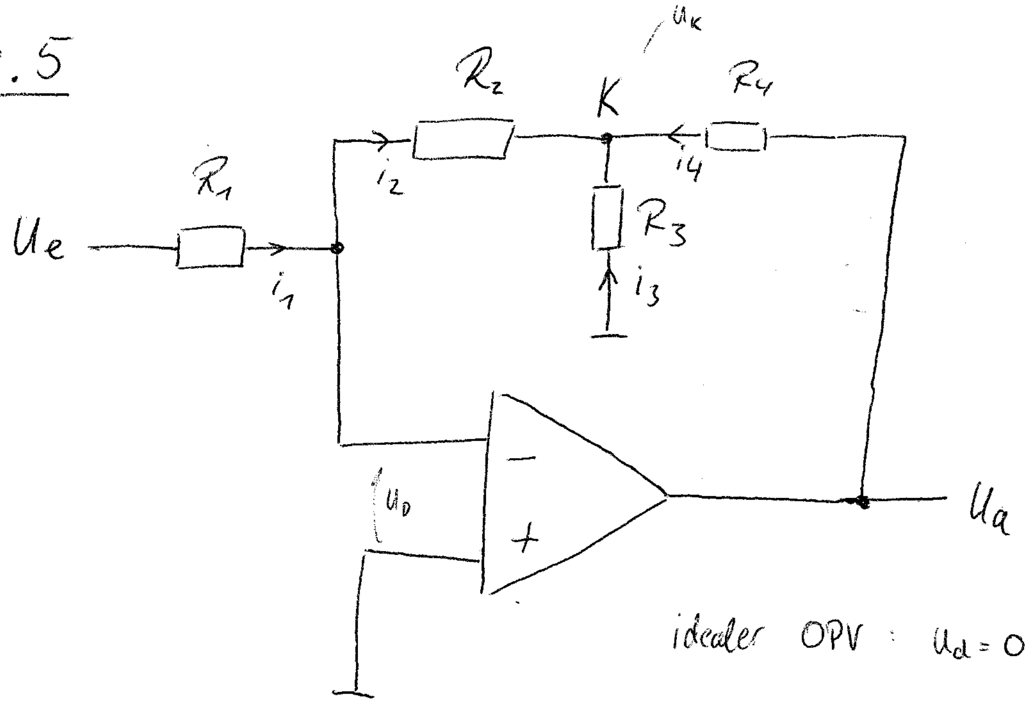
10.5



idealer OPV : $U_d = 0V$

$$i_1 = i_2 \quad ; \quad K: \; i_2 + i_3 + i_4 = 0$$

$$\frac{U_e}{R_1} = i_2 = -\frac{U_K}{R_2} \;\rightarrow\; U_K = -\,i_2 \cdot R_2 = -\,U_e \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

$$i_2 + i_3 + i_4 = 0$$

$$-\frac{U_K}{R_2} - \frac{U_K}{R_3} + \frac{U_a - U_K}{R_4} = 0$$

$$-U_K\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}\right) = -\frac{U_a}{R_4}$$

$$U_a = U_K R_4\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}\right)$$

$$\boxed{U_a = -\,U_e \cdot \frac{R_2 \cdot R_4}{R_1}\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}\right)}$$

Eingangswiderstand:

$$R_e = \frac{u_e}{i_e}\Bigg|_{i_a=0} \qquad i_e = i_1 = \frac{u_e}{R_1}$$

$$\rightsquigarrow R_e = \frac{u_e}{\frac{u_e}{R_1}} = \boxed{R_1 = 1\,M\Omega}$$

Verstärkung:

$$V = -100 = -\frac{R_2 \cdot R_4}{R_1}\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}\right)$$

mit $R_2 = R_4 = R_g$

$$\cancel{V}\cancel{-} \cdot \cancel{-}100 = \frac{R_g^2}{R_1}\left(\frac{2}{R_g} + \frac{1}{R_3}\right)$$

$$\cancel{100 \cdot R_1 = \frac{2 \cdot R_g}{R_1} + \frac{R_g^2}{R_1 R_3}}$$

$$\frac{100 R_1}{R_g^2} = \frac{2}{R_g} + \frac{1}{R_3} \Rightarrow \frac{100 R_1}{R_g^2} - \frac{2}{R_g} = \frac{1}{R_3}$$

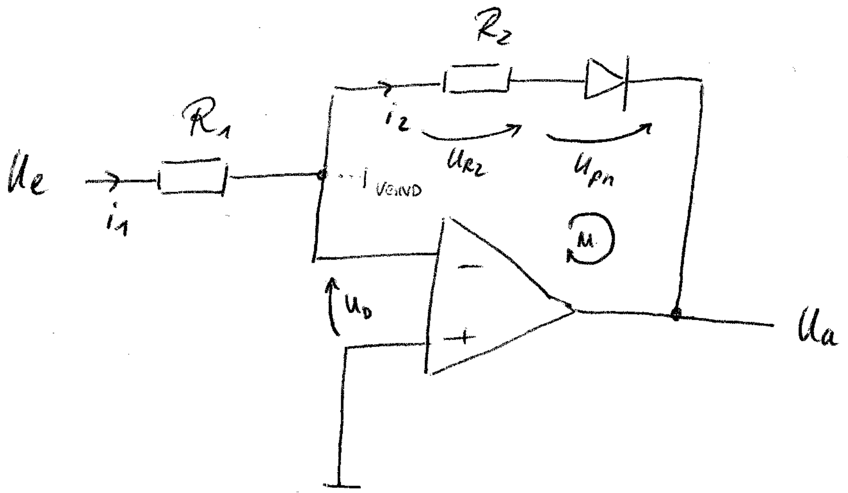
$$R_3 = \frac{R_g^2}{100 \cdot R_1 - 2R_g} = \frac{R_g}{100\frac{R_1}{R_g} - 2}$$

z.B. $R_g = 500\,k\Omega = R_2 = R_4$

$R_1 = 1\,M\Omega$

$R_3 = 2{,}5\,k\Omega$

10.6



$(U_D = 0)$

$$\text{M}: \quad U_{R2} + U_{pn} + U_a = 0$$

$$i_1 = \frac{U_e}{R_1} = i_2 = \frac{U_{R2} - U_{pn}}{R_2}$$

$$U_{R2} = i_2 \cdot R_2 = \frac{U_e}{R_1} \cdot R_2$$

$$U_{pn} \Rightarrow \quad I_D = i_2 = I_S \cdot \left(e^{\frac{U_{pn}}{U_T}} - 1\right) = i_1$$

$$\frac{i_1}{I_S} + 1 = e^{\frac{U_{pn}}{U_T}} \quad | \ln$$

$$\ln\left(\frac{i_1}{I_S} + 1\right) = \frac{U_{pn}}{U_T}$$

$$U_T \cdot \ln\left(\frac{U_e}{R_1 \cdot I_S} + 1\right) = U_{pn} = \overbrace{-U_a - U_{R2}}^{\text{M}}$$

$$U_a = -U_T \cdot \ln\left(\frac{U_e}{R_1 \cdot I_S} + 1\right) - U_{R2} = -U_T \cdot \ln(\dots) - \frac{U_e}{R_1} \cdot R_2$$

$$\boxed{U_a = -\left(U_T \cdot \ln\left(\frac{U_e}{R_1 \cdot I_S} + 1\right) + U_e \cdot \frac{R_2}{R_1}\right)}$$

(2.)

U_e	$-10\,V$	$-1\,V$	$0\,V$	$1\,V$	$2\,V$	$10\,V$
U_a	$+U_S$ (15 V)	$+U_S$ (15 V)	$0\,V$	$220\,mV$	$338\,mV$	$1{,}18\,V$

(3.)

Ist die Eingangsspannung negativ, ist auch $U_{pn} < 0$, wodurch die Diode sperrt und als sehr großer Widerstand dargestellt werden kann

$$r_D \rightarrow \infty$$

Dadurch ergibt sich ~~eine~~ ein einfacher invertierender Verstärker mit

$$V = -\frac{R_k}{R_1} = -\frac{R_2 + r_D}{R_1} \rightarrow -\infty$$

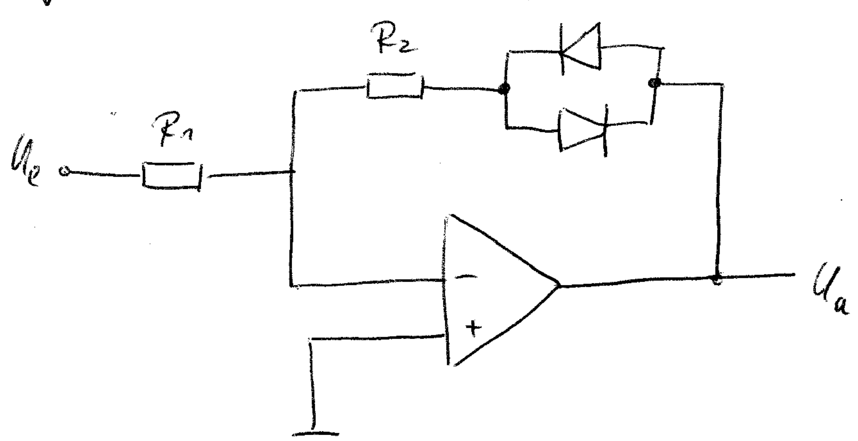
wodurch die Ausgangsspannung

$$U_a = V \cdot U_e \Rightarrow -\infty \cdot U_e \quad , U_e < 0\,V$$

$$U_a = +\infty \Rightarrow U_a = U_S = +15\,V$$

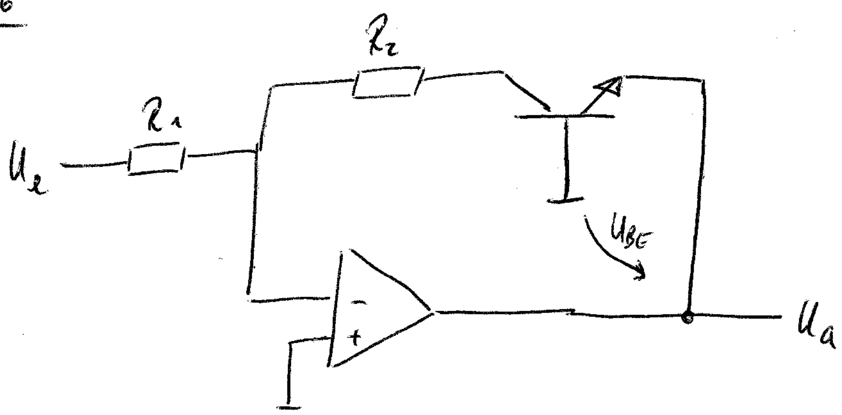
wird.

Um dies zu verhindern, kann zur Diode eine weitere parallel geschaltet werden, welche ~~dafür sorgt~~ für ~~ein~~ komplementäres Verhalten bei negativer Eingangsspannung sorgt.



10.6

9



$$U_{BE} = -U_a$$

Anstelle des Diodenstroms steht der Kollektorstrom des Transistors

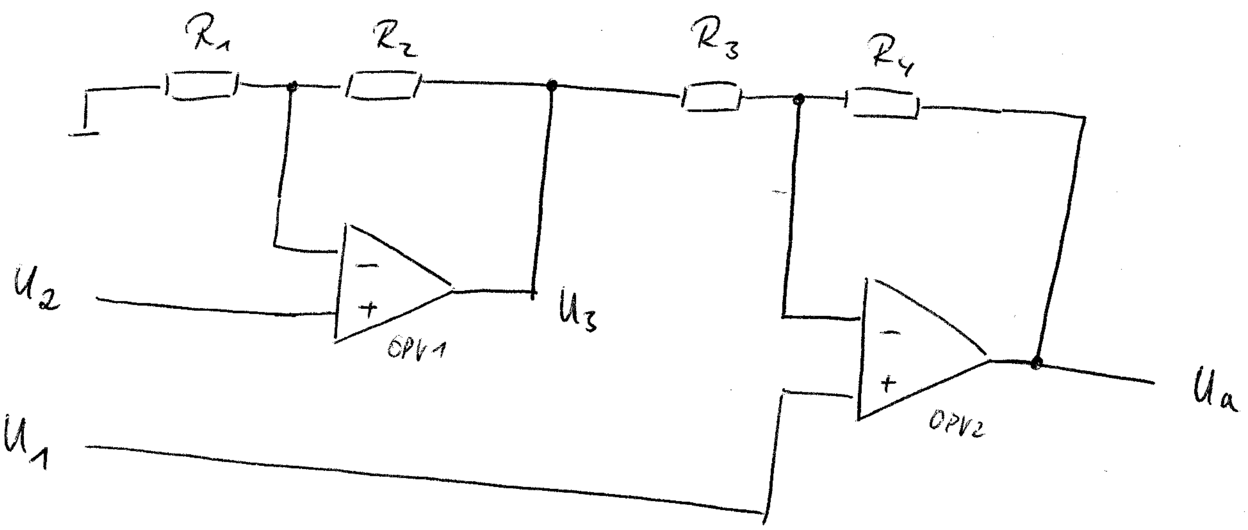
$$I_c = I_s \cdot \left(e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} - 1\right) \approx I_s \cdot e^{\cancel{\frac{-U_a}{U_T}} \frac{U_{BE}}{U_T}} \quad | \ln$$

$$U_{BE} = U_T \ln\left(\frac{I_c}{I_s}\right) = -U_a$$

$$I_c = \frac{U_e}{R_1}$$

$$U_a = -U_T \cdot \ln\left(\frac{U_e}{R_1 \cdot I_s}\right) \left(\neq f(R_2)\right)$$

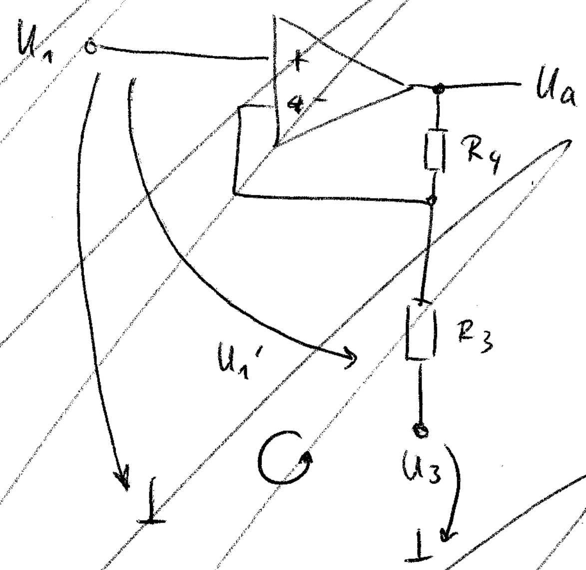
10.8



① OPV1 in nichtinvertierender Schaltung:

$$U_3 = V \cdot U_2 = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\cdot U_2$$

OPV2 in nichtinv. Schaltung bezgl. U_3



$U_1' = (U_1 - U_3)$

$$\Rightarrow U_a = V \cdot U_1' = \left(1+\frac{R_4}{R_3}\right)\cdot U_1' = \left(1+\frac{R_4}{R_3}\right)(U_1 - U_3)$$

$$\boxed{U_a = \left(1+\frac{R_4}{R_3}\right)\left(U_1 - U_2\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\right)}$$

$$i_3 = \underbrace{\frac{U_3 - U_1}{R_3}}_{i_3} \underset{=}{=} -\underbrace{\frac{U_a - U_1}{R_4}}_{i_4}$$

$$U_1 - \frac{R_4}{R_3}\left(U_3 - U_1\right) = U_a$$

$$\curvearrowright \quad \boxed{U_a = U_1 - \frac{R_4}{R_3}\left(\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\cdot U_2 - U_1\right)}$$

$$U_a = U_1 + \frac{R_4}{R_3}\left(U_1 - U_2\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\right)$$

---

mit Überlagerung

$$U_{a_{U_{e1}}} = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)\cdot U_{e1}$$

$$U_{a_{U_2}} = \underbrace{\underbrace{\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\cdot U_2}_{U_3} \cdot \left(-\frac{R_4}{R_3}\right)}_{\text{inv. Verst.}}$$

$$U_a = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)U_1 + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\cancel{U_2}\left(-\frac{R_4}{R_3}\right)\cdot U_2$$

$\Rightarrow R_1 = R_4$ und $R_2 = R_3$

$$\curvearrowright \quad U_a = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)\cdot U_1 + \underbrace{\left(- \frac{R_4}{R_3} - \frac{R_4 \cdot R_2}{R_1 \cdot R_3}\right)}U_2$$

$$U_a = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)\cdot U_1 - \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)\cdot U_2$$

$$\boxed{U_a = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \cdot (U_1 - U_2)}$$

$$\underbrace{\left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)}_{V}$$

3. $V = 5 = 1 + \frac{R_4}{R_3}$ $\quad \left(\begin{array}{l} R_1 = R_4 \\ R_2 = R_3 \end{array}\right)$

$$\frac{R_4}{R_3} = 4$$

$$\boxed{\begin{array}{l} \text{z.B. } R_4 = 200\,k\Omega \\ \phantom{\text{z.B. }} R_3 = 50\,k\Omega \end{array}}$$