

Echter Effektivwert-Gleichrichter

Vielfach besteht der Wunsch, bei Wechselspannungs- und Wechselstrommessungen den echten Effektivwert zu messen, besonders dann, wenn die Kurvenformen der Meßspannungen von der Sinusfunktion abweichen. Mit dieser verhältnismäßig einfach aufzubauenden Zusatzschaltung können die meisten digitalen Multimeter zur Messung des echten Effektivwertes nachgerüstet werden.

Theoretische Grundlagen

Bei Wechselspannungsmessungen ist im allgemeinen der Effektivwert von Interesse — gleiches gilt selbstverständlich ebenso für Wechselstrommessungen.

Der Effektivwert einer Wechselspannung ist deshalb von besonderem Interesse, da er einem Gleichspannungswert identischer Größe entspricht.

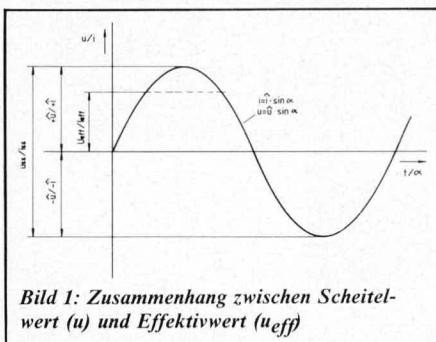
In der Praxis bedeutet dies, daß der echte Effektivwert einer Wechselspannung, die an einem rein Ohmschen Widerstand anliegt, in diesem Widerstand die exakt gleiche Leistung in Wärme umsetzt, die eine gleich große Gleichspannung bewirken würde (jeweils multipliziert mit dem zugehörigen Strom).

Im Prinzip kann der Effektivwert einer Wechselspannung durch die verhältnismäßig einfache Messung des Spitzenwertes ermittelt werden, da die genaue Beziehung zwischen Effektivwert und Spitzenwert bei rein sinusförmigen Wechselspannungen nach der Formel:

$$U_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \hat{U}$$

festgelegt ist. Dies bedeutet, daß der gemessene Spitzenwert anschließend durch 1,41 geteilt werden muß, um den Effektivwert zu erhalten. Auf einfache Weise wird das bei der Festlegung des Skalenfaktors bei den meisten nach diesem Prinzip arbeitenden Meßgeräten mit einkalibriert. Eine Umrechnung ist selbstverständlich nicht nötig. Auf der Anzeige können die Effektivwerte direkt abgelesen werden.

Vorgenannte Möglichkeit bietet sich jedoch ausschließlich dann an, wenn es sich um rein sinusförmige Kurvenformen handelt. Bei anderen Spannungsverläufen können beliebig große Abweichungen auftreten. Besonders bei Rauschspannungen mit hohen Spitzen ergeben sich Meßfehler extremer Größe, so daß nicht einmal mehr



ein annähernder Bezug auf den tatsächlichen Effektivwert der Spannung aufgrund des angezeigten Meßergebnisses möglich ist.

Eine Verbesserung stellt hier die Messung des arithmetischen Mittelwertes dar, bei dem die Abweichungen im allgemeinen deutlich geringer sind. Entsprechend ausgerüstete Meßgeräte zeigen bei rein sinusförmigem Kurvenverlauf der Meßspannung direkt den Effektivwert an. Bei abweichenden Kurvenformen wird jedoch auch hier der Meßfehler um so größer, je weiter der Kurvenverlauf der Meßspannung von der Sinusform abweicht.

Bei nicht wesentlichen Kurvenformverzerrungen bleibt der Fehler im allgemeinen unter 1 %, während bei der Messung von Rechteckspannungen die Anzeige beispielsweise um 11 % zu groß und bei Dreieckspannungen um 4 % zu klein ist. Die beste Möglichkeit zur Erzielung hoher Genauigkeiten bei den verschiedensten Kurvenformen ist daher die wirkliche Messung des Effektivwertes — in der Meßtechnik häufig auch als „echter Effektivwert“ oder „true RMS“ bezeichnet.

Der Effektivwert ist definiert als:

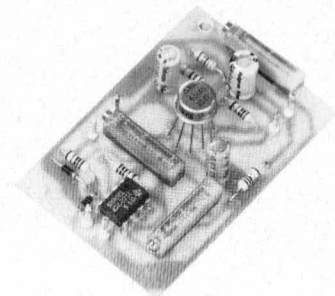
$$U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} u^2 dt}$$

In der meßtechnischen Praxis bedeutet dies, daß die vorstehende mathematische Formel auf elektronische Weise nachgebildet werden muß. Hierzu wird die Meßspannung zunächst quadriert (mit sich selbst multipliziert), um anschließend integriert zu werden. Nach erfolgter Integration (meist mit Hilfe eines Kondensators) wird das Ergebnis radiziert, d. h., es wird daraus die Quadratwurzel gezogen.

Das größte Problem ist hierbei die Radizierung im Bereich sehr kleiner Größen (in der Nähe von 0), da man genau bei 0 auf einen mathematisch (und auch elektronisch) nicht definierten Ausdruck trifft (0:0).

Aus vorgenannten Gründen ist die Messung des echten Effektivwertes über einen ausreichend großen Meßbereich verhältnismäßig aufwendig und wird daher meistens nur für höherwertige elektronische Meßinstrumente eingesetzt.

Inzwischen werden von einigen Herstellern echte Effektivwertwandler in integrierter Bauweise angeboten, wodurch sich der Selbstbau solcher Gleichrichtersysteme erheblich vereinfacht.



Wir stellen Ihnen daher in diesem Artikel die Schaltung eines echten Effektivwert-Gleichrichters vor, die zur Nachrüstung der meisten gebräuchlichen elektronischen Digital-Multimeter geeignet ist. Eine Eingangsspannung im Bereich von 0 bis 200 mV (Effektivwert) wird in eine entsprechende Gleichspannung von ebenfalls 0 bis 200 mV umgesetzt. Die genauen technischen Daten können der Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1

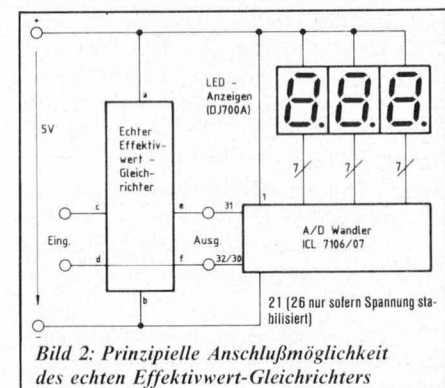
Spannungsvorsorgung:	+ 2 V bis + 12 V
	Masse
	-2,5 V bis -12 V
	Gesamtspannung max. 16 V
Eingangsspannungsbereich:	0-200 mV _{eff}
Überlastschutz	± 50 V
Crest-Faktor:	6
Genauigkeit:	± 0,3 % ± 0,3 mV
Bandbreite (V _m = 200 mV)	1 MHz (3 dB)
	130 kHz (0,1 dB ± 1 %)

Zur Schaltung

Für ein so komplexes System wie dem hier vorliegenden echten Effektivwert-Gleichrichter, konnte die Schaltung mit erstaunlich geringem Aufwand an Bauelementen realisiert werden. Dies liegt im wesentlichen an der komplexen Funktion des eigentlichen Wandlerbausteins IC 2 des Typs AD 636 von Analog-Devices.

In diesem IC sind alle wesentlichen Funktionseinheiten zur Umsetzung des echten Effektivwertes einer Wechselspannung in eine äquivalente Gleichspannung integriert.

Damit der Eingang der Gesamtschaltung (Punkt „c“) das Meßobjekt bzw. einen hochohmigen Eingangsspannungsteiler nicht unnötig belastet, wurde mit dem OP 1 ein extrem hochohmiger Eingangsverstärker aufgebaut (0 dB ≅ 1:1). Am Ausgang des OP 1 (Pin 6) steht das gepufferte Eingangssignal zur Ansteuerung des Einganges (Pin 4) des IC 2 zur Verfügung.



Mit dem Spindeltrimmer R5 kann eine Feintrimmung des Skalenfaktors (Verstärkung) des IC2 vorgenommen werden.

Am Ausgang des IC2 (Pin 8) kann dann eine Gleichspannung abgegriffen werden, die dem echten Effektivwert der Eingangsspannung entspricht (jeweils bezogen auf Analog-Ground = AG = Punkt „d“ bzw. „f“).

Der Spindeltrimmer R3 dient zur Offsetkompensation des OP1, während R6 zum Nullabgleich des IC2 dient. Hierauf wird im folgenden Kapitel noch näher eingegangen.

Zur Spannungsversorgung der Schaltung sind zwei stabilisierte Festspannungen erforderlich. Die positive Festspannung kann im Bereich von +2 V bis +12 V liegen, während die negative Festspannung -2,5 V bis -12 V betragen darf (jeweils bezogen auf die Schaltungsmasse — auch mit Analog-Ground = AG bezeichnet). Die zwischen den Anschlußpunkten „a“ und „b“ auftretende Spannungsdifferenz darf 16 V nicht überschreiten.

Können die Versorgungsspannungen für diese Schaltung aufgrund von Neuentwicklungen frei gewählt werden, so sollten diese symmetrisch bei ± 5 V liegen.

Kalibrierung

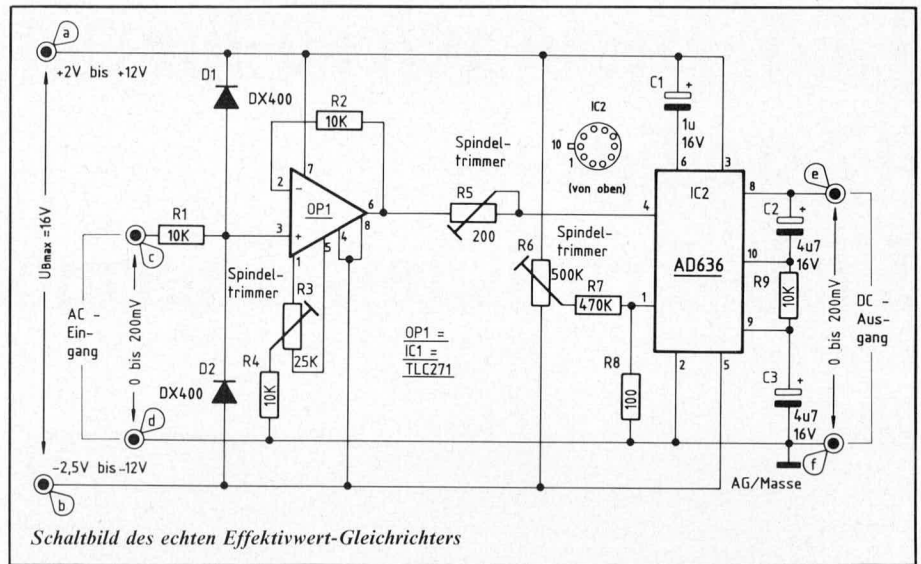
Zunächst sind die Eingangsklemmen „c“ und „d“ über ein kurzes Leitungsstück miteinander zu verbinden.

Mit einem möglichst hoch auflösenden Voltmeter ist jetzt die Ausgangsspannung des OP1 (Pin 6) auf die Schaltungsmasse bezogen (Punkte „d“ bzw. „f“) zu messen.

Der Spindeltrimmer R3 wird so eingestellt, daß die Ausgangsspannung des OP1 0 wird (max. 0,3 mV).

Als nächstes mißt man jetzt die Ausgangsspannung des IC2 (von Pin 8 zur Schaltungsmasse) und stellt den Spindeltrimmer R6 so ein, daß auch hier die Spannung möglichst 0 wird (max. 0,5 mV).

Die Feineinstellung des Skalenfaktors ist auf besonders einfache Weise möglich, da die Schaltung auch Gleichspannungen zu verarbeiten in der Lage ist.



Schaltbild des echten Effektivwert-Gleichrichters

Hierzu wird zunächst der Kurzschluß am Eingang beseitigt und eine bekannte „saubere“ Gleichspannung im Bereich von 100 mV bis 200 mV zwischen die Punkte „c“ und „d“ angelegt. Der Pluspol sollte hierbei an Punkt „c“ anliegen.

Das vorher zur Nullpunkteinstellung verwendete hochauflösende Voltmeter wird jetzt zwischen die Anschlußpunkte „c“ und „e“ angeschlossen, wobei R5 so einzustellen ist, daß sich eine möglichst geringe Spannungsdifferenz zwischen den Punkten „c“ und „e“ ergibt (max. 5 mV).

Ist hier mit R5 eine optimale Übereinstimmung vorgenommen worden, so beträgt das Übersetzungsverhältnis exakt 1:1 und man kann in den angegebenen Genauigkeitsgrenzen davon ausgehen, daß auch bei Anliegen einer Wechselspannung am Ausgang (Punkt „e“) eine äquivalente Gleichspannung zur Weiterverarbeitung ansteht.

Vorgenannte Einstellmethode für den Skalenfaktor mit dem Spindeltrimmer R5 ist jedoch nur dann einsetzbar, wenn am Eingang tatsächlich eine einwandfreie Gleichspannung angelegt wird. Sobald ein geringer Brummanteil vorhanden ist, wird dieser vom IC2 ausgewertet und am Ausgang (Pin 8 des IC2) steht selbstverständlich eine

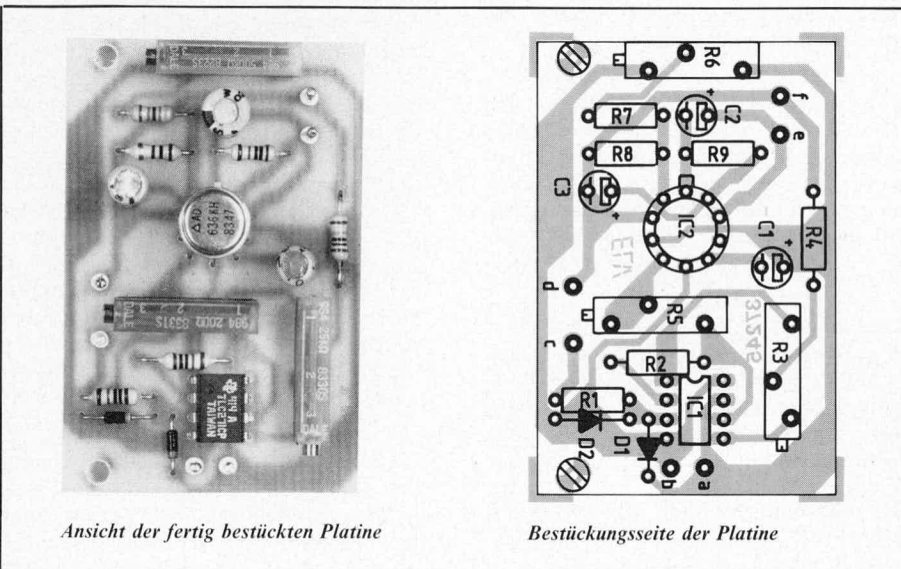
höhere Gleichspannung an (entsprechend der Größe des Brummanteils der Eingangsgleichspannung).

Eine weitere Möglichkeit zur Skalenfaktoreinstellung mit R5 besteht darin, daß man die Eingangsgleichspannung, die im Bereich zwischen 100 und 200 mV liegen sollte, mit der Ausgangsgleichspannung (zwischen den Anschlußpunkten „e“ und „f“) vergleicht und mit R5 in Übereinstimmung bringt. Diese letztgenannte Methode sollte dann angewandt werden, wenn die zur Kalibrierung eingesetzte Eingangsgleichspannung einen nicht zu vernachlässigenden Innenwiderstand besitzt, d. h., wenn sie z. B. über einen Spannungsteiler an Punkt „c“ angeschlossen wurde.

Zum Nachbau

In gewohnter Weise sind zunächst die passiven und dann die aktiven Bauelemente auf die Platine zu setzen und zu verlöten.

Der Anschluß der Meß- und Stromversorgungsleitungen ist mit kurzen isolierten, flexiblen Drähten vorzunehmen, um Störeinstreuungen zu vermeiden. Ggf. sind noch zwei Pufferkondensatoren von Anschlußpunkt „a“ zur Schaltungsmasse („f“) sowie von der Schaltungsmasse zum Anschlußpunkt „b“ zu schalten (Elko's ca. 10 μ F/16 V).



Ansicht der fertig bestückten Platine

Bestückungsseite der Platine

Stückliste: Echter Effektivwert-Gleichrichter

Halbleiter

IC1	.....	TLC 271
IC2	.....	AD 636
D1, D2	.....	DX 400

Kondensatoren

C1	.....	1 μ F/16 V
C2, C3	.....	4,7 μ F/16 V

Widerstände

R1, R2, R4, R9	.....	10 k Ω
R3	.....	25 k Ω , Spindeltrimmer
R5	.....	200 Ω , Spindeltrimmer
R6	.....	500 k Ω , Spindeltrimmer
R7	.....	470 k Ω
R8	.....	100 Ω

Sonstiges

6 Lötstifte