

Operationele versterkers

1. Inleiding.

Een operationele versterker of ook dikwijls kortweg een "opamp" genoemd, is een veel voorkomende component in de elektronica.

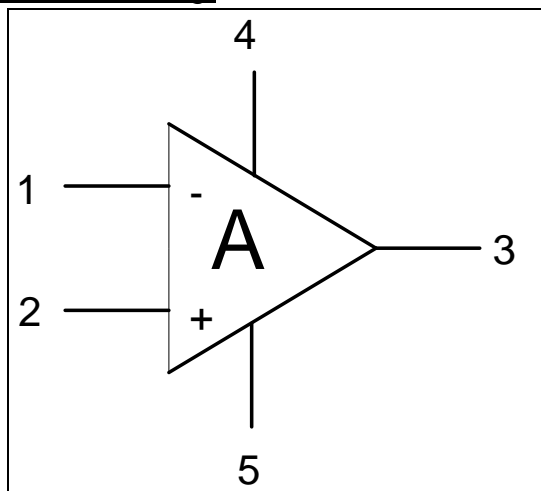
De opamp komt voor in allerlei verschillende schakelingen zoals versterkers, filters, stuurschakelingen en schakelingen die wiskundige bewerkingen uitvoeren.

De opamp komt meestal voor in de vorm van een IC.

Door de gunstige prijs en de eenvoud in gebruik is het een veel gebruikte component in de elektronica.

2. Kenmerken van de opamp.

2.1 Voorstelling:



- (1) inverterende ingang
- (2) niet-inverterende ingang
- (3) uitgang
- (4) positieve voedingsspanning
- (5) negatieve voedingsspanning

2.2 Eigenschappen van de ideale opamp.

$Z_{in} = \infty \Omega$ (ingangsweerstand van de opamp)

$Z_{out} = 0 \Omega$ (te vergelijken met inwendige weerstand van een bron)

$A = \infty$ A is de "OPEN LOOP" versterking.

- Als Z_{in} oneindig groot is, zal de ingangsstroom 0 A worden.
- Als $Z_{out} = 0 \Omega$ is, zal lout oneindig groot kunnen worden. lout is natuurlijk in de eerste plaats afhankelijk van de weerstand op de uitgang van de opamp.
- Een ingangssignaal zal oneindig maal versterkt worden.

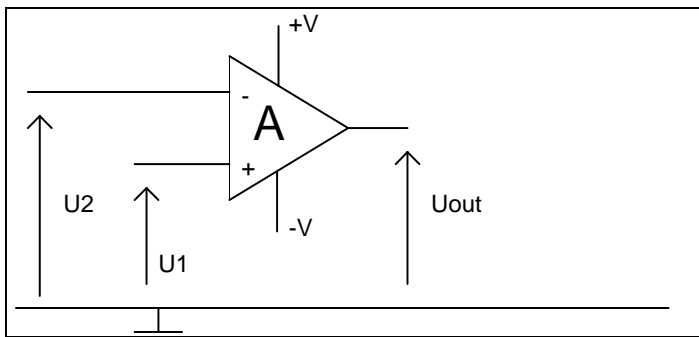
In de praktijk is de opamp niet ideaal en moeten deze kenmerken in praktische waarden omgezet worden.

$Z_{in} = 100 \text{ k}\Omega$

$Z_{out} = 10 \Omega$

$A = 100000$

2.3 De opamp met verschilingang.



De uitgang van de schakeling is :

$$U_{out} = A \times (U_1 - U_2)$$

voorbeeld :

$U_1 = 12V$	$U_2 = 10V$	$A = 100000$	$U_{out} = 200000V$
$U_1 = 10V$	$U_2 = 12V$	$A = 100000$	$U_{out} = -200000V$
$U_1 = 10V$	$U_2 = 8V$	$A = 100000$	$U_{out} = 200000V$
$U_1 = 8V$	$U_2 = 10V$	$A = 100000$	$U_{out} = -200000V$
$U_1 = 1V$	$U_2 = 1V$	$A = 100000$	$U_{out} = 0V$
$U_1 = 10\mu V$	$U_2 = 5\mu V$	$A = 100000$	$U_{out} = 500000 \mu V = 50 mV$
$U_1 = 80\mu V$	$U_2 = 230\mu V$	$A = 100000$	$U_{out} = -15000000 \mu V = -15V$

Uit het voorbeeld blijkt duidelijk dat de uitgang afhankelijk is van het verschil tussen de beide ingangen.

Opmerking:

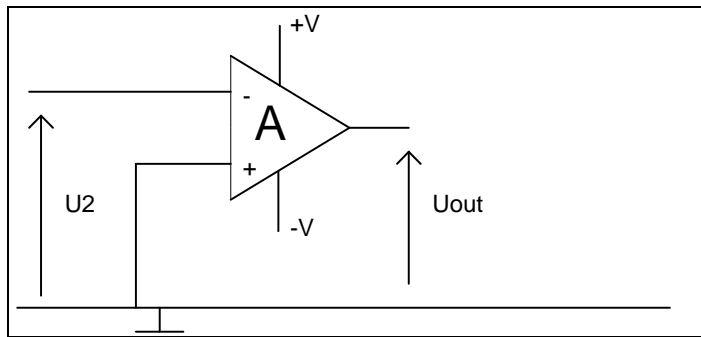
Als de spanning op de - klem $>$ + klem, dan is de uitgang geïnverteerd.

Als de spanning op de - klem $<$ + klem, dan is de uitgang niet geïnverteerd.

Dit blijkt duidelijk uit de formule.

Deze versterker heeft 2 ingangen.

2.4 De opamp met enkelvoudige ingang.



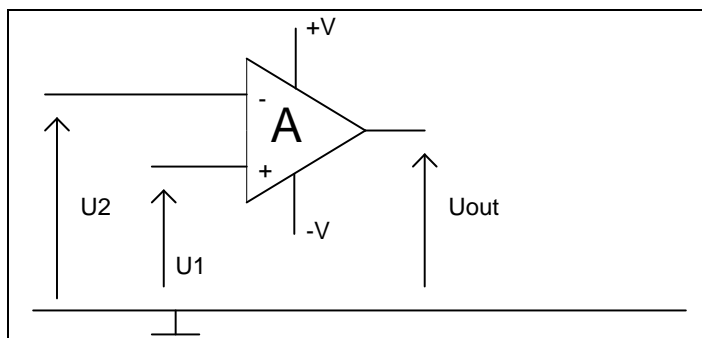
$$U_{out} = A \times (U_1 - U_2) = A \times (0V - U_2) = - (A \times U_2)$$

$$U_{out} = - A \times U_2$$

2.5 Werkgebied van de opamp.

Uit het rekenvoorbeeld blijkt dat reeds bij een kleine verschilspanning een heel grote uitgangsspanning gegenereerd wordt. In de praktijk kan dit niet, omdat de uitgang van de opamp nooit groter kan worden dan zijn voedingsspanning. Een veel gebruikte waarde voor voeding is +15V (op de positieve voedingsklem) en -15V (op de negatieve voedingsklem).

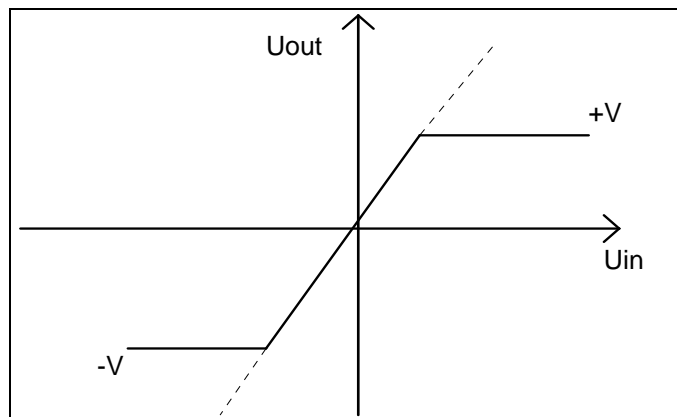
Als de uitgang groter dan de voedingsspanning zou worden, zal de uitgang begrensd worden op de respectievelijke voedingsspanning.



voorbeeld:

$U_{out} = 200000 \text{ V}$	na begrenzing is $U_{out} = 15 \text{ V}$
$U_{out} = -200000 \text{ V}$	na begrenzing is $U_{out} = -15 \text{ V}$
$U_{out} = 15 \text{ V}$	na begrenzing is $U_{out} = 15 \text{ V}$
$U_{out} = -15 \text{ V}$	na begrenzing is $U_{out} = -15 \text{ V}$
$U_{out} = 0.1 \text{ V}$	na begrenzing is $U_{out} = 0.1 \text{ V}$
$U_{out} = -0.1 \text{ V}$	na begrenzing is $U_{out} = -0.1 \text{ V}$

Laten we dit even in grafiek brengen.



Besluit :

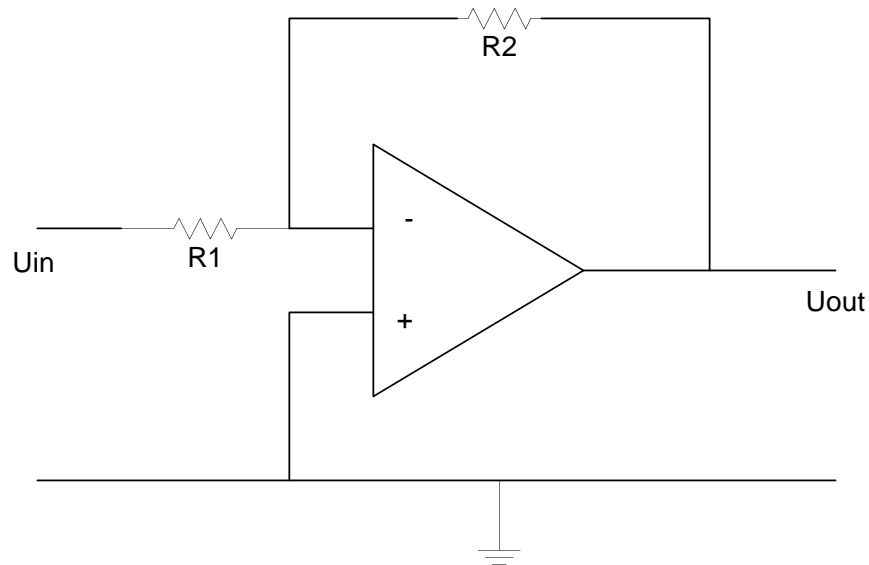
In de praktijk kunnen we de opamp in deze opstelling slechts gebruiken met een zeer kleine ingangsspanning, om een juiste uitgang te bekomen.

Als de ingang te groot wordt, zal de uitgang begrensd worden.

Fundamentele schakelingen met operationele versterkers.

1. De inverterende versterker.

Schema :



De versterkingsfaktor :

$$A = - \frac{R_2}{R_1}$$

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

Opmerking :

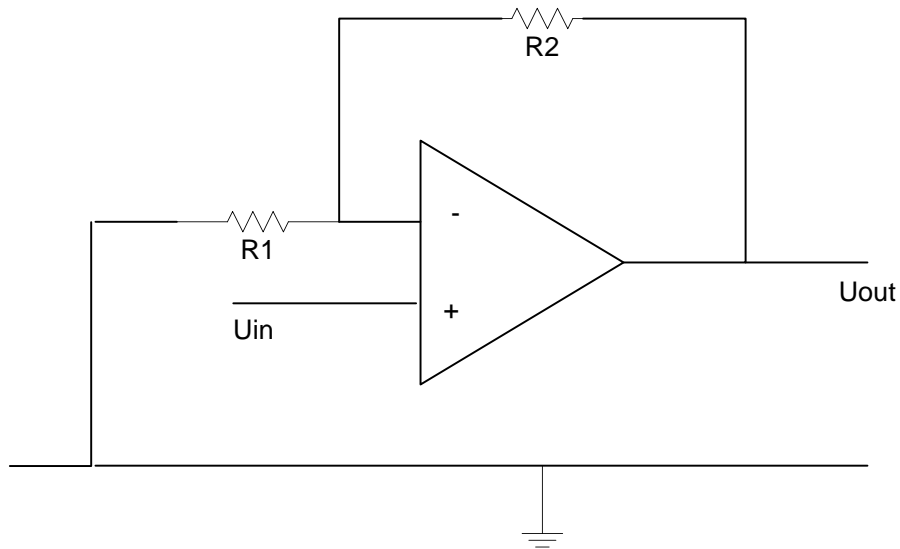
Merk op dat als we aan deze schakeling een ingangssignaal leggen, de uitgang gelijk is aan $U_{in} \times (-R_2/R_1)$. De versterking is dus niet meer afhankelijk van de opamp, maar van de weerstanden R_1 en R_2 .

De uitgang is ook altijd tegengesteld van teken t.o.v de ingang of invers aan de ingang. Dit leiden we af aan het - teken in de formule van de versterking. Daarom noemen we deze schakeling ook een inverterende versterker.

Als we de weerstanden R_1 en R_2 gelijk maken krijgen we een schakeling die we een INVERTER noemen. Als we U_{in} aanleggen is $U_{out} = - U_{in}$.

2. De niet-inverterende versterker.

Schema :



De versterkingsfaktor :

$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$\underline{U_{out} = A \cdot U_{in} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_{in}}$$

Opmerking :

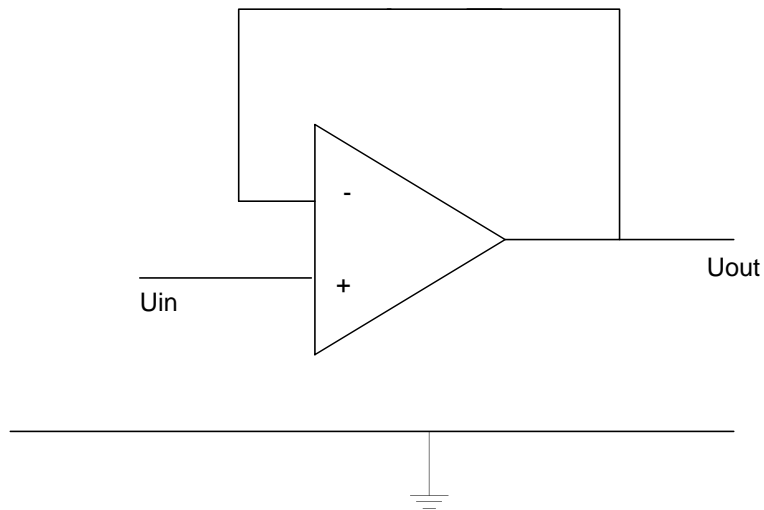
Merk op dat als we aan deze schakeling een ingangssignaal leggen, de uitgang gelijk is aan $U_{in} \times (1 + R_2/R_1)$. De versterking is dus weer niet meer afhankelijk van de opamp zelf, maar van de weerstanden R_1 en R_2 .

De uitgang is bij een niet-inverterende versterker gelijk aan de ingang qua faze en teken. Dit leiden we af aan de positieve versterkingsfaktor.

3. De buffer.

Als men bij een niet-inverterende versterker $R_2 = 0 \text{ } \nabla$ (= kortsluiting) maakt , dan is $A = 1$. R_1 kan men zo groot mogelijke waarde geven als men wil. $R_1 = \text{oneindig}$ (= weglaten). De schakeling wordt een buffer genoemd.

Schema :



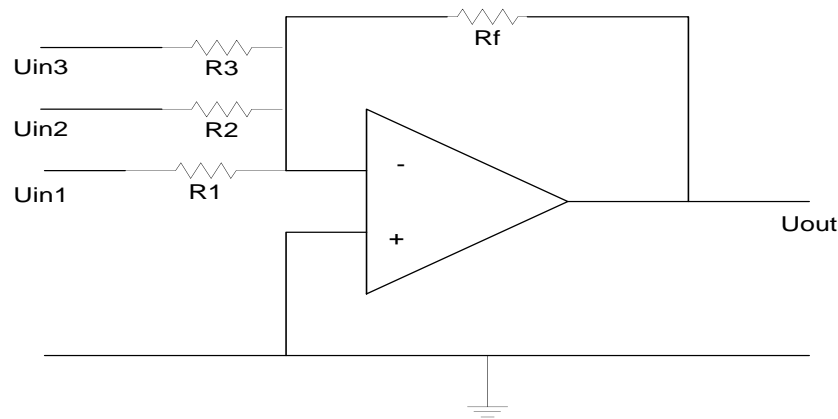
Versterking :

$$A = 1$$

$$\underline{U_{out} = U_{in}}$$

4. Somversterker.

Schema :



De versterkingsfaktor :

$$U_{out} = -\left(\frac{R_f}{R_1} \cdot U_{in1} + \frac{R_f}{R_2} \cdot U_{in2} + \frac{R_f}{R_3} \cdot U_{in3}\right)$$

$$\text{Als } R_1 = R_2 = R_3 = R$$

$$U_{out} = -\frac{R_f}{R} \cdot (U_{in1} + U_{in2} + U_{in3})$$

$$\text{Als } R_1 = R_2 = R_3 = R_f$$

$$U_{out} = -(U_{in1} + U_{in2} + U_{in3})$$

Opmerking :

Deze schakeling telt analoge ingangsspanningen met elkaar op en invertteerd de som.

Als men de weerstanden $R_1=R_2=R_3=R_f$ neemt, wordt de som negatief versterkt aan de uitgang.

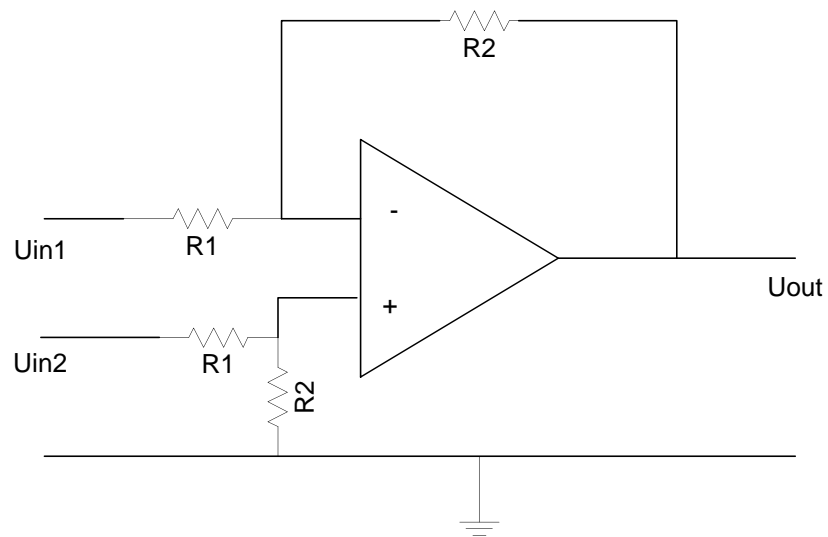
Kiest men alle weerstanden gelijk, krijgt enkel de negatieve som aan de uitgang.

In het algemene geval (weerstanden niet gelijk aan elkaar) kan men een verschillende waarde van versterking berekenen voor elke ingang. Zo kan men elke ingang en "gewichtsfactor" toe kennen.

Als men meerdere getallen wil optellen, volstaat het een ingangsweerstand bij te plaatsen en de formules logischer wijs uit te breiden.

5. De verschilversterker.

Schema :



De versterkingsfaktor :

$$U_{out} = \frac{R_2}{R_1} \cdot (U_2 - U_1)$$

Opmerking :

Deze schakeling versterkt het verschil in spanning tussen U_{in2} en U_{in1} .