

Leistungsmeßgerät LMG 7000

Teil I



Als weiteres interessantes Gerät in der ELV-Serie 7000 stellen wir Ihnen in den Ausgaben ELV journal Nr. 32 und 33 ein Leistungsmeßgerät vor, das die tatsächliche vom angeschlossenen Verbraucher aufgenommene Wirkleistung digital anzeigt. Es können sowohl Gleich- als auch Wechselspannungen und Ströme verarbeitet werden, und zwar vollkommen unabhängig von der Phasenlage und von Kurvenformverzerrungen. Selbst Mischströme werden hierbei eindeutig berücksichtigt.

Darüber hinaus besitzt das Gerät digitale Anzeigen für Spannung und Strom.

Dieses hochinteressante und doch mit verhältnismäßig einfachen Mitteln aufzubauende Gerät stellt einen weiteren Schritt in Richtung eines komfortabel ausgestatteten Hobby-Elektronik-Labors dar.

Allgemeines

Die im Haushalt dem 220 V-Netz entnommene Leistung setzt sich zum einen aus der sogenannten Wirkleistung und zum anderen aus der Blindleistung zusammen. Wirk- und Blindleistung sind gegeneinander um 90° phasenverschoben. Die sich daraus ergebende resultierende Leistung wird Scheinleistung genannt.

Der an das E-Werk zu zahlende Betrag wird ausschließlich aufgrund der Wirkleistung berechnet.

Möchte man nun wissen, wie groß die tatsächliche Wirkleistungsaufnahme eines Verbrauchers ist, so kann man bei Wechselstromverbrauchern nur in den seltensten Fällen nach der Formel verfahren $P = U \cdot I$, ohne dabei sowohl Kurvenformverzerrungen als auch Phasenverschiebungen zu berücksichtigen. Eine einfache Messung des Wechselstromes und der Wechselspannung sowie deren anschließende Multiplikation ergibt je nach Gegebenheit teilweise nicht einmal annähernd richtige Werte hinsichtlich der tatsächlichen Wirkleistung.

Das im ELV-Labor entwickelte Leistungsmeßgerät LMG 7000 berücksichtigt nun nicht nur die Phasenverschiebungen in jeder beliebigen Größenordnung, sondern darüber hinaus auch Kurvenformverzerrungen, so daß in allen üblicherweise vorkommenden Betriebsfällen die tatsächlich vom angeschlossenen Verbraucher aufgenommene Wirkleistung angezeigt wird und dies mit einer außerordentlich hohen Präzision. Durch den Einsatz eines besonders hochwertigen Analog-Multiplizierers wird eine Genauigkeit von typ. 0,1 % (!) erreicht. Wie bereits erwähnt, gilt dies selbstverständlich auch für Gleichspannungen und -ströme.

Bevor wir nun weiter in der technischen Beschreibung des LMG 7000 fortfahren, wollen wir zunächst kurz auf die theoretischen Zusammenhänge zwischen Gleich- und Wechselstrom, Spannung und Leistung näher eingehen.

Bei Gleichstrom und Gleichspannung errechnet sich die Leistung auf einfache

Weise nach der Formel $P = U \cdot I$, d. h., der durch den Verbraucher hindurchfließende Gleichstrom wird einfach mit der am Verbraucher anliegenden Spannung multipliziert.

Bei Wechselströmen und Wechselspannungen sieht die Sache nur in einem besonderen Ausnahmefall gleich aus, und zwar dann, wenn es sich bei dem angeschlossenen Verbraucher um einen rein Ohm'schen Widerstand handelt. Nur dann ergibt sich die vom Verbraucher aufgenommene Leistung nach der Formel $P = U \cdot I$.

In den meisten Fällen handelt es sich jedoch bei Wechselstromverbrauchern um Geräte, in denen sowohl Kapazitäten als auch Induktivitäten enthalten sind. Besonders letztere sind in den meisten Geräten, die an das 220 V-Netz angeschlossen werden, in Form von Netztransformatoren, Vorschalt-drosseln (bei Leuchtstoffröhren) sowie Wicklungsinduktivitäten (bei Motoren) vorhanden. Wir müssen uns daher, bis auf seltene Ausnahmen, in fast allen Fällen bei den an das 220 V-Netz angeschlossen Verbrauchern, mit einer Kombination von Induktivitäten und Ohm'schen Widerständen befassen.

In Bild 1 ist zum besseren Verständnis das Ersatzschaltbild einer Induktivität mit einem in Reihe geschalteten idealen Ohm'schen Widerstand dargestellt sowie das dazugehörige Zeigerdiagramm.

Wie man aus dem Zeigerdiagramm ersehen kann, setzt sich die an dem Verbraucher abfallende Gesamtspannung (U_{gesamt}) aus einer Wirkspannung (U_{wirk}) und einer Blindspannung (U_{blind}) zusammen. Die Blindspannung steht hierbei senkrecht auf der Wirkspannung, d. h., sie ist um 90°

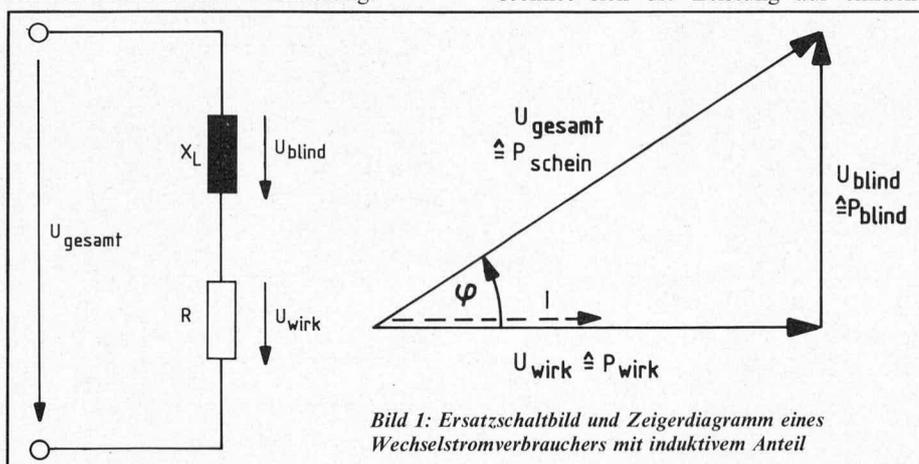


Bild 1: Ersatzschaltbild und Zeigerdiagramm eines Wechselstromverbrauchers mit induktivem Anteil

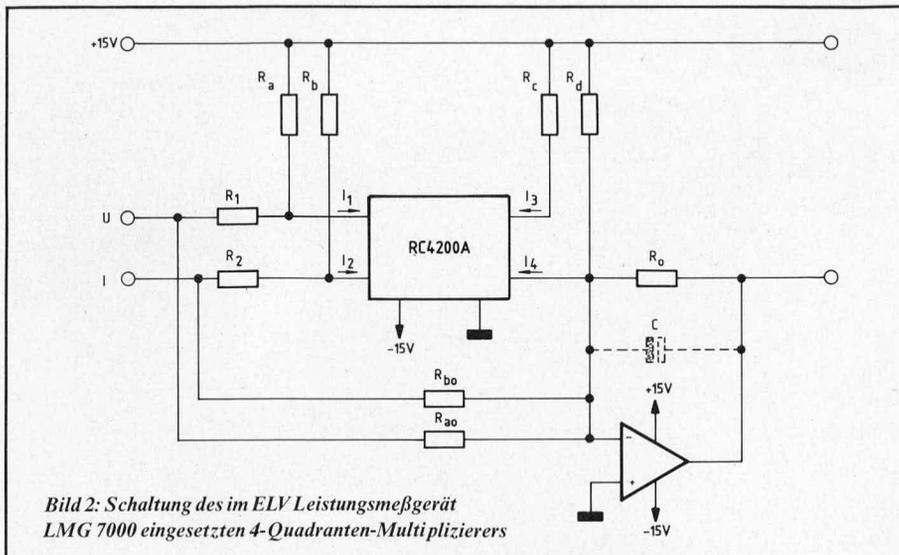


Bild 2: Schaltung des im ELV Leistungsmeßgerät LMG 7000 eingesetzten 4-Quadranten-Multiplizierers

phasenverschoben. Der fließende Strom ist in beiden Bauelementen gleich, da es sich um eine Reihenschaltung handelt und liegt in Phase mit der Wirkspannung.

Bei rein sinusförmigen Wechselspannungen und Wechselströmen kann die Wirkleistung daher unter Berücksichtigung des Phasenwinkels zwischen der Gesamtspannung und dem Strom nach der Formel berechnet werden: $P = U_{\text{gesamt}} \cdot I \cdot \cos \varphi$.

Berücksichtigt man den Phasenwinkel nicht, erhält man als Ergebnis die Scheinleistung, die nur, wie bereits erwähnt, in einem sehr selten auftretenden Spezialfall mit der Wirkleistung übereinstimmt (rein Ohm'scher Verbraucher).

Da vom E-Werk jedoch lediglich die Wirkleistung als Grundlage der Abrechnung dient, ist in den meisten Fällen auch nur diese Leistungsangabe von Interesse.

In der Praxis kommt darüber hinaus bei der Leistungsmessung ein weiteres Erschwerendes hinzu. Sowohl Motore als auch in besonderem Maße Halbleiterbauelemente, verfälschen die Kurvenform der Sinusfunktion zum Teil beträchtlich. Der durch einen entsprechenden Verbraucher hindurchfließende Strom weist teilweise nur noch geringe Ähnlichkeit mit einer Sinusfunktion auf, obwohl eine reine Sinusspannung angelegt wurde. In diesem Fall ist eine Leistungsberechnung auch nach der Formel $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$ nur noch sehr eingeschränkt oder gar nicht mehr möglich. Kommen dann noch Gleichspannungsanteile hinzu, ist die grobe Schätzung „über den Daumen“ oft richtiger als eine Messung oder Berechnung.

Ein korrektes Meßergebnis liefert in allen, in der Praxis üblicherweise vorkommenden Fällen der Leistungsmessung, ein Meßgerät mit integriertem Analog-Multiplizierer. Wichtig ist hierbei, daß der Multiplizierer in allen vier Quadranten arbeiten kann, d. h., es müssen sowohl positive als auch negative Spannungen sowie positive und negative Ströme in jeder Kombination verarbeitet werden können. Eine anschließende Integration liefert dann das gewünschte Meßergebnis der Wirkleistung, unabhängig von der Phasenlage und den Kurvenformverzerrungen.

Funktionsbeschreibung

Das Herzstück des ELV Leistungsmeßgerätes LMG 7000 besteht im wesentlichen aus einem Präzisionsmultiplizierer der Firma Raytheon des Typs RC 4200 A. Besonders ist hierbei auf die Zusatzbezeichnung „A“ zu achten, die besagt, daß es sich um die Präzisionsversion handelt, denn es gibt dieses IC auch in der Standard-Ausführung mit einer deutlich geringeren Genauigkeit.

In Bild 2 ist die im ELV Leistungsmeßgerät LMG 7000 eingesetzte Schaltung eines Vier-Quadranten-Multiplizierers dargestellt.

Von Hause aus arbeitet das IC des Typs RC 4200 A lediglich im ersten Quadranten, d. h., beide zu multiplizierende Eingangsspannungen müßten positiv sein. Darüber hinaus gibt es Stabilitätsprobleme, sobald der Eingangsstrom unter einem bestimmten Minimalwert sinkt. In der vorliegenden Schaltung wurden diese Nachteile dadurch ausgeglichen, indem durch die Widerstände R_a , R_b , R_c und R_d jedem Ein- bzw. Ausgang ein Vorstrom zugeführt wird, dessen exakte Dimensionierung jedoch von ausschlaggebender Bedeutung ist. Für das IC des Typs RC 4200 A gilt die Beziehung:

$$I_1 \cdot I_2 = I_3 \cdot I_4$$

Für die entsprechenden Widerstände ergibt sich hieraus die Formel:

$$R_a \cdot R_b = R_c \cdot R_d$$

Auf die exakte Dimensionierungsbeschreibung der übrigen Widerstände soll an dieser Stelle verzichtet werden, da es sich hierbei um aufwendigere Berechnungen handelt. Nur so viel sei gesagt:

Die Widerstände R_1 und R_2 legen den Eingangsspannungsbereich fest, während die Widerstände R_{a0} und R_{b0} zur Kompensation der entsprechenden Vorströme in den verschiedenen Betriebszuständen dienen, damit auch der Betrieb in allen vier Quadranten sichergestellt ist.

R_0 dient lediglich zur Festlegung des Skalenfaktors.

Für die anschließend erforderliche Integration zur Bildung des arithmetischen Mittelwertes, dient der Kondensator C im Rückkopplungszweig des Operationsverstärkers.

Am Ausgang steht dann eine Spannung zur Verfügung, die dem Produkt $P = U \cdot I$ entspricht, und zwar unabhängig von Phasenverschiebungen und Kurvenformverzerrungen.

In Bild 3 ist zum besseren Verständnis ein Blockschaltbild des Gesamtkonzeptes dargestellt.

Wie daraus ersichtlich ist, besitzt das LMG 7000 sowohl für die Spannungs- als auch für die Strommessung getrennte Digital-Anzeigen. Auf einer weiteren 3 1/2-stelligen 7-Segment-Anzeige kann die vom angeschlossenen Verbraucher aufgenommene Leistung direkt abgelesen werden.

Aufgrund der hochwertigen Schaltungstechnik ist es möglich, sowohl Gleich- als auch Wechselspannungen und -ströme ohne Umschaltung zu messen, wobei insgesamt 6 Meßbereiche zur Verfügung stehen. Der kleinste Meßbereich hat einen Endwert von 2 W mit einer Auflösung von 1 mW, während der Vollausschlag des größten Meßbereiches bei 2000 W liegt.

Die Schaltung sowie das Platinenlayout stellen wir Ihnen dann in der kommenden Ausgabe des ELV journals in dem II. und abschließenden Teil dieses Artikels vor.

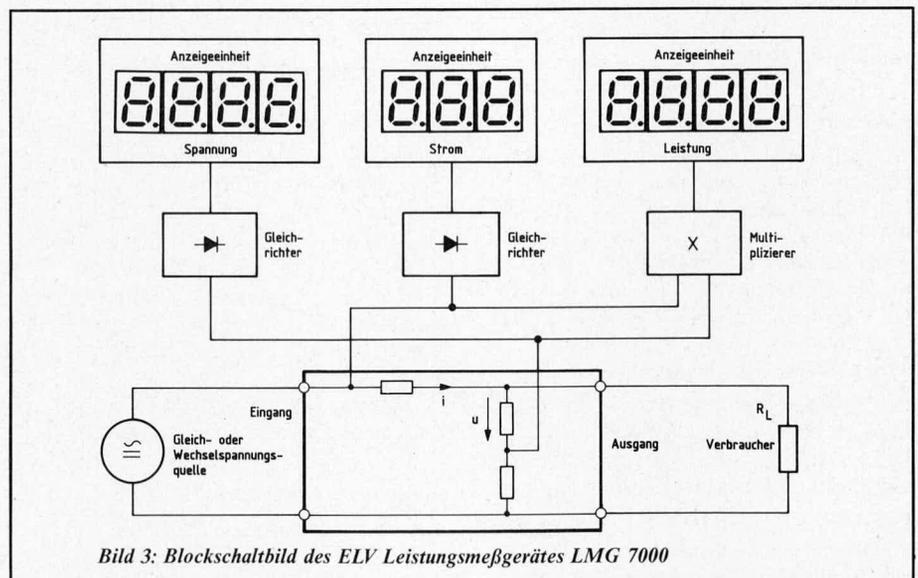


Bild 3: Blockschaltbild des ELV Leistungsmeßgerätes LMG 7000