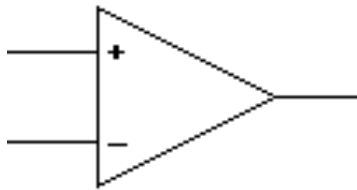


Ein neues Bauelement!



Ein Operationsverstärker

Was ist das?

Ein Operationsverstärker, kurz OP oder OPV, ist ein mehrstufiger, hochverstärkender, galvanisch gekoppelter Differenzverstärker. Er kann sowohl Gleichspannung als auch Wechselspannung verstärken!

[01]

Was ich mir so gedacht und gefunden habe – was wichtig sein könnte!

Nur zur Einführung – kein LEHRExemplar? bei Fehlern: „Hab’ mich wohl ,verdacht’ oder vertippt!“ ☺

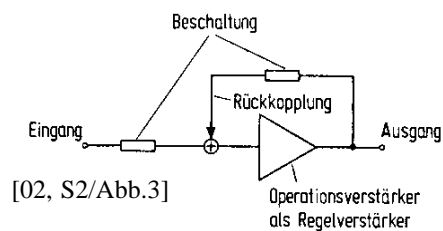
Aber wozu ist der nun gut?

Der Einsatz von diesen OPs (oder OPVs) ermöglicht es, auch in kurzer Zeit komplizierte Schaltungen aufzubauen – ansonsten müsste ein sehr großes Schaltbild mit vielen diskreten Bauelementen erzeugt werden, welches unweigerlich zur Verwirrung führen könnte.

Aufgrund seines Namens lässt sich erschließen, dass dieses Bauelement dafür genutzt wird, um Signale zu verstärken. Aber der OP hätte nicht die Einführung der Digital-Schalttechnik überlebt, wenn nicht noch weitere Möglichkeiten der Beschaltung {1} möglich wären. So kann [ein OP] auch Rechenaufgaben ausführen, Signale oder Pegel vergleichen, Messgrößen umformen oder Messsignale wie z.B. Rechteck-, Dreieck- oder Sinussignale generieren. [03] Es lohnt sich also OPs beim Aufbau von Filter- und Regelschaltungen einzusetzen.

Einfaches Prinzip! (allgemein)

Da der Operationsverstärker des öfteren in eine Rückkopplungsschaltung {4} eingebaut wird, wollen wir uns das näher ansehen:



Die Ausgangsspannung wird über einen Widerstand (Beschriftung) auf den Eingang des OPs zurückgeführt. Falls die Rückkopplung eine Gegenkopplung ist – also negiert ist – so kommt es zu einem Vergleich zwischen den Spannungswerten vom Ein- zum Ausgang. Hat die Ausgangsspannung nicht den für die Beschaltung entsprechenden Wert, arbeitet der OP als Regler, um die gewünschte Spannung einzustellen.

HINWEIS:

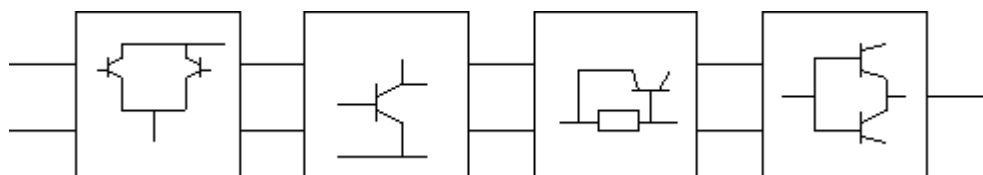
Einige grundlegende Beschaltungen sind unter Einfache Grundschaltungen aufgeführt.

Aufbau und Eigenschaften des OP

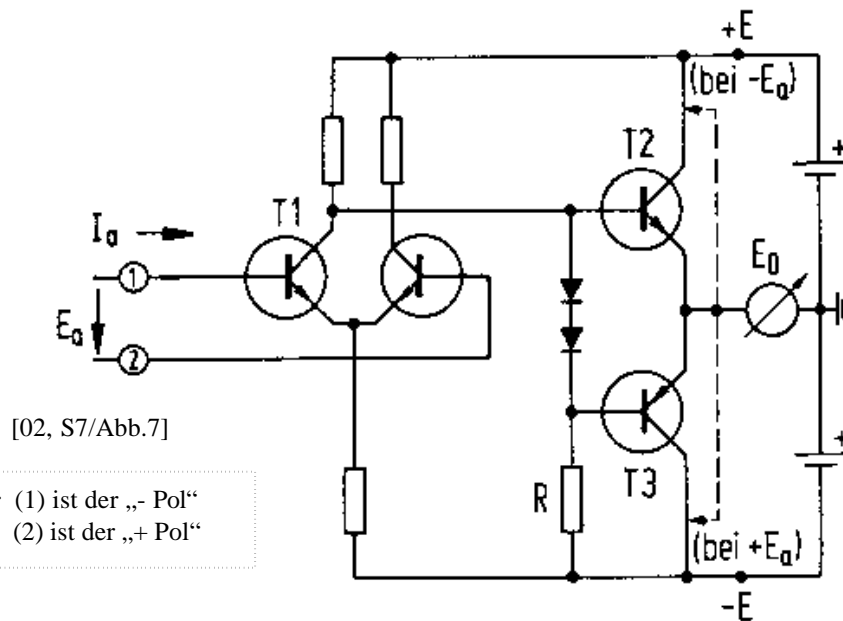
Wenn man mal davon ausgeht, ein Signal verstärken zu wollen, so möchte die Verstärkung so stark wie möglich sein.

Also wäre es wünschenswert einen Verstärker zu haben, der mit unendlich hoher Verstärkung und Bandbreite ohne Störgrößen (z.B. Rauschen). Da beim Arbeiten mit Signalen eine große Breite abgedeckt werden soll, werden größtenteils Verstärker mit **Differenzeingängen** benutzt. Auf diese Eingangsstufe folgen eine oder mehrere **Zwischenstufen** und die **Endstufe**. [04] Anders lässt sich der Aufbau eines OPs wie folgt beschreiben:

Differenzverstärker Verstärkerstufe Kurzschlussicherung Gegentaktverstärker



Nun zum Prinzip der inneren Schaltung – am Beispiel eines grundsätzlichen Aufbaus eines OP:



Nehmen wir an, an unserem Eingang E_a liegt eine positive Spannung an (also + bei (1)). Der Transistor T1 wird durchgesteuert und die Kollektorspannung sinkt. Daraufhin sinkt die Ansteuerung von T2, womit sich der gesamte Ausgang nach $-E$ verschiebt. D. h. das Eingangssignal wird invertiert (Man sagt auch: Die Eingangsspannung E_a wird negativ bewertet [02]).

Im Gegensatz dazu wird das Signal vom Pluseingang nicht invertiert.

Das Ausgangssignal E_0 wird über der Mitte (auf Masse) der Versorgungsspannung $\pm E$ abgenommen.

Wie wir von Hoch- und Tiefpässen wissen, sind diese nur für bestimmte Frequenzgänge „definiert“.

Um einen möglichst großen Spielraum bei der Beschaltung von OPs zu haben, sollte beachtet werden, dass die Verstärkungen auch einen definierten Frequenzgang haben.

A_0 ($\sim 10^5$) ist die Leerlaufverstärkung bei Gleichspannung bzw. sehr niedrigen Frequenzen. Der Phasengang von 180° führt zu der Invertierung, die uns nun schon des öfteren begegnet ist.

Wenn die Frequenz zunimmt, so nimmt die Verstärkung ab. (6dB/Oktave)

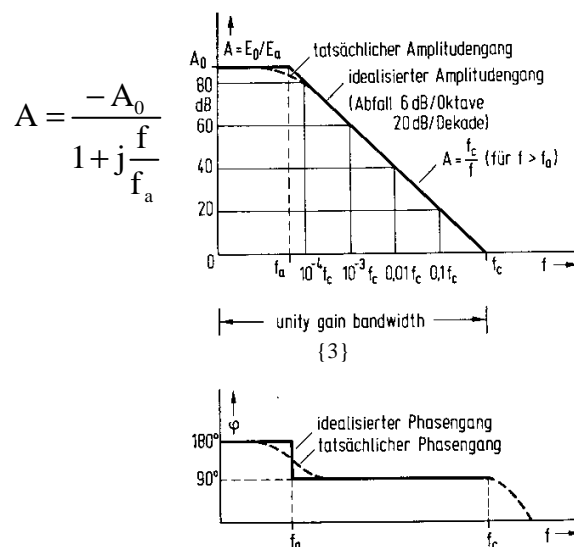


Abb. 6: Amplituden- und Phasengang eines Operationsverstärkers (Bodediagramm)

HINWEIS:

Die tatsächlichen Verläufe bitte den Datenblättern entnehmen.

Einfache Grundschaltungen [03] (s. Hinweis am Ende)

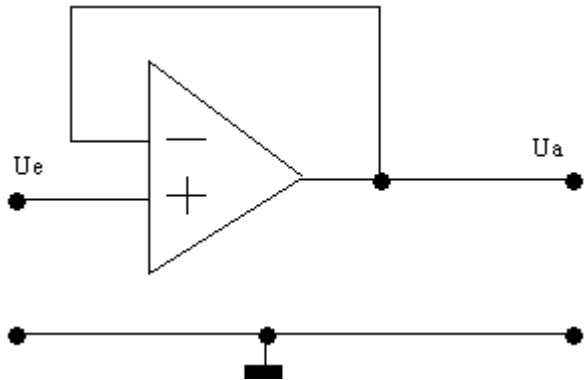
(spezielle Angaben sind für den Typen $\mu A/LM 741$)

Der Impedanzwandler:

Diese Schaltung, auch Spannungsfolger genannt, hat einen Verstärkungsfaktor von eins. Sie ist die Grundlage für die meisten OP- Schaltungen.

Machen wir, um die Funktionsweise zu verdeutlichen, ein Gedankenexperiment ausgehend vom idealen Operationsverstärker:

Gehen wir davon aus, dass sämtliche Spannungen, außer der Versorgungsspannung, auf Massepotential liegen. Am Eingang gibt es keine Differenz und die Schaltung tut überhaupt nichts. Erhöhen wir jetzt die Eingangsspannung, so gibt es eine Differenz zwischen den beiden Eingängen. Da der nichtinvertierende Eingang (+) nun „positiver“ als der invertierende Eingang (-) ist, erscheint eine positive Spannung am Ausgang. Die Ausgangsspannung ist mit dem invertierenden Eingang verbunden. Ist die Ausgangsspannung zu groß geworden, so ist nun der invertierende Eingang „positiver“ als der nichtinvertierende. Dadurch wird die Ausgangsspannung negativ und der Vorgang beginnt von vorne.



Diese Schaltung wäre nicht zu gebrauchen, da als Ausgangssignal eine rechteckförmige Wechselspannung mit extrem hoher Frequenz entsteht, würde der Operationsverstärker nicht einige „unerwünschte Nachteile“ haben. Das Ausgangssignal kann sich nicht so schnell ändern wegen der Anstiegsgeschwindigkeit und die Schaltung pendelt sich auf einen Mittelwert ein, der (fast) genau der Eingangsspannung entspricht. Alle gebräuchlichen Formeln und Modelle gelten nur für den eingeschwungenen Zustand.

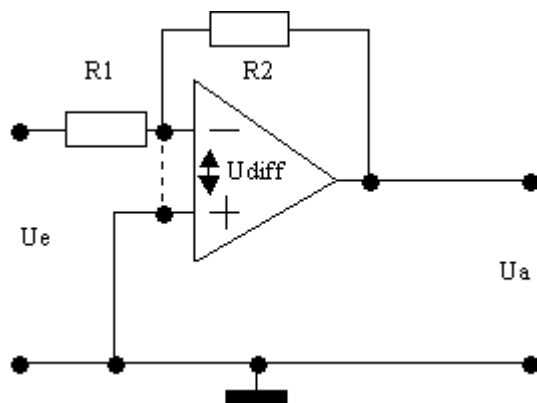
Der Operationsverstärker sorgt also dafür, dass seine Eingänge das gleiche Potential haben. Dieses Phänomen nennt man „Virtueller Nullpunkt“, da beide Eingänge exakt das gleiche Potential haben, sofern der OP nicht überfordert wird.

Der Impedanzwandler kommt zu seinem Namen, da diese Schaltung einen sehr hochohmigen Eingangswiderstand besitzt und einen vernachlässigbaren Ausgangswiderstand hat. Dadurch kann man einen niederohmigen Verbraucher an eine hochohmige Signalquelle anschließen, ohne dass die Quelle zusammenbricht. Aus den Angaben des Datenblatts kann man entnehmen, dass diese Schaltung einen Eingangswiderstand von typisch 400 M Ω und einen Ausgangswiderstand von deutlich unter 1 Ω besitzt.

(Hinweis: Wenn bei der Rückführung ein Widerstand eingefügt wird, so werden so genannte Latch-Up-Effekte {2} verhindert. Bei modernen OPs kann der Widerstand auch weggelassen werden, da diese „Latch-Up-Sicher“ sind. Trotzdem schadet es nicht, auch bei ihnen den Widerstand einzubauen.)

Invertierender Verstärker:

Ein Verstärker wäre kein Verstärker, wenn er nicht auch verstärken könnte. Die Einfachste Variante ist der invertierende Verstärker. Er verstärkt Spannungen und ändert deren Vorzeichen. Wie bei dem Impedanzwandler versucht der OP seine Eingänge auf dem gleichen Potential zu halten. Dadurch entsteht wieder der unter Impedanzwandler angesprochene „virtuelle Nullpunkt“ ($U_{\text{diff}} = 0\text{V}$). Stellen wir uns also für die Berechnung und Dimensionierung der Schaltung die Eingänge als miteinander verbunden vor (gestrichelte Linie).



R1 hängt also zwischen U_e und der virtuellen Masse. Zwangsweise fließt auch ein Strom durch diesen Widerstand:

$$I_{R1} = \frac{U_{R1}}{R1} = \frac{U_e}{R1}$$

Ein OP hat einen extrem hohen Eingangswiderstand, so dass der Strom, der durch die Eingänge fließt vernachlässigbar klein ist. Also muss der gesamte Strom durch

R2 fließen, damit die Eingänge ausgeglichen sind (Kirchhoffsche Regel). Die Ausgangsspannung des Verstärkers kann man jetzt einfach berechnen, da R2 zwischen der virtuellen Masse und U_a liegt und der Widerstand samt zugehörigem Strom bekannt ist. Daraus folgt, sofern man die Stromrichtung beachtet:

$$U_a = R_2 \cdot I_{R2} = R_2 \cdot (-I_{R1})$$

Setzt man die beiden Formeln zusammen und stellt sie ein wenig um, spart man sich nach dem Kürzen die Berechnung des Stroms:

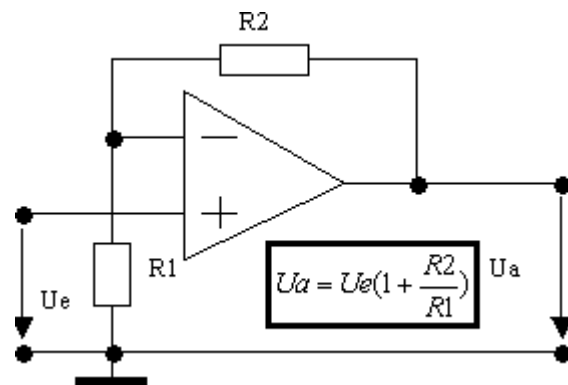
$$U_a = -U_e \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

Die negative Verstärkung kann man sich daran verdeutlichen, dass der Ausgang des OPs negativ werden muss, um den invertierenden Eingang auf Masse zu ziehen.

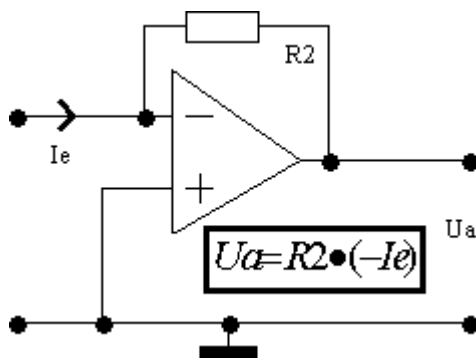
Nichtinvertierender Verstärker / Elektrometerverstärker:

Bei dieser Verstärkerschaltung wird das Signal ausnahmsweise einmal nicht invertiert.

Das Ausgangssignal wird durch einen Spannungsteiler, der als unbelastet angenommen werden kann, auf den invertierenden Eingang zurück gekoppelt. Die Funktionsweise ist identisch mit dem Impedanzwandler, nur mit dem Unterschied, dass die zurück gekoppelte Spannung geteilt, und die Ausgangsspannung deswegen verstärkt wird. Der Verstärkungsfaktor wird durch das Verhältnis der beiden Widerstände bestimmt.



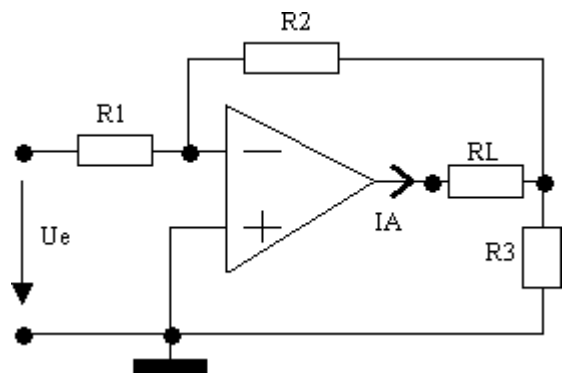
Strom-Spannungswandler:



Diese Schaltung beruht auf demselben Prinzip wie der invertierende Verstärker, nur spart man sich den Widerstand R_1 . Der Operationsverstärker regelt seinen Ausgang so, dass der Strom vollständig über R_2 abfließen kann. Nur so entsteht kein Potentialunterschied zwischen den beiden Eingängen. Für die Berechnung kann man ein Zwischenergebnis des Invertierenden Verstärkers wiederverwerten. I_{R1} wird in I_e umgeändert.

Spannungs-Stromwandler:

Um eine Spannung in einen Strom umzuwandeln bedient man sich eines modifizierten invertierenden Verstärkers. Um seine Eingänge auszugleichen muss, wie bei dem Invertierenden Verstärker, durch die Widerstände R_1 und R_2 der gleiche Strom fließen. R_L liegt dabei im Weg und der Operationsverstärker muss seine Ausgangsspannung so wählen, dass der Strom durch R_L groß genug ist, um die Eingänge auszugleichen. Um den möglichen



Bereich der Stromstärke zu vergrößern, wird der Strom noch aufgeteilt. Da zum Ausgleich der Eingänge nur der Ausgangsstrom beiträgt, ist der Lastwiderstand unbedeutend und darf sogar schwanken. Zu beachten ist, dass die Spannung, die den gewünschten Strom in R_L hervorruft, nicht höher als die Versorgungsspannung sein kann. Wäre das so, hätte man alle Energieprobleme der Welt gelöst! Der Lastwiderstand ist also nur in seiner maximalen Größe beschränkt.

Besondere Anwendungen des Spannungs-Stromwandlers

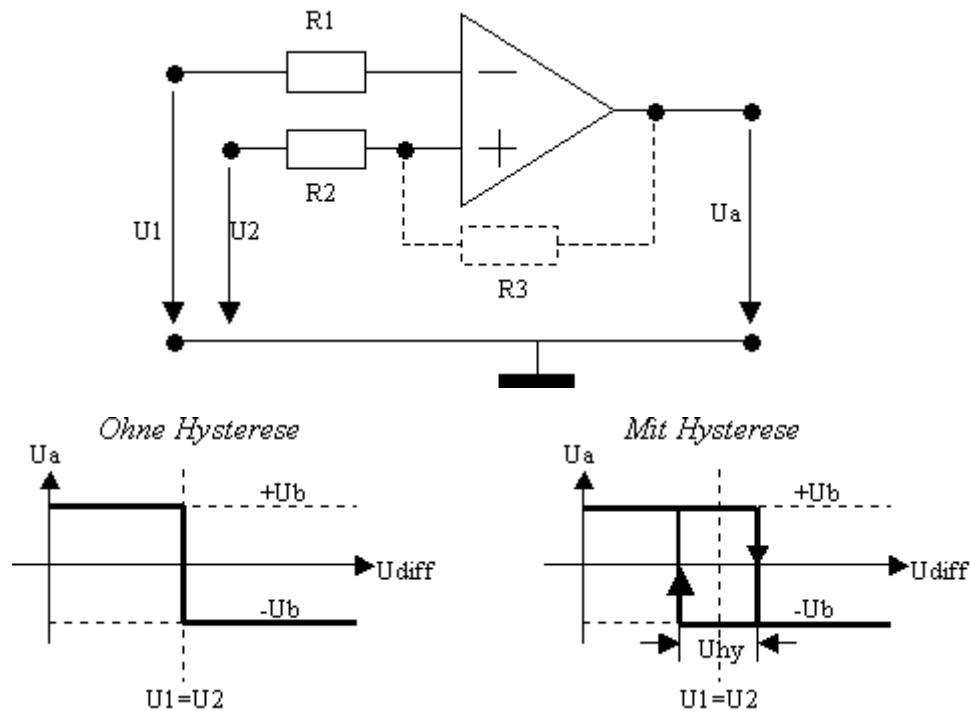
Stellt man die Eingangsspannung mit einem Potentiometer ein, so erhält man eine präzise Konstantstromquelle für geringe Ströme. R_L ist dann das Objekt, in dem der Strom konstant gehalten werden soll.

Eine weitere interessante Anwendung des Spannungs-Stromwandlers in Verbindung mit dem Strom-Spannungswandler ist die Übertragung von Spannungssignalen über größere Strecken. Der Strom innerhalb einer Leitung ist an allen Stellen gleich und kommt aus einer Leitung genau so heraus wie er hineingeschickt wurde. Es entstehen zwar Spannungs- und Leistungsverluste innerhalb der Leitung sowie Potentialunterschiede zwischen den Endgeräten, diese sind aber nicht störend, da nur der Strom gemessen wird. Störimpulse werden von dem sendenden OP ausgeglichen. Bei geschickter Dimensionierung können schwache Spannungen nahezu störungsfrei über einige hundert Meter übertragen werden und gleichzeitig in ihrer Amplitude angepasst werden. Das ist bei Anwendungen nützlich, bei denen die Sensoren in ungünstigen Umgebungen angebracht sind und die langen Leitungen elektromagnetischen Störungen und stark schwankenden Temperaturen ausgesetzt sind. (Beispiel: Temperatur- und Drucksensoren in einem Heizkraftwerk)

Spannungs-Komparator mit und ohne Hysterese:

Ein Komperator vergleicht ständig seine Eingangsgrößen und zeigt digital an, welcher Eingang die größere Spannung besitzt. Da ein Operationsverstärker einen nahezu unendlichen Verstärkungsfaktor besitzt, reicht eine geringe Eingangsspannungsdifferenz, um den Ausgang in die Sättigung gehen zu lassen. Der Ausgang der Schaltung kann nur die Zustände $+U_b$ und $-U_b$ annehmen. Versorgt man den Operationsverstärker mit $+5V$ und legt $-U_b$ auf Masse, so erhält man am Ausgang ein TTL-Signal zur digitalen Weiterverarbeitung.

Sind beide Eingangsspannungen annähernd gleich, so kippt der Ausgang bei der kleinsten Störung oder Veränderung hin und her. Um das zu vermeiden baut man eine Hysterese ein. Das bedeutet, dass bei einem bestimmten Pegel ausgeschaltet, und bei einem niedrigeren Pegel wieder eingeschaltet wird.



Der Ausgang der Schaltung kann nach wie vor nur $+U_b$ oder $-U_b$ annehmen. Der Spannungsteiler bestehend aus R_2 und R_3 teilt also das Signal entweder gegen die positive oder die negative Versorgungsspannung. Dadurch verschiebt sich der Umschaltunkt nach oben bzw. nach unten. Die Hysterese lässt sich mit folgender Formel berechnen, wobei es sich bei ΔU_a um die Differenz der beiden Versorgungsspannungen handelt:

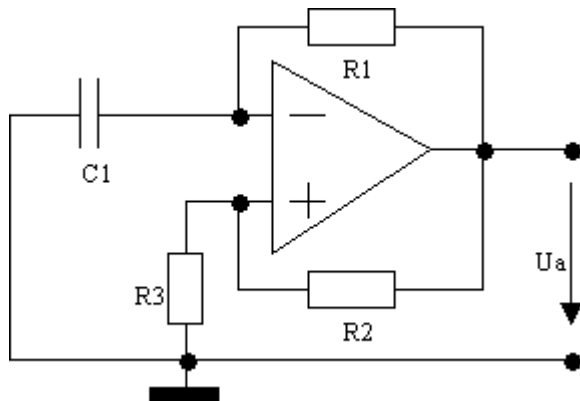
$$U_{hy} = \frac{R_2}{R_2 + R_3} \cdot \Delta U_a$$

R_1 ist nicht unbedingt notwendig, sollte aber den gleichen Wert wie R_2 besitzen, um kleine Messfehler durch den geringen Eingangsstrom des realen OPs auszugleichen.

Besondere Anwendung des Komparators:

Legt man das Potential einer der beiden Eingänge mit einem zum Spannungsteiler geschalteten Potentiometer fest, so erhält man einen einfachen Schwellwertschalter. So kann man mit einfachen Mitteln z.B. einen Dämmerungsschalter realisieren, Interrupts eines Mikrocontrollers bei bestimmten Bedingungen auslösen, usw.

Astabiler Multivibrator:



Zum besseren Verständnis gehen wir wieder mal davon aus, dass keine Spannungen anliegen und der Kondensator restlos entladen ist. Der Ausgang wird sofort nach dem Einschalten in einen der beiden möglichen Zustände kippen, da kleinste Spannungsdifferenzen an den Eingängen ausreichen, um den Ausgang in die Sättigung zu kippen. In der Praxis wird der OP wegen Symmetrieunterschieden bei der Fertigung beim Einschalten einen bevorzugten Zustand einnehmen.

Gehen wir davon aus, dass die Ausgangsspannung einen positiven Wert angenommen hat. Der Spannungsteiler aus R_2 und R_3 legt eine positive Spannung an den nichtinvertierenden Eingang des OPs an. Die Spannung an dem invertierenden Eingang wird von dem noch entladenen Kondensator auf Massepotential gehalten. Über R_1 lädt er sich langsam auf. Wird die Spannung des Kondensators größer als die des Spannungsteilers am nichtinvertierenden Eingang, so kippt die Ausgangsspannung ins Negative. Der Spannungsteiler legt nun eine negative Spannung an den nichtinvertierenden Eingang an, während der Kondensator langsam über R_1 in die andere Richtung umgeladen wird. Ist die negative Spannung am Kondensator größer als die negative Spannung des Spannungsteilers, so kippt der Ausgang wieder ins positive und der Vorgang wiederholt sich.

Es entsteht eine symmetrische Rechteckspannung, bei der die „Einschaltzeit“ genau so lange dauert, wie die „Ausschaltzeit“. Die Frequenz berechnet man mit folgender Formel:

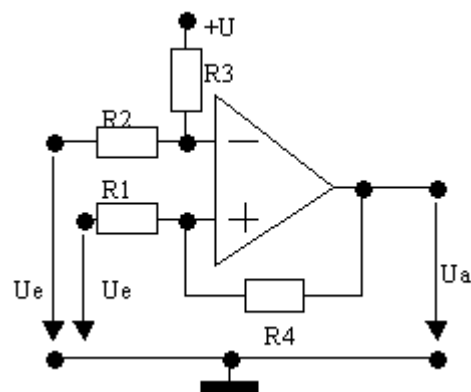
$$T = \frac{1}{f} = 2R_1 \cdot C_1 \cdot \ln\left(1 + \frac{2 \cdot R_3}{R_2}\right)$$

Den dazu passenden Widerstand R_1 berechnet man anschließend mit

$$R_1 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$$

Bistabiler Multivibrator:

Auch Flip-Flops kann man mit einem OP realisieren. Nach dem Anlegen der Versorgungsspannung kippt das Flip-Flop in eine der beiden möglichen Zustände. Wir gehen davon aus, dass der Ausgang zunächst negativ (LOW) ist. Über den Widerstand R_4 wird der nichtinvertierende Eingang negativ gehalten und damit wiederum den Ausgang negativ hält. Ein positiver Impuls an U_{e2} (SET) am nichtinvertierenden Eingang erzeugt eine positive Ausgangsspannung (HIGH). Über R_4 wird der nichtinvertierende Eingang positiv gehalten, was wiederum den Ausgang stabilisiert. Ein positiver Impuls (U_{e1}) an dem invertierenden Eingang (RESET) erzeugt ein negatives Signal an dem Ausgang (LOW), der wiederum durch die Rückkopplung mit R_4 gespeichert wird. Bei dieser Schaltung ist zu beachten, dass die Eingangssignale U_1



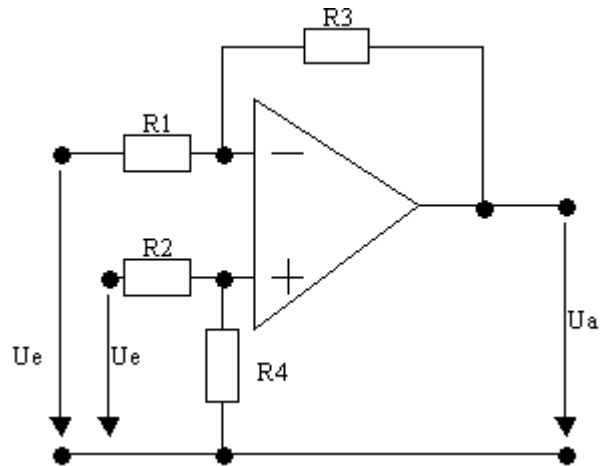
und U_2 deutlich stärker sind als die Rückkopplung durch R_4 . Der Widerstand R_3 hält den invertierenden Eingang auf einen definierten Pegel. Diese Schaltung findet in der Praxis äußerst selten eine Anwendung, da das Ausgangssignal symmetrisch und für Digitalschaltungen unbrauchbar ist. Ein asymmetrischer Betrieb ist leider nicht möglich.

Differenzverstärker:

An sich ist der OP schon ein richtiger Differenzverstärker. Dummerweise ist der Verstärkungsfaktor viel zu hoch und damit unbrauchbar. Diese Schaltung verringert unter Zuhilfenahme von zwei Spannungsteilern den Verstärkungsfaktor. Diese Schaltung funktioniert nur, wenn $R_1=R_2$ und $R_3=R_4$ sind, damit die Symmetrie der Eingangssignale stimmt.

Der Verstärkungsfaktor wird durch das Verhältnis R_1/R_3 bzw. R_2/R_4 bestimmt. Die Verstärkte Spannungsdifferenz ist nichts anderes als $U_{e2}-U_{e1}$. Die Ausgangsspannung berechnet sich wie folgt:

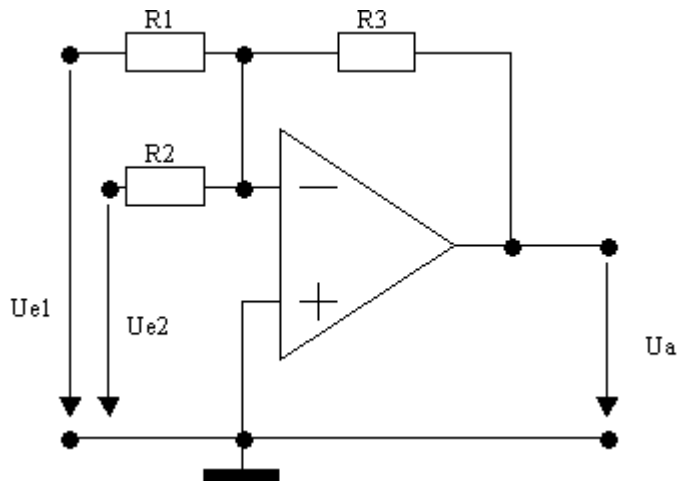
$$U_a = \frac{R_3}{R_1} \cdot (U_{e2} - U_{e1})$$



Summierverstärker:

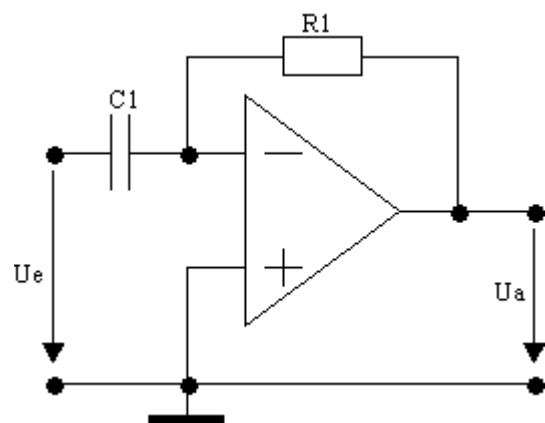
Ein Operationsverstärker kann auch Rechenoperationen durchführen. Der Summierverstärker beruht auf dem Prinzip des Invertierenden Verstärkers, mit dem Unterschied, dass der Eingangsstrom von zwei unterschiedlichen Signalquellen erzeugt wird. Die beiden einlaufenden Ströme addieren sich und werden wie gewohnt verstärkt.

$$U_a = -R_3 \cdot \left(\frac{U_{e1}}{R_1} + \frac{U_{e2}}{R_2} \right)$$



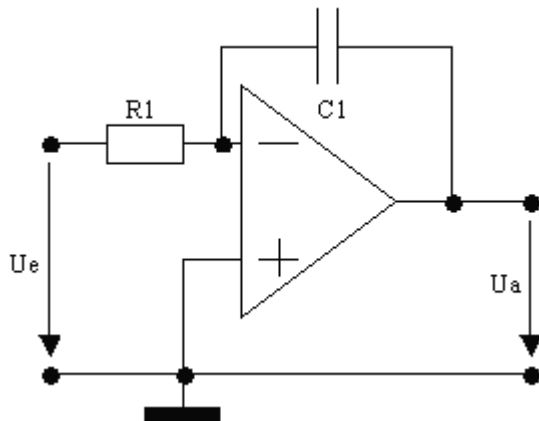
Differenzierer (Hochpaß):

Diese Schaltung beruht ebenfalls auf dem invertierenden Verstärker. Als Eingangswiderstand wird ein Kondensator eingesetzt, der Gleichspannungen und niedrige Frequenzen abblockt, also nur Ströme mit höherer Frequenz durchlässt, die wie beim invertierenden Verstärker weiterverarbeitet werden.



Gleichspannungsoffsets werden abgeblockt und tragen am Ausgangssignal nichts bei. Das Verfahren entspricht dem mathematischen differenzieren. Die Größe des Kondensators hängt natürlich von der gewünschten Grenzfrequenz, und die Ausgangsspannung zusätzlich noch von dem Verstärkungsfaktor der Schaltung ab.

Integrierer (Tiefpaß):



Auch diese Schaltung beruht auf dem invertierenden Verstärker. Nehmen wir mal eine gleich bleibende Eingangsspannung an. Um seine Eingänge ausgeglichen zu halten, muss der OP immer höhere Spannungen aufbringen, weil sich der Kondensator auflädt und eine Gegenspannung aufbaut. Im theoretischen Fall würde der Vorgang unendlich lange dauern können, während die Ausgangsspannung gegen unendlich gehen würde. Das entspricht rechnerisch einem über unendlich integrierten konstanten Wert. In der Praxis hat der OP

natürlich seine Grenzen durch die Versorgungsspannung, die man mit dem Überlaufen des Wertebereichs eines Taschenrechners vergleichen könnte. Diese Schaltung integriert ein angelegtes Signal über die Zeit und gibt das Ergebnis ununterbrochen aus.

$$U_a = -U_e \cdot \frac{1}{R1 \cdot \omega \cdot C1}$$

HINWEIS:

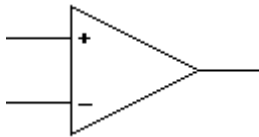
Diese einfachen Grundsaltungen vom Operationsverstärker sind (fast) 1zu1 von „<http://batronix.com/elektronik/know-how/index.shtml>“ übernommen worden – Rechtschreibfehler und meiner Meinung nach falsche Indizierung (Tippfehler) wurden korrigiert!

ACHTUNG: Hinweise deuten auf eventuell anders-/gleichartige Beschaltungen!

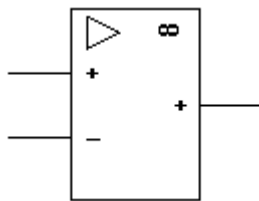
Erläuterungen:

- {1} Die Schaltung, in die der Operationsverstärker als aktives Element eingefügt wird, nennt man Beschaltung. [02, S.2/1.2]
- {2} Latch-Up-Effekte treten bei sehr steilen Gradienten auf und können den OP dazu bringen, dass sich die Ausgangsspannung an einer der beiden Betriebsspannungen „kleben“ bleibt und somit auf kein Eingangssignal mehr reagiert.
- {3} Die Unity-gain-bandwidth bezeichnet die Bandbreite bei der Verstärkung 1.
- {4} Rückkopplungen werden nach Mit- und Gegenkopplungen unterschieden. Bei Mitkopplungen kommt das gleiche Signal wieder am Eingang an. Bei der Gegenkopplung erfolgt die Rückkopplung mit umgekehrter Polarität und Phase.

Schaltzeichen:



normales Schaltzeichen (DIN?)



Schaltzeichen nach DIN 40900

Kenngößen des Operationsverstärkers

Offset-Spannung (engl. Input Offset Voltage)

Differenzspannung, die man eingangsseitig anlegen muss um am Ausgang eine Auslenkung aus der Ruhelage zu verhindern.

Offset-Strom (engl. Input Offset Current)

Differenz aus den Eingangströmen, die bei ausgangsseitiger Ruhelage fließen.

Temperaturkoeffizient (engl. Temperature Drift)

Einfluss der Temperatur auf Offset-Spannung und -Strom.

Eingangsstrom (engl. Input Bias Current)

Mittelwert aus den Strömen, die im Ruhezustand in beiden Eingängen fließen.

Eingangswiderstand (engl. Input Resistance/Impedance)

Widerstand eines Eingangs gegen Null, wenn der andere Eingang mit Null verbunden ist.

Eingangsspannungsdifferenz (engl. Differential Input Voltage)

Bereich der zulässigen Eingangsspannungen.

Leerlauf-Spannungsverstärkung (engl. Open Loop Voltage Gain)

Verhältnis zwischen Ausgangs- und Eingangsspannung, wenn keine Gegenkopplung besteht.

Ausgangswiderstand (engl. Output Resistance/Impedance)

Widerstand bei belastetem Ausgang. Gilt nur bei geringer Aussteuerung und ist frequenzabhängig.

Ausgangsspannungshub (engl. Output Voltage Swing)

Ausgangsseitige Aussteuerbarkeit bevor die Begrenzung eintritt.

Gleichtaktunterdrückung (engl. Common Mode Rejection Ratio)

Dämpfung, die Auftritt bevor das Signal verstärkt wird.

Stromaufnahme (engl. Supply Current)

Der Strom, den die Versorgungsspannung im Ruhezustand liefern muss.

Verlustleistung (engl. Power Consumption)

Die Gleichstromleistung, die der unbelastete Verstärker bei ausgangsseitiger Ruhelage aufnimmt.

Quellen:

- [01] <http://www.elektronik-kompodium.de/>
- [02] *Operationsverstärker - Eigenschaften und Anwendungen in linearen und nichtlinearen Schaltungen; H. Vahldiek; Thiemig Taschenbücher Band84; 3.Auflage*
- [03] <http://batronix.com/elektronik/know-how/index.shtml>
- [04] *Skript zu Grundlagen der Elektrotechnik II – Analoge Schaltungstechnik; Prof. Mönich; WS1992/93*
- [05] <http://www.elektronikinfo.de/strom/operationsverstaerker.html>