

Leseprobe aus Kapitel 8 ‚Elektronik‘ des Buchs

‚Strukturbildung und Simulation technischer Systeme‘

Weitere Informationen zum Buch finden Sie unter strukturbildung-simulation.de

Im vorherigen Abschnitt wurde gezeigt, dass der Operations-Verstärker (OpAmp, OP) eine reale steuerbare Spannungsquelle mit Differenz-Eingängen und sehr hoher Differenz-Verstärkung ist. Nun soll gezeigt werden, wie man daraus durch Gegenkopplung einen invertierenden und einen nicht-Invertierenden Verstärker macht. Deren Spannungs-Verstärkung wird durch den Spannungs-Teiler in der Rückkopplung definiert, ihre Ausgangs-Spannung ist - bis die Strombegrenzung einsetzt – nahezu Belastungs-unabhängig.

8.6.3 Der Nicht-invertierende OpAmp

Die Bezeichnung ‚nicht-invertierend‘ zeigt, dass die Invertierung bei der Verstärkung als der Normalfall angesehen wird. Das lässt sich dadurch begründen, dass man aus der Hintereinanderschaltung zweier Inverter einen Nicht-Inverter machen kann, aber niemals einen Inverter aus Nicht-Invertern.

Von der Hintereinanderschaltung mehrerer Inverter im Inneren des OP’s ist hier nichts zu erkennen. Es interessieren nur die Schaltungseigenschaften bei proportionaler Gegenkopplung und Ansteuerung am positiven Eingang.

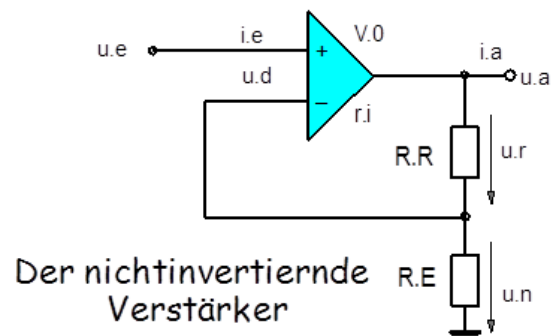
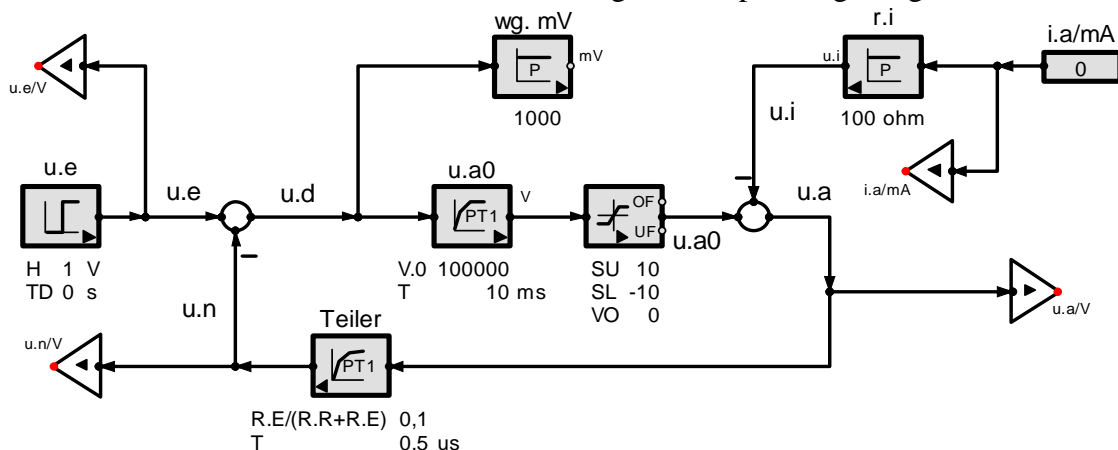


Abb. 8.6.3-1 Schaltung eines nichtinvertierenden OP’s mit proportionaler Beschaltung

Die Struktur des nicht-invertierenden Verstärkers zeigt einen Spannungs-Regelkreis:



Struktur 7-26 Op-Amp\4 ni-Verstärker: Definierte Spannungsverstärkung entsteht durch einen Spannungsteiler, der mit dem OP einen Regelkreis für die Ausgangsspannung u.a bildet.

Verstärker-Daten (statisch)

Leerlauf-Verstärkung

$$v.0 = u.a/u.d \approx 10V/0,1mV = 100\ 000$$

Differenz-Eingangswiderstand

$$r.Diff = u.Diff/i.Diff > 1mV/nA = 1M\Omega$$

Ausgangs-Widerstand

$$r.i = -u.a / i.a < 1V/10mA = 100\Omega$$

Strom-Rückwirkung

$$v.r = i.Diff/i.a = 0$$

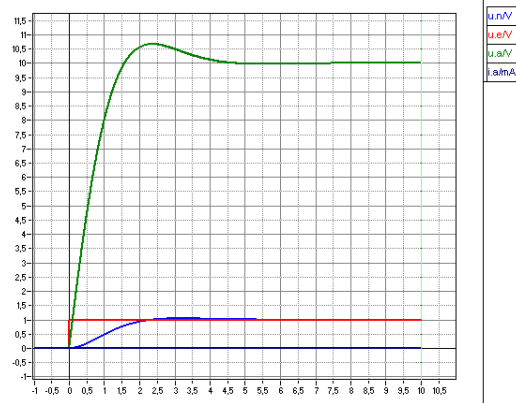


Abb. 8.6.3-2 Sprungantwort eines nichtinvertierenden Verstärkers.

Symmetrische Versorgung von Sensor-Schaltungen mit nur einer Batterie

Zur Erzeugung einer symmetrischen Versorgung (+U.B und -U.B) wird die Spannung U.Batt einer Batterie durch einen Teiler halbiert. Damit die Teilung belastbar wird, schaltet man einen Impedanzwandler nach. Sein Ausgang wird zum Schaltungs-Nullpunkt GND.

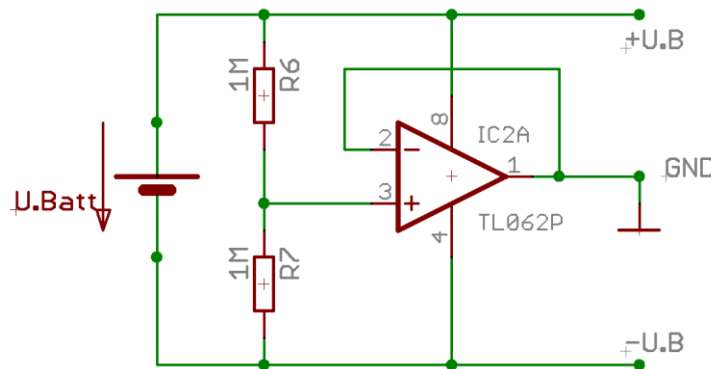


Abb. 7-105 Künstlicher Nullpunkt durch die Halbierung der Versorgungs-Spannung

8.6.4 Der invertierende OpAmp

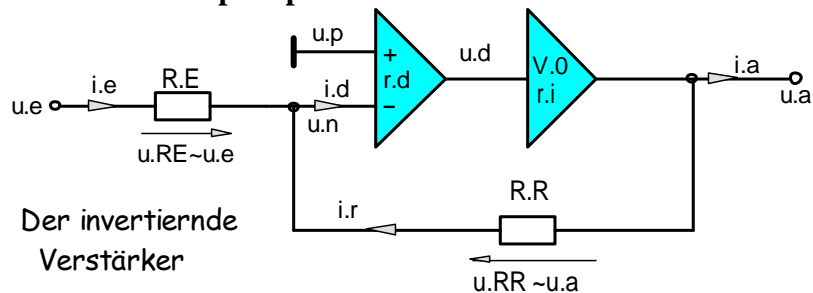
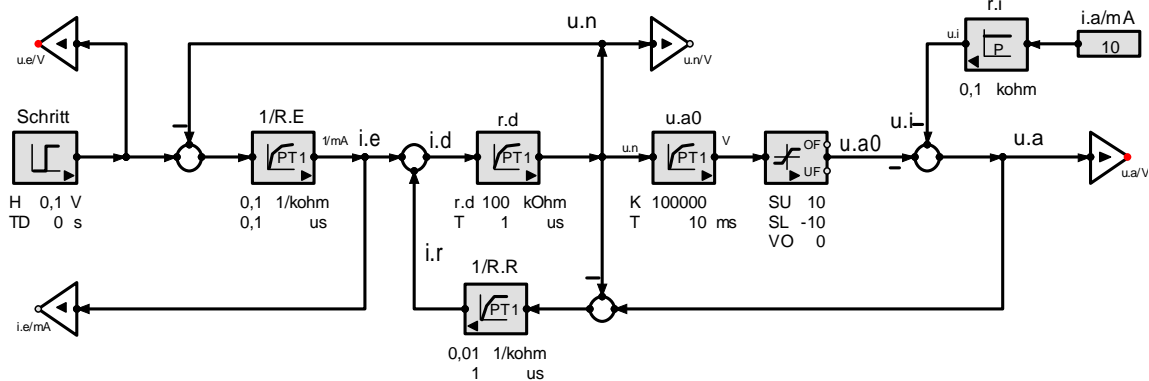


Abb. 8.6.4-1 Im invertierenden Betrieb liegt der nichtinvertierende Eingang auf Null-Potenzial. Da der OP bei Gegenkopplung seine Differenzspannung sehr klein macht, liegt der invertierende Eingang ebenfalls bei null. Dieser ‚virtuelle‘ Nullpunkt bildet eine rückwirkungsfreie Summierstelle für Ströme. Sie hat, bei ihrer Einführung in den vierziger Jahren des letzten Jahrhunderts, die Analoge Schaltungstechnik revolutioniert.

Der invertierende Verstärker realisiert die Spannungs-Regelung durch Strom-Vergleich:



Struktur 7-27 inv-Verstärker: Beim invertierenden Verstärker wird die Ausgangsspannung durch Stromvergleich geregelt. Da die OP-Eingangsspannung $u.n$ gegen Null geht, bestimmt allein die äußere Beschaltung – üblicherweise mit passiven Präzisions-Bauelementen (hier $R.R$ und $R.E$) die Eigenschaften der Schaltung.

Verstärker-Daten (statisch)

Leerlauf-Verstärkung

$$v.0 = u.a/u.d \approx 10V/0,1mV = 100\,000$$

Differenz-Eingangswiderstand

$$r.Diff = u.Diff/i.Diff > 1mV/nA = 1M\Omega$$

Ausgangs-Widerstand

$$r.i = -u.a / i.a < 1V/10mA = 100\Omega$$

Strom-Rückwirkung

$$v.r = i.Diff/i.a = 0$$

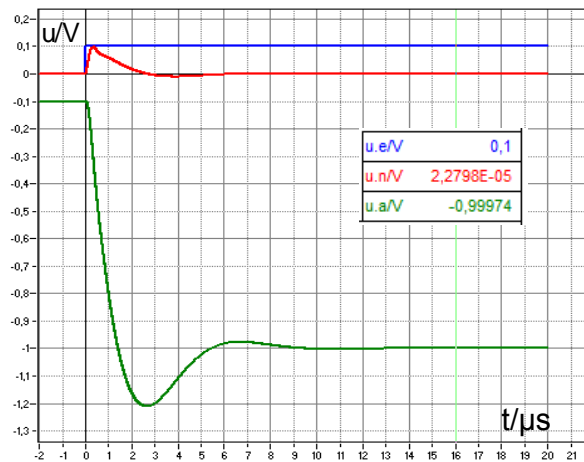


Abb. 7-107 Sprungantwort eines invertierenden OP's: blau = $u.e$, rot = $u.a$

Symmetrische Referenz-Spannungen

Zur Versorgung von Sensor-Schaltungen, die oft nur Signale im mV-Bereich abgeben, werden Temperatur-stabile Spannungen oder Ströme benötigt. Der Temperaturgang gängiger **Spannungs-Regler** (7812 für +12V, 7912 für -12V) beträgt bis zu **einigen mV/K**. Das ist für die meisten elektronischen Analog-Schaltungen völlig ausreichend, für Sensor-Schaltungen aber oft nicht. Daher stellt die Industrie integrierte Schaltkreise für stabilste Spannungen her (z.B.der MAX6350 für ca.5€: 5V mit einem TK von 1ppm/K – entsprechend **5μV/K**). Solch ein Aufwand ist jedoch meist unnötig, insbesondere wenn man die Sensoren als **Messbrücken** schaltet und sie **symmetrisch versorgt**. Ein Beispiel dafür ist der Hallspannungs-Verstärker aus Kapitel 10. Ein zweites Beispiel mit Dehnungs-Mess-Streifen folgt im nächsten Abschnitt im Zusammenhang mit dem Differenz-Verstärker.

Zum Bau zweier symmetrischer Referenz-Spannungen könnte man zwei Referenz-Dioden verwenden. Die müssen dann aber oft noch durch zwei Impedanz-Wandler gepuffert werden. Besser ist es daher, man verwendet nur eine Referenz und invertiert ihre Spannung. Dann kann die gewünschte Referenz-Spannung durch einen Widerstand (R2) eingestellt werden.

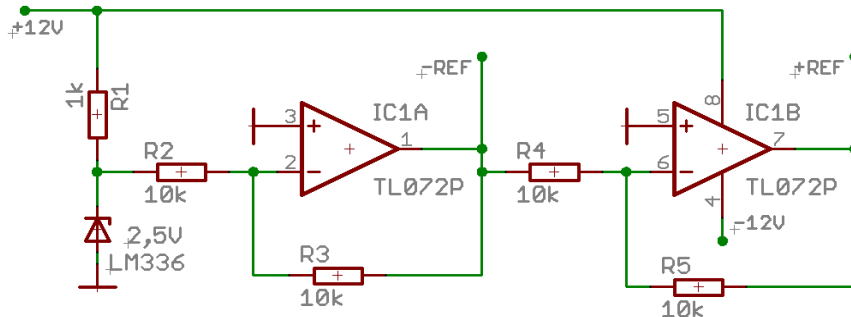


Abb. 7-108 Erzeugung symmetrischer Referenz-Spannungen durch Invertierung

Diese Schaltung hat gegenüber einer Lösung mit zwei Referenz-Dioden folgende Vorteile:
Gut für die Versorgung für Messbrücken

- + keine zusätzlichen Messfehler durch Gleichtakt-Verschiebung
- + geringster Temperaturgang durch symmetrische Arbeitspunkte

Spannungs-gesteuerte Stromquelle

Anwendung: Ohm-Meter (Widerstands-Messer). R.1 bestimmt den Mess-Bereich

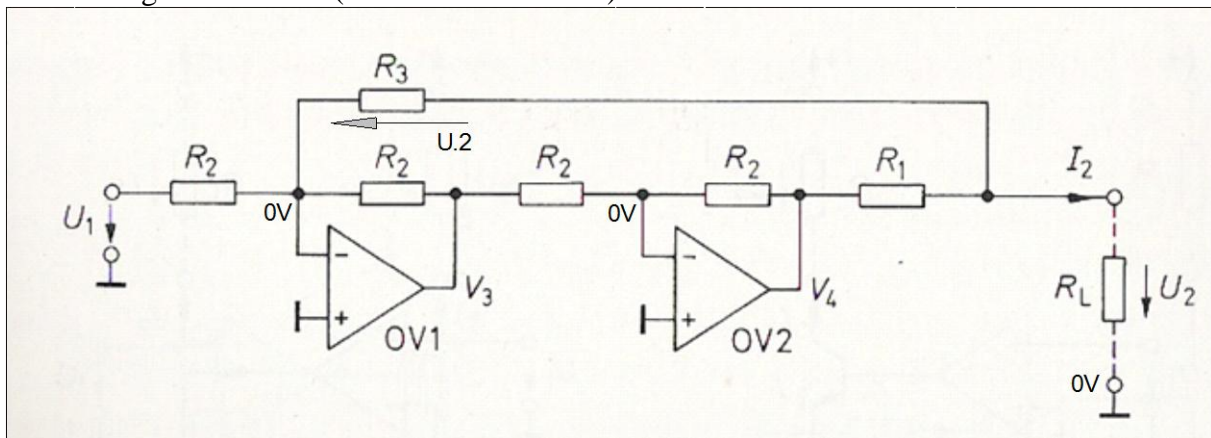


Abb. 7-109 Steuerbare Strom-Quelle

Funktion der Spannungs-gesteuerten Stromquelle:

Solange die Ausgangs-Spannung u_2 noch nicht an die durch die Versorgungs-Spannung bestimmten Grenzen stößt (z.B. 10V bei einer Versorgung von 12V), wird dem Lastwiderstand R_2 der Ausgangs-Strom $i_2 = u_1/R_1$ eingeprägt

Bei $U_2=0$ wird $I_2 = U_1/R_1$.

Steigt U_2 , so steigt auch V_4 , sodass I_2 konstant gehalten wird.