

Naam: Klas: Studentnummer:

Inleiding

Vorige week hebben we ontdekt waarom het belangrijk is om je probe af te stellen (waarom ook alweer? ☺). Zo net is er een presentatie gegeven over meetonzekerheden in je meetapparatuur. We zullen hier verder op ingaan en we zullen non-idealiteiten van de op-amp bekijken.

Leerdoelen

1. Kunnen omgaan met meetapparatuur.
2. Datasheets van apparatuur lezen en relevantie informatie opzoeken en toepassen.
3. Meetonzekerheden bepalen.
4. Eigenschappen van meetapparatuur kunnen herkennen en verklaren.

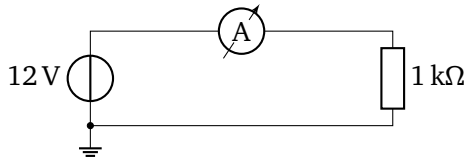
Opdrachten

Opdracht 1: Signaalgenerator en Scope

1. Genereer een sinus signaal met een frequentie gelijk aan de laatste 3 cijfers van je studentnummer in kHz en $0,654 V_{pp}$. Geef de sinus weer op de oscilloscoop.
2. Meet de V_{pp} op de oscilloscoop en vul de gegeven waarden in [tabel 1](#). Wat valt je op?
3. Wat is de resolutie van de scope? Dat wordt gegeven in bits en kun je vinden in de [manual](#) ☺.
4. Wanneer je de scope op de grootste stap per divisie zet, wat is de kleinste spanningsstap die de oscilloscoop kan meten?
5. En voor de kleinste stap per divisie? Hoe nauwkeurig kun je dan meten?
6. Wat zou je dus bij iedere meting moeten doen om de meest nauwkeurige meting te krijgen?

Tabel 1: Meting resolutie van de scope

Resolutie in V/div	Gemeten V_{pp}
5	
2	
1	
0.5	
0.2	
0.1	

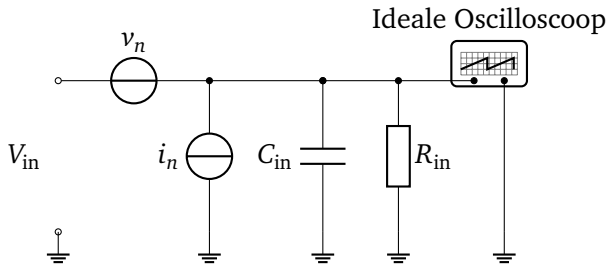
**Schakeling 1:** Stroom meting

Opdracht 2: Stroom meten

1. Wat is de stroom door de weerstand?
2. Meet met je Digitale MultiMeter (DMM) de stroom door de weerstand in [schakeling 1](#).
3. Wat is de meetonzekerheid van je DMM? Je kan dit vinden in de datasheet. Licht de berekende waarde in dit bereik?
4. Je meetapparatuur voegt onzekerheid toe. Wat zijn nog meer factoren waardoor de gemeten stroom anders is dan de berekende stroom?
5. Als je je vingers op de tips van de DMM houdt van je meting, wat gebeurt er dan met je meting? Waarom wordt dit beïnvloed?

Maak nu een spanningsdeler met twee $1\text{ k}\Omega$ weerstanden.

6. Welke spanning verwacht je te meten over de weerstanden?
7. Meet de spanning over beide weerstanden met je DMM.
8. Geldt de spanningswet van Kirchhoff voor deze spanningsdeler?
9. Vervang beide weerstanden naar $10\text{ M}\Omega$ en herhaal bovenstaande drie stappen.
10. Meet nu tegelijkertijd met twee DMM's de spanning over beide weerstanden.
11. Kun je verklaren hoe dit komt? *Hint:* Zoek de waarde van de ingangs-impedantie van de DMM.



Schakeling 2: Niet-ideale componenten van de oscilloscoop.

Opdracht 3: Niet-idealiteit van de oscilloscoop.

De oscilloscoop is een veelzijdig apparaat, maar uiteraard bevat het ook niet idealiteiten. Vorige week zag je dat een oscilloscoop een ingangsweerstand en capaciteit heeft. Daarnaast voegt alle meetapparatuur zijn eigen ruis toe aan je meting waar je rekening mee moet houden. In [schakeling 2](#) zijn de niet-ideale componenten getekend van een oscilloscoop. Je sluit de probe aan op V_{in} en krijgt daar dus gratis een ingangsweerstand en condensator voor terug. Ruis wordt gemodelleerd als twee ruisbronnen een spanningsbron in serie en een stroombron in parallel met de ingang. Door te meten kun je de waarde van deze ruisbronnen bepalen. Ruis is een [stochastisch proces](#) en daarmee kom je in het wiskundige gebied van de statistiek. Wij zullen alleen de [expected value](#) en de [variance](#) bepalen.

1. Zet de oscilloscoop op de FFT-functie ^a.
2. Het FFT-plot wordt ook wel het spectrum genoemd. Op de Y-as staat de amplitude en op de x-as de frequentie. Als je de ingang kortsluit, bepalen we dan de spanning of de stroombron? En hoe weet je dat? Laat de oscilloscoop de expected value en de variance bepalen ☺.
3. Laat de ingang van de oscilloscoop open. Welke bron bepalen we nu?
4. [Thermische ruis](#) ontstaat doordat elektronen tegen atomen opbotsen wat een verandering geeft aan de gemiddelde stroom. Deze ruis komt voor bij alle elektrische componenten en dus ook bij weerstanden.

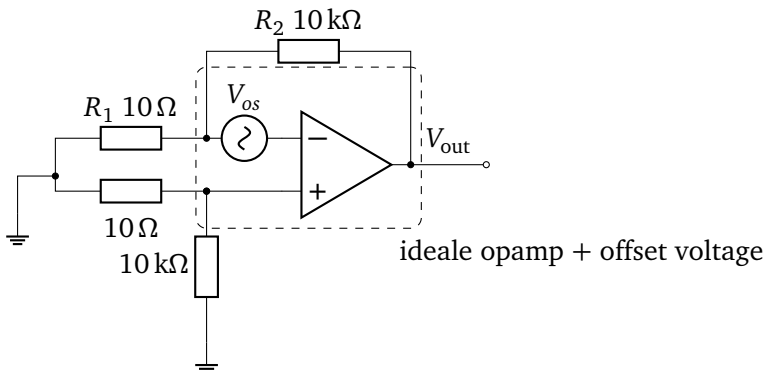
Bij weerstanden kunnen deze worden berekend met [vergelijking \(1\)](#) en [vergelijking \(2\)](#). Waar staan alle parameters voor en wat zijn de eenheden? Waarom is de eenheid in $V/\sqrt{\text{Hz}}$ en $A/\sqrt{\text{Hz}}$? Waarom staat er een wortel in de noemer?

5. Wanneer een condensator in parallel staat met een weerstand verandert er iets aan de ruis formules. Een van de componenten komt niet meer voor in de formules! Waarom is dat?

^a [Fast Fourier Transform](#). De FFT wordt veel gebruikt in de Elektrotechniek. Het is dus goed om dit even door te lezen mocht je dat nog niet hebben gedaan ☺.

$$V_n = \sqrt{4kTR} \text{ [V}/\sqrt{\text{Hz}}] \quad (1)$$

$$I_n = \sqrt{\frac{4kT}{R}} \text{ [A}/\sqrt{\text{Hz}}] \quad (2)$$



Schakeling 3: Meetcircuit om de spanningsoffset van een op-amp te meten.

$$\frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{os}}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Opdracht 4: Op-amp niet-idealiteiten

De op-amp bevat ook non-idealiteiten. Een daarvan is de offset spanning. Deze spanning veroorzaakt een bias^a wat een offset geeft aan de uitgang en dus je meting beïnvloed.

1. Bouw de schakeling van [schakeling 3](#) op en gebruik een symmetrische voedingsspanning van $\pm 10\text{V}$. Wat is de offsetspanning in de [TL074](#)?
2. Bepaal de gain van de op-amp. Waarom wordt een vrij lage waarde van R_1 gebruikt? En waarom is het niet erg dat R_2 een hogere waarde heeft? Welke trade-off is hier gemaakt?
3. Bepaal de offset spanning van de TL074. Klopt de waarde met wat er in de datasheet staat?

De offset voegt een fout toe aan de uitgang van je meting. Om voor deze spanning te compenseren zijn verschillende technieken mogelijk zoals [chopping](#), [offset nulling \(pg.6\)](#) of [auto-zero](#).

4. Leg kort uit hoe de drie technieken werken en geef de voor- en nadelen van elkaar.
5. Wat zijn input bias stromen? Wat zijn input offset currents?
6. De gain bandwidth (GBW) product laat een trade-off zien van op-amps. Wat is deze trade-off?

^a Biasing is een lastig te vertalen Engels woord wat in de Elektrotechniek zo ongeveer vertaald kan worden naar 'vooringstelling'. Biasing ken je al vanuit de theorielessen over transistoren ☺.