

# 4,5stelliges Digital-Multimeter DMM 7001

Teil 1

Als eines der Spitzengeräte in der ELV-Serie 7000 stellen wir Ihnen das 4,5-stellige Digital-Multimeter des Typs DMM 7001 vor. Hierbei handelt es sich um eine konsequente Weiterentwicklung des 1983 erschienenen und inzwischen tausendfach bewährten DMM 7000. Nachfolgend die herausragenden Eigenschaften des neuen Gerätes in Kurzform:

- 4,5-stellige hell-leuchtende LED-Anzeige
- extrem ruhige und konstante Anzeige auch der letzten Stelle
- quartzgesteuerter und netzsynchronisierter, hochwertiger A/D-Wandler
- integrierte, hochkonstante Präzisions-Spannungsreferenz (20 ppm!)
- 29 Meßbereiche, u. a. 6 Strombereiche von 1 nA bis 20 A
- Toleranz des Vorteilers 0,05 % (!)
- hochwertiger AC/DC-Meßgleichrichter, wahlweise als arithmetischer Mittelwert- oder echter Effektivwert-Gleichrichter
- Hold-Funktion zur Meßwertspeicherung
- alle Bereiche (bis auf 20 A) überlastgeschützt

## Allgemeines

Die vorstehend kurz beschriebenen wesentlichen Merkmale des DMM 7001 lassen erkennen, um welches außergewöhnliche Meßgerät es sich hier handelt.

Weitere Merkmale, die das DMM 7001 besonders bedienungsfreundlich machen, sind automatische Polaritäts-, Dezimalpunkt- und Überlaufanzeige sowie die logische Gliederung der Frontplatte, u. a. mit farblich gekennzeichneten Drucktastern.

Hervorzuheben ist auch der klare übersichtliche Aufbau der Schaltung, nicht zuletzt in mechanischer Hinsicht. Auf eine durchkontaktierte Leiterplatte konnte trotz der vielfältigen Schalterstellungen verzichtet werden, ohne den Verdrahtungsaufwand unnötig zu erhöhen:

Mittels einer zusätzlichen kleinen Leiterplatte, die sich oberhalb des Tastensatzes befindet, wird derselbe Effekt, wie mit einer durchkontaktierten Leiterplatte erzielt. Auch der nicht so versierte Hobby-Elektroniker darf sich deshalb durchaus zutrauen, das DMM 7001 auf Anhieb fehlerfrei zu bauen — etwas Lötpraxis vorausgesetzt.

## Zur Schaltung

Das Gerät besitzt 3 Eingangsbuchsen. Bis auf den 20 A-Meßbereich, für den die Eingangsbuchsen „b“ und „c“ zuständig sind, werden für alle übrigen Messungen die Eingangsbuchsen „a“ und „b“ benutzt.

Über das 12-stufige Spezial-Tastenaggregat (S 1 bis S 12) werden je nach Meßart und Meßbereich entsprechende Funktionen sowie die benötigten Meßwiderstände eingeschaltet. R 1 bis R 9 stellen hierbei den Eingangsspannungsteiler für die Spannungs- und Strommeßbereiche dar, während R 51 bis R 55 die unterschiedlichen Ströme für die Widerstandsmeßbereiche festlegen.

Mit den links im Schaltbild zu sehenden Umschaltern S 7e bis S 11e werden die Spannungs- und mit S 6d bis S 11d sowie S 12c werden die Strommeßbereiche umgeschaltet. Die Schalter selbst sind alle in unbetätigter Stellung eingezeichnet.

Bei Spannungsmessungen (V) gelangt das zwischen den Anschlußbuchsen „a“ und „b“ anliegende Meßsignal zunächst über die Sicherung Si 1 und dann über S 4d, S 3a (betätigt, also entgegengesetzte Schaltposition), einen der Schalter S 7e bis S 11e sowie anschließend über S 5d und S 2d auf R 36, der den Vorwiderstand zum Meßverstärkereingang darstellt.

Die Eingangsspannung des Meßverstärkers beträgt in allen Meßbereichen 0 bis  $\pm 200$  mV.

Gleichzeitig liegt das Meßsignal über R 11 am Eingang des Wechselspannungs-Meßverstärkers an (OP 1 mit Zusatzbeschaltung), dessen Ausgang entweder den Meßgleichrichter I (aufgebaut mit IC 2 und Zusatzbeschaltung) oder den Meßverstärker II (aufgebaut mit den OPs 2 und 3 mit Zusatzbeschaltung) ansteuert. Wie bereits erwähnt, kann je nach individuellen Wünschen und Anforderungen einer der beiden Meßgleichrichter eingebaut werden. Mit S 2d (AC/DC) kann von Gleichspannungs- auf Wechselspannungsmessung umgeschaltet werden. Dies gilt ebenfalls für Strommessungen, da auch hier der zu messende Strom über einen Parallelwiderstand in eine äquivalente Spannung umgewandelt wird (R 3 bis R 9). Auf die Meßgleichrichter selbst gehen wir im weiteren Verlauf dieses Artikels noch näher ein.

Bei den Strommessungen (S 4 betätigt, also gilt die entgegengesetzte Schaltposition) gelangt der Meßstrom zunächst ebenfalls über die Sicherung Si 1 und anschließend über S 4d, je nach eingeschaltetem Strombereich über einen der



Ansicht des 4,5stelligen Digital-Multimeters

Schalter S 6d bis S 11d, um anschließend über die Meßwiderstände R 3 bis R 8 und die Massebuchse „b“ das Meßgerät wieder zu verlassen. Der gemessene Spannungsabfall wird an R 3 abgegriffen und über S 4b den Meßverstärkereingängen zugeführt (über R 11 bzw. R 36).

Eine Besonderheit bietet der 20 Ampere-Strommeßbereich. Hier ist der Strom so groß, daß er nicht mehr direkt über das Tastenaggregat umgeschaltet werden kann, so daß eine separate Eingangsbuchse hierfür zur Verfügung steht. Mit S 12c wird der Spannungsabfall an diesem Widerstand weitergeleitet.

Die Widerstandsmessungen (S 5 betätigt, also entgegengesetzte Schaltposition) erfolgen mit Hilfe von Konstantströmen, die über S 5a sowie Si 1 durch den zu messenden Widerstand geleitet werden, der an die Eingangsbuchsen „a“ und „b“ angeklemt ist.

Für die 5 Widerstandsmeßbereiche von 0-200  $\Omega$  bis hin zu 0-2 M $\Omega$  sind 5 hochpräzise Konstantströme von 1 mA (für 200  $\Omega$ -Bereich) bis 0,1  $\mu$ A (für 2 M $\Omega$ -Bereich) erforderlich. Diese werden mit den Schaltern S 7b bis S 11b umgeschaltet. In Verbindung mit OP 5 und T 1 sowie der entsprechenden Zusatzbeschaltung ist eine elektronische Präzisions-Konstantstromquelle aufgebaut, die aus einer Referenzspannung einen hochpräzisen Konstantstrom generiert. Die entsprechende Referenzspannung wird aus D 15 in Verbindung mit R 59 bis R 62 erzeugt und über R 58 dem invertierenden (-) Eingang (Pin 2) des OP 5 zugeführt. Die an den Referenzwiderständen R 51 bis R 55 abfallende Vergleichsspannung wird dem zweiten (+) Eingang (Pin 3) des OP 5 über R 57 zugeführt. Am Source-Anschluß des FET's T 1 steht dann der Konstantstrom zur Verfügung.

D 13, D 14 dienen in Verbindung mit dem PTC-Widerstand R 49 dem Schutz

der Schaltung, so daß auch ein versehentliches Anlegen der 220 V-Netzwechselspannung an den Ohmbereich keinen Schaden anrichten kann. Im Normalfall weist der PTC R 49 einen Innenwiderstand von ca. 2 kΩ auf, der sich ab einer bestimmten Strombelastung schlagartig soweit erhöht, daß dadurch die Schaltung weitgehend geschützt ist.

Die am auszumessenden Widerstand abfallende Spannung ist aufgrund des eingespeisten Konstantstromes direkt proportional zu dessen Widerstandswert, wobei die Meßspannung über S 4d und S 3a sowie R 36 auf den Eingang des Meßspannungsverstärkers OP 4 gelangt.

#### Der Analog-Digital-Wandler

Der zentrale Baustein zur A/D-Wandlung ist das IC 7 des Typs ICL 7135. Es beinhaltet alle wesentlichen Elemente, um eine Eingangsspannung, die zwischen den Pins 9 und 10 anliegt, in einen digitalen Wert umzuwandeln. Mit Hilfe des IC 8 (Segment-Dekodierer/Treiber) sowie der Transistoren T 2 bis T 8 erscheint ein, der Eingangsspannung direkt proportionaler digitaler Zahlenwert auf der 5-stelligen LED-Anzeige. Da der Meßbereichsumfang ± 20 000 Digit umfaßt, bezeichnet man die Anzeige des Gesamtsystems als 4,5-stellig.

Die Referenzspannung wird mit dem hochkonstanten Präzisions-Referenzelement des Typs LM 385 (D 11) in Verbindung mit dem Vorwiderstand R 43 und dem zur Rauschunterdrückung dienenden Kondensator C 11 erzeugt.

Mit R 45 wird ein Teilbetrag dieser Referenzspannung abgegriffen und auf den positiven Referenzspannungseingang des IC 7 (Pin 2) gegeben.

Um einen Grundmeßbereich mit einer Empfindlichkeit von 200 mV (Meßbereichsendwert) zu erhalten, wurde ein hochwertiger Präzisions-Vorverstärker mit dem OP 4 mit Zusatzbeschaltung aufgebaut. Dieser Meßverstärker ist dem Analog-Eingang (Pin 9 und Pin 10) des IC 7 vorgeschaltet, da das IC des Typs ICL 7135 für einen Eingangsspannungsbereich von ± 2 V ausgelegt ist. Würde man die Referenzspannung an Pin 2 des IC 7 auf 100 mV reduzieren, so ergäbe sich ein Schwanken und Springen der letzten Stelle von typ. 5-9 Digit - d. h. die Anzeige wäre praktisch unbrauchbar. Zwar ist das Prinzip der Referenzspannungsreduzierung auf 100 mV bei den bekannten A/D-Wandlerbausteinen der Typen ICL 7106/07 durchaus gebräuchlich, jedoch muß man berücksichtigen, daß hierbei lediglich ein Anzeigenumfang von ± 2 000 Digit zur Verfügung steht. Um beim ICL 7135 mit einem Meßbereichsumfang von immerhin 20 000 Digit eine gute Qualität der Anzeigenergebnisse zu erhalten, ist in der hier vorliegenden Anwendung ein entsprechender Vorverstärker sinnvoll.

In der im ELV-Labor entwickelten Schaltung beträgt der Verstärkungsfaktor des vorgeschalteten Meßverstärkers

$$V = \frac{R_{40} + R_{41}}{R_{41}} = 11$$

so daß der Eingangsspannungsbereich des IC 7 sogar noch etwas über 2 V, nämlich bei 2,2 V liegt, um auf einen Gesamtmeßbereichsumfang von ± 200 mV zu kommen.

Eine zu messende Eingangsspannung im Bereich zwischen ± 200,00 mV wird dem System über R 36 (auf Schaltungsmasse

bezogen) zugeführt, wobei eine Überlastsicherung von dauernd 100 V und kurzzeitig 250 V durch D 9 und D 10 vorgesehen ist.

Damit unerwünschte Frequenzeinstreuungen, besonders im 50- und 100-Hz-Bereich wirksam unterdrückt werden, besitzt die Schaltung einen quartzesteuerten Taktoszillator, der mit dem IC 10 des Typs CD 4060 und Zusatzbeschaltung aufgebaut wurde. An Pin 5 des IC 10 steht eine Frequenz von 111,86 kHz zur Ablaufsteuerung des IC 7 zur Verfügung. Hierdurch ergibt sich eine Meßrate von 2,8 Messungen pro Sekunde.

Darüber hinaus besitzt die Schaltung als besonderes Feature eine zusätzliche Netzsynchronisation. Hierdurch wird eine wirkungsvolle Störunterdrückung erreicht, so daß Störungen, die in Verbindung mit der Netzwechselspannung stehen, fast vollkommen ausgeblendet werden. Erreicht wird dies, indem die Ablaufsteuerung der Meßzyklen exakt phasenstarr mit der Netzwechselspannung gekoppelt wird. Schaltungstechnisch wurde dies im ELV-Labor wie folgt gelöst:

Der Widerstand R 79 liegt direkt an der Sekundärwicklung des Netztransformators, der zur Versorgung der gesamten Schaltung dient.

Am Kollektor des Transistors T 9 steht dann ein 50-Hz-Rechtecksignal an, das mit Hilfe des Differenziergliedes C 20/R 83 Impulse auf den Eingang des Gatters N 3 (Pin 6) gibt. Wirksam können diese Impulse nur dann sein, wenn vorher der Speicher N 1/N 2 durch einen „low“-Impuls an Pin 1 gesetzt wurde, so daß an Pin 3 „high“-Potential liegt. Dieses Speichersetzen kann entweder im

Technische Daten des 4,5stelligem Präzisions-Digital-LED-Multimeters DMM 7001

Funktion	Bereiche	Auflösung	Meßfehler (typ.)*	Überlastschutz	
Gleichspannung	200 mV	10 μV	± (0,01 % v. Meßwert + 2 Digit)	300 V =/ 750 V <sub>ss</sub> ~ 1200 V =/1200 V <sub>ss</sub> ~ 1200 V =/1200 V <sub>ss</sub> ~ 1200 V =/1200 V <sub>ss</sub> ~ 1200 V =/1200 V <sub>ss</sub> ~	
	2 V	100 μV	± (0,05 % v. Meßwert + 2 Digit)		
	20 V	1 mV	± (0,05 % v. Meßwert + 2 Digit)		
	200 V	10 mV	± (0,05 % v. Meßwert + 2 Digit)		
	1000 V	100 mV	± (0,05 % v. Meßwert + 2 Digit)		
Wechselspannung	200 mV	10 μV	± (0,3 % v. Meßwert + 0,3 mV)	300 V =/ 750 V <sub>ss</sub> ~ 1200 V =/1200 V <sub>ss</sub> ~ 1200 V =/1200 V <sub>ss</sub> ~ 1200 V =/1200 V <sub>ss</sub> ~ 1200 V =/1200 V <sub>ss</sub> ~	
	2 V	100 μV	± (0,3 % v. Meßwert + 3 mV)		
	20 V	1 mV	± (0,3 % v. Meßwert + 30 mV)		
	Frequenzbereich: DC + 10 Hz bis 10 kHz	200 V	10 mV		± (0,3 % v. Meßwert + 0,3 V)
	400 V	100 mV	± (0,3 % v. Meßwert + 3 V)		
Gleichstrom und Wechselstrom	20 μA	1 nA	± (0,05 % v. Meßwert + 2 Digit) für DC ± (0,3 % v. Meßwert + 0,15 % v. Endwert) für AC	Dioden und 2,5 A Schmelzsicherung	
	200 μA	10 nA			
	2 mA	100 nA			
	20 mA	1 μA			
	200 mA	10 μA			
Frequenzbereich: DC + 10 Hz bis 10 kHz	2000 mA	100 μA	± (0,1 % v. Meßwert + 2 Digit) für DC ± (0,3 % v. Meßwert + 0,03 A) für AC	entfällt	
	20 A	1 mA			
Widerstand	200 Ω	10 mΩ	± (0,05 % v. Meßwert + 0,05 Ω)	300 V =/750 V <sub>ss</sub> ~	
			<small>Innenwiderstand des Meßkreises = Anzeige bei kurzgeschlossenem Eingang: max. 0,2 Ω (typ. 0,1 Ω) Der bei kurzgeschlossenem Eingang angezeigte Wert ist vom jeweiligen Meßwert abzuziehen.</small>		
	2 kΩ	100 mΩ	± (0,05 % v. Meßwert + 0,02 % v. Endwert)		
	20 kΩ	1 Ω			
	200 kΩ	10 mΩ			
2000 kΩ	100 Ω				

\* bei Einsatz der Präzisions-Meßwiderstands-Teilerkette mit einer Toleranz von 0,05 % und echtem Effektivwert-Meßgleichrichter  
bei Einsatz des arithmetischen Mittelwert-Meßgleichrichters erhöht sich die Grundtoleranz in den AC-Bereichen von 0,3 % auf 0,5 %

Einschaltmoment über R 82, C 21, D 38 oder im Betriebsfall über Pin 26 des IC 7 und R 84 erfolgen.

Ein „high“-Impuls an Pin 6 des Gatters N 3 hat zur Folge, daß am Ausgang des Gatters N 4 (Pin 10) ebenfalls ein definierter „high“-Impuls ansteht, der über den Schalter S 1b auf Pin 25 des IC 7 gelangt. Hierdurch wird am IC 7 der Meßzyklus gestartet. Über R 85, C 22 wird der Speicher N 1/N 2 wieder zurückgesetzt, damit weitere Impulse an Pin 6 von N 3 wirkungslos bleiben. Wenige Millisekunden nach Beendigung eines kompletten Meßzyklus des IC 7 erscheinen an Pin 26 (IC 7) mehrere „low“-Impulse, die über R 84 auf den Eingang (Pin 1) des Speichers N 1/N 2 wirken, wodurch über Pin 3 das Gatter N 3 (Pin 5) wieder freigegeben wird.

Der nächste, über die Netzwechselspannung synchronisierte Impuls am Kollektor von T 9 löst über C 20/R 83 am Eingang (Pin 6) des Gatters N 3 einen weiteren „high“-Impuls aus, der wiederum an Pin 25 (IC 7) einen neuen Meßzyklus in Gang setzt. Mit Hilfe von D 39 erreicht man einen gut definierten Steuerimpuls mit voller Amplitudenhöhe.

Durch vorstehend beschriebene Schaltungstechnik wird eine phasenstarre Kopplung der Meßzyklen des A/D-Wandlersystems erreicht, mit einer wirkungsvollen Störunterdrückung.

Mit dem Schalter S 1b ist zusätzlich die Speicherung eines Meßwertes möglich. Wird diese von der Frontplatte aus zu bedienende Taste betätigt, liegt Pin 25 des IC 7 auf Schaltungsmasse und der soeben angezeigte Meßwert bleibt auf der Anzeige gespeichert (Hold-Funktion).

### Die Meßgleichrichter

Bei Messungen von Wechsel- und Mischspannungen (Gleichspannungen mit Wechselspannungsanteil) kommen die beiden hochwertigen Meßgleichrichter zum Einsatz, von denen je nach Anforderung selbstverständlich nur einer eingebaut wird. Das Leiterplattenlayout ist von vornherein für beide Versionen ausgelegt.

OP 1 stellt mit seiner Zusatzbeschaltung eine Vorstufe zur Pufferung und Meßwertanpassung dar, die für beide Meßgleichrichterversionen erforderlich ist.

Meßgleichrichter I ist ein echter Effektivwert-Gleichrichter, der im wesentlichen aus dem integrierten AC/DC-Wandler des Typs AD 636 (IC 2) besteht, mit nur wenigen zusätzlichen externen Bauelementen. Dieses IC setzt eine am Eingang (Pin 4) anliegende Spannung mit nahezu beliebiger Kurvenform in eine äquivalente Ausgangsgleichspannung (Pin 8) um, die dem echten Effektivwert der Eingangsspannung entspricht.

Beim Einsatz des Meßgleichrichters I dient OP 1 lediglich zur Pufferung der Eingangsspannung, bei einer Verstärkung von 0 dB (1fach). Aus diesem Grund entfallen die Bauelemente R 12, R 13, R 17 sowie C 1 ersatzlos.

Wird der Meßgleichrichter II eingebaut, so ist die gesamte Zusatzbeschaltung des

OP 1 erforderlich. Bei Gleichspannungen, die auch verarbeitet werden können, wird die Verstärkung des OP 1 mit den Widerständen R 16/R 17 (2fach) festgelegt, da der Parallelzweig mit den Widerständen R 12/R 13 durch den Kondensator C 1 unterbrochen ist.

Sobald die über den OP 1 verstärkte Frequenz 10 Hz und mehr beträgt, stellt C 1 praktisch einen Kurzschluß für diese Frequenzen bei der vorliegenden Dimensionierung dar, wodurch sich der Verstärkungsfaktor dieser Stufe soweit erhöht, daß die Differenz zwischen arithmetischem Mittelwert und echtem Effektivwert exakt ausgeglichen wird. Am Ausgang des OP 1 (Pin 6) steht nun ein Signal zur Verfügung, das direkt von Meßgleichrichter II verarbeitet werden kann, und zwar so, daß an dessen Ausgang (Pin 6 des OP 3) eine, dem Effektivwert entsprechende Gleichspannung abgenommen werden kann.

Die Trimmer R 15, R 21, R 26 sowie R 35 dienen der Offset-Korrektur (Nullpunkt-einstellung), während der Spindeltrimmer R 18 im Meßgleichrichter I bzw. R 32 im Meßgleichrichter II zur Feineinstellung des Skalenfaktors dient.

Der genaue Abgleich, der verhältnismäßig einfach durchzuführen ist, wird im weiteren Verlauf dieses Artikels noch eingehend beschrieben.

Gleichwohl für welchen der beiden Meßgleichrichter man sich entscheidet, in jedem Fall wird nur einer der beiden in der gestrichelten Umrandung befindlichen Schaltungsteile eingebaut. Die jeweils in der anderen Umrandung eingezeichneten Bauelemente müssen unbedingt ersatzlos entfallen.

Abschließend soll nicht unerwähnt bleiben, daß beide Meßgleichrichter sowohl für Wechselspannungs-, Mischspannungs- als auch für Gleichspannungsmessungen geeignet sind. Um eine ruhige Anzeige zu gewährleisten und den Meßfehler klein zu halten, sollte die Frequenz der Wechselspannungen bzw. eines evtl. Wechsel-

spannungsanteils mindestens 20 Hz betragen. Die volle Genauigkeit wird im Bereich von 40 Hz bis 10 kHz erreicht (bei geringen Genauigkeitsabstrichen bis 15 kHz).

### Die Meßbereichsanzeige

Über insgesamt 11 Leuchtdioden erfolgt eine automatische Anzeige des gewählten Meßbereiches und der Meßart. Dies wird auf einfache Weise dadurch realisiert, indem die entsprechenden, zur Ansteuerung der LEDs dienenden Schaltkontakte, mechanisch, unter Verwendung einer zusätzlichen elektronischen Dekodierung, mit den entsprechenden Meßbereichumschaltkontakten gekoppelt sind. Die genaue Verschaltung ist im rechten Schaltbildabschnitt zu sehen.

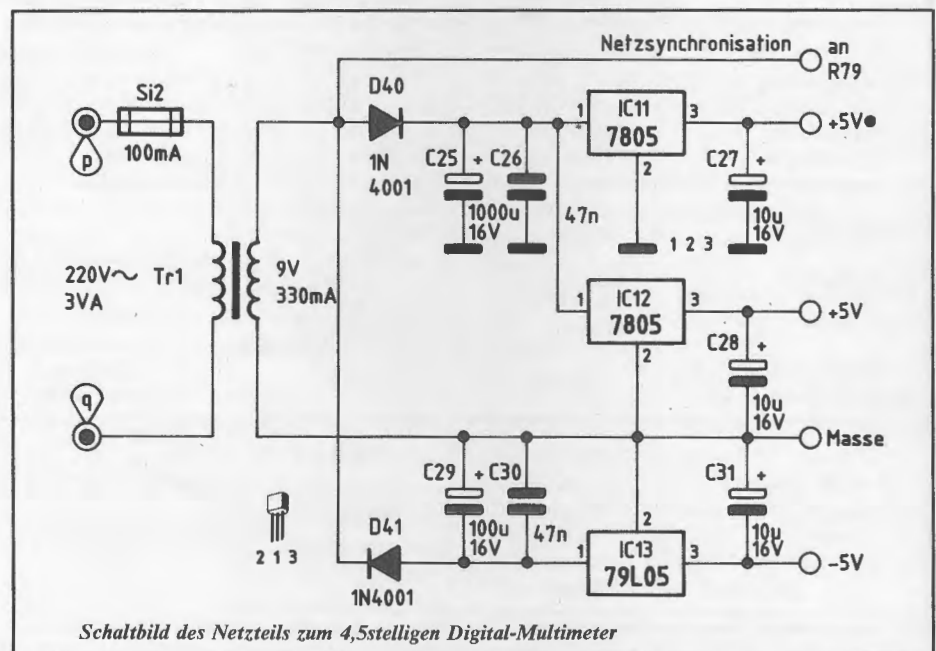
### Die Stromversorgung

Zur Speisung der gesamten Schaltung genügt ein kleiner Printtrafo mit einer Leistung von 3 VA (Tr 1). Seine 9 V Wicklung liefert einen maximalen Strom von 330 mA, der für unseren Anwendungsfall mehr als ausreichend ist. Über eine doppelte Einweggleichrichtung mit anschließender Siebung (D 40, C 25 sowie D 41, C 29) werden daraus die positive und die negative Gleichspannung gewonnen.

Mit Hilfe der beiden Festspannungsregler IC 11 und IC 12 werden daraus 2 stabilisierte 5 V Spannungen und mit IC 13 eine negative 5 V Spannung erzeugt.

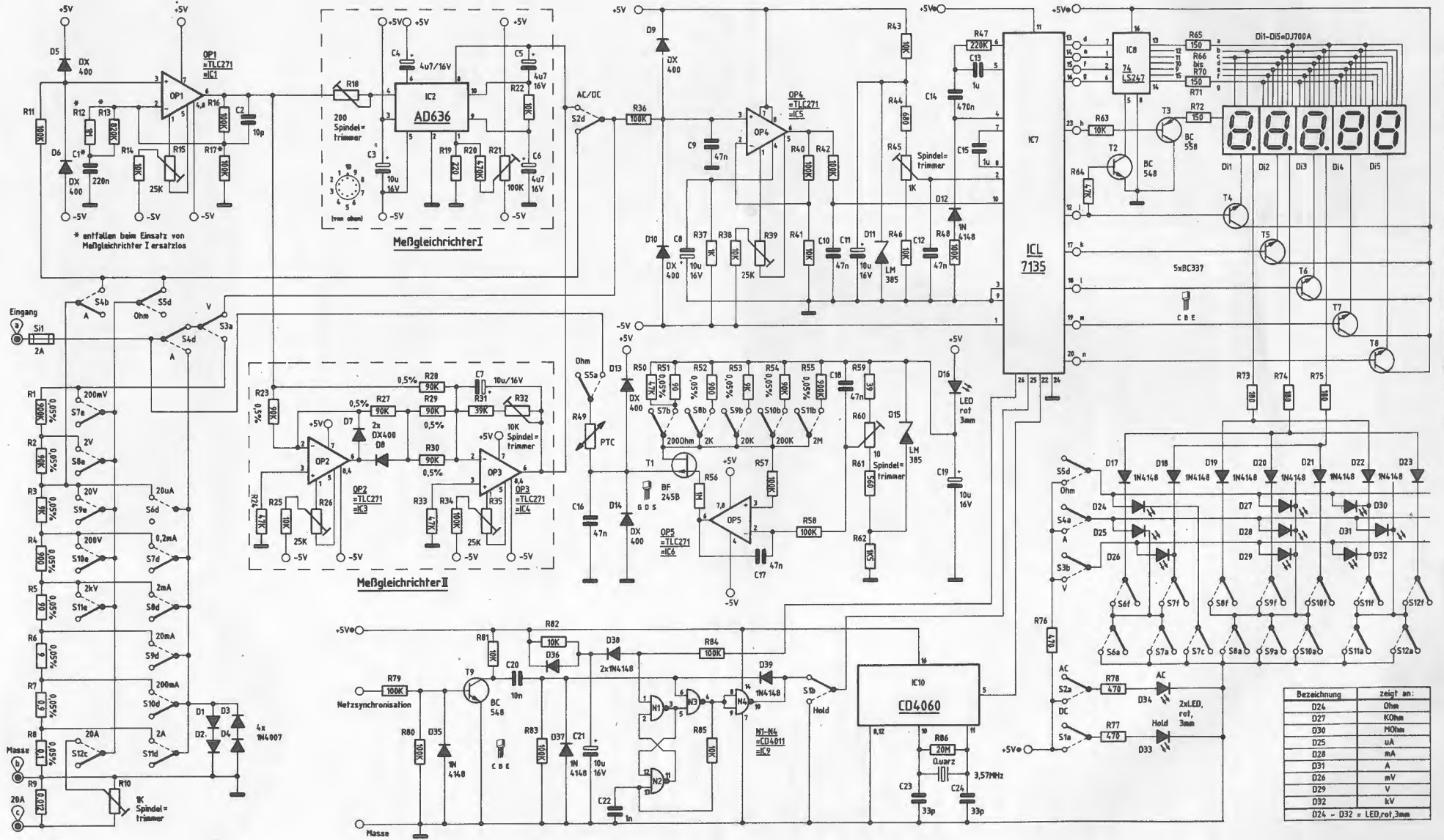
Für die positive Versorgung wurden zwei getrennte Spannungsregler eingesetzt, damit evtl. Störungen vom Digitalteil der Schaltung, wie z. B. auch der stromintensiven LED-Anzeige, keinen Einfluß auf den Analogteil ausüben können, so daß auch in diesem Bereich die Voraussetzungen für eine ruhige und konstante Anzeige, auch der letzten Digitalstelle, gegeben sind.

Im zweiten, abschließenden Teil dieses Artikels stellen wir Ihnen die Platinenlayouts sowie die Beschreibung von Nachbau und Abgleich vor.



Schaltbild des Netzteils zum 4,5stelligen Digital-Multimeter

Schaltbild des 4-Stelligen Digital-Multimeters DMM 7001



Bezeichnung	zeigt an:
D24	Ohm
D27	KOhm
D30	MOhm
D25	µA
D28	mA
D31	A
D26	mV
D29	V
D32	kV
D24 - D32	LED, rot, 3mm



# ELV-Serie 7000: 4,5-stelliges Digital-Multimeter DMM 7001

## Teil 2



*In dem hier vorliegenden zweiten und abschließenden Teil stellen wir Ihnen die Platinenlayouts sowie die Beschreibung von Nachbau und Abgleich vor.*

### Zum Nachbau

Beim DMM7001 handelt es sich um ein hochwertiges Präzisions-Meßgerät, das mit seinen insgesamt 29 Meßbereichen auch professionellen Ansprüchen gerecht wird. Aufgrund der hochwertigen Platinenlayouts sowie der ausgereiften Schaltungstechnik ist der Nachbau weitgehend problemlos möglich, sobald man etwas Erfahrung im Aufbau von elektronischen Schaltungen gesammelt hat.

Zunächst wird die Bestückung der Basisplatine in gewohnter Weise vorgenommen. Die passiven Bauelemente werden als erstes auf die Leiterplatte gesetzt und verlötet, um anschließend mit den aktiven Bauelementen fortzufahren.

Bei den passiven Bauelementen, und hier insbesondere bei den Präzisions-Meßwiderständen, ist darauf zu achten, daß die Anschlußdrähte so abgewinkelt werden, daß die Bauelemente später direkt auf der Bestückungsseite der Leiterplatte aufliegen. Dies ist wichtig, da bei den hohen erreichbaren Genauigkeiten die Widerstände der Anschlußdrähte bei den niederohmigen Meßwiderständen berücksichtigt werden müssen, um die Meßwertabweichungen zu minimieren.

Nachdem auch das Tastenaggregat auf die Basisplatine gesetzt und verlötet wurde, kann anschließend die Tastenplatine so auf die Oberseite des Tastenaggregats gesetzt werden, daß die Leiterbahnseite sichtbar ist. Hierbei sollte etwa 2 mm Abstand zwischen Tastenaggregat und Platine bestehen bleiben, damit die Tasten später nicht an der Platine scheuern.

Auf diese Leiterplatte werden außer R 50 bis R 55 und R 76 keine weiteren Bauelemente aufgelötet. Für vorstehend genannte Bauteile sind keine Bohrungen vorgesehen, da sie auf der Leiterbahnseite der Tastenplatine angeordnet sind.

Als nächstes wird die Anzeigenplatine in gewohnter Weise bestückt.

Nachdem die bisherigen Arbeiten nochmals sorgfältig überprüft wurden, kann

die Anzeigenplatine mit der Tastenplatine verbunden werden. Hierzu wird die Anzeigenplatine im rechten Winkel (senkrecht) vor die Tastenplatine gesetzt, und zwar so, daß die Unterkante der Anzeigenplatine mit der Unterseite (die Seite, die zum Tastensatz hinweist) der Tastenplatine abschließt.

Jetzt werden die entsprechenden Leiterbahnverbindungen zwischen Anzeigenplatine und Tastenplatine fest zusammengelötet. Sorgfältig sollte man hierbei darauf achten, daß sich keine Lötzinnbrücken zwischen den einzelnen Leiterbahnen ergeben.

Nun werden die 10 flexiblen isolierten Verbindungsleitungen zwischen der Basisplatine und der Anzeigenplatine gezogen. Sie dienen zur Verbindung der im Schaltplan mit „d, e, f, g, h, i, k, l, m, n“ bezeichneten Punkte. Diese Bezeichnungen sind gleichfalls in den Bestückungsplänen von Basis- und Anzeigenplatine eingezeichnet, wobei gleiche Punktbezeichnungen miteinander zu verbinden sind (d mit d, e mit e usw.).

Insgesamt ist bei der Verdrahtung darauf zu achten, daß die einzelnen Verbindungsleitungen möglichst kurz gehalten werden, ohne daß sie unter mechanischen Spannungen stehen.

Die 3 Meßbuchsen werden mit kurzen flexiblen isolierten Leitungen mit einem Querschnitt von mindestens 1,5 mm<sup>2</sup> mit den entsprechenden Platinenanschlußpunkten (a, b, c) verbunden. Anschließend entfernt man die vorderen Kunststoffkappen von den Buchsen, um die Frontplatte über Buchsen und Tasten setzen zu können.

Nach dem Verschrauben der Meßbuchsen mit der Frontplatte wird die fertige Schaltung gleichzeitig mit der Frontplatte in das Gehäuseunterteil eingesetzt. Aufgrund der Gesamtkonstruktion ist im allgemeinen keine zusätzliche Befestigung der Platinen im Gehäuse erforderlich. Gegebenenfalls kann eine Fixierung mit etwas Klebstoff vorgenommen werden.

Die 3adrige Netzzuleitung wird durch die vorher mit der Gehäuserückwand verschraubten Netzkabeldurchführung mit Zugentlastung und Knickschutztülle geführt. Anschließend werden die beiden zur Stromversorgung dienenden Adern mit den Platinenanschlußpunkten „p“ und „q“ verlötet. Der gelb/grüne Schutzleiter wird an alle von außen berührbaren, leitenden Teile fest angeschlossen (hier: Kippschalterhals). Danach erfolgt das Festziehen der Zugentlastung durch Drehen der Knickschutztülle, so daß die Netzzuleitung nicht zurückgezogen werden kann. Hierbei sollte die Leitungslänge innerhalb des Gehäuses so bemessen werden, daß etwas Lose vorhanden ist.

Im allgemeinen wird das Digital-Multimeter zur potentialfreien Messung eingesetzt werden, d.h. der Schutzleiter ist nicht mit der Schaltung verbunden. Soll jedoch dieses Meßgerät auf definiertem „Nullpotential“ liegen, so kann der gelb/grüne Schutzleiter der Netzzuleitung zusätzlich mit der Schaltungsmasse verbunden werden. Das Meßgerät ist dann allerdings nicht mehr erdfrei (ähnlich vielen Oszilloskopen).

Auf die Einhaltung der VDE-Bestimmungen ist zu achten.

### Zum Abgleich

Bevor das Gerät mit Spannung versorgt wird, empfiehlt es sich, die Bestückung und Verdrahtung nochmals sorgfältig zu überprüfen.

Besonders ist auf die richtige Einbaulage der Dioden D40 und D41 zu achten, da eine falsche Polarität sofort größere Schäden anrichten kann.

Gleich nach dem Einschalten sollten folgende Spannungsmesswerte geprüft werden (der Minusanschluß des verwendeten Voltmeters wird mit der Schaltungsmasse verbunden):

Die Spannung am Eingang des IC11 (Pin 1) sollte zwischen 12 V und 15 V liegen. Entsprechend beträgt die Spannung am Eingang des IC 13 (Pin 1) -12 V bis -15 V. An den Ausgängen der ICs 11 und

12 (jeweils Pin 3) muß die Spannung zwischen 4,8 V und 5,2 V liegen und am Ausgang des IC 13 (Pin 3) bei -4,8 V bis -5,2 V.

Sind vorgenannte Messungen zur Zufriedenheit verlaufen, kann mit dem Abgleich begonnen werden.

Zuvor ist jedoch der Nullpunkt des mit dem OP4 mit Zusatzbeschaltung aufgebauten Meßverstärkers einzustellen. Das Meßgerät wird dazu in einen beliebigen Strommeßbereich zur Messung von Gleichströmen gebracht (Taste AC/DC nicht gedrückt). Der Eingang ist somit über ca. 10 k $\Omega$  intern abgeschlossen und die Eingangsbuchsen können unbeschaltet bleiben.

Mit dem Trimmer R 39 wird dann die Anzeige auf „0000“ eingestellt. Die Schaltung sollte hierzu mindestens eine halbe Stunde im Dauerbetrieb eingeschaltet sein. Im Anschluß hieran ist der Skalenfaktor mit R 45 einzustellen.

Entweder bedient man sich hierzu einer exakt bekannten Referenzspannung oder aber man mißt eine Spannung im Bereich zwischen 100 mV und 200 mV mit einem hochgenauen Multimeter und stellt dann diesen Wert mit dem Spindeltrimmer R 45 auf der Digital-Anzeige ein.

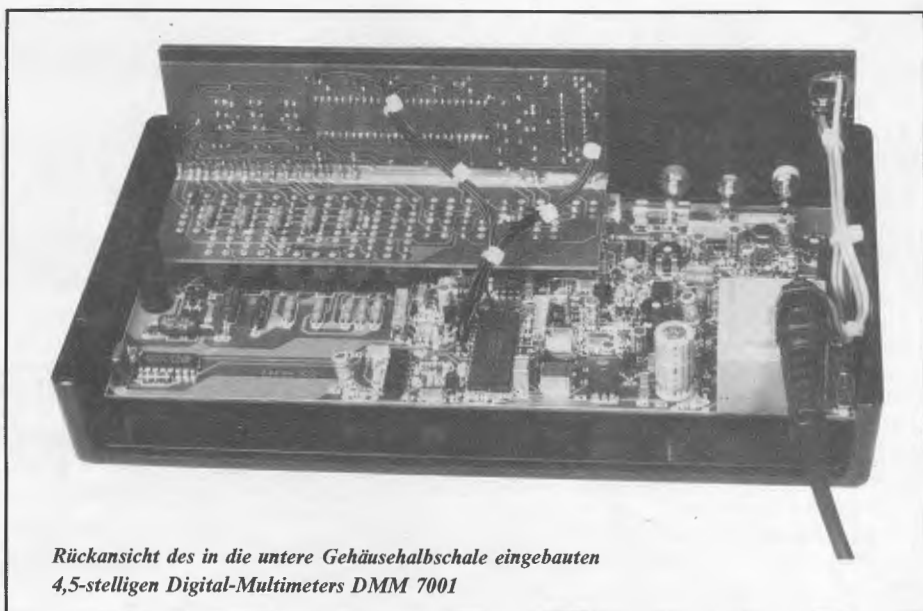
Aufgrund der hohen Auflösung und des Anzeigenumfanges von  $\pm 20000$  Digit, kann sich der Nullpunkt des Systems durch geringfügige Drift des Meßverstärkers im Laufe der Zeit etwas verschieben. In diesem Fall empfiehlt es sich, nach einer gewissen Einlaufphase eine zweite Nullpunkteinstellung und gegebenenfalls Skalenfaktorkorrektur vorzunehmen. Durch die Verwendung von besonders hochwertigen, für diese Einsatzzwecke geeigneten Bauelemente, ist die Drift der Gesamtschaltung jedoch im Raumtemperaturbereich praktisch vernachlässigbar und das Meßergebnis liegt, wie bereits eingangs erwähnt, bei einer Genauigkeit von typ.  $\pm 2$  Digit, entsprechend 0,01 % vom Meßbereichsendwert.

Durch Umpolen der Eingangsmessspannung erscheint auf der Digitalanzeige ein Minuszeichen, bei ansonsten gleicher Meßwertanzeige. Abweichungen zur positiven Anzeige dürfen bei typ. 5 Digit liegen ( $\pm 2$  Digit von jedem der beiden Werte).

Als nächstes wird der 20 A-Meßbereich mit dem Spindeltrimmer R 10 eingestellt. Dies ist erforderlich, da der für R 9 benötigte, sehr genaue und hochbelastbare Meßwiderstand mit einem Wert von 0,01  $\Omega$  in der Praxis kaum ohne Abgleich realisierbar ist. Deshalb wurde hierfür ein Widerstandsdraht vorgesehen, dessen Wert geringfügig größer als 0,01  $\Omega$  ist (ca. 0,012  $\Omega$ ). Mit dem Spindeltrimmer R 10 kann eine Teilspannung abgegriffen werden, die den etwas zu großen Spannungsabfall exakt ausgleicht.

Sollte der Abgleichbereich zu klein sein, ist mit Sicherheit der Widerstandsdraht zu kurz bemessen worden, d. h. er ist kleiner als 0,01  $\Omega$ .

Sofern kein genaues Vergleichsgerät verfügbar ist, kann man beim Abgleich wie folgt vorgehen:



Rückansicht des in die untere Gehäusehalbschale eingebauten 4,5-stelligen Digital-Multimeters DMM 7001

Zunächst wird ein Strom im 2 A-Bereich in der Nähe des Meßbereichsendwertes gemessen (z. B. 1,8500 A). Nun führt man dieselbe Messung im 20 A-Bereich durch (nicht vergessen das Meßkabel in die 20 A-Buchse umzustecken) und gleicht mit R 10 die Anzeige auf den entsprechenden Wert ab (Anzeige jetzt 1,850 A). Zu berücksichtigen ist hierbei, daß im 20 A-Bereich der Spannungsabfall geringer als im 2 A-Bereich ist (bei gleichem Strom), so daß das Ergebnis nur dann genau ist, wenn eine Konstantstromquelle den Meßstrom geliefert hat (hier 1,850 A), da anderenfalls durch den geänderten Spannungsabfall am Meßgerät der Strom schwanken könnte.

Die Einstellung der Meßgleichrichter ist ebenfalls verhältnismäßig einfach durchzuführen.

Als erstes bringt man das Multimeter in den Wechselstrombereich „2 A“.

OP 1 liegt dann über R 11, S 5d, S 11e sowie R 5 bis R 8 auf Masse (Analogground). Der Trimmer R 15 wird so eingestellt, daß die Ausgangsspannung (an Pin 6 des OP 1) 0 wird. Maximal darf die Restspannung 0,3 mV betragen.

Um Meßfehler auszuschließen, legt man den Minusanschluß des zu Testzwecken herangezogenen Multimeters direkt an die Eingangsklemme „b“, während mit dem Plusanschluß die Spannung an dem jeweils interessierenden Meßpunkt direkt abgegriffen wird. Für die vorstehend beschriebene Einstellung war dies der Anschluß Pin 6 des OP 1.

Beim Einsatz von Meßgleichrichter II wird jetzt die Diode D 7 mit einer Drahtbrücke kurzgeschlossen.

Der Trimmer R 26 ist so einzustellen, daß der Ausgang Pin 6 des OP 2 auf 0 V liegt, wobei auch hier eine maximale Restspannung von 0,3 mV zulässig ist. Die Brücke über D 7 wird jetzt wieder entfernt.

Nun wird D 8 an einer Seite ausgelötet, um die Verbindung des Ausganges von OP 2 zu den Widerständen R 27, R 29, R 30 zu unterbrechen. Der Verbindungs-

punkt der eben genannten Widerstände ist über ein möglichst kurzes Leitungsstück direkt an die Schaltungsmasse anzuschließen (z. B. Fußpunkt der Widerstände R 24 oder R 33).

R 35 ist so einzustellen, daß der Ausgang des OP 3 (Pin 6) auf 0 V liegt. Auch hier ist eine maximale Restspannung von 0,3 mV zulässig.

Die Verbindung der Widerstände R 27, R 29, R 30 mit der Schaltungsmasse wird wieder aufgehoben und D 8 eingelötet. Als letzte, jedoch nicht minder wichtige Einstellung des Meßgleichrichters II erfolgt der Abgleich des Skalenfaktors mit dem Spindeltrimmer R 32.

Dies ist auf einfache Weise möglich, da der Meßgleichrichter II nicht nur sinusförmige Wechselspannungen, sondern ebenso reine Gleichspannungen verarbeiten kann.

Das Multimeter wird hierzu in den Wechselspannungs-Meßbereich „200 mV“ gebracht und eine Gleichspannung an die Eingangsbuchsen „a“ und „b“ gelegt, die genau bekannt ist (sie kann z. B. vorher in dem bereits abgeglichenen Gleichspannungs-Meßbereich gemessen werden).

R 32 wird so eingestellt, daß auf der Anzeige der korrekte Wert erscheint. Wird die Eingangsspannung umgepolt, muß der gleiche Wert auf der Anzeige abzulesen sein, mit einer maximalen Abweichung von typ. 30 Digit. Gegebenenfalls ist der Skalenfaktor mit R 32 so einzustellen, daß der angezeigte Wert bei einer Umpolung der Eingangsmessspannung um den korrekten Wert „pendelt“, d. h. er ist einmal etwas zu groß und einmal zu klein.

Sollten größere Abweichungen auftreten, empfiehlt es sich, die Nullpunkteinstellungen mit den Trimmern R 15, R 26 sowie R 35 zu wiederholen.

Nach Abschluß der gleichspannungsmäßigen Einstellung des Meßgleichrichters II kann man zuverlässig davon ausgehen, daß ohne weiteren Abgleich auch sinusförmige Wechselspannungen mit einer typ. Genauigkeit von 0,5 % verarbeitet werden. Dies ist aufgrund der ausgefeil-

ten Schaltungstechnik möglich, da die Verstärkung des OP1 bei Wechselspannungen ab 10 Hz elektronisch mit großer Genauigkeit automatisch angepaßt wird. Zu beachten ist hierbei, daß die volle Genauigkeit mit dem Meßgleichrichter II nur dann erreicht wird, wenn der Kurvenverlauf der angelegten Meßspannung exakt sinusförmig ist. Abweichungen hiervon erhöhen den Meßfehler. Da es sich bei der vorliegenden Schaltung um einen hochwertigen arithmetischen Mittelwert-Meßgleichrichter handelt, bleiben die zu erwartenden Meßfehler, auch bei Kurvenformverzerrungen, im allgemeinen erheblich unter den möglichen Fehlern bei Meßgleichrichtern, die nach dem Prinzip der Spitzenwertgleichrichtung arbeiten.

Möchte man weitgehend von der Kurvenform unabhängige Wechselspannungsmessungen durchführen, empfiehlt sich der Einsatz eines echten Effektivwert-Meßgleichrichters.

Dieser wahlweise zur Verfügung stehende Meßgleichrichter I setzt eine Eingangsspannung mit nahezu beliebiger Kurvenform in eine äquivalente Ausgangsgleichspannung um, die dem echten Effektivwert der Eingangsspannung entspricht.

Der Abgleich des als Pufferverstärker dienenden OP1 erfolgt in der bereits beschriebenen Weise, wobei die Bauelemente R12, R13, R17 sowie C1 ersatzlos entfallen. OP1 arbeitet dadurch als reiner Pufferverstärker zur Impedanzwandlung mit einer Verstärkung von exakt 1.

Nachdem der Nullpunkt des OP1 mit R15 sorgfältig eingestellt wurde, verbindet man den Anschlußpunkt 4 des IC2 über eine kurze Drahtbrücke mit dem Anschlußpunkt 2.

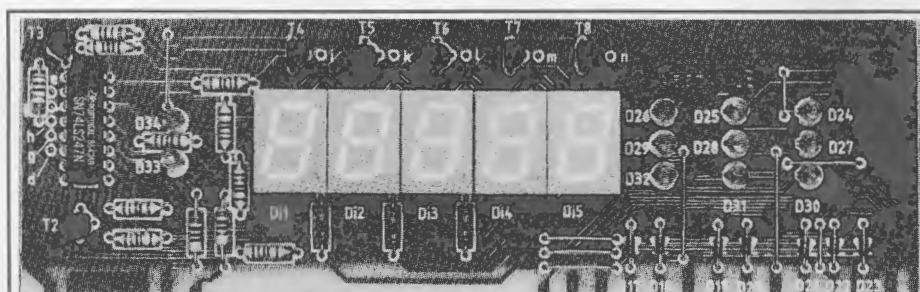
R21 ist so einzustellen, daß die Ausgangsspannung des IC2 (an Pin8) 0 V wird. Eine Restspannung von 0,3 mV ist zulässig. Nachdem die Brücke zwischen Pin2 und Pin4 am IC2 wieder entfernt wurde, kann der Skalenfaktor in ganz geringen Grenzen mit dem Spindeltrimmer R18 genau eingestellt werden.

Dies erfolgt wie bei Meßgleichrichter II in dem Wechselspannungsbereich „200 mV“, bei gleichzeitigem Anlegen einer genau bekannten Gleichspannung. Auch beim Meßgleichrichter I ist die Verarbeitung von Gleichspannungen ohne weiteres möglich.

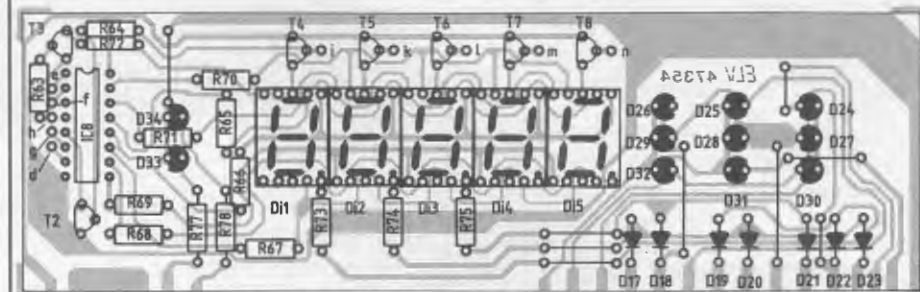
Zur genauen Messung von Gleichspannungen empfiehlt es sich jedoch grundsätzlich, die Schalterstellungen „Gleichspannung“ zu verwenden, da hier die Genauigkeit bei der Messung reiner Gleichspannungen selbstverständlich größer ist, da die Meßunsicherheit der Gleichrichter in dieser Schalterstellung nicht zum Tragen kommt.

### Widerstandsmeßbereiche

Dieser Abgleich ist ebenfalls recht einfach durchzuführen. In einem der mittleren Widerstandsmeßbereiche (z. B. 20 k $\Omega$ -Bereich) wird ein genau bekannter Meßwiderstand (0,05 % oder besser) mit einem Wert zwischen 10 k $\Omega$  und 20 k $\Omega$  an die Eingangsbuchsen gelegt. Mit dem Spindeltrimmer R60 wird die Anzeige auf



Ansicht der fertig bestückten Anzeigenplatine des 4,5-stelligen Digital-Multimeters DMM 7001 (Originalgröße: 48 mm x 155 mm)



Bestückungsseite der Anzeigenplatine des 4,5-stelligen Digital-Multimeters DMM 7001

### Stückliste: 4,5stelliges Digital-Multimeter DMM 7001

#### Widerstände

39 $\Omega$ .....	R 59
150 $\Omega$ .....	R 65-R 72
180 $\Omega$ .....	R 73-R 75
470 $\Omega$ .....	R 76-R 78
560 $\Omega$ .....	R 61
680 $\Omega$ .....	R 44
1 k $\Omega$ .....	R 37, R 62
10 k $\Omega$ .....	R 14, R 38, R 41, R 43, R 46, R 63, R 81, R 82, R 85
47 k $\Omega$ .....	R 50, R 64
100 k $\Omega$ .....	R 11, R 16, R 17, R 36, R 40, R 42, R 48, R 57, R 58, R 79, R 80, R 83, R 84
220 k $\Omega$ .....	R 47
820 k $\Omega$ .....	R 13
1 M $\Omega$ .....	R 12, R 56
20 M $\Omega$ .....	R 86
0,012 $\Omega$ , Widerstandsdraht .....	R 9
10 $\Omega$ , Spindeltrimmer .....	R 60
1 k $\Omega$ , Spindeltrimmer .....	R 10, R 45
25 k $\Omega$ , Trimmer, liegend .....	R 15, R 39
PTC .....	R 49

#### Meßwiderstände, 0,05 %

0,1 $\Omega$ .....	R 8
0,9 $\Omega$ .....	R 7
9 $\Omega$ .....	R 6
90 $\Omega$ .....	R 5, R 51
900 $\Omega$ .....	R 4, R 52
9 k $\Omega$ .....	R 3, R 53
90 k $\Omega$ .....	R 2, R 54
900 k $\Omega$ .....	R 1, R 55

#### Kondensatoren

10 pF .....	C 2
33 pF .....	C 23, C 24
1 nF .....	C 22
10 nF .....	C 20
47 nF .....	C 9, C 10, C 12, C 16-C 18, C 26, C 30
220 nF .....	C 1
470 nF .....	C 14
1 $\mu$ F .....	C 13, C 15
10 $\mu$ F/16 V .....	C 8, C 11, C 19
10 $\mu$ F/16 V .....	C 21, C 27, C 28, C 31
100 $\mu$ F/16 V .....	C 29
1000 $\mu$ F/16 V .....	C 25

#### Halbleiter

74 LS 247 .....	IC 8
TLC 271 .....	IC 1, IC 5, IC 6
LM 385 .....	D 11, D 15
CD 4011 .....	IC 9
CD 4060 .....	IC 10
ICM 7135 .....	IC 7
7805 .....	IC 11, IC 12

79 L 05 .....	IC 13
BF 245 B .....	T 1
BC 337 .....	T 4-T 8
BC 548 .....	T 2, T 9
BC 558 .....	T 3
DX 400 .....	D 5, D 6, D 9, D 10, D 13, D 14
DJ 700 A .....	Di 1-Di 5
1 N 4001 .....	D 40, D 41
1 N 4007 .....	D 1-D 4
1 N 4148 .....	D 12, D 17-D 23, D 35-D 39
LED, 3 mm, rot .....	D 16, D 24-D 34

#### Sonstiges

Sicherung 2 A .....	Si 1
Sicherung 100 mA .....	Si 2
2 Platinsicherungshalter	
1 Tastensatz	
120 cm isolierter Schaltdraht	
30 cm Silberdraht	
5 Lötstifte	
Tr 1 .....	Trafo prim.: 220 V/3 VA sek.: 9 V/330 mA

### Meßgleichrichter I

#### Widerstände

220 $\Omega$ .....	R 19
10 k $\Omega$ .....	R 22
470 k $\Omega$ .....	R 20
200 $\Omega$ , Spindeltrimmer .....	R 18
100 k $\Omega$ , Trimmer, liegend .....	R 21

#### Kondensatoren

4,7 $\mu$ F/16 V .....	C 4, C 5, C 6
10 $\mu$ F/16 V .....	C 3

#### Halbleiter

AD 636 .....	IC 2
--------------	------

### Meßgleichrichter II

#### Widerstände

10 k $\Omega$ .....	R 25
39 k $\Omega$ .....	R 31
47 k $\Omega$ .....	R 24, R 33
90 k $\Omega$ /0,5 % .....	R 23, R 27, R 28, R 29, R 30
100 k $\Omega$ .....	R 34
10 k $\Omega$ , Spindeltrimmer .....	R 32
25 k $\Omega$ , Trimmer, liegend .....	R 26, R 35

#### Kondensatoren

10 $\mu$ F/16 V .....	C 7
-----------------------	-----

#### Halbleiter

TLC 271 .....	IC 3, IC 4
DX 400 .....	D 7, D 8



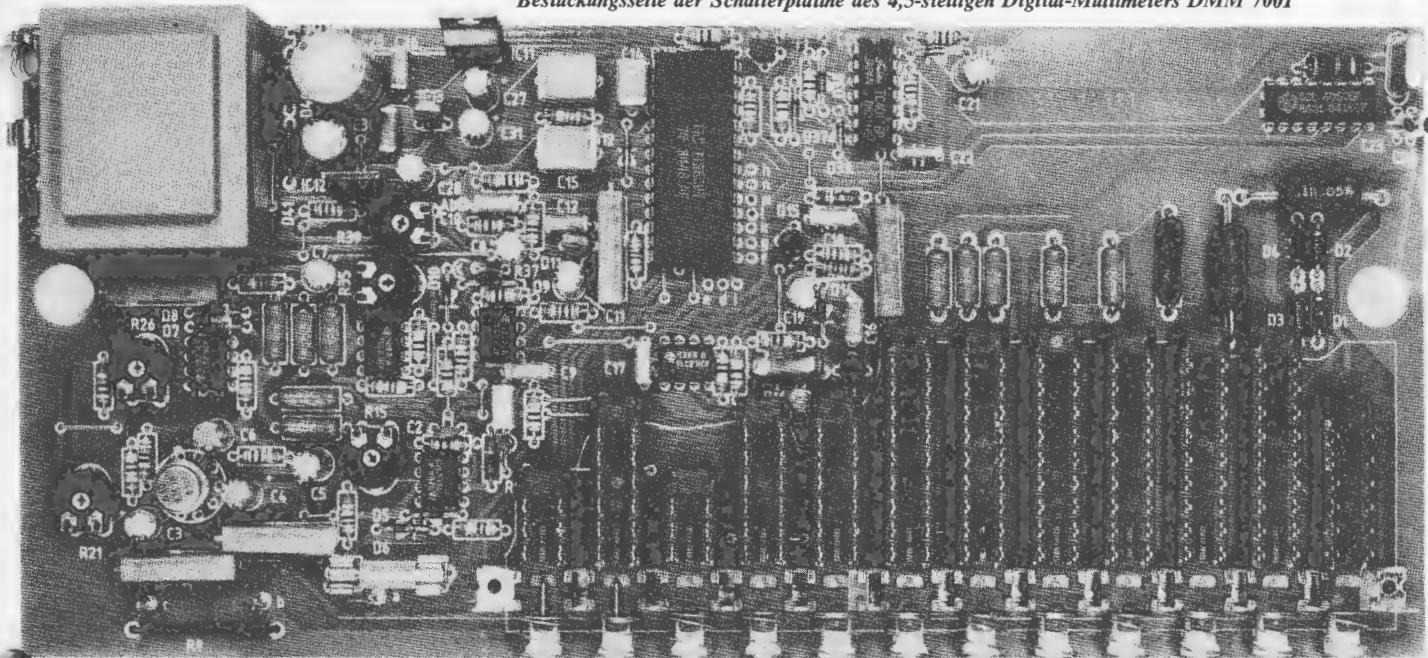
den entsprechenden Wert eingestellt. Steht kein genauer Referenzwiderstand zur Verfügung, kann auch die interne Eingangsteilerkette hierfür herangezogen werden. Der Verbindungspunkt der Widerstände R2 und R3 wird über eine möglichst kurze Zuleitung mit der Eingangsklemme „a“ verbunden. Da die Reihenschaltung der Widerstände R3 bis R8 genau 10,0 k $\Omega$  ergibt, bei einer maximalen Toleranz von 0,05 %, muß jetzt dieser Wert auf der Digitalanzeige eingestellt werden (10,000 k $\Omega$ ). Die Abweichung sollte  $\pm 2$  Digit nicht überschreiten. Unter Berücksichtigung von Alterung und Drift der gesamten Anordnung liegt die Genauigkeit über alle  $\Omega$ -Meßbereiche bei typ. 0,05 %. Ein Abgleich der übrigen Widerstandsmeßbereiche ist nicht erforderlich. Nachdem die Verbindung von R2/R3 mit der Eingangsbuchse „a“ wieder entfernt wurde, kann das Gehäuse ordnungsgemäß zusammengebaut und verschraubt werden. Einem Einsatz des Gerätes steht nun nichts mehr im Wege.



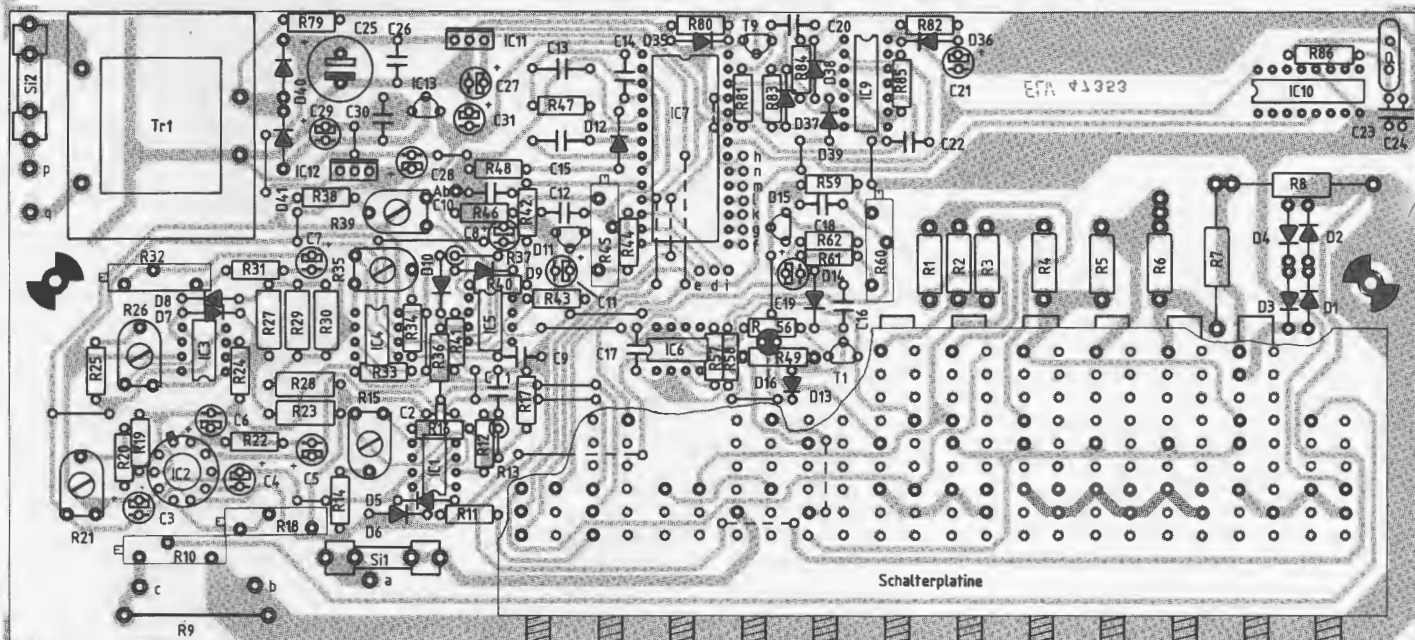
Ansicht der fertig bestückten Schalterplatine des 4,5-stelligen Digital-Multimeters DMM 7001 (Originalgröße: 50 mm x 155 mm)



Bestückungsseite der Schalterplatine des 4,5-stelligen Digital-Multimeters DMM 7001



Ansicht der fertig bestückten Basisplatine des 4,5-stelligen Digital-Multimeters DMM 7001 (Originalgröße: 110 mm x 245 mm)



Bestückungsseite der Basisplatine des 4,5-stelligen Digital-Multimeters DMM 7001