

ELV Serie 7000: Leistungsmeßgerät

LMG 7000

Teil II



In diesem zweiten und abschließenden Teil stellen wir Ihnen die komplette Schaltung sowie das Platinenlayout des ELV-Leistungsmessgerätes LMG 7000 vor. Besonders hervorzuheben ist die große Frequenzbandbreite bei Wechselspannungs- und -strommessungen bei voller Genauigkeit.

Zur Schaltung

Damit das LMG 7000 universell eingesetzt werden kann, besitzt es sechs verschiedene Meßbereiche, die mit dem Drehschalter S 2 einstellbar sind.

Der in den angeschlossenen Verbraucher hineinfließende Strom wird in Form eines Spannungsabfalles an den Widerständen R 2, R 3 bzw. R 8 gemessen, wobei eine Umschaltung über die Relaiskontakte re 1 bis re 4 erfolgt. Über R 11 gelangt der entsprechende Spannungsabfall auf den nichtinvertierenden (+) Eingang des mit OP 1 aufgebauten DC-Verstärkers. Am Ausgang (Pin 6) steht ein 23fach verstärktes Signal an. Die max. Amplitude liegt im jeweiligen Meßbereichsendwert bei ca. $2,3 V_{\text{eff}}$.

D 8 bis D 13 dienen dem Schutz der Elektronik vor Überlastungen.

Das Ausgangssignal des OP 1 gelangt dann zum einen auf den AC/DC-Wandler für die Stromanzeige und zum anderen auf den Strommultiplizier-Eingang des Analog-Multiplizierers des Typs RC 4200 A (Punkt „B“).

Die beiden Spannungsmessbereiche werden mit re 5 und re 6 umgeschaltet.

OP 2 dient zur Impedanzwandlung und gleichzeitig zur Signalverstärkung. Am Ausgang des OP 2 (Pin 14) steht im 500 V-Bereich eine max. Ausgangsspannung von ca. $5 V_{\text{eff}}$ an, während im 20 V-Bereich die Spannung mit ca. $2 V_{\text{eff}}$ ihren Maximalwert besitzt. Auch diese Spannung verzweigt sich auf zwei unterschiedliche Anzeigeneinstrumente.

Zum einen gelangt die am Ausgang des OP 2 anstehende Spannung auf den AC/DC-Wandler für die Spannungsanzeige und zum anderen auf den Spannungs-Multiplizier-Eingang des Analog-Multiplizierers des Typs RC 4200 A (Punkt „A“).

Der Analog-Multiplizierer

Das Herz der Schaltung besteht aus dem Präzisions-Multiplizierer der Firma Raytheon des Typs RC 4200 A (IC 10). In Verbindung mit den Widerständen R 77 bis R 99, den Kondensatoren C 30 bis C 33 sowie dem Operationsverstärker OP 9 ist damit ein hochwertiger, besonders linearer Vier-Quadranten-Analog-Multiplizierer aufgebaut.

Wie bereits im Teil I dieses Artikels näher beschrieben, arbeitet das IC nach der Gleichung: $I_1 \times I_2 = I_3 \times I_4$.

Am Ausgang (Pin 1) von OP 9 steht eine Gleichspannung zur Verfügung, die der Leistung proportional ist und 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 32 wird eine Integration der Ausgangsspannung vorgenommen. Hierdurch stellt sich am Ausgang des OP 9 eine Gleichspannung ein, die sich zur direkten Anzeige durch den A/D-Wandler des Typs ICL 7107 (IC 11) eignet. Auf die detaillierte Beschreibung des letztgenannten Schaltungsteiles soll an dieser Stelle verzichtet werden, da das ICL 7107 mit seiner Zusatzbeschaltung bereits häufiger in vorangegangenen Ausgaben des ELV journals beschrieben wurde.

Mit den Trimmern R 86 und R 87 wird ein Feinabgleich des Analog-Multiplizierers vorgenommen, während R 94 zur Nullpunkteinstellung dient.

AC/DC-Wandler

Speziell für die Strom- und Spannungsanzeige des hier vorgestellten Leistungsmessgerätes wurde ein AC/DC-Wandler entwickelt, der ohne Umschaltung sowohl Gleichspannungen als auch Wechselspannungen verarbeiten kann. Am Ausgang steht in jedem Fall eine Gleichspannung zur Verfügung, die einer entsprechenden Eingangsmeßspannung entspricht. Hierbei kann es sich, wie bereits erwähnt, wahlweise um eine reine Gleichspannung oder aber um eine sinusförmige Wechselspannung handeln.

Am Ausgang des OP 2 (Pin 14) steht ein gepuffertes Meßsignal an, das der Eingangsspannung direkt proportional ist. Über den Spannungsteiler R 20/R 21 gelangt dieses Signal auf den nichtinvertierenden (+) Eingang des OP 3, dessen Ausgang direkt den Präzisionsmeßgleichrichter, be-

stehend aus den OP's 4 und 5 mit Zusatzbeschaltung, ansteuert.

Mit dem OP 3 und dessen Zusatzbeschaltung wird eine elektronische Verstärkungsumschaltung vorgenommen, die der Anpassung der unterschiedlichen Gleichrichtwerte einer sinusförmigen Wechselspannung im Verhältnis zu einer Gleichspannung dient.

Die Funktionsweise ist wie folgt:

Liegt am Eingang (Pin 10) des OP 3 eine Gleichspannung an, so wird der Verstärkungsfaktor lediglich mit den beiden Widerständen R 24 und R 25 festgelegt. R 22 und R 23 können keinen Einfluß ausüben, da der hierzu in Reihe geschaltete Kondensator eine vollständige Unterbrechung für Gleichspannungen darstellt.

Ab einer Wechselspannungsfrequenz von ca. 10 Hz ist der Scheinwiderstand von C 10 so klein geworden, daß sein Anteil auf die Parallelschaltung der Widerstände R 22 bis R 25 einen Anteil von weniger als 0,1 % ausmacht. Damit ist C 10 praktisch für Wechselspannungen ab ca. 10 Hz als Kurzschluß zu werten und der Wert von R 25 reduziert sich um die Parallelschaltung der Widerstände R 22 und R 23. Durch diese Maßnahme wird der Verstärkungsfaktor des OP 3 gerade um soviel erhöht, daß der unterschiedliche Gleichrichtwert einer sinusförmigen Wechselspannung im Verhältnis zu einer Gleichspannung ausgeglichen ist.

Der eigentliche Meßgleichrichter besteht aus den beiden nachfolgenden Operationsverstärkern OP 4 und OP 5 mit deren Zusatzbeschaltung. Unabhängig von der Polarität der anliegenden Eingangsspannung steht am Ausgang (Pin 7 von OP 5) immer ein positives Signal an.

Mit re 6 wird im Spannungsmessbereich zusätzlich zu re 5 im 500 V-Bereich eine weitere Meß-

Technische Daten: ELV Leistungsmessgerät LMG 7000

Spannungsmessung:	20 V, 500 V
Strommessung:	100 mA, 1 A, 10 A
gemeinsame Daten für Spannungs- und Strommessung (typ.):	
automatische AC/DC-Umschaltung	
Genauigkeit (DC):	$0,2\% \pm 2 \text{ Digit}$
Genauigkeit (AC):	$0,5\% \pm 2 \text{ Digit}$
Frequenzbereich:	10 Hz bis 20 kHz (!) bei voller Genauigkeit $-3 \text{ dB} > 100 \text{ kHz} (!)$
Leistungsmessung:	2W, 20W, 200W, 2000W
Genauigkeit (typ):	$0,2\% \pm 2 \text{ Digit}$ (DC bis 20 kHz) (!) $-3 \text{ dB} > 100 \text{ kHz} (!)$



Ansicht des fertig aufgebauten ELV Leistungsmeßgerätes LMG 7000 vor dem Einbau ins Gehäuse

wertreduzierung vorgenommen, damit der Arbeitsbereich des Meßgleichrichters möglichst optimal genutzt wird.

Der für die AC/DC-Umwandlung erforderliche vorstehend beschriebene Meßgleichrichter einschließlich der elektronischen Umschaltung zwischen Wechsel- und Gleichspannung, wird sowohl für Spannungsmessungen als auch Strommessungen eingesetzt und ist im Aufbau völlig identisch, da auch bei Strommessungen die Meßwerte zunächst in entsprechende Spannungen mit Hilfe des OP 1 mit Zusatzbeschaltung umgesetzt werden.

In diesem Zusammenhang ist zu beachten, daß aufgrund des verwendeten Analog-Multiplizierers bei der Leistungsmessung die tatsächliche effektive Wirkleistung angezeigt wird, während bei der Anzeige der Spannung als auch des Stromes das Gerät lediglich für Gleichspannungen und -ströme sowie für rein sinusförmige Wechselspannungen und -ströme seine volle Genauigkeit besitzt. Bei abweichenden Kurvenformen können sich leicht Fehler von mehreren Prozenten einschleichen. Hiervon ist, wie bereits erwähnt, die Leistungsmessung nicht betroffen.

Da der Meßgleichrichter den arithmetischen Mittelwert bildet, ist er jedoch besonders bei stärkeren Kurvenformverzerrungen erheblich genauer, als ein häufig in Meßgeräten anzutreffender Spitzenwertgleichrichter.

Netzteil

Die Stromversorgung der gesamten Schaltung erfolgt über einen Netztransformator mit zwei getrennten Sekundärwicklungen.

Die zur Versorgung erforderlichen Gleichspannungen werden mit drei Festspannungsreglern stabilisiert. Eine zusätzliche negative Spannung für die drei A/D-Wandlerbausteine IC 6, IC 8, IC 11 wird mit Hilfe der Z-Diode D 3 und dem Vorwiderstand R 1 erzeugt. An die Stabilität sowie die Strombelastbarkeit werden hier nur geringe Anforderungen gestellt.

Zur Speisung der Leistungsrelais Re 1 bis Re 3 sowie Re 5, wird die unstabilierte 18 V-Versorgungsspannung herangezogen. Über die Vorwiderstände R 114 bis R 117 wird in Verbindung mit den Kondensatoren C 40 bis C 43 eine Dauerstromreduzierung vorgenommen, bei gleichzeitiger Impulsansteuerung im Einschaltmoment. Durch vorstehend beschriebene Maßnahme wird der Transformator nennenswert entlastet und seine Baugröße kann in vertretbaren Dimensionen gehalten werden.

Sowohl die Relais als auch die Punkte werden über eine Diodenmatrix, bestehend aus D 20 bis D 43, in Verbindung mit dem 6stufigen Drehwähler S 2 entsprechend angesteuert.

Kalibrierung

Die Einstellung (Kalibrierung) des ELV Leistungsmessers LMG 7000 ist besonders sorgfältig vorzunehmen. Im Hinblick auf die anspruchsvolle Schaltungstechnik ist der Abgleich verhältnismäßig einfach. Hierfür sind folgende Geräte erforderlich:

1. Digital-Multimeter mit einer Auflösung von 0,1 mV im kleinsten Spannungsbereich sowie einem Strommeßbereichsendwert von min. 2 A.
2. Rechteck-Generator mit einer Frequenz im Bereich von 100 Hz bis 1 kHz und einer Ausgangsamplitude zwischen ± 2 V und 10 V.
3. Oszilloskop mit einer Eingangsempfindlichkeit von min. 5 mV/cm besser 2 mV/cm.
4. Gleichspannungsnetzgerät mit einer Ausgangsspannung von ca. 10 V (bis evtl. 20 V) und einem Ausgangsstrom von min. 2 A.

Bei der Kalibrierung geht man zweckmäßigerweise wie folgt vor: Zunächst werden sowohl die beiden Eingangsklemmen als auch die Ausgangsklemmen des LMG 7000 über je eine kurze Leitung miteinander verbunden, um Störeinstreuungen weitgehend auszuschließen.

Nachdem die Schaltung möglichst einen längeren Zeitraum in Betrieb war (mind. 1 Stunde), werden zunächst die verschiedenen Nullpunkteinstellungen der einzelnen Operationsverstärker vorgenommen.

Da sowohl Eingangs- als auch Ausgangsbuchsen kurzgeschlossen wurden, ist die Schalterstellung des Meßbereichswahlschalters für diese Einstellungen gleichgültig.

Sicherheitshalber sollten zunächst die Versorgungsspannungen mit einem Multimeter überprüft werden. Die Minusanschlußklemme des Multimeters wird mit der Schaltungsmasse verbunden. Hierfür ist der Fußpunkt der 15 V-Festspannungsregler besonders geeignet. Mit der Plusanschlußklemme sind nun folgende Spannungen zu messen:

1. An Pin 4 des IC 5 sollte die Spannung zwischen +14,5 und +15,5 V liegen.
2. An Pin 11 des IC 5 sollte die Spannung zwischen -14,5 und -15,5 V betragen.
3. Die unstabilierte Versorgungsspannung vor dem positiven 15 V-Festspannungsregler sollte zwischen 170 V und 25 V liegen.
4. Jeweils an Pin 1 der drei A/D-Wandler des Typs ICL 7107 sollte die Spannung zwischen +4,5 V und +5,5 V liegen.

Sind vorstehend beschriebene Spannungsmessungen zur Zufriedenheit ausgefallen, können die Nullpunkteinstellungen der einzelnen Operationsverstärker in der nachstehend beschriebenen Reihenfolge durchgeführt werden:

1. Mit R 17 wird der Ausgang des OP 1 (Pin 6) auf 0 eingestellt.
2. Mit R 12 wird der Ausgang des OP 2 (Pin 14) auf 0 eingestellt.
3. Für die Nullpunkteinstellungen der in den Meßgleichrichtern eingesetzten OP's 4 und 7 wird an deren jeweiligen Ausgängen (Pin 1 von OP 4 bzw. Pin 1 von OP 7) ein Oszilloskop angeschlossen. Der Eingangswahlschalter sollte auf DC und 5 mV/cm (besser 2 mV/cm) eingestellt sein. Mit R 27 und R 56 werden die Ausgänge der OP's 4 und 7 auf ca. 0 V eingestellt. Aufgrund der hohen Verstärkung wird dies nicht ganz gelingen, da im Bereich unterhalb ca. 300 mV die nachge-

schalteten Rückkopplungsdioden (D 14/15 bzw. D 16/17) gesperrt sind und die OP's praktisch mit voller Verstärkung arbeiten. Einige 10 mV Ausgangsrestspannung sind in diesem Fall daher durchaus zulässig. Im Falle einer Brummüberlagerung ist die am Ausgang der OP's 4 und 7 erscheinende Kurvenform ungefähr symmetrisch zur Schaltungsmasse einzustellen. Sollte der Brummanteil so hoch sein, daß die Rückkopplungsdioden bereits durchschalten (ca. 300 mV), ist die Kurvenform mit R 27 bzw. R 56 so einzustellen, daß die positiven und negativen Halbwellen bzw. Rechtecke ungefähr die gleiche Breite aufweisen.

Aufgrund der extrem großen Leerlaufverstärkung der hier eingesetzten Operationsverstärker können bereits minimale Brummeinstreuungen vorstehend beschriebenes Verhalten bewirken. Dies ist jedoch völlig normal und beeinflusst die einwandfreie Arbeitsweise der Schaltung im allgemeinen nicht. Sicherheitshalber kann auch an dem Verbindungspunkt der Widerstände R 32 bis R 34 mit dem Oszilloskop eine Kontrollmessung durchgeführt werden. An diesem Punkt muß bei kurzgeschlossenen Eingangsklemmen des LMG 7000 die Brummspannung unter 1 mV liegen.

4. Die Nullpunkteinstellung der OP's 5 und 8 kann wieder mit einem Multimeter vorgenommen werden, wobei selbstverständlich auch ein entsprechendes Oszilloskop herangezogen werden kann. Mit R 35 bzw. R 64 ist die Ausgangsspannung auf 0 einzustellen (Pin 7 von OP 5 und 8).

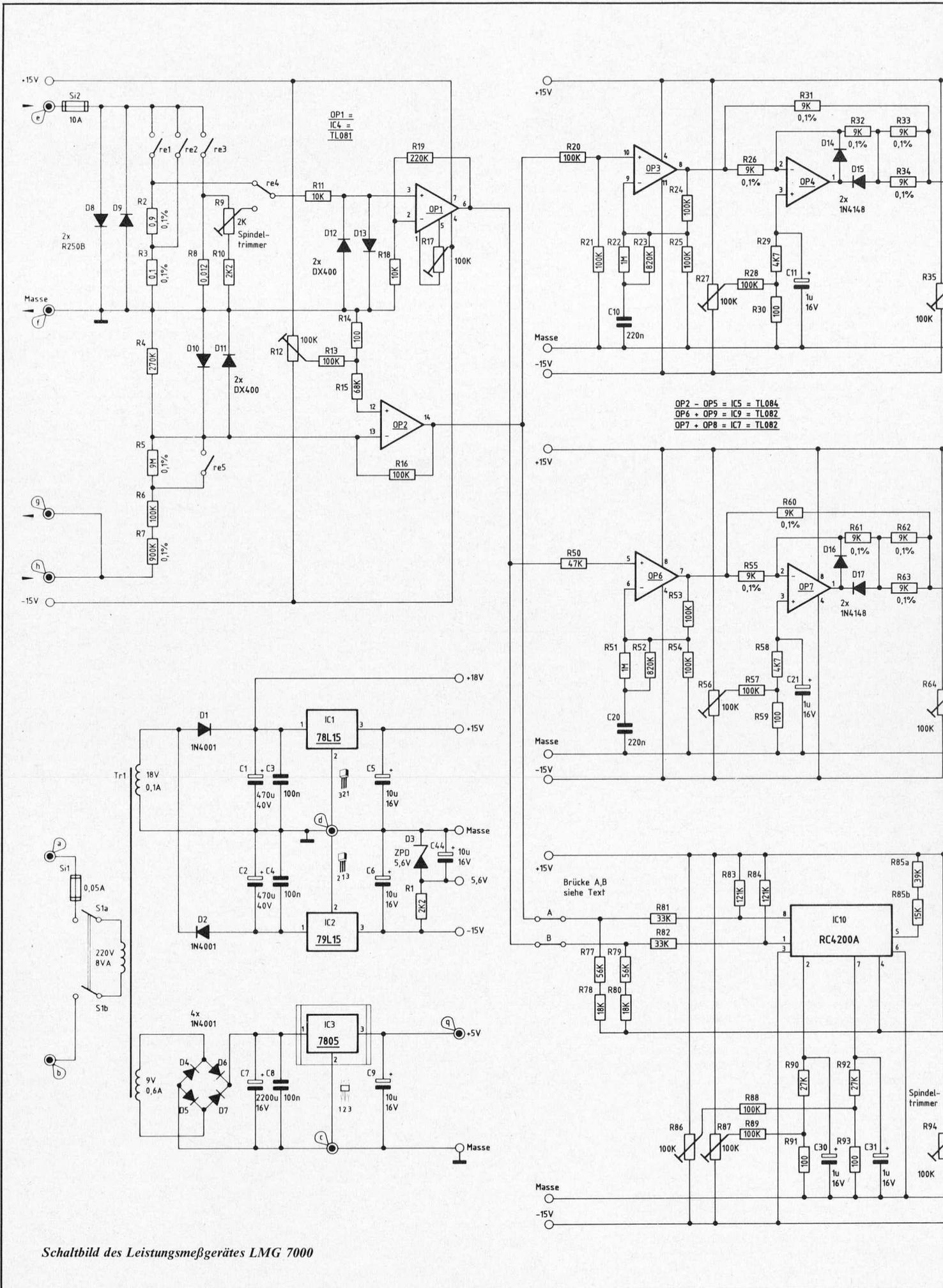
Vorstehend beschriebene Nullpunkteinstellungen sollten möglichst sorgfältig durchgeführt werden, wobei Restspannungen an den einzelnen Ausgängen der entsprechenden Operationsverstärker möglichst unter 1,0 mV liegen sollten.

Die unter den Punkten 3. und 4. beschriebenen Einstellarbeiten sind ggf. geringfügig zu korrigieren, wenn nach dem Abschluß aller Einstellarbeiten bei der Umpolung einer Eingangsgleichspannung eine Abweichung von mehr als 2 Digit auftritt.

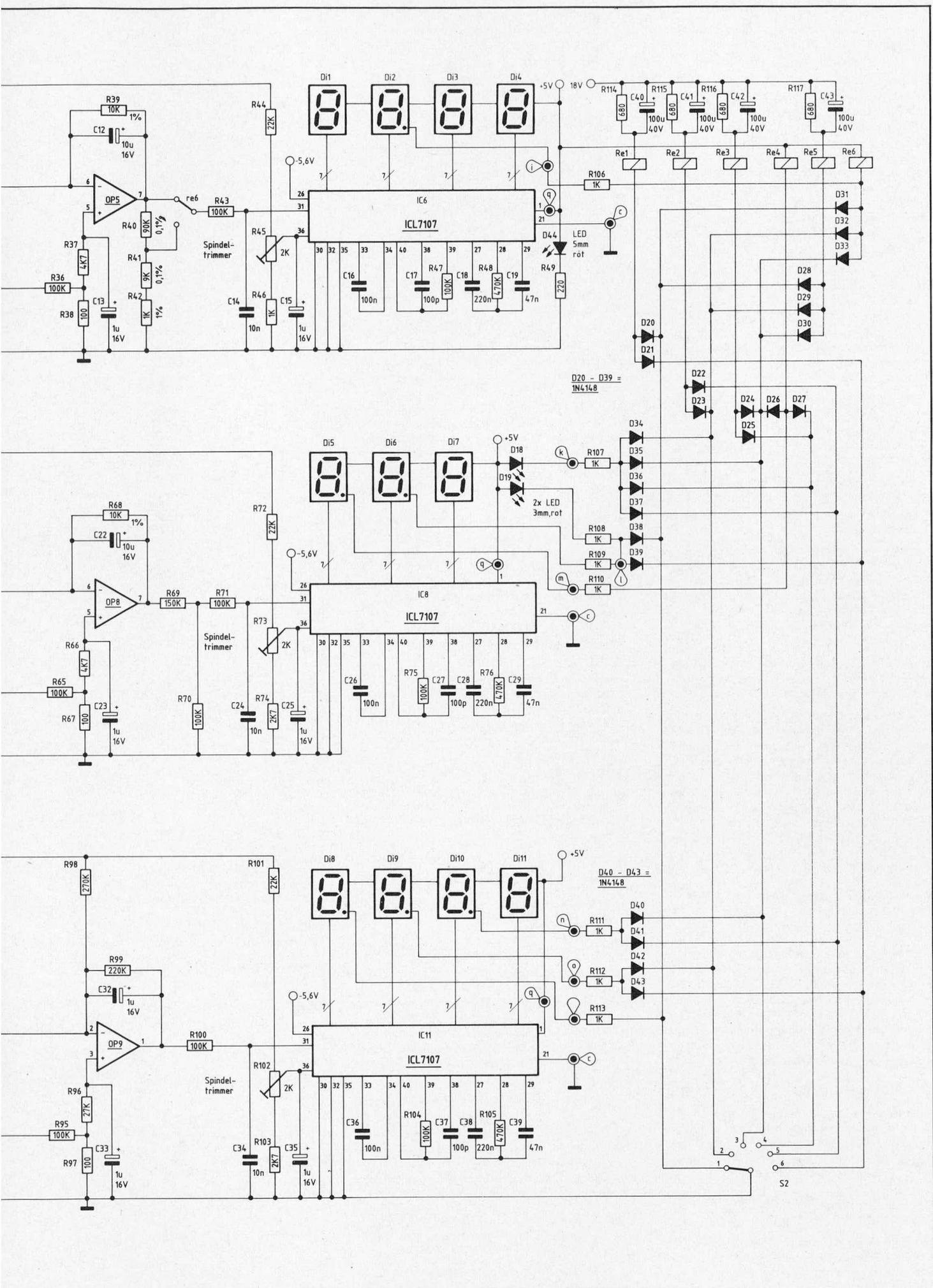
Zunächst wird dann R 27 (bzw. R 56) geringfügig (sehr wenig!) verstellt. Danach kann mit R 35 (bzw. R 64) die Anzeige wieder auf „000“ gebracht werden, um anschließend den Umpoltest erneut durchzuführen.

Dieser Vorgang ist „mit Gefühl“ sooft zu wiederholen, bis die Abweichungen beim Umpolen einer Eingangsgleichspannung max. 2 Digit betragen. Im allgemeinen wird dies jedoch bereits mit der ersten, unter den Punkten 3. und 4. beschriebenen Einstellung erreicht.

Aufgrund der hohen Präzision des verwendeten Analog-Multiplizierers des Typs RC 4200 A, ist es möglich, bei der Leistungsmessung eine Genauigkeit in Verbindung mit der übrigen Schaltung im Bereich von ca. 0,2% zu erzielen. Dies erfordert allerdings eine sehr sorgfältige Einstellung, besonders der beiden Trimmer R 86 und R 87, die wir im nachfolgenden näher beschreiben wollen.



Schaltbild des Leistungsmeßgerätes LMG 7000



An den Ausgang (Pin 1) des OP9 ist hierzu ein Oszilloskop anzuschließen, dessen Abschirmung ebenfalls mit der Schaltungsmasse zu verbinden ist.

Als weitere vorbereitende Maßnahmen für die nachfolgenden Einstellungen muß der Integrationskondensator C 32 ausgelötet und die beiden zu Testzwecken eingebauten Meßbrücken „A“ und „B“ aufgetrennt werden. Jeweils eine Seite der beiden vorgenannten Meßbrücken ist mit den Verbindungspunkten der Widerstände R 77/81 („A“) bzw. R 79/82 („B“) verbunden und stellt den Spannungs- bzw. Strommeßeingang des Analog-Multiplizierers dar. Die andere Seite der aufgetrennten Brücken ist für die nachfolgenden Einstellungen unbedeutend.

An den Spannungsmultipliziereingang („A“) wird nun ein Rechtecksignal mit einer Amplitude von ± 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 Strommeßeingang („B“) wird über eine kurze Meßleitung mit der Schaltungsmasse verbunden. Um Störeinstreuungen zu vermeiden, empfiehlt es sich, einen Punkt in der Nähe des IC 10 zu wählen, der Massepotential führt.

Der Trimmer R 86 ist nun so einzustellen, daß am Ausgang des OP9 (Pin 1) die Amplitude der Rechteckschwingung sehr klein, d. h. möglichst Null wird.

Nun wird das Rechtecksignal von Punkt „A“ nach Punkt „B“ verlegt und die Masseverbindung von Punkt „B“ nach Punkt „A“, d. h., daß jetzt der Strommultipliziereingang mit dem Rechtecksignal beaufschlagt wird, während der Spannungsmultipliziereingang auf Masse liegt.

Mit dem Trimmer R 87 ist gleichfalls am Ausgang des OP9 (Pin 1) die Amplitude des dort anliegenden Rechtecksignals zu minimieren, d. h. möglichst auf Null einzustellen.

Als nächstes werden beide Meßeingänge des Analog-Multiplizierers („A“ und „B“) auf Masse gelegt und mit R 94 der Ausgang des OP9 (Pin 1) auf Null eingestellt. Vorstehend beschriebener Abgleich, besonders der Trimmer R 86, 87, 94, ist sehr sorgfältig durchzuführen, und mehrfach zu wiederholen, bis sich keine Änderungen mehr ergeben. Dies ist erforderlich, da eine geringe Beeinflussung beim Verstellen von einem Trimmer auf die Wirkung der beiden anderen Trimmer nicht auszuschließen ist.

Damit ist der Abgleich des Analog-Multiplizierers auf eine Genauigkeit von ca. 0,2% bereits beendet.

Die Einstellung der einzelnen Skalenfaktoren ist direkt an den drei A/D-Wandlern des Typs ICL 7107 (IC 6, 8, 11) vorzunehmen und besonders einfach. Aufgrund der ausgefeilten Schaltungstechnik können nicht nur Wechselspannungen, sondern ebenso Gleichspannungen verarbeitet werden, so daß der Abgleich nur mit einer Gleichspannung und mit einem Gleichstrom erfolgt.

Hierzu geht man wie folgt vor:

An die beiden Eingangsbuchsen des LMG 7000 wird ein Gleichspannungsnetzgerät mit einer Spannung von 10 V bis 19,99 V angeschlossen, nachdem die Verbindungen an den Eingangs- und Ausgangsklemmen aufgehoben wurden.

Der Meßbereichswahlschalter wird jetzt in Stellung 20 V und 0,1 A gebracht.

Über ein Amperemeter wird der Ausgang des LMG mit einem Widerstand belastet, der einem Stromfluß von 50 mA bis 100 mA entspricht (ca. 220 Ω /2W).

Gleichzeitig wird mit einem zweiten Meßgerät die Spannung an den Ausgangsklemmen des LMG gemessen.

Mit R 45 ist jetzt der Skalenfaktor des Spannungsmessgerätes im LMG 7000 einzustellen, und zwar so, daß der angezeigte Wert mit dem Wert übereinstimmt, der an den Ausgangsbuchsen des LMG 7000 gemessen wird.

Mit R 73 wird der Skalenfaktor des im LMG 7000 eingebauten Strommessers eingestellt, indem der angezeigte Wert durch Verdrehen von R 73 mit dem Wert des in Reihe geschalteten Strommessers am Ausgang des LMG 7000 in Übereinstimmung gebracht wird.

Die Multiplikation dieser beiden Werte ergibt dann den Anzeigewert für die Leistungsanzeige. R 102 ist nun so einzustellen, daß der vorstehend berechnete Wert auf der Anzeige des Leistungsmessers erscheint.

In der 10 A-Stellung des Meßbereichswahlschalters S 2 ist zusätzlich noch der Widerstand R 9 einzustellen. Hierzu wird ein Strom im Bereich von 2 bis 10 A eingespeist und die Anzeige des integrierten Strommessers mit R 9 auf diesen Wert eingestellt. Zu beachten ist, daß diese Einstellung unbedingt als letztes nach der Skalenfaktoreinstellung mit R 45, 73, 102 durchgeführt wird.

Sofern der Einstellbereich der Trimmer R 12, 27, 35, 56, 64, 86, 87, 94 nicht ausreicht, können die Werte der Widerstände R 14, 30, 38, 59, 67, 91, 93, 97 von 100 Ω auf 150 Ω bzw. 220 Ω erhöht werden (auch einzeln).

Zum Nachbau

Zunächst werden die Basisplatine und die Anzeigenplatine in gewohnter Weise bestückt. Zuerst werden die passiven und dann die aktiven Bauelemente anhand der Bestückungspläne auf die Platinen gesetzt und verlötet.

Sind die Platinen fertig bestückt und noch einmal kontrolliert, können die beiden Platinen miteinander verlötet werden, wobei die Anzeigenplatine senkrecht an die Basisplatine angelötet wird, und zwar so, daß die Anzeigenplatine ca. 2 mm unter der Basisplatine hervorsteht.

Die in den Bestückungsplänen der beiden Platinen mit gleichen Buchstaben bezeichneten Punkte sind untereinander mit isolierten Leitungen zu verbinden. Der Querschnitt sollte min. 0,1 mm² betragen.

Nach dem Verschrauben der Meßbuchsen mit der Frontplatte, wird die fertige Schaltung gleichzeitig mit der Frontplatte in das Gehäuseunterteil eingesetzt. Die Meßbuchsenanschlüsse sind mit den entsprechenden Punkten auf der Leiterplatte mit flexiblen isolierten Leitungen mit einem Querschnitt von mind. 1,5 mm² zu verbinden.

Die dreiadrige Netzzuleitung mit angespritztem Schuko-Stecker wird durch die Zugentlastung in der Gehäuserückwand geführt, und dann mit den beiden Kippshalteranschlüssen des Netzschalters verbunden. Von den beiden Mittelabgriffen des Kipp Schalters führt die Zuleitung zu den beiden links neben dem Netztrafo angeordneten Anschlußpunkten „a“ und „b“.

In diesem Zusammenhang ist es sehr wesentlich zu beachten, daß sämtliche von außen berührbaren Metallteile, wie Schrauben, Muttern, Kipp-schaltherhs usw. mit dem Schutzleiter der Netzzuleitung zu verbinden sind. Hierzu sind flexible isolierte Leitungen mit einem Querschnitt von mindestens 0,75 mm² erforderlich.

Auf die Einhaltung der VDE-Bestimmungen wollen wir abschließend noch einmal ausdrücklich hinweisen.

Damit ist der Nachbau dieses interessanten Leistungsmeßgerätes beendet.

Stückliste: LMG 7000

Halbleiter

IC1	.....	μ A 78L15
IC2	.....	μ A 79L05
IC3	.....	μ A 7805
IC4	.....	TL 081
IC5	.....	TL 084
IC6, IC8, IC11	.....	ICL 7107
IC7	.....	TL 082
IC9	.....	TL 082
IC10	.....	RC 4200 A
D1, D2	.....	1N4001
D3	.....	ZPD 5,6 V
D4-D7	.....	1N4001
D8, D9	.....	R 250 B
D10-D13	.....	DX 400
D14-D17, D20-D43	.....	1N4148
D18, D19	.....	LED, rot, 3 mm
D44	.....	LED, rot, 5 mm
Di1-D11	.....	DJ 700A

Kondensatoren

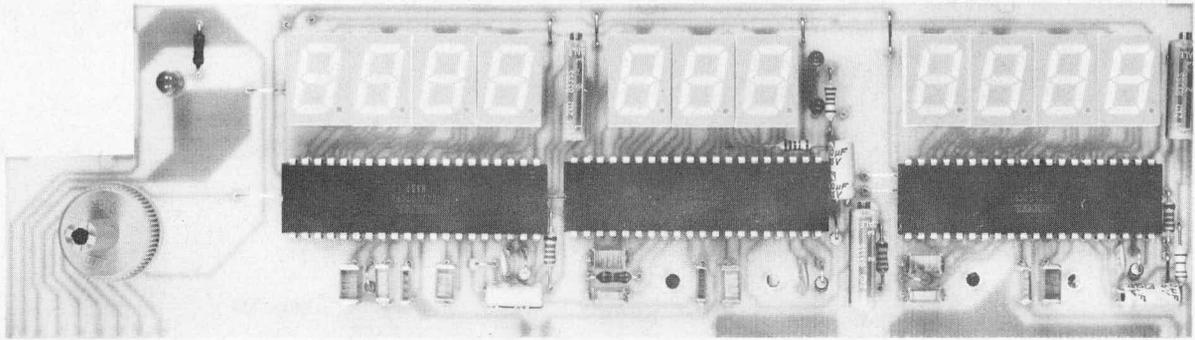
C1, C2	.....	470 μ F/40 V
C3, C4, C8, C16, C26, C36	.....	100 nF
C5, C6, C9, C12, C22, C44	.....	10 μ F/16 V
C7	.....	2200 μ F/16 V
C10, C18, C20, C28, C38	.....	220 nF
C11, C13, C15, C21, C23,	.....
C25, C30-C33, C35	.....	1 μ F/16 V
C14, C24, C34	.....	10 nF
C17, C27, C37	.....	100 pF
C19, C29, C39	.....	47 nF
C40-C43	.....	100 μ F/40 V

Widerstände

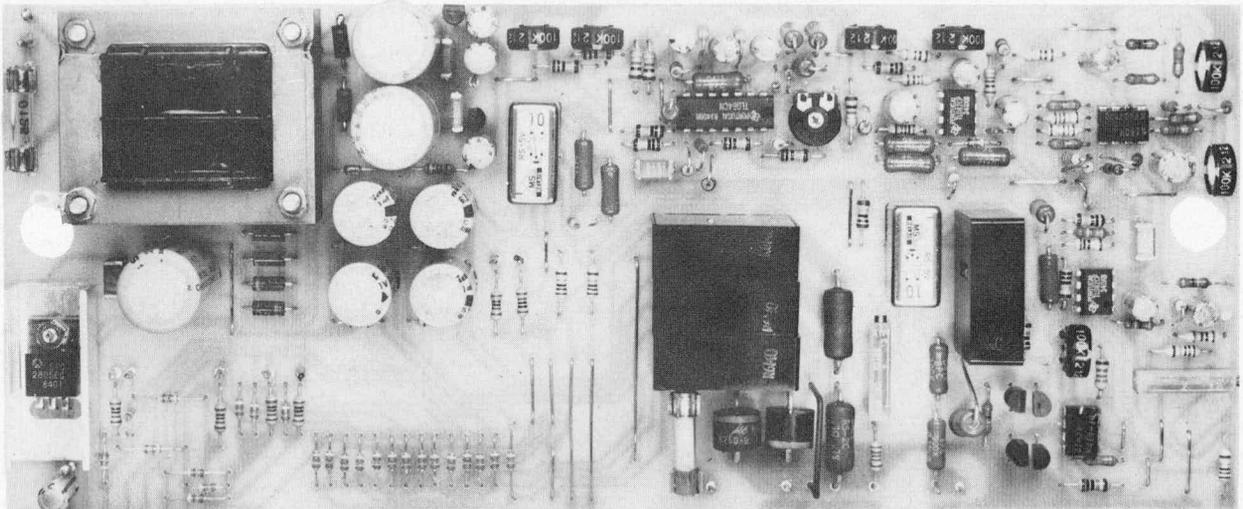
R1, R10	.....	2,2 k Ω
R2	.....	0,9 Ω , 0,1%, 4 Watt
R3	.....	0,1 Ω , 0,1%, 4 Watt
R4, R98	.....	270 k Ω
R5	.....	9 M Ω , 0,1%
R6, R13, R16, R20, R21, R24, R25, R28, R36, R43, R47, R53, R54, R57, R65, R70, R71, R75, R88, R89, R95, R100, R104	.....	100 k Ω
R7	.....	900 k Ω , 0,1%
R8	.....	0,012 Ω (Widerstandsdraht)
R9, R45, R73, R102	.....	2 k Ω Spindeltrimmer
R11, R18	.....	10 k Ω
R12	.....	100 k Ω , Trimmer
R12	.....	100 k Ω , Trimmer
R14, R30, R38, R59,	.....
R67, R91, R93, R97	.....	100 Ω
R15	.....	68 k Ω
R17, R27, R35, R56,	.....
R64, R86, R87	.....	100 k Ω , Trimmer, stehend
R19, R99	.....	220 k Ω
R22, R51	.....	1 M Ω
R23, R52	.....	820 k Ω
R26, R31-R34, R41, R55,	.....
R60-R63	.....	9 k Ω , 0,1%
R29, R37, R58, R66	.....	4,7 k Ω
R39, R68	.....	10 k Ω , 1,0%
R40	.....	90 k Ω , 0,1%
R42	.....	1 k Ω , 1,0%
R44, R72, R101	.....	22 k Ω
R46, R106-R113	.....	1 k Ω
R48, R76, R105	.....	470 k Ω
R49	.....	220 Ω
R50	.....	47 k Ω
R69	.....	150 k Ω
R74, R103	.....	2,7 k Ω
R77, R79	.....	56 k Ω
R78, R80	.....	18 k Ω
R81, R82	.....	33 k Ω
R83, R84	.....	121 k Ω
R85a	.....	39 k Ω
R85b	.....	15 k Ω
R90, R92, R96	.....	27 k Ω
R94	.....	100 k Ω , Spindeltrimmer
R114-R117	.....	680 Ω

Sonstiges

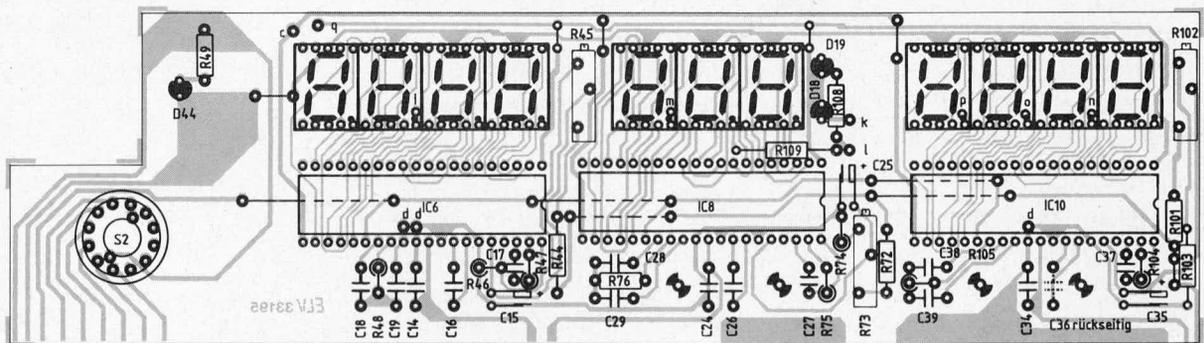
Tr	.....	prim.: 220 V/8 VA
	.....	sek.: 9 V/600 mA
	.....	18 V/100 mA
Si1	.....	50 mA
Si2	.....	10 A
1	.....	Platiniensicherungshalter
1	.....	Präzisions-Drehschalter Typ 6.2
4	.....	Siemens-Kartenrelais, stehend, 18 V, 1 x ein
2	.....	National Präzisionsrelais, Typ N5P
4	.....	Polklemmen (2 x rot und 2 x schwarz)
1	.....	U-Kühlkörper SK 13
4	.....	Schrauben M3 x 40 mm
1	.....	Schraube M3 x 6 mm
13	.....	Muttern M3
1	.....	Lötfahe 3,2 mm
1	.....	Lötfahe 6,2 mm
40	.....	cm Silberdraht
150	.....	cm isolierte flexible Leitung
24	.....	Lötstifte



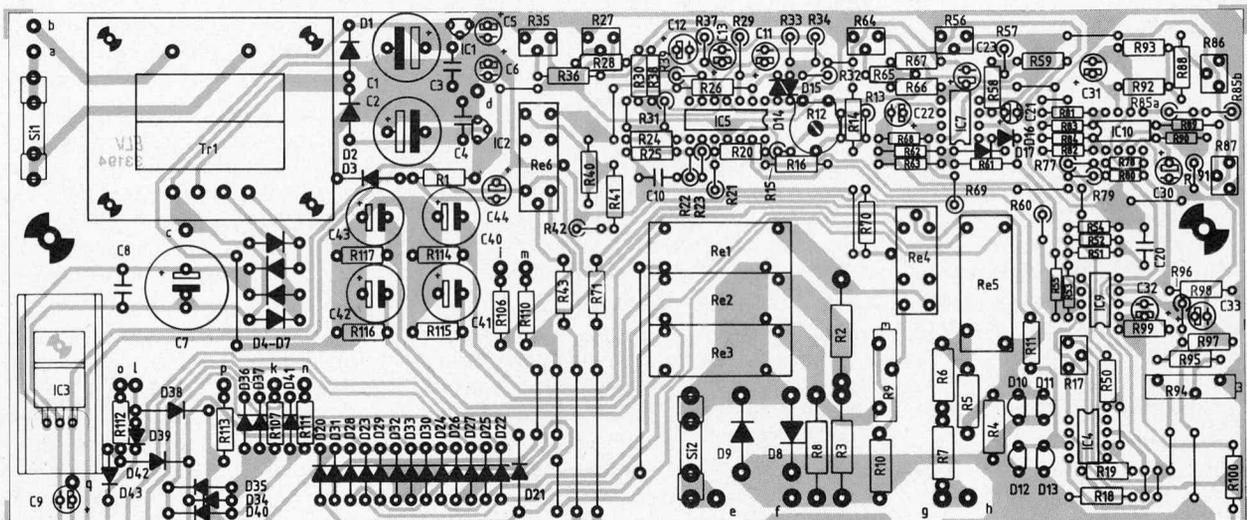
Ansicht der fertig bestückten Anzeigenplatine des ELV-Leistungsmeßgerätes LMG 7000



Ansicht der fertig bestückten Basisplatine des ELV Leistungsmeßgerätes LMG 7000



Bestückungsseite der Anzeigenplatine des ELV Leistungsmeßgerätes LMG 7000 — Originalgröße: 237 mm x 64 mm



Bestückungsseite der Basisplatine des ELV Leistungsmeßgerätes LMG 7000 — Originalgröße: 246 mm x 99 mm