

Ultrakurzanleitung Operationsverstärker:

(T.Kagels, G.Quast, Okt 1999)

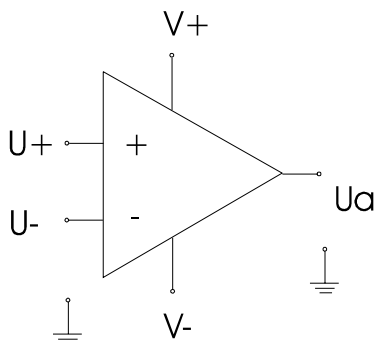
Ein OP ist ein Differenzverstärker, das heißt er hat zwei Eingänge und die Potentialdifferenz zwischen diesen beiden Eingängen wird verstärkt und an den Ausgang des OP gegeben.

Als Bezugspunkt des Potentials dient das „Nullpotential“ oder die „Masse“ des OP. Diese „Masse“ ist gegeben durch die Mitte zwischen der positiven und negativen Versorgungsspannung. Man stelle sich die Spannungsversorgung als zwei Batterien vor, die hintereinandergeschaltet sind. Der Pluspol dieser neuen Spannungsquelle kommt an den „Pluspol“ des OP (pos. Versorgungsspannung; V+), der Minuspol an die neg. Versorgungsspannung (V-). Die Kontakt zwischen den beiden Batterien ist dann der Kontakt, den man als Null-Potential bzw. Masse definiert. (Im Praktikum werden die beiden Batterien natürlich durch Netzgeräte ersetzt.)

Alle Punkte in den folgenden Schaltplänen, die als „Masse“ definiert sind, **müssen** mit diesem Kontakt verbunden werden, auch wenn das nicht mehr in die Schaltpläne eingezeichnet ist!

Alle Spannungen in den Schaltungen mit OP werden als Spannung in bezug auf die „Masse“ angegeben, d.h. Vorzeichen sind zu beachten!

Der OP hat zwei unterschiedliche Eingänge, einen nicht-invertierenden (U+) und einen invertierenden Eingang (U-). Der nicht-invertierende Eingang gibt die Spannung, die zwischen ihm und der Masse liegt, verstärkt an den Ausgang weiter. Der invertierende Eingang macht das gleiche, jedoch dreht er das Vorzeichen der Ausgangsspannung um. Insgesamt ist also die Ausgangsspannung die verstärkte Differenz der Eingangsspannungen U+ und U-.



Ohne äußere Beschaltung wirkt der OP wie ein Differenzverstärker, d.h. eine Spannungsdifferenz an den beiden Eingängen U₊ und U₋ wird verstärkt an den Ausgang U_a gegeben.

$$U_a = V_0 \cdot (U_+ - U_-)$$

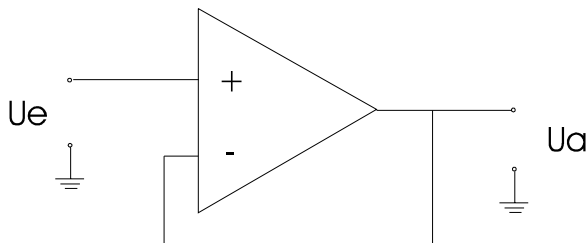
V₀ ist der Verstärkungsfaktor, der bis 10⁵ betragen kann. Die maximale Ausgangsspannung ist jedoch auf jeden Fall durch die Versorgungsspannung gegeben, d.h. die Eingangsspannung muß im mV oder µV Bereich liegen, um diese maximale Verstärkung nutzen zu können.

Der Verstärkungsfaktor ist jedoch für jeden OP herstellungsbedingt unterschiedlich, so daß man einen OP erst mit einer äußeren Beschaltung sinnvoll einsetzen kann; außerdem geht der OP bei den typischen zu messenden Spannungen im mV bis V Bereich zu schnell in Sättigung.

Der Eingangswiderstand eines OP ist extrem hoch (10⁷ bis 10¹² Ohm), so daß kaum Strom in ihn hineinfließt. Im folgenden werden einige OP-Beschaltungen vorgestellt, ohne jedoch z.B. das Zustandekommen der Verstärkungsfaktoren genauer zu erklären (s. Elektronik-Skript, Lehrbücher). Es sind viel eher „Kochrezepte“, wie die Schaltungen aufgebaut werden können und in welchen Bereichen sie sinnvoll eingesetzt werden können.

Die Stromversorgung wird in den Schaltplänen nicht mehr eingezeichnet.

Spannungsfolger:



Verstärkung=1

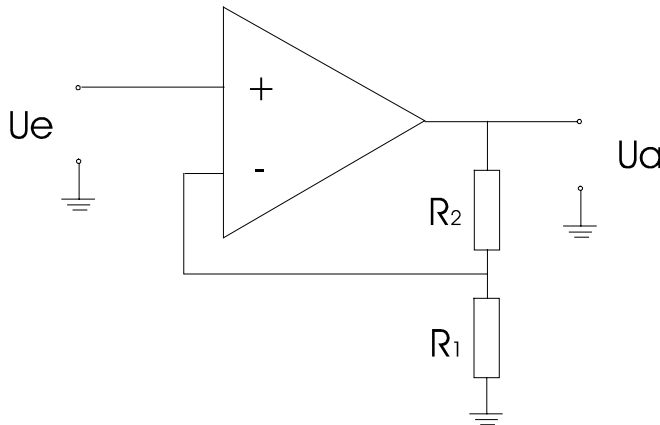
U_a = U_e

Wird der OP wie oben abgebildet beschaltet, wird das Signal, das an den Ausgang gelangt, auf den invertierenden Eingang zurückgekoppelt. Dadurch wird der Verstärkungseffekt des nicht-invertierenden Eingangs wieder aufgehoben. Das Ausgangssignal kann jetzt nur noch dem Potential folgen, das am +-

Eingang OP anliegt. Die Ausgangsspannung ist damit immer genau so groß wie die Eingangsspannung, die Spannung am Ausgang **folgt** dem Eingang.

Der Vorteil dieser Schaltung liegt darin, daß sie als Impedanzwandler wirkt: auf der Eingangsseite herrscht ein sehr hoher Innenwiderstand (MOhm-Bereich), während der Ausgang einen vernachlässigbar kleinen differentiellen Innenwiderstand im mOhm-Bereich hat, d.h. eine angeschlossene Last führt kaum zu Spannungsänderungen am Ausgang. Typische Ausgangsströme können bis zu einigen 10 mA betragen. Das Eingangssignal kann also am Ausgang gemessen werden, ohne es zu belasten, es findet also eine beträchtliche Leistungsverstärkung statt.

Nicht-invertierender Verstärker:

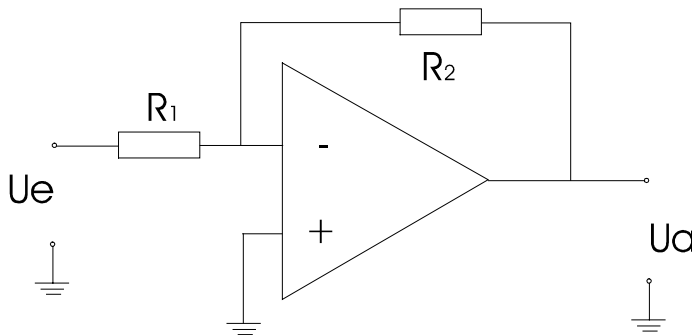


$$U_a = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot U_e$$

Eingangswiderstand: >M Ohm

Koppelt man nur einen Teil des Ausgangssignals auf den invertierenden Eingang zurück, so bleibt ein gewisser Anteil an Verstärkung durch den nicht-invertierenden Eingang erhalten. Die resultierende Verstärkung ist dabei praktisch allein durch die äußere Beschaltung gegeben. Durch Veränderung des Widerstandsverhältnisses von R1 und R2 können damit beliebige Verstärkungen erzielt werden. Der hohe Eingangswiderstand des OP bleibt bei dieser Schaltung erhalten, am Ausgang kann eine wesentlich größere Leistung abgenommen werden als am Eingang.

Invertierender Verstärker:



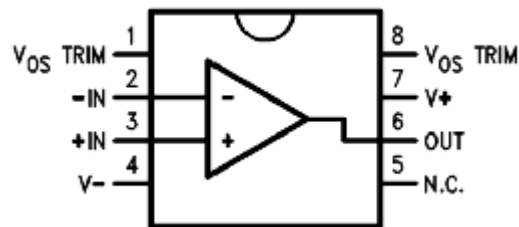
$$U_a = -\frac{R_2}{R_1} \cdot U_e$$

Eingangswiderstand:
Ri = R1

Bei dieser Beschaltung ist die Verstärkung wieder nur durch die äußeren Widerstände R1 und R2 gegeben, das Vorzeichen der Ausgangsspannung wird jedoch umgedreht. Wichtig ist hier jedoch der veränderte Eingangswiderstand: anders als beim nicht-invertierenden Verstärker ist der Eingangswiderstand nicht mehr durch den Innenwiderstand des OP gegeben, sondern wird durch den Widerstand R1 festgelegt. Dies hat den Vorteil, daß man den Eingangswiderstand der Verstärkerschaltung an den Ausgangswiderstand einer (sehr schwachen) Signalquelle anpassen kann und dadurch eine maximale Signalausnutzung erreicht. Dies ist wichtig, um Rauschen zu unterdrücken.

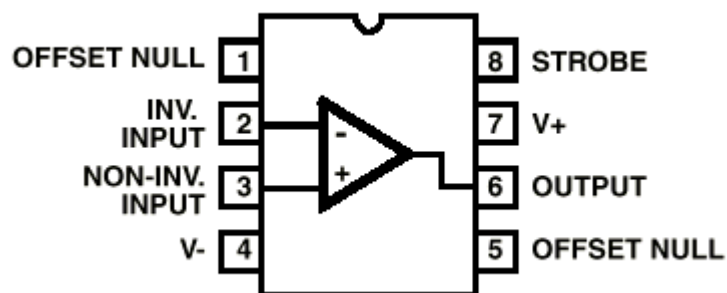
Die Pinbelegung beim OP 07

(rauscharm, hohe Leerlaufverstärkung, für Spannungsmessung im μV -Bereich)



Die Pinbelegung beim CA 3160

(hochohmig, $R_i \approx 10^{13} \Omega$)



Die Pinbelegung ist bei beiden OPs nahezu identisch, bis auf kleine Unterschiede beim „Offset-Abgleich“, der wichtig wird, wenn man den OP (meistens OP07) für einen hohen Verstärkungsfaktor benutzt. Hierbei werden geringe Offset-Spannungen der Eingangsstufe mitverstärkt und das eigentliche Signal kann möglicherweise nicht mehr angezeigt werden, da natürlich die Ausgangsspannung nicht größer als die Betriebsspannung sein kann. Um einen Offset-Ausgleich durchführen zu können, muß ein zusätzliches Potentiometer ($100 \text{ k}\Omega$) hinzugeschaltet werden. Dazu wird beim CA3160 der Mittelabgriff des Potis mit Pin Nr. 7 verbunden und die beiden anderen Abgriffe des Potis an Pin Nr. 1 und Nr. 8 angeschlossen. Beim OP 07 wird der Mittelabgriff an Pin Nr. 4 angeschlossen und die beiden anderen Abgriffe des Potis werden mit Pin Nr. 1 und Nr. 5 verbunden.