

# 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
- quartzesteuert 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



Ansicht des 4,5stelligen Digital-Multimeters

## 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 (S1 bis S12) werden je nach Meßart und Meßbereich entsprechende Funktionen sowie die benötigten Meßwiderstände eingeschaltet. R1 bis R9 stellen hierbei den Eingangsspannungsteiler für die Spannungs- und Strommeßbereiche dar, während R51 bis R55 die unterschiedlichen Ströme für die Widerstandsmeßbereiche festlegen.

Mit den links im Schaltbild zu sehenden Umschaltern S7e bis S11e werden die Spannungs- und mit S6d bis S11d sowie S12c 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 Si1 und dann über S4d, S3a (betätigt, also entgegengesetzte Schaltposition), einen der Schalter S7e bis S11e sowie anschließend über S5d und S2d auf R36, der den Vorwiderstand zum Meßverstärkereingang darstellt.

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

Gleichzeitig liegt das Meßsignal über R11 am Eingang des Wechselspannungs-Meßverstärkers an (OP1 mit Zusatzbeschaltung), dessen Ausgang entweder den Meßgleichrichter I (aufgebaut mit IC2 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 S2d (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 (R3 bis R9). Auf die Meßgleichrichter selbst gehen wir im weiteren Verlauf dieses Artikels noch näher ein.

Bei den Strommessungen (S4 betätigt, also gilt die entgegengesetzte Schaltposition) gelangt der Meßstrom zunächst ebenfalls über die Sicherung Si1 und anschließend über S4d, je nach eingeschaltetem Strombereich über einen der

Schalter S6d bis S11d, um anschließend über die Meßwiderstände R3 bis R8 und die Massebuchse „b“ das Meßgerät wieder zu verlassen. Der gemessene Spannungsabfall wird an R3 abgegriffen und über S4b den Meßverstärkereingängen zugeführt (über R11 bzw. R36).

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 S12c wird der Spannungsabfall an diesem Widerstand weitergeleitet.

Die Widerstandsmessungen (S5 betätigt, also entgegengesetzte Schaltposition) erfolgen mit Hilfe von Konstantströmen, die über S5a sowie Si1 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 S7b bis S11b umgeschaltet. In Verbindung mit OP5 und T1 sowie der entsprechenden Zusatzbeschaltung ist eine elektronische Präzisions-Konstantstromquelle aufgebaut, die aus einer Referenzspannung einen hochpräzisen Konstantstrom generiert. Die entsprechende Referenzspannung wird aus D15 in Verbindung mit R59 bis R62 erzeugt und über R58 dem invertierenden (-) Eingang (Pin 2) des OP5 zugeführt. Die an den Referenzwiderständen R51 bis R55 abfallende Vergleichsspannung wird dem zweiten (+) Eingang (Pin 3) des OP5 über R57 zugeführt. Am Source-Anschluß des FET's T1 steht dann der Konstantstrom zur Verfügung.

D13, D14 dienen in Verbindung mit dem PTC-Widerstand R49 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 ± 2000 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 quarzgesteuerten 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 Netzsynchrosynchronisation. 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> ~
	2 V	100 μV	± (0,05 % v. Meßwert + 2 Digit)	1200 V =/1200 V <sub>ss</sub> ~
	20 V	1 mV	± (0,05 % v. Meßwert + 2 Digit)	1200 V =/1200 V <sub>ss</sub> ~
	200 V	10 mV	± (0,05 % v. Meßwert + 2 Digit)	1200 V =/1200 V <sub>ss</sub> ~
	1000 V	100 mV	± (0,05 % v. Meßwert + 2 Digit)	1200 V =/1200 V <sub>ss</sub> ~
Wechselspannung	200 mV	10 μV	± (0,3 % v. Meßwert + 0,3 mV)	300 V =/ 750 V <sub>ss</sub> ~
	2 V	100 μV	± (0,3 % v. Meßwert + 3 mV)	1200 V =/1200 V <sub>ss</sub> ~
	20 V	1 mV	± (0,3 % v. Meßwert + 30 mV)	1200 V =/1200 V <sub>ss</sub> ~
	200 V	10 mV	± (0,3 % v. Meßwert + 0,3 V)	1200 V =/1200 V <sub>ss</sub> ~
Frequenzbereich: DC + 10 Hz bis 10 kHz	400 V	100 mV	± (0,3 % v. Meßwert + 3 V)	1200 V =/1200 V <sub>ss</sub> ~
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		
2000 mA	100 μA			
Frequenzbereich: DC + 10 Hz bis 10 kHz	20 A	1 mA	± (0,1 % v. Meßwert + 2 Digit) für DC ± (0,3 % v. Meßwert + 0,03 A) für AC	entfällt
Widerstand	200 Ω	10 mΩ	± (0,05 % v. Meßwert + 0,05 Ω)	300 V =/750 V <sub>ss</sub> ~
	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 Netzwechsellspannung 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 phasenstarke 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 Meßbereichsumschaltkontakten gekoppelt sind. Die genaue Verschaltung ist im rechten Schaltbildabschnitt zu sehen.

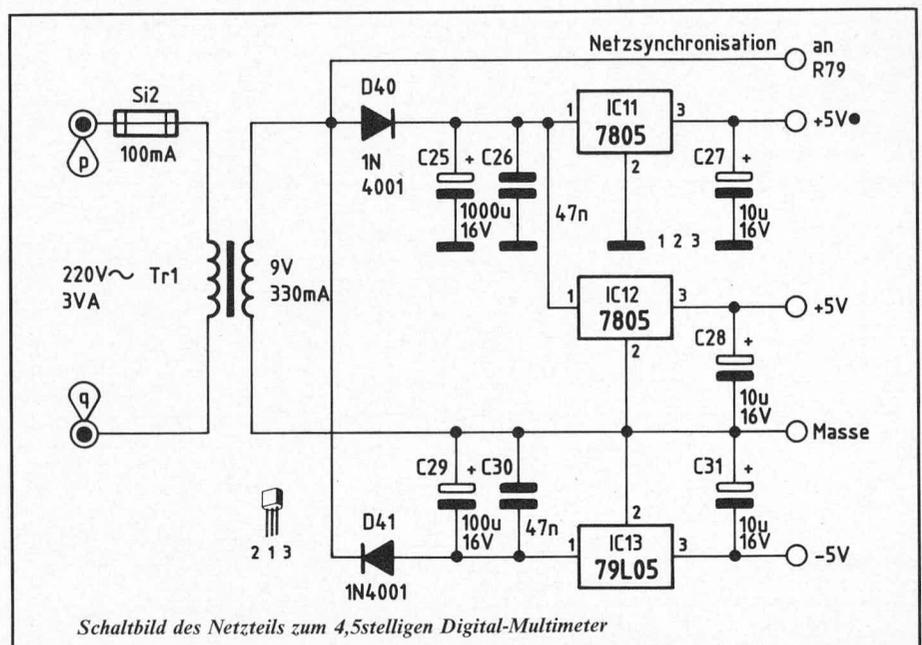
### Die Stromversorgung

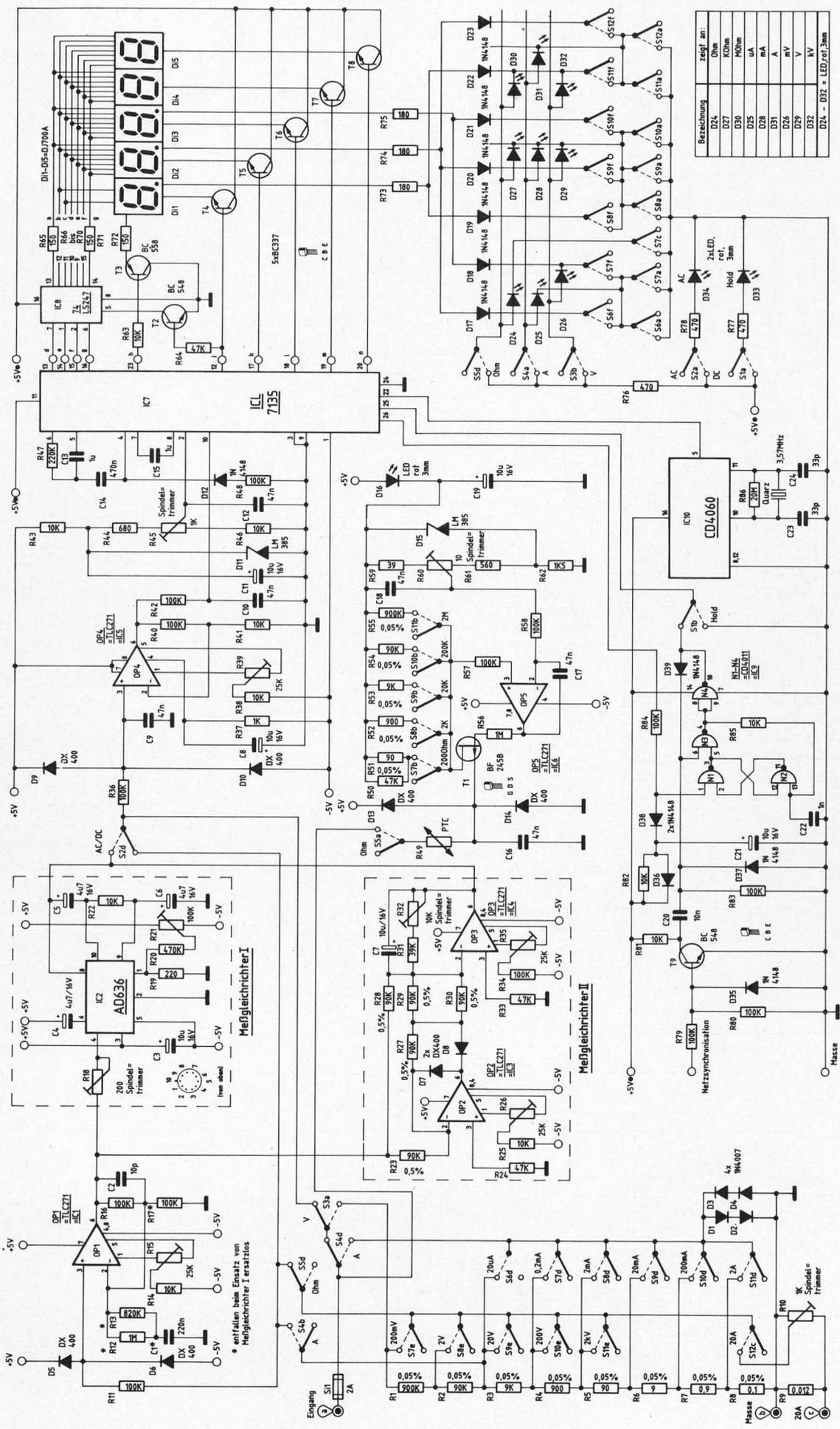
Zur Speisung der gesamten Schaltung genügt ein kleiner Printtrafo mit einer Leistung von 3 VA (Tr 1). Seine 9 V Wicklung liefert einen maximalen Strom von 330 mA, der für unseren Anwendungsfall mehr als ausreichend ist. Über eine doppelte Einweggleichrichtung mit anschließender Siebung (D 40, C 25 sowie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





Bezeichnung	zeigt an:
D24	Ohm
D27	KOhm
D30	MOhm
D25	uA
D28	mA
D31	A
D26	mV
D29	V
D32	kV

Schaltbild des 4,5stelligen Digital-Multimeters DMM 7001