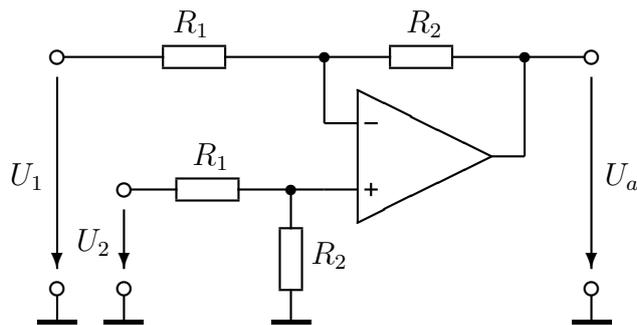


BEISPIEL 6.1: Differenzverstärker

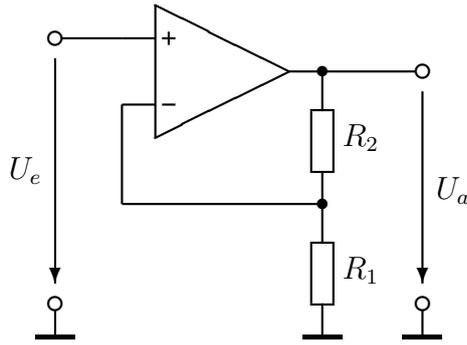


Widerstandswerte: $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$
 $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$
Offsetspannung: $-6 \text{ mV} < U_{\text{ed}0} < 6 \text{ mV}$
Biasstrom: $-500 \text{ nA} < I_{\text{e}0} < 0$
Offsetstrom: $|I_{\text{ed}0}| < 200 \text{ nA}$

Die Schaltung stellt einen Differenzverstärker dar, der im Gegensatz zum gewöhnlichen, mit Hilfe von zwei Transistoren gebildeten Differenzverstärker einen weiten linearen Bereich und einen niedrigen Ausgangswiderstand hat.

- Ermitteln Sie die Abhängigkeit der Ausgangsspannung von den Eingangsspannungen $U_a(U_1, U_2)$.
- Wie groß ist die Schwankungsbreite ΔU_a der Ausgangsspannung zufolge der Offsetspannung?
- Wie groß ist die Schwankungsbreite ΔU_a der Ausgangsspannung zufolge des Bias- bzw. Offsetstroms?

BEISPIEL 6.2: Betriebsgrenzen des Elektrometerverstärkers



Eingangsspannung: $U_{e0} = 0,5 \text{ V}$
 $\hat{u}_e = 0,5 \text{ V}$
 $f = 30 \text{ kHz}$

Widerstandswerte: $R_1 = 200 \text{ } \Omega$
 $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$

Betriebsgrenzen: $|U_{a,\text{OPV}}| \leq 14 \text{ V}$
 $|I_{a,\text{OPV}}| \leq 20 \text{ mA}$

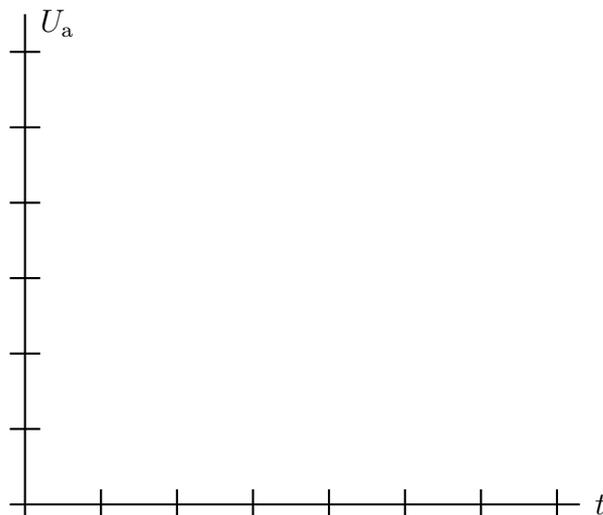
Slew Rate: $SR = 0,5 \text{ V}/\mu\text{s}$

Transitfrequenz: $f_T = 1,17 \text{ MHz}$

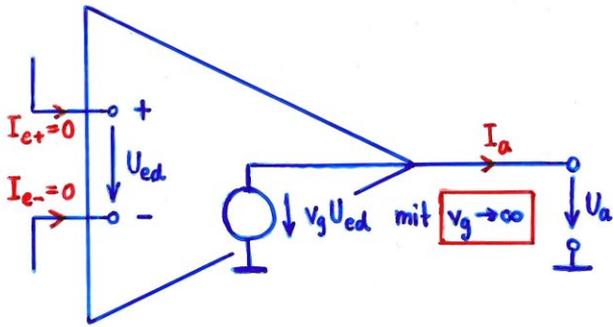
An den Elektrometerverstärker wird ein sinusförmiges Eingangssignal mit Gleichanteil gelegt:

$$U_e(t) = U_{e0} + u_e(t), \quad u_e(t) = \hat{u}_e \sin \omega t.$$

- Zeichnen Sie das Ausgangssignal $U_a(t)$ unter der Annahme, dass der Operationsverstärker ideal ist.
- Zeichnen Sie das Ausgangssignal $U_a(t)$ unter Berücksichtigung der Betriebsgrenzen des Operationsverstärkers sowie der Slew Rate. Nehmen Sie der Einfachheit halber an, dass für $t < 0$ das Signal $u_e(t) = 0$ ist.
- Betrachten Sie nun eine kleinere Amplitude des Eingangssignals, $\hat{u}_e = 5 \text{ mV}$. Bestimmen Sie die maximale Frequenz, bei der das Ausgangssignal proportional zum Eingangssignal ist, d.h. $u_a(t) = v_r \cdot u_e(t)$ mit konstantem v_r .



IDEALER OPERATIONSVERSTÄRKER



Eingang:

Da $v_g \rightarrow \infty$ und U_a endlich $\Rightarrow U_{ed} = 0$

Zum Unterschied zu einem normalen Kurzschluss ist auch $I_{e+} = 0$, $I_{e-} = 0$

Man spricht von einem „virtuellen Kurzschluss“

Ausgang: Spannungsquelle, die so geregelt wird, daß sich $U_{ed} = 0$ einstellt
 \Rightarrow Spannung vorerst unbekannt, ergibt sich erst durch Analyse d. Schaltung

Das gleiche gilt, wie bei jeder Spannungsquelle, für den Ausgangsstrom

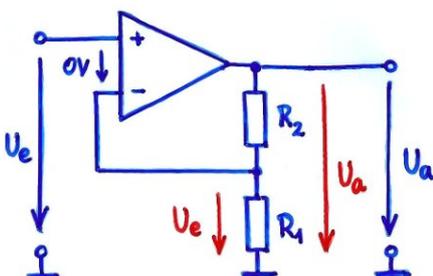
\Rightarrow Ausgangsspannung U_a und -strom I_a erst durch Schaltung bestimmt

Stabilität: Damit kleine Abweichungen vom Arbeitspunkt (z.B. durch Rauschen) abklingen und nicht anwachsen, muß eine Stabilitätsbedingung erfüllt sein. Wir wollen uns aber nicht näher damit beschäftigen.

Linearität: Wegen $v_g \rightarrow \infty$ kann $v_g = \text{const.}$ angenommen werden und $v_g U_{ed}$ ist eine linear gesteuerte Quelle
 \Rightarrow Ist der OPV in ein lineares Netzwerk mit mehreren unabhängigen Quellen eingebettet, kann das Superpositionsgesetz angewandt werden.

OPERATIONSVERSTÄRKER - GRUNDSCHALTUNGEN

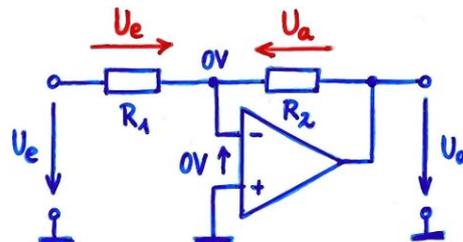
Elektrometerverstärker



Verstärkung: $V_r = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$
 (nicht invertierend)

Vorteil: hoher Eingangswiderstand

Summierverstärker



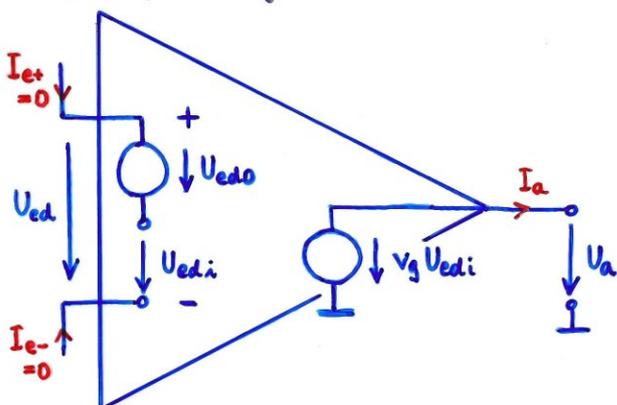
Verstärkung: $V_r = -\frac{R_2}{R_1}$ $(V_r = \frac{U_a}{U_e})$
 (invertierend)

Vorteil: Abwandlungen div. Rechenschaltungen

DER REALE OPERATIONSVERSTÄRKER

Im allgemeinen reicht es, jede nichtideale Eigenschaft einzeln zu betrachten

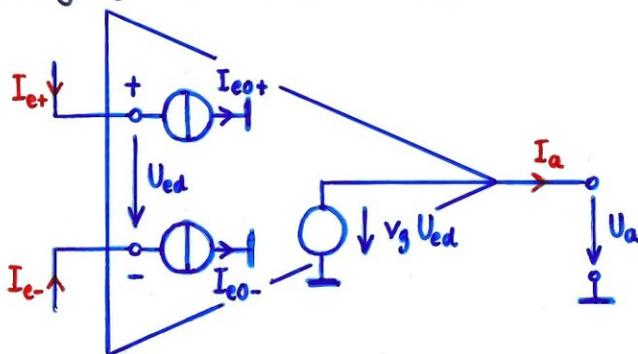
Offsetspannung U_{edo} :



U_{edo} ist ein für die Verstärkung unwirksamer Teil der Eingangsspannung.

Für $v_g \rightarrow \infty$ ist $U_{ed} = U_{edo}$

Eingangsruheströme I_{e0+}, I_{e0-} :



$$I_{e+} = I_{e0+}, \quad I_{e-} = I_{e0-}$$

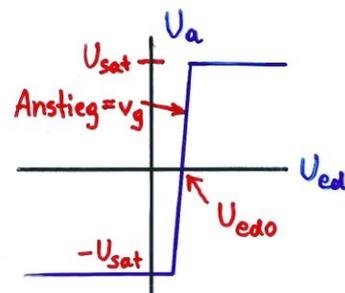
Biasstrom: $I_{e0} = \frac{1}{2} (I_{e0+} + I_{e0-})$

Offsetstrom: $I_{edo} = I_{e0+} - I_{e0-}$

Da U_{edo} und I_{e0+}, I_{e0-} unabhängige (konstante) Quellen sind, kann ihre Wirkung in einem linearen Netzwerk gegenseitig und mit äußeren unabhängigen Quellen superponiert werden.

Maximale Ausgangsspannung U_{sat} :

Man rechnet zunächst ohne Begrenzung von U_a . Falls $|U_a| > U_{sat}$:
 \Rightarrow nochmals mit $U_a = \pm U_{sat}$ und unbestimmtem U_{ed} rechnen.



Maximaler Ausgangsstrom $I_{a,max}$:

Analog U_{sat} : Falls $|I_a| > I_{a,max} \Rightarrow$ nochmals mit $I_a = \pm I_{a,max}$ und unbest. U_{ed} rechnen.

Die Kleinsignalparameter können bei niedrigen Frequenzen meist idealisiert werden:

Geradeausverstärkung: $v_g = u_a / u_{ed} \rightarrow \infty$... $u_{ed} = 0$

Gleichtaktverstärkung: $v_{gl} = u_a / \frac{1}{2}(u_{e+} + u_{e-}) \ll v_g$... vernachlässigen

Eingangswiderstand: $r_{ed} = u_{ed} / i_{e+} \rightarrow \infty$... $i_{e+} = i_{e-} = 0$

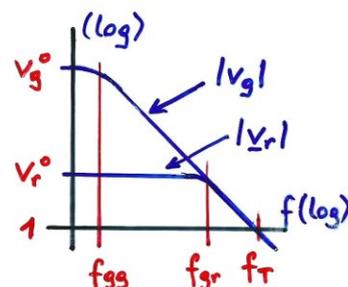
Ausgangswiderstand: $r_a = u_a / i_a \rightarrow 0$... ideale Spannungsquelle

Bei höheren Frequenzen zeigt v_g Tiefpassverhalten:

$$v_g = \frac{v_g^0}{1 + j\omega/\omega_{gs}} \approx \frac{\omega_T}{j\omega} \quad f_T = \frac{\omega_T}{2\pi} \dots \text{Transitfrequenz}$$

Bandbreite der Schaltung: Faustregel: $v_r \lesssim v_g$

\Rightarrow Grenze für $v_r = v_r^0$ bei $v_r^0 = |v_g| \Rightarrow \omega_{gr} = \omega_T / v_r^0$



Eine weitere nichtideale Eigenschaft des OPV ist die Begrenzung der Anstiegsgeschwindigkeit der Ausgangsspannung (dU_a/dt) durch die Slew Rate.