

# EP03 Operationsverstärker

H. Aden, Fachhochschule Oldenburg / Ostfriesland / Wilhelmshaven, Fachbereich Technik, Abteilung Photonik

Doc. 23. Januar 2002

## 1.1 Ziel des Versuchs

Verstehen und Anwenden des Operationsverstärkers als universelles Bauteil der Analogtechnik.

### 1.1.1 Aufgabenstellung

Anwendung des Operationsverstärkers als

- Komparator
- invertierender Verstärker
- nichtinvertierender Verstärker
- Differenzverstärker
- Differenzierer
- Integrierer

### 1.1.2 Hinweise

1. Auf dem Steckbrett sind die Buchsen der rot und blau gekennzeichneten Spalten senkrecht verbunden. Sie dienen der Spannungsversorgung. Alle anderen Buchsen sind in 5er-Gruppen (Spalten a-e und f-j) waagrecht verbunden, die durch die rot und blau gekennzeichneten Spalten der Spannungsversorgung sowie die Kerben begrenzt werden.
2. Achten Sie beim Aufbau der Schaltung und während der Messung darauf, daß alle Verbindungen zwischen den Bauteilen sowie zur Versorgungsspannung korrekt sind.
3. Die Versorgungsspannungen müssen auf dem Steckbrett mit Kondensatoren stabilisiert werden, da die Schaltung sonst insbesondere bei starker Gegenkopplung wegen der hohen Leerlaufverstärkung zum Schwingen neigt.

### 1.1.3 Geräte und Bauteile

Spannungsquellen für pos. und neg. Versorgungsspannung sowie zwei variable Eingangsspannungen, Steckbrett, Operationsverstärker, Widerstände, zwei Kondensatoren  $100nF$ , Verbindungsleitungen, Multimeter, Oszilloskop

### 1.1.4 Fragen zum Versuch (Stichworte)

Grundgesetze des Gleichstromkreises, Messung von Spannungen mit dem Multimeter und dem Oszilloskop, bipolarer Transistor und FET, Begriff der Gegenkopplung, prinzipieller innerer Aufbau und Arbeitsweise des Operationsverstärkers, Bestimmung der Verstärkung durch äußere Beschaltung.

## 1.2 Theorie

### 1.2.1 Prinzip des Operationsverstärkers

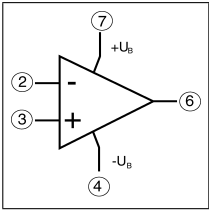


Abbildung 1.1: Pinbelegung des OPs

Sowohl bei Wechsel- als auch bei Gleichstromverstärkern müssen die darin eingesetzten Transistoren im linearen Bereich ihrer Kennlinie betrieben werden, d.h. es besteht das Problem der Einstellung des Arbeitspunkts. Beim Wechselspannungsverstärker ist dieses Problem wegen der galvanischen Trennung zwischen Signalquelle, Verstärker und Last beispielsweise bei der Emitterschaltung durch einen Spannungsteiler einfach zu lösen. Gleichspannungsverstärker erfordern jedoch ein anderes Konzept, da eine galvanische Trennung hier nicht möglich ist. In der Eingangsstufe des Operationsverstärkers werden statt dessen zwei Transistoren in Emitterschaltung so kombiniert, daß sie einen gemeinsamen relativ hochohmigen Gegenkopplungswiderstand in der Emitterleitung haben. Der Strom durch diesen Widerstand verteilt sich im Verhältnis der Ansteuerungssignale der Transistoren. Da der Strom durch den Emitterwiderstand möglichst konstant sein soll, wird dieser häufig durch eine Konstantstromquelle ersetzt. Statt mit zwei getrennten Eingangssignalen kann die Ansteuerung auch durch ein Differenzsignal erfolgen. Das Ausgangssignal der Eingangsstufe wird sehr hoch verstärkt (Leerlaufverstärkung von z.B.  $10^4$ ) und als Ausgangsspannung ausgegeben. Wegen der Symmetrie der Eingangsstufe werden Geichtaktsignale am Eingang (gleiche Spannung an beiden Eingängen gegenüber Masse) nicht verstärkt. Der Operationsverstärker ist ein Differenzverstärker.

### 1.2.2 Änderung des Verhaltens durch äußere Beschaltung

#### Komparator

Ohne äußere Beschaltung arbeitet der Operationsverstärker als Komparator, da wegen der hohen Leerlaufverstärkung bereits kleinste Unterschiede der Eingangsspannungen zum vollen Durchsteuern des Verstärkers in die eine bzw. andere Richtung ausreichen. Der Aussteuerbereich wird dabei durch die Betriebsspannung bestimmt, die unipolar (+UB bezogen auf Masse) oder bipolar (+UB und -UB bezogen auf Masse) sein kann. Beim realen Operationsverstärker liegt die Schaltschwelle um einige mV neben dem theoretischen Wert von 0 V Differenzeingangsspannung. Diesen Wert bezeichnet man als Offsetspannung.

#### Invertierender Verstärker

Beim invertierenden Verstärker liegt der positive Eingang des Operationsverstärkers auf Masse. Das Eingangssignal wird über einen Widerstand auf den negativen Eingang geführt. Über einen Gegenkopplungswiderstand wird das Ausgangssignal auf den negativen Eingang geführt. Durch die Hochohmigkeit der Eingänge fließt der Eingangsstrom durch den Gegenkopplungswiderstand zum Ausgang. Die Ausgangsspannung stellt sich wegen der Gleichheit der Ströme durch beide Widerstände und der hohen Leerlaufverstärkung so ein, daß die Eingangsdifferenzspannung sehr klein (praktisch 0 V) wird. Der invertierende Eingang liegt virtuell auf Masse. Beim invertierenden Verstärker wird also die hohe Leerlaufverstärkung des Operationsverstärkers durch eine Gegenkopplung reduziert. Die Verstärkung ist gleich dem Quotienten aus dem Gegenkopplungswiderstand und dem Widerstand zwischen Signalquelle und invertierendem Eingang bewertet mit einem Minuszeichen für die Invertierung, d.h.  $180^\circ$  Phasenverschiebung zwischen Ein- und Ausgang.

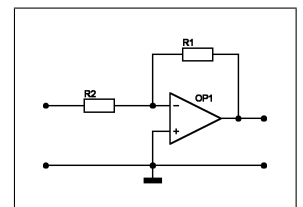


Abbildung 1.2: Invertierender Verstärker

#### Nichtinvertierender Verstärker

Den nichtinvertierenden Verstärker, oder auch U/U-Verstärker, erhält man, indem ein Teil der Ausgangsspannung wird über einen Spannungsteiler auf den invertierenden Eingang geführt und die Eingangsspannung auf den nichtinvertierenden Eingang gelegt wird. Der Spannungsteiler gilt als unbelastet, da die Eingangsströme sowie die Eingangsdifferenzspannung des Operationsverstärkers sehr klein sind. Durch Division der Summe beider Widerstände durch den Widerstand nach Masse ergibt sich die Verstärkung.

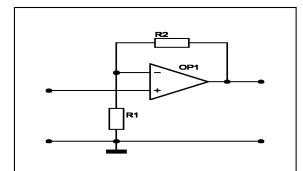


Abbildung 1.3: Nicht invertierender Verstärker

### Differenzverstärker

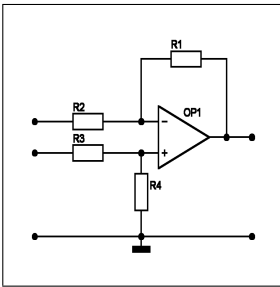


Abbildung 1.4: Differenzverstärker

Legt man beim invertierenden Verstärker den positiven Eingang statt auf Masse an eine zweite Eingangsspannung, dann erhält man einen Differenzverstärker. Die Verstärkung dieser Schaltung ist für beide Eingangsspannungen unterschiedlich und ergibt sich durch Superposition der Ergebnisse für den invertierenden- und dem nichtinvertierenden Verstärker. Für einen symmetrischen Verstärker, der gleiche Verstärkungsfaktoren für die beiden Eingangsspannungen aufweist, muß durch einen Spannungsteiler die Spannung am positiven Eingang reduziert werden. Beide Eingangsspannungen werden symmetrisch verstärkt, wenn die Werte der vier Widerstände die Abgleichbedingung für eine Wheatstonesche Brückenschaltung erfüllen. Deshalb wird der Differenzverstärker auch als Brückenverstärker bezeichnet.

### Differenzierer und Integrierer

Führt man beim invertierenden Verstärker die Eingangsspannung statt über einen Widerstand mit einem Kondensator zu, dann erhält man einen Differenzierer. Die Funktion erklärt sich aus dem differentiellen Zusammenhang zwischen Strom und Spannung beim Kondensator ( $I = C \cdot \frac{dU}{dt}$ ).

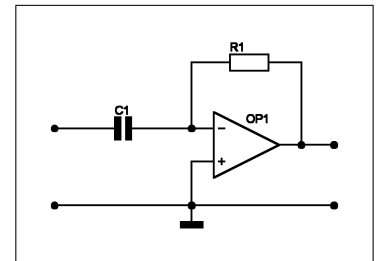


Abbildung 1.5: Differenzierer

Jede Änderung der Spannung am Eingang führt beim Kondensator zu einem Umladestrom, der einen proportionalen Spannungsabfall über dem Gegenkopplungswiderstand bewirkt. Die dazu notwendige Ausgangsspannung wird vom Operationsverstärker geliefert. Durch Vertauschen von Widerstand und Kondensator erhält man einen Integrierer. Der Kondensator integriert den Strom durch den Widerstand zur vom Operationsverstärker zur Verfügung gestellten Ausgangsspannung. Vor jeder Messung muß der Kondensator ggf. entladen werden, damit die Integration mit dem Startwert 0 erfolgt.

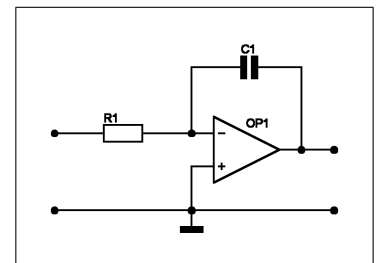


Abbildung 1.6: Integrierer

## 1.3 Versuch

### 1.3.1 Durchführung

1. Bauen Sie die Schaltung eines Komparators auf und ermitteln Sie die Kennlinie.
2. Bauen Sie die Schaltung eines nichtinvertierenden Verstärkers auf und ermitteln Sie die Kennlinie.
3. Bauen Sie die Schaltung eines invertierenden Verstärkers auf und ermitteln Sie die Kennlinie.
4. Trennen Sie die Verbindung zwischen dem positiven Eingang des Operationsverstärkers und Masse und verbinden Sie diesen mit einer weiteren Spannungsquelle. Nehmen Sie die Kennlinien in Abhängigkeit von jeweils einer Eingangsspannung auf, wobei die andere Eingangsspannung auf einem festen Wert liegt.

5. Erweitern Sie die Schaltung zu einem symmetrischen Differenz- oder Brückenverstärker und wiederholen Sie die Messungen aus Punkt 4.
6. Bauen Sie einen Differenzierer mit  $R = 10 \text{ k}\Omega$  und  $C = 100 \text{ nF}$  auf und untersuchen Sie die Schaltung mit Sinus- und Rechtecksignalen bei verschiedenen Frequenzen.
7. Wiederholen Sie die Messungen aus Punkt 6 für einen Integrierer mit  $R = 10 \text{ k}\Omega$  und  $C = 100 \text{ nF}$

Anlage: Datenblatt des Operationsverstärkers LF356