

# ELV Kompakt-Leistungsmesser



*Speziell für die Überwachung der Leistungsaufnahme von Verbrauchern, die an das 220 V-Netz anzuschließen sind, wurde im ELV-Labor ein Leistungsmesser entwickelt, mit zwei Meßbereichen von 200 W sowie 2000 W, bei einer max. Auflösung von 0,1 W. Die gesamte Schaltung findet in einem Steckergehäuse mit integrierter Schuko-Steckdose Platz. Durch die kompakte Bauform ist das Gerät leicht in der Handhabung und wird einfach zwischen die Netzsteckdose und den anzuschließenden Verbraucher eingefügt. Die Anzeige erfolgt über ein großes und gut ablesbares 3 $\frac{1}{2}$ stelliges LC-Display.*

## Allgemeines

Bei dem ELV Kompakt-Leistungsmessgerät handelt es sich um einen Leistungsmesser, wie ihn auch das komfortable Leistungsmessgerät LMG 7000 darstellt, dessen I. Teil ebenfalls in der hier vorliegenden Ausgabe beschrieben wurde.

Die genauen theoretischen Zusammenhänge zwischen Leistung, Spannung, Strom, Phasenwinkel und Kurvenformverzerrungen, können in dem entsprechenden Artikel nachgelesen werden, so daß an dieser Stelle auf eine theoretische Betrachtung verzichtet werden soll.

Im Gegensatz zum LMG 7000 ist der ELV Kompakt-Leistungsmesser nur für Messungen im Zusammenhang mit Verbrauchern, die an das 220 V-Netz angeschlossen werden, konzipiert. Mit einer max. auswertbaren Leistung von 2000 W dürfte er für die meisten im Haushalt vorkommenden Anwendungsfälle ausreichend Reserve aufweisen.

## Zur Schaltung

Das Herz der Schaltung besteht aus dem Präzisions-Multiplizierer der Firma Raytheon des Typs RC 4200 A (IC 2). In Verbindung mit den Widerständen R 18 bis R 40, den Kondensatoren C 11 bis C 14 sowie dem Operationsverstärker OP 4 ist damit ein hochwertiger, besonders linearer Vier-Quadranten-Analog-Multiplizierer aufgebaut.

Am Ausgang (Pin 14) von OP 4 steht eine Gleichspannung zur Verfügung, die der Leistung proportional ist, die sich aus den beiden Eingangsgrößen „U“ multipliziert mit „I“ ergibt.

Besonders hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang, daß die Leistung mit hoher Präzision gemessen werden kann, und zwar vollkommen unabhängig von Phasenverschiebungen, überlagerten Gleichspannungsanteilen sowie Kurvenformverzerrungen.

Durch den Kondensator C 14 wird eine Integration der Ausgangsspannung vorgenommen, so daß sich am Ausgang eine Gleichspannung einstellt, die sich zur direkten Anzeige durch den A/D-Wandler des Typs ICL 7106 (IC 3) auf einem LC-Dis-

play eignet. Auf die detaillierte Beschreibung des letztgenannten Schaltungsteiles soll an dieser Stelle verzichtet werden, da das ICL 7106 mit seiner Zusatzbeschaltung bereits häufiger in vorangegangenen Ausgaben des ELV journals beschrieben wurde.

Die in ein Steckergehäuse mit integrierter Schuko-Steckdose eingebaute Schaltung wird direkt aus dem 220 V-Netz versorgt. Der Strom in dem angeschlossenen Verbraucher fließt zum einen über die 10 A-Sicherung Si 1 und zum anderen über die parallelgeschalteten Referenzwiderstände R 1 und R 2. Die hieran abfallende Spannung gelangt über R 3 auf die Schutzdioden D 1 bis D 4 und von dort auf den nicht invertierenden Eingang (Pin 10) von OP 3. Hier wird diese dem Verbraucherstrom proportiona-

### Technische Daten des ELV Kompakt-Leistungsmessers:

Meßbereich 1:	0—200 Watt
Auflösung:	0,1 Watt
Meßbereich 2:	0—2000 Watt
Auflösung:	1 Watt
Eingangsspannungsbereich:	0—300 V
Eingangsstrom:	0—10 A
Genauigkeit:	typ. 0,2% (ca. 2% bei eingeschränktem Abgleich). kurzzeitig 50%
Überlastbarkeit:	Schmelzsicherung 10 A
Sicherung:	

le Spannung je nach Schalterstellung von S 1 (200,0 Watt bzw. 2000 Watt) um den Faktor 10 oder um den Faktor 1 verstärkt.

Das zusätzlich gepufferte Signal gelangt vom Ausgang des OP 3 (Pin 8) über R 20 auf den einen Multipliziereingang des IC 2.

Gleichzeitig wird die am Verbraucher anliegende Spannung über das Widerstandsteilernetzwerk R 4 bis R 7 auf den 2. Multipliziereingang (über R 21) auf das IC 2 gegeben.

Die Trimmer R 14, R 30, R 34 sowie R 40 dienen zur Nullpunkteinstellung, worauf zu einem späteren Zeitpunkt noch näher eingegangen wird.

Mit R 44 kann der Skalenfaktor des A/D-Wandlers IC 3 festgelegt werden.

Die Stromversorgung der gesamten Schaltung erfolgt über den Kondensator C 1 in Verbindung mit den Gleichrichterdioden D 5 und D 6 sowie den zur Spannungsbegrenzung dienenden Z-Dioden D 7 und D 8.

In diesem Zusammenhang ist es sehr wesentlich zu beachten, daß der Kondensator C 1 die volle Netzwechselspannung verarbeiten muß, d. h., es ist eine Spannungsfestigkeit von 630 V= erforderlich.

Die mit den Z-Dioden D 7 und D 8 auf  $\pm 15$  V begrenzte Spannung wird mit den Kondensatoren C 2 bis C 5 gepuffert und von Störimpulsen befreit, um anschließend zur Versorgung des IC 1 mit seinen vier integrierten Operationsverstärkern zu dienen.

Die OP's 1 und 2 sind in Verbindung mit der Präzisionsspannungsreferenz D 9 des Typs ICL 8069 als positiver bzw. negativer Spannungskonstanter geschaltet, der zur gleichspannungsmäßigen Versorgung der übrigen Schaltung mit +11 V und -10 V dient. Auf diese Weise ergibt sich ein Eigenleistungsverbrauch von ca. 0,2 W.

## Zum Nachbau

Zunächst werden die beiden Platinen in gewohnter Weise bestückt. Erst werden die passiven und dann die aktiven Bauelemente eingesetzt und verlötet, wobei zu beachten ist, daß das IC 3 unter der LCD-Anzeige angeordnet ist, so daß diese zweckmäßigerweise als letztes Bauelement mit der Platine verlötet werden soll.

Die auf der Anzeigen- und Basisplatine identisch bezeichneten Punkte sind jeweils mit flexiblen isolierten Leitungen untereinander zu verbinden, wie dies auch aus dem Schaltbild und den beiden Bestückungsplänen hervorgeht.

Der Anschluß der Schaltung an den am Gehäuse angespritzten Schuko-Stecker erfolgt über flexible isolierte Leitungen mit einem Querschnitt von mind. 1,5 mm<sup>2</sup>, ebenso wie der Anschluß der Schaltung an die integrierte Schuko-Steckdose. Der gelb-grüne Schutzleiter mit einem Querschnitt von ebenfalls mind. 1,5 mm<sup>2</sup> wird direkt zwischen den Schutzkontaktanschlüssen von Stecker und Steckdose angeschlossen.

Vor dem Einbau ins Gehäuse sollte die Bestückung noch einmal sorgfältig kontrolliert werden.

Die mechanische Verbindung der beiden Platinen untereinander und die Befestigung im Gehäuse erfolgt mit 2 Schrauben M 3 x 50 mm und entsprechenden Abstandshülse, die eine Länge von 45 mm aufweisen. Zusätzlich sind zwei Schrauben M 3 x 6 mm für die Befestigung vorgesehen.

Damit eine Berührung der unter Netzspannung stehenden Schaltung nach der Fertigstellung des Gerätes ausgeschlossen ist, muß der für die LCD-Anzeige vorgenommene Ausschnitt sorgfältig mit einer 2 mm starken Plexiglasscheibe von innen abgedeckt werden.

Abschließend wollen wir noch besonders nachdrücklich darauf hinweisen, daß bei anliegender Netzspannung am geöffneten Gerät auf gar keinen Fall Untersuchungen vorgenommen werden dürfen.

Es ist daher erforderlich, sowohl bei Einstellarbeiten als auch bei einer evtl. Fehlersuche bzw. Überprüfung, die Schaltung unbedingt vom Netz zu trennen. Die Versorgung wird dann von zwei 15 V Gleichspannungsnetzgeräten übernommen. Hierzu sind die beiden Z-Dioden D 7 und D 8 auszulöten, um dann an die entsprechenden Punkte (+ 15 V/Masse/-15 V) die beiden Netzgeräte anzuschließen.

Der einzige Schaltungsteil der bei dieser Methode nicht überprüft werden kann, ist der Gleichrichterteil, bestehend aus dem Kondensator C 1 sowie den Dioden D 5 bis D 8.

Das Gerät darf nur dann mit Netzspannung in Berührung gebracht werden, wenn es sich im geschlossenen Gehäuse ohne zusätzlich angeklebte Meßgeräte befindet. Dies ist außerordentlich wichtig, da die gesamte Schaltung die volle Netzspannung führt.

Die VDE-Bestimmungen sind zu beachten.

## Kalibrierung

Die Einstellung (Kalibrierung) ist mit einfachen Mitteln durchführbar, da sie sich lediglich auf die Nullpunkt- und Skalenfaktoreinstellung beschränkt.

Zunächst wird die Schaltung, wie unter dem Kapitel „Zum Nachbau“ beschrieben wurde, mit den beiden erforderlichen Gleichspannungen von +15 V und -15 V versorgt, wobei zunächst die beiden Z-Dioden D 7 und D 8 auszulöten sind.

Die Stromaufnahme sollte jetzt bei der positiven Versorgungsspannung zwischen 2 mA und 5 mA und bei der negativen Versorgungsspannung zwischen 4 mA und 10 mA liegen, auf keinen Fall jedoch 12 mA überschreiten.

Da im vorliegenden Fall die Schaltung unbedingt vom 220 V-Netz getrennt sein muß, und daher auch kein Verbraucher angeschlossen werden kann, liegt sowohl der Spannungs-Multipliziereingang (über R 7) als auch der Strom-Multipliziereingang (über R 1/R 2 sowie R 3) auf der Schaltungsmasse.

Die Nullpunkteinstellung der Operationsverstärker OP 3 und OP 4 kann daher direkt vorgenommen werden.

Zunächst wird mit einem Multimeter, dessen Minusklemme an die Schaltungsmasse

anzuschließen ist, die Spannung am nicht invertierenden Eingang des OP 3 (Pin 10) gemessen. Sie muß bei 0,00 V liegen.

Auch die weiteren Messungen beziehen sich immer auf die Schaltungsmasse.

Als nächstes wird die Ausgangsspannung von OP 3 bei geöffnetem Schalter S 1 überprüft (Pin 8 von OP 3) und mit dem Trimmer R 14 auf 0,00 V eingestellt, wobei 1 bis 2 mV Abweichung zulässig sind.

Die Trimmer R 30 und R 34 sind jetzt ungefähr in ihre Mittelstellung zu bringen. Anschließend kann mit dem Trimmer R 40 die Ausgangsspannung des OP 4 (Pin 14) auf 0,00 V eingestellt werden, wobei auch hier einige mV Abweichung unerheblich sind.

Möchte man sich mit der für Leistungsmessungen guten Genauigkeit von 2% begnügen, ist die Einstellung des Multiplizierers bereits beendet und es muß lediglich noch der Skalenfaktor des A/D-Wandlers (IC 3) festgelegt werden.

Aufgrund der hohen Präzision des verwendeten Analog-Multiplizierers des Typs RC 4200 A ist es jedoch möglich, eine Genauigkeit von ca. 0,2% zu erreichen. Dies erfordert eine etwas aufwendigere Einstellung der beiden Trimmer R 30 und R 34, die wir im nachfolgenden näher beschreiben wollen.

An den Ausgang (Pin 14) des OP 4 ist hierzu ein Oszilloskop anzuschließen, dessen Abschirmung ebenfalls mit der Schaltungsmasse zu verbinden ist.

Außerdem muß der Integrationskondensator C 14 für die nachfolgenden Einstellungen der beiden Trimmer R 30 und R 34 ausgelötet werden.

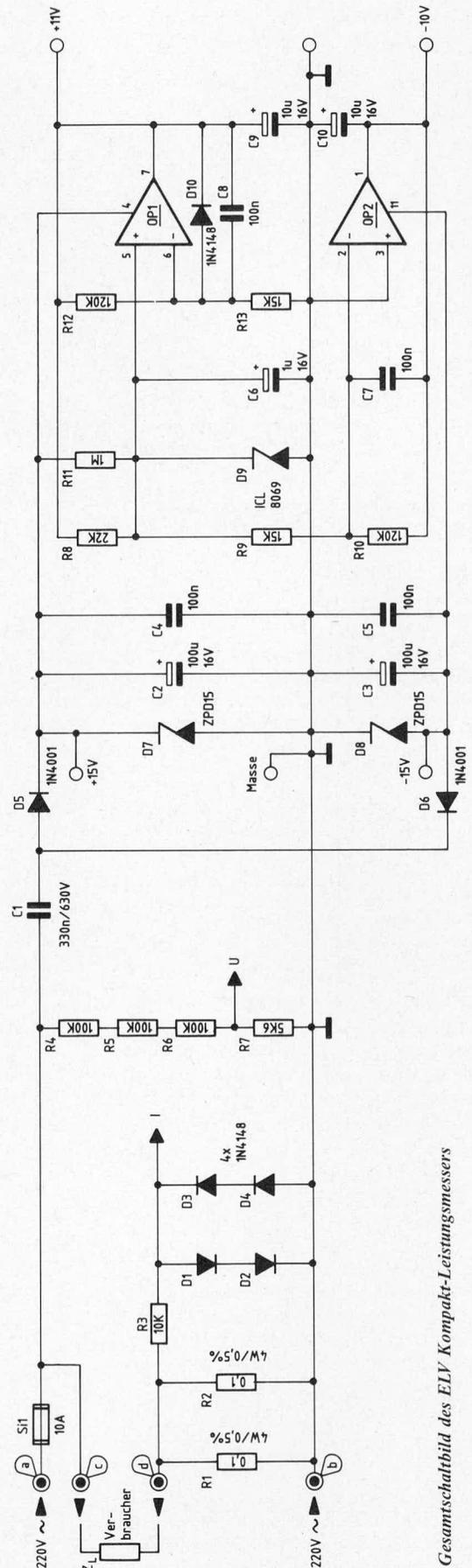
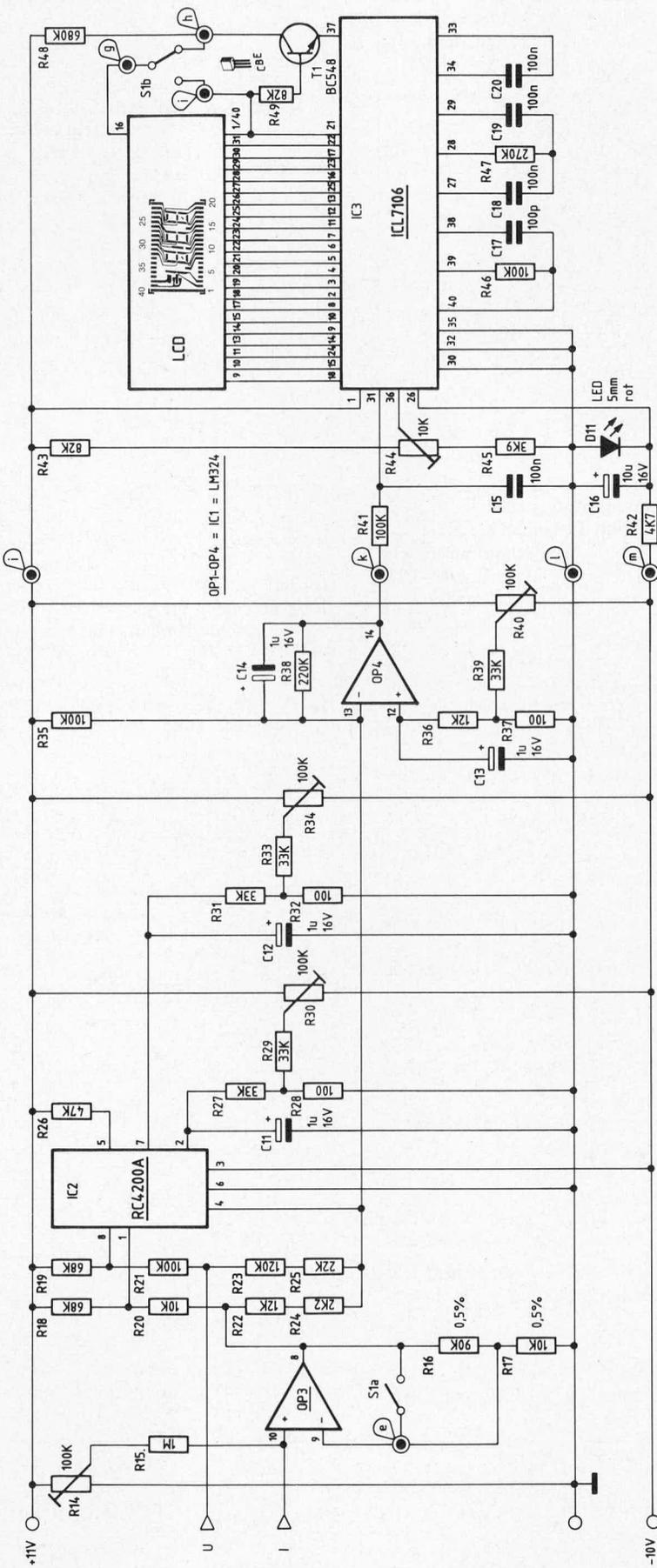
An den Spannungseingang des Multiplizierers, also parallel zum Widerstand R 7, wird jetzt eine Rechteckschwingung mit einer Amplitude von  $\pm 5$  V bis 10 V bei einer Frequenz von 100 Hz bis 1 kHz angelegt. Die Schwingung sollte symmetrisch zur Schaltungsmasse, d. h., zur Bezugsspannung, sein, also gleiche Amplitudenhöhe sowohl in positiver Richtung als auch in negativer Richtung aufweisen.

Der Trimmer R 34 ist nun so einzustellen, daß am Ausgang des OP 4 (Pin 14) die Amplitude der Rechteckschwingung sehr klein, d. h. möglichst „0“ wird.

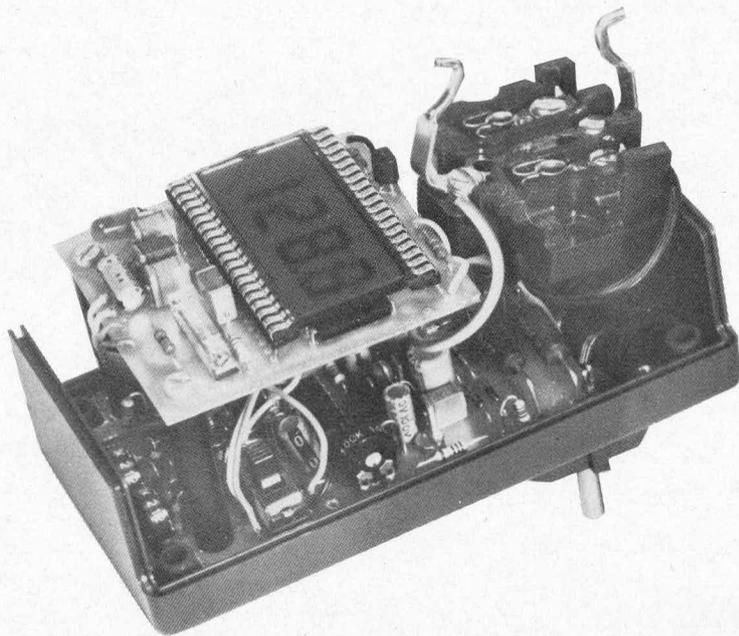
Nun wird das über R 7 angelegte Rechteck dort abgenommen und mit einer verkleinerten Amplitude von  $\pm 0,5$  V bis 1 V direkt an den nicht invertierenden Eingang (Pin 10) des OP 3 angeschlossen, d. h., der Massepunkt bleibt mit der Schaltungsmasse verbunden, während der zweite Anschluß zwischen dem Verbindungspunkt der Widerstände R 3 und R 15 angeklemt wird. Der Schalter S 1 ist hierbei in Stellung „2000 W“ zu bringen, d. h. er ist geschlossen.

Mit dem Trimmer R 30 ist nun gleichfalls am Ausgang des OP 4 (Pin 14) die Amplitude des dort anliegenden Rechtecksignals zu minimieren, d. h., möglichst auf „0“ einzustellen.

Nachdem das Rechtecksignal auch von OP 3 abgenommen wurde, kann mit R 40 die gleichspannungsmäßige Nulleinstellung



Gesamtschaltbild des ELV Kompakt-Leistungsmessers



Ansicht des fertig aufgebauten ELV Kompakt-Leistungsmessers bei geöffnetem Gehäuse

von OP4 noch einmal durchgeführt werden, indem mit einem Voltmeter die Ausgangsspannung (Pin 14 von OP 4) gemessen und mit R 40 auf 0,00 eingestellt wird.

Damit ist der Abgleich des Analog-Multiplizierers auf eine Genauigkeit von typ. 0,2 % (!) bereits beendet. Wie weiter vorstehend erwähnt, kann der zuletzt beschriebene Abgleich der Trimmer R 30 und R 34 entfallen, wenn eine Genauigkeit von ca. 2 % ausreicht, wobei diese beiden Trimmer ungefähr in Mittelstellung zu bringen sind.

Bevor die als letztes durchzuführende Einstellung des Skalenfaktors des A/D-Wandlerbausteines (IC 3) vorgenommen wird, ist zunächst der Integrationskondensator C 14 wieder einzulöten, wobei auf die richtige Polarität zu achten ist (Pluspol an Pin 13 von OP 4).

Die Einstellung des Skalenfaktors ist einfach, da aufgrund der ausgefeilten Schaltungstechnik des Vier-Quadranten-Multiplizierers nicht nur Wechselspannungen verarbeitet werden können, sondern genauso Gleichspannungen und Gleichströme. Der Abgleich kann daher mit einer Gleichspannung und einem Gleichstrom erfolgen. Hierzu geht man wie folgt vor:

An die beiden parallelgeschalteten Referenzwiderstände R 1/R 2 wird ein weiteres Netzgerät angeschlossen, das auf einen Strom von ca. 0,9 bis 1 A einzustellen ist.

An die Reihenschaltung, bestehend aus R 4 bis R 7, wird eine Gleichspannung von 190 bis 200 V angelegt. Steht eine entsprechend große Gleichspannung nicht zur Verfügung, sind auch kleinere Werte von z. B. 50 V ausreichend, wobei man sich dann jedoch nicht mehr im Meßbereichswert des Leistungsmessers befindet. Hierdurch

verringert sich die max. erreichbare Genauigkeit nur geringfügig. Man muß allerdings beachten, daß ein Fehler von  $\pm 1$  Digit um so größer wird, je weiter man sich vom Meßbereichswert entfernt.

Die Polarität des fließenden Stromes sowie der angelegten Spannung sollte in beiden Fällen gleich sein, d. h., in beiden Fällen positiv oder negativ. Zur Kontrolle nehmen wir eine Messung des Spannungsabfalles an R 1/R 2 sowie R 7 vor, wobei jeweils der Minuspol des Prüfmeßgerätes mit der Schaltungsmasse verbunden wird.

Jetzt kann rechnerisch nach der Formel  $P = U \cdot I$  der Leistungswert ermittelt werden, der auf der LCD-Anzeige erscheinen mußte.

Bei einem fließenden Strom von 0,9 A und einer angelegten Spannung von z. B. 180 V, beträgt der korrekte Leistungswert 162,0 W. Auf diesen Wert ist die LCD-Anzeige mit Hilfe des zur Skalenfaktoreinstellung dienenden Spindeltrimmers R 44 einzustellen.

Damit ist die Kalibrierung dieses hochwertigen und besonders nützlichen Gerätes beendet.

In diesem Zusammenhang wollen wir noch einmal ausdrücklich darauf hinweisen, daß sämtliche vorstehend beschriebene Messungen nur durchgeführt werden, wenn das Gerät von der Netzspannung vollkommen getrennt ist, d. h. die Elektronik wird mit einem separaten Netzteil mit  $\pm 15$  V versorgt (1 Doppelnetzteil bzw. 2 getrennte, in Reihe geschaltete Netzteile).

Erst ganz zum Schluß, wenn alle Prüfungen und Einstellarbeiten abgeschlossen sind, werden die beiden Z-Dioden D 7 und D 8 wieder eingelötet. Die Schaltung ist anschließend wieder in ein entsprechendes be-

## Stückliste: ELV Kompakt-Leistungsmesser

### Halbleiter

IC 1	LM 324
IC 2	RC 4200 A
IC 3	ICL 7106
D 1—D 4	1N4148
D 5, D 6	1N4001
D 7, D 8	ZPD15
D 9	ICL 8069
D 10	1N4148
D 11	LED, 5 mm, rot
T 1	BC 548

### Kondensatoren

C 1	330 nF/630 V
C 2	100 $\mu$ F/16 V
C 3	100 $\mu$ F/16 V
C 4, C 5	100 nF
C 6	1 $\mu$ F/16 V
C 7, C 8	100 nF
C 9, C 10	10 $\mu$ F/16 V
C 11—C 14	1 $\mu$ F/16 V
C 15	100 nF
C 16	10 $\mu$ F/16 V
C 17	100 pF
C 18—C 20	100 nF

### Widerstände

R 1, R 2	0,1 $\Omega$ /4 Watt, 0,5 %
R 3	10 k $\Omega$
R 4—R 6	100 k $\Omega$
R 7	5,6 k $\Omega$
R 8	22 k $\Omega$
R 9	15 k $\Omega$
R 10	120 k $\Omega$
R 11	1 M $\Omega$
R 12	120 k $\Omega$
R 13	15 k $\Omega$
R 14	100 k $\Omega$ , Trimmer stehend
R 15	1 M $\Omega$
R 16	90 k $\Omega$ /0,5 %
R 17	10 k $\Omega$ /0,5 %
R 18, R 19	68 k $\Omega$
R 20	10 k $\Omega$
R 21	100 k $\Omega$
R 22	12 k $\Omega$
R 23	120 k $\Omega$
R 24	2,2 k $\Omega$
R 25	22 k $\Omega$
R 26	47 k $\Omega$
R 27	33 k $\Omega$
R 28	100 $\Omega$
R 29	33 k $\Omega$
R 30	100 k $\Omega$ , Trimmer stehend
R 31	33 k $\Omega$
R 32	100 $\Omega$
R 33	33 k $\Omega$
R 34	100 k $\Omega$ , Trimmer stehend
R 35	100 k $\Omega$
R 36	12 k $\Omega$
R 37	100 $\Omega$
R 38	220 k $\Omega$
R 39	33 k $\Omega$
R 40	100 k $\Omega$ , Trimmer stehend
R 41	100 k $\Omega$
R 42	4,7 k $\Omega$
R 43	82 k $\Omega$
R 44	10 k $\Omega$ , Spindeltrimmer
R 45	3,9 k $\Omega$
R 46	100 k $\Omega$
R 47	270 k $\Omega$
R 48	680 k $\Omega$
R 49	82 k $\Omega$

### Sonstiges

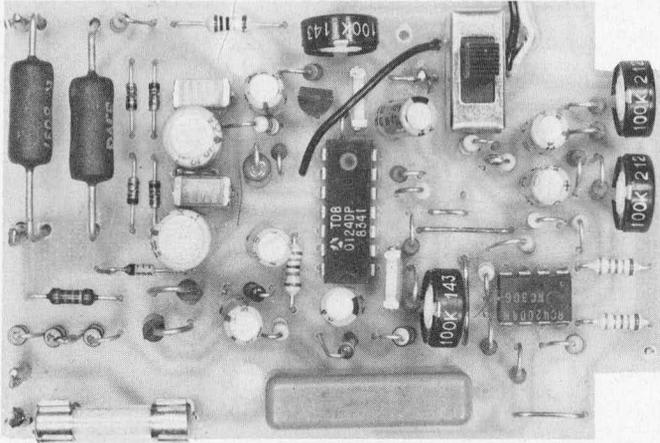
1 x LCD 3,5stellig
1 x Schiebeschalter 2 x um
1 x Si Halter
1 x Si 10 A
2 x Schrauben M 3 x 50 mm
2 x Schrauben M 3 x 6 mm
2 x Muttern M 3
2 x Abstandshülsen 45 mm
4 x Lötstifte
20 cm Flachbandleitung 6adrig
30 cm Silberdraht
30 cm 1,5 mm <sup>2</sup> flexible Leitung
2 Lötflähen 3,2 mm

rührungssicheres Steckergehäuse einzubauen. Eine Verbindung mit der 220 V Netzwechselspannung darf erst in vollkommen betriebsbereitem Zustand, d. h. bei geschlossenem Gehäuse, vorgenommen werden.

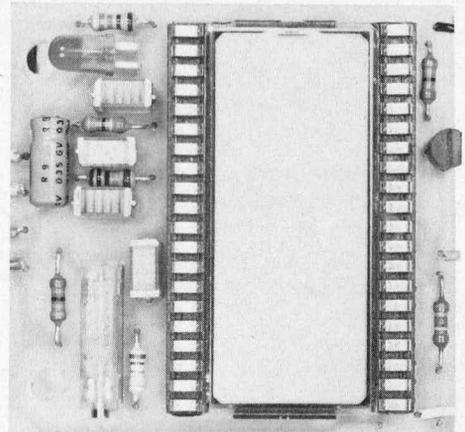
Für die externe Umschaltungsmöglichkeit der beiden Meßbereiche 200,0 W und 2000 W, wäre es erforderlich, einen Kipp-schalter nach außen zu führen, der eine metallisch leitende Verbindung darstellt. Aus Sicherheitsgründen haben wir hierauf be-

wußt verzichtet, so daß das Gehäuse komplett geschlossen bleibt und eine Berührung mit metallischen Teilen, die eine Verbindung zur eigentlichen Schaltung besitzen, ausgeschlossen ist. Für die Umschaltung der beiden Meßbereiche ist es daher erforderlich, das Gerät aus der Netzsteckdose zu ziehen, d. h., also vom Netz zu trennen, um es danach aufzuschrauben und die Umstellung vorzunehmen. Erst nachdem das Gehäuse wieder komplett geschlossen und verschraubt wurde, darf es wieder in Betrieb genommen werden.

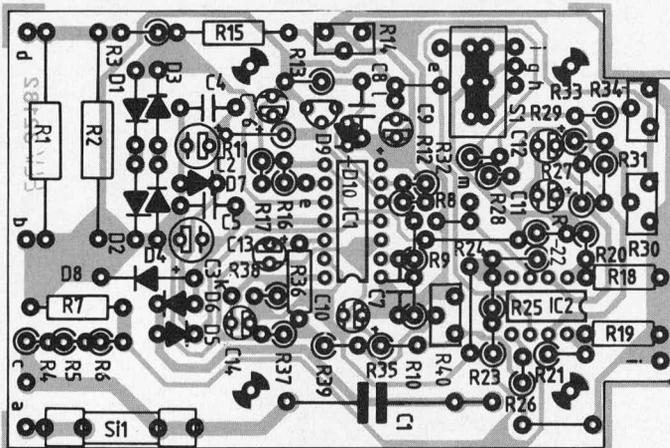
Sollte aufgrund von Bauteilsteuerungen der durch C 1 fließende Versorgungsstrom nicht ausreichen, kann der Wert von C 1 auf 470 nF/630 V= erhöht werden. Im allgemeinen reicht jedoch die angegebene Kapazität von 330 nF/630 V= vollkommen aus. Eine unnötige Erhöhung würde lediglich die beiden Z-Dioden D 7 und D 8 zusätzlich belasten. Sofern der Einstellbereich der Trimmer R 30 und R 34 nicht ganz ausreicht, können die Widerstände R 28 und R 32 von 100 Ω auf 150 Ω bzw. 220 Ω erhöht werden.



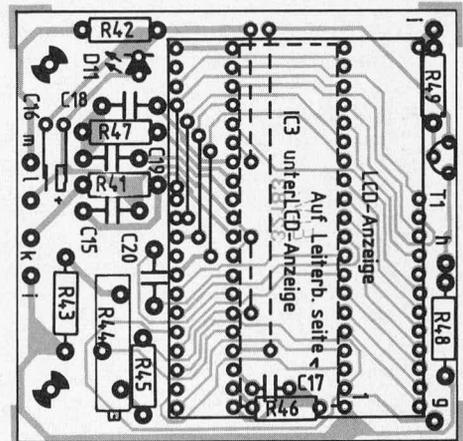
Ansicht der fertig bestückten Basisplatte des ELV Kompakt-Leistungsmessers



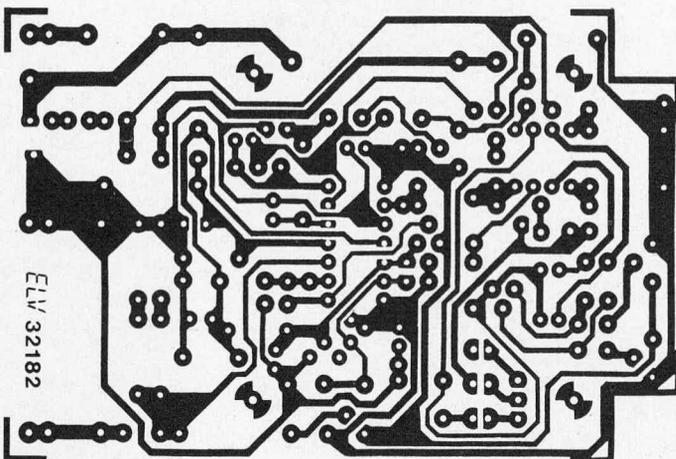
Ansicht der fertig bestückten Anzeigenplatte des ELV Kompakt-Leistungsmessers



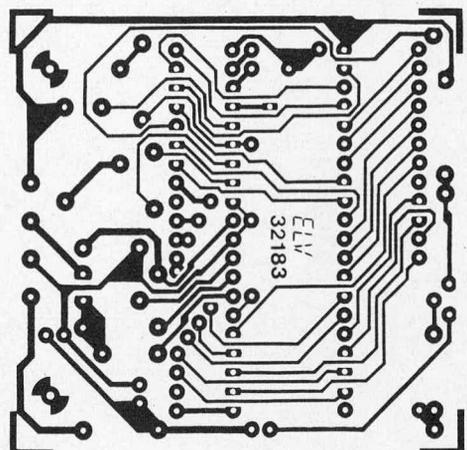
Bestückungsseite der Basisplatte des ELV Kompakt-Leistungsmessers



Bestückungsseite der Anzeigenplatte des ELV Kompakt-Leistungsmessers



Leiterbahnseite der Basisplatte des ELV Kompakt-Leistungsmessers



Leiterbahnseite der Anzeigenplatte des ELV Kompakt-Leistungsmessers