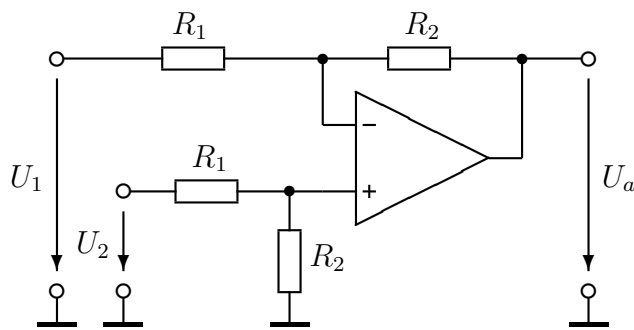


## BEISPIEL 6.1: Differenzverstärker



Widerstandswerte:  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$   
 $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$

Arbeitspunkt:  $U_{1,0} = 5, \text{ V}$   
 $U_{2,0} = 5,1 \text{ V}$

Operationsverstärker ideal bis auf:

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

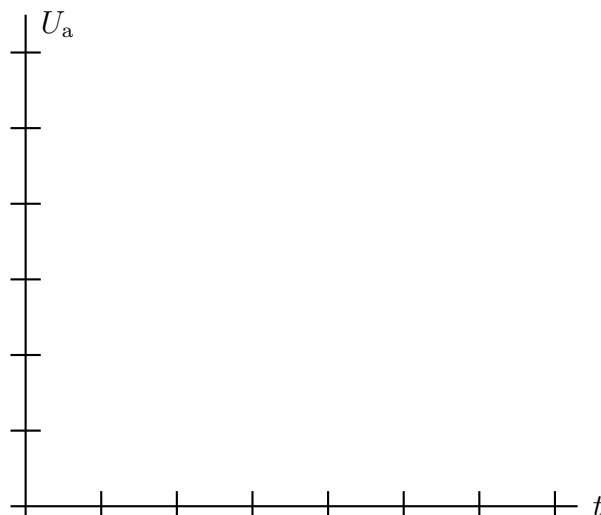
Offsetspannung:  $|U_{ed0}| < 6 \text{ mV}$

Biasstrom:  $-500 \text{ nA} < I_{e0} < 0$

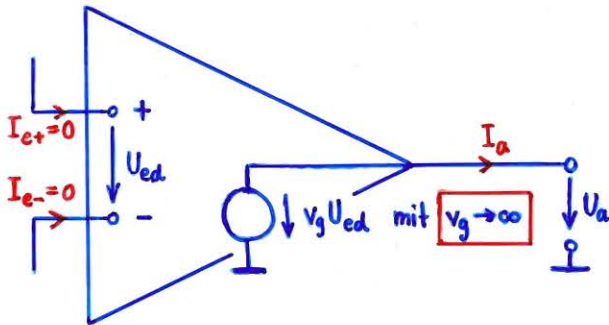
Offsetstrom:  $|I_{ed0}| < 200 \text{ nA}$

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 den funktionalen Zusammenhang zwischen den Eingangsspannungen  $U_1$ ,  $U_2$  und der Ausgangsspannung  $U_a(U_1, U_2)$ . Wie groß ist die Ausgangsspannung  $U_a$  für den angegebenen Arbeitspunkt?
- Berechnen Sie die Eingangswiderstände  $r_{e1}$  und  $r_{e2}$  an den beiden Eingängen.
- Wie groß ist der Ausgangswiderstand  $r_a$  der Schaltung?
- Zeichnen Sie den Verlauf der Ausgangsspannung  $U_a(t)$ , wenn dem Arbeitspunkt am Eingang 1 ein sinusförmiges Signal  $u_1(t) = \hat{u}_1 \sin \omega t$  mit einer Amplitude von  $\hat{u}_1 = 50 \text{ mV}$  überlagert ist.
- Welcher Ausgangsstroms  $I_a$  kann der Schaltung im Arbeitspunkt maximal bzw. minimal entnommen werden?
- Wie groß ist die Schwankungsbreite  $\Delta U_a$  der Ausgangsspannung zufolge der Offsetspannung?
- Wie groß ist die Schwankungsbreite  $\Delta U_a$  der Ausgangsspannung zufolge der Eingangsströme des Operationsverstärkers?



# 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

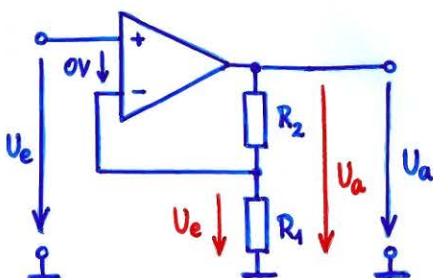
$\Rightarrow$  Ausgangsspannung  $U_a$  und -strom  $I_a$  erst durch Schaltung bestimmt

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

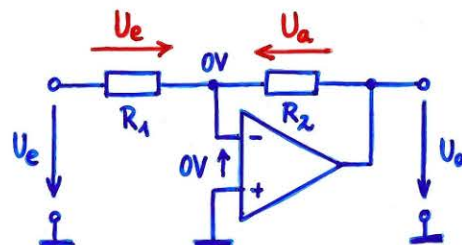
### Elektrometerverstärker



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

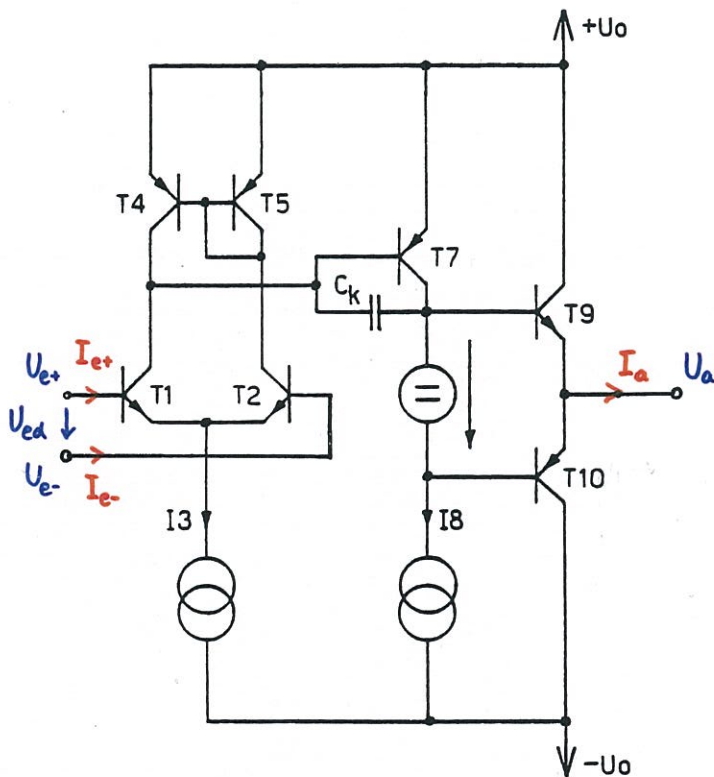
Die Kleinsignalparameter sind bei niedrigen Frequenzen nahezu ideal:

$$V_g = \frac{u_a}{u_e} \rightarrow \infty$$

$$V_{g1} = \frac{u_a}{\frac{1}{2}(u_{e+} + u_{e-})} \ll V_g$$

$$r_{ed} = \frac{u_{ed}}{i_{et}} \rightarrow \infty$$

$$r_a = -\frac{u_a}{i_a} \rightarrow 0$$



Gleichspannungen und -ströme:

• Aussteuergrenzen

$$|U_a| \leq U_{amax}$$

• Max. Ausgangsstrom

$$|I_a| \leq I_{amax}$$

• Offsetspannung

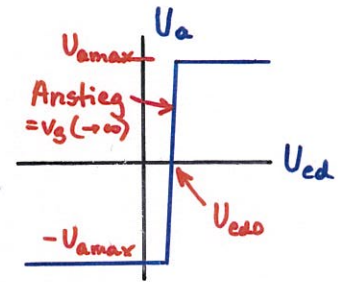
$$U_{edo} = U_{ed} (U_a = 0)$$

• Eingangsruheströme  $I_{eo+}, I_{eo-}$

$U_{edo}, I_{eo+}, I_{eo-}$  sind exemplar- und temperaturabhängig. Statt  $I_{eo+}, I_{eo-}$  werden angegeben:

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

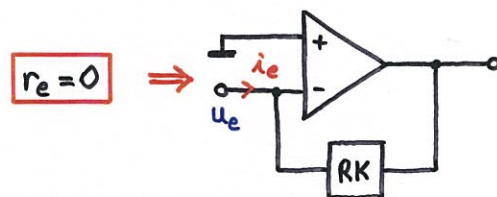
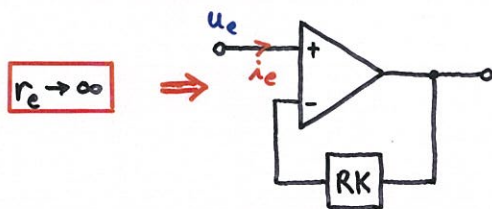
Offsetstrom:  $I_{edo} = |I_{eo+} - I_{eo-}|$



Der Kondensator  $C_k$  bestimmt die dynamischen Eigenschaften (s. Vorlesung)

## NICHTIDEALE EIGENSCHAFTEN VON OPV-SCHALTUNGEN

Eingangswiderstand: Gibt es nur eine negative Rückkopplung, so gilt:



Gibt es negative und positive Rückkopplung oder eine Verbindung zwischen den Eingängen, so müssen die Kirchhoffschen Gesetze zu Hilfe genommen werden.

Ausgangswiderstand am OPV-Ausgang:  $r_a = 0$

Aussteuergrenzen: Man rechnet zunächst ohne Begrenzung. Falls  $|U_a| > U_{amax}$  (bzw.  $|I_a| > I_{amax}$ ), so rechnet man nochmals mit  $U_a = \pm U_{amax}$  (bzw.  $I_a = \pm I_{amax}$ ) und unbestimmtem  $U_{ed}$  ( $U_{ed} \neq 0$ ).

Offsetspannung und Eingangsruheströme in linearen Schaltungen: Man betrachtet  $U_{edo}, I_{eo+}, I_{eo-}$  als unabhängige Quellen und wendet das Superpositionsgesetz an. Im Ergebnis ersetzt man  $I_{eo+} = I_{eo} + \frac{1}{2} I_{edo}$  und  $I_{eo-} = I_{eo} - \frac{1}{2} I_{edo}$ .