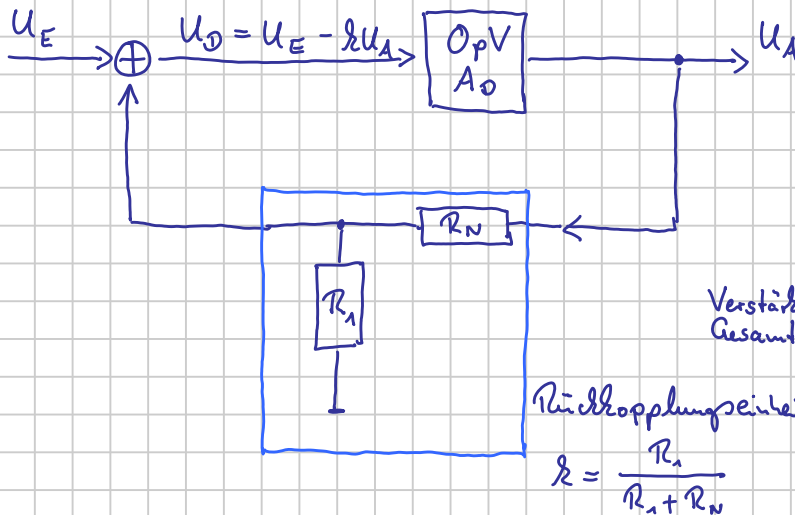


Zahlenformale / Schaltkreise / Operationsverstärker

Gegenkopplung

nicht-invertierender Verstärker



$$U_A = A_D \cdot U_D$$

$$= A_D (U_E - k U_A)$$

$$\Leftrightarrow U_A (1 + k A_D) = A_D U_E$$

$$\Leftrightarrow V = \frac{U_A}{U_E} = \frac{A_D}{1 + k A_D}$$

Gegenkopplungsgrad

Verstärkung der
Gesamt-Schaltung

$$\Rightarrow V = \frac{1}{\frac{1}{A_D} + k} < A_D$$

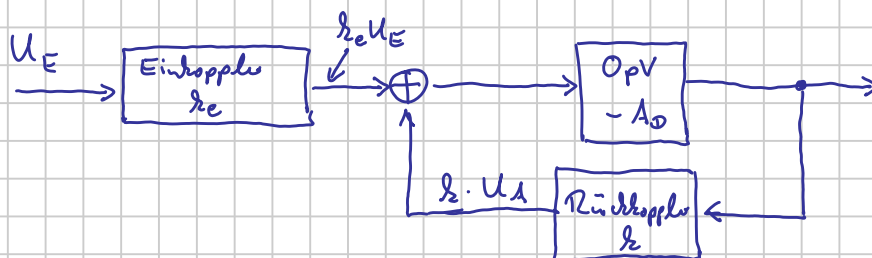
R_1 und R_2 üblicherweise
so gewählt, dass $k \ll 1$

$$\lim_{A_D \rightarrow \infty} V = \lim_{A_D \rightarrow \infty} \frac{1}{\frac{1}{A_D} + k} = \frac{1}{k}$$

⇓

keine Frequenzabhängigkeit von V , wenn
 A_D hinreichend groß, V nur durch R_1
und R_N gegeben

invertierender Verstärker



Wie wirkt sich die Leerlaufverstärkung auf die effektive Verstärkung aus?

$$V = -k_e \frac{A_D}{1 + k A_D} = -k_e \frac{1}{\frac{1}{A_D} + k} \rightarrow -\frac{k_e}{k} \text{ für } A_D \rightarrow \infty$$

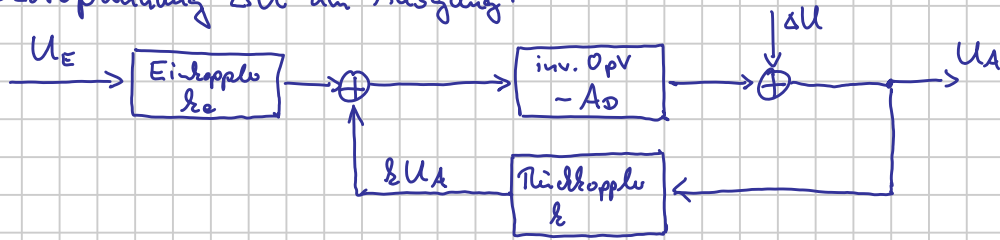
$$U_A = -A_D U_D = -A_D (k_e U_E + k U_A)$$

$$\frac{\partial V}{\partial A_D} = -k_e \frac{1}{(1 + k A_D)^2} \quad (\text{Empfindlichkeit von } V \text{ bezgl. Änderungen von } A_D)$$

$$\Delta V = \frac{\partial V}{\partial A_D} \Delta A_D \quad \text{kleine Schwankungen}$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{1}{(1+kA_D)} \frac{\Delta A_D}{A_D} \Rightarrow \frac{\Delta V}{V} \ll \frac{\Delta A_D}{A_D} \text{ für } kA_D \gg 1$$

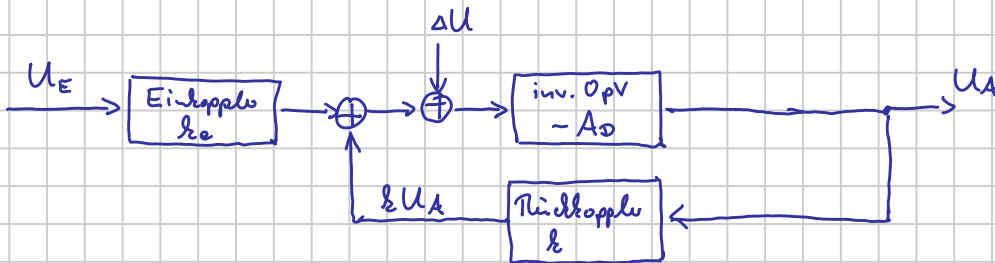
Störspannung ΔU am Ausgang:



$$U_A = -A_D (k_e U_E + k U_A) + \Delta U \Leftrightarrow U_A = -k_e \frac{A_D U_E}{1+kA_D} + \frac{\Delta U}{1+kA_D}$$

Einfluss der Störspannung wird durch Gegenkopplung stark herabgesetzt

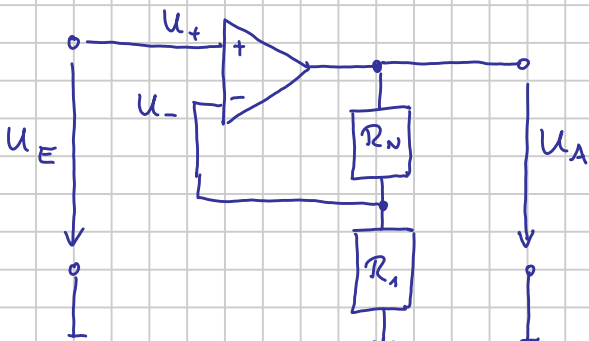
Störspannung ΔU am Eingang:



$$U_A = -A_D (k_e U_E + k U_A + \Delta U) \quad \text{Ausgangsspannung mit Störung}$$

$$\Leftrightarrow U_A = -k_e \frac{A_D U_E}{1+kA_D} + \frac{A_D \Delta U}{1+kA_D} \quad \leftarrow \text{Einfluss der Störspannung } \Delta U \text{ auf Ausgangsspannung } U_A$$

$$\Rightarrow \frac{dU_A}{d(\Delta U)} = -\frac{A_D}{1+kA_D} \approx -\frac{1}{k} \quad \text{Störung wird im selben Maß unterstellt wie das eigentliche Eingangssignal } U_E$$



$$U_- = U_A \frac{R_1}{R_1 + R_N}, \quad U_A = A_D (U_+ - U_-) = A_D \left(U_E - \frac{R_1}{R_1 + R_N} U_A \right)$$

$$U_+ = U_E$$

$$\Rightarrow V = \frac{U_A}{U_E} = \frac{1}{\frac{1}{A_D} + \frac{R_1}{R_1 + R_N}}$$

$$\lim_{A_D \rightarrow \infty} V = \frac{R_1 + R_N}{R_1}$$

$$\text{real: } A_D \cdot G < \infty, \quad U_o \neq 0$$

endliche Differenzverstärkung A_D : $U_- = U_A \frac{R_1}{R_1 + R_N}$, $U_+ = U_E$

$$U_A = A_D (U_+ - U_-) = A_D \left(U_E - \frac{R_1}{R_1 + R_N} U_A \right)$$

$$\Rightarrow V = \frac{U_A}{U_E} = \frac{1}{\frac{1}{A_D} + \frac{R_1}{R_1 + R_N}}$$

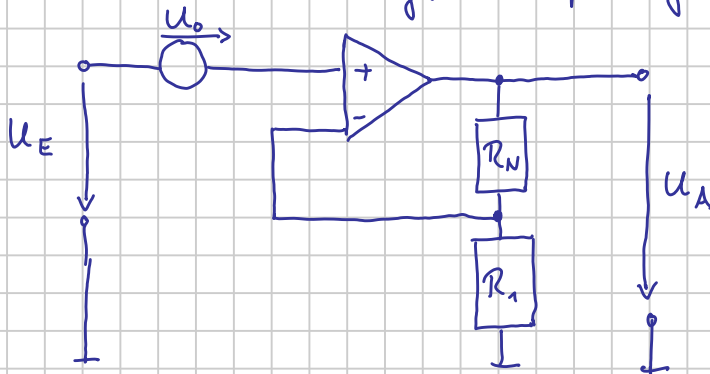
endliche Differenzverstärkung und Gleichtaktunterdrückung:

$$U_A = A_D \left(U_E - \frac{R_1}{R_1 + R_N} U_A + \frac{1}{G} U_{GE} \right)$$

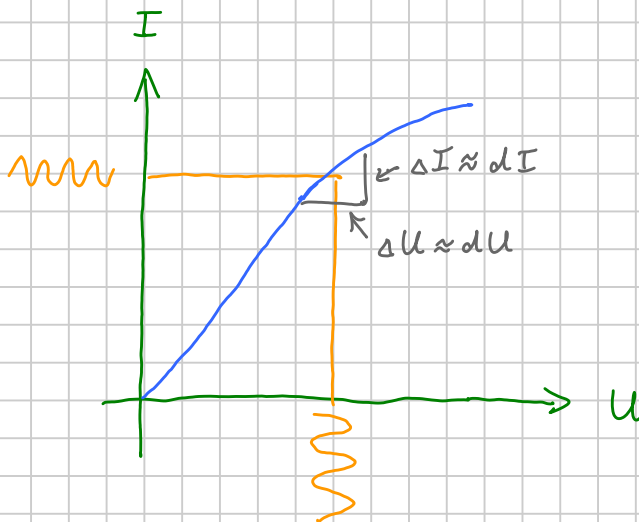
Rückkopplungskern Gleichanteil

$$\Rightarrow V = \frac{U_A}{U_E} = \frac{1 + \frac{1}{2G}}{\frac{1}{A_D} + \frac{R_1}{R_1 + R_N} \left(1 - \frac{1}{2G} \right)}$$

endliche Differenzverstärkung, Offsetspannung und Gleichtaktunterdrückung



$$U_A = A_D \left(U_E - \frac{R_1}{R_1 + R_N} U_A - U_0 + \frac{U_{GE}}{G} \right)$$



Kleinsignalwiderstand: $r = \frac{dU}{dI} \approx \frac{\Delta U}{\Delta I}$