

VII Stromquellen

VII.1 Anwendungsbereich

Stromquellen haben ihre Domäne in der Meßtechnik, wobei sie meist andere Funktionen unterstützen.

Ohmmeter mit digitaler Anzeige schicken einen Konstantstrom durch den Prüfling und zeigen den Spannungsabfall als Widerstand an. Weiterhin setzt man Stromquellen überall dort ein, wo der Strom die auslösende Größe für einen Effekt ist. Beispiele sind Hallgeneratoren, Spulen zur Erzeugung eines konstanten Magnetfelds, Sägezahngeneratoren usw.

Sehr wichtig in der industriellen Meßtechnik ist die Übertragung von Meßwerten mittels eingepprägter Ströme. Nach weltweiter Norm wird das Fühlersignal linear in einen Strom von 4-20 mA umgesetzt. Die Betriebsenergie für die Wandlerschaltung und den Fühler wird von diesem Strom abgezweigt. Für moderne Analogschaltungen reicht der Mindeststrom von 4 mA zur Versorgung völlig aus. Solange die Spannung an der Stromquelle im Ausregelbereich bleibt, haben Leitungs- und Übergangswiderstände sowie eingekoppelte Störsignale keinen Einfluß. Gefordert werden muß lediglich ein hoher Isolationswiderstand zwischen den beiden Leitungen, was kein Problem darstellt.

Mit dieser Technik ist der Aufbau einer Betriebsdatenerfassung denkbar unkompliziert. Alle Fühler sind über verdrehte Zweidrahtleitungen mit der

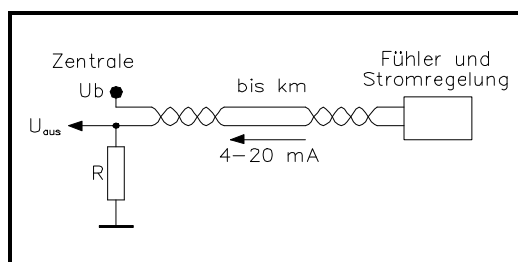


Abb. 7-1: Meßwertübertragung mit Konstantstrom

Zentrale verbunden. Zur Abfrage wird der eine Anschluß der Leitung mit einer passenden Spannung verbunden und der aus dem anderen Anschluß fließende Strom durch einen Präzisionswiderstand geleitet. Der Spannungsabfall gibt dann mit hoher Genauigkeit das Sensorsignal wieder. Die überbrückbaren Entfernungen liegen im Bereich von mehreren Kilometern.

Zu den Vorteilen des minimalen Aufwands der verdrehten Zweidrahtleitung (twisted pair) kommt die sofortige Erkennung eines Drahtbruchs oder Kurzschlusses hinzu, wenn der Strom außerhalb des festgelegten Bereichs liegt.

VII.2 Stromquellenschaltungen

Alle Schaltungen arbeiten nach dem Prinzip, daß der abgegebene Konstantstrom I_k durch einen Widerstand fließt, an dem der Spannungsabfall konstant gehalten wird. Die nachfolgend beschriebenen Quellen sind bewußt wegen ihrer unterschiedlichen Anordnungen ausgewählt worden.

a) Quelle mit invertierendem Operationsverstärker

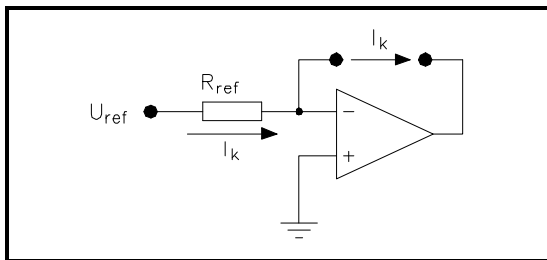


Abb. 7-2: Einfache Stromquelle

Die Schaltung mit einem invertierenden Operationsverstärker verbindet hervorragende Eigenschaften mit minimalem Aufwand. Zum virtuellen Massepunkt am -Eingang fließt aus einer Referenzspannungsquelle U_{ref} durch den Widerstand R_{ref} der konstante Strom $I_k = U_{ref} / R_{ref}$. Dieser Strom kann nur durch den im Gegenkopplungspfad liegenden Verbraucher abfließen, wobei der Operationsverstärker die Spannung entsprechend einregelt. Der einzige, aber entscheidende Schönheitsfehler die-

ser bestehend einfachen Anordnung liegt darin, daß der Verbraucher nicht mit einem Anschluß an Masse liegt.

b) Sägezahngenerator

Bei Aufladung eines Kondensators mit Konstantstrom steigt die Spannung linear sägezahnförmig an. Als Stromquelle arbeitet hier der pnp-Transistor T2 mit R2 als Emitterwiderstand. Die Basisspannung wird über Transistor T1 und einen 2,5 V Referenzspannungs-IC eingestellt. Die Basis-Emitterspannungen von T1 und T2 heben sich genau auf und an R2 liegen exakt 2,5 V. Damit fließt der Konstantstrom $I_k = 2,5 \text{ V} / 2,2 \text{ k}\Omega = 1,14 \text{ mA}$ in den Kondensator C2 und lädt ihn mit der Anstiegsgeschwindigkeit $dU/dt = I/C = 1,14 \text{ mA} / 100 \text{ pF} = 1,14 \times 10^7 \text{ V/s}$. Die sägezahnförmige Ausgangsspannung ist zur X-Ablenkung eines Oszillografen vorgesehen. Umschaltbare Kondensatoren ergeben die verschiedenen Zeitmaßstäbe.

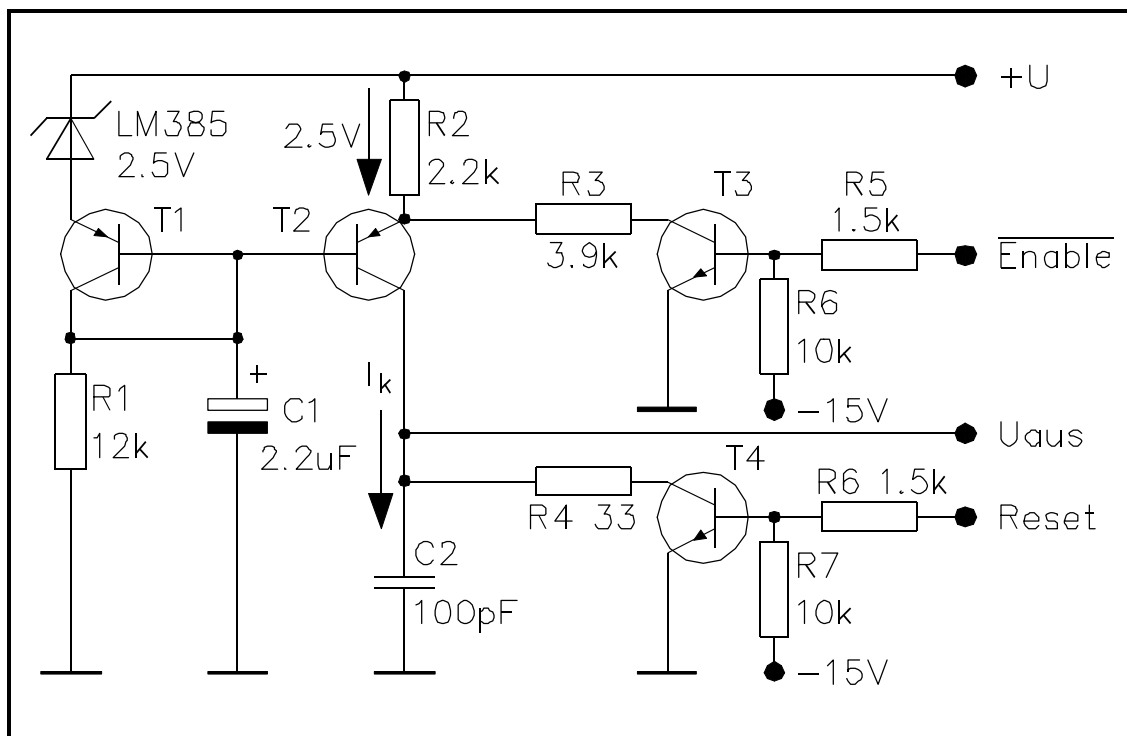


Abb. 7-3: Sägezahngenerator mit Stromquelle

Transistor T3 zieht in eingeschaltetem Zustand über R3 den Emitter von T2 auf eine gegenüber der Basis etwas negative Spannung und leitet den Kollektorstrom von T2 nach Masse ab. Die Triggerschaltung des Oszillografen steuert über den Enable-Eingang die Basis von T3 an. Sperren von T3 schaltet den Konstantstrom ein und setzt die Zeitablenkung in Gang.

Der Reset-Eingang steuert T4, der nach erfolgter Ablenkung den Kondensator entlädt. Der Vorwiderstand R4 begrenzt den Strom bei der Entladung großer Kondensatoren für langsame Zeitablenkung.

c) Howland-Stromquelle

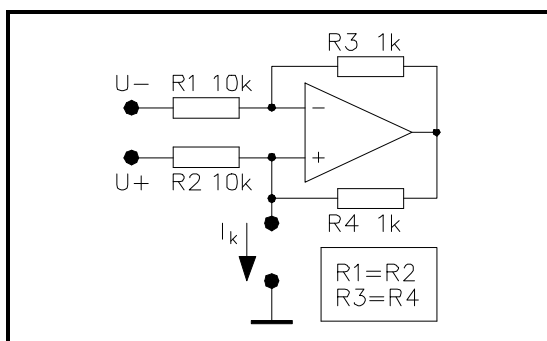


Abb. 7-4: Howland-Stromquelle

Die Arbeitsweise dieser Schaltung ist nicht auf den ersten Blick zu durchschauen. Sie eignet sich daher hervorragend für eine Durchrechnung mit der Methode von Abschnitt III.3. Für den Ausgangsstrom I_k dieser Quelle gilt:

$$I_k = \frac{U_+ - U_-}{R_2}$$

Nachteilig sind der geringe Maximalstrom, die Niederohmigkeit der Eingänge und die Rückwirkung des +Eingangs auf den -Eingang. Dennoch ist diese Quelle ein schönes Beispiel dafür, was mit einem einzigen Operationsverstärker möglich ist.

d) Präzisions-Stromquelle

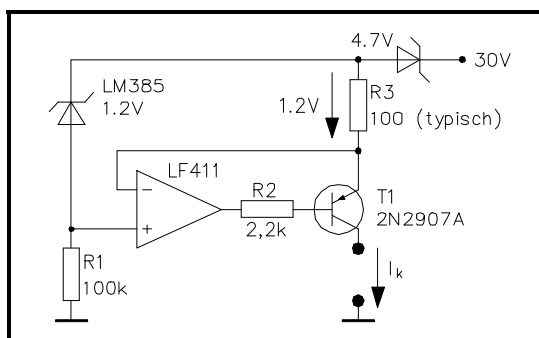


Abb. 7-5: Präzisions-Stromquelle

Diese Anordnung kann man als Standard-Stromquelle für Meßzwecke ansehen. Der Operationsverstärker erzwingt gleiche Spannungen am Referenzspannungs IC und an R3. Die 4,7 V Zenerdiode verschiebt beide Spannungen in den Gleichtaktbereich des Verstärkers. Der Widerstand R2 begrenzt bei offenem Ausgang der Quelle den Basisstrom des Transistors. Dieser Strom mindert zwar den Ausgangsstrom der Quelle, doch ist der Basisstrom klein gegenüber dem Kollektorstrom und obendrein ist die Gleichstromverstärkung B eines Transistors wenig abhängig von Temperatur und Kollektorspannung. Perfektionisten können hier einen p-Kanal FET oder MOSFET einsetzen.

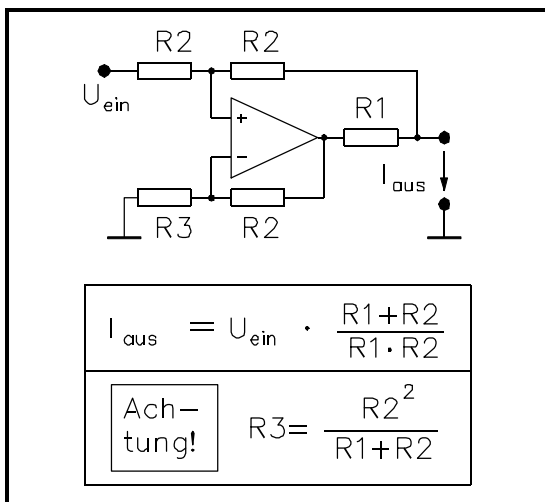
e) Konstantstromquelle

Abb. 7-6: Konstantstromquelle

Diese Konstantstromquelle wandelt die Eingangsspannung in einen proportionalen Strom um. Für einen unendlich hohen Innenwiderstand muß R3 exakt den formelmäßigen Wert haben. Nur dann hängt der eingepreßte Strom nicht von der Spannung am Ausgang ab.

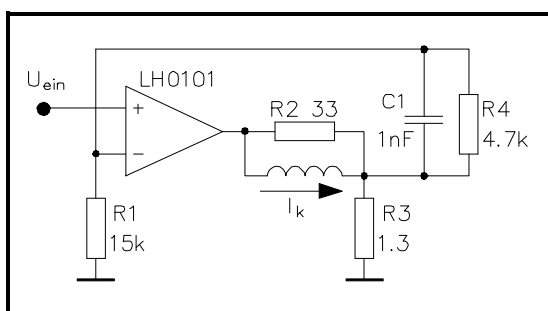
f) Ablenkjoch-Treiberquelle

Abb. 7-7: Ablenkjoch Treiberquelle

Diese Quelle ist zur Ansteuerung der Wicklung des Ablenkjochs von Vector-Scan Bildröhren vorgesehen, die in Radargeräten, Präzisionsfilm-

belichtern und Lichtpunktscannern (Flying spot digitizer) eingesetzt werden. Hier ist eine Stromquelle erforderlich, weil der Widerstand von Kupfer mit der Temperatur zunimmt. Beim Vector-Scan wird der Strahl nicht periodisch über den Schirm abgelenkt (Raster scan), sondern kann in beliebiger Folge an jede Stelle auf dem Bildschirm geführt werden.

Der Ausgangsstrom des schnellen Hochstrom-Operationsverstärkers LH0101, fließt durch die Wicklung und verursacht einen Spannungsabfall an R3. Diese Spannung wird über den Spannungsteiler R4 / R1 zum - Eingang geführt. Mit dem Kondensator C1 läßt sich das Einschwingverhalten optimieren, während der Widerstand R2 die Induktivität der Wicklung bedämpft. Gleichstrommäßig kann R2 gegenüber dem Wicklungswiderstand vernachlässigt werden.

g) Nanoampere-Quelle

Die Einprägung von Strömen im pA- und nA-Bereich erfordert eine spezielle Schaltungstechnik, da die Sperrströme der eingesetzten Transistoren schon im nA-Bereich liegen. Der Trick bei dieser Stromquelle besteht im Einsatz einer elektrisch völlig isolierten Stromquelle. Sie besteht aus 4 Optokopplern, deren Fototransistoren mit ihren Kollektor-Basis Dioden als Fotoelemente arbeiten. Die Reihenschaltung der Koppler erreicht ohne weiteres Ströme bis ca. 20 µA und Spannungen bis ca. 1,8 V, was hier völlig ausreicht.

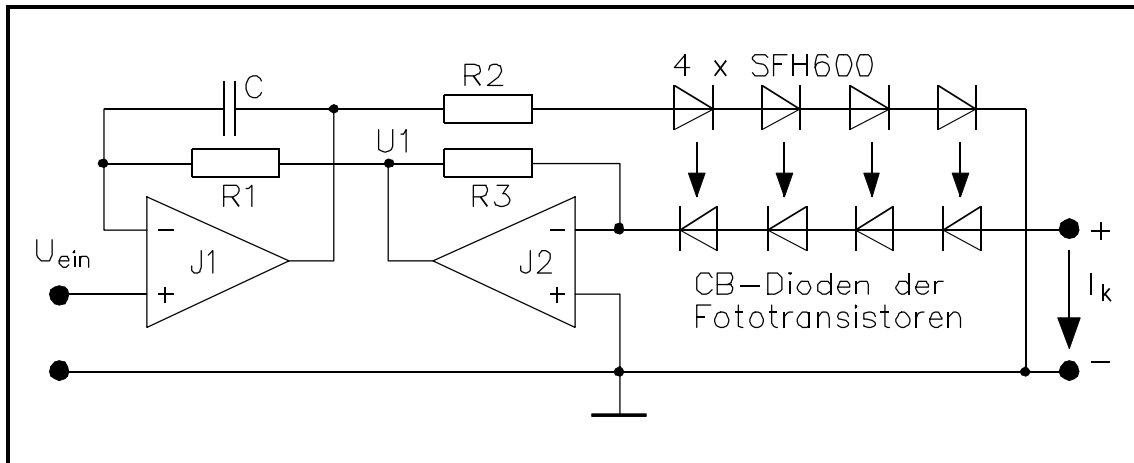
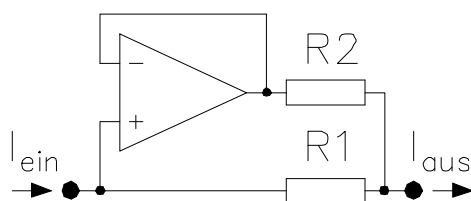


Abb. 7-8: Nanoampere-Quelle

Das dem Ausgang abgewandte Ende der Diodenkette liegt am Eingang des Strom-Spannungswandlers mit J2 und R3. Der Konstantstrom I_k fließt auch in ihn hinein und ergibt eine Ausgangsspannung von $U_1 = I_k \cdot R_3$. J1 vergleicht diese Spannung mit der Eingangsspannung und regelt den Strom durch die Sendedioden ein. Der Kondensator C stabilisiert Verstärker J1 während R2 den Strom durch die Sendedioden bei Leerlauf der Quelle begrenzt. Durch Wahl von R3 und Einsatz eines passenden Verstärkers J2 sind beliebig kleine Ströme möglich.

h) Strom Vervielfacher



$$I_{\text{aus}} = I_{\text{ein}} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

Abb.7-9: Strom Vervielfacher

Stromquellen für Meßzwecke haben meist ihre Grenzen bei ca. 1 A Aus-

gangsstrom. Diese Schaltung kann den Strom einer Stromquelle um einen festen Faktor vergrößern. Der seinen Widerstand R1 an den parallel liegenden Widerstand R2. Zum Strom I_{ein} wird so der Strom durch R2 addiert. Gibt man R2 1/9 des Werts von R1, so fließt in ihm der 9-fache Strom und der Strom I_{ein} der Meßquelle wird verzehnfacht.

Die Schaltung ist übrigens bidirektional, ein am Ausgang eingespeister Strom wird um den gleichen Faktor erniedrigt am Eingang abgegeben.

i) Strom Reduzierung

Eine sehr einfache Methode zur Verkleinerung von Strömen um einen konstanten, hohen Faktor stellt ein einfacher Emitterfolger dar. Läßt man beispielsweise den Strom einer (positiven) Stromquelle in den Emitter eines pnp-Transistors fließen, dessen Kollektor an Masse liegt, so ist der Basisstrom um die Gleichstromverstärkung B kleiner. Dieser Strom fließt ebenfalls nach Masse. So kann man z.B. ohne Verwendung von Höchstohm Widerständen sehr kleine Ströme für Langzeit RC-Glieder erzeugen.