

Naam: Klas: Studentnummer:

Inleiding

In dit practicum gaan we verder kijken naar de eigenschappen van opamps en opamp schakelingen. We gaan nu kijken naar wat geavanceerdere schakelingen en de beperkingen van echte opamps ten opzichte van de ideale opamp waarmee we rekenen in de theorielessen.

Leerdoelen

- Verschillende schakelingen met opamps kunnen doorrekenen, simuleren, opbouwen en hieraan meten:
 - Somversterker
 - Verschilversterker
 - Instrumentatieversterker
- Een aantal beperkingen van een niet-ideale opamp kunnen benoemen, verklaren en meten:
 - Slew-Rate (SR)
 - In- en uitgangsspanningsbereik
 - Gain-bandwidth product (GBP)

Vorbereiding op de les

- Lees Hambley §13.3 ("Noninverting amplifiers"), §13.4 ("Design of simple amplifiers") en §13.8 ("Differential and instrumentation amplifiers") door.
- Maak voor de les een simulatie van **schakeling 1**, **schakeling 2** en **schakeling 3**.
- Bekijk de datasheet van de TL074 opamp van Texas Instruments (<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl074.pdf>).

Hergebruik van componenten in de labs

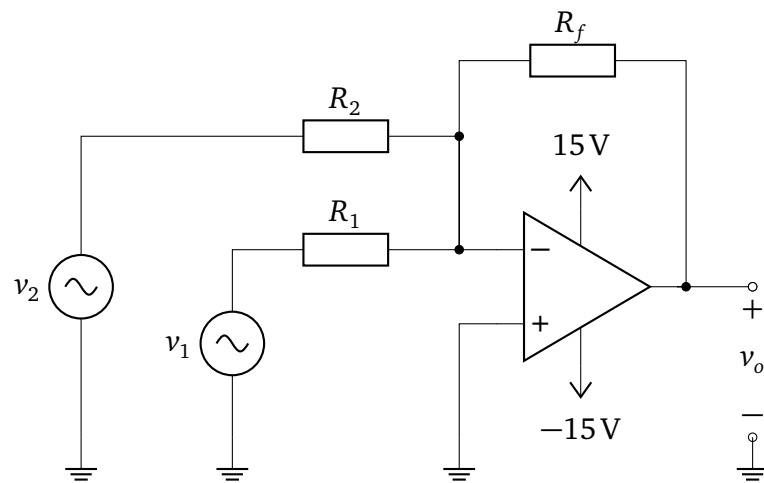
Het is de bedoeling dat je componenten uit de standaardvoorraad en draadjes na gebruik **zelf bewaart** in een bakje of koffertje met verschillende vakjes zodat je deze **meerdere malen kunt gebruiken**.

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 De somversterker

Bekijk **schakeling 1**. Deze schakeling telt spanningen bij elkaar op en versterkt deze. Deze configuratie noemen we dan ook de somversterker (of in het engels *summing amplifier*).



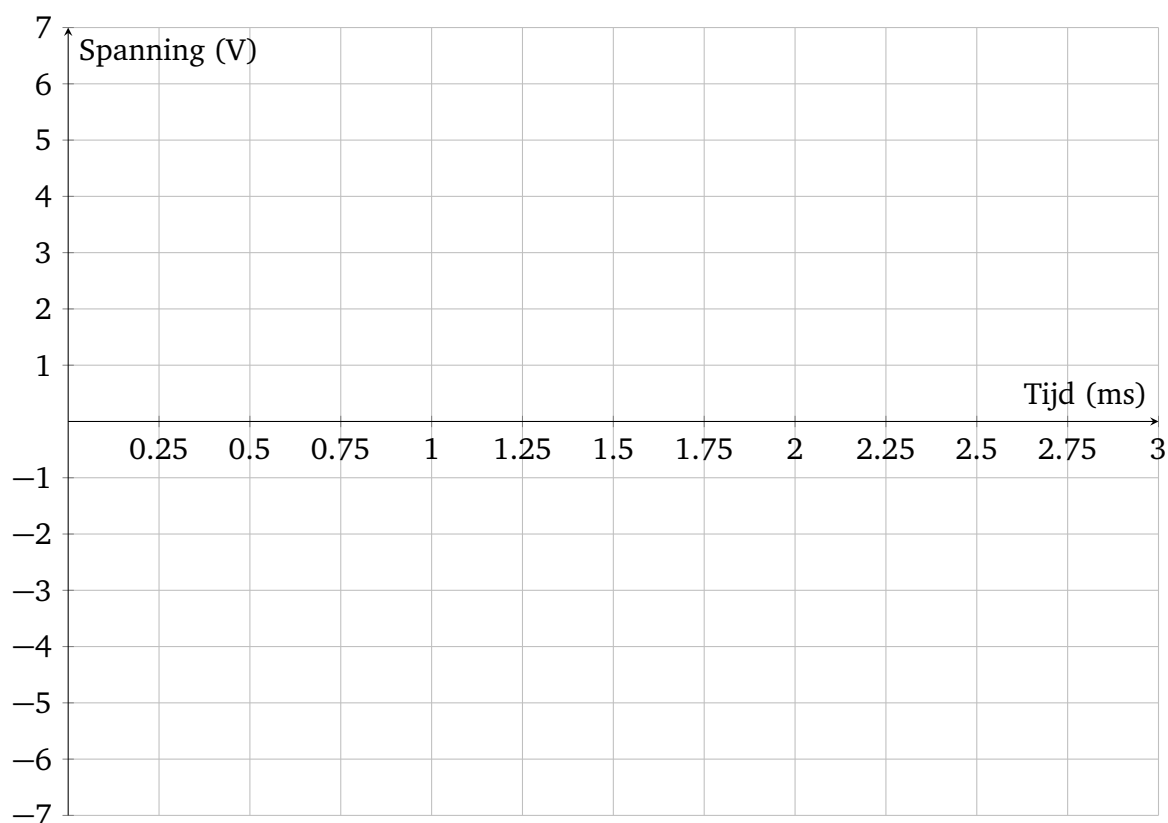
Schakeling 1: Somversterker

Opdracht 1: Somversterker

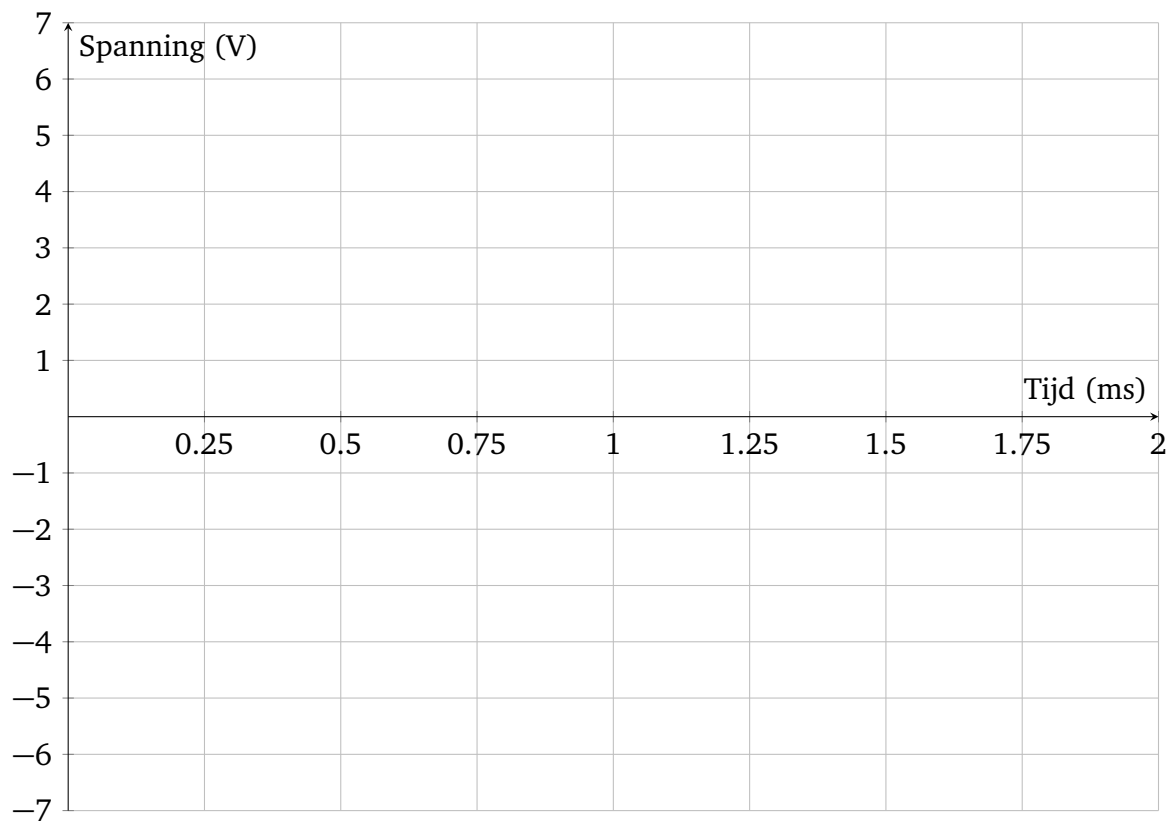
1. Bepaal voor **schakeling 1** de uitgangsspanning als functie van de ingangsspanningen en weerstanden:
2. Kies $v_1 = 1\text{ V DC}$, $v_2 = 0,5\text{ V DC}$ en $R_1 = R_2 = R_f = 10\text{ k}\Omega$ en bereken de uitgangsspanning:
3. Controleer je berekening in de simulatie. Komt het overeen? Verklaar de eventuele verschillen:
4. Bouw de schakeling op. Gebruik de functiegenerator om v_1 in te stellen als een sinus met $f = 1\text{ kHz}$ en $V_{pp} = 2\text{ V}$, en v_2 als een sinus met $f = 1\text{ kHz}$ en $V_{pp} = 4\text{ V}$.

5. Bekijk v_o op de oscilloscoop. Controleer je meting in de simulatie. Komt het overeen? (Komt het niet overeen? Zie dan voetnoot ^a). Teken v_1 , v_2 en v_o met verschillende kleuren in **figuur 1**. Zorg voor een duidelijke legenda. Wat zijn je bevindingen?
6. Pas de frequentie van v_2 achtereenvolgens aan naar 2 kHz, 3 kHz en 4 kHz. Teken v_o voor deze drie frequenties met verschillende kleuren in **figuur 2**. Zorg voor een duidelijke legenda. Wat zijn je bevindingen?
7. Ontwerp, simuleer en test een somversterker waarbij $v_o = -(2 \cdot v_1 + 3 \cdot v_2)$. Welke weerstanden heb je hiervoor nodig? Kies geschikte waarden voor v_1 en v_2 en teken deze samen met v_o met verschillende kleuren in **figuur 3**. Zorg voor een duidelijke legenda. Wat zijn je bevindingen?

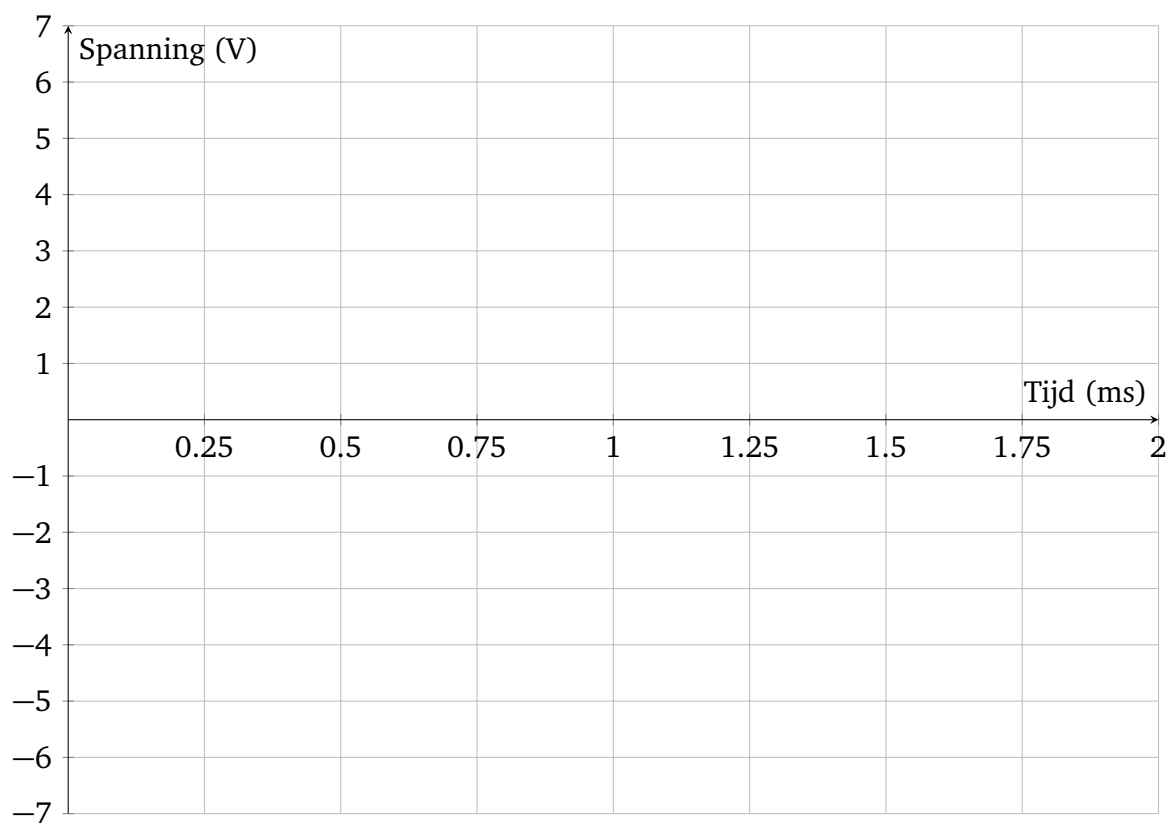
^a Controleer de faseinstellingen van de functiegenerator. Bij de Tenma functiegeneratoren kun je de fase in het menu per kanaal instellen. Bij de Tektronix functiegeneratoren gebruik je de knop *Inter CH* en dan *Align Phase*.



Figuur 1: Somversterker met gelijke weerstanden en gelijke frequentie.



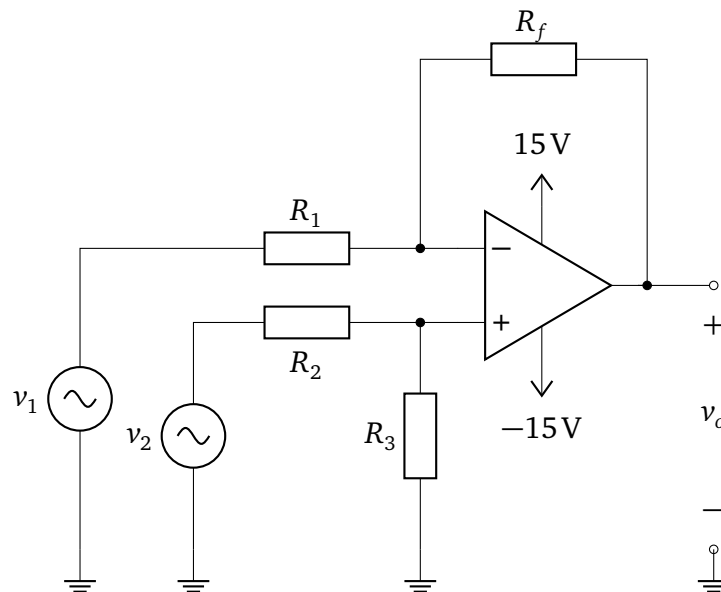
Figuur 2: Somversterker met gelijke weerstanden en verschillende frequenties.



Figuur 3: Somversterker met ongelijke weerstanden en verschillende frequenties.

2 De verschilversterker

Naast de somversterker bestaat er ook een verschilversterker (of in het engels *differential amplifier*).



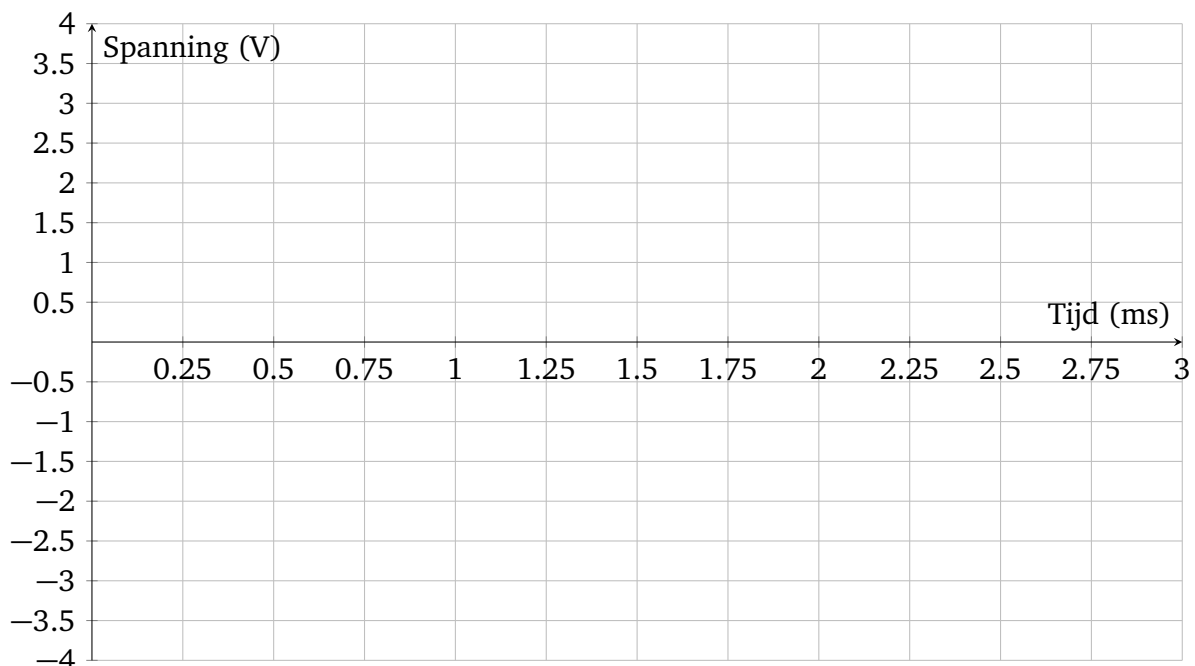
Schakeling 2: Verschilversterker

Opdracht 2: Verschilversterker

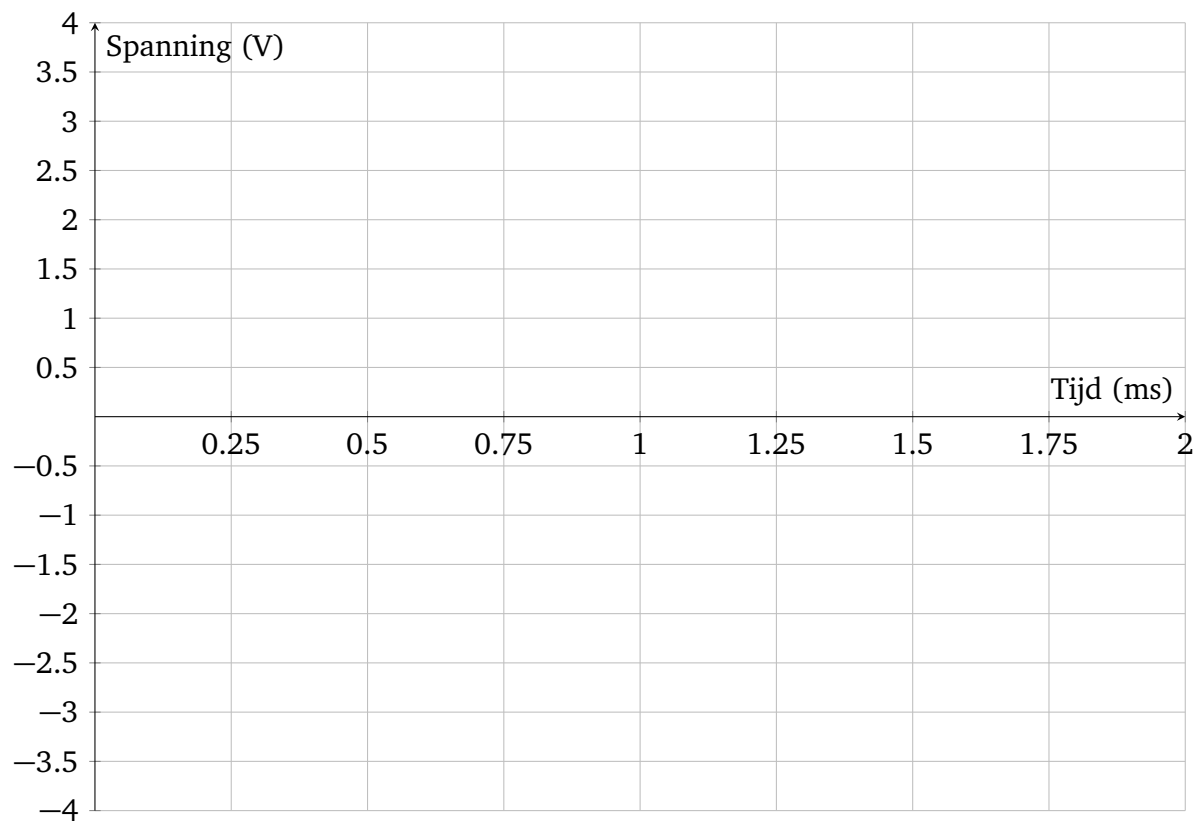
1. Bepaal voor **schakeling 2** de uitgangsspanning als functie van de ingangsspanningen en weerstanden:
2. Kies $v_1 = 1 \text{ V DC}$, $v_2 = 2 \text{ V DC}$ en $R_1 = R_2 = R_3 = R_f = 10 \text{ k}\Omega$ en bereken de uitgangsspanning:
3. Controleer je berekening in de simulatie. Komt het overeen? Verklaar de eventuele verschillen:

- Bouw de schakeling op. Gebruik beide kanalen van de de functiegenerator om v_1 en v_2 in te stellen als een sinus met $f = 1 \text{ kHz}$ en $V_{pp} = 2 \text{ V}$.
- Bekijk v_o op de oscilloscoop. Controleer je meting in de simulatie. Komt het overeen? (Komt het niet overeen? Zie dan voetnoot ^a). Teken v_1 , v_2 en v_o met verschillende kleuren in **figuur 4**. Zorg voor een duidelijke legenda.
- Pas de amplitude van v_2 aan naar $4V_{pp}$. Teken v_o met een aparte kleur in **figuur 4**. Zorg voor een duidelijke legenda.
- Pas de frequentie van v_2 achtereenvolgens aan naar 2 kHz , 3 kHz en 4 kHz . Teken v_o voor deze drie frequenties met verschillende kleuren in **figuur 5**. Zorg voor een duidelijke legenda.
- Ontwerp, simuleer en test een verschilversterker waarbij $v_o = v_2 - 2 \cdot v_1$. Welke weerstanden heb je hiervoor nodig? Kies geschikte waarden voor v_1 en v_2 en teken deze samen met v_o met verschillende kleuren in **figuur 6**. Zorg voor een duidelijke legenda. Wat zijn je bevindingen?

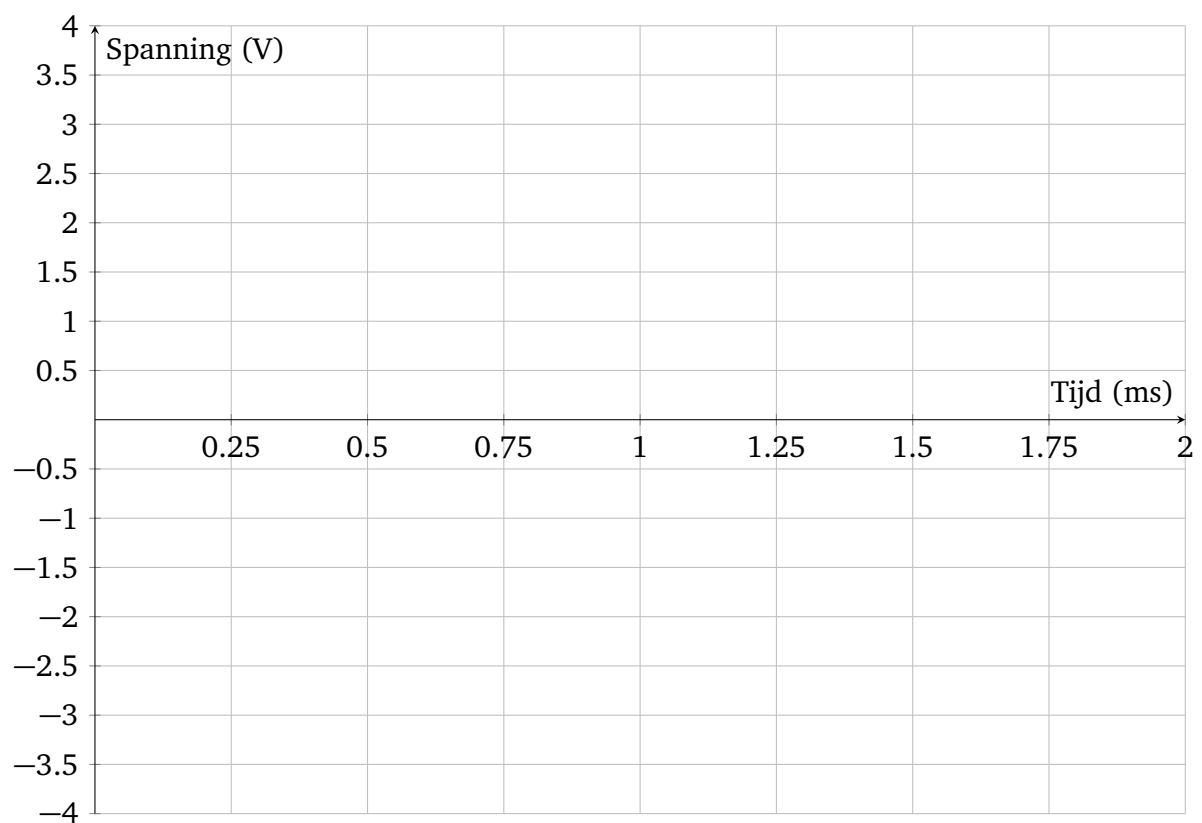
^a Controleer de faseinstellingen van de functiegenerator. Bij de Tenma functiegeneratoren kun je de fase in het menu per kanaal instellen. Bij de Tektronix functiegeneratoren gebruik je de knop *Inter CH* en dan *Align Phase*.



Figuur 4: Verschilversterker met gelijke weerstanden en gelijke frequentie.



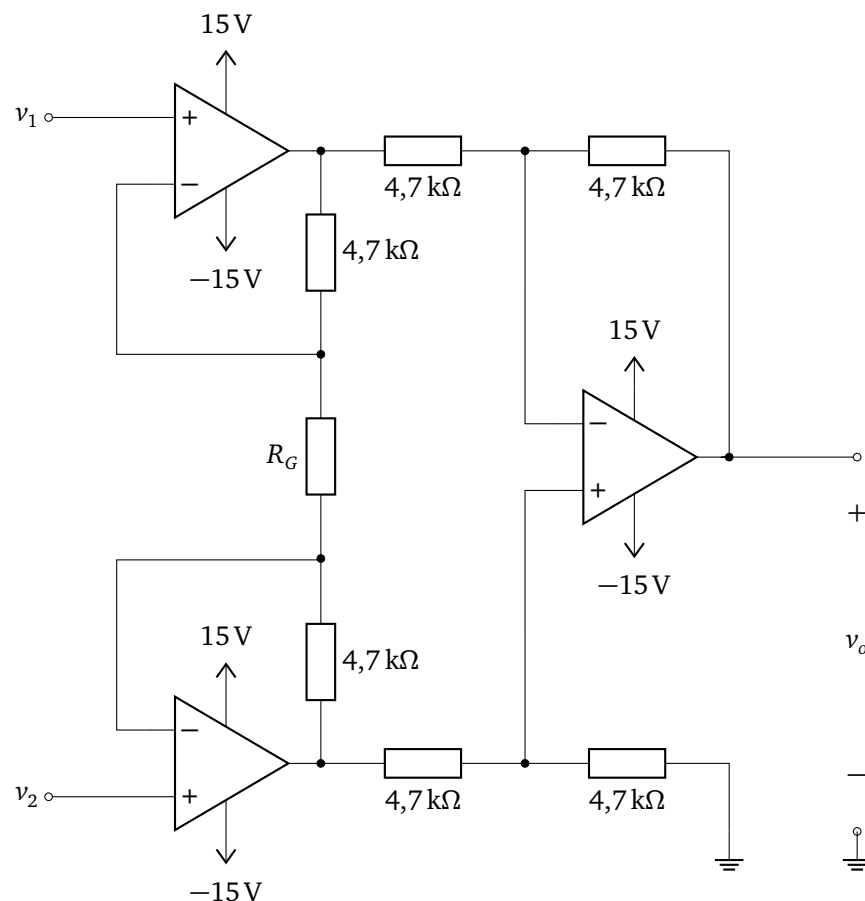
Figuur 5: Verschilversterker met gelijke weerstanden en verschillende frequenties.



Figuur 6: Verschilversterker met ongelijke weerstanden en verschillende frequenties.

3 De instrumentatieversterker

Een andere veel gebruikte schakeling is de instrumentatieversterker (instrumentation amplifier). **Schakeling 3** is een combinatie van verschillende opampschakelingen en kan een verschil tussen 2 kleine ingangssignalen goed versterken. Het grote voordeel van deze schakeling ten opzichte van de verschilversterker in **schakeling 2** is dat de ingangsimpedantie erg hoog is. Deze schakeling wordt gebruikt om zeer kleine signalen te meten, bijvoorbeeld ECG (Elektrocardiogram) signalen tijdens het maken van hartfilmpjes in ziekenhuizen.



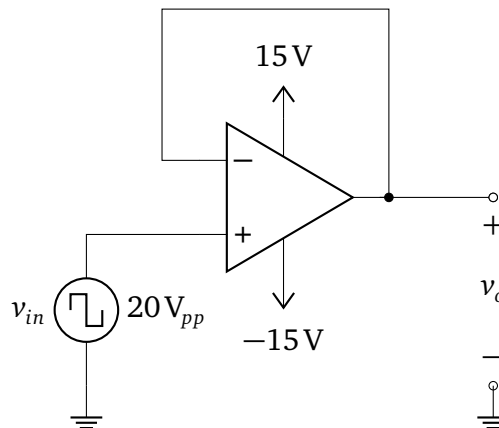
Schakeling 3: Instrumentatieversterker

Opdracht 3: Instrumentatieversterker

1. Bekijk **schakeling 3** en leg uit waarom deingangsimpedantie bij deze schakeling veel hoger is dan bij de verschilversterker in **schakeling 2**.
2. Simuleer deze schakeling en bekijk wat de invloed van R_G is op de werking van de schakeling. Kies voor $v_1 = 20mV$ en voor $v_2 = 30mV$:
3. Bouw de schakeling op en sluit een speaker aan tussen v_1 en v_2 en zet de uitgang v_o op de oscilloscoop.
4. We gebruiken de speaker nu eigenlijk als microfoon. Wat gebeurt er als je op de speaker klopt? Of als je er hard in praat?
5. Iedere speaker heeft andere eigenschappen, dus bepaal zelf wat een goede waarde voor R_G is zodat de opamp optimaal functioneert. *Dus de versterking is maximaal, maar zonder clipping bij te hogeingangssignalen.* Wat zijn je bevindingen?
6. Kun je een toepassing bedenken waarbij een instrumentatieversterker de voorkeur heeft boven andere versterkerschakelingen met opamps?

4 Niet-ideale opamp: Slew Rate

We hebben ondertussen een aantal schakelingen met opamps gebouwd en ondanks dat het hele handige componenten zijn hebben ze ook beperkingen. Een aantal van die beperkingen gaan we nu bekijken en we beginnen bij de slew-rate. De slew-rate bepaalt hoe snel een opamp zijn uitgang kan veranderen. Bij een digitale poort gaat de verandering van hoog naar laag (en vice-versa) relatief snel (in de orde van ns). Opamps kunnen dit vaak niet zo snel en als we snel wisselende signalen aanbieden dan kan een opamp deze soms niet perfect volgen.



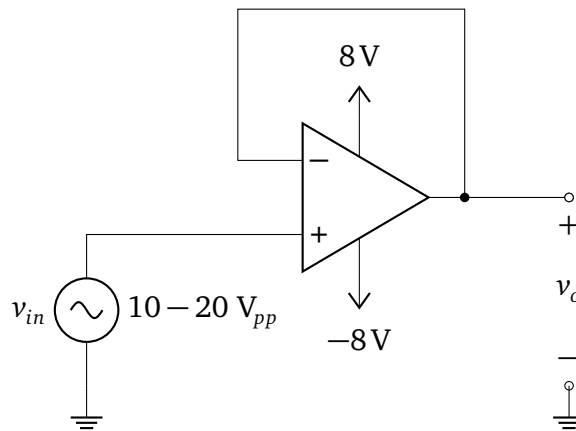
Schakeling 4: Testcircuit voor de slew-rate

Opdracht 4: Slew-rate

1. Bouw **schakeling 4** op. Stel de blokgolf met behulp van de functiegenerator in op 100 kHz. Meet met de oscilloscoop de in- en uitgang van de opamp en bekijk zo nauwkeurig mogelijk de flanken van de blokgolf. Hoe snel kan de uitgangsspanning van de opamp stijgen of dalen om de spanning van de functiegenerator te volgen? *Hint: Zoek een lineair stijgend deel van de uitgang op, zoom zover als mogelijk in en meet de stijging $\frac{dV}{dt}$ met behulp van de cursorfunctie van de oscilloscoop.* Hoeveel V/ μ s meet je?
2. Zoek in de datasheet op hoe snel de opamp zou moeten zijn, klopt dit met wat je hebt gemeten? Geef een uitleg:

5 Niet ideale opamp: In- en uitgangsspanningsbereik

Een andere beperking van de opamp is het bereik van de spanningen die je mag aanbieden op de ingangen en het spanningsbereik dat de opamp op zijn uitgang kan zetten.



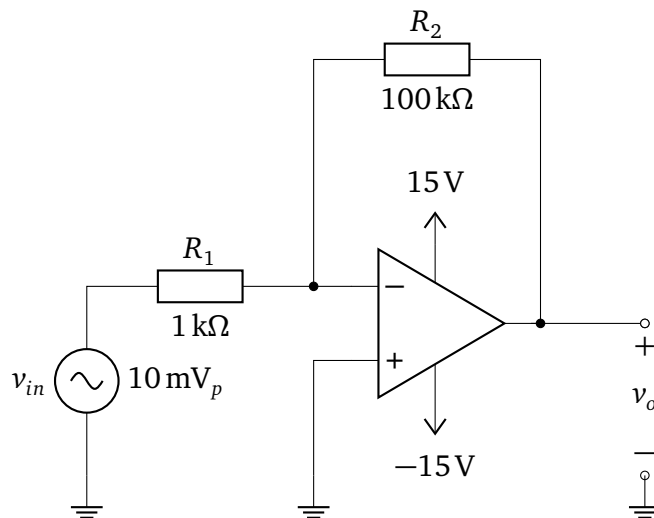
Schakeling 5: Testcircuit voor het in- en uitgangsspanningsbereik

Opdracht 5: In- en uitgangsspanning

1. Stel je bipolaire voeding in op $\pm 8\text{V}$.
2. Bouw **schakeling 5** op. Stel de functiegenerator in op 10kHz en begin bij $V_{pp} = 10\text{V}$. Draai langzaam de spanning op naar $V_{pp} = 20\text{V}$. Meet de uitgang van de opamp met de oscilloscoop. Wat valt je op?
3. Zoek in de datasheet van de opamp op wat de maximale uitgangsspanning (V_{om} , *voltage-output-magnitude*) ten opzichte van de voedingsspanning is. Komt dit overeen met je meting? Verklaar de eventuele verschillen:
4. Zoek in de datasheet van de opamp op wat de maximale ingangsspanning (*common-mode voltage range*, of *input voltage range*) ten opzichte van de voedingsspanning is. Komt dit overeen met je meting?

6 Niet ideale opamp: Gain-bandwidth product

De laatste beperking die we gaan bekijken is het zogeheten *Gain-bandwidth product*. Deze specificatie geeft aan hoeveel versterking de opamp maximaal aankan bij een bepaalde frequentie. Bij de TL074 ligt dit getal op 3 MHz (genoemd de Unity-gain bandwidth), dit betekent dat een signaal van 3 MHz maximaal 1 keer versterkt kan worden. Als je een signaal 10 keer wilt versterken is de maximale frequentie nog maar 300 kHz, bij 100 keer versterking 30 kHz, enzovoort.



Schakeling 6: Testcircuit voor Gain-Bandwidth Product

Opdracht 6: Gain-bandwidth product

1. Simuleer en bouw **schakeling 6** op. Wat is de versterkingsfactor van de opamp?
2. Stel je dubbele voeding in op $\pm 15\text{ V}$.
3. Stel de frequentie in op 10 kHz. Wat verwacht je aan de uitgang van de opamp te zien?
4. Begin bij 1 kHz en draai nu in stappen van 1 kHz de frequentie omhoog. Wanneer begint de uitgang van je verwachting af te wijken?

7 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!*