

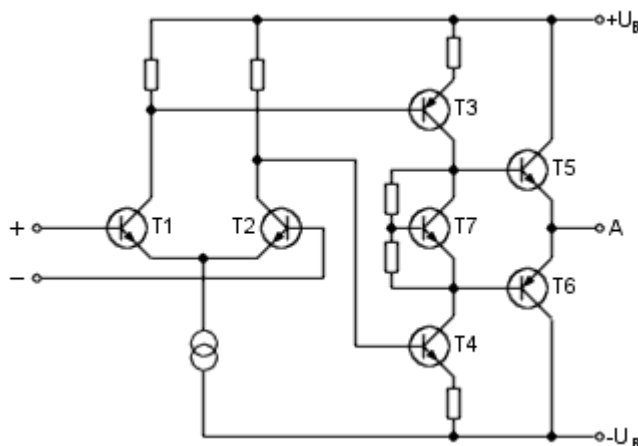
Referat Operationsverstärker Wintersemester 2004/2005.....	1
Prinzipieller Aufbau eines OPs.....	1
Grundsaltungen eines OPs mit dazugehörigen Kennlinien.....	2
Frequenzverhalten eines OPs.....	2
Vergleich zwischen realem und idealem OP.....	3
Verschiedene Beschaltungen von OPs.....	4
Invertierender Verstärker.....	4
Nichtinvertierender Verstärker.....	5
Addierer.....	5
Integrierer.....	6
Differenzierer	7

Referat Operationsverstärker Wintersemester 2004/2005

Was ist ein Operationsverstärker?

Ein Operationsverstärker (OP) ist ein aktives Bauteil, das Spannungsunterschiede verstärkt. Da der Eingangswiderstand sehr groß (im $M\Omega$ -Bereich) ist, arbeitet der OP im Gegensatz zum Transistor auch mit sehr kleinen Eingangsströmen. Der OP hat zwei Eingänge und einen Ausgang. Der Unterschied zwischen den beiden Eingangsspannungen liegt am Ausgang verstärkt an. Da die Verstärkung des OPs sehr hoch ist (ungefähr 10^5), schaltet er schon bei sehr niedrigen Spannungsunterschieden in die Sättigung. Wegen Spannungsabfällen im Innern des OPs erreicht der Ausgang bei Sättigung meist nicht den Wert der Betriebsspannungen, sondern liegt um ungefähr 1,5 V tiefer bzw. höher. Aus den Datenblättern der einzelnen OPs kann man herausfinden, ob der OP nur mit einer symmetrischen Betriebsspannung arbeiten kann, oder auch mit einer beliebigen. Wie hoch der Wert der Betriebsspannungen oder um wie viel größer die Eingangsspannung als die Betriebsspannung höchstens sein kann, entnimmt man ebenfalls den Datenblättern.

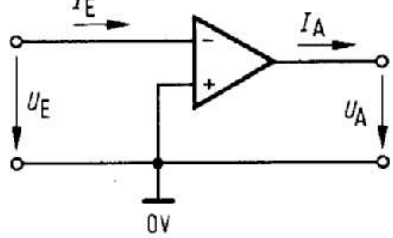
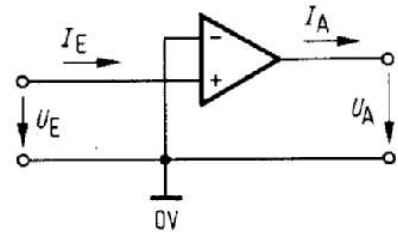
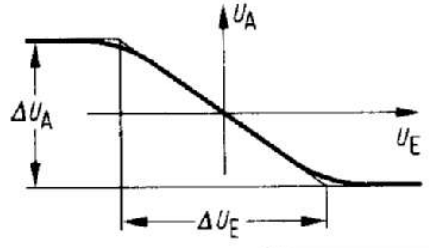
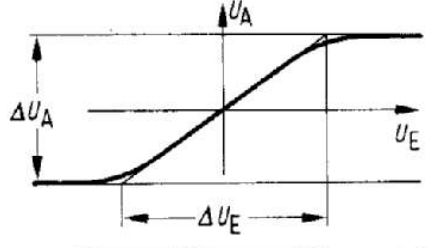
Prinzipieller Aufbau eines OPs



Die Transistoren T1 und T2 steuern in Emitterschaltung auf eine Stromquelle, die den Strom begrenzt und bilden mit den Kollektorwiderständen den Differenzverstärker. Die Transistoren T3 und T4, die mit ihren Kollektoren aufeinander geschaltet sind, fassen die beiden Ausgangssignale des Differenzverstärkers zu einem einzigen zusammen. Der Transistor T7

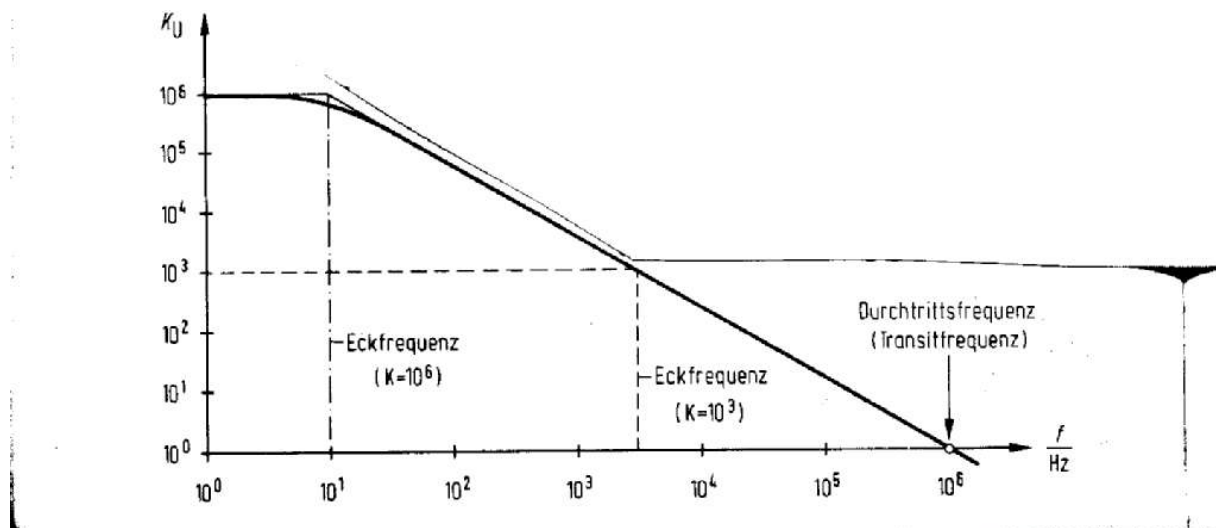
hebt den Spannungsunterschied an, damit an den Endtransistoren T5 und T6 genug Spannung anliegt, um auch bei Spannungsunterschieden sehr nah bei Null noch zu arbeiten. Damit ein OP eine hohe Güte haben kann, müssen die Transistoren T1 und T2 sich absolut identisch verhalten.

Grundsaltungen eines OPs mit dazugehörigen Kennlinien

	invertierende Schaltung	nichtinvertierende Schaltung
Schaltung		
Kennlinie		
typ. Werte	$\Delta U_E \approx 250 \mu V$	$\Delta U_A \approx 25 V$

Es werden durch die sehr große Verstärkung schon kleine Spannungsunterschiede deutlich verstärkt. Natürlich kann am Ausgang höchstens die Betriebsspannung, mit der der OP arbeitet, anliegen. Bei einem realen OP gehen die Kennlinien nicht direkt durch den Nullpunkt. Das bedeutet, dass bei einer Spannungsunterschied von 0V an den beiden Eingängen am Ausgang eine Spannung anliegt, die nicht 0V beträgt. 0V liegen dann am Ausgang bei einer kleinen Spannungsunterschied an. Dem kann man entgegenwirken, indem man an den einen Eingang einen Spannungsteiler davor schaltet, der diese kleine Spannungsunterschied zwischen den beiden Eingängen einstellt. Die obigen Schaltungen nennt man Komparatorschaltungen, da zwei Spannungen verglichen werden, und der OP bei einer bestimmten Spannung (in diesen Fällen 0V) am Ausgang von der negativen Betriebsspannung auf die positive Betriebsspannung bzw. andersherum wechselt.

Frequenzverhalten eines OPs



Die Verstärkung eines OPs nimmt mit zunehmender Frequenz ab, da die Transistoren im Innern des OP eine bestimmte Zeit zum Schalten brauchen. Wenn nun die Frequenz der Eingangsspannungen ansteigt, wird die Zeit, in der sich der OP auf eine bestimmte Ausgangsspannung einstellen kann, geringer, was dazu führt, dass die Verstärkung abnimmt. Durch verschiedene kompliziertere Beschaltungen im Innern des OPs kann man den Verstärkungsabfall begrenzen. So gibt es verschiedene OPs die mit verschiedenen Frequenzen unterschiedlich gut umgehen können.

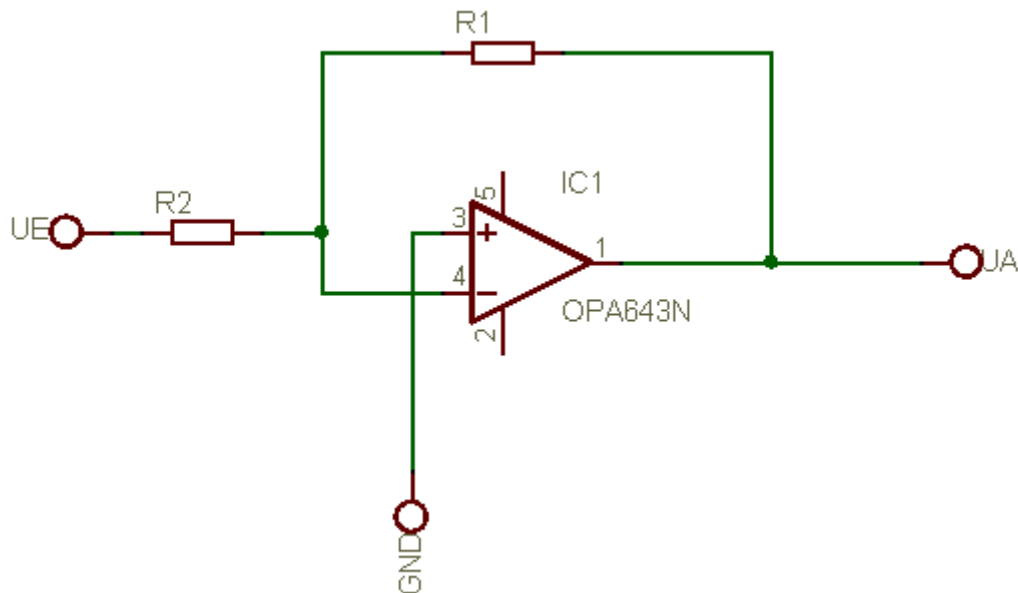
Vergleich zwischen realem und idealem OP

	Idealer OPV	Realer OPV
Leerlaufverstärkung K_u	$\rightarrow \infty$	10^5
Eingangsstrom I_e	$\rightarrow 0$	nA-Bereich
Eingangswiderstand R_e	$\rightarrow \infty$	M Ω -Bereich
Ausgangswiderstand R_a	$\rightarrow 0$	

Da der Eingangswiderstand eines idealen OPs gegen ∞ geht, ist der Eingangsstrom eines solchen OPs auch 0A groß. Diese Annahme ist wichtig für die spätere Berechnung der Verstärkerschaltungen. Bei realen OPs haben der Eingangswiderstand und auch die Verstärkungen zwar einen sehr hohen aber doch einen endlichen Wert, was dazu führt, dass in einen realen OP ein Eingangsstrom im nA-Bereich oder ein noch geringerer fließt.

Verschiedene Beschaltungen von OPs

Invertierender Verstärker



Wenn der Ausgang auf den invertierenden Eingang zurückgekoppelt wird, spricht man von einer Gegenkopplung. Bei einer Gegenkopplung stellt sich eine Differenzspannung der beiden Eingänge von 0V ein, denn wenn die Spannung am nichtinvertierenden Eingang größer wird, wird auch die Spannung am Ausgang größer und wegen der Gegenkopplung wird dann auch die Spannung am invertierenden Eingang größer. Dadurch stellt sich bei einer Gegenkopplung zwischen den beiden Eingangsspannungen immer eine Differenzspannung von 0V ein.

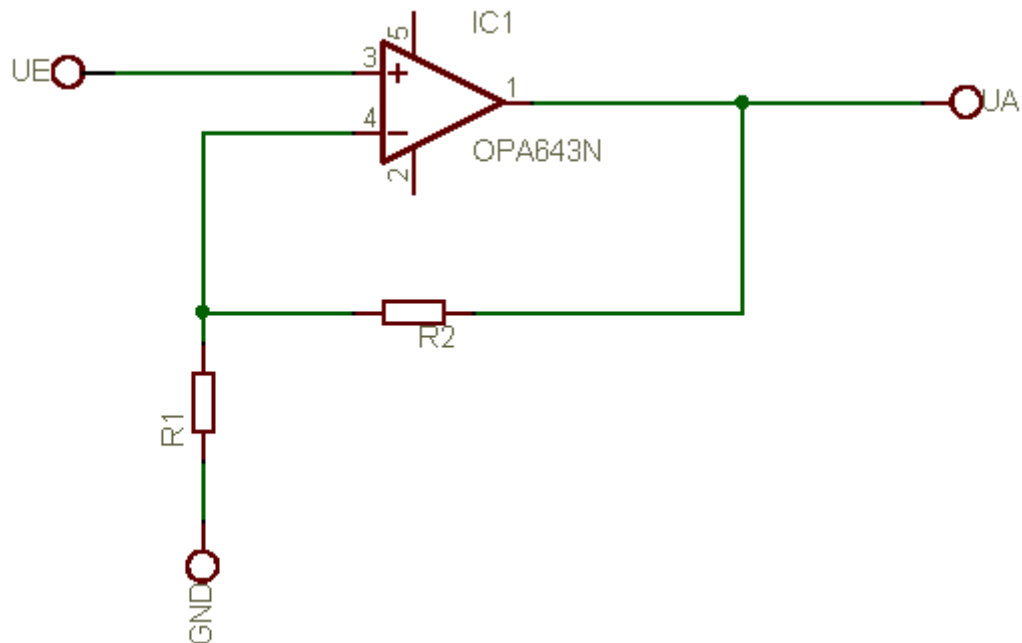
Da in den idealen OP kein Strom reinfließt, ist der Strom durch die beiden Widerstände gleich groß. Da die Spannungsdifferenz der Eingänge 0V beträgt, fällt über dem Widerstand R1 die Spannung UE ab und über dem Widerstand R2 die Spannung UA.

Es gilt also

$$U_E/R_1 = -U_A/R_2 \Rightarrow U_A = -U_E(R_2/R_1)$$

Das Verhältnis der Widerstände ist also gleich der Verstärkung dieser Schaltung.

Nichtinvertierender Verstärker



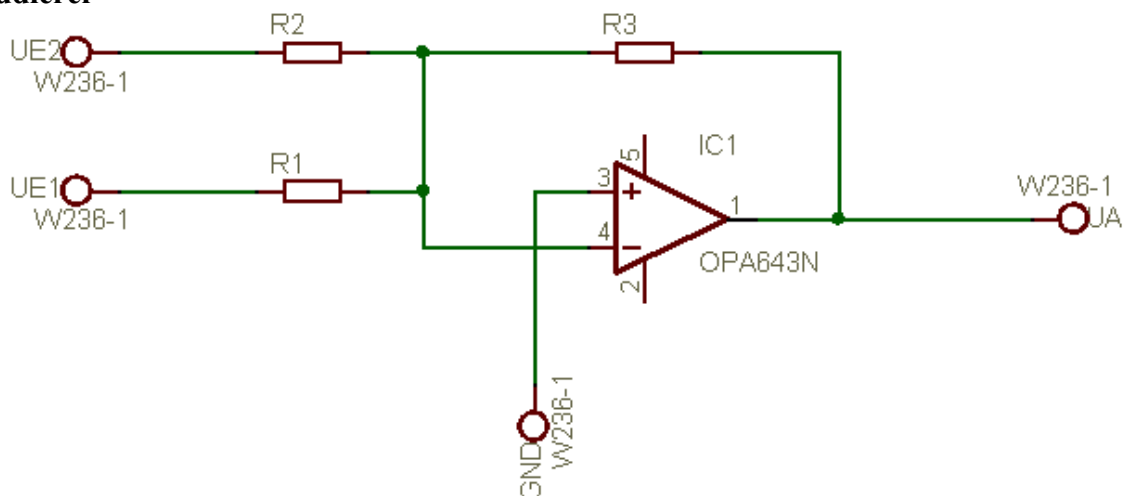
Da der Eingangsstrom des OPs Null ist, ist der Strom durch die beiden Widerstände gleich groß. Da die Spannungsdifferenz der beiden Eingangsspannungen Null ist, da wieder eine Gegenkopplung vorliegt, fällt über dem Widerstand R_1 die Spannung U_E ab und über beiden Widerständen die Spannung U_A .

Es gilt also:

$$U_E/R_1 = U_A/(R_1 + R_2) \Rightarrow U_A = U_E(R_1 + R_2)/R_1 = U_E(1 + R_2/R_1)$$

Die Verstärkung ist also um 1 größer als das Verhältnis der Widerstände.

Addierer



Beim Addierer ist die Summe der beiden Ströme durch die Widerstände R1 und R2 gleich dem Strom durch den Widerstand R3, da auch hier wie in den vorigen Beispielen eine Gegenkopplung vorliegt.

$$I_1 + I_2 = I_3$$

Daraus ergibt sich:

$$I_1 = U_{E1}/R_1 \quad I_2 = U_{E2}/R_2 \quad I_3 = -U_A/R_3$$

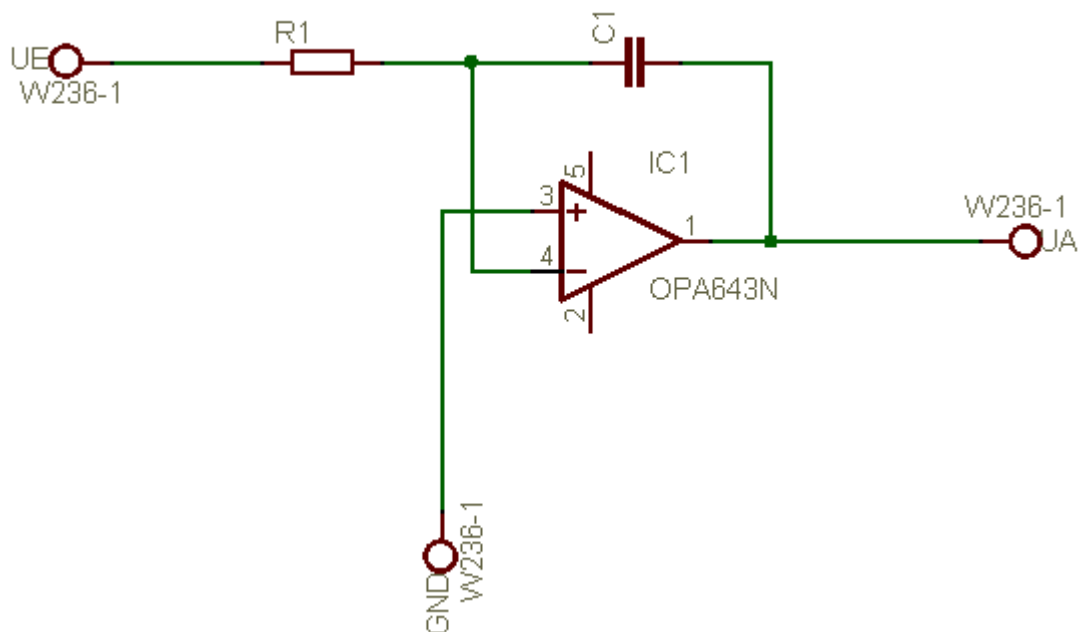
$$U_{E1}/R_1 + U_{E2}/R_2 = U_A/R_3$$

$$U_A = -R_3(U_{E1}/R_1 + U_{E2}/R_2)$$

Für den Sonderfall $R_1 = R_2 = R_3$ gilt:

$$U_A = -(U_{E1} + U_{E2})$$

Integrierer



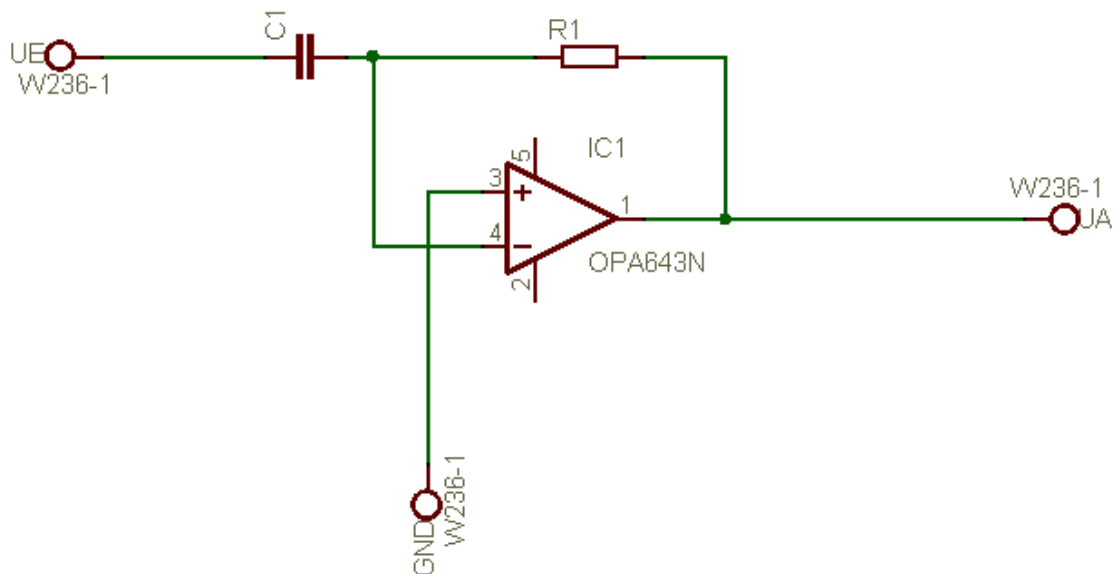
Es gelten die gleichen Bedingungen für die Gegenkopplung wie beim invertierenden Verstärker. Allerdings gilt für den Strom durch den Kondensator C1:

$$I = C_1(dU_A/dt).$$

Daraus ergibt sich:

$$C1(dU_A/dt) = U_E/R1 \Rightarrow U_A = -1/\tau \int U_E dt, \text{ mit } \tau = C1R1$$

Differenzierer



Mit den in den vorigen Schaltungen beschriebenen Bedingungen für einen idealen OP ergibt sich für die Ausgangsspannung dieser Beschaltung:

$$U_A/R1 = C1(dU_E/dt) \Rightarrow U_A = -\tau(dU_E/dt), \text{ mit } \tau = C1R1$$

Quellen:

Zirpel, Operationsverstärker; Franzis-Verlag, 1976

Internet: www.elektronikinfo.de

Grundlagen der Elektrotechnik 2; Analoge Schaltungstechnik; Prof. Mönich; WS 1992/93