

Naam: Klas: Studentnummer:

Inleiding

In dit practicum gaan we aan de slag met opamps. Opamps zijn differentiele versterkers welke voor veel toepassingen kunnen worden gebruikt.

De ideale eigenschappen waarmee we in de theorie rekenen zijn:

1. Een oneindige spanningsversterking. $A_v = \infty$
2. Een oneindig hoge ingangsimpedantie. *(Er loopt geen stroom de ingangen van een opamp in.)*
3. Een uitgangsimpedantie van nul Ohm. *(De opamp kan een oneindig hoge stroom leveren aan de uitgang.)*

Naast deze eigenschappen zijn er nog vele andere eigenschappen, die we komende opdrachten of cursussen zullen ontdekken.

Leerdoelen

- De eigenschappen van een ideale opamp kunnen benoemen.
- Basisschakelingen met opamps kunnen doorrekenen, simuleren, opbouwen en er aan meten.
- De ideale eigenschappen vergelijken met een opamp in de simulatie en in de praktijk en de verschillen kunnen verklaren aan de hand van de datasheet.

Vorbereiding op de les

- Lees Hambley §13.1 (“Ideal operational amplifiers”), §13.2 (“inverting amplifiers”) en §13.3 (“noninverting amplifiers”) door.
- Bekijk de datasheet van de TL074 opamp van Texas Instruments (<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl074.pdf>).
- Lees de opdrachten door en maak de gevraagde berekeningen.
- Maak een simulatie van **schakeling 1**, **schakeling 2**, **schakeling 3**, **schakeling 4** en **schakeling 5**. Gebruik voor de simulaties de opamp *UniversalOpamp2* uit de map *Opamps* in LTspice en zorg dat je deze bij de hand hebt tijdens het practicum. *Let op dat (bijvoorbeeld) $2V_{pp}$ gelijk is aan een amplitude van 1 V in LTspice.*

Hergebruik van componenten in de labs

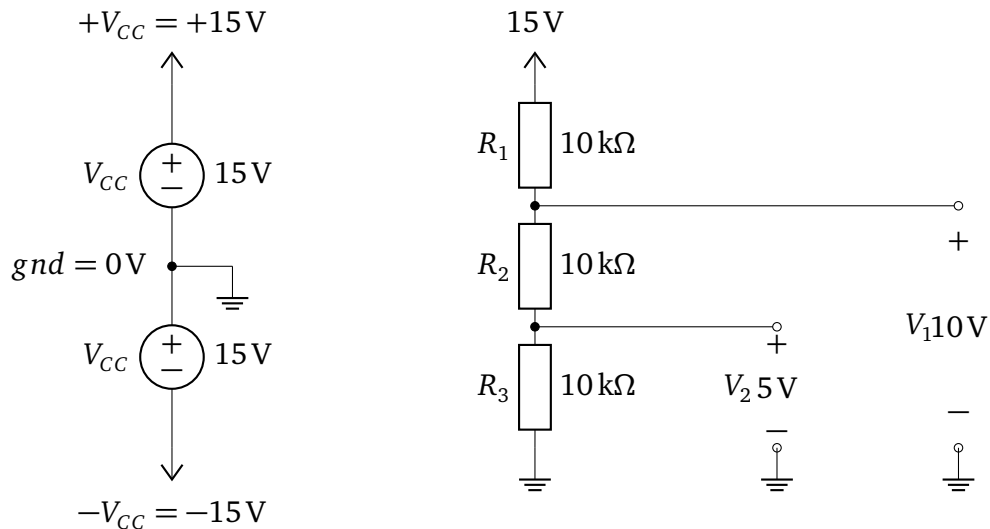
Het is de bedoeling dat je componenten uit de standaardvoorraad en draadjes na gebruik **zelf bewaart** in een bakje of koffertje met verschillende vakjes zodat je deze **meerdere malen kunt gebruiken**.

Kijk voordat je nieuwe componenten pakt of draadjes knipt **eerst** of er nog iets in de **hergebruikbakken** zit.

Componenten die niet in de standaardvoorraad zitten en tijdens het practicum worden uitgedeeld moeten na gebruik weer worden ingeleverd.

1 Voeding voor een opmp

Om een opamp te kunnen voeden zodat hij goed om kan gaan met positieve en negatieve spanningen hebben we een zogenaamde dubbele of *bipolaire* voeding nodig met een $+V_{CC}$, gnd (0V) en $-V_{CC}$. Hoe je dit kunt aansluiten op een tweekanaalslabvoeding is weergegeven in **schakeling 1** links.



Schakeling 1: Links: Positieve en negatieve voeding voor een opamp.

Rechts: Een spanningsdeler om verschillende DC spanningen mee te maken.

Opdracht 1: Voeding voor een opamp

1. Hoe moet je de twee kanalen van de voeding onderling verbinden om een voeding voor de opamp te maken? Maak een tekening van de aansluitbussen van de labvoeding en teken hierin je verbindingen.
2. Hoeveel aansluitsnoeren heb je nodig tussen de labvoeding en je breadboard?
3. Zet je de voedingskanalen op deze manier in serie of in parallel?
4. Bouw de schakeling in **schakeling 1** links op. Controleer met je multimeter of je ook daadwerkelijk 15V en $-15V$ hebt gemaakt ten opzichte van gnd .

5. De Tenma labvoeding kan de benodigde extra verbinding ook intern maken. Zoek uit welke instelling je hiervoor nodig hebt. Hoe verandert hierdoor het instellen en in- of uitschakelen van de twee kanalen op deze voeding met deze instelling?

In het vervolg mag je zelf kiezen of je de verbinding tussen de voedingskanalen handmatig of intern maakt om hiermee een opamp te kunnen voeden.

Opdracht 2: Spanningsdeler om extra DC spanningen te maken

In de komende opdrachten hebben we naast de voeding voor de opamp ook DC spanningen van 5V en 10V nodig. Omdat onze labvoeding vaak maar twee kanalen heeft gaan we deze spanning maken met een spanningsdeler zoals weergegeven in **schakeling 1** rechts.

1. In de lessen van ELE10 heb je geleerd dat je een spanningsdeler niet kunt gebruiken als voeding. Leg aan de hand van de eigenschappen van een opamp (zie inleiding) uit waarom we in dit geval wel een spanningsdeler kunnen gebruiken om *direct* aan te sluiten als DC spanning op de ingangen van een opamp.
2. Bereken op basis van de formule voor spanningsdeling dat de spanningsdeler in **schakeling 1** inderdaad een spanning van 5V en 10V geeft.
3. Bouw de spanningsdeler in **schakeling 1** rechts op en controleer met je multimeter of je daadwerkelijk een referentiespanning van 5V en 10V hebt gemaakt. Noteer je bevindingen:

2 De opamp als comparator (spanningsvergelijker)

In de eerste opdracht gaan we kijken naar de basiseigenschappen van een opamp. Een opamp heeft 2 ingangen en 1 uitgang. Van de ingangen is er 1 de inverterende ingang (v_-) en 1 de niet-inverterende ingang (v_+).

De formule voor de uitgang van een opamp zonder feedback is:

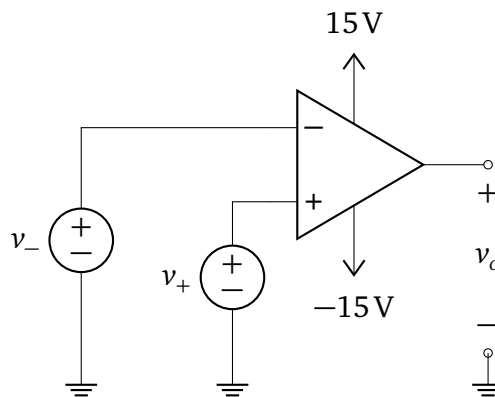
$$v_o = A_{ol} \cdot (v_+ - v_-) \quad (1)$$

Bij een ideale opamp is de *open loop* versterking A_{ol} oneindig en wordt de uitgangsspanning van de opamp beperkt door de voedingsspanningen $+V_{CC}$ en $-V_{CC}$. We kunnen voor v_o dan ook stellen dat:

$$v_o = \begin{cases} +V_{CC} & \text{als } v_+ > v_- \\ -V_{CC} & \text{als } v_- > v_+ \end{cases} \quad (2)$$

Oftewel: als de inverterende ingang een hogere spanning heeft dan de niet-inverterende ingang dan zal de uitgang naar $-V_{CC}$ gaan, andersom gaat de uitgang naar $+V_{CC}$.

In de praktijk bestaan er geen ideale opamps. We gaan dus kijken hoe een echte opamp zich gedraagt ten opzichte van de theorie en simulatie.



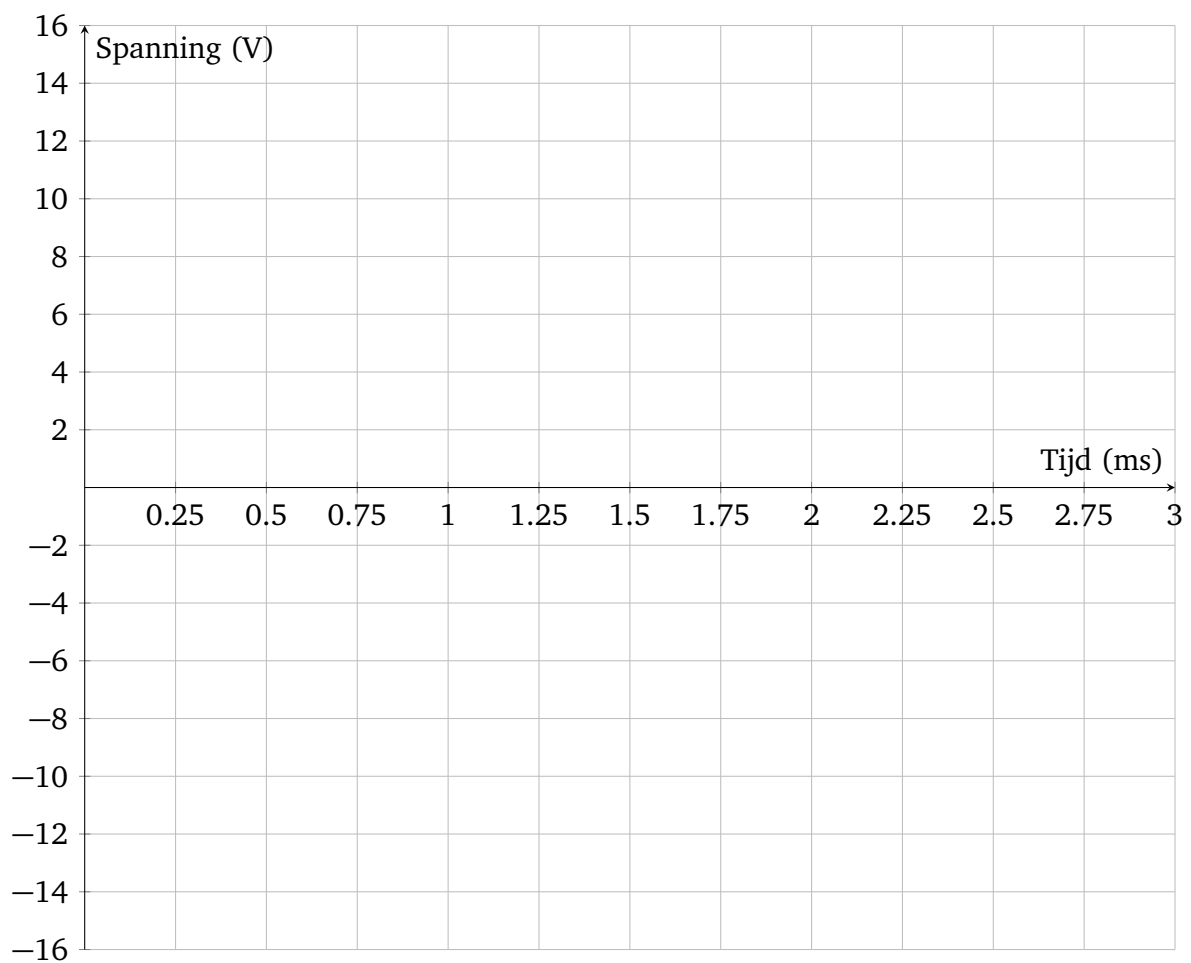
Schakeling 2: Opamp als comparator

Opdracht 3: Comparator

1. Bereken aan de hand van **vergelijking (1)** en **vergelijking (2)** de uitgangsspanning v_o voor verschillende waarden van v_- en v_+ . Vul de kolom *berekend* in **tabel 1** in.
2. Simuleer **schakeling 2**. Voer de simulatie uit voor dezelfde ingangsspanningen als je berekeningen. Vul de kolom *gesimuleerd* in **tabel 1** in. Zijn er verschillen? Verklaar waarom (niet).
3. Bouw de schakeling op. Meet weer de verschillende ingangsspanningen en vul de kolom *gemeten* in **tabel 1** in. Komen de metingen overeen met de berekening en simulatie? Verklaar waarom (niet).
4. De TL074 is geen ideale opamp en ook geen zogenaamde *rail-to-rail* opamp. Zoek uit wat dit betekent voor de minimale en maximale spanning op de uitgang van de opamp. Zoek hiervoor de zogenaamde v_{om} op in de datasheet en verklaar je metingen.
5. Bekijk tabel **tabel 1**, in welk(e) geval(len) is er een probleem als de spanning op de ingangen in de buurt van de voedingsspanningen komt? Zoek op in de datasheet hoe dit komt.
6. Sluit v_+ aan op 0 V (gnd). Gebruik de functiegenerator om een sinus met $10V_{pp}$ en een frequentie van 1 kHz aan te sluiten op v_- . Meet beide signalen (v_- en v_o) met de oscilloscoop. Wat zie je? Teken de signalen v_- en v_o in **figuur 1**. Gebruik hiervoor verschillende kleuren. Controleer je metingen met een simulatie en verklaar de eventuele verschillen:

Tabel 1: Metingen aan een comparator

v_-	v_+	v_o Berekend	v_o gesimuleerd	v_o gemeten	Komt het overeen?
0V	5V				
5V	0V				
5V	5V				
0V	0V				
-15V	0V				
0V	-15V				
15V	0V				
0V	15V				
-15V	15V				
15V	-15V				

**Figuur 1:** Sinus van 1 kHz op een comparator.

3 De spanningsvolger (buffer)

In **opdracht 3** hebben we gezien dat de uitgang van een opamp zonder feedback altijd naar de maximale positieve en negatieve uitgangsspanning gaat. Iets daartussenin is niet mogelijk. Behalve het gebruik als comparator zijn er dan weinig nuttige toepassingen voor een opamp.

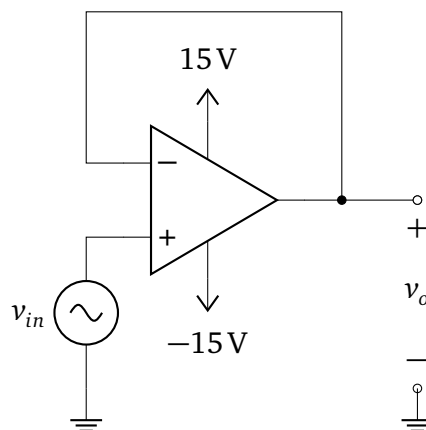
Gelukkig kunnen we de opamp *temmen* door *negatieve feedback* (terugkoppeling van de uitgang naar de inverterende ingang via een draad, of een combinatie van weerstanden, condensatoren en spoelen) te gebruiken.

Omdat deze zogenaamde *negatieve feedback* zo belangrijk is om een nuttige opamp schakeling te verkrijgen zeggen we in de elektrotechniek ook vaak: “De enige juiste vorm van feedback is negatieve feedback”.

We mogen dan namelijk aannemen dat:

$$v_+ = v_- \quad (3)$$

De meest simpele vorm van *negatieve feedback* is door de uitgang met een draad te verbinden aan de inverterende ingang. We noemen deze schakeling (weergegeven in **schakeling 3**) een *spanningsvolger* of *buffer*.



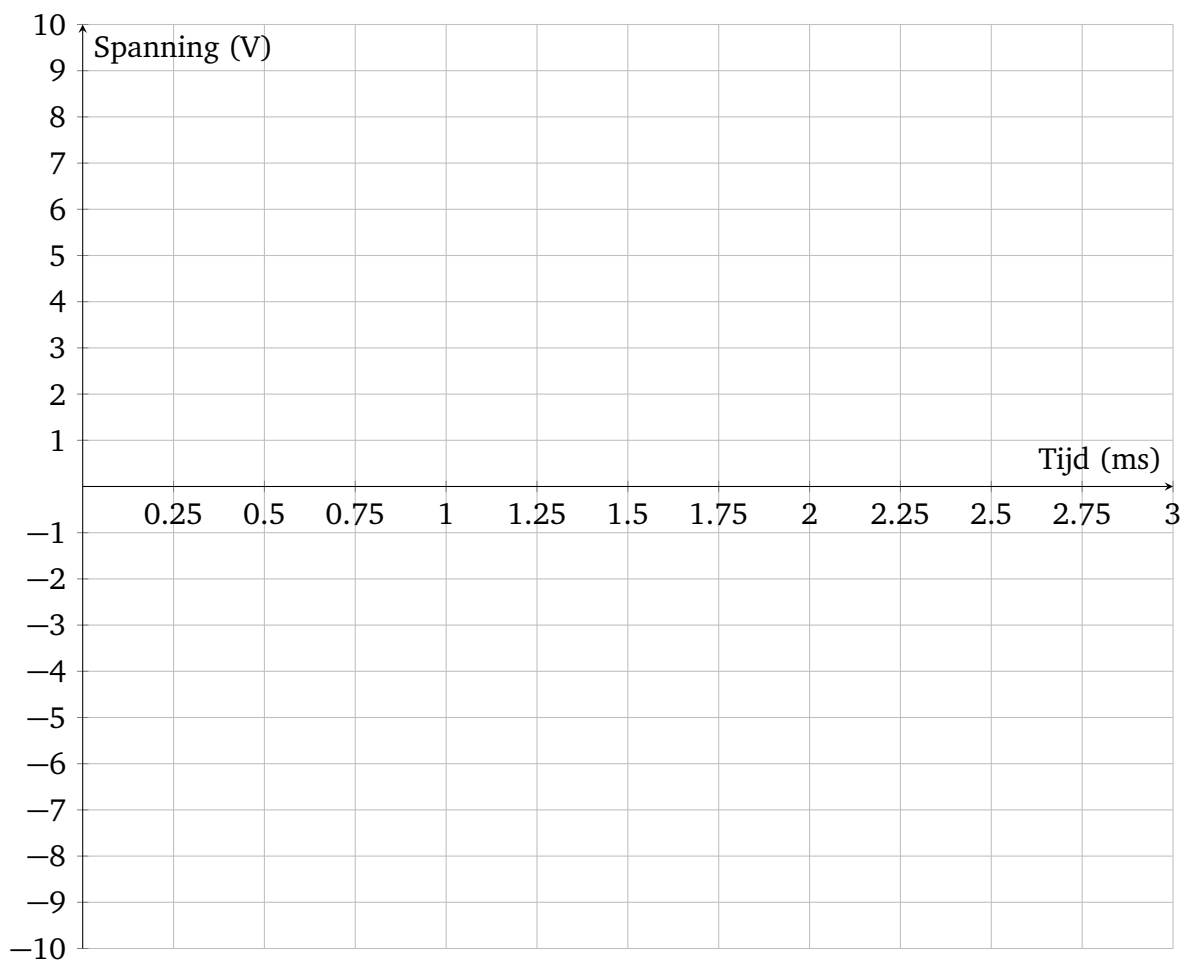
Schakeling 3: Opamp als spanningsvolger

Opdracht 4: De spanningsvolger (buffer)

1. Bekijk **schakeling 3**. Stel een formule op waarmee je v_o uitdrukt in v_{in} . Maak hierbij gebruik van **vergelijking (3)**, de eigenschappen van een ideale opamp (zie inleiding) en de wetten van Kirchhoff.
2. Simuleer **schakeling 3**. Gebruik voor v_{in} achtereenvolgens een DC spanning van 5V en 10V. Welke spanningen meet je aan de uitgang van de opamp?

3. Bouw **schakeling 3** op, gebruik achtereenvolgens dezelfde ingangsspanningen en meet de uitgangsspanningen met je multimeter. Komen de berekeningen, simulaties en metingen overeen? Verklaar waarom (niet):

4. Gebruik de functiegenerator om een sinus met $10V_{pp}$ en een frequentie van 1 kHz aan te sluiten op v_{in} . Zet de signalen v_{in} en v_o op de oscilloscoop. Wat zie je nu op de oscilloscoop? Teken de signalen in **figuur 2**. Gebruik hiervoor verschillende kleuren. Controleer je meting in de simulatie. Komt je meting overeen? Verklaar de eventuele verschillen:



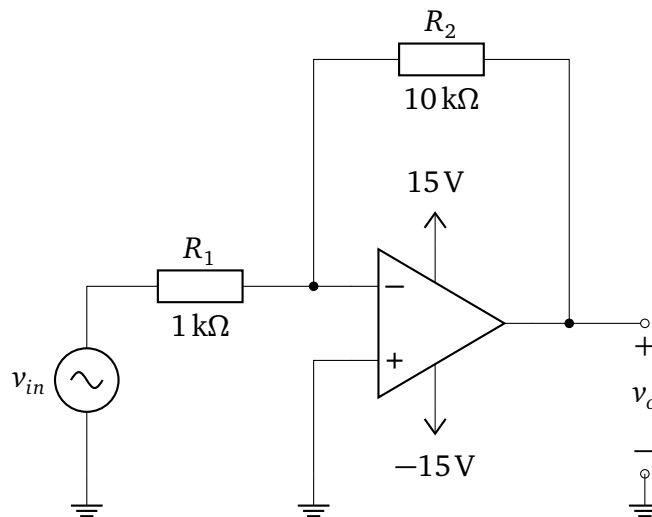
Figuur 2: Sinus van 1 kHz op een spanningsvolger.

4 De inverterende versterker

Een inverterende versterker zoals in **schakeling 4** versterkt het ingangssignaal volgens de formule:

$$v_o = -\frac{R_2}{R_1} \cdot v_{in} \quad (4)$$

De afleiding van deze formule leer je in de theorielessen.

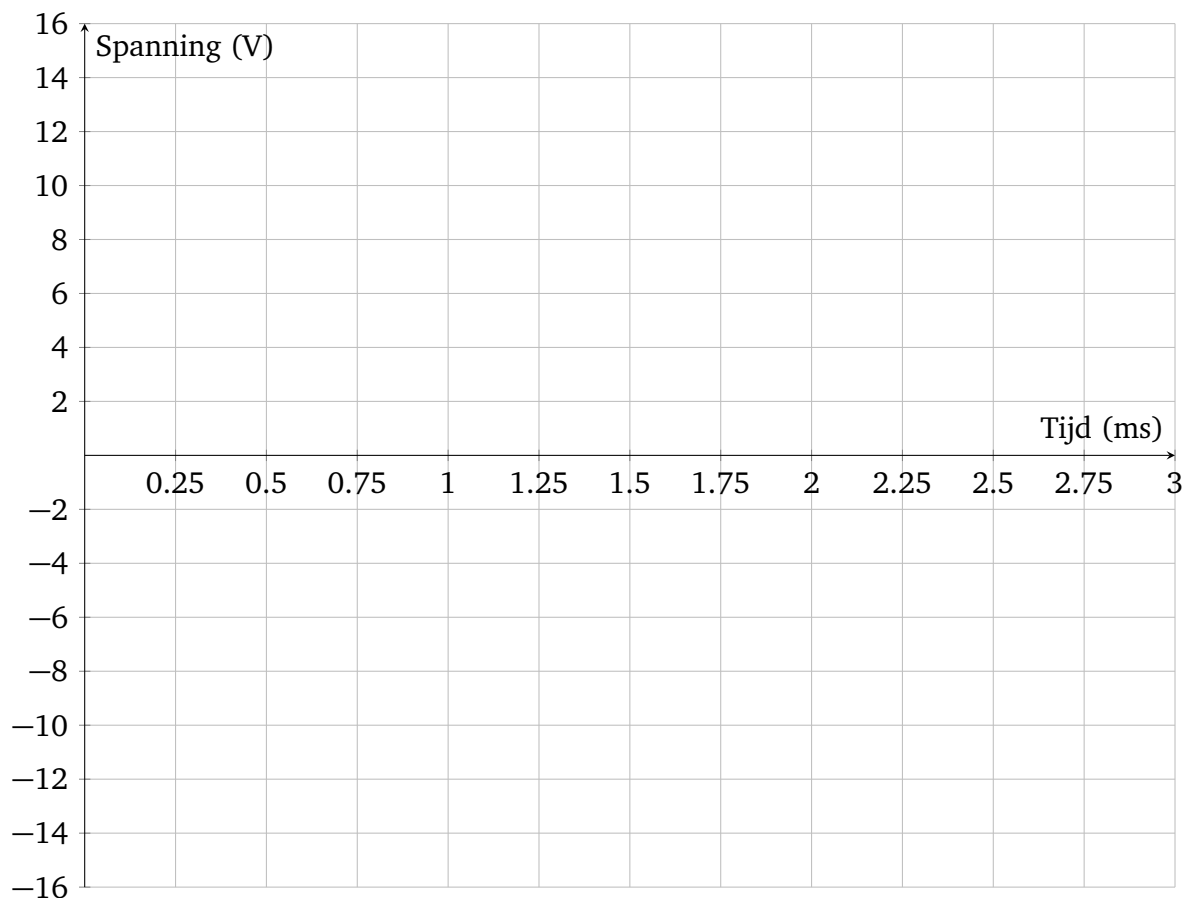


Schakeling 4: Opamp als inverterende versterker

Opdracht 5: Inverterende versterker

1. Bereken met behulp van **vergelijking (4)** de uitgangsspanning v_o van **schakeling 4** op basis van de gegeven weerstandswaarden. Gebruik voor v_{in} achtereenvolgens een DC spanning van 5 V en 10 V.
2. Simuleer **schakeling 4**. Gebruik voor v_{in} achtereenvolgens een DC spanning van 5 V en 10 V. Welke spanningen meet je aan de uitgang van de opamp?
3. Bouw **schakeling 4** op, gebruik achtereenvolgens dezelfde ingangsspanningen (afkomstig uit je spanningsdeler) en meet de uitgangsspanningen met je multimeter. Komen de berekeningen, simulaties en metingen overeen?

4. Leg uit waarom de metingen niet in beide gevallen overeenkomen. Hoe zou je dit probleem met behulp van je bevindingen uit hoofdstuk 3 kunnen oplossen?
5. Gebruik de functiegenerator om een sinus met $2V_{pp}$ en een frequentie van 1 kHz aan te sluiten op v_{in} . Zet de signalen v_{in} en v_o op de oscilloscoop. Wat zie je nu op de oscilloscoop? Teken de signalen in figuur 3. Gebruik hiervoor verschillende kleuren. Controleer je meting in de simulatie.
6. Wat is de maximale versterking die je kunt maken met de schakeling, zonder dat de uitgang vervormt? *Pas de weerstandswaarden hiervoor aan.*
7. Is er ook een minimale versterking (oftewel een verzwakking) mogelijk? Leg uit hoe.



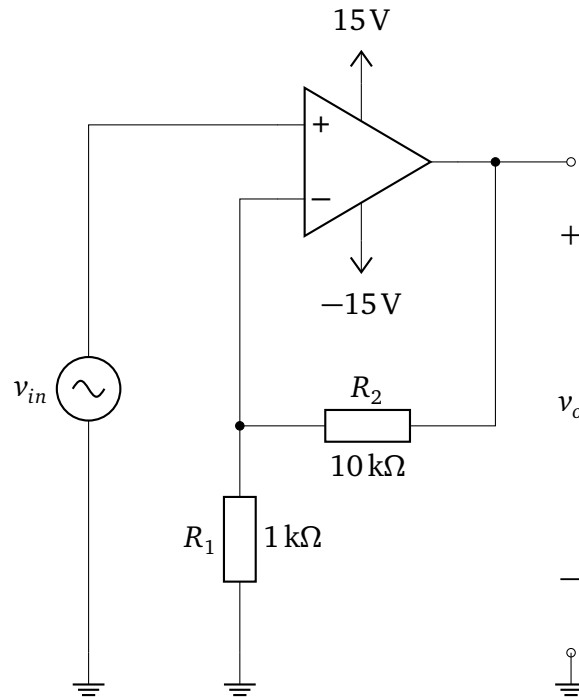
Figuur 3: Sinus van 1 kHz op een inverterende versterker.

5 De niet-inverterende versterker

Door de opamp anders aan te sluiten kunnen we ook een niet-inverterende versterker bouwen. In **schakeling 5** is te zien hoe we de schakeling moeten aansluiten om een niet-inverterende versterker te bouwen. De uitgangsspanning kunnen we berekenen met de formule:

$$v_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot v_{in} \quad (5)$$

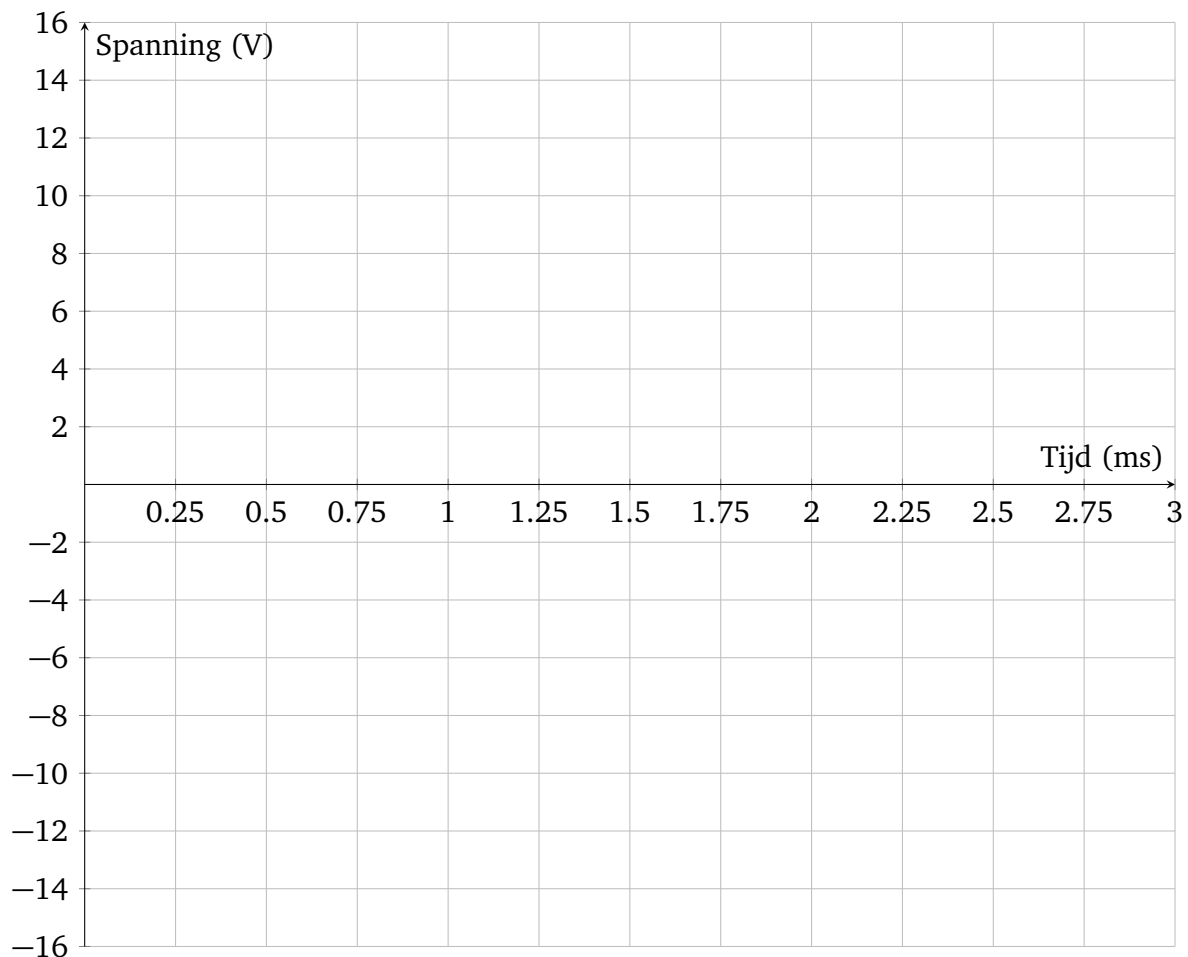
De afleiding van deze formule leer je in de theorielessen.



Schakeling 5: Opamp als niet-inverterende versterker

Opdracht 6: Niet-inverterende versterker

1. Bereken met behulp van **vergelijking (5)** de uitgangsspanning v_o van **schakeling 5** op basis van de gegeven weerstandswaarden. Gebruik voor v_{in} achtereenvolgens een DC spanning van 5 V en 10 V.
2. Simuleer **schakeling 5**. Gebruik voor v_{in} achtereenvolgens een DC spanning van 5 V en 10 V. Welke spanningen meet je aan de uitgang van de opamp? Komt dit overeen met je berekeningen? Verklaar de eventuele verschillen:
3. Bouw **schakeling 5** op, gebruik achtereenvolgens dezelfde ingangsspanningen en meet de uitgangsspanningen met je multimeter. Komen de berekeningen, simulaties en metingen overeen? Verklaar de eventuele verschillen:
4. Gebruik de functiegenerator om een sinus met $2V_{pp}$ en een frequentie van 1 kHz aan te sluiten op v_{in} . Zet de signalen v_{in} en v_o op de oscilloscoop. Wat zie je nu op de oscilloscoop? Teken de signalen in **figuur 4**. Gebruik hiervoor verschillende kleuren. Controleer je meting in de simulatie en verklaar eventuele verschillen:
5. Wat is de maximale versterking die je kunt maken met de schakeling, zonder dat de uitgang vervormt? *Pas de weerstandswaarden hiervoor aan.*
6. Is er ook een minimale versterking (oftewel een verzwakking) mogelijk? Zo ja, leg uit hoe. Zo nee, leg uit waarom niet.



Figuur 4: Sinus van 1 kHz op een niet-inverterende versterker.

6 Controle en aftekenen

Controleer de volgende punten voordat je deze labopdracht laat aftekenen. Indien je één van deze vragen met **nee** kunt beantwoorden zal de opdracht niet worden afgetekend.

- Is de labopdracht uitgeprint?
- Zijn alle metingen volledig en door jezelf uitgevoerd?
- Zijn alle vragen waarbij ruimte voor beantwoording is vrijgelaten ook daadwerkelijk door jezelf in je eigen woorden beantwoord?
- Zijn alle grafieken en tabellen volledig ingevuld? Zijn grafieken voorzien van een legenda?
- Heb je zinvolle conclusies opgeschreven en deze goed onderbouwd in je eigen woorden? (*Lege vakjes zijn niet zinvol...*)
- Kun je alle metingen, antwoorden op de vragen en resultaten verklaren aan de docent?
- Kun je soortgelijke metingen herhalen en verklaren op de praktijktoets?
- Heb je alle mogelijke fouten die je kunt maken benoemd met een oplossing, zodat je deze niet maakt tijdens de praktijktoets?

Tijdens het aftekenen zal de docent je metingen, antwoorden en conclusies met je bespreken en vragen aan je stellen om te controleren of je de leerdoelen goed beheerst. Is er iets niet

in orde, dan zal de docent je vragen om metingen opnieuw uit te voeren of de antwoorden opnieuw te formuleren zodat je goed bent voorbereid op de toetsen en je carrière als elektrotechnisch ingenieur. *We zijn er om je te helpen!*