

ELE20: Basis Elektrotechniek - Week 3

Hogeschool Rotterdam - Opleiding Elektrotechniek

Vandaag

1. De versterker

2. De opamp

- De ideale opamp

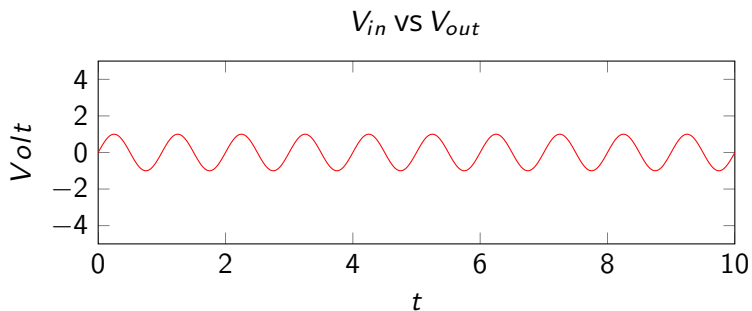
- Negatieve feedback

- Afleidingen diverse opamp-schakelingen

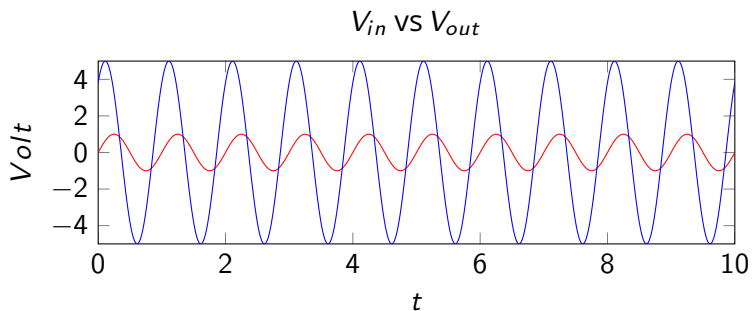
3. De diode

4. Huiswerk

Wat is een versterker?



Wat is een versterker?



Feiten over versterkers

Een versterker:

- gebruikt ingangssignalen en de voeding, om het uitgangssignaal te genereren;
- heeft een ingangspoort (2 verbindingen) en uitgangspoort voor de signalen;
- heeft ook poort voor de voeding, dit is vaak impliciet in schema's.

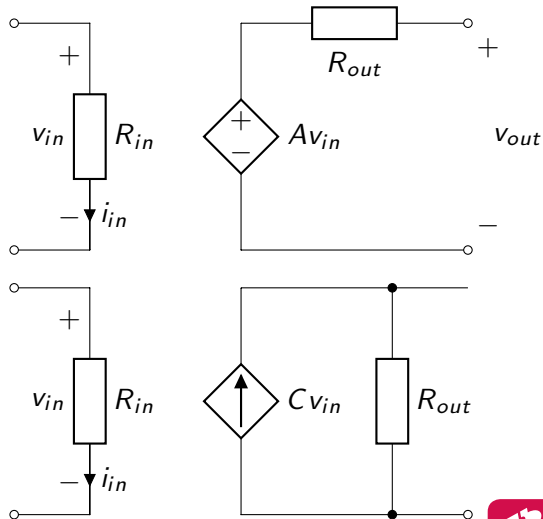


Elektrisch model van een versterker

Vier varianten:

- Spanning in, spanning uit (A in V/V)
 $R_{in} \approx \infty, R_{out} \approx 0$
- Spanning in, stroom uit (C in A/V)
 $R_{in} \approx \infty, R_{out} \approx \infty$
- Stroom in, spanning uit (B in V/A)
 $R_{in} \approx 0, R_{out} \approx 0$
- Stroom in, stroom uit (D in A/A)
 $R_{in} \approx 0, R_{out} \approx \infty$

Meeste opamps zijn type A (spanning in, spanning uit)

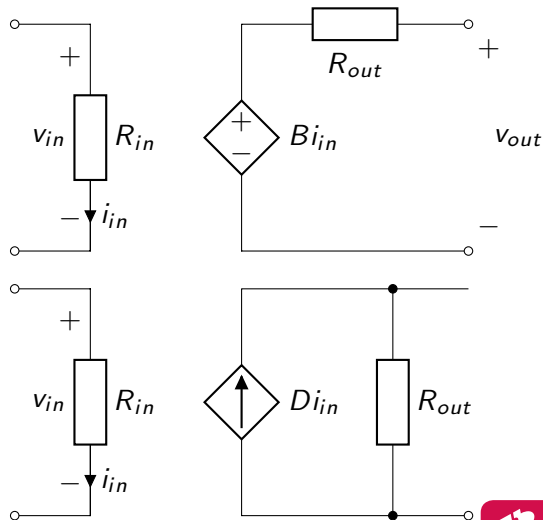


Elektrisch model van een versterker

Vier varianten:

- Spanning in, spanning uit (A in V/V)
 $R_{in} \approx \infty, R_{out} \approx 0$
- Spanning in, stroom uit (C in A/V)
 $R_{in} \approx \infty, R_{out} \approx \infty$
- Stroom in, spanning uit (B in V/A)
 $R_{in} \approx 0, R_{out} \approx 0$
- Stroom in, stroom uit (D in A/A)
 $R_{in} \approx 0, R_{out} \approx \infty$

Meeste opamps zijn type A (spanning in, spanning uit)

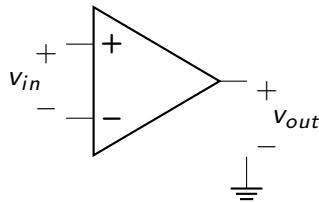


De ideale opamp

De ideale opamp heeft een aantal eigenschappen:

- Oneindig hoge ingangsimpedantie
- uitgangsimpedantie van $0\ \Omega$
- Oneindige versterking $A \approx \infty$

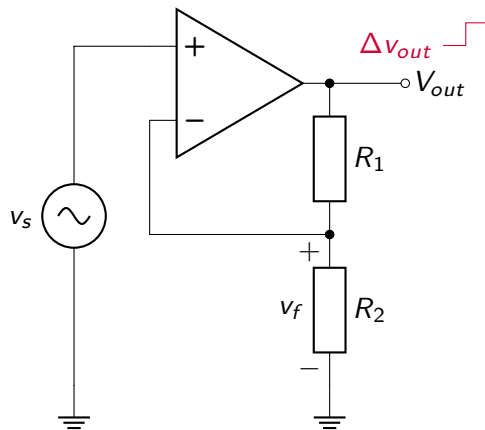
$$v_{out} = A \cdot v_{in} = \infty v_{in}$$



Door de oneindig hoge versterking is de opamp alleen op een speciale manier te gebruiken als versterker. Dit kan door middel van negatieve feedback.

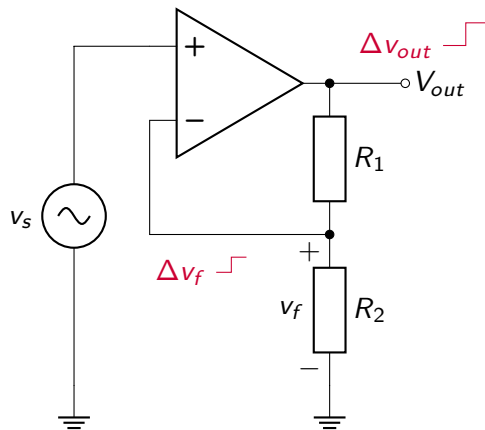
Negatieve feedback

Negatieve feedback betekent dat een deel van de uitgangsspanning wordt afgetrokken van de ingangsspanning.



Negatieve feedback

Negatieve feedback betekent dat een deel van de uitgangsspanning wordt afgetrokken van de ingangsspanning.



Negatieve feedback

Negatieve feedback betekent dat een deel van de uitgangsspanning wordt afgetrokken van de ingangsspanning.

$$v_{in} = v_s - v_f$$

$$v_{out} = v_{in} \cdot A = (v_s - v_f)A$$

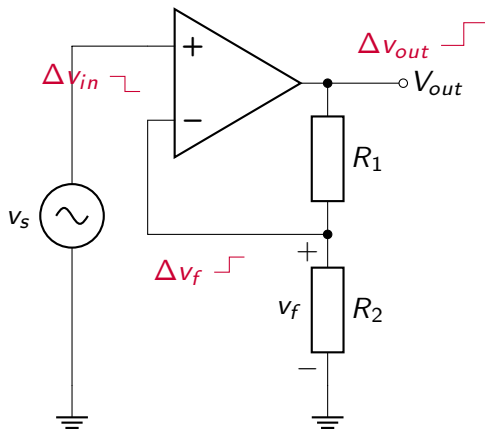
$$v_f = v_{out} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = v_{out} \cdot \beta$$

$$v_{out} = (v_s - \beta v_{out})A$$

$$v_{out}(1 + A\beta) = Av_s$$

$$\frac{v_{out}}{v_s} = \frac{A}{1 + A\beta} = \frac{1}{\frac{1}{A} + \beta} \approx \frac{1}{\beta}$$

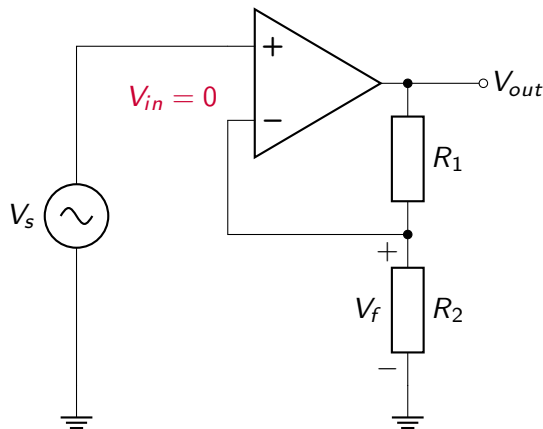
$$\frac{v_{out}}{v_s} = \frac{1}{\frac{R_2}{R_1 + R_2}} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$



Gouden regels bij negatieve feedback

Voor het rekenen met opamps gaan we uit van een ideale opamp. Wanneer negatieve feedback wordt toegepast gelden de **gouden regels**:

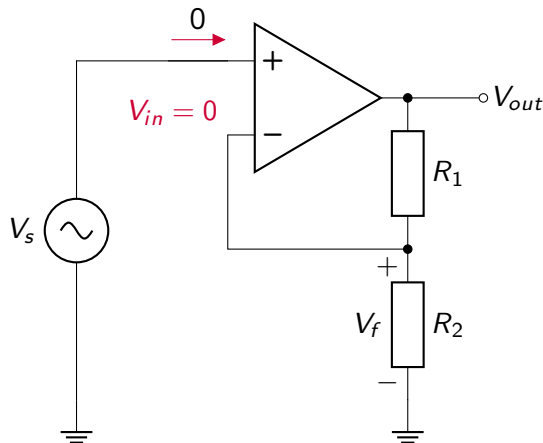
- V_{in} wordt 0 gemaakt door de feedback. In dit geval: $V_+ = V_-$



Gouden regels bij negatieve feedback

Voor het rekenen met opamps gaan we uit van een ideale opamp. Wanneer negatieve feedback wordt toegepast gelden de **gouden regels**:

- V_{in} wordt 0 gemaakt door de feedback. In dit geval: $V_+ = V_-$
- er loopt geen stroom de opamp in

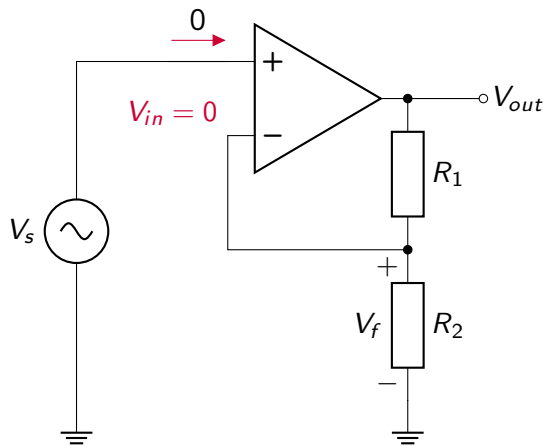


Gouden regels bij negatieve feedback

Voor het rekenen met opamps gaan we uit van een ideale opamp. Wanneer negatieve feedback wordt toegepast gelden de **gouden regels**:

- V_{in} wordt 0 gemaakt door de feedback. In dit geval: $V_+ = V_-$
- er loopt geen stroom de opamp in

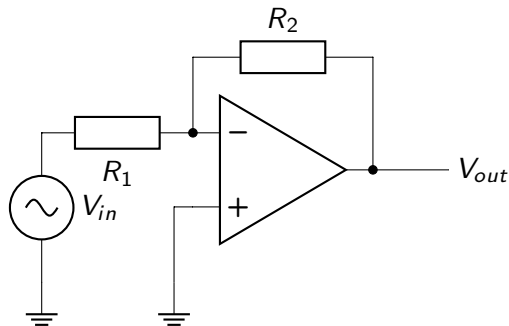
$$\frac{V_{out}}{V_s} = \frac{1}{\beta} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$



Gewoon KCL en KVL gebruiken om de versterking te berekenen!

Afleiding inverterende versterker

Bepaal de versterking $A = \frac{V_{out}}{V_{in}}$



Afleiding inverterende versterker

Bepaal de versterking $A = \frac{V_{out}}{V_{in}}$

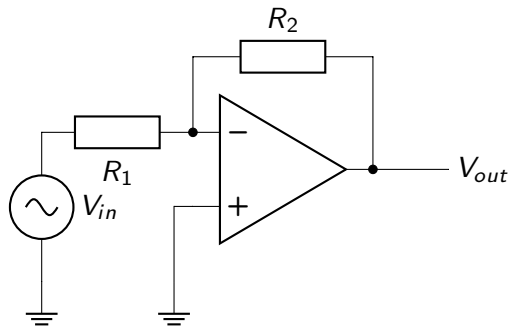
$$V_+ = V_- = 0$$

$$\frac{0 - V_{in}}{R_1} + \frac{0 - V_{out}}{R_2} = 0$$

$$-V_{in}R_2 - V_{out}R_1 = 0$$

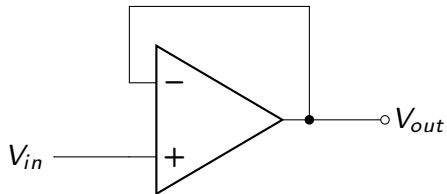
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

$$A = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}$$



Afleiding Spanningsvolger

Druk V_{out} uit in V_{in} .

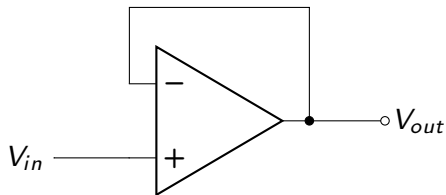


Afleiding Spanningsvolger

Druk V_{out} uit in V_{in} .

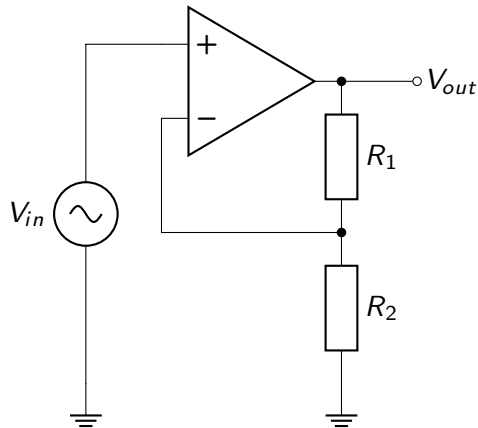
$$V_{out} = V_{in}$$

Wanneer wordt dit gebruikt?



Afleiding niet-inverterende versterker

Bepaal de versterking $A = \frac{V_{out}}{V_{in}}$

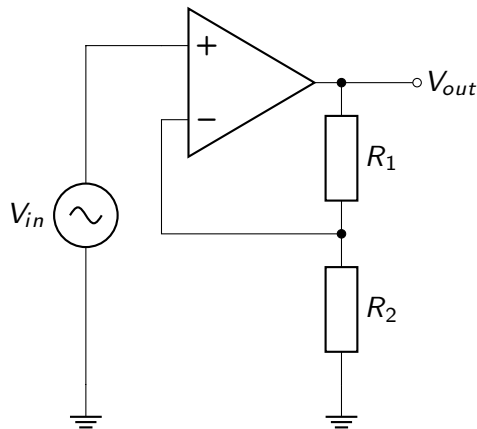


Afleiding niet-inverterende versterker

Bepaal de versterking $A = \frac{V_{out}}{V_{in}}$

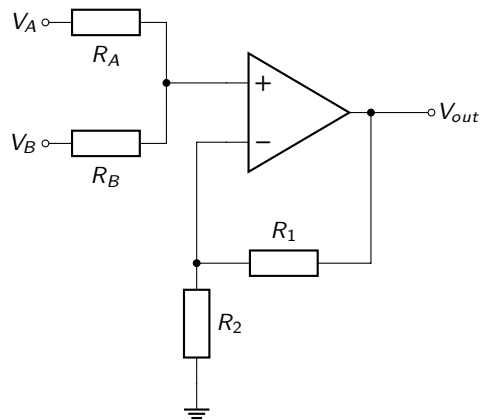
$$\begin{aligned}
 V_+ &= V_- = V_{in} \\
 \frac{V_{in} - 0}{R_2} + \frac{V_{in} - V_{out}}{R_1} &= 0 \\
 V_{in}R_1 + V_{in}R_2 &= V_{out}R_2 \\
 \frac{V_{out}}{V_{in}} &= \frac{R_1 + R_2}{R_2} \\
 A = \frac{V_{out}}{V_{in}} &= 1 + \frac{R_1}{R_2}
 \end{aligned}$$

Dit is dezelfde vergelijking als eerder gevonden.



Niet-inverterende somversterker

Druk V_{out} uit in V_A en V_B .



Niet-inverterende somversterker

Eerst vergelijking voor V_+ bepalen:

$$\frac{V_+ - V_A}{R_A} + \frac{V_+ - V_B}{R_B} = 0$$

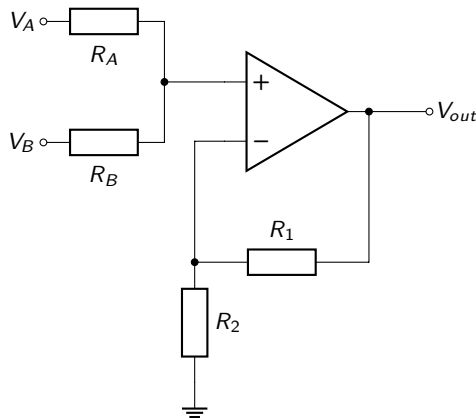
$$(V_+ - V_A) R_B + (V_+ - V_B) R_A = 0$$

$$V_+ = \frac{V_A R_B + V_B R_A}{R_A + R_B}$$

Nu is $V_+ = V_-$, dus:

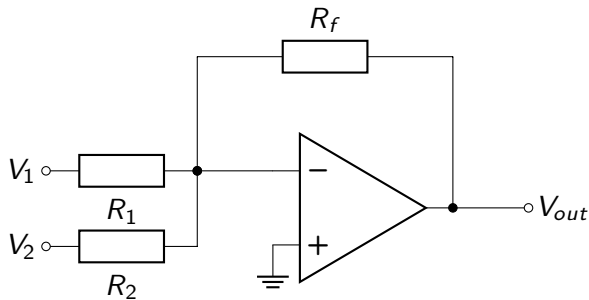
$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V_+$$

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \left[\frac{V_A R_B + V_B R_A}{R_A + R_B} \right]$$



Inverterende somversterker

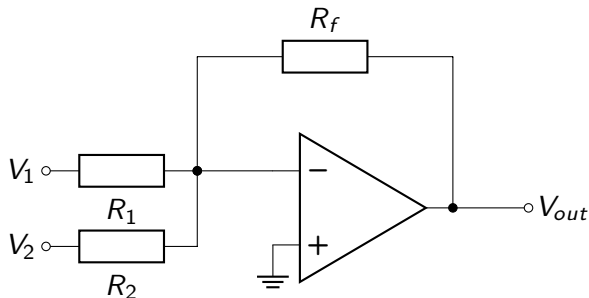
Geef V_{out} in termen van V_1 en V_2 .



Inverterende somversterker

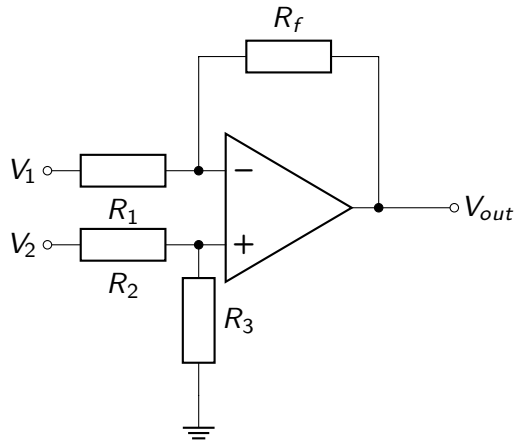
Geef V_{out} in termen van V_1 en V_2 .

$$\begin{aligned} V_+ &= V_- = 0 \\ \frac{0 - V_1}{R_1} + \frac{0 - V_2}{R_2} + \frac{0 - V_{out}}{R_f} &= 0 \\ V_{out} &= -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \right) \end{aligned}$$



Verschilversterker (differential amplifier)

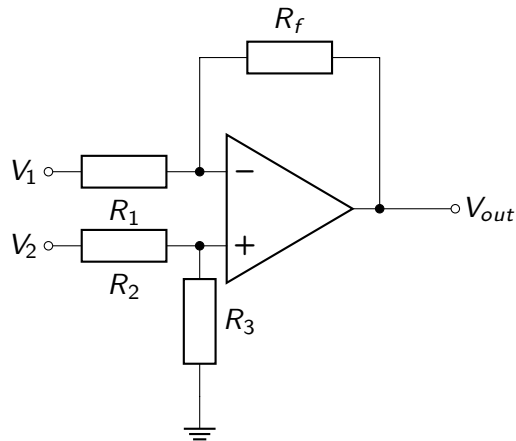
Geef V_{out} in termen van V_1 en V_2 .
Gebruik superpositie bij deze afleiding.



Verschilversterker (differential amplifier)

Geef V_{out} in termen van V_1 en V_2 .
 Gebruik superpositie bij deze afleiding.
 Eerst bron V_2 0 maken levert:

$$V_{out1} = -\frac{R_f}{R_1} V_1$$



Verschilversterker (differential amplifier)

Geef V_{out} in termen van V_1 en V_2 .

Gebruik superpositie bij deze afleiding.

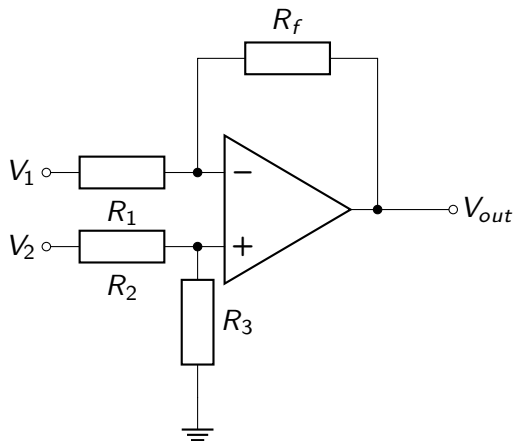
Dan bron V_1 0 maken levert:

$$V_+ = V_- = \frac{R_3}{R_2 + R_3} V_2$$

$$\frac{V_- - 0}{R_1} + \frac{V_- - V_{out2}}{R_f} = 0$$

$$V_{out2} = V_- \frac{R_f}{R_1} + V_- = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) V_-$$

$$V_{out2} = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \left[\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right] V_2$$



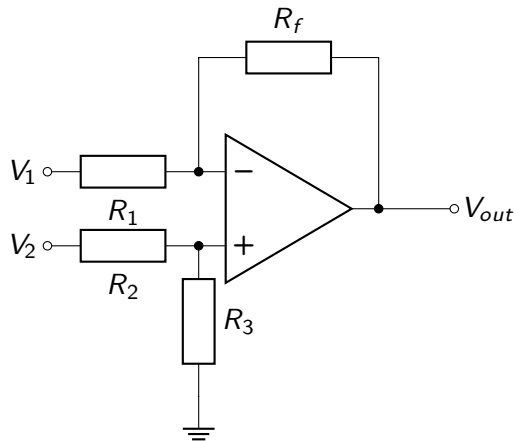
Verschilversterker (differential amplifier)

Geef V_{out} in termen van V_1 en V_2 .

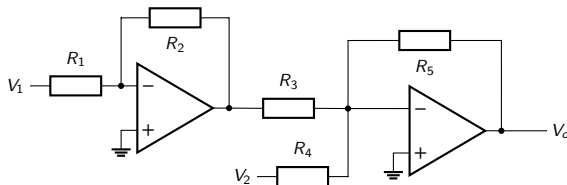
Gebruik superpositie bij deze afleiding.

Nu beide responsies bij elkaar optellen:

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \left[\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right] V_2 - \frac{R_f}{R_1} V_1$$

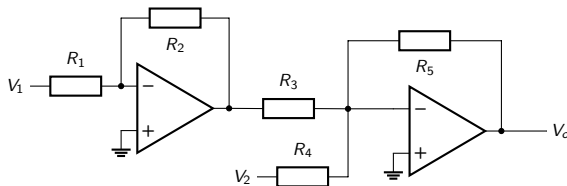


Herhaling knooppuntmethode



Geef V_o . Tip: Gebruik voorgaande oplossingen.

Herhaling knooppuntmethode



Geef V_o . Tip: Gebruik voorgaande oplossingen.

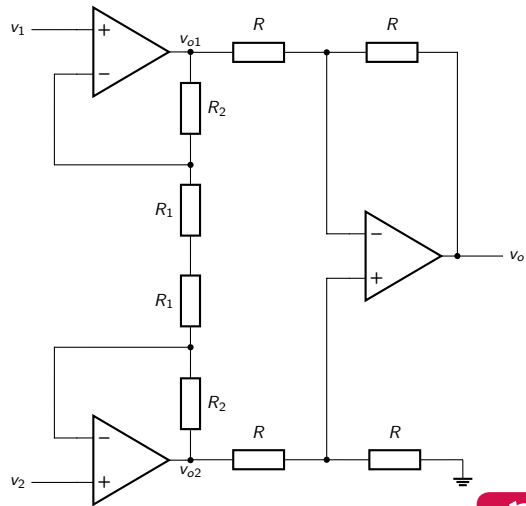
$$V_o = -R_5 \left(\frac{v_{o1}}{R_3} + \frac{v_2}{R_4} \right) \quad (1)$$

$$v_{o1} = -\frac{R_2}{R_1} v_1 \quad (2)$$

$$V_o = -R_5 \left(-\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{R_3} v_1 + \frac{1}{R_4} v_2 \right) \quad (3)$$

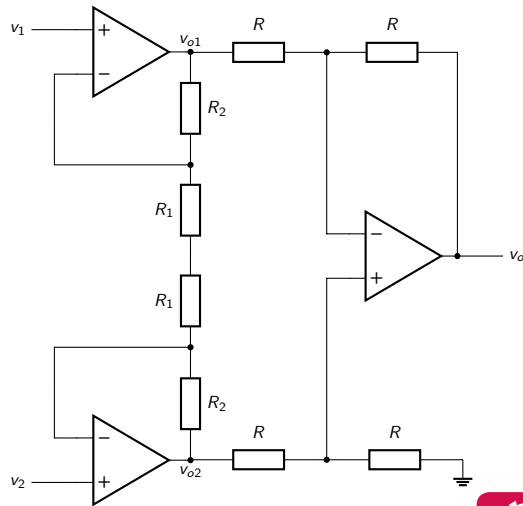
De instrumentatieversterker

Geef de uitgang als functie van de ingangen.



De instrumentatieversterker

$$\begin{aligned}
 v_o &= v_{o2} - v_{o1} \\
 \frac{v_1 - v_{o1}}{R_2} + \frac{v_1 - v_2}{2R_1} &= 0 \\
 \Rightarrow v_{o1} &= v_1 \left(1 + \frac{R_2}{2R_1} \right) - v_2 \frac{R_2}{2R_1} \\
 \frac{v_2 - v_{o2}}{R_2} + \frac{v_2 - v_1}{2R_1} &= 0 \\
 \Rightarrow v_{o2} &= v_2 \left(1 + \frac{R_2}{2R_1} \right) - v_1 \frac{R_2}{2R_1} \\
 \Rightarrow v_o &= v_{o2} - v_{o1} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) (v_2 - v_1)
 \end{aligned}$$

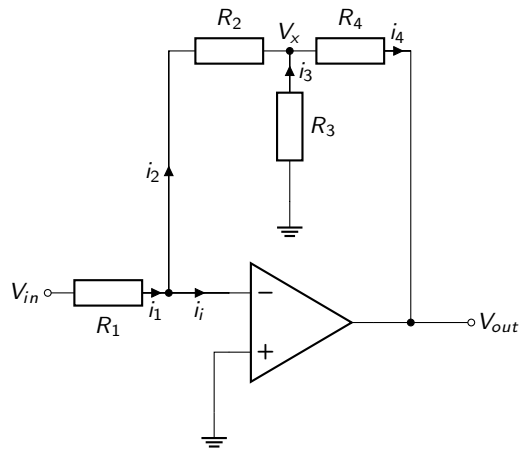


Example 13.1: Inverterende versterker

Bepaal de versterking $A = \frac{V_{out}}{V_{in}}$

Bepaal eerst een knooppuntvergelijking op V_-

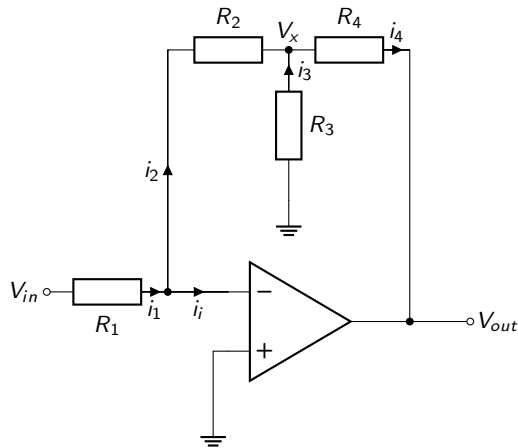
Bepaal daarna een knooppuntvergelijking op V_x



Example 13.1: Inverterende versterker

Eerst knooppuntvergelijking bij V_- bepalen:

$$\begin{aligned} i_1 - i_2 &= 0 \\ \frac{V_{in} - 0}{R_1} - \frac{0 - V_x}{R_2} &= 0 \\ V_x &= -V_{in} \frac{R_2}{R_1} \end{aligned}$$



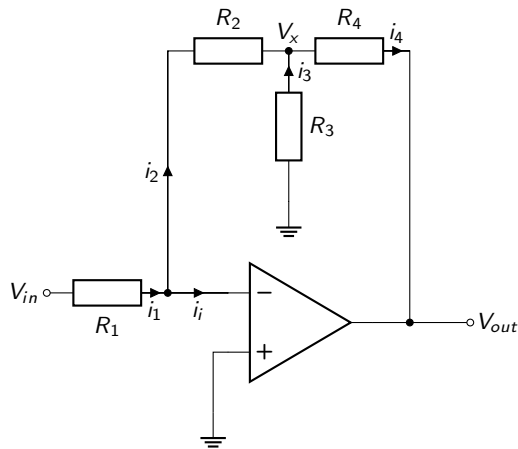
Example 13.1: Inverterende versterker

Nu Knooppuntvergelijking op V_x bepalen:

$$i_2 + i_3 - i_4 = 0$$

$$\frac{0 - V_x}{R_2} + \frac{0 - V_x}{R_3} - \frac{V_x - V_{out}}{R_4} = 0$$

$$V_{out} = V_x R_4 \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right)$$



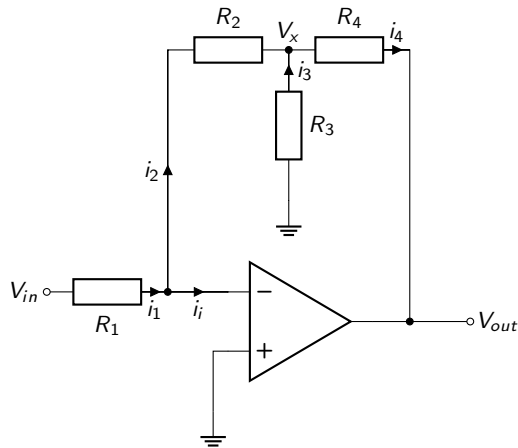
Example 13.1: Inverterende versterker

Beide vergelijkingen samenvoegen:

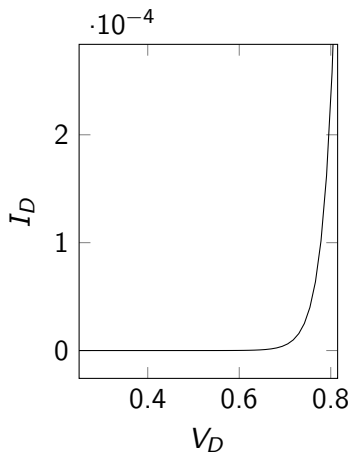
$$V_{out} = V_x R_4 \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right)$$

$$V_{out} = -V_{in} \frac{R_2}{R_1} R_4 \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right)$$

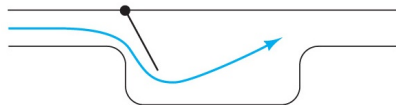
$$A = \frac{V_{out}}{V_{in}} = - \left(\frac{R_4}{R_1} + \frac{R_2 R_4}{R_1 R_3} + \frac{R_2}{R_1} \right)$$



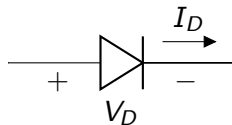
De diode



Figuur 1: Verhouding V_D en I_D



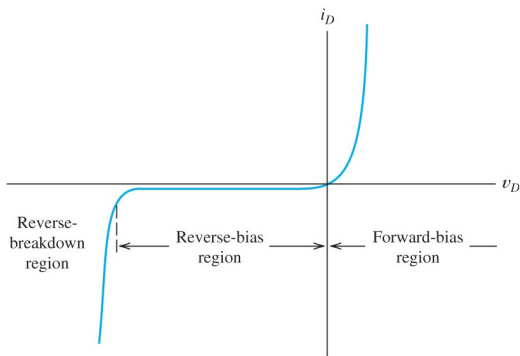
(d) Fluid-flow analogy: flapper valve



$$I_D = I_s \left[\exp \frac{V_D}{V_T} - 1 \right] = I_s \left[e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right]$$

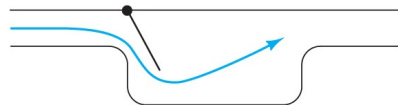
Hierbij is: $I_s \approx 1 \times 10^{-16}$ A en $V_T \approx 26$ mV

De diode

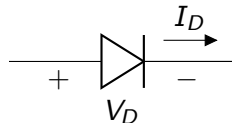


(b) Volt-ampere characteristic

Verhouding V_D en I_D incl. Reverse-bias gebied



(d) Fluid-flow analogy: flapper valve



$$I_D = I_s \left[\exp \frac{V_D}{V_T} - 1 \right] = I_s \left[e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right]$$

Hierbij is: $I_s \approx 1 \times 10^{-16}$ A en $V_T \approx 26$ mV.

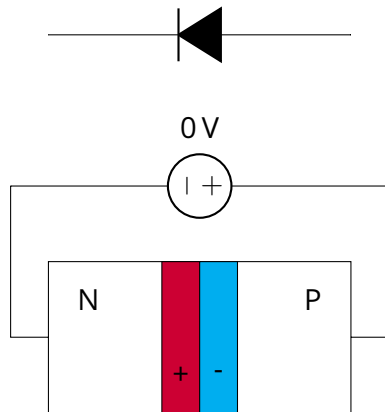
Halfgeleiders

- Een halfgeleider is een silicium kristal die van zichzelf een slechte geleider is.
- Door atomen toe te voegen met extra of minder elektronen ontstaan er meer vrije ladingsdragers.
- Deze dragers zijn elektronen, of gaten. Een gat ontstaat als een atoom een extra verbinding heeft zonder dat hier een elektron aan is gekoppeld.
- Bij een overvloed aan elektronen is het een N materiaal
- Bij een overvloed aan gaten is het een P materiaal.

.... een diode heeft zowel N materiaal als P materiaal

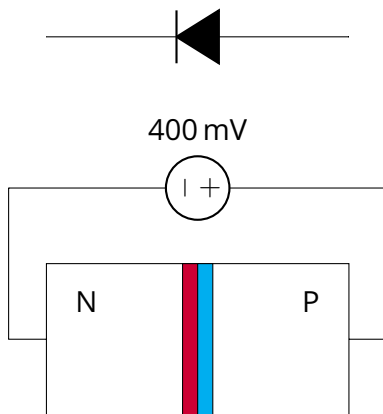
Diode gebruiken

- bij 0V kan er geen stroom lopen. Dit komt door de *depletion region*.



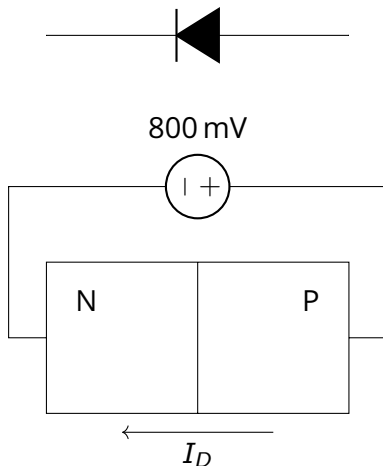
Diode gebruiken

- bij 0 V kan er geen stroom lopen. Dit komt door de *depletion region*.
- Door een voeding aan te sluiten kunnen elektronen en gaten naar de *depletion region* geduwd worden, waardoor deze kleiner wordt.



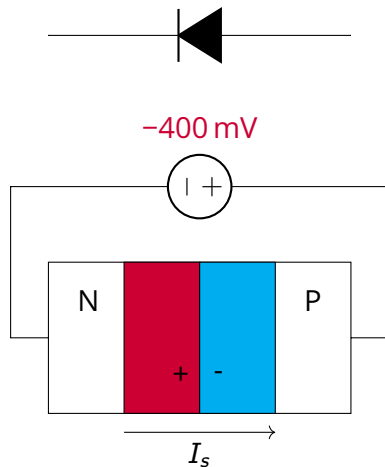
Diode gebruiken

- bij 0V kan er geen stroom lopen. Dit komt door de *depletion region*.
- Door een voeding aan te sluiten kunnen elektronen en gaten naar de *depletion region* geduwd worden, waardoor deze kleiner wordt.
- Bij een spanning van 600 mV tot 800 mV wordt de *depletion region* klein genoeg om stroom te laten lopen. Nu is de diode *forward biased*.

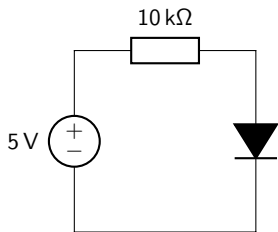


Diode gebruiken

- bij 0V kan er geen stroom lopen. Dit komt door de *depletion region*.
- Door een voeding aan te sluiten kunnen elektronen en gaten naar de *depletion region* geduwd worden, waardoor deze kleiner wordt.
- Bij een spanning van 600 mV tot 800 mV wordt de *depletion region* klein genoeg om stroom te laten lopen. Nu is de diode *forward biased*.
- Wordt de spanningsbron omgedraaid dan wordt de *depletion region* groter en loopt er alleen I_s . Nu is de diode *reverse biased*.



Diode schakeling met weerstand

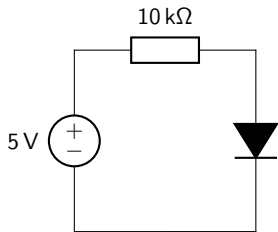


$$I_D = I_s \left[\exp\left(\frac{V_D}{V_T}\right) - 1 \right]$$

Hoe bepalen we de stroom I_D gegeven

$$I_s = 1 \times 10^{-16} \text{ A?}$$

Diode schakeling met weerstand



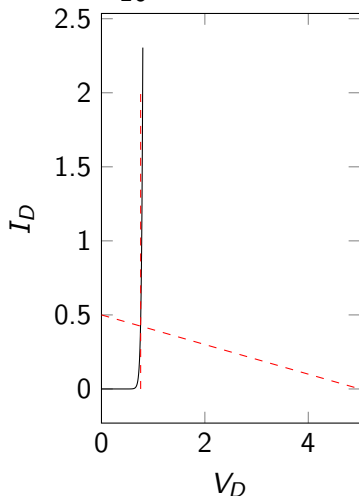
$$I_D = I_s \left[\exp\left(\frac{V_D}{V_T}\right) - 1 \right]$$

Hoe bepalen we de stroom I_D gegeven
 $I_s = 1 \times 10^{-16} \text{ A}$?

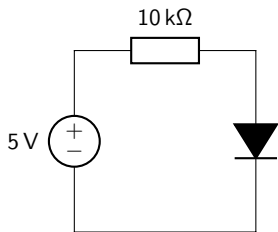
Methode 1: Load-line.

Als $V_D = 0$: $I_D = \frac{5 \text{ V}}{10 \text{ k}\Omega} = 0.5 \text{ mA}$.

Als $I_D = 0$: $V_D = 5 \text{ V}$
 $\cdot 10^{-3}$



Diode schakeling met weerstand



$$I_D = I_s \left[\exp\left(\frac{V_D}{V_T}\right) - 1 \right]$$

Hoe bepalen we de stroom I_D gegeven

$$I_s = 1 \times 10^{-16} \text{ A?}$$

Methode 2: Versimpeling

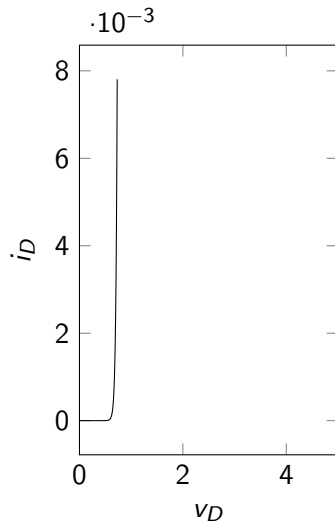
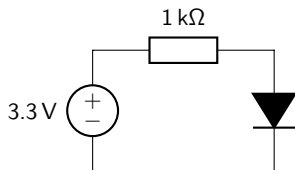
We gaan er van uit dat de diode pas aan gaat bij een spanning van 0.7 V.

(bij een gele en rode LED is dat 2.1 V, bij een groene en blauwe LED is dat 3.2 V).

$$I_D = \frac{5 - 0.7}{10000} = 0.43 \text{ mA}$$

Diode oefening

Bereken de stroom door de schakeling met deze twee methoden. Hierbij is $I_s = 5 \times 10^{-15} \text{ A}$.



Huiswerk

- Hambley H13.1 opgaven P13.1 tot en met P13.5
- Hambley H13.2 opgaven P13.6 tot en met P13.16
- Hambley H13.3 opgaven P13.17 tot en met P13.34

Let op bij P13.11: + en - ingang zijn verwisseld. Ga uit van negatieve feedback bij deze opgave.

Volgende week: transistors!