

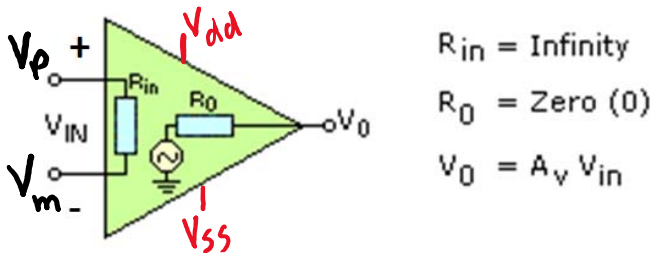
Opamps

[2020-2021, door Marius Versteegen]

Inleiding

Opamp staat voor "Operational Amplifier". Het is een veelzijdige bouwsteen.

De ideale opamp



Een opamp versterkt een **verschilspanning** tussen zijn twee input terminals naar een **uitgangsspanning** t.o.v. ground. Er wordt ook wel gesproken van een "differential input" en een "single ended output". $V_{in} = V_p - V_m$, met V_p = de "plus-input" en V_m = de "min-input".

Als we circuits analyseren, benaderen we opamps in het algemeen door een "Ideale Opamp". Voor de ideale opamp geldt dat de ingangsweerstand R_{in} tussen zijn input-terminals oneindig groot is. De stroom die in de ingang loopt is dus gelijk aan 0 A. De uitgangsweerstand R_o is gelijk aan 0 Ohm, en de versterking A_v oneindig groot is.

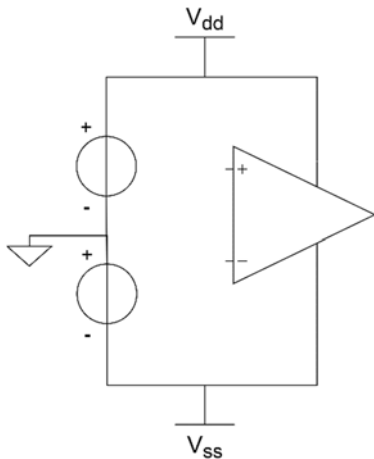
Voedingslijnen

Zelfs de ideale opamp is gevoed via een positieve en "negatieve" voedingslijn. De voeding van de opamp begrenst hoe hoog of laag zijn uitgangsspanning kan worden.

Voorbeeld 1: $V_{dd}=5V$ en $V_{ss}=-5V$. V_o wordt dan "geclipt"/afgekapt naar een bereik van -5V tot 5V.

Voorbeeld 2: $V_{dd}=5V$ en $V_{ss}=0V$. V_o wordt dan "geclipt"/afgekapt naar een bereik van 0V tot 5V.

Je kunt een positieve en negatieve voedingsspanning bijvoorbeeld maken door twee batterijen in serie te zetten:



Het fijne hiervan is dat je ook meteen een goed gedefinieerde aarde hebt. In de meeste opamp-configuraties wordt dat gebruikt als DC-instelpunt.

Je kunt opamps ook voeden met een enkele voeding. In dat geval moet je dan zelf een “halve voedingsspanning” V_{mid} definiëren, wat je dan weer kunt gebruiken als DC-instelpunt.

Hoe “Hard” die V_{mid} spanning moet zijn, hangt af van de opamp-configuraties die je wilt gebruiken.

- Als je opamps alleen als spanningsvolgers gebruikt, heb je geen V_{mid} nodig.
- Als je opamps als **inverterende versterker** gebruikt, hoeft V_{mid} vrijwel geen stroom te leveren.
- Als je opamps als **niet-inverterende versterker** gebruikt, moet V_{mid} wel enige stroom kunnen leveren.

Drie manieren van gebruik

Je kunt een opamp op 3 manieren gebruiken

- **Zonder** feedback
- Met **positieve** feedback
- Met **negatieve** feedback.

Positieve feedback betekent dat het resultaat op de uitgang op de een of andere manier weer wordt teruggekoppeld naar V_{in} , waarbij een toename van V_o resulteert in een toename van V_{in} .

Negatieve feedback betekent dat het resultaat op de uitgang op de een of andere manier weer wordt teruggekoppeld naar V_{in} , waarbij een toename van V_o resulteert in een afname van V_{in} .

Opamp zonder feedback = Comparator

Als je een opamp zonder feedback gebruikt, gebruik je hem als comparator.

Je gebruikt hem dan om de twee ingangsspanningen V_p en V_m te vergelijken.

- Als $V_p > V_m$, dan wordt V_o gelijk aan V_{dd} .
- Als $V_p < V_m$ wordt V_o gelijk aan V_{ss} .

Opamp met positieve feedback = flipflop of oscillator

Als een toename van V_o resulteert in een toename van V_{in} , is er sprake van “meekoppeling”.

- Als dit **alleen** geldt voor **wisselspanningen** (via een koppelcondensator bijvoorbeeld), krijg je vaak een **oscillator**-gedrag. Afhankelijk van de configuratie kan dat een sinus, zaagtand of blokgolf opleveren. Daar gaan we bij dit vak niet verder op in.
Alternatief kan er ook tijdelijk iets omklappen, zoals bij het volgende:
- Als het **ook** geldt voor **DC** spanning, dan schiet de uitgang van de opamp **naar een voedingsspanning** toe. Door een externe puls aan de input oid kan een omklappen worden gerealiseerd naar de andere voedingsspanning. Je kunt zo dus een soort **flip-flop** gedrag met hysteresis maken.

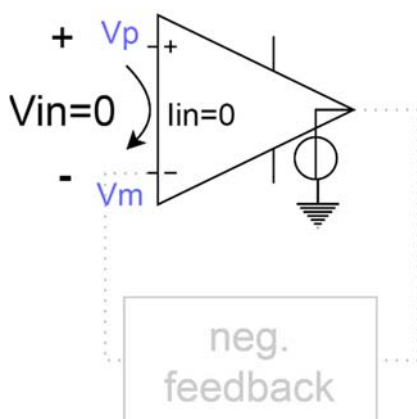
Opamp met negatieve feedback = versterker of buffer

Meestal wordt een opamp toegepast met **negatieve** feedback. Een toename van V_o zorgt dan voor een afname van V_{in} . Dat zorgt weer voor een afname van V_o . Vanwege de oneindig grote versterking resulteert dat in het volgende:

- Zodra V_{in} ook maar een pietsje afwijkt van 0V, resulteert dat in een verandering van V_o die V_{in} meteen weer terugregelt naar 0V.

Nullor model

Uit het bovenstaande volgt dat we het gedrag van een ideale opamp die wordt gebruikt met **negatieve feedback** kunnen beschrijven met het zogenaamde “nullor model”:



Wat de teruggekoppelde opamp doet, is dus uit te drukken in twee vergelijkingen:

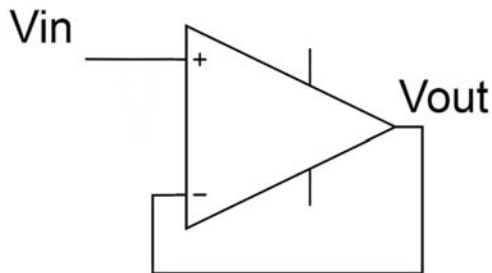
- $V_{in} = 0$ (of anders gezegd: $V_p = V_m$)
- $i_{in} = 0$

Die tweede vergelijking zegt dat er geen stroom in loopt. Als je dat eenmaal beseft, hoef je dat ook niet meer op te schrijven. Het enige wat van een teruggekoppelde opamp in de analyse van een circuit overblijft is dus $V_p = V_m$.

Opamp configuraties met negatieve feedback

Een opamp als spanningsvolger / spanningsbuffer

Ook een Opamp kan als spanningsvolger-trap worden geconfigureerd:



Uit de nullor-formule volgt direct: $V_{out} = V_{in}$.

Deze spanningsvolger-trap erft verder de positieve eigenschappen van de ideale opamp:

- Ingangsweerstand (op knooppunt V_{in}) = oneindig (dus spanningsgestuurd)
- Uitgangsweerstand (op knooppunt V_{out}) = 0 (dus met uitgangsspanning sturend)

Functie

De uitgang volgt hier precies de ingangsspanning. De ingangsspanningsbron hoeft niet zwaar belast te kunnen worden, omdat er geen stroom in de opamp loopt. De uitgang kan dankzij de lage uitgangsweerstand wel zwaar belast worden zonder dat de spanning inzakt.

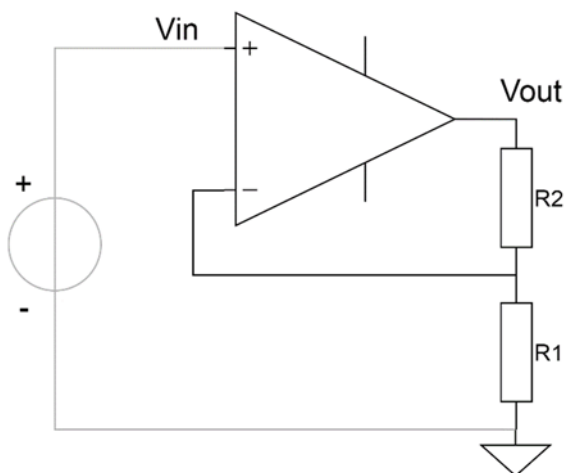
De opamp als spanningsversterker

De opamp kan ook als spanningsversterker geconfigureerd worden.

In “Practisch Kirchhoff” hebben we daar de formules voor afgeleid.

Een opamp als niet-inverterende versterker

Niet-inverterend betekent eigenlijk “gewoon” versterkend met een positieve versterkingsfactor.

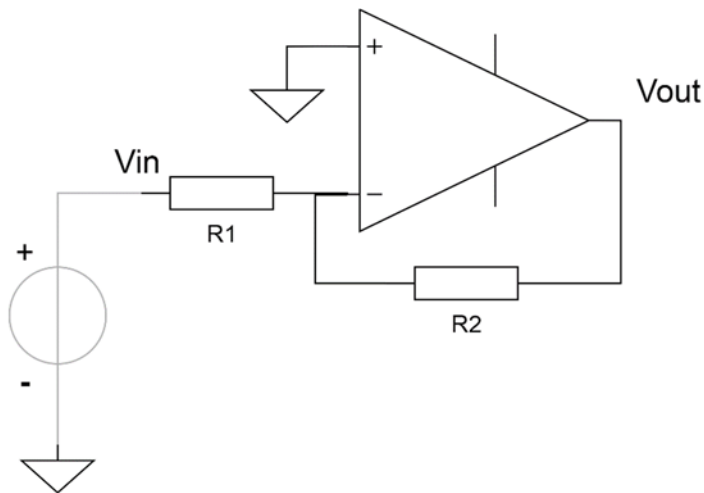


Gedrag:

- $V_{out} = V_{in} * (R1+R2)/R1$

Een opamp als inverterende versterker

Bij een inverterende versterker wordt de ingangsspanning met een negatieve factor vermenigvuldigd.



Gedrag:

- $V_{out} = -V_{in} * R_2/R_1$

De formule is eenvoudig af te leiden: uit het nullor-model volgt:

$$V_m = V_p \leftrightarrow V_m = 0V$$

Door R_1 loopt dus een stroom richting de opamp ter grootte van $(V_{in}-0)/R_1 = V_{in}/R_1$.

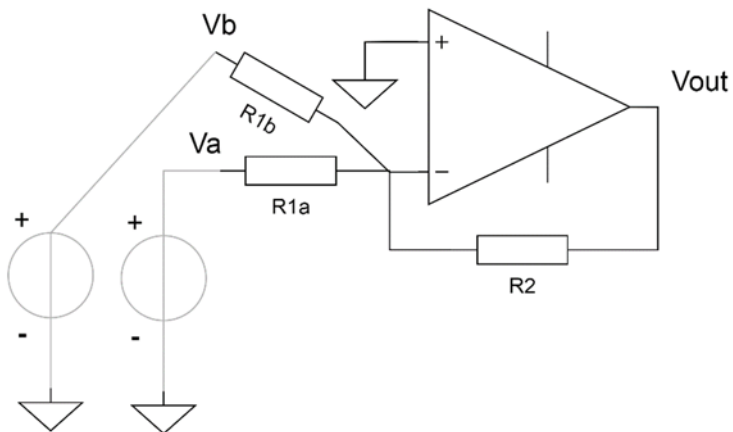
Diezelfde stroom kan niet de opamp in lopen, en moet dus door R_2 lopen. Die zet volgens de wet van ohm die stroom om in een spanning.

NB:

- R_2 had ook een andere impedantie kunnen zijn. Er had bijvoorbeeld een condensator C_2 langs kunnen staan. Er loopt nog steeds dezelfde stroom die tak in, maar voordat dezelfde spanning als voorheen over R_2 staat, moet eerst C_2 worden opgeladen.
- In plaats van R_1 had er ook een andere impedantie kunnen zijn. Bijvoorbeeld

De opamp als stroom-opteller

Uit het voorgaande kun je zien dat de min-ingang van een teruggekoppelde opamp fungeert als **stroom-optelpunt**. De som van de stromen die ernaartoe lopen kunnen niet de opamp inlopen en lopen dus door R_2 , die het omzet in een bijbehorende spanning.



In het bovenstaande voorbeeld geldt dus:

$$V_{out} = -R_2 \left(\frac{V_b}{R_{1b}} + \frac{V_a}{R_{1a}} \right) \quad \Leftrightarrow$$

$$V_{out} = - \left(V_b \frac{R_2}{R_{1b}} + V_a \frac{R_2}{R_{1a}} \right)$$

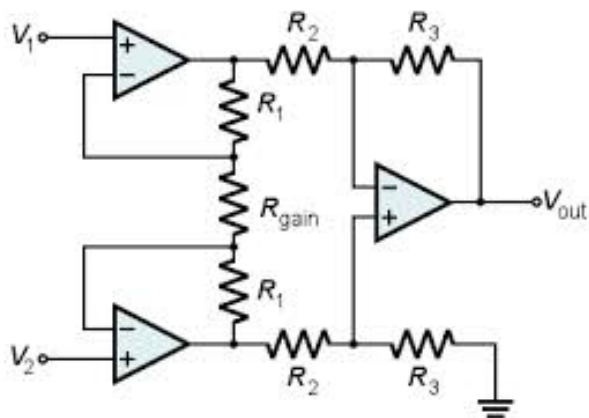
Analoog rekenen met opamps

We hebben gezien dat we met opamps kunnen vermenigvuldigen met een positieve of negatieve factor naar keuze, en dat we ermee kunnen optellen. We kunnen er dus in het analoge domein, zonder tussenkomst van een microprocessor, berekeningen mee uitvoeren.

Meetversterker

Soms wil je een goede verschilversterker hebben die niet oneindig keer versterkt, maar bijvoorbeeld 10 of 100 keer.

Een opamp-configuratie van 3 opamps waarmee je dat kunt doen, is een zogenaamde meetversterker:



Gedrag:

- $V_{out} = (V_1 - V_2) \left(1 + 2 \frac{R_1}{R_{gain}} \right) \frac{R_3}{R_2}$