

## U-I Konverter für 6 bis 38V Versorgungsspannung

# HV-Operationsverstärker vereinfachen 4-20 mA Stromschleifen

In der industriellen Regelungs- und Steuertechnik finden Stromschleifen seit langer Zeit Anwendung, da sie relativ störunempfindlich sind. Von Sensoren werden damit Informationen zur SPS/CPU geschickt oder von dort zu einem Aktor. Am häufigsten werden hierbei 4-20 mA Stromschleifen verwendet, doch  $\pm 20$  mA Schleifen sind in diesem Umfeld auch anzutreffen. Mit hochspannungsfähigen Operationsverstärkern, die gleichzeitig noch einen hohen Ausgangsstrom liefern können, lassen sich Signalspannungen relativ einfach in solche  $\pm 20$  mA oder 4-20 mA Stromschleifen umwandeln.

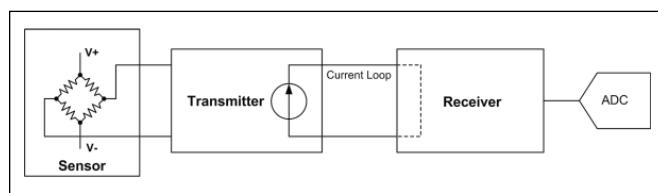


Bild 1: Aus diesen Komponenten besteht eine einfache Stromschleife.

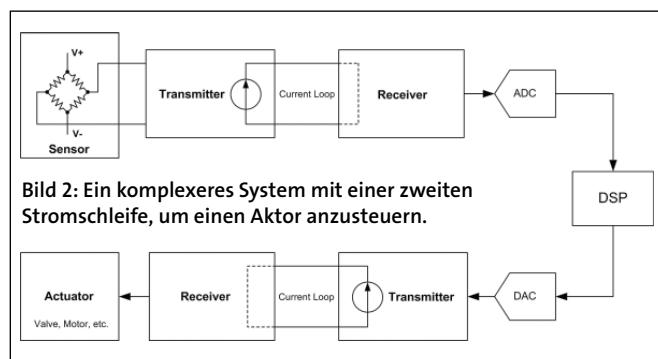


Bild 2: Ein komplexeres System mit einer zweiten Stromschleife, um einen Aktor anzusteuern.

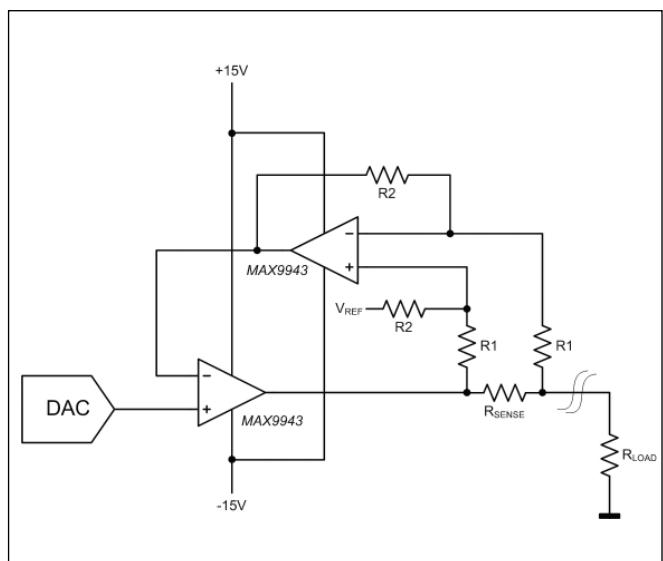


Bild 3: Dieser U-I Konverter formt die Ausgangsspannung des DA-Wandlers in einen Laststrom um.

Eine typische Stromschleife besteht aus Sensor, Transmitter, Receiver, AD-Wandler (ADC) oder Mikrocontroller ( $\mu$ C) und einer Stromversorgung (Bild 1). Der Sensor misst einen physikalischen Wert, wie zum Beispiel die Temperatur, und wandelt diese in einen Spannungswert um. Der Transmitter formt den Spannungswert anschließend in einen proportionalen 4 mA bis 20 mA Strom um, während der Receiver das Stromsignal wieder in eine Spannung zurückwandelt. Mit einem ADC lässt sich dann der vom Receiver gelieferte Spannungspegel mit einem ADC digitalisieren. Die Stromversorgung kann entweder im

Transmitter oder im Receiver angesiedelt sein.

Bei der in einer Stromschleife übertragenen Information handelt es sich um eine Strommodulation. In einem 4-20 mA System wird der Nullwert eines Signals üblicherweise durch 4 mA dargestellt und der Vollausschlag durch den 20 mA Wert. Dadurch kann eine Leitungsunterbrechung (0 mA) leicht detektiert werden.

Stromschleifen sind von Natur aus unempfindlicher gegen Rauschen als spannungsmodulierte Signale, dadurch eignen sie sich sehr gut für industrielle Umgebungsbedingungen. Das Signal kann dabei über lange Strecken transportiert werden. Somit ist es möglich, Informationen von weit entfernten Aufstellungsorten zu übermitteln bzw. zu empfangen. Typischerweise ist das ein vom System-Controller im Leitstand entfernter Sensor.

Etwas komplexere Systeme beinhalten eine zweite Stromschleife, die den  $\mu$ C oder DSP mit einem Aktor verbindet (Bild 2). Ein DA-Wandler (DAC) beim bzw. im  $\mu$ C konvertiert die digitale Information in eine analoge Spannung und der Transmitter übersetzt diese wiederum in ein 4-20 mA oder  $\pm 20$  mA Stromsignal, um den Aktor anzusteuern. Ein solches System findet man auch in Energieversorgungsnetzen, bei denen ausgeklügelte Algorithmen den aktuellen Zustand des Systems bestimmen. Daraufhin werden die anstehenden Änderungen prognostiziert und gehen in einen Regelkreis ein, der dynamisch die Systemparameter anpasst.

### Operationsverstärker als U-I Konverter mit hohem Ausgangsstrom

Mit zwei Operationsverstärkern und ein paar externen Widerständen kann man

#### AUTOR

Maurizio Gavardoni ist Product Definer für Verstärker und Komparatoren bei Maxim.



# all-electronics.de

ENTWICKLUNG. FERTIGUNG. AUTOMATISIERUNG



Entdecken Sie weitere interessante  
Artikel und News zum Thema auf  
all-electronics.de!

Hier klicken & informieren!



einen einfachen Spannungs-/Strom-Konverter ( $U$ - $I$ ) aufbauen (Bild 3). Versorgt man den OPV mit  $\pm 15$  V, können mehr als  $\pm 20$  mA in niederohmige Lasten eingespeist werden. Der gezeigte Baustein MAX9943 ist ein 36 V OPV mit hochleistungsfähigem Ausgangstreiber, der bei kapazitiven Lasten bis 1 nF stabil bleibt. Dadurch ist der Baustein sehr gut für industrielle Anwendungen geeignet, bei denen die Ausgangsspannung eines DA-Wandlers in ein proportionales 4-20 mA oder  $\pm 20$  mA Signal umgewandelt werden muss.

Für die Schaltung aus Bild 3 lautet die Beziehung zwischen Eingangsspannung und Laststrom:

$$U_{IN} = R_2/R_1 \times R_{SENSE} \times I_{LOAD} + U_{REF} \quad \text{Gleichung 1}$$

Die Werte der Komponenten sind in diesem Beispiel  $R_1 = 1\text{k}\Omega$ ,  $R_2 = 10\text{k}\Omega$ ,  $R_{SENSE} = 12,5\Omega$ , und  $R_{LOAD} = 600\Omega$ . Ein typischer Wert für die Last beträgt ein paar hundert Ohm, es gilt allerdings zu beachten, dass in einem Fehlerfall viel kleinere Werte für Lasten auftreten können. Dies ist bei einem Kurzschluss gegen Masse oder bei einem reduzierten Bürdenwiderstand, der Signalübertragungen über große Distanzen zulässt, gegeben. Des Weiteren kann man Fehler, hervorgerufen durch unerwünschte Schwankungen von  $U_{REF}$ , eliminieren, indem man die Referenzspannung  $U_{REF}$  mit der Referenz des D/A-Wandlers synchronisiert. Dadurch wird  $U_{IN}$  ratiometrisch zu  $U_{REF}$ .

### Ein $\pm 20$ mA Stromtreiber aus $\pm 2,5$ V Eingangssignal

Man kann die Schaltung aus Bild 3 modifizieren, um einen  $\pm 20$  mA Stromtreiber zu erhalten. Legt man  $U_{REF}$  auf 0 V, so erzeugt man mit einem Eingangsspannungsbereich von  $\pm 2,5$  V einen nominalen Ausgangsstrom von  $\pm 20$  mA (Bild 4). Die Beziehung zwischen Eingangsspannung ( $U_{IN}$ ) und Ausgangsspannung der Vorwärts-Verstärkerstufe ( $U_1$ ) lautet:

$$U_{IN} = U_1(R_2/R_1)(1 - \alpha/\beta) + U_{REF}(1 - (R_2/R_1)/\beta(R_2 + R_1)) \quad \text{Gleichung 2}$$

hierbei gilt wie folgt

$$\alpha = 1/R_{SENSE} + R_2/R_1(R_1 + R_2) \quad \text{Gleichung 3}$$

$$\beta = 1/R_{SENSE} + 1/R_1 + 1/R_{LOAD} \quad \text{Gleichung 4}$$

Eingesetzt mit den Werten aus Gleichung 2 und 3 folgt daraus,

$$U_1 = 4,876 \times U_{IN} - 4,872 \times U_{REF} \quad \text{Gleichung 5.}$$

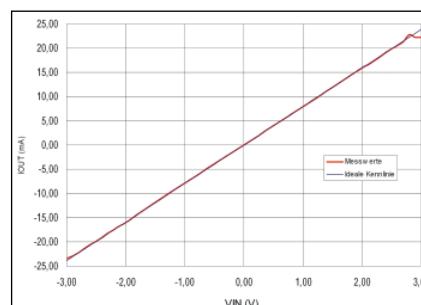


Bild 4: Aus  $\pm 2,5$  V am Eingang werden  $\pm 20$  mA Ausgangsstrom. Blau ist die ideale Kurve, rot sind real gemessene Werte mit  $U_{CC} = +15$  V und  $U_{EE} = -15$  V.

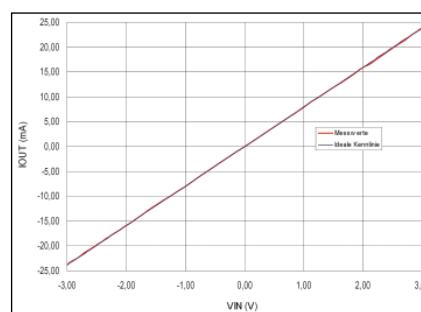


Bild 5: Aus  $\pm 3$  V am Eingang werden  $\pm 24$  mA Ausgangsstrom. Blau ist die ideale Kurve, rot sind real gemessene Werte mit  $U_{CC} = +18$  V und  $U_{EE} = -18$  V.

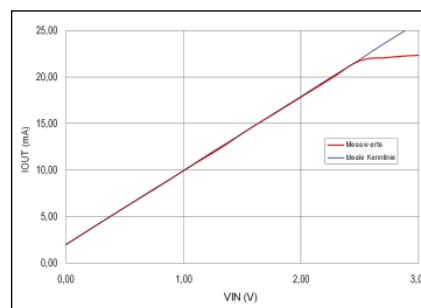


Bild 6: Aus 0 V bis  $+2,5$  V am Eingang werden 4-20 mA Ausgangsstrom. Blau ist die ideale Kurve, rot sind real gemessene Werte mit  $U_{CC} = +18$  V und  $U_{EE} = -18$  V.

Die Beziehung in Gleichung 5 verhindert, dass die Ausgangsspannung in die Sättigung geht. Beträgt zum Beispiel die  $U_{IN} = +2,5$  V, so stehen am Ausgang des unteren OPV ( $U_1$ ) 12,2 V an. Erhöht sich jetzt  $U_{IN}$  weiter, kann die Ausgangsstufe des OPVs in die Sättigung gehen und somit  $U_1$  nicht weiter ansteigen. Die resultierende Kurve von  $U_{IN}$  über  $I_{OUT}$  (Bild 4) flacht dadurch ab und folgt somit nicht mehr der idealen Kurvenform. Ein ähnlicher Effekt tritt auf, wenn der negative Eingang unter  $-2,5$  V abfällt.

In Bild 4 sieht man, dass der OPV-Ausgang mit bis zu 21,5 mA Quellen- oder Senkenstrom innerhalb des linearen Bereiches bleibt. Dieser Wert korrespondiert mit  $\pm 2,68$  V am Eingang und  $\pm 13$  V am Ausgang unteren OPV. Der negative Wert kann dabei noch etwas größer werden, da der Ausgang des OPVs sehr nahe an den Wert der negativen Versorgungsspannung heranreichen kann. Bei der positiven Versorgung sieht es hingegen anders aus, der OPV-Ausgang kann nur eine Spannung von etwa 2 V unterhalb der positiven Versorgung erreichen.

Manche Applikationen benötigen höhere Ausgangsstrome, entweder um einen höheren Sicherheitsspielraum zu gewährleisten oder um Raum für Kalibrierzwecke zu schaffen. Für solche Applikationen kann die Schaltung aus Bild 3 mit  $\pm 18$  V anstatt mit  $\pm 15$  V betrieben werden. Dadurch kann der OPV bis zu  $\pm 24$  mA liefern und bleibt dabei im linearen Bereich (Bild 5).

### Erzeugen eines 4-20 mA Signals aus 0-2,5 V am Eingang

Legt man für  $U_{REF} = -0,25$  V an, so erhält man gemäß Gleichung 5 für 0 V bis  $+2,5$  V am Eingang, am Ausgang Stromwerte von 2 mA bis 22 mA (Bild 6). Als Entwickler bevorzugt man gerne einen etwas größeren Dynamikbereich, um etwas Marge für eine Software-Kalibrierung zu haben. Wird mehr Strom benötigt, so kann man die Schaltung mit  $\pm 18$  V versorgen, wie bereits weiter oben im Text beschrieben wurde.

(jj)