

# Analog-Multiplizierer

**Anhand eines praktischen Beispiels werden die Funktionsweise und der Einsatz von Analog-Multiplizierern erläutert.**

## Allgemeines

Zur Multiplikation von 2 variablen Spannungen werden in der Elektronik, und da insbesondere in der Meßtechnik, sogenannte Analog-Multiplizierer eingesetzt. Die Funktionsweise und den typischen Einsatz dieser Bauelemente wollen wir nun anhand eines Beispiels näher betrachten.

Das klassische Beispiel für eine Multiplikation in der Elektrotechnik ist sicherlich die Messung der elektrischen Leistung. Solange der Leistungsmessung Gleichströme und Gleichspannungen zugrunde liegen, ist die Berechnung nach der Formel

$$P = U \cdot I$$

sehr einfach und auch ohne großen Schaltungsaufwand möglich.

Über einen Shunt-Widerstand wird üblicherweise eine stromproportionale Spannung gewonnen. Zur Multiplikation mit dem bereits vorliegenden Spannungswert ist am einfachsten ein Operationsverstärker einsetzbar.

Variieren jedoch Strom und/oder Spannung, so ist die Ermittlung der Leistung aufwendiger. Ändert sich zusätzlich zum Wert auch noch die Polarität, sprechen wir von Wechselgrößen, d. h. von Wechselstrom und von Wechselspannung.

Sowohl willkürliche als auch periodische Kurvenverläufe sind hierbei möglich, wobei dann für die Leistungsberechnung die Effektivwerte entscheidend sind. Der Effektivwert des Wechselstromes entspricht dem Wert eines Gleichstromes, der in derselben Zeit an demselben Widerstand die gleiche Verlustleistung erzeugt. In der Elektrotechnik sind sehr häufig

sinusförmige Kurvenverläufe für Strom und Spannung anzutreffen. Hier ist die Berechnung der Effektivwerte dann sehr einfach nach den Formeln

$$I_{\text{eff}} = \frac{I_s}{\sqrt{2}} \quad \text{und} \quad U_{\text{eff}} = \frac{U_s}{\sqrt{2}}$$

möglich.

Solange keine Phasenverschiebung zwischen den beiden Größen Strom und Spannung auftritt, erfolgt die Leistungsberechnung nach der Formel

$$P = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}}$$

Dies trifft jedoch ausschließlich bei einer rein ohmschen Last ohne induktiven bzw. kapazitiven Anteil zu.

Sobald eine Phasenverschiebung durch induktive oder kapazitive Blindwiderstände im Wechselstromkreis auftritt, muß der Phasenwinkel  $\cos \varphi$  für die Berechnung der Wirkleistung berücksichtigt werden. Die Formel lautet dann:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

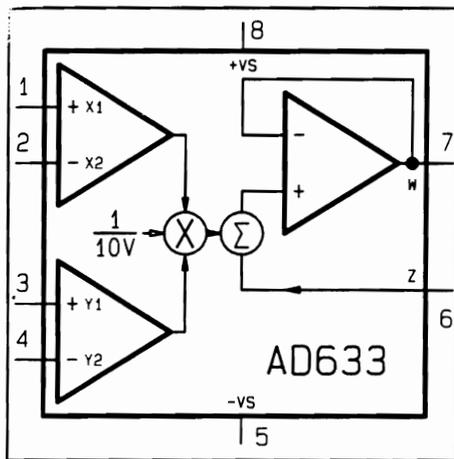
In der Praxis der Leistungsmessung kommt es jedoch selten vor, daß insbesondere die Kurvenform des zu messenden Stromes mit einem Sinusverlauf nur noch wenig gemeinsam hat. Denken wir an kapazitiv belastete Gleichrichter, Phasenanschnittsteuerungen und Schaltnetzteile, wird dies besonders deutlich. In Verbindung mit Phasenverschiebungen ist dann eine vereinfachte Messung gemäß vorstehender Formeln kaum mehr möglich.

Hier nun bietet der Vierquadranten-Analog-Multiplizierer seine Dienste an. Durch Multiplikation der Augenblickswerte für Strom und Spannung bei anschließender Integration erhalten wir die tatsächlich vorhandene Wirkleistung.

Abhängig von den erlaubten Vorzeichen der Eingangsspannungen steht neben dem Vierquadranten-Multiplizierer auch der einfachere Einquadranten- bzw. Zwei-quadranten-Multiplizierer zur Verfügung. Beim Vierquadranten-Analog-Multiplizierer sind sämtliche Polaritäts-Kombinationen an den beiden Eingängen möglich,

### Technische Daten: Analog-Multiplizierer

Übertragungsfunktion:	$w = \frac{(X1-X2) \cdot (Y1 - Y2)}{10 V} + Z$
Übertragungsfehler:	..... max. $\pm 2 \%$
Linearitätsfehler X-Eingang:	.... max. $\pm 1 \%$
Linearitätsfehler Y-Eingang:	. max. $\pm 0,4 \%$
Ausgangs impedanz der Schaltung:	..... 1 k $\Omega$
Betriebsspannung:	..... $\pm 10 V$ bis $\pm 30 V$
Stromaufnahme:	..... max. 15 mA (bei $U_B = \pm 12 V$ )
Abmessungen der Leiterplatte:	..... 57,5 x 50,5 mm



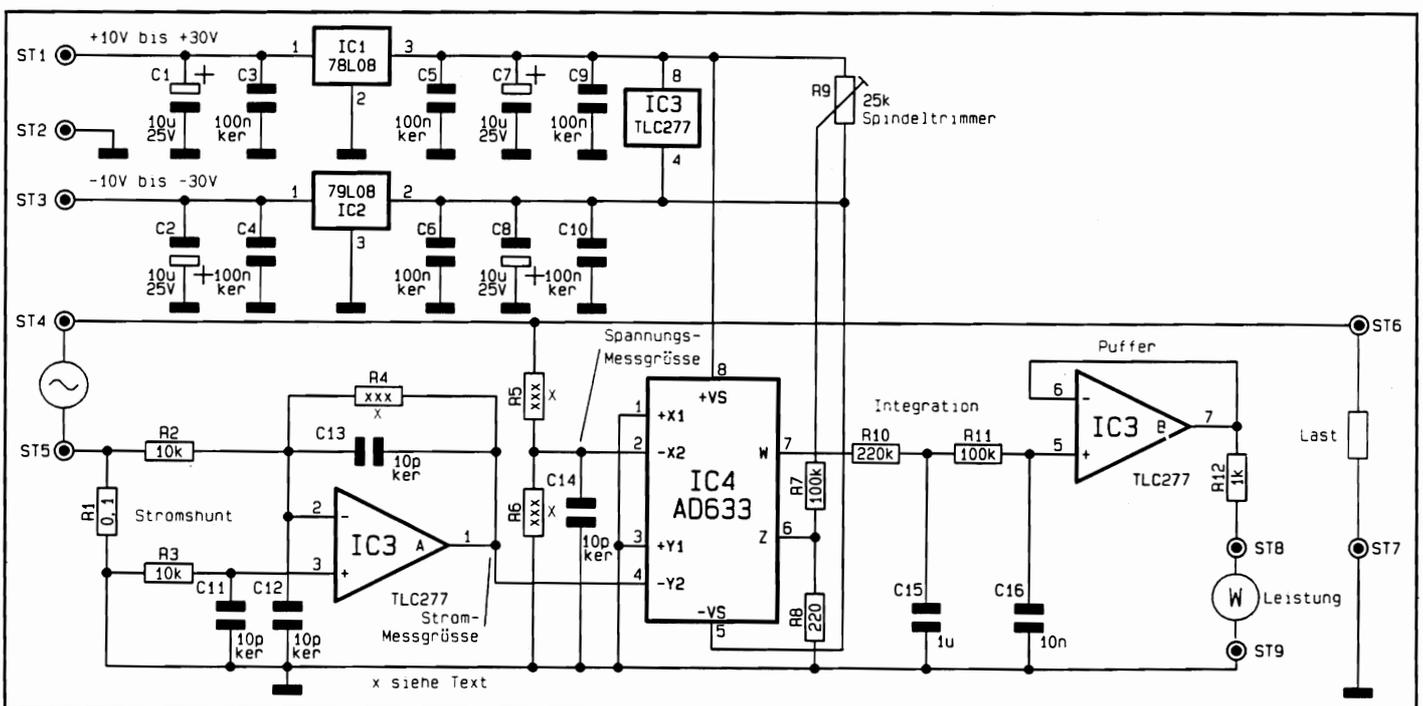
**Bild 1: Anschlußbelegung und interner Aufbau des Vierquadranten-Analog-Multiplizierers AD633**

d. h. sowohl positive als auch negative Eingangsspannungen sind erlaubt.

Abbildung 1 zeigt die Anschlußbelegung und den internen Aufbau des in einem 8poligen Dual-Inline-Gehäuse untergebrachten Vierquadranten-Analog-Multiplizierers AD633 von Analog-Devices. Dieses Bauelement ist mit zwei hochohmigen Differentialeingängen für die zu multiplizierenden Eingangssignale ausgestattet und besitzt eine „Laser-getrimmte“ Genauigkeit und Stabilität von 2 %.

Durch eine „Laser-getrimmte“ interne 10V-Referenzspannungsquelle ist die externe Beschaltung sehr gering.

**Bild 2: Beispielschaltung zur Wirkleistungsmessung**



Bei einer Bandbreite von 10 Hz bis 10 kHz liegt der maximale Linearitätsfehler des Y-Eingangs unter 0,1 %. Die maximale Bandbreite des AD 633 beträgt 1 MHz, und zur Spannungsversorgung ist eine Betriebsspannung von  $\pm 8$  V bis  $\pm 18$  V erlaubt.

### Schaltung

Kommen wir jetzt zu dem in Abbildung 2 dargestellten Beispiel zur Wirkleistungsmessung unter Berücksichtigung der phasenbezogenen Multiplikation von Strom und Spannung.

Die über ST 4 und ST 5 zugeführte Versorgungsspannung des Verbrauchers (Gleichspannung oder Wechselspannung) speist über den Shuntwiderstand R 1 direkt die an ST 6 und ST 7 angeschlossene Last. Der aktuell fließende Laststrom erzeugt am Shunt (R 1) somit einen stromproportionalen Spannungsabfall.

Über den als Differenzverstärker arbeitenden Operationsverstärker IC 3A gelangt die stromproportionale Spannung auf den negativen Y-Eingang des Analog-Multiplizierers (IC 4).

Die Spannungsverstärkung des OPs wird durch das Verhältnis der Widerstände R 2 zu R 4 bestimmt.

Während C 11 und C 12 hochfrequente Störeinkopplungen auf den OP-Eingang verhindern, dient der parallel zum Gegenkopplungswiderstand R 4 liegende Kondensator C 13 zur Schwingneigungsunterdrückung.

Über den mit R 5 und R 6 aufgebauten Spannungsteiler wird die am Verbraucher anliegende Betriebsspannung gemessen. Die am Spannungsteilerabgriff anliegende

Spannungsmeßgröße wird dem Multiplizierer am negativen X-Eingang (Pin 2) zugeführt.

Chip-intern erfolgt nun die phasenbezogene Multiplikation der zwischen Pin 1 und Pin 2 zugeführten Spannungsmeßgröße und der zwischen Pin 3 und Pin 4 zugeführten Strommeßgröße. Das Ergebnis dieser Multiplikation wird anschließend chip-intern durch den Faktor 10 geteilt und schließlich zu der an Pin 6 zum Offset-Abgleich anliegenden Gleichspannung hinzuaddiert. An Pin 7 steht dann letztendlich das Ausgangssignal des Vierquadranten-Analog-Multiplizierers zur Verfügung.

Die chip-interne Signalverarbeitung ist durch eine einzige, recht einfache Formel beschreibbar.

$$W = \frac{(X1 - X2) \cdot (Y1 - Y2)}{10 V} + Z$$

In der Formel repräsentieren X und Y die beiden miteinander zu multiplizierenden Eingangssignale, Z die zum Produkt addierte Offsetspannung (Pin 6) und W das an Pin 7 anstehende Ausgangssignal.

Die Einstellung des Nullpunktes (Offset) des AD633 wird mit Hilfe des Spindeltrimmers R 9 in Verbindung mit den beiden Festwiderständen R 7 und R 8 vorgenommen.

Das Produkt der Multiplikation an Pin 7 des AD 633 wird nun auf zwei hintereinander geschaltete RC-Tiefpaßglieder zur Bildung des arithmetischen Mittelwertes des Eingangssignals gegeben. Die eigentliche Signal-Integration erfolgt dabei mit dem ersten, in der Grenzfrequenz wesentlich tiefer liegenden Tiefpaß. Während die

Grenzfrequenz des mit R 10 und C 15 aufgebauten Integriergliedes wesentlich unterhalb der Meßfrequenz liegt, unterdrückt der zweite, mit R 11 und C 16 aufgebaute, Tiefpaß in erster Linie hochfrequente Störsignale und Spikes.

Die Pufferung der wirkleistungsproportionalen Gleichspannung erfolgt mit IC 3 B, so daß am Ausgang (Pin 7) dieses Impedanzwandlers das Signal niederohmig zur Verfügung steht.

Ausgekoppelt wird die zur Wirkleistung proportionale Meßspannung über R 12 an ST 8.

Durch den Einsatz eines Operationsverstärkers mit sehr geringer Offset-Spannung (500 µV) ist bei IC 3A und IC 3B kein Offset-Abgleich erforderlich. Der Offset-Abgleich des AD 633 ist sehr einfach durchzuführen, indem ohne Eingangssignal an ST 4 und ST 5 der Meßausgang an ST 8 exakt auf 0 V eingestellt wird.

Zum Betrieb des Vierquadranten-Analog-Multiplizierers ist eine unstabilierte Plus-Minus-Spannung zwischen ±10 V und ±30 V erforderlich. Die auf Schaltungsmasse (ST 2) bezogene positive Betriebsspannung ist an ST 1 und die ebenfalls auf Schaltungsmasse bezogene negative Betriebsspannung ist an ST 3 anzuschließen.

Nach der ersten Pufferung mit C 1 und C 2 erfolgt mit IC 1 und IC 2 jeweils eine Stabilisierung auf 8 V. Während C 7 und C 8 zur Pufferung der stabilisierten Ausgangsspannungen dienen, eliminieren C 5, C 6 sowie C 9 und C 10 hochfrequente Störanteile.

Durch Dimensionierung der Widerstände R 4 bis R 6 ist die Schaltung optimal an die individuell unterschiedlichen Ströme und Spannungen anpaßbar. Dazu ein einfaches Dimensionierungsbeispiel:

Angenommen, die Wirkleistungsentnahme aus einem Wechselspannungs-Netzgerät mit einer Spannung von 20 V und einer Strombelastbarkeit von 1 A soll an ST 8 eine maximale Meßspannung von 200 mV erzeugen. Ein einfaches Panelmeter mit 200mV-Meßbereich oder ein Multimeter ist dann zur Wirkleistungsanzeige nutzbar.

Bei einem Stromfluß von 1 A entsteht am Shunt (R 1) ein Spannungsabfall von 100 mV. Setzen wir nun für R 4 einen 100 kOhm-Widerstand ein, so erhalten wir bei 10facher Spannungsverstärkung am -Y-Eingang des AD633 eine Meßspannung von 1 V, bezogen auf die Schaltungsmasse.

Nun fehlt nur noch die Dimensionierung des mit R 5 und R 6 aufgebauten Spannungsteilers. Zur Berechnung der maximalen Eingangsspannung am X-Eingang ist die Formel der Übertragungsfunktion nach X umzustellen.

$$x = \frac{W \cdot 10 V}{Y} - Z = \frac{0,2 V \cdot 10 V}{1 V} - 0 V = 2 V$$

Um das gewünschte Resultat zu erhalten, ist somit die max. Ausgangsspannung des Netzteils durch den Faktor 10 zu teilen. Setzen wir z. B. für R 5 einen Widerstandswert von 90 kΩ und für R 6 einen 10kΩ-Widerstand ein, so erhalten wir das gewünschte Resultat.

**Nachbau**

Zum praktischen Aufbau unseres Vierquadrant-Analog-Multiplizierers zur Leistungsmessung steht eine kleine einseitige

**Stückliste:  
Analog-Multiplizierer**

**Widerstände:**

- 0,1Ω/0,5% ..... R1
- 1kΩ ..... R12
- 220Ω ..... R8
- 10kΩ ..... R2, R3, R 5
- 90kΩ ..... R 6
- 100kΩ ..... R4, R7, R11
- 220kΩ ..... R10
- Spindel-Trimmer, 25kΩ ..... R9

**Kondensatoren:**

- 10pF/ker ..... C11-C14
- 10nF ..... C16
- 100nF/ker ..... C3-C6, C9, C10
- 1µF ..... C15
- 10µF/25V ..... C1, C2, C7, C8

**Halbleiter:**

- 78L08 ..... IC1
- 79L08 ..... IC2
- TLC277 ..... IC3
- AD633 ..... IC4

**Sonstiges:**

- Lötstifte mit Lötöse ..... ST1-ST9
- 5cm Schalt draht, blank, versilbert

Leiterplatte mit den Abmessungen 57,5 mm x 50,5 mm zur Verfügung. Da die mit dem AD 633 von Analog-Devices aufgebaute Schaltung nur aus einer Handvoll Bauteilen besteht, ist der praktische Aufbau schnell erledigt.

Die Bestückung der Platine beginnt anhand der Stückliste und des Bestückungsplanes mit dem Einsetzen von 2 Drahtbrücken und 11 Widerständen, deren Anschlußbeinchen nach dem Verlöten so weit wie möglich zu kürzen sind.

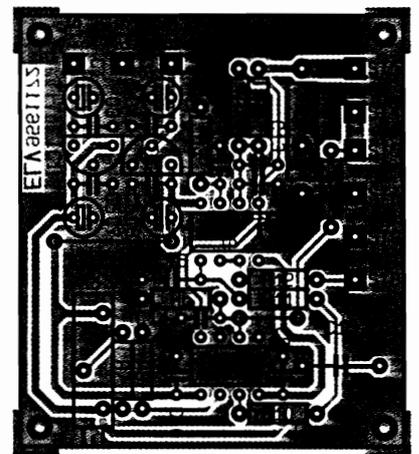
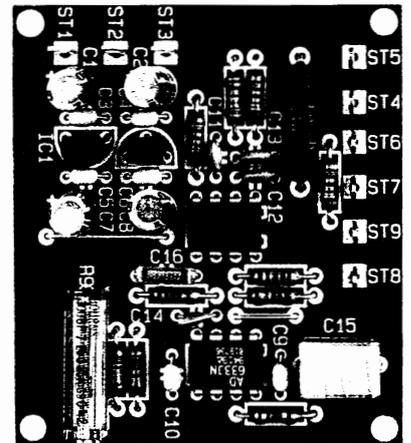
Danach werden 10 Keramik- und 2 Folienkondensatoren eingelötet.

Zum Anschluß der Versorgungs- sowie der Ein- und Ausgangsleitungen sind 9

Lötstifte mit Öse stramm in die zugehörigen Bohrungen der Leiterplatte zu pressen und mit ausreichend Lötzinn festzusetzen.

Nun werden die Anschlußbeinchen der beiden Miniaturspannungsregler so weit wie möglich durch die zugehörigen Bohrungen der Platine geführt und verlötet. Beim Einlöten der 4 Elektrolytkondensatoren ist unbedingt die korrekte Polarität zu beachten, da ein falsch gepolter Elko sogar explodieren kann.

Die beiden integrierten Schaltkreise sind so einzulöten, daß die Gehäusekerbe des Bauelements mit dem Symbol im Bestückungsdruck übereinstimmt.



**Ansicht der fertig aufgebauten Leiterplatte mit zugehörigem Bestückungsplan**

Nach Einlöten des Spindeltrimmers R 9 ist die Bestückung der kleinen Platine bereits abgeschlossen. Nach sorgfältiger Prüfung im Hinblick auf Bestückungsfehler und Lötzinnbrücken kann ein erster Funktionstest erfolgen.

In erster Linie ist die Schaltung als Beispiel für das Verständnis der funktionellen Zusammenhänge konzipiert. Natürlich steht auch dem praktischen Einsatz durch Einbau in ein entsprechendes Gerät nichts im Wege.

ELV