

Meßgleichrichter

In der Meßtechnik spielen Präzisionsgleichrichter eine wichtige Rolle. Zwei erprobte Schaltungen stellen wir hier vor.

Allgemeines

Zur Charakterisierung einer Wechselspannung dienen verschiedene Kenngrößen:

Zum einen ist die Frequenz von entscheidender Bedeutung, die z. B. bei Netzwechselspannung recht genau bei 50,00 Hz liegt, und zum anderen ist die Höhe der Spannung eine ausschlaggebende Größe. Bei letzterer unterscheiden wir zwischen dem Effektivwert, dem arithmetischen Mittelwert des Betrages sowie dem positiven und negativen Scheitelwert, auch Spitzenwert genannt.

Von diesen Kenngrößen ist der Effektivwert der Wechselspannung für die meisten Anwendungen am wichtigsten. Dies resultiert aus der einfachen Tatsache, daß der Effektivwert einer Wechselspannung an einem ohmschen Verbraucher einen Stromfluß hervorruft, der, multipliziert mit der Spannung, zu einer Leistung führt, die identisch ist, wie sie aufgrund einer Gleichspannung identischer Höhe freigesetzt würde. In der Praxis bedeutet dies auch, daß eine mit Wechselspannung betriebene Glühlampe die gleiche Helligkeit abgibt, wenn sie mit einer Gleichspannung betrieben wird, die eine identische Größe zum Effektivwert der betreffenden Wechselspannung aufweist.

Der Effektivwert einer Wechselspannung ist somit direkt vergleichbar mit einer Gleichspannung identischer Höhe, bezogen auf die Leistungsbilanz. Daß Frequenz und Kurvenform darüber hinaus zu ganz anderen Auswirkungen und Verhaltensweisen führen können, versteht sich dabei von selbst und soll nur der Vollständigkeit halber erwähnt werden.

Rechnerisch wird der Effektivwert nach folgender Formel ermittelt:

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U^2 dt}$$

Der Effektivwert ist somit als quadratischer Mittelwert definiert (Root Mean Square Value, RMS). Wählt man die darin enthaltene Meßdauer T groß gegenüber der größten im Signal enthaltenen Schwingungsdauer, ergibt sich eine meßzeitunabhängige Anzeige.

Wesentliches Element innerhalb eines echten Effektivwert-Meßgleichrichters ist gemäß der Formel ein Quadrierbaustein, der üblicherweise aus einem entsprechend geschalteten Multiplizierer gebildet wird.

Die Anforderungen hinsichtlich Dynamikumfang und Bandbreite sind vergleichsweise hoch, sofern man auch verzerrte, d. h. von der Sinusform abweichende Kurvenformen genau und zuverlässig auswerten möchte.

Aus diesem Grunde zieht man als preiswerte Alternative die Messung einer leichter zu ermittelnden Kenngröße, nämlich den arithmetischen Betragsmittelwert der Wechselspannung, heran. Dieser berechnet sich nach der Formel:

$$\overline{|U|} = \frac{1}{T} \int_0^T |U| dt$$

Meßtechnisch gesehen bedeutet die Formel nichts anderes als die Bildung des Betrages der Wechselspannung, bei anschließender Integration. Dies entspricht in der Praxis dem „Hochklappen“ der negativen Halbwellen (wie dies auch ein Brückengleichrichter bewirkt), um das so gewonnene und gepufferte Meßsignal auf ein Integrierglied zu geben, das im einfachsten Fall aus einer RC-Kombination besteht. Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle angemerkt, daß ein unbelasteter Brückengleichrichter einen nachgeschalteten Kondensator natürlich annähernd auf den Spitzenwert der Wechselspannung auflädt, weshalb für die Ermittlung des arithmetischen Betragsmittelwertes spezielle, aber dennoch einfache Schaltungen erforderlich sind.

Der echte Effektivwert einer Wechselspannung unterscheidet sich nun vom arithmetischen Betragsmittelwert, bezogen auf eine Sinuskurvenform, ungefähr um den Faktor 1,11 nach folgender Formel:

$$U_{\text{eff}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \overline{|U|} \approx 1,11 \cdot \overline{|U|}$$

Wird nun der arithmetische Betragsmittelwert gemessen (siehe auch Schaltung in Abbildung 2), so kann dieser sogenannte Formfaktor von 1,11 gleich mit Berücksichtigung finden. Je weiter sich die Kurvenform nun vom Sinusverlauf entfernt, desto größer sind die Abweichungen, die sich ergeben. Für Gleichstrom und Rechteck wird die Anzeige um 11 % zu groß, für Dreieck um 4 % und bei weißem Rauschen um 11 % zu klein, wobei diese „Kurven“ sich nun allerdings auch erheblich vom idealen Sinusverlauf unterscheiden. Leichte Sinuskurvenformverzerrungen hingegen führen auch nur zu vergleichsweise kleinen Abweichungen, die meistens tolerierbar sind.

Meßgleichrichter-Schaltungen

Um die Thematik der Meßgleichrichter anschaulich zu gestalten, haben wir 2 Schaltungsbeispiele ausgewählt. Bei der ersten Schaltung handelt es sich um einen Gleichrichter mit einfacher Versorgungsspannung, der sich durch ein Minimum an Aufwand auszeichnet, allerdings nur für einige Spezialfälle geeignet ist.

Die zweite Schaltung stellt eine weit verbreitete, hochwertige Vollweg-Meßgleichrichter-Version mit geerdetem Ausgang dar, die universell einsetzbar und serienerprobt ist.

Einfacher Meßgleichrichter

In Abbildung 1 ist der für einfache Versorgungsspannung ausgelegte Einweg-Meßgleichrichter dargestellt. Die Funktionsweise ist leicht erklärt:

Bei einer positiven Versorgungsspannung am Eingang U_{in} geht der Ausgang des OPs auf 0 V, und die Diode D 1 ist somit gesperrt. Über die Widerstände R 1 und R 2 gelangt die positive Eingangsspannung nun an den Ausgang U_{out} .

Liegt am Eingang U_{in} hingegen eine

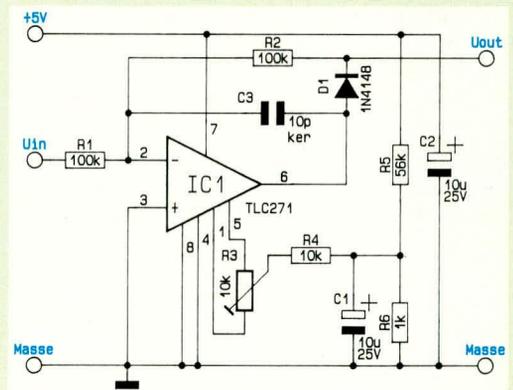
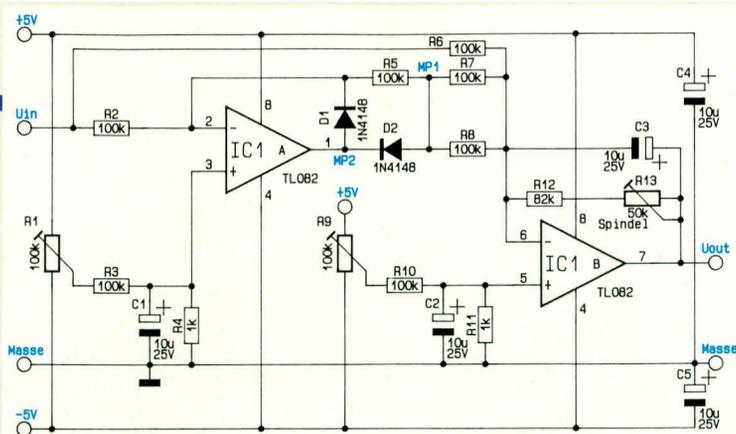


Bild 1: Schaltung des einfachen Meßgleichrichters

negative Spannung an, so führt der Ausgang betragsmäßig die gleichen Spannungen, jedoch mit positivem Vorzeichen. Am Ausgang des Meßgleichrichters U_{out} ist somit das zweiweggleichgerichtete Meßsignal verfügbar, wobei allerdings zu beachten ist, daß die positive Halbwellen mit einem Übertragungswiderstand von $R_1 + R_2 = 200 \text{ k}\Omega$ anliegt, während die negative Halbwellen niederohmig durch den Operationsverstärker vorgegeben wird. Wählt man nun eine entsprechende niederohmige Weiterverarbeitung des Ausgangssignals, so wird hierdurch praktisch die positive Halbwellen unterdrückt und die Schaltung arbeitet als Einweggleichrichter.

Mit dem Trimmer R 3 kann die Offset-Spannung kompensiert werden, d. h. es erfolgt eine Nullpunkt Korrektur, was besonders für kleine Eingangsspannungen sinnvoll ist.



Vollweg-Meßgleichrichter

In Abbildung 2 sehen wir die erprobte Schaltung eines Präzisions-Meßgleichrichters mit geerdetem Ausgang. Entsprechende Schaltungen finden wir auch in guten Multimetern, wobei als weitere Steigerung der erheblich aufwendigere echte Effektivwertmeßgleichrichter zu nennen ist.

Bei der Erläuterung des Meßgleichrichters beginnen wir zunächst mit der Betrachtung des IC 1 A. Bei positiven Eingangsspannungen U_{in} arbeitet IC 1 A als invertierender Verstärker. In diesem Fall ist MP 2 negativ und D 2 leitet, während D 1 sperrt. Dadurch wird MP 1 = $-U_{in}$.

Liegen am Eingang U_{in} negative Eingangsspannungen an, so wird MP 2 positiv und D 2 sperrt. In diesem Fall wird nun D 1 leitet und koppelt den Verstärker gegen, wodurch verhindert wird, daß IC 1 A übersteuert. Da D 2 sperrt, liegt an MP 1 ebenfalls 0 V an.

Zusammenfassend gilt für diesen Verstärkerteil somit, bezogen auf MP 1, eine Invertierung des Eingangssignals für positive Eingangsspannungen, während bei negativen Eingangsspannungen MP 1 zu 0 wird. In Abbildung 3 ist dieses Verhalten aufskizziert.

Die Erweiterung der eben beschriebenen Stufe zu einem Vollweggleichrichter erfolgt mit der zweiten Stufe, die mit IC 1 B und Zusatzbeschaltung realisiert ist. Die Funktionsweise wollen wir zunächst ohne Berücksichtigung des Kondensators C 3 betrachten.

IC 1 B ist ebenfalls als invertierender Verstärker geschaltet, wobei allerdings als Besonderheit 2 verschiedene Eingangsspannungen addiert werden.

Bei der ersten Eingangsspannung handelt es sich um die Meßspannung U_{in} , die über R 6 auf den invertierenden Eingang (Pin 6) des IC 1 B gelangt. In Abbildung 3 C ist der Kurvenverlauf der Ausgangs-

spannung U_{out} zu sehen, wenn R 7, R 8 unterbrochen und nur R 6 die Eingangsspannung U_{in} auf den Eingang (Pin 6) des IC 1 B geben würde. U_{out} stellt somit die invertierte Meßspannung U_{in} dar.

Denken wir uns als nächsten Schritt den Widerstand R 6 unterbrochen, und bauen nun R 7, R 8 ein, die gemeinsam den halben Wert, d. h. die doppelte Gewichtung wie R 6 besitzen. Nun steht an U_{out} die invertierte betragsmäßig doppelt so große Spannung an wie an MP 1. Der Verlauf ist in Abbildung 3 D zu sehen.

Sind nun sowohl R 6 als auch R 7, R 8 gleichermaßen eingebaut, ergibt sich dadurch eine Addition der Spannungsverläufe aus Abbildung 3 C und E, woraufhin am Ausgang U_{out} der Spannungsverlauf gemäß Abbildung 3 E verfügbar ist. Dabei handelt es sich um das vollweggleichgerichtete Eingangssignal U_{in} .

Wenn wir nun zu guter Letzt den Integrationskondensator C 3 einbauen, dessen Zeitkonstante in Verbindung mit R 12, R 13 groß gegenüber der niedrigsten zu messenden Eingangsspannung ist, so stellt sich der arithmetische Betragsmittelwert $|U_{out}|$ gemäß der gestrichelten Linie in Abbildung 3 E ein. Mit dem Spindeltrimmer R 13 ist ein Feinabgleich des Skalenfaktors/der Verstärkung möglich, während R 1 und R 9 zur Offset-Einstellung der beiden Operationsverstärker, d. h. zur Nullpunkt Korrektur dienen.

Nachbau und Abgleich

Für jede der beiden Schaltungsvarianten steht ein separates Platinenlayout zur Verfügung. Hierbei können die Leiterplatten einen eigenständigen Einsatz finden, oder das Platinenlayout kann in eine bestehende Schaltung mit integriert werden, da sich das Leiterbahnbild auf den ELV-Platinenvorlagen befindet.

Für den Abgleich empfiehlt es sich, zu-

Bild 2:
Schaltbild
des
Präzisions-
Meßgleich-
richters

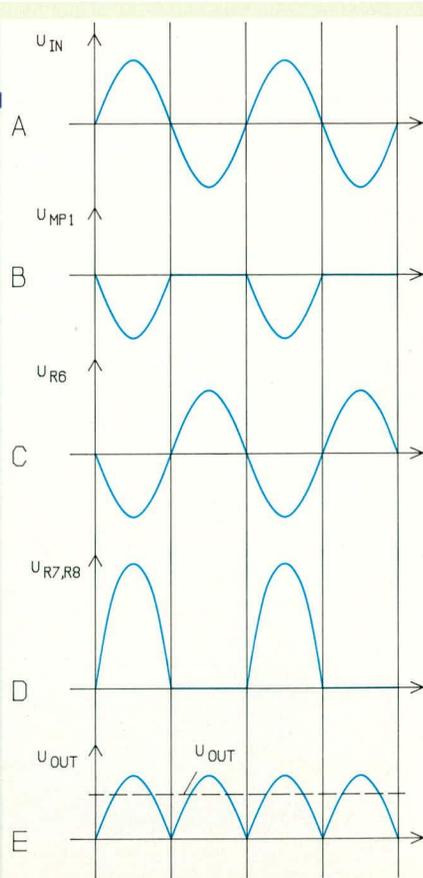


Bild 3: Spannungsverläufe innerhalb
des Präzisions-Meßgleichrichters

nächst den Eingang U_{in} nach Masse kurz-zuschließen und an MP 2, bezogen auf die Schaltungsmasse, die Spannung zu messen, um sie durch Einstellung von R 1 zu minimieren. Da im Bereich des Nullpunktes die Schaltung aufgrund der Diodenflußspannungen hin- und herkippen kann, empfiehlt es sich, zwischen Pin 1 und Pin 2 für die Zeit des Nullpunktgleiches einen 10 nF-Kondensator einzusetzen, der anschließend wieder zu entfernen ist.

Als nächstes wird der Nullpunkt des IC 1 B mit R 9 eingestellt, wobei MP 1 nach Masse kurzgeschlossen ist und die Spannung U_{out} gemessen und mit R 9 auf 0 eingestellt wird (<1 mV).

Im letzten Abgleichschritt ist der Skalenfaktor, d. h. die Verstärkung einzustellen. Hierzu wird an den Eingang eine Wechselspannung genau bekannter Größe angelegt, die sich möglichst im oberen Drittel des Meßbereichsendwertes ($U_{in,max} = 2 V_{eff}$) bewegen sollte.

Mit R 13 wird nun die Ausgangs-Gleichspannung U_{out} genau auf den Effektivwert der Eingangsspannung eingestellt, wobei wir im vorliegenden Fall von sinusförmigen Eingangs-Meßspannungen ausgehen. **ELV**

Foto und Bestückungsplan vom einfachen Meßgleichrichter (links) und vom Vollweg-Meßgleichrichter (rechts)

