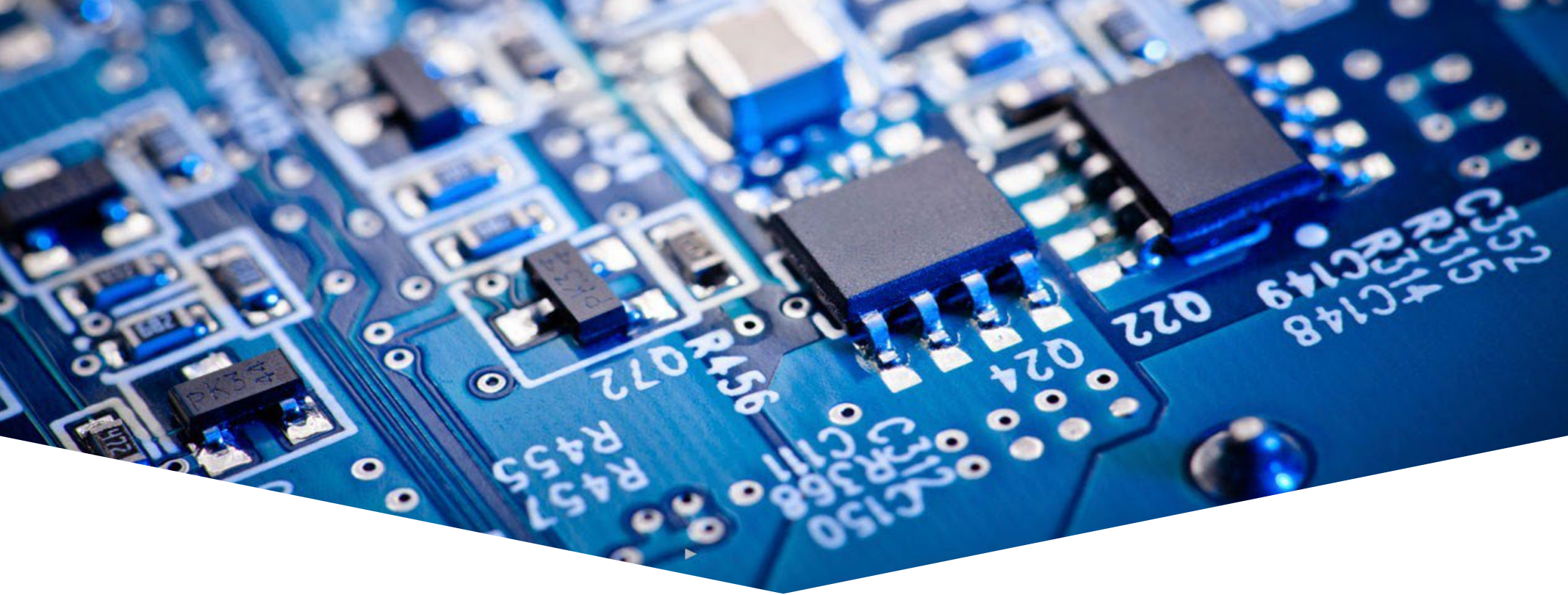




ANALOGUE ELEKTRONICA 1

- Admittanties
- Knooppuntmethoden met Cramer
- Ideale opamp schakelingen
- Niet ideale opamp effecten

Admittantie Y : Omgekeerde van Impedantie: $Y = 1/Z$

- Bij een weerstand: $Y = 1/R$
- Bij een condensator: $Y = sC$ (met $s = j\omega$)
- Bij een spoel: $Y = 1/(sL)$

Wanneer en waarom gebruiken?

- Bij knooppuntvergelijkingen
(meestal minder knooppunten dan lussen!)
- Maakt rekenen eenvoudiger

$$I = \frac{1}{Z}U \Rightarrow I = YU$$

Knooppuntvergelijkingen:

- Knooppunt 1:

$$Y_1(U - U_1) + Y_2(U_2 - U_1) + Y_3(U_2 - U_1) = 0$$

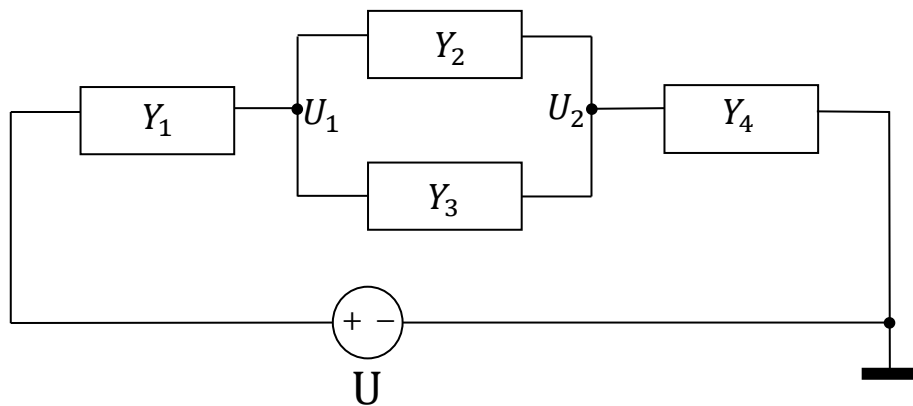
- Knooppunt 2:

$$Y_2(U_1 - U_2) + Y_3(U_1 - U_2) + Y_4(0 - U_2) = 0$$

- Knooppuntvergelijkingen in matrix-vorm:

- Ingangspotential rechts
- Knooppuntspotentialen links

$$\begin{pmatrix} Y_1 + Y_2 + Y_3 & -Y_2 - Y_3 \\ -Y_2 - Y_3 & Y_2 + Y_3 + Y_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_1 U \\ 0 \end{pmatrix}$$



$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = a_{11} \cdot \begin{vmatrix} a_{22} & a_{23} \\ a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} - a_{12} \cdot \begin{vmatrix} a_{21} & a_{23} \\ a_{31} & a_{33} \end{vmatrix} + a_{13} \cdot \begin{vmatrix} a_{21} & a_{22} \\ a_{31} & a_{32} \end{vmatrix}$$

En ook:

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = a_{11} \cdot \begin{vmatrix} a_{22} & a_{23} \\ a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} - a_{12} \cdot \begin{vmatrix} a_{21} & a_{23} \\ a_{31} & a_{33} \end{vmatrix} + a_{13} \cdot \begin{vmatrix} a_{21} & a_{22} \\ a_{31} & a_{32} \end{vmatrix}$$

Tekenfactor:

$$\begin{array}{ccc} + & - & + \\ - & + & - \\ + & - & + \end{array}$$

Stelsel vergelijkingen:

$$2x_1 + x_2 + 3x_3 = 8$$

$$-x_1 - 4x_2 + x_3 = 3$$

$$x_1 + 2x_2 - 4x_3 = 1$$

in matrixvorm:

$$\begin{pmatrix} 2 & 1 & 3 \\ -1 & -4 & 1 \\ 1 & 2 & -4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 8 \\ 3 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Opgave: Bereken de determinant D

Is het stelsel eenduidig oplosbaar
(determinant $\neq 0$)?

Regel van Cramer: oplossing van stelsel
vergelijkingen:

$$x_1 = \frac{D_1}{D}$$

$$x_2 = \frac{D_2}{D}$$

$$x_3 = \frac{D_3}{D}$$

$$\begin{pmatrix} 2 & 1 & 3 \\ -1 & -4 & 1 \\ 1 & 2 & -4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 8 \\ 3 \\ 1 \end{pmatrix} \quad D = \begin{vmatrix} 2 & 1 & 3 \\ -1 & -4 & 1 \\ 1 & 2 & -4 \end{vmatrix}$$

Hulpdeterminanten D_1 , D_2 en D_3

- Vervang kolom 1, 2 of 3 door de uitkomstvector

$$D_1 = \begin{vmatrix} 8 & 1 & 3 \\ 3 & -4 & 1 \\ 1 & 2 & -4 \end{vmatrix} \quad D_2 = \begin{vmatrix} 2 & 8 & 3 \\ -1 & 3 & 1 \\ 1 & 1 & -4 \end{vmatrix} \quad D_3 = \begin{vmatrix} 2 & 1 & 8 \\ -1 & -4 & 3 \\ 1 & 2 & 1 \end{vmatrix}$$

1. Bereken deze hulpdeterminanten
2. Bepaal de oplossing van dit stelsel (x_1 , x_2 en x_3)

Voorbeeld regel van Cramer

Stel het volgende:

- U_1 is ingangsspanning
- U_2 is uitgangsspanning

Versterking $|A|$ is gedefinieerd als $A = \frac{U_2}{U_1}$

M.b.v. regel van Cramer
wordt dit dan:

$$U_1 = \frac{D_1}{D}$$
$$U_2 = \frac{D_2}{D}$$

$$\begin{pmatrix} 2 & 1 & 3 \\ -1 & -4 & 1 \\ 1 & 2 & -4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 8 \\ 3 \\ 1 \end{pmatrix}$$

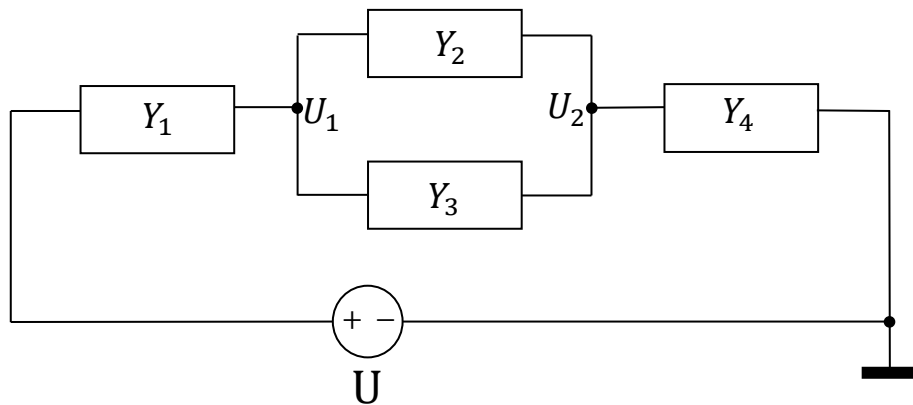
$$A = \frac{U_2}{U_1} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{\begin{vmatrix} 2 & 8 & 3 \\ -1 & 3 & 1 \\ 1 & 1 & -4 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 8 & 1 & 3 \\ 3 & -4 & 1 \\ 1 & 2 & -4 \end{vmatrix}}$$

Oefening I: Regel van Cramer

- Knooppuntvergelijkingen in matrix-vorm:
 - Ingangspotentiaal rechts
 - Knooppuntspotentialen links

$$\begin{pmatrix} Y_1 + Y_2 + Y_3 & -Y_2 - Y_3 \\ -Y_2 - Y_3 & Y_2 + Y_3 + Y_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_1 U \\ 0 \end{pmatrix}$$

- Bepaal U_1 en U_2 met behulp van
- de regel van Cramer

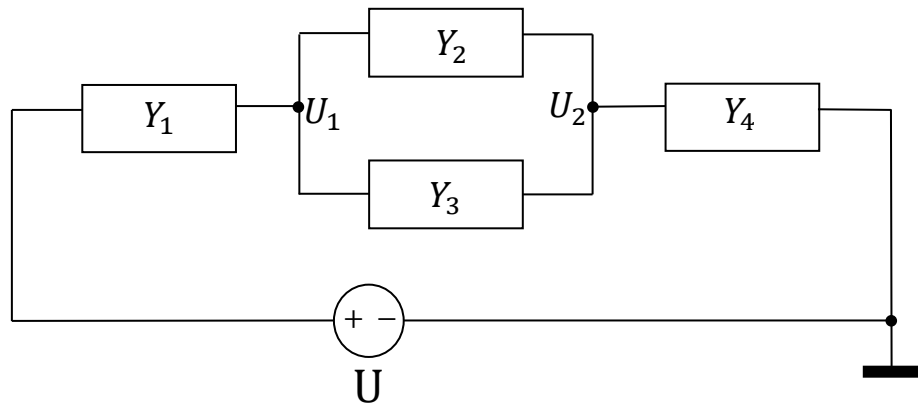


Knooppuntvergelijkingen in matrix-vorm:

$$\begin{pmatrix} Y_1 + Y_2 + Y_3 & -Y_2 - Y_3 \\ -Y_2 - Y_3 & Y_2 + Y_3 + Y_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_1 U \\ 0 \end{pmatrix}$$

Bepaal $A = \frac{U_1}{U_2}$:

- $U_1 = \frac{D_1}{D}, U_2 = \frac{D_2}{D} \Rightarrow A = \frac{D_1}{D_2}$
- $D_1 = \begin{vmatrix} Y_1 U & -Y_2 - Y_3 \\ 0 & Y_2 + Y_3 + Y_4 \end{vmatrix} = Y_1(Y_2 + Y_3 + Y_4)U$
- $D_2 = \begin{vmatrix} Y_1 + Y_2 + Y_3 & Y_1 U \\ -Y_2 - Y_3 & 0 \end{vmatrix} = Y_1(Y_2 + Y_3)U$



- Dus:
- $A = \frac{D_1}{D_2} = \frac{Y_1(Y_2 + Y_3 + Y_4)U}{Y_1(Y_2 + Y_3)U} = 1 + \frac{Y_4}{Y_2 + Y_3}$

Oefening II: Regel van Cramer

Stel het volgende:

- V_i is ingangsspanning
- V_o is uitgangsspanning

Bepaal de overdrachtsfunctie $A = \frac{V_o}{V_i}$ uit de matrixvergelijking:

$$\begin{pmatrix} 1 & 5 & -2 \\ 0 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_i \\ V_a \\ V_o \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Ideale op-amp

Een ideale op-amp heeft de volgende eigenschappen:

- Open loop versterking A_{od} is oneindig
- Oneindige ingangsimpedantie
- Uitgangsimpedantie is gelijk aan 0

Toepassing:

- Negatieve feedback
 - $v_1 = v_2$
 - Virtual ground: $v_1 = 0$
 - Versterkingsfactor:

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

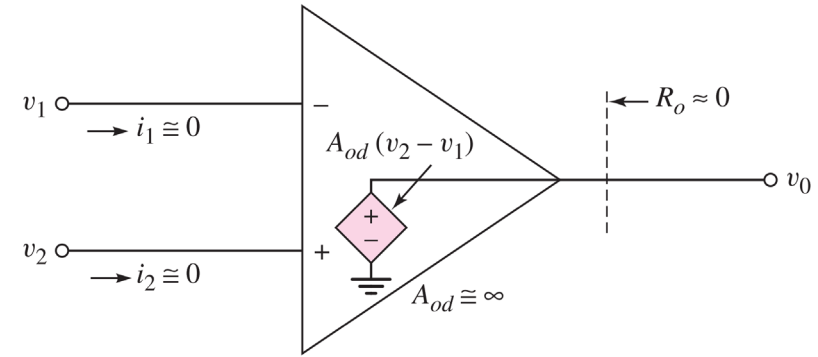


Figure 9.6 Parameters of the ideal op-amp

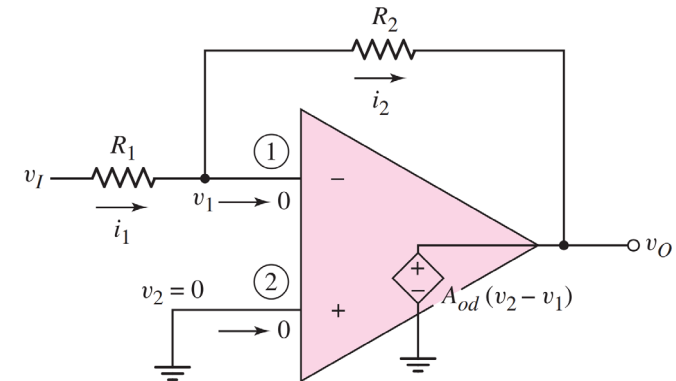
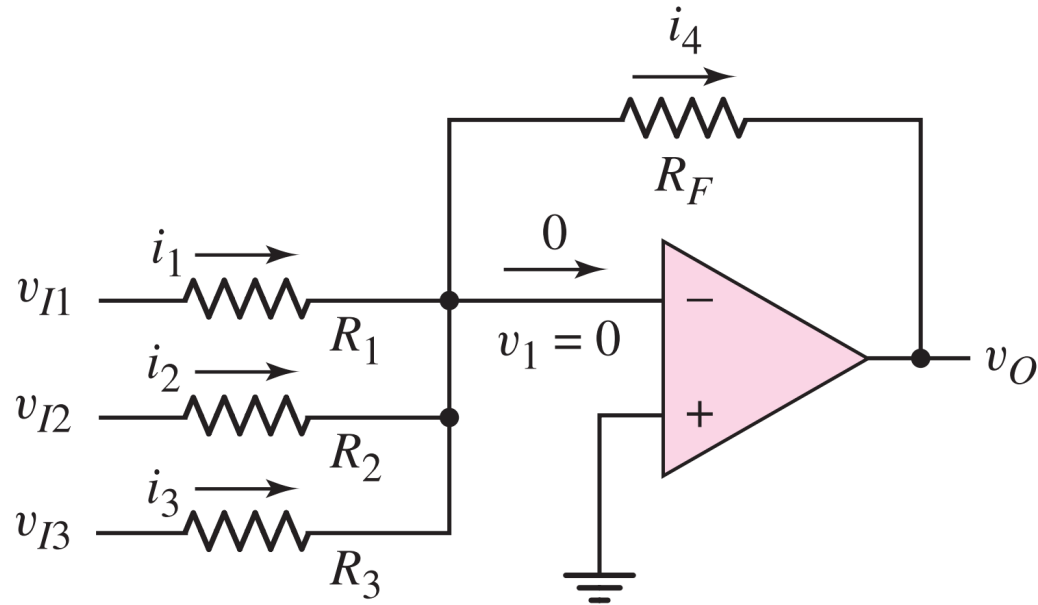


Figure 9.9 Inverting op-amp equivalent circuit

Summing amplifier (blz 636)

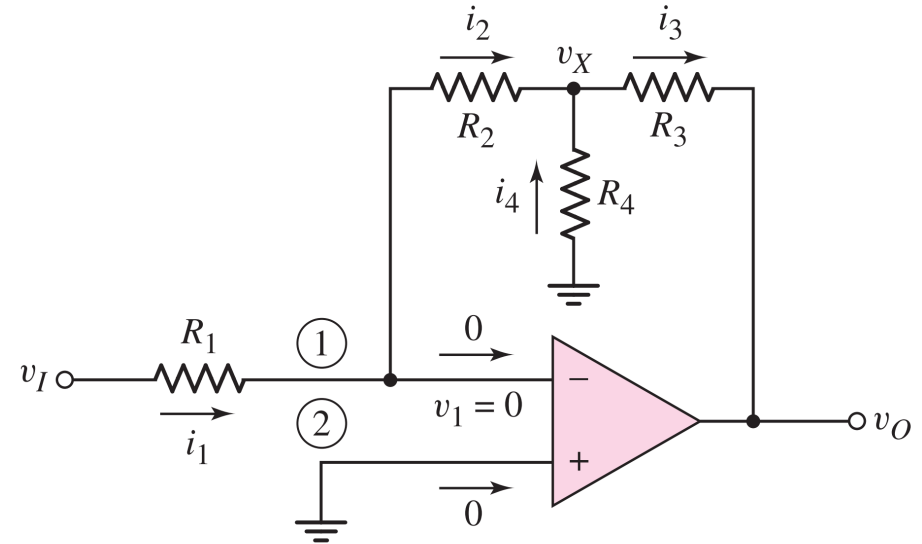
Bepaal de uitgangsspanning v_O als functie van de ingangsspanningen v_{I1} , v_{I2} , v_{I3} :



Inverting op-amp with T-network (blz 631)

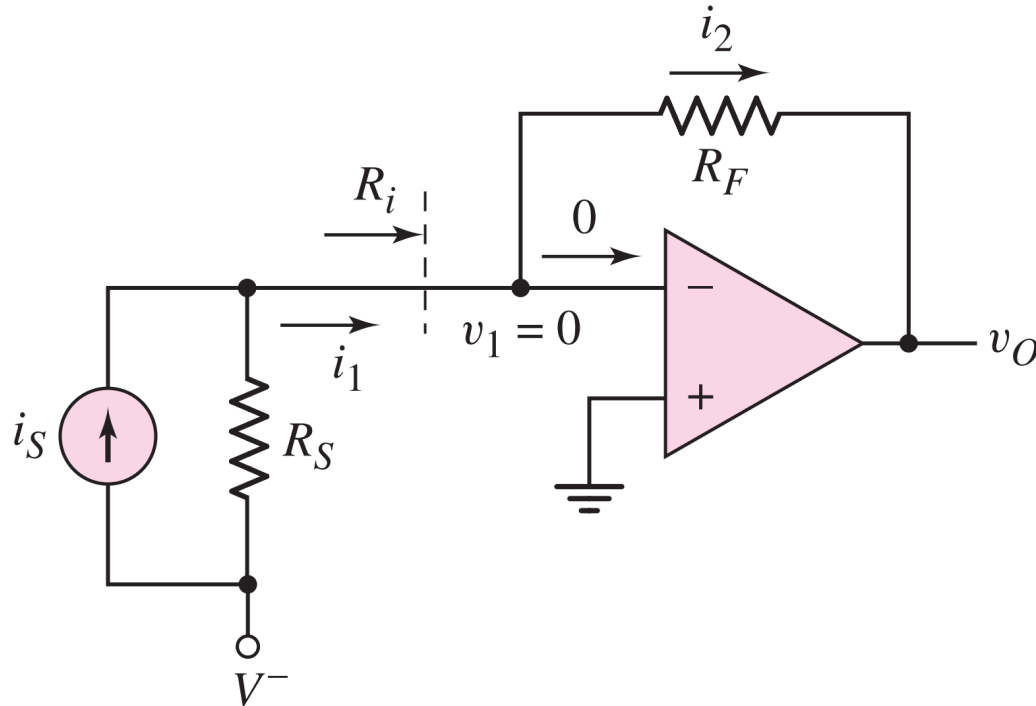
Bepaal de versterkingsfactor door:

- Relevante knooppuntvergelijkingen op te stellen
- Schrijf het stelsel in een matrixvorm waarbij v_I rechts en v_X en v_O links staan
- Bepaal v_O met behulp van de regel van Cramer
- Leg uit wat het voordeel van zo'n inverterende op-amp met een T-netwerk zou kunnen zijn



Current-to-Voltage converter

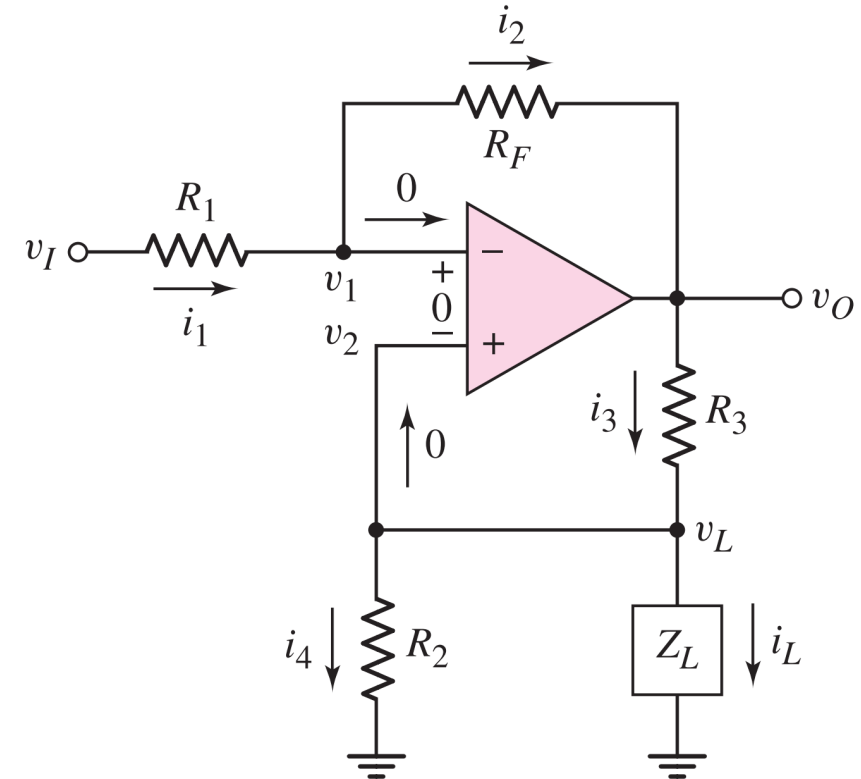
Als een stroom door de stroombron wordt aangeboden aan de ingang van een opamp, bepaal de uitgangsspanning v_O als functie van de ingangsstroom i_S .



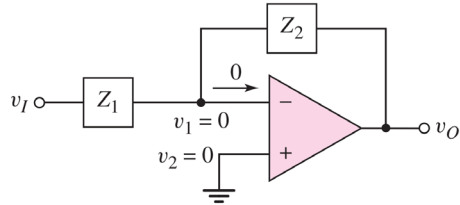
Voltage-to-current converters

Voltage-to-current converter:

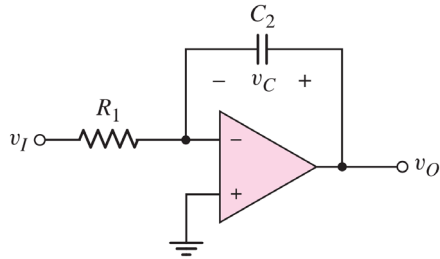
- Bepaal de uitgangsstroom i_L als functie van deingangsspanning v_I
- Bepaal de feedback weerstand R_F zodanig dat i_L onafhankelijk is van de impedantie van de load



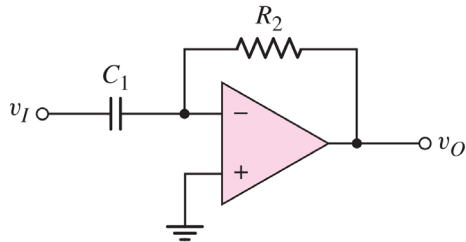
Op-amp integrator en differentiator



- Bepaal de uitgangsspanning v_O als functie van de ingangsspanning v_I in het s-domein



- Bepaal de uitgangsspanning v_O als functie van de ingangsspanning v_I in het s-domein
- Bepaal de uitgangsspanning v_O als functie van de ingangsspanning v_I in het t-domein



- Bepaal de uitgangsspanning v_O als functie van de ingangsspanning v_I in het s-domein
- Bepaal de uitgangsspanning v_O als functie van de ingangsspanning v_I in het t-domein

Behandeld is:

Neamen H9, Ideal Operational Amplifiers and Op-Amp Circuits

Maak de volgende opgaven:

9.6, 9.11, 9.16, 9.25: inverterende versterker

9.37, 9.38, 9.45: summing amplifieer

9.65, 9.68: difference en instrumentation amplifier

9.75, 9.77: eerste orde actieve filters

Voor volgende les:

Lezen Neamen H14, Nonideal Effects in Operational Amplifier Circuits, behalve paragraaf 14.3

Niet ideale op-amp H14

Een ideale op-amp heeft de volgende eigenschappen:

- Oneindige open-loop versterking $A_{od} = \infty$
- Oneindige ingangsimpedantie $R_i = \infty$
- Uitgangsimpedantie is gelijk aan $R_o = 0$

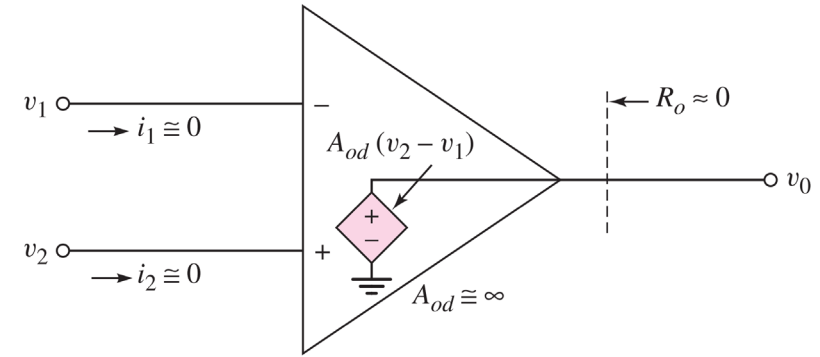


Figure 9.6 Parameters of the ideal op-amp

Een niet ideale op-amp:

- Eindige open-loop versterking $A_{ol} < \infty$
- Eindige ingangsimpedantie $R_i < \infty$
- Uitgangsimpedantie groter dan 0: $R_o > 0$

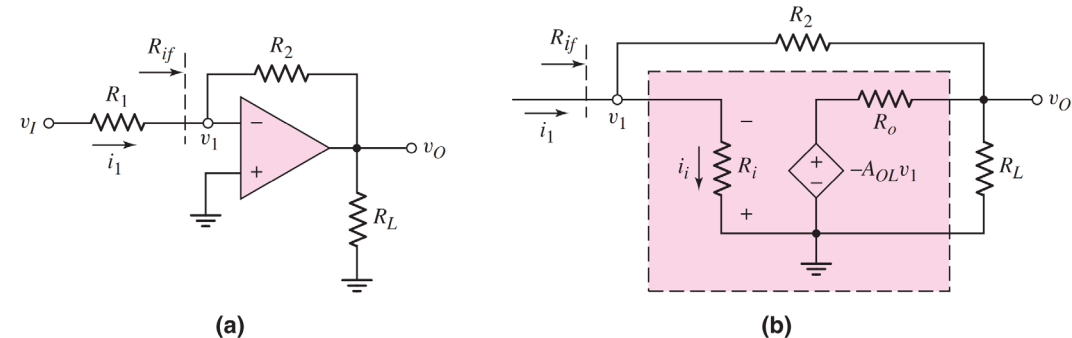


Figure 14.4 (a) Inverting amplifier and (b) inverting amplifier equivalent circuit, for calculating closed-loop input resistance

Closed loop gain non-ideal inverting op-amp

- Leid af dat de closed-loop versterkingsfactor van een niet-ideale inverterende op-amp gegeven wordt door:

$$A_{CL} = \frac{v_O}{v_I} = \frac{-\frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{1}{A_{OL}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}$$

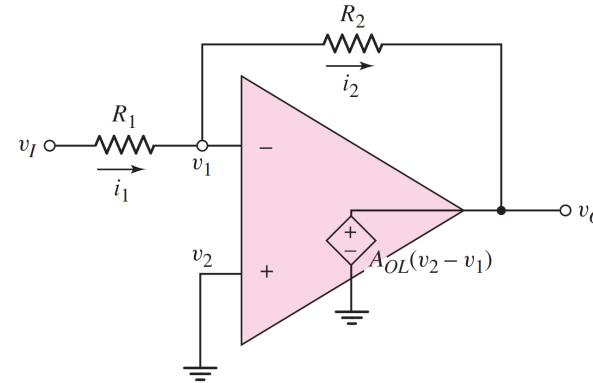


Figure 14.2 Equivalent circuit, inverting amplifier with finite open-loop gain

- Laat zien dat in de limiet $A_{OL} \rightarrow \infty$ de versterkings-factor van een ideale inverterende op-amp gereproduceerd wordt

Closed loop gain non-ideal noninverting op-amp

- Leid af dat de closed-loop versterkingsfactor van een niet-ideale niet-inverterende op-amp gegeven wordt door:

$$A_{CL} = \frac{v_O}{v_I} = \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{1}{A_{OL}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)}$$

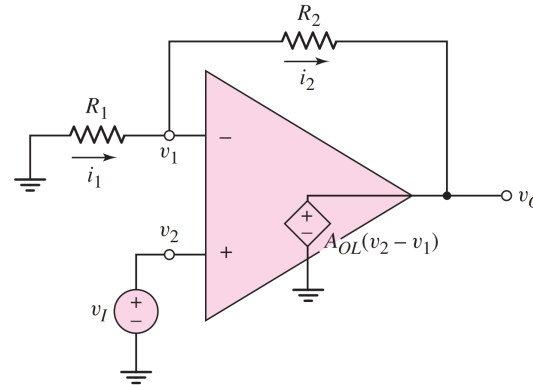


Figure 14.3 Equivalent circuit, noninverting amplifier with finite open-loop gain

- Laat zien dat in de limiet $A_{OL} \rightarrow \infty$ de versterkings-factor van een ideale niet-inverterende op-amp gereproduceerd wordt

Closed-loop input resistance of a noninverting amplifier

Een niet ideale op-amp heeft:

- Eindige open-loop versterking $A_{ol} < \infty$
- Eindige ingangsimpedantie $R_i < \infty$
- Uitgangsimpedantie is gelijk aan $R_o > 0$

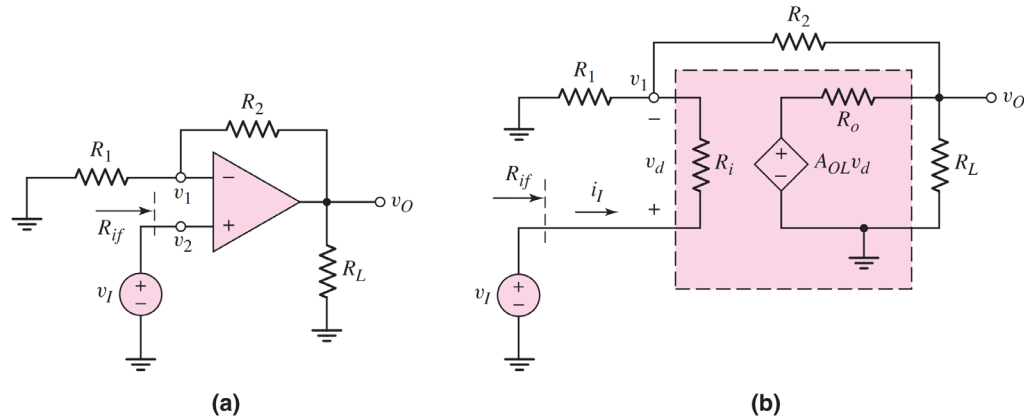


Figure 14.5 (a) Noninverting amplifier and (b) noninverting amplifier equivalent circuit, for calculating closed-loop input resistance

Bepalen van de closed-loop ingangsweerstand R_{if} :

- Schrijf de knooppuntvergelijking voor v_1 op met de ingaande stroom i_I
- Schrijf de knooppuntvergelijking voor v_O op
- Bereken: $R_{if} = \frac{v_I}{i_I}$

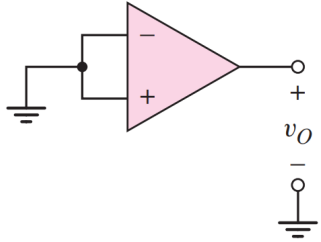


Figure 14.14 Circuit for measuring output offset voltage

Bepalen van de output offset voltage:

- Sluit beide ingangen van de op-amp aan de ground
- Bepaal (meet) het spanningsverschil v_O tussen de op-amp uitgang en de ground

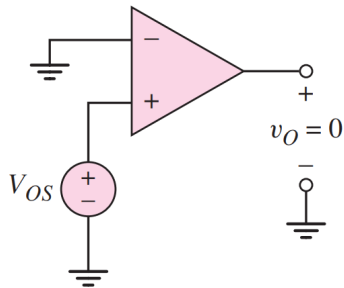


Figure 14.15 Circuit for measuring input offset voltage

Bepalen van de input offset voltage:

- Sluit de minpool van de op-amp aan op de ground
- Stel de spanning V_{OS} zo in zodat dat de uitgangsspanning $v_O = 0$
- Dit wordt vaak kortweg als offset voltage genoemd

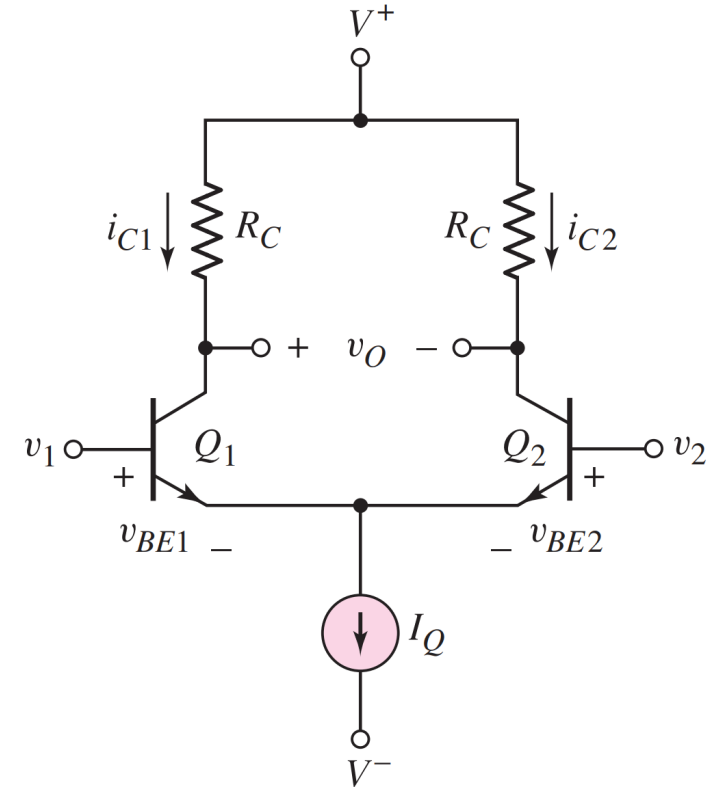
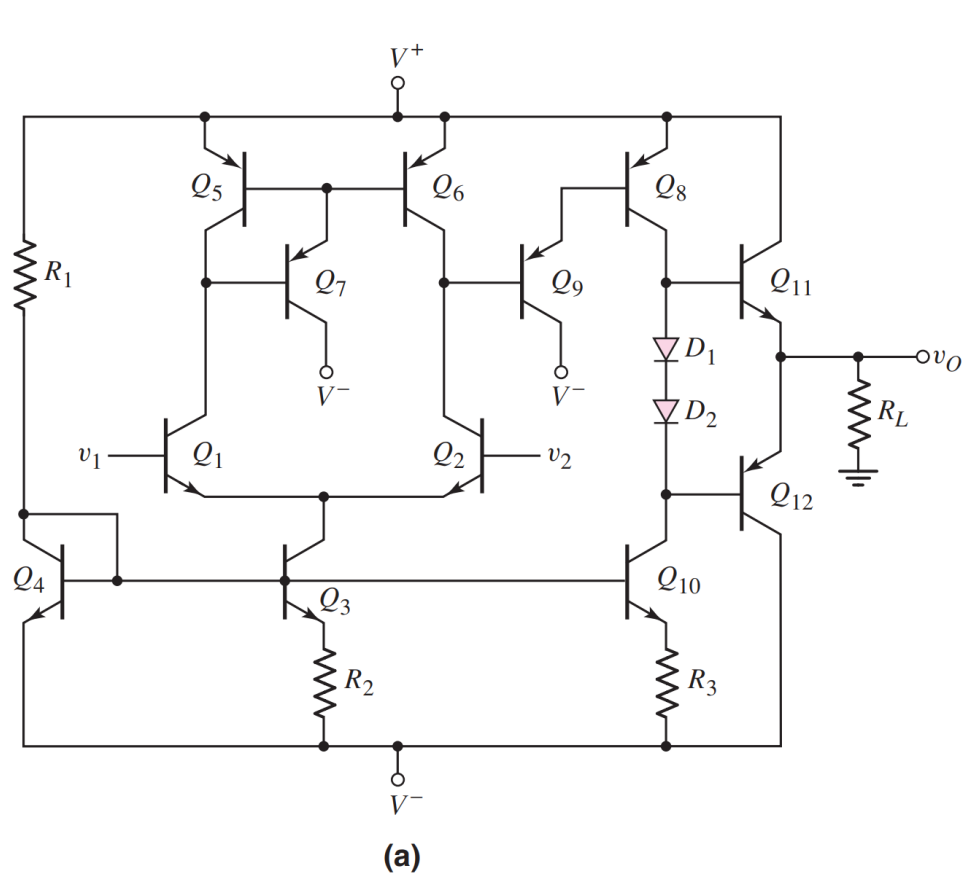


Figure 14.16 Basic bipolar difference amplifier

Structuur van een opamp

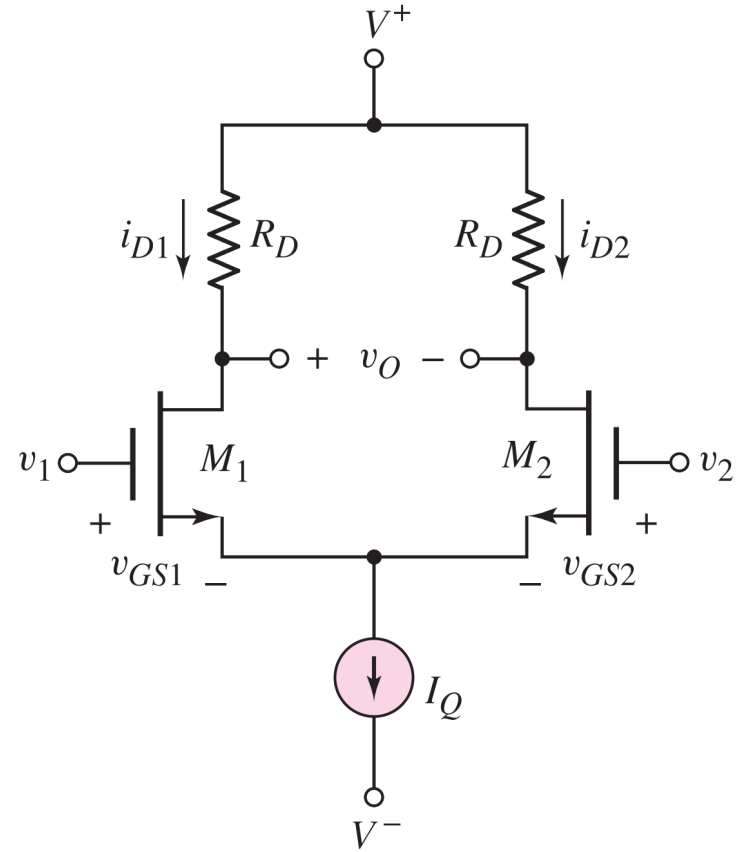
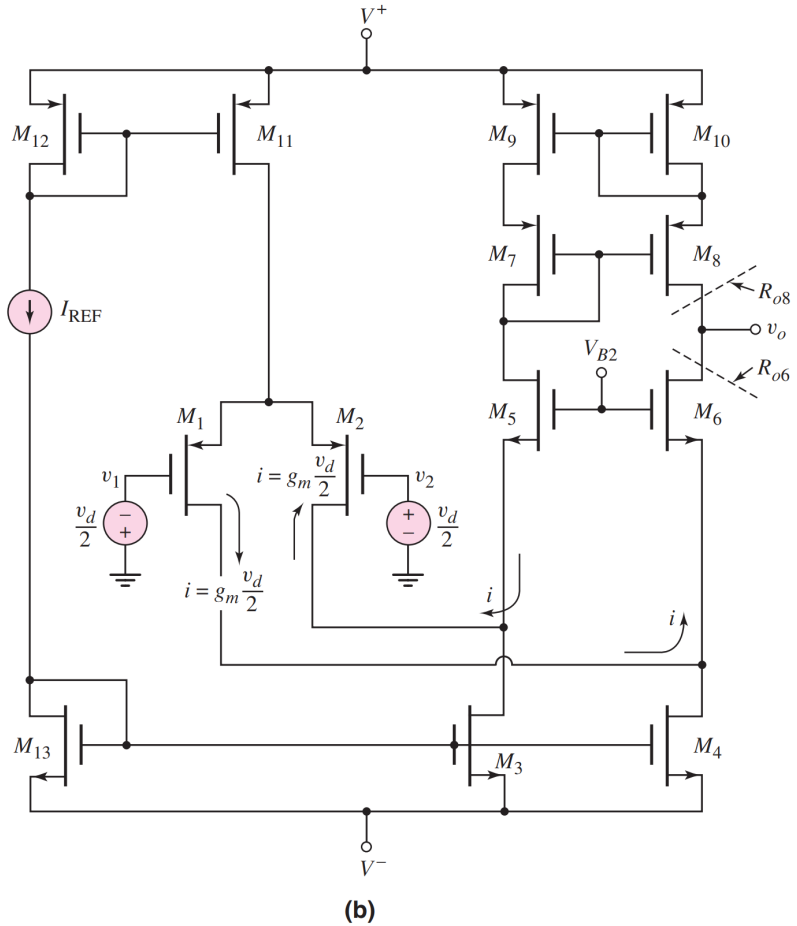


Figure 14.19 Basic MOSFET diff-amp

Input bias current

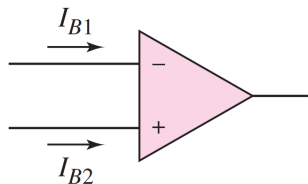


Figure 14.26 Op-amp with input bias currents

$$\text{Input bias current: } I_B = \frac{I_{B1} + I_{B2}}{2}$$

$$\text{Input offset current: } I_{OS} = |I_{B1} - I_{B2}|$$

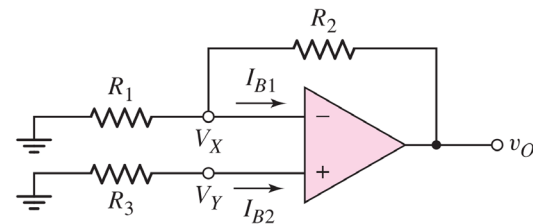


Figure 14.28 Op-amp circuit with resistor connected to noninverting terminal, for input bias current compensation

- Bij een ideale op-amp loopt er geen stroom in de +/- ingangen van de op-amp
- Bij een niet-ideale op-amp er lopen er kleine stromen I_{B1} en I_{B2} de ingangen van de op-amp in.
 - Voor een BJT ingang van 1 nA tot 10 μA
 - Voor een MOSFET ingang vanaf 1 pA

Input bias current compensatie

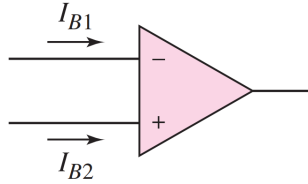


Figure 14.26 Op-amp with input bias currents

$$\text{Input bias current: } I_B = \frac{I_{B1} + I_{B2}}{2}$$

$$\text{Input offset current: } I_{OS} = |I_{B1} - I_{B2}|$$

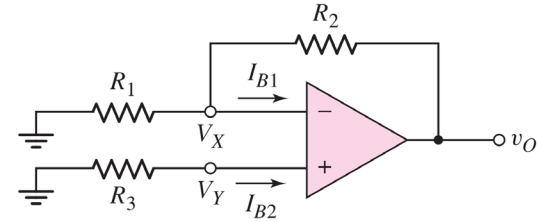


Figure 14.28 Op-amp circuit with resistor connected to noninverting terminal, for input bias current compensation

1. Bepaal de uitgangsspanning v_O in termen van de stromen I_{B1} en I_{B2}
2. Met $R_3 = R_1 \parallel R_2$ wordt $v_O = 0$ met $I_{B1} = I_{B2} = I_B$. Leid deze weerstandsverhouding af.

Wanneer $I_{B1} \neq I_{B2}$, dan is de uitgangsspanning: $v_O = R_2 I_{OS}$

Omdat meestal $I_{OS} \ll I_B$ is het compenseren van de input bias current voldoende

Behandeld is:

Neamen H14, Nonideal Effects in Operational Amplifier Circuits, behalve paragraaf 14.3

Maak de volgende opgaven:

14.5, 14.9, 14.10, 14.13, 14.15: Eindige open-loop gain

14.43: Input bias current

Voor volgende week:

Voorbereiden voor de proeftoets en lezen Neamen 15.1

Bepaal de uitgangsspanning v_O als functie van de ingangsspanningen v_{I1} , v_{I2} :

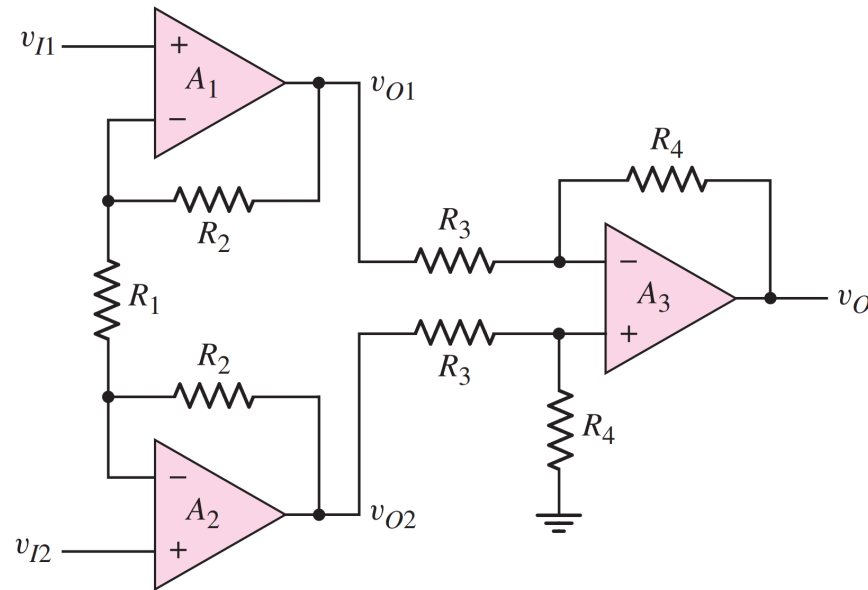


Figure 9.26 Instrumentation amplifier

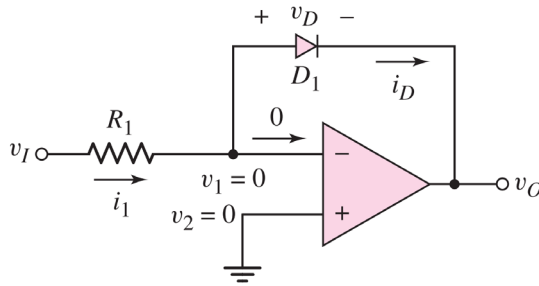


Figure 9.35 Simple log amplifier

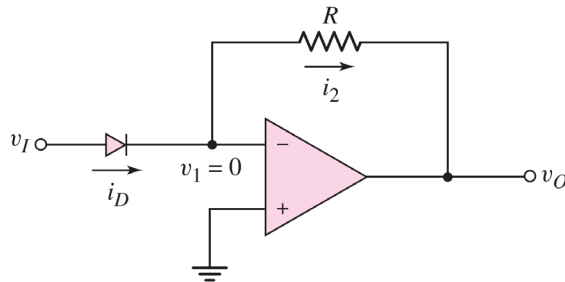


Figure 9.36 A simple antilog, or exponential, amplifier

- Bepaal de uitgangsspanning v_O als functie van de ingangsspanning v_I

- Bepaal de uitgangsspanning v_O als functie van de ingangsspanning v_I

Neem voor beide gevallen aan dat de diode-stroom i_D veel groter is dan de sperstroom I_S

Closed-loop input resistance of an inverting amplifier

Een niet ideale op-amp heeft:

- Eindige open-loop versterking $A_{ol} < \infty$
- Eindige ingangsimpedantie $R_i < \infty$
- Uitgangsimpedantie is gelijk aan $R_o > 0$

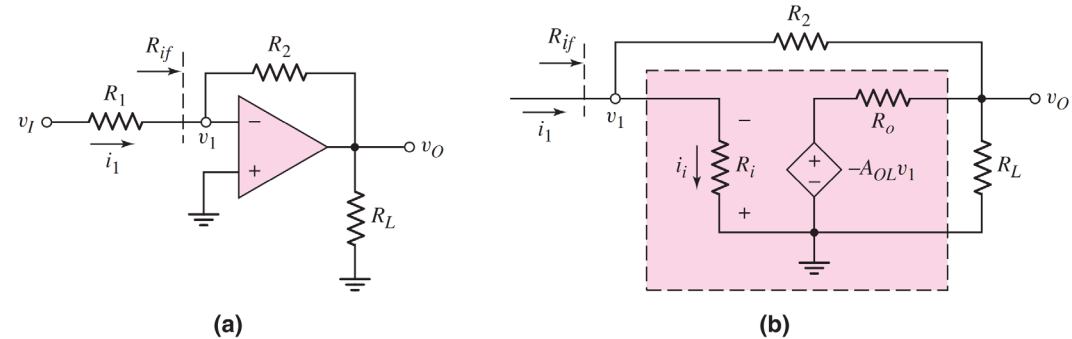


Figure 14.4 (a) Inverting amplifier and (b) inverting amplifier equivalent circuit, for calculating closed-loop input resistance

Bepalen van de closed-loop ingangsweerstand R_{if} :

- Schrijf de knooppuntvergelijking voor v_1 op met de ingaande stroom i_1
- Schrijf de knooppuntvergelijking voor v_O op
- Bereken: $\frac{1}{R_{if}} = \frac{i_1}{v_1}$

$$\frac{1}{R_{if}} = \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_2} \frac{1 + A_{OL} + \frac{R_o}{R_L}}{1 + R_o \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_L} \right)}$$

Voor een inverterende versterker

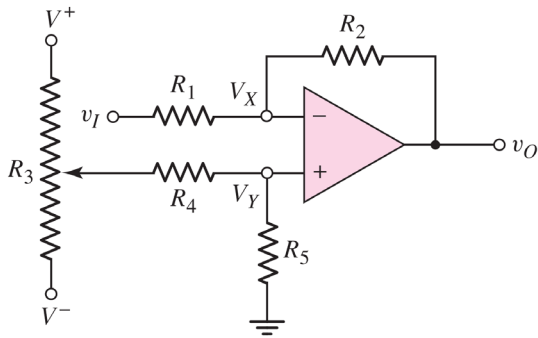


Figure 14.20 Offset voltage compensation circuit for inverting amplifier

Voor een niet-inverterende versterker

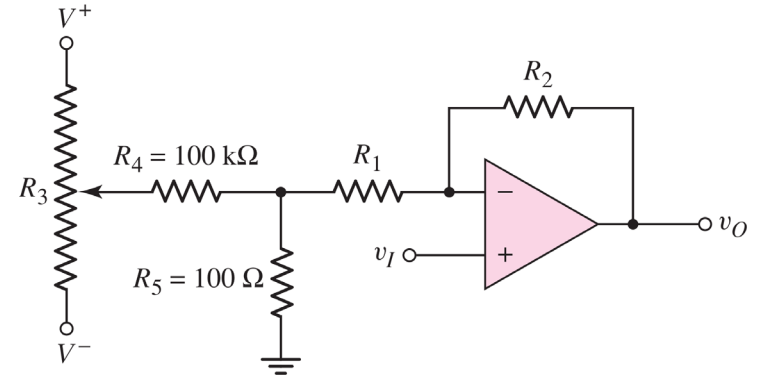


Figure 14.21 Offset voltage compensation circuit for noninverting amplifier

De offset voltage ligt meestal in het mV bereik.

Als $R_5 \ll R_4$, dan kan met een regelbare weerstand de offset-spanning gecompenseerd worden.