

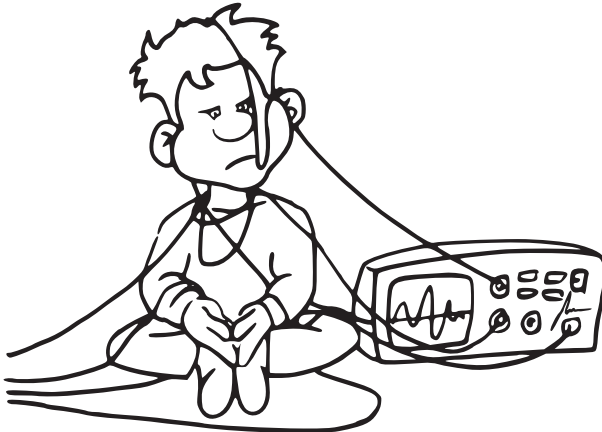
Grundlagen der Rechner-technologie

Sommersemester 2010 – 7. Vorlesung

Dr.-Ing. Wolfgang Heenes



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT





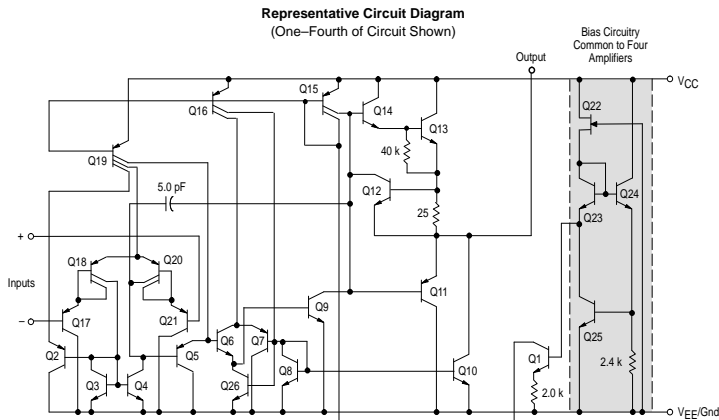
1. Operationsverstärker

2. Zusammenfassung und Ausblick

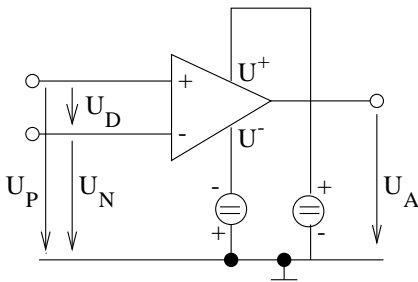
- ▶ Ein Operationsverstärker unterscheidet sich im Grunde nicht von einem Verstärker mit Bipolar-Transistoren.
- ▶ Wie an den Kennlinienfeldern der Transistoren zu erkennen, sind Transistoren keine idealen Verstärker, da sie nur näherungsweise eine proportionale Verstärkung des Eingangssignals ermöglichen.
- ▶ Die Nachteile, die ein einzelner Transistor hat, werden durch geschickte Verschaltung mehrerer Transistoren vermindert.
- ▶ In der Signalverarbeitung werden Verstärker benötigt, die über einen großen Bereich eine konstante Verstärker haben.
- ▶ Operationsverstärker ist auch eine gesteuerte Quelle: **spannungsgesteuerte Spannungsquelle**
- ▶ $U_A = k_1 \cdot U_E$

Operationsverstärker Aufbau

- ▶ Aufbau durch mehrere Bipolartransistoren (Beispiel: LM324)



- ▶ Um Verstärkerschaltungen zu entwerfen, braucht man den internen Aufbau allerdings nicht zu verstehen.
- ▶ Man geht von einer idealisierten Beschreibung bzw. Eigenschaften des Operationsverstärkers aus.

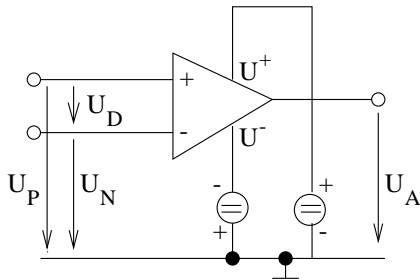


- ▶ Operationsverstärker besitzen folgende Eigenschaften:
 - ▶ eine hohe Spannungsverstärkung
 - ▶ einen hohen Eingangswiderstand
 - ▶ einen niedrigen Ausgangswiderstand
- ▶ Welche Eigenschaften kann man daraus ableiten?
 - ▶ aus einem hohen Eingangswiderstand kann man ableiten, dass die Eingangsströme $I = 0$ sind.
- ▶ Solche hochwertigen Verstärker wurden früher in Analogrechnern für mathematische Operationen wie Addition, (De)Logarithmierung und Integration eingesetzt.
- ▶ Daher stammt die Bezeichnung Operationsverstärker.



- ▶ Heute sind sie in großer Vielfalt als integrierte Schaltungen (ICs) erhältlich und unterscheiden sich in Größe und Preis kaum von Einzeltransistoren.
- ▶ Aufgrund ihrer in vieler Hinsicht nahezu idealen Eigenschaften ist ihr Einsatz viel einfacher als der von Einzeltransistoren.
- ▶ Deshalb hat der Operationsverstärker den Einzeltransistor aus weiten Teilen der linearen Schaltungstechnik verdrängt.
- ▶ OP im DIL¹-Gehäuse

¹Dual Inline Package



- ▶ Die Eingangsstufe ist hier als Differenzverstärker ausgeführt.
- ▶ $U_D = U_P - U_N$.

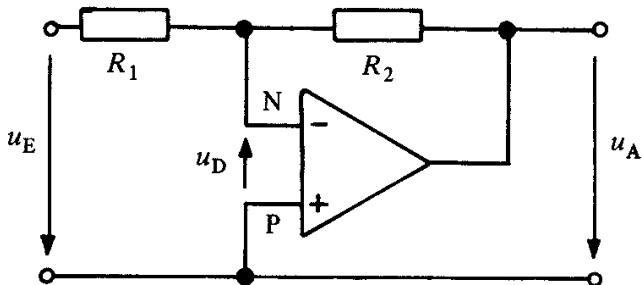


- ▶ Man bezeichnet den P-Eingang als den nicht-invertierenden Eingang und kennzeichnet ihn im Schaltsymbol mit einem Plus-Zeichen.
- ▶ Der N-Eingang ist der Invertierende und wird mit einem Minus-Zeichen gekennzeichnet.
- ▶ Damit der OP sowohl positive, als auch negative Spannungen U_D verstärken kann, wird er mit symmetrischer Versorgungsspannung (z. B. $U^+ = +12V$, $U^- = -12V$) betrieben.
- ▶ Wird der OP lediglich als Komparator eingesetzt, kann er auch mit einer asymmetrischen Versorgungsspannung betrieben werden (z. B. $U^+ = +5V$, $U^- = 0V$).
- ▶ In Prinzip-Schaltbildern werden zur besseren Übersichtlichkeit meist nur die Eingangs- und Ausgangs-Anschlüsse eingezeichnet.

- ▶ Die Ausgangsspannung ist im Bereich $U_{A \min} < U_A < U_{A \max}$ näherungsweise linear von U_D abhängig.
- ▶ Die Differenzverstärkung A_D liegt in der Größenordnung von $10^4 - 10^5$.
- ▶ Sie wird auch als *offene Verstärkung*, d. h. Verstärkung ohne Gegenkopplung („open loop gain“) bezeichnet.
- ▶ Aber: es geht noch einfacher
- ▶ Idealer Operationsverstärker
 - ▶ Eingangswiderstand: $R_{in} = \infty$
 - ▶ Ausgangswiderstand: $R_o = 0$
 - ▶ Verstärkung: $A = \infty$
- ▶ Aus $U_A = A \cdot U_D$ ergibt sich dann, $U_D = 0$

Operationsverstärker

Grundschialtung zur Spannungsverstärkung



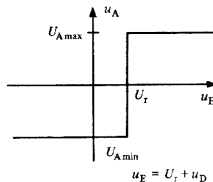
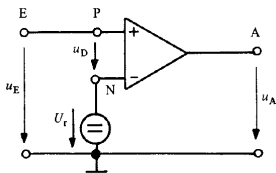
Operationsverstärker

Grundschtaltung zur Spannungsverstärkung

- ▶ Die Rückkopplung des Ausgangs auf den Eingang führt auf eine Übertragungsfunktion und einen in den Grenzen der Versorgungsspannung einstellbaren Verstärkungsfaktor $A \leq A_D$.
- ▶ Die Spannungsdifferenz U_D wird durch die Rückkopplung stets auf ungefähr 0 V gehalten.
- ▶ Die Verstärkung wird durch die externe Beschaltung bestimmt.
- ▶ Die Aussteuergrenzen $U_{A \max}$ und $U_{A \min}$ liegen je nach OP bis zu 3 V unter der positiven bzw. negativen Betriebsspannung. Wenn die Bereichsgrenzen erreicht sind, steigt U_A bei einer weiteren Vergrößerung von U_D nicht weiter an, d. h. der Verstärker wird übersteuert.

Operationsverstärker Komparator

- ▶ Der Operationsverstärker kann auch als *Komparator* eingesetzt werden. Während am Eingang des Differenzverstärkers ein analoges Signal anliegt, erscheint am Ausgang lediglich eines der zwei Signale $U_{A \max}$, $U_{A \min}$.

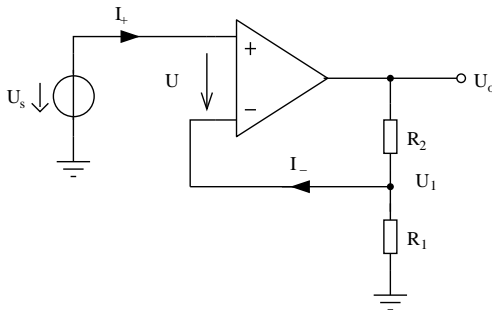


- ▶ Der Komparator kann z. B. zur *Analog-Digital-Wandlung* eingesetzt.

Operationsverstärker

Nichtinvertierende Verstärker

- ▶ Der Operationsverstärker kann auch verwendet werden, einen **nichtinvertierenden Verstärker** zu konstruieren. Hierzu wird das Eingangssignal an dem positiven Eingang des Operationsverstärkers angelegt und das Ausgangssignal wird auf den negativen Eingang zurückgeführt.



Operationsverstärker

Nichtinvertierende Verstärker

- ▶ Es gilt zu beachten, dass der Verstärkungsfaktor positiv und grösser oder gleich Eins ist.

$$I_- = 0$$

$$U_1 = U_0 \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$U_s - U = U_1$$

$$U = 0 \quad \Rightarrow \quad U_s = U_1$$

$$U_0 = U_1 \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

$$\Rightarrow A_U = \frac{U_0}{U_s} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

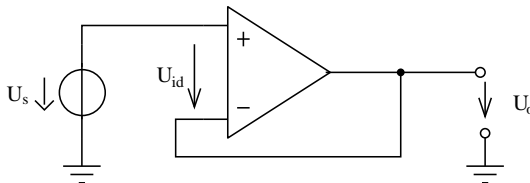
\Rightarrow

$$A_U = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Operationsverstärker

Spannungsfolger I

► Beschaltung



- Spezialfall des nichtinvertierenden Verstärkers
- Der Wert von R_1 ist unendlich und der von R_2 ist Null.
- Spannungsverstärkung

$$U_s - U_{id} = U_o$$

$$\text{oder } U_o = U_s$$

$$\Rightarrow A_u = 1$$

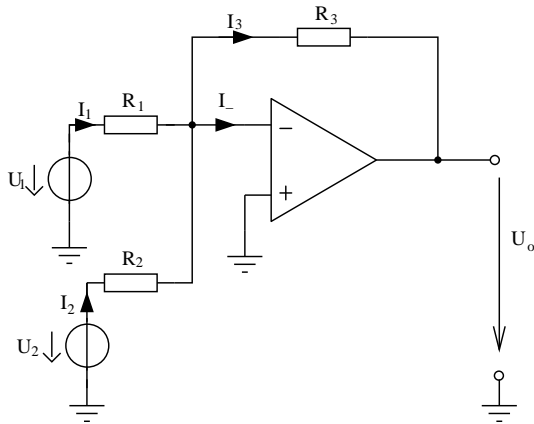
Operationsverstärker

Spannungsfolger II

- ▶ Der ideale Pufferverstärker bietet einen Verstärkungsfaktor von 1 mit einem unendlich hohen Eingangswiderstand und einem Ausgangswiderstand von Null. Desweiteren bietet er eine enorme Impedanzwerttransformation unter Beibehaltung der Stärke des Ausgangssignals.
- ▶ Der ideale Pufferverstärker benötigt kein Eingangsstrom, kann aber jeden beliebigen Verbraucher versorgen, ohne dass die Ausgangsspannung einbricht. Daher wird der Pufferverstärker in vielen Sensoren gefunden.

Operationsverstärker Addierer I

► Beschaltung



Operationsverstärker Addierer II

- ▶ Zwei Eingangsquellen u_1 und u_2 sind verbunden mit dem invertierenden Eingang durch die Widerstände R_1 und R_2 .
- ▶ Analyse

$$i_1 = \frac{u_1}{R_1}$$

$$i_2 = \frac{u_2}{R_2}$$

$$i_3 = -\frac{u_0}{R_3}$$

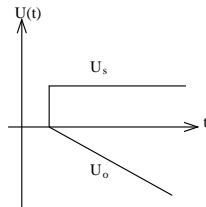
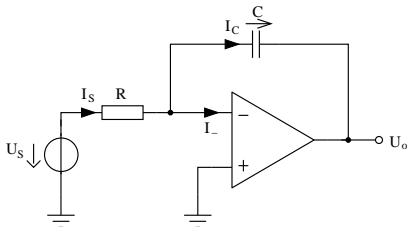
$$i_- = 0$$

$$i_3 = i_1 + i_2$$

$$u_0 = -\frac{R_3}{R_1} \cdot u_1 - \frac{R_3}{R_2} \cdot u_2$$

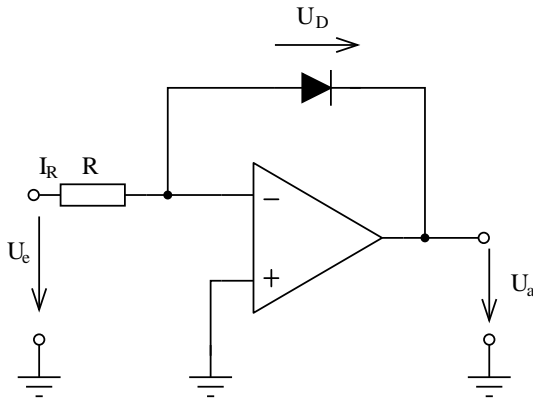
Operationsverstärker Integrierer

► Schaltung



Operationsverstärker Logarithmierer

► Schaltung



- ▶ Operationsverstärker
- ▶ Anwendung von Operationsverstärkern

Nächste Vorlesung behandelt

- ▶ Meßtechnik, Vorbesprechung Labor