multimetre. Disse kan måle både strøm, motstand og spenning, men har forskjellig toleranse/riktighet alt etter hva man måler og i hvilken størrelsesorden målingen ligger. Dette finner vi i databladet for hvert multimeter. I kompendiet er beskrevet hvordan man skal forstå måten de er oppgitt.

A. AD/DA-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 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. Oppløsningen 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.

B. RMS

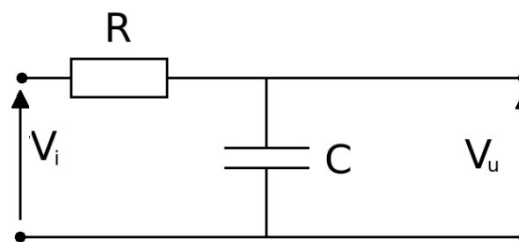
I noen tilfeller gir det aritmetiske gjennomsnittet ikke noe anvendelig resultat. Dette gjelder spesielt for slike størrelser som kan ta både positive og negative verdier som en sinusfunksjon. Da kan man i stedet bruke RMS (root-mean-square), som også kalles størrelsens effektivverdi. For vekselstrøm er RMS lik verdien av den likestrømmen som ville ha gitt samme effektavsetning i en motstand.

RMS er en statistisk middelvei av et sett med tall eller måleserie av en variabel og defineres som kvadratrotten av gjennomsnittet av verdiene kvadrert, eller kvadratet av funksjonen som definerer bølgeformen.

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} [V(t)]^2 dt}, \quad (1)$$

hvor T_1 og T_2 er start- og sluttidspunktet for målingen.

C. RC-kretser



Figur 1: En RC-krets som et lavpass-filter 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 (figur 1), 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 tidsavhengig gjennom frekvensen ω på en RC-krets som i Figur 1, så er forholdet mellom inn og utspenningene:

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

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

der $\omega_0 = 1/RC$ er den karakteristiske frekvensen til kretsen (se ligning (75) i FYS1120-kompendium). For lave frekvenser, det vil si for $\frac{\omega}{\omega_0} \ll 1$, vil $\log \left| \frac{V_u}{V_i} \right| \approx 0$, det vil si at spenningsamplituden ut er lik spenningsamplituden inn $\frac{V_u}{V_i} \approx 1$. For høye frekvenser, $\frac{\omega}{\omega_0} \gg 1$, er $\log \left| \frac{V_u}{V_i} \right| \approx -\log \omega + \log \omega_0$. 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". Byttes motstand og kondensator i Fig. 1 får vi et høypassfilter (se ligning (78) i FYS1120-kompendium) med

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

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

og ved lave frekvenser får vi $\log \left| \frac{V_u}{V_i} \right| \approx \log \omega - \log \omega_0$.

II. LABORATORIEØVING

Dere skal bli kjent med virkemåten og bruk av tre måleinstrumenter (håndholdt multimeter, lab-multimeter, og oscilloscop som er basert på innebygd AD-omformer) samt spenningsforsyninger for likespenning og vekselspanning (signalgenerator basert på DA-omformer innebygd i oscilloscopet). Husk at dere må tegne opp koblingsskjema for alle koblinger dere gjør i labjournalen!

1. Måling av multimeter

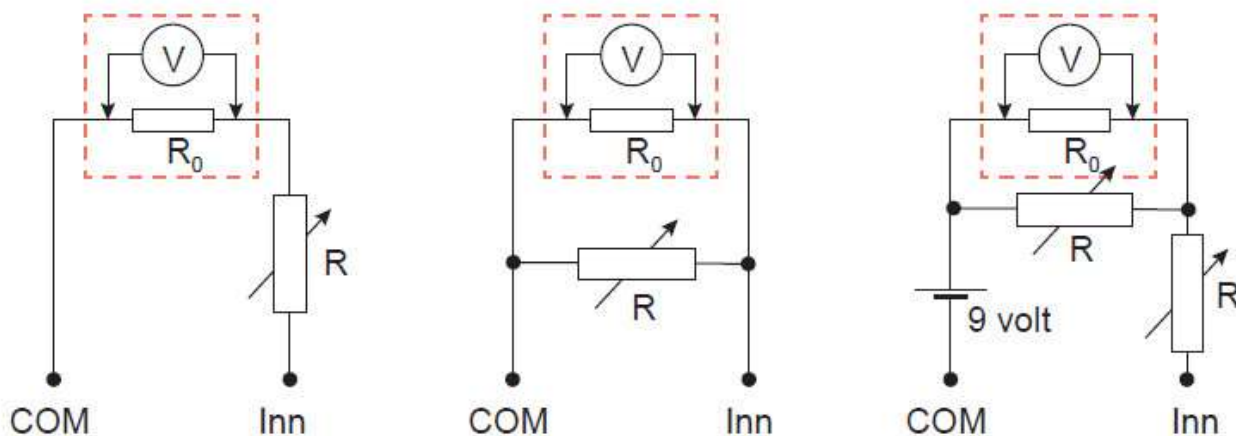
Et multimeter er i utgangspunktet bare i stand til å måle spenning U . Hvordan måler et multimeter da strøm, I og motstand, R ? Hvordan påvirker måleinstrumentene den kretsen de selv måler på? For å nærme oss et svar på disse spørsmålene skal dere begynne med å bruke to og to multimeter og la dem måle på hverandre.

Oppgave 1.1. Gjør følgende målinger med et FLUKE 45 (bruk største følsomhet, RATE = S) koblet sammen med et FLUKE 75. Se Appendix A for en innføring i hvordan dere skal koble ledningene riktig. Prøv å lag en oversiktlig tabell i labjournalen til å notere resultatene i.

1. Still det ene instrumentet på strømmåling og det andre på motstandsmåling. Bytt om på instrumentene.
2. Still det ene instrumentet på spenningsmåling og det andre på motstandsmåling, endre på følsomheten (rate) til instrumentet som måler motstand. Bytt om på instrumentene.
3. Still det ene instrumentet på spenningsmåling og det andre på strømmåling. Bytt om på instrumentene.

- Hvilke observasjoner gjorde du?
- Hvordan påvirker disse tre måleinstrumentene den kretsen de selv måler på?
- Hva er hovedforskjellene mellom de to multimetrene, dvs hva skal vi tenke på når vi velger den ene eller den andre til målinger på labben vår?

Oppgave 1.2. I Figur 2 ser du tre kretstegninger som hver representerer de tre funksjonene et multimeter kan ha: Voltmeter, Amperemeter og Ohmmeter.



Figur 2: Kretstegninger av de forskjellige funksjonene et multimeter kan ha. Pilen gjennom motstandene angir at disse endrer verdi, når man skifter fra et måleområde til et annet (bytter inngang for strømmålinger)

- Tegn av kretsene i Figur 2 og marker i labjournalen.

- Hvilken av kretsene tilsvarer de tre funksjonene?
- Hvor stor er R i de forskjellige tilfellene?
- Hvorfor er R forskjellig?
- Hvorfor er det katastrofalt dersom man kobler et multimeter i amperemeterfunksjon direkte til en spenningskilde (f.eks. et batteri eller 220 V AC)?

2. Motstand, likestrøm og likespenningsmålinger med multimeter

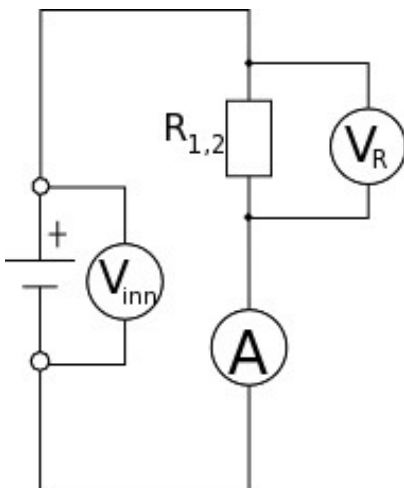
Dere har fått utdelt et breadboard og to motstander på $R_1 \sim 10\ \Omega$ og $R_2 \sim 1\ \text{M}\Omega$. En forklaring av hvordan breadbordet fungerer er gitt i APPENDIKS B: Breadboard.

Vi skal sammenligne målinger gjort direkte med et multimeter og indirekte gjennom strøm- og spenningsmålinger (via kretsen i Figur 3). Vi skal undersøke forskjell i usikkerheter og hvordan målinger påvirkes av strømtap i ledninger og måleinstrumenter.

Oppgave 2.1. Bruk et labmultimeter (FLUKE 45).

- Mål motstandene R_1 og R_2 .
- Noter målingene og usikkerheten, δR i målingene slik den fremkommer av databladet.

Husk at når man måler motstand kan motstandene ikke være koblet i en krets.



Figur 3: Koblingen for oppgave 2.2

Oppgave 2.2. Sett opp koblingen vist i Figur 3 med multimetrene (FLUKE 45 og 75) **uten å slå på spenningskilden**. Spenningskilden har 3 utganger: 5V, - 15V og +15V. Bruk +15V-utgangen, og **skru alltid spenningen ned til 0 før dere slår på spenningskilden**.

I prelabben har du regnet ut en passende spenning å sette spenningskilden for motstanden på $10\ \Omega$, ut fra at en vanlig motstand av typen vi bruker her tåler maksimalt omtrent 0,25 Watt. Mål nå de to spenningene og strømmen gjennom motstanden for både R_1 og R_2 . Siden du bare har to slike multimetre, 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?

- Sammenlign verdier og usikkerheter fra de direkte motstandsmålinger og de beregnede verdier fra strøm og spenningsmålinger i en krets.

3. Vekselspenning med frekvensgenerator, oscilloscop og multimeter

Mens multimetret måler gjennomsnittlige størrelser, måler et oscilloscop funksjonsformen til spenningen. I denne oppgaven bruker vi et oscilloscop (PicoScope 2000 series) med innebygd signalgenerator. Vi må koble oscilloscopet til pc-en og bruke programmet PicoScope 6 for å se målingene.

Bruk en koaks-kabel til å koble direkte fra utgangen AWG til inngang A på scopet. Signalgeneratoren skal innstilles på 1 kHz sinus, og amplituden settes til 1 V.

Oppgave 3.1. Finn skjemaet i APPENDIKS C: Skjema for oppgave 3.1.

- Sett alle oscilloscopets og signalgeneratorens innstillinger slik som beskrevet i skjemaet. Varier de forskjellige innstillingene i skjemaet etter tur, og se hva som skjer med bildet på skjermen. Dette behøver ikke noteres.

Oppgave 3.2. Denne oppgaven skal gjøres med to forskjellige signaler: et sinus- og et triangel- eller firkantsignal. Signalene kan gjerne ha forskjellig frekvens og amplitude. Gjenta følgende punkter for hvert signal:

- still inn oscilloscopet ved å variere tidsbase ("x s/div") og forsterkning ("Verdispenn") slik at dere får et best mulig bilde på skjermen.
- Lag en utskrift av skjermbildet, lim det inn i labjournalen og noter innstillingene du bruker på signalgeneratoren og oscilloscopet. Dersom du ikke får et stillestående bilde på skjermen, kan dette skyldes at du trigger på feil kanal, at triggerkontrollen ("Utløser") ikke står i AUTO, eller at du har feil innstilling av "Terskel" på triggekretsen. Får du ikke dette til selv, så spør en veileder om hjelp.
- Mål spenningen fra signalgeneratoren med lab-multimetret innstilt på AC. Dette kan kobles på kretsen.
- I PicoScope: legg til en måling av AC RMS for spenningen på inngang A.
- Hva er sammenhengen mellom verdien du får fra multimetret, den som scopet måler (med "Målinger (AC RMS)"), og den som du regner ut analytisk?
- Hva er mest nøyaktig, multimetret eller scop-målingen? Har frekvensen noe å si for nøyaktigheten?
- *Kun for sinussignalet:* Sett på en DC-komponent på signalgeneratoren ("Forskyvning"). Hvordan kan du måle denne (minst to forskjellige metoder)?

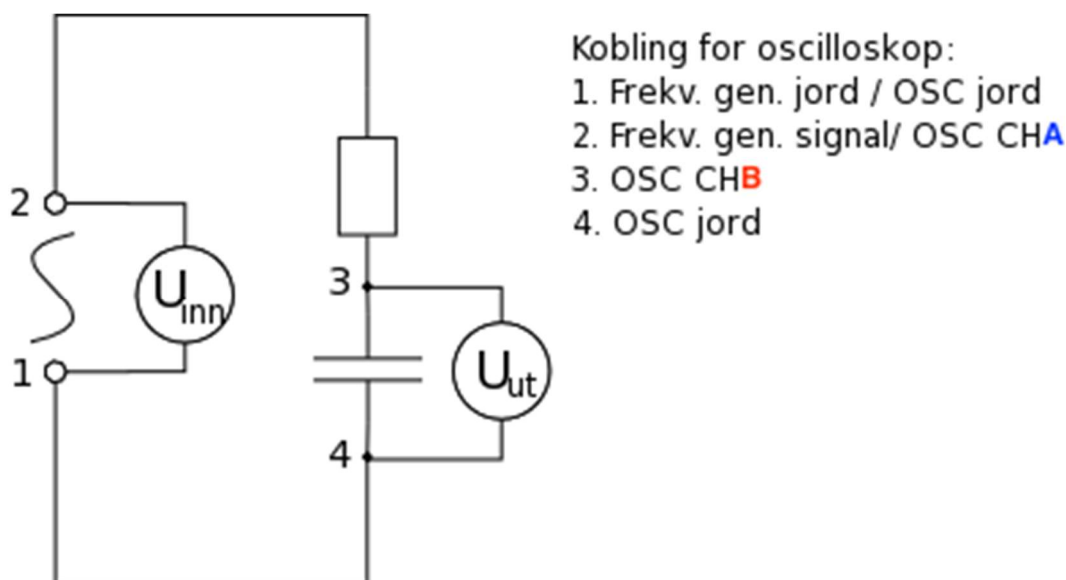
4. Krets med frekvensavhengig respons

Oppgave 4.1 Figur 4 viser oppkobling av en enkel RC-krets.

Bruk motstanden på 10 kΩ og den utdelte kondensatoren til å koble opp kretsen på breadboardet. Koble til signalgeneratoren og oscilloscopet som vist i Figur 4. Dere kan eventuelt også koble til multimeter for å måle effektivverdiene av spenningene. Finn en passende amplitude på frekvensgeneratoren og varier frekvensen i dekaner fra ca. 10 Hz til 1 MHz.

- For hver frekvensinnstilling, still inn oscilloscopet og les av frekvens og amplituden til spenningene.
- Noter alle avlesningene (med anslåtte usikkerheter) i en tabell.
- Skriv inn de målte frekvensene og spenningene i MATLAB og plott dem mot hverandre. Overvei om aksene bør være logaritmiske eller lineære.

- Gjør flere målinger i det frekvensområdet der det skjer store endringer og ta dem med i plottet. Lag en lineærtilpasning til de datapunktene forbi knekkpunktet ekstrapolert til y-aksen (samme type graf som i det siste spørsmålet i prelaben). Kommenter figuren.
- Hvilken verdi av C kan du hente ut av disse resultatene?
- Hva forventer vi om plasseringen av motstanden og kondensator byttes i Figur 3? **Hvis det er tid**, gjør byttet og gjenta 1–4 for å verifisere.



Figur 4: Enkel RC-krets. Med labinstrumenter: påtrykt spenning (1-2) fra frekvensgenerator, spenninger (1-2 og 3-4) målt med oscilloscop (og evt. Multimetre)

III. UTSTYRSLISTE

- Breadboard
- To motstander (10Ω , $1\text{ M}\Omega$)
- Ett Håndholdt multimeter (FLUKE 75) • Ett Lab-multimeter (FLUKE 45)
- Variabel spenningskilde, $\pm 15\text{V}$
- To BNC-til-banan-overganger
- En BNC-forgreining
- Oscilloscop med innebygd signalgenerator (PicoScope 2000 Series)
- PC med PicoScope-programvaren installert
- Løse ledninger (enkeltledere) for å koble fra AD/DA-omformer til breadboard
- Koaks-kabel med BNC i hver ende
- Til siste oppgaven: ukjent kondensator og $10\text{ k}\Omega$ motstand

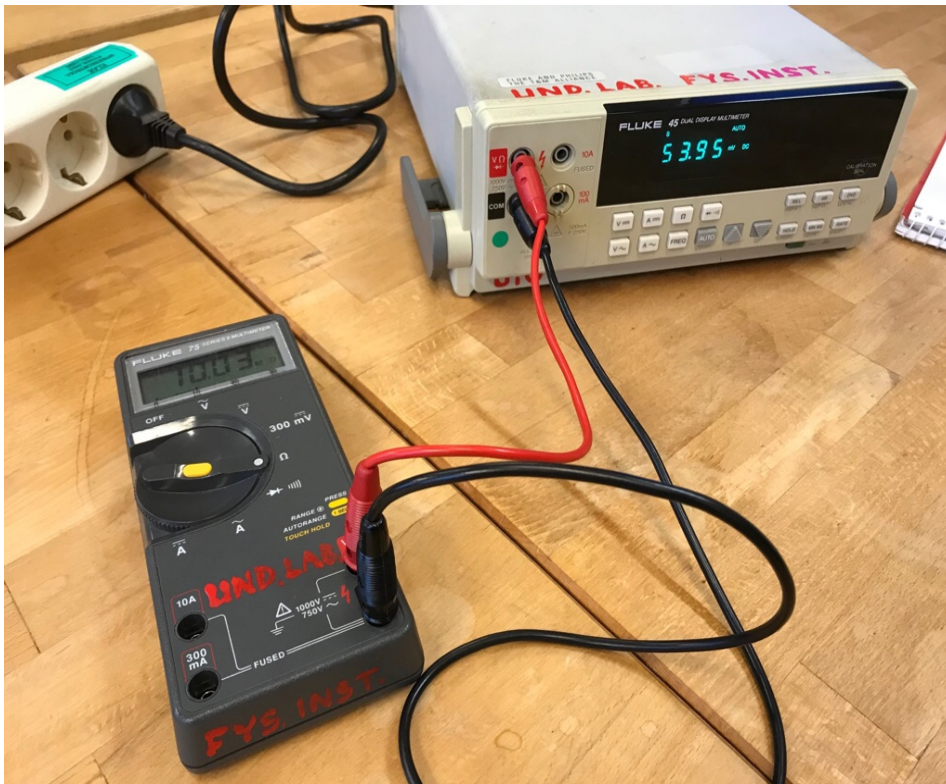
IV. APPENDIKS A: Multimeter

Hvert multimeter har en svart utgang merket «COM». Dette er jording, men siden den ikke er fysisk koblet til jord brukes betegnelsen COM (common, en felles referanse), og disse utgangene skal alltid være koblet i hverandre. Tips: Det er lurt å være konsekvent og alltid bruke en svart ledning til COM, for å unngå å forvirre seg selv.

For å måle spenning eller motstand med multimeteret brukes den røde utgangen merket «V Ω ». For å måle strøm brukes en av de to siste utgangene, vi skal bruke den laveste (altså «300 mA» på FLUKE 75 og «100 mA» på FLUKE 45.)

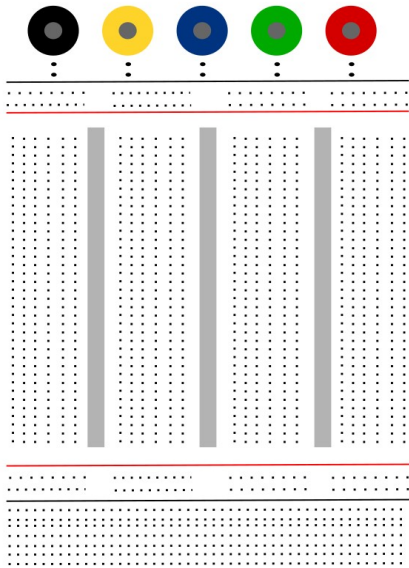
Rate stilles inn med knappen merket «RATE» på FLUKE 45 og med den gule knappen på FLUKE 75.

Se Figur 5 for et eksempel på to multimetre som måler på hverandre.



Figur 5: To multimetre som måler på hverandre. Det håndholdte (FLUKE 75) måler motstand og labmultimeteret (FLUKE 45) måler spenning.

V. APPENDIKS B: Breadboard



Figur 6: Illustrasjon av breadboard

Figur 6 viser en illustrasjon av den typen breadboard vi bruker. 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 og mellom hullene langs hver av de røde strekene. Det enkleste er å bruke sort til "jord" og rød til spenningsforsyning. Motstander og ledninger plasseres mellom rader for å danne en krets.

VI. APPENDIKS C: Skjema for oppgave 3.1

Kontroll/funksjon	Startverdi	Hva skjer når kontrollen endres
Kjører/Stoppet	Kjører	
Channel A: Maksimalt antall biter	12,0	
Verdispenn	$\pm 2\text{ V}$	
AC-DC	DC	
Signalgenerator: Signal På	Ja	
Signal type	Sinus	
Startfrekvens	1 kHz	
Amplitud	1 V	
Forskyving	0 V	
Tidsbase: Tid/div	0.2 msec/div	NB! Klikk stopper Utløseren
Antall prøver ("samples")	1 MS	
Buffer ("Forrige")	32 of 32	
Zoom	x1	
Trigger: Utløser	AUTO	Skal ikke utprøves
Utløserkanal	CH A	Skal ikke utprøves
Avansert Utløser	Enkel kant	
Kant	Stigende	
Terskel	0 V	
Før-utløser	50%	
Tidforsinkelse	Ikke aktivert	Skal ikke utprøves