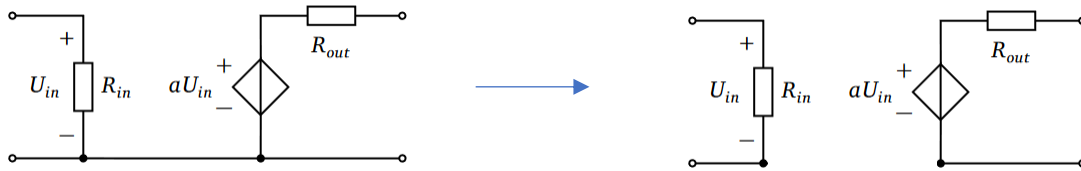


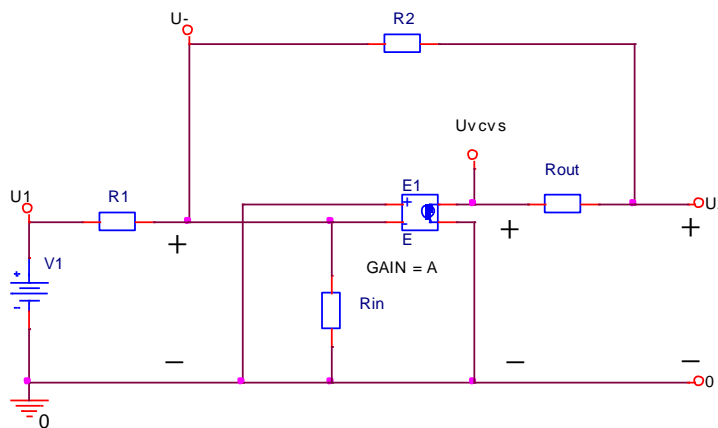
Informatie voor Jesse op den Brouw Elektrische netwerken – concept blz. 10 t/m 12.

Correctie opamp model Figuur 1.8:



Figuur 1 Rekenschema.

Er hoort geen verbinding aanwezig te zijn zoals in Figuur 1 aangegeven is. In het geval dat de uitgang van de opamp asymmetrisch is moet de onderste klem van de spannings-gestuurde spanningsbron in Figuur 1 (voltage controlled voltage source kortweg vcvs) aan de 0 V gelegd worden; alleen dan is het rekenschema juist. Vanwege de terugkoppeling (schakeling is in principe een transimpedantie) ligt  $U_+$  van de opamp aan de 0 V. DE polariteit is aangenomen zoals in Figuur 1 is weergegeven. De eindformule en Figuur 1 zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden (i.v.m. aanname polariteiten).



Figuur 2 Netwerk van een vereenvoudigd model van een opamp.

Procedure afleiding overdracht:

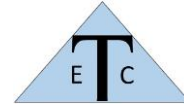
- Voor twee knooppunten ( $U^-$  en  $U_2$ ) zijn vergelijkingen op te stellen.
- Twee vergelijkingen met twee onbekenden.
- Elimineer  $U^-$  zodat de relatie tussen  $U_1$  en  $U_2$  resteert.

1<sup>e</sup> knooppunt vergelijking voor  $U^-$ :

$$U^- \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{in}} + \frac{1}{R_2} \right) - \frac{U_1}{R_1} - \frac{0}{R_{in}} - \frac{U_2}{R_2} = 0 \quad (1)$$

2<sup>e</sup> knooppunt vergelijking voor  $U_2$ :

$$U_2 \left( \frac{1}{R_{out}} + \frac{1}{R_2} \right) - \frac{U_{vcvs}}{R_{out}} - \frac{U^-}{R_2} = 0 \quad (2)$$



Verband tussen  $U^+$ ,  $U^-$  en  $U_{\text{vcvs}}$ :

$$U_{\text{vcvs}} = A(U^+ - U^-) = A(0 - U^-) = -AU^- \quad (3)$$

Substitueer Formule (3) in Formule (2) zodat voor knooppunt  $U^-$  geschreven kan worden:

$$U^- = U_2 \cdot \frac{(R_2 + R_{\text{out}})}{(-AR_2 + R_{\text{out}})} \quad (4)$$

Substitueer nu Formule (4) in Formule (1):

$$U_2 \cdot \frac{(R_2 + R_{\text{out}})}{(-AR_2 + R_{\text{out}})} \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{\text{in}}} + \frac{1}{R_2} \right) - \frac{U_1}{R_1} - \frac{0}{R_{\text{in}}} - \frac{U_2}{R_2} = 0 \quad (5)$$

Alleen de spanningen  $U_1$  en  $U_2$  zijn nu aanwezig in Formule (5) zodat, na enige algebra, voor de overdracht te schrijven is:

$$\frac{U_2}{U_1} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{\left( A - \frac{R_{\text{out}}}{R_2} \right)}{A + \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2}{R_{\text{in}}} + \frac{R_{\text{out}}}{R_1} + \frac{R_{\text{out}}}{R_{\text{in}}} \right)} \quad (6)$$

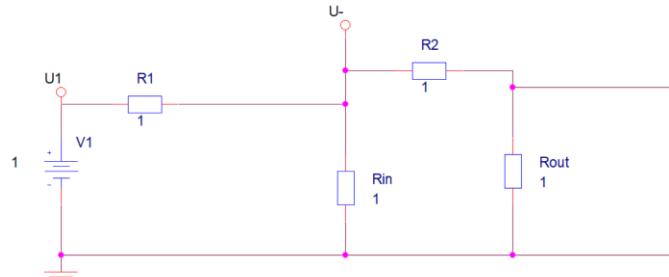
Om de juistheid (rekenkundig) te controleren van de Formule (6) wordt allereerst een dimensie controle uitgevoerd. De teller en noemer rechts van het = teken zijn dimensie loos en dat komt en dat komt overeen met de linkerkant. De volgende controle op juistheid is door bijzonder situaties te bekijken.

Van een ideale opamp zijn de volgende gegevens bekend:  $A = \infty$ ,  $R_{\text{in}} = \infty$  en  $R_{\text{out}} = 0 \Omega$ . De overdracht van Formule (6) wordt met deze gegevens de ideale overdracht  $A_{\text{t}\infty}$  genoemd en is gelijk aan:

$$A_{\text{t}\infty} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (7)$$

En komt overeen met de bekende overdracht van een inverterende versterker. De laatste controle is voor het geval dat  $A = 0$ .

Er is de zgn. directe overdracht aanwezig en het netwerk dat dan ontstaat is in Figuur 3 weergegeven.



Figuur 3 Directe overdracht.

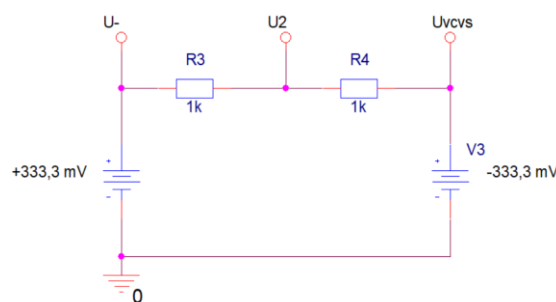
Uit Figuur 3 is de directe overdracht eenvoudig af te leiden (2x spanningsdeling) en is gelijk aan:

$$\frac{U_2}{U_1} = + \frac{R_{out}}{R_{out} + R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_{in}} + \frac{R_1 R_{out}}{R_{in}}} \quad (8)$$

Wanneer in Formule (6)  $A = 0$  ingevuld wordt dan ontstaat Formule (8).

Een bijzondere situatie ontstaat wanneer alle grootheden gelijk zijn aan 1 zoals in het elektrisch schema van Figuur 1 is weergegeven. Volgens Formule (6) is de uitgangsspanning  $U_2$  gelijk aan 0 V.

Dit is een situatie zoals in Figuur 4 als voorbeeld (principe) is weergegeven. Op eenvoudige wijze is in te zien en af te leiden dat de spanning  $U_2$  gelijk is aan 0 V.



Figuur 4 Bijzondere situatie.

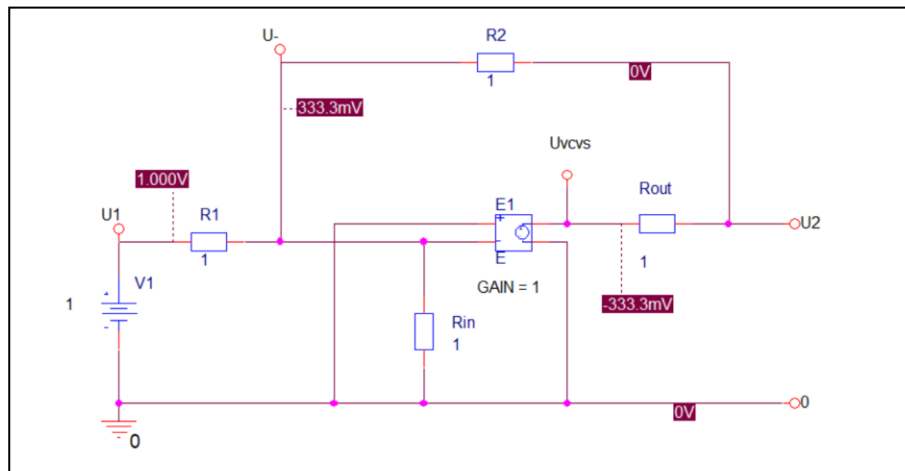
Aangezien Formule (6) algemeen geldig is moet de uitkomst van de formule natuurlijk ook 0 V zijn. De teller van de formule wordt in de bijzondere situatie 0 zodat de overdracht 0 is zoals verwacht.

Veelal wordt gebruik gemaakt van simulatie programmatuur om overdrachten te verifiëren. In dit geval is gebruik gemaakt van ORCAD Capture Lite® – Pspice® (versie 16.6). In Bijlage 1 zijn de berekende overdrachten en de simulatieresultaten voor diverse situaties opgenomen.

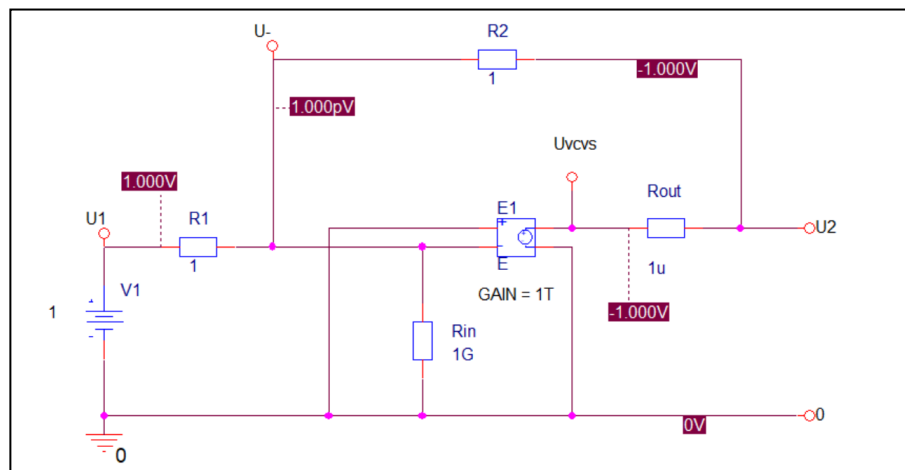
De conclusie is dat de afleiding van de overdracht juist is.

Bijlage 1 Berekeningen en simulatieresultaten met elkaar vergeleken.

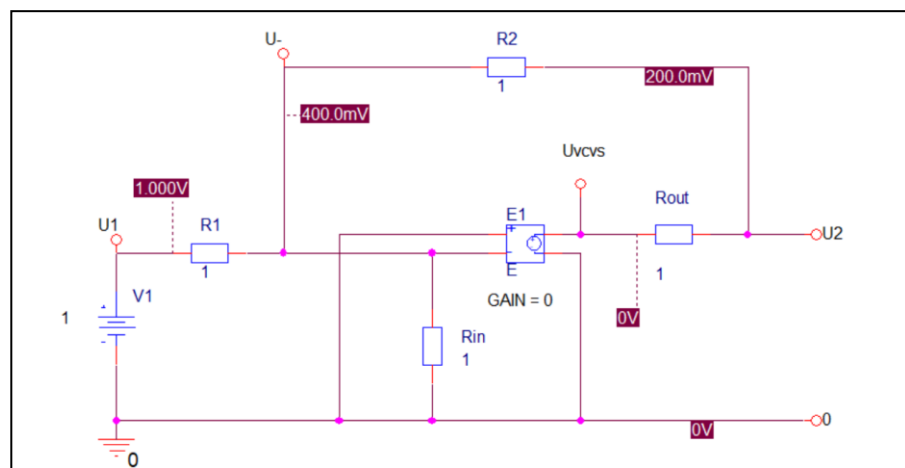
Situatie 1: alle componenten de waarde 1. Berekend uit Formule (6)  $U_2 = 0 \text{ V}$ .



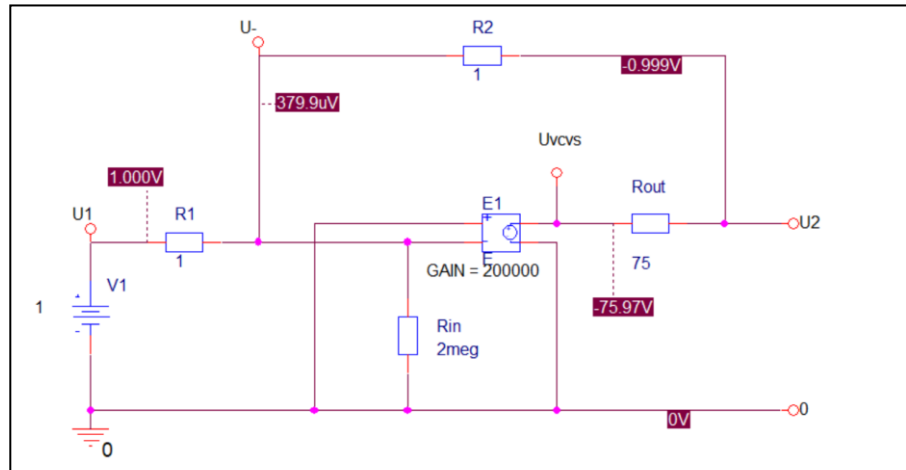
Situatie 2: ideale opamp. Berekend uit Formule (7)  $U_2 = -1,000 \text{ V}$ .



Situatie 3: Opamp Gain 0 (directe overdracht). Berekend uit Formule (8)  $U_2 = +0,2000 \text{ V}$ .



Situatie 4: Praktische opamp Gain (DC)  $2,00 \cdot 10^5$ ,  $R_{out} = 75,0 \Omega$ ,  $R_{in} = 2,00 \cdot 10^6 \Omega$ .  
Berekend uit Formule (6)  $U_2 = -0,999 \text{ V}$ .



Situatie 4: Realistisch situatie Gain (DC)  $2,00 \cdot 10^5$ ,  $R_{out} = 75,0 \Omega$ ,  $R_{in} = 2,00 \cdot 10^6 \Omega$ ,  
 $R_1 = 1,00 \cdot 10^3 \Omega$  en  $R_2 = 1,00 \cdot 10^4 \Omega$ . Berekend uit Formule (6)  $U_2 = -1,000 \text{ V}$ .

