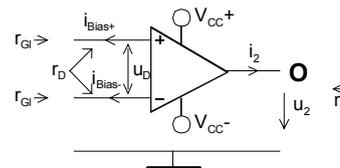


Ideale Operationsverstärker 1

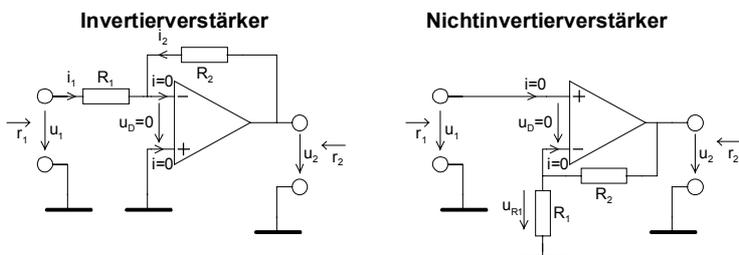
Operationsverstärker sind universell einsetzbare Verstärkerbauelemente. Durch externe Beschaltung wird die sehr hohe Leerlaufverstärkung gezielt auf die benötigte Betriebsverstärkung herabgesetzt. Die Genauigkeit hängt im Wesentlichen von der Toleranz der externen Elemente ab.

Der ideale Operationsverstärker ist wie folgt typisiert:

$r_{Gl} = \infty$ [Ω]	Eingangswiderstand	} frequenzabhängig
$r_2 = 0$ [Ω]	Ausgangswiderstand	
$A_D = \infty$	Differenzverstärkung	
$A_G = 0$	Gleichtaktverstärkung	
$i_{Bias} = 0$ [A]	Eingangsstrom	
$u_{ofs} = 0$ [V]	Offsetspannung	



Durch externe Beschaltung mit R_1, R_2 wird die Betriebsverstärkung dimensioniert.



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

$$r_1 = R_1$$

$$r_2 = 0$$

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

$$r_e = \infty$$

$$r_a = 0$$

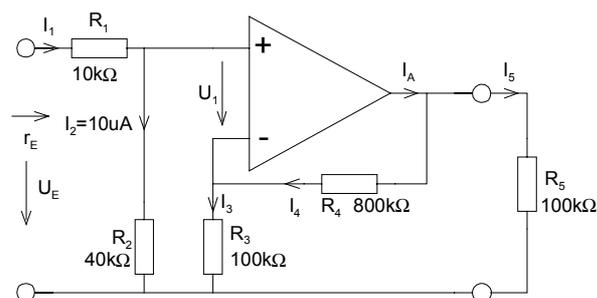
Durch die Rückführung über R_2 regelt der Operationsverstärker die Differenzspannung immer auf $u_D=0V$ aus. Beim Invertierverstärker entsteht dadurch beim Knoten R_1 - R_2 ein sog. virtueller Massepunkt.

Aufgaben

1. Bestimmen Sie aus nachfolgender Schaltung:

a.) $U_E, U_P, I_P, I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_A, U_P, r_E$

b.) $V_U = \frac{\Delta U_A}{\Delta U_E}$



Lösungen

1. Da es ein idealer Op-Amp ist wird:

Vorgaben:

$$R_1 := 10 \cdot 10^3 \text{ } [\Omega] \quad R_2 := 40 \cdot 10^3 \text{ } [\Omega] \quad R_3 := 100 \cdot 10^3 \text{ } [\Omega]$$

$$R_4 := 800 \cdot 10^3 \text{ } [\Omega] \quad R_5 := 100 \cdot 10^3 \text{ } [\Omega] \quad I_2 := 10 \cdot 10^{-6} \text{ } [A]$$

Berechnungen:

$$U_{R2} := R_2 \cdot I_2 \quad U_{R2} = 0.4 \text{ } [V]$$

$$I_1 := I_2 \quad I_2 = 1 \times 10^{-5} \text{ } [A] \quad (\text{da idealer Op-Amp})$$

$$U_E := R_1 \cdot I_1 + R_2 \cdot I_2 \quad U_E = 0.5 \text{ } [V]$$

$$U_1 := 0 \text{ } [V] \quad (\text{da idealer Op-Amp})$$

$$v_{U1} := 1 + \frac{R_4}{R_3} \quad v_{U1} = 9 \quad (\text{Op-Amp allein})$$

$$v_U := v_{U1} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad v_U = 7.2 \quad (\text{Gesamte Spannungsverstärkung})$$

$$U_A := v_{U1} \cdot I_2 \cdot R_2 \quad U_A = 3.6 \text{ } [V]$$

$$I_5 := \frac{U_A}{R_5} \quad I_5 = 3.6 \times 10^{-5} \text{ } [A]$$

$$I_4 := \frac{U_A}{R_4 + R_3} \quad I_4 = 4 \times 10^{-6} \text{ } [A]$$

$$I_3 := I_4 \quad I_3 = 4 \times 10^{-6} \text{ } [A] \quad (\text{da idealer Op-Amp})$$

$$I_A := I_4 + I_5 \quad I_A = 4 \times 10^{-5} \text{ } [A]$$

$$r_E := R_1 + R_2 \quad r_E = 5 \times 10^4 \text{ } [\Omega]$$

2. Bestimmen Sie formal Ausgangsspannung $u_2(u_{11}, u_{12}, u_{13}, u_{14})$:

$$R_{11} := 33.3333 \cdot 10^3 \text{ } [\Omega] \quad R_{12} := 50 \cdot 10^3 \text{ } [\Omega] \quad R_{13} := 50 \cdot 10^3 \text{ } [\Omega] \quad R_{14} := 50 \cdot 10^3 \text{ } [\Omega]$$

$$R_{15} := 50 \cdot 10^3 \text{ } [\Omega] \quad R_2 := 100 \cdot 10^3 \text{ } [\Omega]$$

Berechnungen:

$$v_{U1} := -\frac{R_2}{R_{11}} \quad v_{U1} = -3$$

$$v_{U2} := -\frac{R_2}{R_{12}} \quad v_{U2} = -2$$

$$R_A := \left(\frac{1}{R_{11}} + \frac{1}{R_{12}} \right)^{-1}$$

$$v_{NI} := 1 + \frac{R_2}{R_A} \quad v_{NI} = 6$$

$$v_{U3} := \frac{\left(\frac{1}{R_{14}} + \frac{1}{R_{15}} \right)^{-1}}{R_{13} + \left(\frac{1}{R_{14}} + \frac{1}{R_{15}} \right)^{-1}} \cdot v_{NI} \quad v_{U3} = 2$$

$$v_{U4} := \frac{\left(\frac{1}{R_{13}} + \frac{1}{R_{15}} \right)^{-1}}{R_{14} + \left(\frac{1}{R_{13}} + \frac{1}{R_{15}} \right)^{-1}} \cdot v_{NI} \quad v_{U4} = 2$$

Daher wird die Ausgangsspannung: $u_2 = -3u_{11} - 2u_{12} + 2u_{13} + 2u_{14}$.

3. Die Widerstände R_{11}, R_{12} werden durch Umstellen der Formel 1-3 bestimmt:

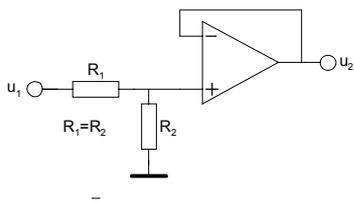
$$R_2 := 47 \cdot 10^3 \text{ } [\Omega] \quad v_{U1} := -3 \quad v_{U2} := -0.5$$

$$\text{Ansatz: } -\frac{R_2}{R_{11}} := -3 \quad -\frac{R_2}{R_{12}} := -0.5$$

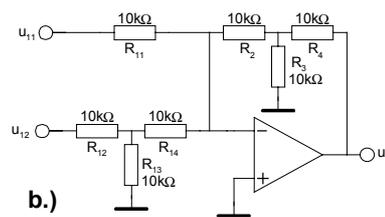
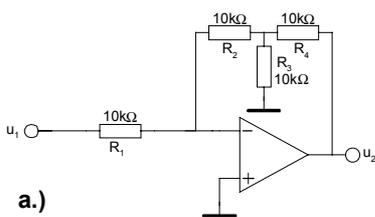
$$R_{11} := \frac{-R_2}{v_{U1}} \quad R_{11} = 1.567 \times 10^4 \text{ } [\Omega]$$

$$R_{12} := \frac{-R_2}{v_{U2}} \quad R_{12} = 9.4 \times 10^4 \text{ } [\Omega]$$

4. Realisation mit Spannungsfolger und vorgeschaltetem Spannungsteiler:



5. Die Verstärkungen werden für a.) direkt mit Formel (1-15) und für b.) mit Thevenin und Einsetzen:



$$R_1 := 10 \cdot 10^3 \text{ } [\Omega] \quad R_2 := 10 \cdot 10^3 \text{ } [\Omega] \quad R_3 := 10 \cdot 10^3 \text{ } [\Omega] \quad R_4 := 10 \cdot 10^3 \text{ } [\Omega]$$

$$\text{a.) } v_U := \frac{R_2 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_4 + R_3 \cdot R_4}{R_1 \cdot R_3} \quad v_U = 3$$

$$\text{b.) } R_{12} := 10 \cdot 10^3 \text{ } [\Omega] \quad R_{13} := 10 \cdot 10^3 \text{ } [\Omega] \quad R_{14} := 10 \cdot 10^3 \text{ } [\Omega]$$

$$v_{U1} := v_U \quad v_{U1} = 3$$

$$ku'_{12} := \frac{R_{13}}{R_{13} + R_{12}} \quad ku'_{12} = 0.5$$

$$R'_{12} := R_{14} + \left(\frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_{13}} \right)^{-1} \quad R'_{12} = 1.5 \times 10^4$$

$$v_{U2} := ku'_{12} \cdot \frac{R_2 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_4 + R_3 \cdot R_4}{R'_{12} \cdot R_3} \quad v_{U2} = 1$$

6. k muss den unstehenden Anforderungen genügen, da sonst u_{11}, u_{12} nicht ausgeklammert werden können.

$$u_1 = u_{11} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = u_{11} \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

$$u_2 = u_{12} \left(1 + \frac{R_4}{R_3} \right) - u_1 \frac{R_4}{R_3} = u_{12} \underbrace{\frac{R_3 + R_4}{R_3}}_k - u_{11} \underbrace{\frac{R_4}{R_3} \frac{R_1 + R_2}{R_1}}_k = k(u_{12} - u_{11})$$