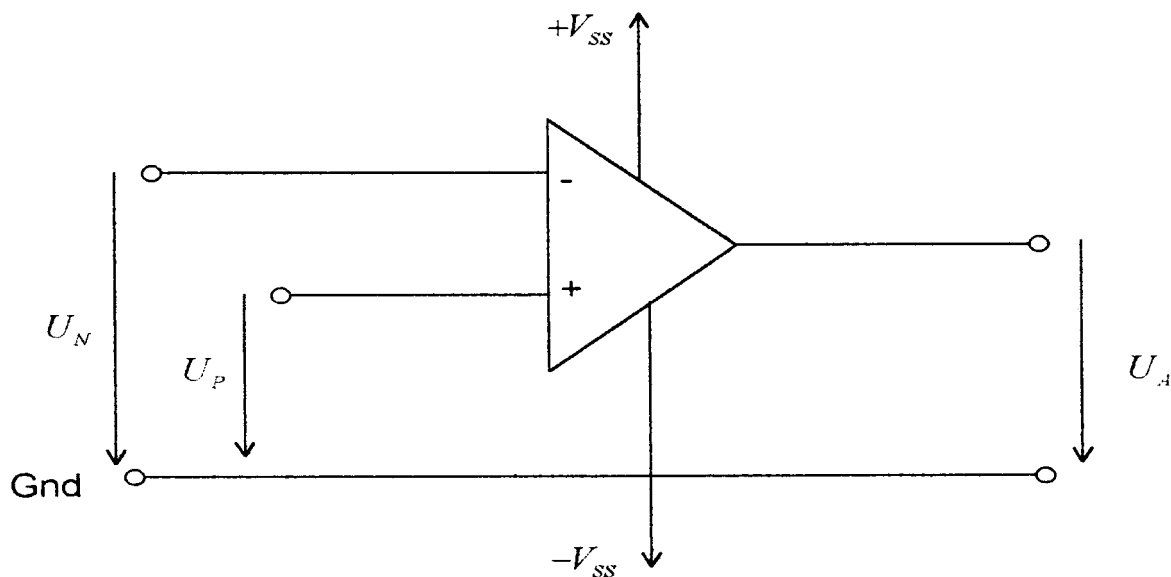


Der Operationsverstärker

Der Operationsverstärker wurde ursprünglich für Analog-Rechner entwickelt, wo er für arithmetische Operationen wie Addieren/Subtrahieren und kompliziertere Rechenvorgänge wie etwa Integrieren und Differenzieren eingesetzt wurde. Im Lauf der Zeit zeigte sich, dass man diesen universellen Verstärkertyp für viele Aufgaben in der Meß- und Regeltechnik verwenden kann.

Im einfachsten Fall hat der Operationsverstärker 5 Anschlüsse:

Zwei Eingänge, einen Ausgang und jeweils einen Anschluß für positive und negative Versorgungsspannungen. Für die Stromversorgung werden zwei Spannungsquellen ($+V_{ss}$ und $-V_{ss}$) benötigt, damit der Verstärker, bezogen auf „Gnd“ positive und negative Ausgangsspannungen liefern kann.



Der innere Aufbau des Operationsverstärkers soll hier nicht beschrieben werden, er ist für das Verständnis der folgenden Schaltungen auch nicht wichtig. Wir interessieren uns nur für bestimmte Eigenschaften und Regeln!

Die Ausgangsspannung U_A des Operationsverstärkers hängt nur von der Differenz der Eingangsspannungen U_P (nichtinvertierender Eingang) und U_N , (invertierender Eingang) ab.

$$U_A = A \cdot (U_P - U_N)$$

Der Verstärkungsfaktor liegt i.a. in der Größenordnung von $+10^4 \dots +10^5$, solange die Ausgangsspannung innerhalb der Grenzen der Versorgungsspannung liegt.

Aufgrund der großen Verstärkung kann die Differenz der Eingangsspannungen nur wenige Millivolt betragen, ansonsten wird die Ausgangsspannung größer als die Versorgungsspannung. Legt man trotzdem höhere Spannungen an, so wird der Verstärker zwar nicht zerstört, die Ausgangsspannung ändert sich aber nicht mehr. Der Operationsverstärker ist in der Sättigung.

Falls die Ausgangsspannung innerhalb der Versorgungsspannung liegt, gilt also folgendes:

Regel 1: Die Ausgangsspannung stellt sich immer so ein, dass an beiden Eingängen die gleiche Spannung anliegt, also $(U_P - U_N) \approx 0$

Operationsverstärker sind so gebaut, dass bei Anlegen von Spannungen an einen der beiden Eingänge praktisch weder Strom in den Eingang hineinfließt, noch herausfließt. Die Eingänge sind hochohmig.

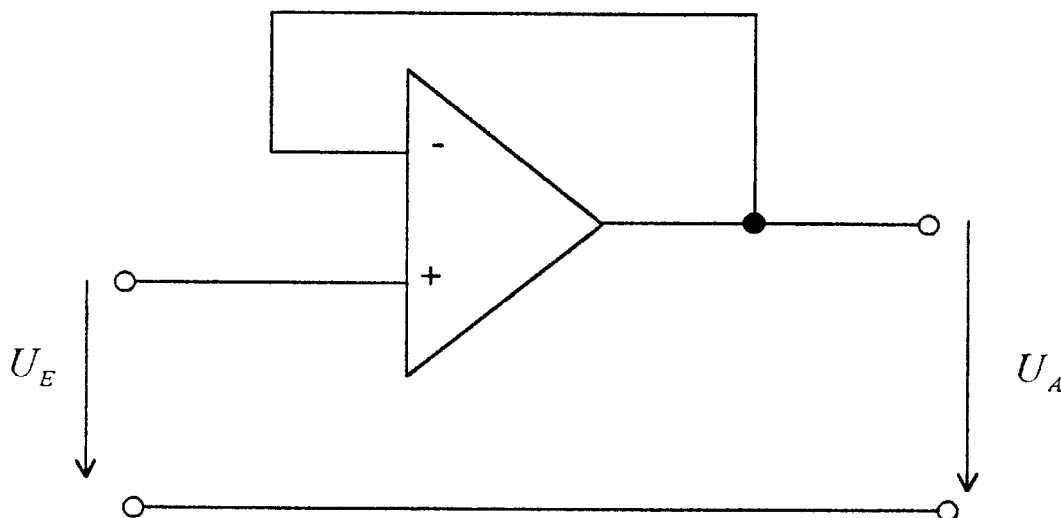
Regel 2: An den Eingängen des Operationsverstärkers fließt weder ein Strom hinein noch heraus.

Die Ausgangsspannung wird bei Belastung durch einen Widerstand automatisch konstant gehalten. Der Ausgangswiderstand, d.h. der Innenwiderstand des Ausgangs ist fast Null.

Regel 3: Die Ausgangsspannung des Operationsverstärkers ist von der Belastung unabhängig. Der Ausgangswiderstand ist Null.

Das Berechnen von beschalteten Operationsverstärkern soll nun an zwei einfachen Beispielen vorgeführt werden.

a) Spannungsfolger:



Beim Spannungsfolger ist der invertierende Eingang mit dem Ausgang verbunden. Die Eingangsspannung wird auf den nichtinvertierenden Eingang gegeben.

Somit gilt: $U_N = U_A$ und $U_P = U_E$

Einsetzen in die Gleichung $U_A = A \cdot (U_P - U_N)$ liefert:

$$U_A = A \cdot (U_E - U_A)$$

und weiter:

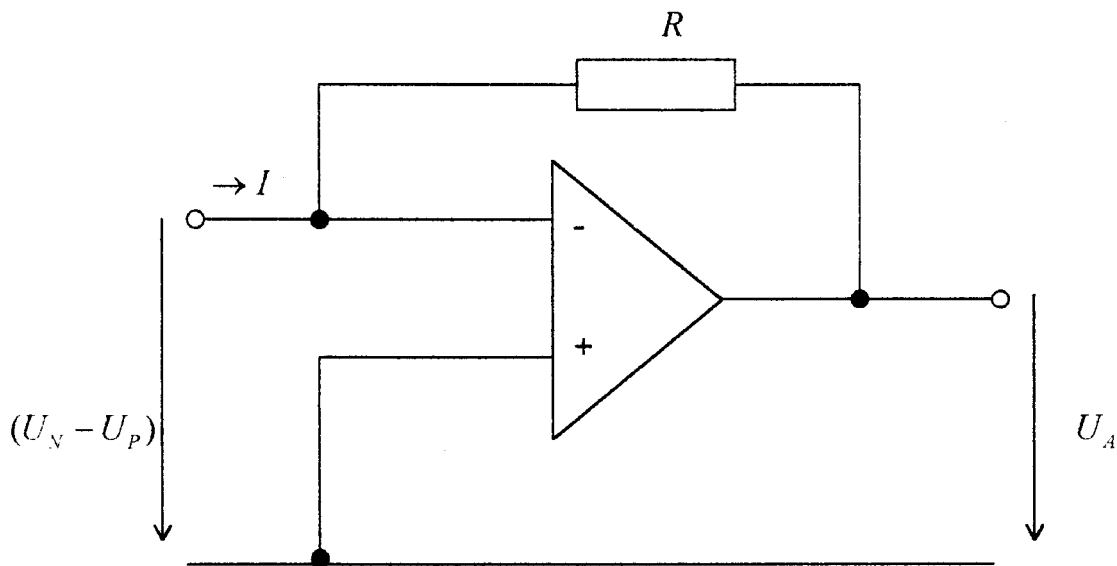
$$U_A = \frac{1}{\frac{1}{A} + 1} \cdot U_E$$

Da der Verstärkungsfaktor A sehr groß ist, gilt $\frac{1}{A} + 1 \approx 1$, und man erhält:

$$U_A = U_E$$

Die Ausgangsspannung „folgt“ der Eingangsspannung. Dieser Spannungsfolger kann als hochwertiges Voltmeter eingesetzt werden, da nach Regel 2 in den Eingang praktisch kein Strom fließt und nach Regel 3 die Ausgangsspannung mit einem gewöhnlichen Zeigerinstrument gemessen werden kann, ohne dass sich die Ausgangsspannung ändert.

b) Strommesser:



Da nach Regel 1 die Differenz der Eingangsspannungen ($U_N - U_P$) annähernd Null ist, gilt für einen Maschenumlauf $I \cdot R + U_A = 0$ und somit ist:

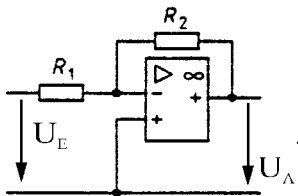
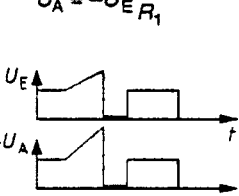
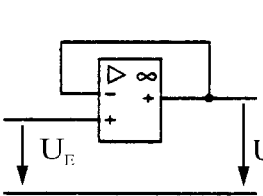
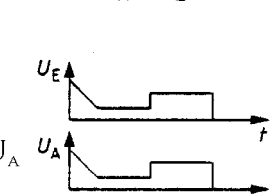
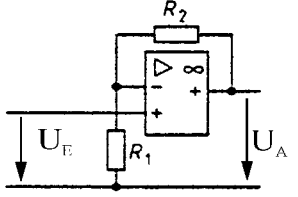
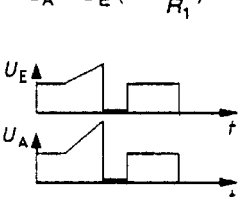
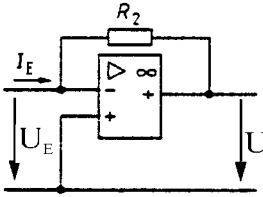
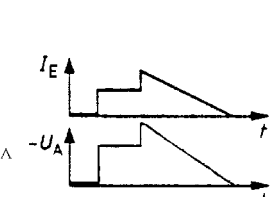
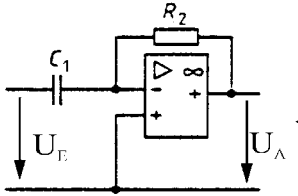
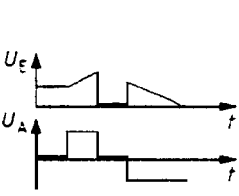
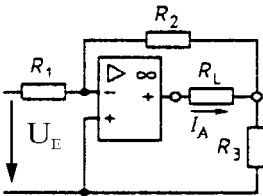
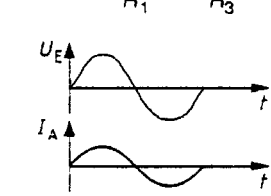
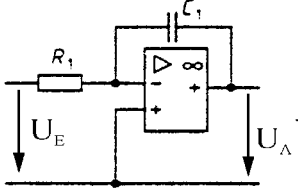
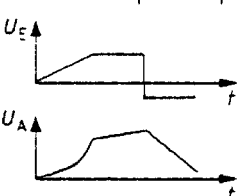
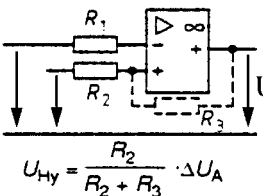
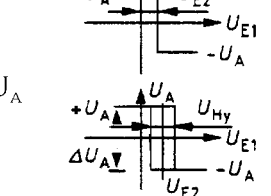
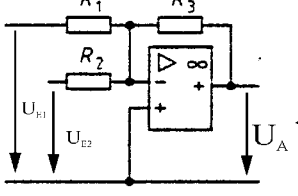
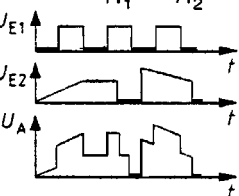
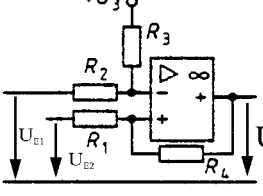
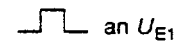
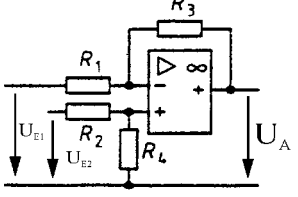
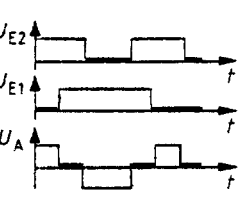
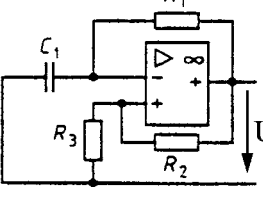
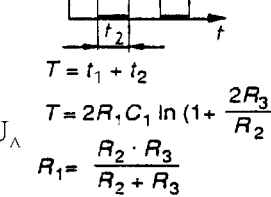
$$I = -\frac{1}{R} \cdot U_A$$

Durch geeignete Wahl von R können mit dieser Anordnung sehr kleine Ströme gemessen werden.

Aufgaben:

1. Bauen Sie einen invertierenden Verstärker mit der Verstärkung $V = -4$ auf. Testen Sie Ihre Schaltung mit Sinus- und Dreiecksignalen. Skizzieren Sie den Verlauf der Eingangs- und der Ausgangsspannung.
2. Bauen Sie einen Integrierer (Tiefpaß) auf. Testen Sie Ihre Schaltung mit einem Rechtecksignal. Skizzieren Sie den Verlauf der Eingangs- und der Ausgangsspannung.
3. Bauen Sie einen Summierverstärker auf und geben Sie auf den einen Eingang ein Sinussignal und auf den anderen Eingang ein Rechtecksignal. Skizzieren Sie den Verlauf der Eingangsspannungen und der Ausgangsspannung.

4. Leiten Sie eine Beziehung zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung beim invertierenden Verstärker aus der Gleichung für den Operationsverstärker ab.

Schaltungen mit Operationsverstärkern	
Invertierer  $U_A = -U_E \frac{R_2}{R_1}$ 	Impedanzwandler $U_A = U_E$  
Nichtinvertierer  $U_A = U_E \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$ 	Strom-Spannungswandler $U_A = -I_E \cdot R_2$  
Differenzierer (Hochpaß) $U_A = -U_E R_2 \cdot \omega \cdot C_1$  	Spannungs-Stromwandler $I_A = \frac{U_E}{R_1} \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right)$  
Integrierer (Tiefpaß) $U_A = -U_E \frac{1}{R_1 \cdot \omega \cdot C_1}$  	Spannungs-Komparator, mit und ohne Hysteresis  $U_{Hy} = \frac{R_2}{R_2 + R_3} \cdot \Delta U_A$ 
Summierverstärker $U_A = -R_3 \left(\frac{U_{E1}}{R_1} + \frac{U_{E2}}{R_2} \right)$  	Bistabiler Multivibrator  Setzen :  Rücksetzen : 
Differenzverstärker $R_1 = R_2, R_3 = R_4, U_A = \frac{R_3}{R_1} (U_{E2} - U_{E1})$  	Astabiler Multivibrator   $T = t_1 + t_2$ $T = 2R_1 C_1 \ln \left(1 + \frac{2R_3}{R_2}\right)$ $R_1 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$