

AM 462 – Spannung/Strom-Wandler-IC für 2-Draht Stromschleifenanwendungen (4...20mA)

Das analoge Netz mit Stromwerten von 4...20mA stellt nach wie vor die am häufigsten benutzte industrielle Informationsübertragung dar.

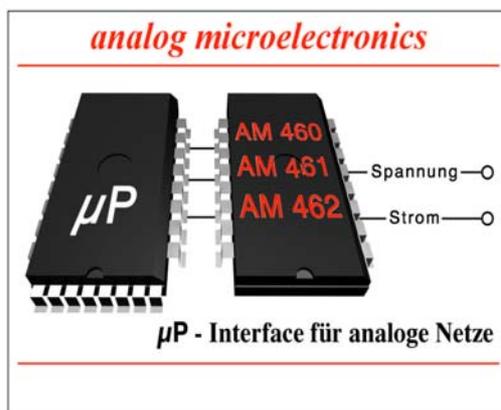
Der nachfolgenden Artikel behandelt die analoge 2-Draht Stromschnittstelle (Stromschleife) für den Ausgangsstrom von 4...20mA (Einheitswert). Es wird beschrieben, wie sich beispielsweise mit Hilfe des IC vom Typ AM462 (Spannungs-Strom-Wandler-IC) eine industrietaugliche 2-Draht Schnittstellenschaltung für eine SPS realisieren lässt. Es werden die Eigenschaften einer solchen Stromschleifenschaltung für die praktische Anwendung erläutert. Konkret wird gezeigt, wie eine Stromschleife mit verschiedenen Kontrollinstrumenten dimensioniert werden kann.

Bemerkung:

Die nachstehenden Ausführungen können auf alle Spannungs/Strom-Wandler-ICs der *Analog Microelectronics* (AM400, AM402, AM422, AM442 und AM460) angewendet werden. [1]

Analoge Schnittstellen

Bei der überwiegenden Zahl von Anwendungen in der industriellen Messtechnik besteht trotz oder gerade wegen den zahlreichen Industriebussen nach wie vor die Forderung, ein analoges



Messsignal zur Signalübertragung in ein entsprechendes analoges Standardsignal umzuwandeln. Prinzipiell eignen sich sowohl Spannungs- als auch Stromsignale. In der Praxis sind Übertragungsnetzwerke mit Signalen von 0...5(10)Volt oder 0(4)...20mA die Art der Informationsübertragung, die für SPS-Systeme am häufigsten benutzt werden.

Welche Unterschiede zwischen Spannungs- und Stromübertragung bestehen und wo man sie zweckmäßig einsetzen kann, wird als Einführung in das Thema dargestellt

Spannungsübertragung z.B. 0...5(10)Volt

Werden analoge Spannungswerte von einem Sender über ein langes Kabel zu einem Empfänger übertragen, so können diese leicht verfälscht werden. Ursache ist die Summe der Spannungsabfälle, die über den Ausgangswiderstand des Senders, über den Kabel-Innenwiderstand und über die Kontaktwiderstände entstehen können. Der resultierende Übertragungsfehler ist die Summe der erwähnten Widerstände multipliziert mit dem Input Bias Strom des Empfängers. Ist der Input Bias Strom klein genug, was damit äquivalent ist, dass der Eingangswiderstand des Empfängers entsprechend hochohmig ist, können diese Widerstände vernachlässigt werden.

AM 462 – Spannung/Strom-Wandler-IC für 2-Draht Stromschleifenanwendungen (4...20mA)

Die Anforderung, den Sender nicht über Gebühr zu belasten und die erwähnten Widerstände vernachlässigen zu können, erfordert also einen hochohmigen Eingang auf der Empfängerseite. Werden beispielsweise OPs als Eingangsverstärker empfängerseitig verwendet, so hat man mit Eingangswiderständen $<1\text{M}\Omega$ zu rechnen.

Prinzipiell muss durch den hochohmigen Aufbau, insbesondere am Eingang des Empfängers, mit einer verstärkten Empfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Störungen gerechnet werden, was zu erheblichen Fehlern führen kann. Folglich gilt es für diese Übertragungsart einen Kompromiss zwischen den Übertragungsfehler einerseits und der Störbeeinflussung durch elektromagnetische Strahlung andererseits zu finden.

Fazit für die Spannungsübertragung: Wenn elektromagnetische Störungen keine Rolle spielen und/oder wenn kurze Kabellängen ausreichend sind, kann mit einer geeigneten Dimensionierung des Empfängers die Signalübertragung mit den Spannungssignalen 0...5(10)Volt bedenkenlos durchgeführt werden.

Stromübertragung z.B. 0(4)..20mA

Bei Übertragungen in störungsreicher Umgebung oder über größere Distanzen bevorzugt man seit Jahren genormte Stromsignale.

Dient eine Stromquelle als Sender, so liefert diese unabhängig von eventuellen Kabelinnen- oder Kontaktwiderständen immer den gewünschten Strom. Das bedeutet, dass das Stromsignal durch die Hardwarekonfiguration nicht beeinflusst wird. Durch den niederohmigen Empfängereingang einerseits und durch die Stromquelle als floatende Masse andererseits (Parallelschaltung des realen Ausgangswiderstand der Stromquelle und des Eingangswiderstand des Empfängers) haben im Gegensatz zur Spannungsübertragung elektromagnetischen Störungen keinen großen Einfluss auf die übertragenen Stromsignale.

Fazit für die Stromübertragung: Wenn mit elektromagnetischen Störungen (Schweißanlagen, Fremdsender usw.) zu rechnen ist oder wenn lange Kabellängen notwendig sind, ist die Stromsignalübertragung die geeignete Art der analogen Informationsübertragung.

Man unterscheidet in der industriellen Praxis zwischen 2- und 3-Draht-Übertragung, wobei im Nachfolgenden wegen der größeren Bedeutung die 2-Draht-Version, die auch als Stromschleife (Current Loop) bezeichnet wird, näher erläutert werden soll.

Eigenschaften der Stromschleifen-Anordnung

- **Einfache Handhabung:** Wenn die Stromaufnahme des Senders und der angeschlossenen Verbraucher konstant ist, kann man, wie gezeigt wird, den Verbraucherstrom und den Signalstrom über die gleiche Leitung übertragen. Man benötigt lediglich einen Lastwiderstand als Bürde und muss darauf achten, dass die Betriebsspannung groß genug ist, um alle im Stromkreis auftretenden Spannungsabfälle abzufangen. Der Spannungsabfall über den Lastwiderstand oder der Strom durch diesen Widerstand dient als Nutzsignal.

AM 462 – Spannung/Strom-Wandler-IC für 2-Draht Stromschleifenanwendungen (4...20mA)

- **Geringe Systemkosten:** Statt eines teureren AD-Wandlers, eines Prozessors und eines passenden Treibers für die digitale Signalübertragung, braucht man im einfachsten Fall der Stromschleife lediglich ein Kabel, einen Widerstand und ein Messgerät. Besonders augenscheinlich wird die Kostensituation, wenn hohe Anforderungen an das Auflösungsvermögen des AD-Wandlers gestellt werden.

- **Fehlererkennung:** Der Vorteil der 4...20mA Signalübertragung ist neben der großen Störsicherheit die Tatsache, dass eine aussagefähige Fehlererkennung automatisch mitgeliefert wird. Bei abgeglichenen Systemen (kleinstes Eingangs(Null)signal senderseitig $\rightarrow I = 4\text{mA}$ ausgangsseitig) bedeuten Signale zwischen >0 und $<4\text{mA}$ eine Störung im System. Das Signal ($I = 0\text{mA}$) signalisiert einen Kabelbruch oder einen kompletten Funktionsausfall. Signale über 20mA deuten auf eine eingangsseitige Überspannung oder zeigen einen Fehler in der Signalerfassung an.

- **Grosse Übertragungsabstände:** Die Übertragungsentfernung hängt nur von der Treiberfähigkeit der Senderstufe, von den Leitungswiderständen und dem empfängerseitigen Messwiderstand ab. Falls in der Leitung Messinstrumente eingebaut werden sollen, muss die Bürde im Zusammenhang mit den Eingangswiderständen der Mess- und Registriergeräte betrachtet werden. Diese werden oft als kostengünstige, selbst versorgende Geräte in die Stromschleife eingebaut, aus der sie gemeinsam mit dem IC aus den 4mA versorgt werden und daher bei der Dimensionierung der Stromschleife berücksichtigt werden müssen..

Die 2-Draht Signalübertragung

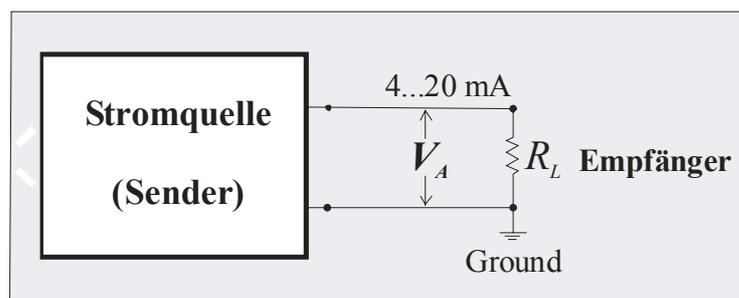


Abbildung 1: Schematische Darstellung des 4...20mA Stromschleifenbetriebs

Im einfachsten Fall ist der Sender bei der Stromschleife eine einstellbare Stromquelle und der Empfänger ein Abschlusswiderstand, an dem das Signal abgenommen werden kann (siehe *Abbildung 1*).

Im Prinzipschaltbild (*Abbildung 1*) geht man beim Sender davon aus, dass er in Abhängigkeit von einem Messwert den gewünschten Signalstrom von $I_{\text{OUT}} = 4...20\text{mA}$ generiert. Als Emp-

AM 462 – Spannung/Strom-Wandler-IC für 2-Draht Stromschleifenanwendungen (4...20mA)

fänger dient ein Widerstand R_L , mit dem der Spannungsabfall V_A oder in Serie direkt der Strom I_{OUT} gemessen werden kann.

In der Praxis besteht ein Sender, aus mehreren Baugruppen. In der Sensorik wird er als Messumformer bezeichnet und besteht aus einer Messzelle (Messwertaufnehmer), einer Versorgungseinheit für die Messzelle und einer Stromquelle (*Abbildung 2*). Statt des Messwertaufnehmers könnte in anderen Anwendungen der Stromschleife z.B. ein PWM-Ausgang eines Trennverstärkers [2] oder ganz allgemein eine Signalquelle mit einem Spannungsausgang stehen.

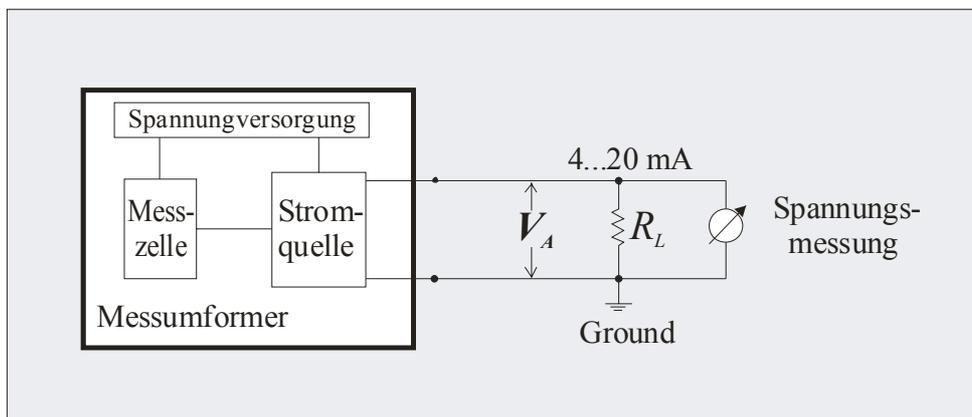


Abbildung 2: Stromschleifenschaltung mit vollständigem Messumformer

Da die meisten Messzellen und auch die PWM-Schaltungen eine Spannung zwischen Null und einem Endwert (FS) generieren, muss in dem Messumformer eine spannungsgesteuerte Stromquelle vorhanden sein, die in der Lage ist, bei einer geforderten Spanne von z.B. 16mA einen minimalen Strom von 4mA (Fußpunkt entspricht dem Nullsignal des Messwertaufnehmers) zu erzeugen.

In industriellen Steuerungen ist es oft der Fall, dass die Kontrolleinrichtung (Warte) weit von dem Messwertumformer entfernt ist. Daher ist es zweckmäßig und kostengünstig, die Versorgungsleitung für den Messumformer als Signalleitung zu benutzen, so dass man insgesamt mit 2 Leitungen auskommen kann. Eine solche Schaltungsanordnung wird als 2-Draht-Anwendung bezeichnet und ist Gegenstand der nachstehenden Beschreibung.

AM 462 – Spannung/Strom-Wandler-IC für 2-Draht Stromschleifenanwendungen (4...20mA)

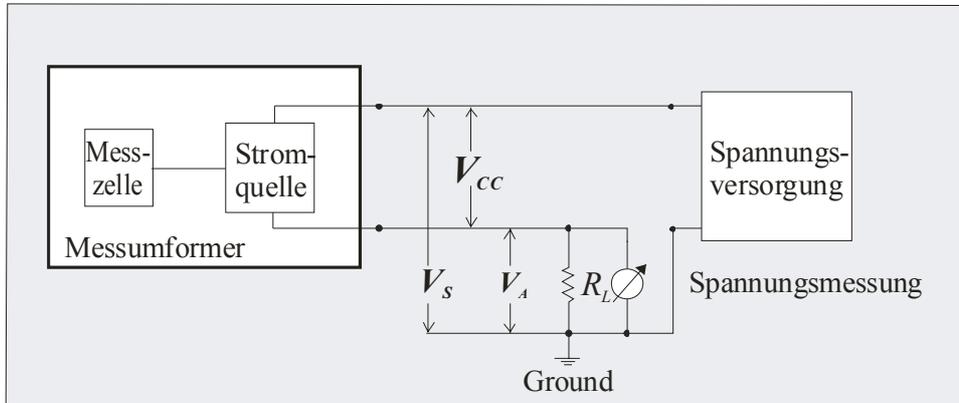


Abbildung 3: Praktische Anwendung einer Stromschleifenschaltung

Wie in *Abbildung 3* dargestellt, setzt man zentrale Spannungsversorgungen ein, die in der Warte installiert sind und an die z.B. eine Vielzahl von Messumformer angeschlossen werden können.

AM462-IC für den 2-Draht-Betrieb

Als spannungsgesteuerte Stromquelle wird im Rahmen der Beschreibung der AM462 von *Analog Microelectronics* eingesetzt. Diese IC kann von der externen Spannungsversorgung (bis 35V) gespeist werden und wandelt das Signal eines Messwertaufnehmers in einen adäquaten Strom von 4...20mA um (*Abbildung 4*).

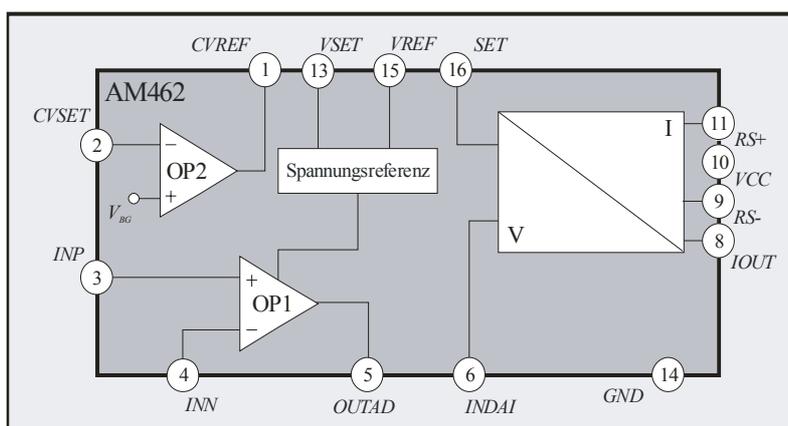


Abbildung 4: AM462 als Spannung/Strom-Wandler-IC

Um den Einsatz des AM462 in einer Stromschleifenschaltung zu verstehen und den Vorzug der Zusatzfunktionen zu erkennen, soll zunächst das IC vorgestellt werden.

AM 462 – Spannung/Strom-Wandler-IC für 2-Draht Stromschleifenanwendungen (4...20mA)

Kernstück der Stromschleifenschaltung ist der AM462 (siehe *Abbildung 4*). Hierbei handelt es sich um ein mehrstufiges Verstärker-IC (für Messwertempfänger mit single ended Ausgängen) mit einer Reihe von Zusatz- und Schutzfunktionen, die alle optional benutzt werden können. Der AM462 ist in seiner Kernfunktion als Spannung/Strom-Wandler konzipiert. Er besteht aus mehreren modularen Funktionsmodulen (OPs, V/I-Konverter und Referenz), die durch externe Verknüpfungen zusammengeschaltet oder separat betrieben werden können (siehe *Abbildung 5 und 6*).

Die Funktionsgruppen im Einzelnen:

1. Die *Operationsverstärkerstufe* OP1 ermöglicht die Verstärkung eines positiven Spannungssignals. Die Verstärkung des OP1 ist über die externen Widerstände einstellbar.
2. Der interne *Spannungs-/Stromwandler* (V/I-Konverter) liefert ein spannungsgesteuertes Stromsignal am IC-Ausgang, das einen externen Transistor ansteuern kann, der den eigentlichen Ausgangsstrom liefert. Der Transistor ist aus Gründen der Verlustleistung extern ausgeführt und wird durch eine zusätzliche Diode gegen Verpolung geschützt.
3. Die *Referenzspannungsquelle* des AM462 erlaubt die Spannungsversorgung von externen Komponenten (z.B. Sensoren, μ P usw.) und vereinfacht den 2-Draht-Betrieb. Der Wert der Referenzspannung kann zwischen 5 und 10 Volt eingestellt werden.
4. Die zusätzliche *Operationsverstärkerstufe* (OP2) ist als Strom- bzw. Spannungsquelle zur Versorgung von externen Komponenten einsetzbar. Der positive Eingang des OP2 ist dabei intern auf die Spannung V_{BG} gelegt, so dass der Ausgangsstrom bzw. die -spannung durch einen bzw. zwei externe Widerstände über einen weiten Bereich einstellbar ist.

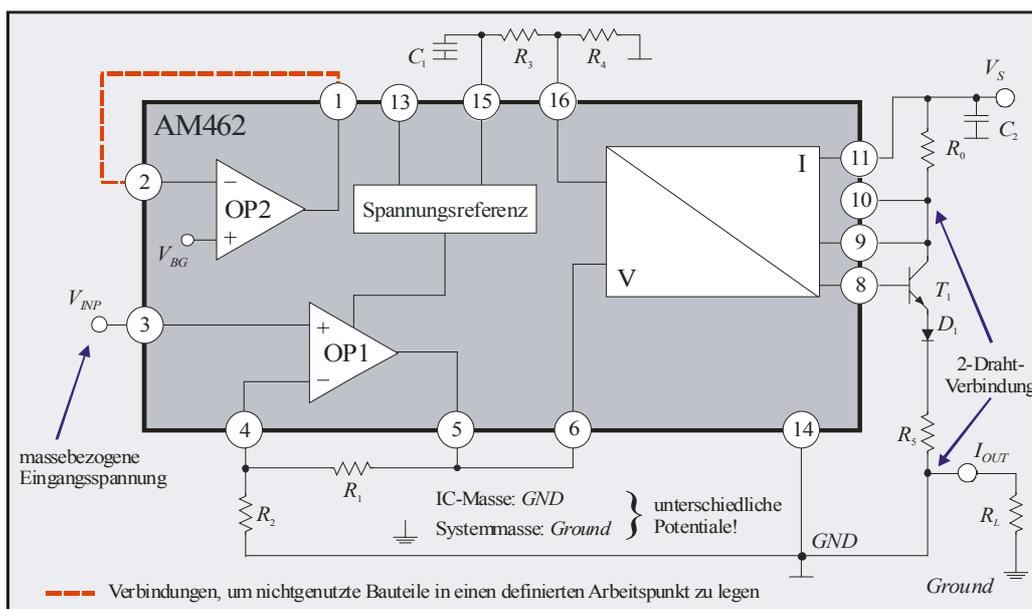


Abbildung 5: Anwendung des AM462 als 4..20mA Stromschleifen- IC im 2-Draht Betrieb

AM 462 – Spannung/Strom-Wandler-IC für 2-Draht Stromschleifenanwendungen (4...20mA)

Dimensionierung des AM462 sowie Anwendungsbeispiele (auch 3-Draht Anwendung) sind im Datenblatt AM462 [1] ausführlich beschrieben

Neben den beschriebenen Funktionsgruppen besitzt das IC einen internen Überspannungsschutz für den Eingangsverstärker (OP1), einen integrierten Verpolschutz bezüglich der Ausgangsstufe (V/I-Wandler) über den vollen Spannungsbereich und eine Ausgangsstrombegrenzung, die den Transistor gegen Zerstörung schützt.

Es ist darauf zu achten, dass im 2-Draht-Betrieb die gesamte Strombelastung (z.B. Benutzung des OP2 im AM462 als Strom/Spannungsquelle – *Abbildung 6*) durch die Eigenstromaufnahme des ICs und allgemein durch die Limitierung auf 4mA beschränkt ist. Die Stromaufnahme des Gesamtsystems (AM462 zuzüglich aller externen Komponenten) darf also in Summe nicht mehr als $I_{OUTmin} = 4mA$ betragen. Dies muss insbesondere für die Betriebsparameter berücksichtigt werden, bei denen sich die Stromaufnahme erhöht (z.B. Betriebstemperatur).

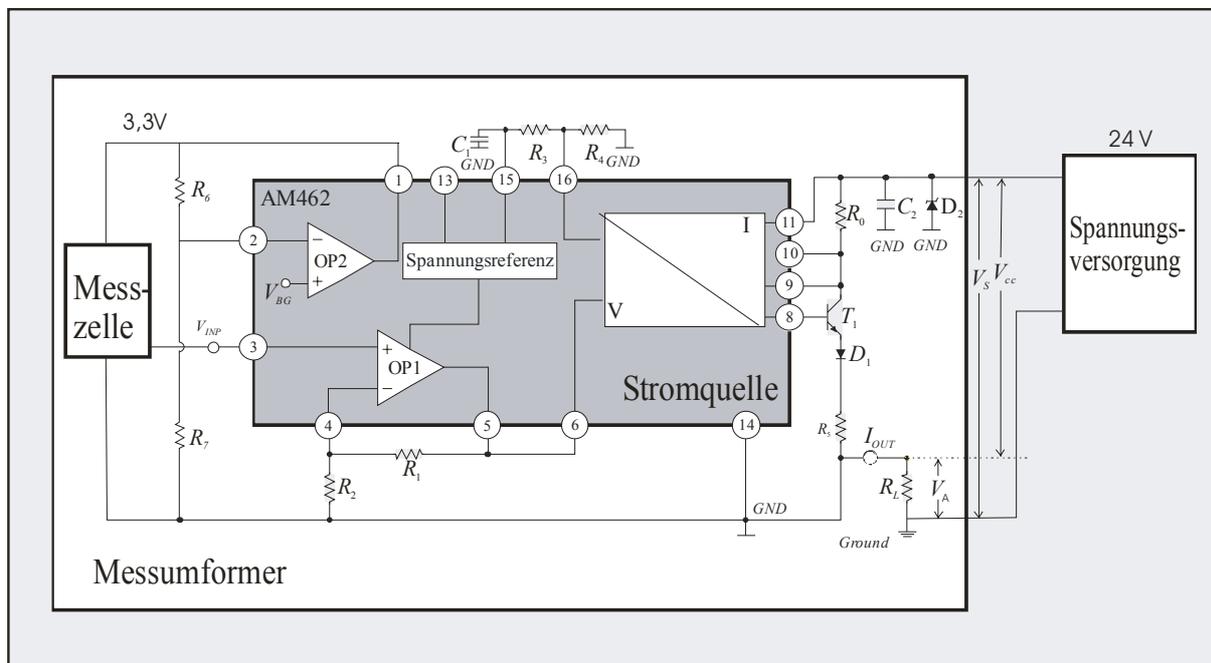


Abbildung 6: Beschaltung des A462 in einer Stromschleife mit 3,3V Versorgung einer Messzelle

AM 462 – Spannung/Strom-Wandler-IC für 2-Draht Stromschleifenanwendungen (4...20mA)

Stromschleifen-IC AM462 in der praktischen Anwendung

Wie in *Abbildung 6* gezeigt, ist GND der virtuelle Bezugspunkt für alle Bauelemente, die der spannungsgesteuerten Stromquelle vorgelagert sind, sowie für die Stromquelle selbst. Der Kondensator und die Zenerdiode als Überspannungsschutz sind ebenfalls auf GND zu beziehen.

GND wird über den Widerstand R_L mit dem Systemground (Ground) verbunden, liegt also auf anderem Potential als Ground.

$$GND \neq \text{Ground}$$

V_{CC} ist die Versorgungsspannung des ICs, wobei für die externe Spannungsversorgung bezogen auf Ground gelten muß: $V_S = V_A + V_{CC \min}$.

Für den AM462 gilt: $V_{CC \min} = V_{Ref} + 1V$ und $V_S = 6 / 11 \dots 35V$

Wie viele Geräte man in die 2 Draht-Stromschleife einbauen kann und insbesondere wie lang die Übertragungsleitung sein darf, ergibt sich aus den nachstehenden Formeln (siehe *Abbildung 7*). Es gilt:

$$V_A = I_{\max} \cdot R_L + I_{\max} \cdot \sum_i R_{li} + \sum_k V_{Mk} \quad \text{mit } R_{li} \text{ dem Leitungswiderstand,}$$

R_L dem Lastwiderstand und V_M dem Spannungsabfall an den Messgeräten. Nach *Abbildung 6* gilt:

$$V_S \geq V_{CC \min} + V_A \quad \text{oder} \quad V_{A \max} = V_S - V_{CC \min}$$

Mit Kenntnis oder Vorgabe von R_L , V_M und V_S lassen sich mit $R_{li} = \frac{\rho \cdot l}{A}$ (ρ = spezifischer

Widerstand von Kupfer, $\rho = 0,016 \Omega \text{m}^2/\text{m}$), l = Leitungslänge in m und A Leitungsquerschnitt in mm^2) die maximale Leitungslänge und/oder die zulässige Anzahl der Messgeräte bestimmen.

Über den Wert des Widerstandes R_L kann gesagt werden, dass er wegen der EMV-Empfindlichkeit niederohmig sein sollte, wobei sein unterer Wert durch das Auflösungsvermögen des Messinstrumentes (Messung des Spannungsabfalls über R_L bei minimalem Strom) begrenzt wird.

In *Abbildung 7* ist der Aufbau eines Sensors mit der 2-Leiter-Strommesstechnik dargestellt. Im Stromkreis sind entsprechende Geräte eingebaut, wie sie beispielhaft für eine SPS benötigt werden.

AM 462 – Spannung/Strom-Wandler-IC für 2-Draht Stromschleifenanwendungen (4...20mA)

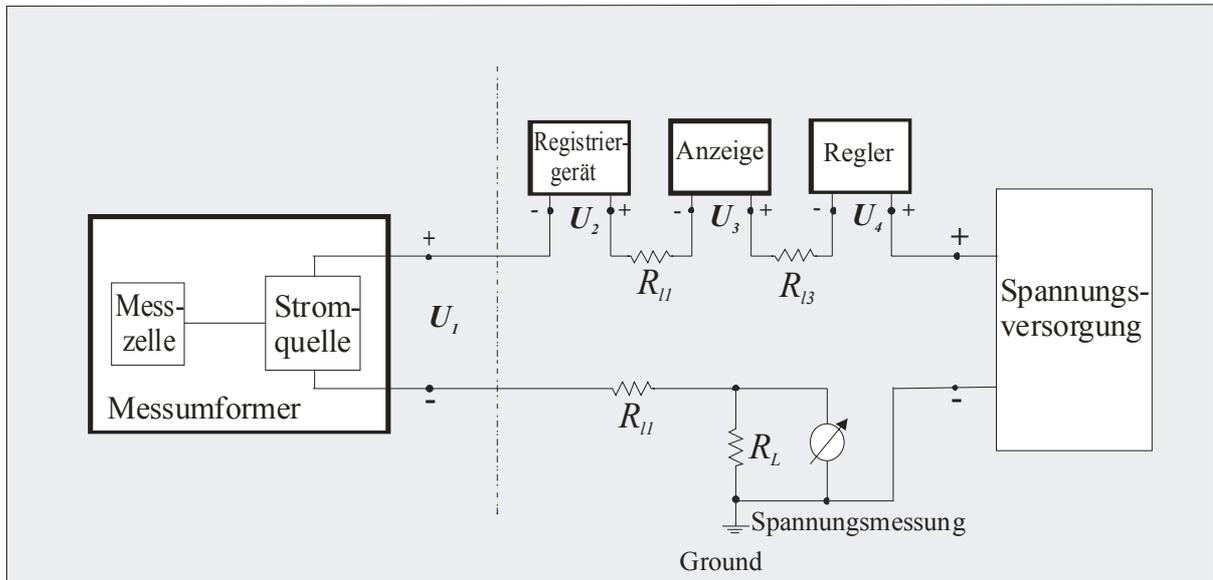


Abbildung 7: Anwendung der Stromschleifentechnik im Kontrollsystem

Zusammenfassung.

Analoge Messwerte über eine 4...20mA Schnittstelle störungsfrei zu übertragen ist trotz zunehmender Digitalisierung auch heute noch das häufigste Verfahren der industriellen Informationsübertragung.

In der Anwendungsbeschreibung wird dargestellt, was bei der Stromsignalübertragung im Falle der 2-Draht Konfiguration zu beachten ist. Es wird weiterhin am Beispiel des AM462 gezeigt wie einfach eine reale Schaltung aufgebaut werden kann, wie sie dimensioniert werden muß und welche Vorteile die Stromschleifenanwendung mit sich bringt.

Weiterführende Literatur

[1] www.analogmicro.de/german/index/html

[2] www.analogmicro.de/products/info/german/analogmicro.de.an1014.pdf