

## Für zweipolige Lösungen

# IC für temperaturkompensierte Hochleistungs-Konstantstromquelle

Während qualitativ hochwertige Spannungsquellen weite Verbreitung finden, sind Stromquellen als Komponenten immer noch selten. Zweipolige Konstantstromquellen bereiten Probleme, besonders wenn hohe Genauigkeit und Stabilität über die Temperatur gewünscht werden. Sie müssen über einen weiten Spannungsbereich arbeiten, hohe Gleich- und Wechselspannungsimpedanz in Reihe mit unbekanntem Blindwiderstand bieten sowie gute Ausregelung und Temperaturkoeffizienten zeigen. Eine Lösung zeigt *elektronik industrie* hier.

Ältere Lösungen, die Feldeffekttransistoren vom Verarmungstyp einsetzen, weisen eine starke Änderung des Stroms und des Temperaturkoeffizienten auf. Eine Konstantstromquelle mit zwei Transistoren und zwei Zener-Dioden ist in **Bild 1** dargestellt. Sie eignet sich recht gut zur Erzeugung eines Konstantstroms, ihre Genauigkeit ist jedoch auf einige Prozent limitiert. Die Schaltung arbeitet als offene Regelschleife und kann als solche nicht die Genauigkeit von geschlossenen Rückkopplungsschleifen erzielen. Da die Temperaturkoeffizienten von Zener-Schaltung und Diode nicht perfekt an den Transistor angepasst sind, liefert die Schaltung wegen Variation von Zener- und Transistor- $V_{BEs}$  (Basis-Emitter-Spannungen) Drift und Ungenauigkeiten. Darüber hinaus erfordert die Schaltung ein Minimum von 3V, um richtig zu arbeiten. Eine Zener-Schaltung mit geringerer Spannung, ein IC wie der LT1004, reduzieren die minimale Betriebsspannung. Diese Schaltung wurde bereits in vielen Publikationen beschrieben, die sich mit Stromquellen befassen.

Ein neues Bauteil, der LT3092, löst die Probleme früherer temperaturkompensierter zweipoliger Konstantstromquellen. Es besitzt eine Grundgenauigkeit von weniger als 1% und einen sehr kleinen Temperaturkoeffizienten. Der Ausgangsstrom kann zwischen 0,5 mA bis 200 mA eingestellt werden. Die Stromregelung liegt typisch bei 10 ppm/V. Der LT3092 arbeitet ab 1,5V

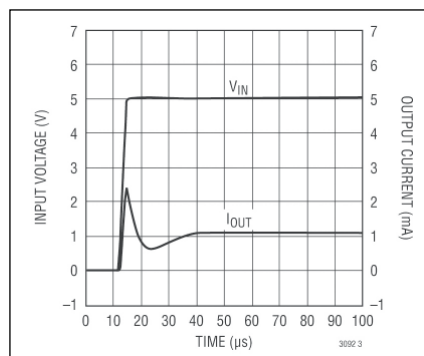
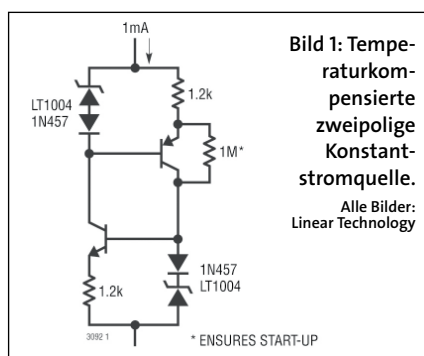


Bild 3: Die Einschwingzeit auf 1 mA liegt unter 20 µs.

bis zu 40V. Dies ergibt eine Impedanz von 100 MΩ bei 1 mA oder 1 MΩ bei 100 mA. Im Gegensatz zu fast allen anderen analogen Schaltungen, wurden hier spezielle Designtechniken eingesetzt, die einen stabilen Betrieb ohne Überbrückungskondensator ermöglichen, damit wird eine hohe Wechselspannungs- und auch Gleichspannungsimpedanz erzielt.

**Bild 2** zeigt das Prinzipschaltbild des LT3092-Stromreglers. Die Architektur ist sehr ähnlich der des Spannungsreglers LT3080, verwendet aber einen PNP-Transistor als Ausgangsbau teil. Die interne Schaltung ist differenziell ausgelegt und gepuffert, sie

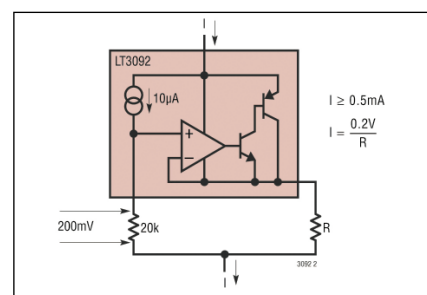


Bild 2: Prinzipschaltbild einer temperaturkompensierten zweipoligen Konstantstromquelle.

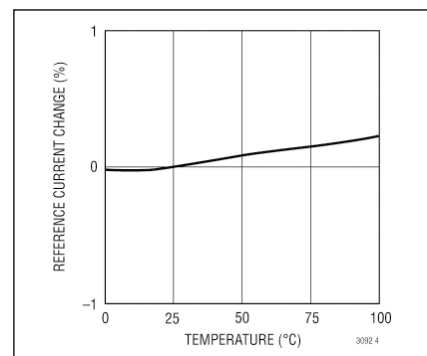


Bild 4: Änderung des Referenzstroms (1 mA) mit der Temperatur.

hat einen Regler gegen Änderungen in der Stromversorgung. Diese Isolation ermöglicht einen stabilen Betrieb ohne Überbrückungskondensatoren. Zusätzlich ist der LT3092 immun gegen Zerstörung durch falsch gepolte Versorgungsspannungen, er leitet im Verpolungsfall keinen Strom und schützt damit die Last.

Die interne Stromquelle und der Offset des Verstärkers sind so ausgelegt, dass sie Stromversorgungsänderungen von 100 dB oder besser ausregelt, das ist ein guter Wert. Das Einstellen des  $R_{set}$  auf Null ermöglicht es den Ausgang ebenfalls bis hinunter auf Null zu setzen.

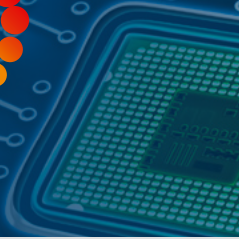
## AUTOR



Robert Dobkin, Vice President, Engineering & Chief Technical Officer, Linear Technology Corporation



**all-electronics.de**  
ENTWICKLUNG. FERTIGUNG. AUTOMATISIERUNG



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

**Hier klicken & informieren!**



Eine kleine Spannung wird über einen externen Einstellwiderstand, in diesem Fall 20 k $\Omega$ , eingespeist, um eine 200 mV Referenz zu erzeugen. Diese erzeugt 200 mV über den Strom-bestimmenden Widerstand R und der Gesamtstrom ist dann gleich 0,2V geteilt durch R (plus 10  $\mu$ A). Der Stromregler arbeitet von ungefähr 1,5V bis zu 36V, wobei Stromregelung und Temperaturstabilität extrem gut sind. Als temperaturkompensierte zweipolige Konstantstromquelle kann die Last entweder im positiven Spannungszweig oder im Massezweig der Schaltung liegen.

Die generierte 200-mV-Referenz wurde gewählt, um Fehler auf Grund von Änderungen in der internen Stromquelle und im Offset des Verstärkers durch die Versorgungsspannung auszugleichen. Bei Änderungen der Versorgungsspannung, variiert die interne Stromquelle mit ungefähr 50 pA pro Volt. Der Offset der internen Operationsverstärker ändert sich mit < 5  $\mu$ V/V. Nimmt man den ungünstigsten Fall für die Stromquelle und den Offset des Verstärkers an, ergibt die Ver-

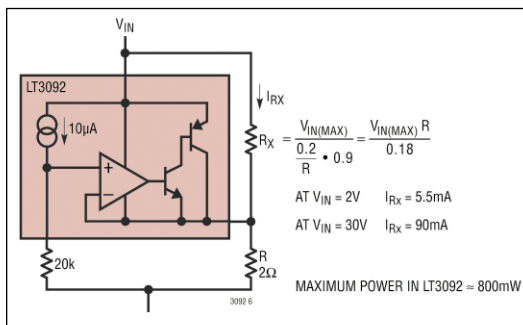
wendung einer 200-mV-Referenz sowohl vom Verstärker als auch der internen Stromquelle einen gleich großen Fehleranteil. Werden die 200 mV durch Einsatz eines 50-k $\Omega$ -Widerstands auf 500 mV erhöht, geht der Einfluss des Offset des internen Operationsverstärkers zurück. Dies verbessert die Regelung der Stromquelle gegenüber Versorgungsspannungsänderungen. Die Regelung der Schleife ist jedoch so gut, dass in allen, außer den extremsten Fällen, 100 mV bis 200 mV Spannungsabfall über dem Einstellwiderstand ausreichend sind.

Der Einstellwiderstand ermöglicht auch das einfache Trimmen des Gesamtstroms. Sollte der Stromregler für hohe Ströme eingesetzt werden – 100 mA – wäre das Trimmen des Stroms schwierig wegen des geringen Wertes des Widerstands R. Der 20-k $\Omega$ -Widerstand ist immer einfach zu trimmen, um den Strom auf den gewünschten Wert einzustellen. **Bild 3** zeigt die Einschaltzeit und **Bild 4** die Stromänderungen in Abhängigkeit von der Temperatur bei 1 mA Ausgangsstrom.

### Erhöhen der Betriebsspannung

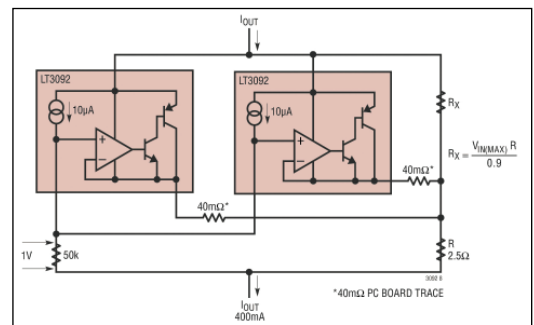
Für höhere Spannungen können die Stromquellen „gestapelt“ werden, um bei einer höheren Gesamtspannung zu arbeiten.

Zwei Stromquellen werden für die gleichen Ströme eingestellt und eine Spannung begrenzende Zenerschaltung ist an jeder der Stromquellen platziert. Bei kleiner Spannung geht je nachdem welche Stromquelle den zunehmend höheren Strom hat, diese in die Sättigung und der Strom wird von der anderen Stromquelle gesteuert. Wenn die Spannung ansteigt, bricht an einem definierten Punkt die Zener-Schaltung durch und wird leitend. Dann steigt die Spannung über der gesättigten Stromquelle und sie regelt dann den Strom, wenn die Spannung weiter ansteigt. Wenn die Stromsteuerung von einer auf die andere Stromquelle übergeht, gibt es eine kleine Unterbrechung im Ausgangsstrom der gleich dem Fehler zwischen den beiden Stromquellen ist. Typischerweise liegt er unter 1%. Deshalb ist für das korrekte ►



**Bild 5:** 100-mA-Konstantstromquelle mit einem die Leistung aufteilenden Widerstand.

**Bild 6:** Parallelgeschaltete Stromquellen, die die Wärme verteilen und einen höheren Ausgangsstrom generieren.



Arbeiten der Schaltung auch kein Überbrückungskondensator nötig.

Für hoch eingestellte Ströme und hohe Spannung gibt es einen beträchtlichen Leistungsverlust im LT3092. 30 V und 100 mA ergeben 3 W Verlustleistung, die in einem signifikanten Temperaturanstieg, abhängig vom thermischen Widerstand auf der Baugruppe, resultieren. Ein externer Widerstand kann einen Teil der Leistung zum Widerstand lenken und damit die Verlustleistung im LT3092 reduzieren.

**Bild 5** zeigt die grundlegende Stromquelle mit dem Widerstand  $R_X$  zwischen dem Ein- und Ausgang des Bausteins. Solange der Gesamtstrom höher als der Strom durch  $R_X$  ist, wird die Regelung nicht beeinträchtigt und die Impedanz der Stromquelle ändert sich nicht.

Der Strom durch  $R_X$  liegt innerhalb der Rückkoppelschleife und wird kompensiert, wenn sich die Spannung vom Eingang zum Ausgang ändert. Der Strom fließt durch den internen PNP-Transistor oder den externen Widerstand, während die Rückkoppelschleife den Gesamtstrom konstant hält. Zur guten Regelung und um einen ausreichenden Spielraum zu erhalten, sollte der Strom durch  $R_X$  nicht viel größer als 90 % des gewünschten Stroms bei maximaler Spannung für den Regler sein. Die Formeln in den Bildern zeigen, wie man  $R_X$  wählen sollte, so dass der Strom durch  $R_X$  stets mindestens 10 % des Stroms der durch den LT3092 fließt, übrig bleibt. Dies vermindert die interne Verlustleistung, durch Umlenken eines Teils dieser Leistung in den externen Widerstand. Dies resultiert in einer signifikanten Reduzierung der Bauteilverlustleistung und auch einem verringerten Temperaturanstieg. Das Hinzufügen dieses externen Widerstands hat nur vernachlässigbare Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit der Schaltung.

### Erhöhung des Ausgangsstromes

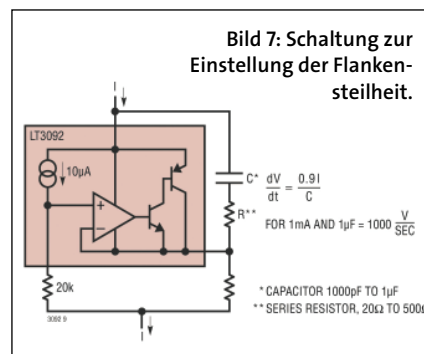
Werden höhere Ausgangsströme benötigt, können die Stromquellen direkt parallel geschaltet werden. Zwei LT3092 können so eingestellt werden, dass (mit oder ohne Leistungsumlenkwiderstand) sie direkt parallel geschaltet werden, um den doppelten Ausgangsstrom zu generieren.

**Bild 6** zeigt eine weitere Methode zum Parallelschalten der Bauteile. Sie erfordert weniger externe Komponenten, so dass es möglicherweise die bessere Methode ist, mehrere Bausteine zur Erzeugung hoher Ströme parallel zu schalten. In diesem Fall sind die Einstell-Pins miteinander verbunden, was die Ausgangspins des Reglers auf einen Bereich von einigen mV Abweichung voneinander festlegt. Dann werden die Ausgänge des Reglers über 40-mΩ-Ballast-Widerstände

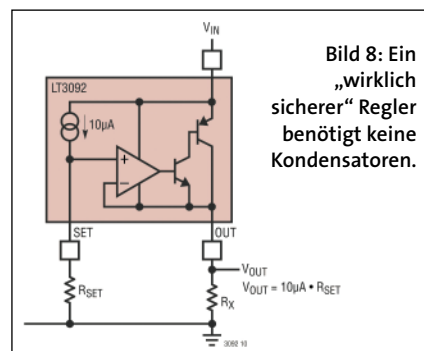
aufsummiert, was dazu führt, dass die Ströme aufgeteilt werden. Diese Widerstände können üblicherweise mit einem kleinen Stück Leiterbahn realisiert werden. Danach steigert man den Spannungsabfall unter Verwendung eines 100-kΩm-Einstellwiderstands von 200 mV auf 1 V. Der Grund hierfür ist, die Auswirkungen des Temperaturkoeffizienten auf die Ballastwiderstände in den Leiterbahnen der Leiterplatte zu minimieren. Ungefähr 8 mV fallen an den Ballastwiderständen ab, die aus Kupfer bestehen. Kupfer besitzt einen Temperaturkoeffizienten von 0,3 % pro Grad C, was den Temperaturkoeffizienten der gesamten Stromquelle beeinflusst. Das Erhöhen der Referenzspannung von 200 mV auf 1 V verringert die prozentuale Spannung am Ballastwiderstand und reduziert den genannten Effekt von ungefähr 1 % auf 0,2 % bei einer Änderung um 100 °C.

Das Erhöhen des Ausgangsstroms über 400 mA erfordert lediglich ein zusätzliches parallel geschaltetes Bauteil sowie einen Ballastwiderstand und minimiert so für hohe Ströme die Bauteilanzahl.

Nochmals sei daran erinnert, dass  $R_X$  verwendet wird, um die Verlustleistung im Bauteil zu minimieren, indem ein Teil des Stroms bei hohen Spannungen am IC vorbei geleitet wird.



**Bild 7:** Schaltung zur Einstellung der Flankensteilheit.



**Bild 8:** Ein „wirklich sicherer“ Regler benötigt keine Kondensatoren.

### Weitere Applikationshinweise

Stromquellen können jede beliebige Art von Last treiben. Da das Bauteil genau genommen eine komplizierte integrierte Schaltung ist, kann die Impedanz der Last auf die internen Schaltungen rückwirken und Instabilitäten hervorrufen. Obwohl ein ziemlicher hoher Aufwand getrieben wurde, den Baustein für eine möglichst große Vielfalt an Lasten zu stabilisieren, können dennoch Instabilitäten auftreten.

Das Stabilisieren des Bauteils ist jedoch einfach. Ein Widerstand kann in Reihe zum Stromregler oder einen Kondensator (prinzipiell ein Überbrückungskondensator) geschaltet werden, oder ein RC-Glied wird mit dem Spannungsein- und -ausgang des Bausteins verbunden. Dies gibt dem Baustein eine definierte Impedanz und stabilisiert es gegenüber unbekannten Impedanzen. Im Gegensatz zu älteren Reglern kann dieser Kondensator sehr klein sein. In rauen Umgebungen, in denen es Spannungsspitzen, Rauschen oder HF auf der Netzleitung geben kann, ist er auch ein Bypass für Rauschen und Spannungsspitzen, womit die interne Schaltung des Reglers geschützt wird. Zur Stabilisierung werden niedrige Kondensatorwerte bis hinunter zu 1000 pF verwendet. Es kann aber ein weiterer Bereich von Werten von 0,01  $\mu$ F bis zu 1  $\mu$ F eingesetzt werden. Man beachte, dass einige Keramikkondensatoren sehr hohe Spannungskoeffizienten besitzen und ihren Wert im Verhältnis 5:1 mit der Spannung ändern können.

Der Kondensator beeinflusst die Impedanz der Stromquelle bei niedrigen Frequenzen nicht, weil, wie der externe Widerstand  $R_x$ , er innerhalb der Rückkopplungsschleife liegt. Für Wechselspannungsänderungen über dem Bauteil, fließt der Strom durch den Kondensator oder durch den internen Transistor des LT3092, so dass die Impedanz unverändert bleibt. Bei hohen Frequenzen läuft der LT3092 aus seiner Bandbreite und seine Impedanz wird kapazitiv.

Bei Lasten mit einer signifikanten Spannungsänderung im Betrieb, muss der Strom durch den Kondensator niedriger sein als der programmierte Strom. Sonst ist die Regelschleife nicht mehr geschlossen, wenn mehr Strom durch den Kondensator fließt als der programmierte Strom. Die tolerierbare Flankensteilheit des Bausteins berechnet sich nach **Bild 7**. Dabei können wiederum ungefähr 90 % des Stroms durch den Kondensator fließen ohne die Impedanz der Stromquelle LT3092 zu beeinträchtigen. Mit einer Last-einstellung von 1 mA und einem 1  $\mu$ F-

Kondensator über dem Bauteil toleriert diese Schaltung Flankensteilheiten von 1000 V/s. Die Auswirkungen mit anderen Kondensatorwerten und Flankensteilheiten kann einfach berechnet werden.

Der LT3092 wird als ein Spannungsregler verwendet, der keinen Ausgangskondensator benötigt. „Wirklich sichere“ Applikationen werden üblicherweise für niedrige Ströme mit kleinen oder ohne Kondensatoren entwickelt. **Bild 8** zeigt einen 200-mA-Regler. Als Spannungsregler fließen die 10  $\mu$ A Strom, die intern generiert werden, durch einen externen  $R_{set}$ -Widerstand. Diese 10  $\mu$ A vervielfachen den Wert von  $R_{set}$ , der eine Spannung in den Einstellpin einspeist. Der interne Spannungsfolger liefert die gleiche Spannung am Ausgangspin wie am Einstellpin. Die Last ist vom Ausgangspin nach Masse verbunden. (sb)

	infoDIRECT	420ei0409
<a href="#">▶ Link zu Linear Technology</a>		
<a href="http://www.elektronik-industrie.de">www.elektronik-industrie.de</a>		