

Digitales Induktivitätsmeßgerät DIM 7000



Mit dem hier vorgestellten, im ELV-Labor entwickelten, Digitalen Induktivitätsmeßgerät können in 4 Meßbereichen Induktivitäten von wenigen μH bis hin zu 2H gemessen werden und das bei einer Auflösung von $1\mu\text{H}$ im kleinsten Bereich.

Damit auch der Widerstandsanteil von Spulen und Drosseln zu ermitteln ist, stehen darüber hinaus 3 Widerstandsmeßbereiche bis max. $2\text{k}\Omega$ bei einer Auflösung von $10\text{m}\Omega$ im kleinsten Bereich zur Verfügung.

Ebenso wie bei der besonders erfolgreichen Entwicklung des Digitalen Kapazitätsmeßgerätes DCM 7000, das wir in unserer vorangegangenen Ausgabe ELV journal Nr. 23 vorstellten, wurden auch bei der Konstruktion des Digitalen Induktivitätsmeßgerätes DIM 7000 vom ELV-Ingenieur-Team neue Wege beschritten. Wir können daher ein Gerät vorstellen, daß sich durch besonders einfache Bedienung bei einem Höchstmaß an Meßkomfort auszeichnet.

Digitales Induktivitätsmeßgerät oder Hochspannungsnetzteil? Das war die Frage, die wir Ihnen, verehrte Leser in unserer vorangegangenen Ausgabe stellten. Ihre Entscheidung war eindeutig, so daß wir Ihrem Wunsch entsprechend, Ihnen heute ein Digitales Induktivitätsmeßgerät, das sich durch eine besonders ausgefeilte schaltungstechnische Konstruktion auf angenehmste Weise bedienen läßt.

Zum einen können mit dem DIM 7000 Induktivitäten und zum anderen auch Widerstände gemessen werden, damit der teilweise nicht unerhebliche Ohmsche Anteil einer Spule bzw. Drossel ermittelt werden kann.

Bedienung

Wie bereits vorstehend erwähnt, ist das Arbeiten mit dem DIM 7000, d. h., die Bedienung sehr einfach.

Auf der Frontplatte befinden sich 2 Drehschalter. Mit dem linken Drehschalter werden die 3 Ohmbereiche (20Ω , 200Ω und

$2\text{k}\Omega$) umgeschaltet. Befindet sich dieser Schalter in seiner 4. Position, können Induktivitätsmessungen durchgeführt werden, wobei dann der entsprechende Bereich (2mH , 20mH , 200mH bzw. 2H) mit dem rechten Drehschalter gewählt wird.

Die zu messende Induktivität, die in den meisten Fällen auch einen entsprechenden Widerstandsanteil beinhaltet, wird an die beiden vorne an der Frontplatte angeordneten Eingangsbuchsen angeschlossen.

Für Induktivitätsmessungen wird der linke Drehschalter in die Position „L“ gebracht und mit dem rechten Drehschalter kann der geeignete Meßbereich eingestellt werden, wobei dann der Meßwert auf dem $3\frac{1}{2}$ stelligen Anzeigendisplay erscheint.

Möchte man den Widerstandsanteil des Prüflings ermitteln, ist lediglich der linke Drehschalter auf den gewünschten Ohmbereich einzustellen. Die Stellung des rechten Drehschalters spielt hierbei keine Rolle.

Vollständigkeitshalber wollen wir noch erwähnen, daß auch ganz normale Widerstände für entsprechende Ohmmessungen an die Eingangsklemmen des DIM angeschlossen werden können.

Auf eine außergewöhnliche Besonderheit des DIM 7000 wollen wir an dieser Stelle noch hinweisen:

Obwohl die meisten Induktivitäten einen nennenswerten Widerstandsanteil besitzen, der ersatzschaltbildmäßig zur reinen Induktivität in Reihe geschaltet zu sehen ist, wird nicht, wie man vielleicht vermuten könnte, der Scheinwiderstand des Prüflings gemessen, sondern tatsächlich die reine Induktivität ohne Berücksichtigung des ohmschen Anteiles. Dies ist durch eine im ELV-Labor entwickelte, schaltungstechnische Besonderheit möglich geworden, auf die wir bei der anschließenden Beschreibung des Blockschaltbildes noch näher eingehen werden.

Funktionsbeschreibung

Anhand des Blockschaltbildes ist die prinzipielle Funktionsweise des DIM 7000 zu erkennen.

Ein besonders klirrarmer und stabil arbeitender Wien-Robinson-Generator erzeugt eine in 4 Stufen (50 Hz, 500 Hz, 5 kHz und 50 kHz) umschaltbare rein sinusförmige Wechselspannung hoher Ausgangskonstanz.

Über den Vorwiderstand R_V wird aus dieser im Verhältnis zur eigentlichen Meßspannung sehr hohen Wechselspannung ein konstanter Wechselstrom in den Prüfling eingepreßt, sofern der linke Drehschalter sich in Stellung „L“ befindet.

An dem Prüfling (Induktivität) fällt nun eine verhältnismäßig kleine Wechselspannung ab, die in ihrer Größe von der eingestellten Frequenz (mit dem rechten Meßbereichsdrehschalter), dem mittels R eingepreßten Strom sowie der Induktivität abhängig ist.

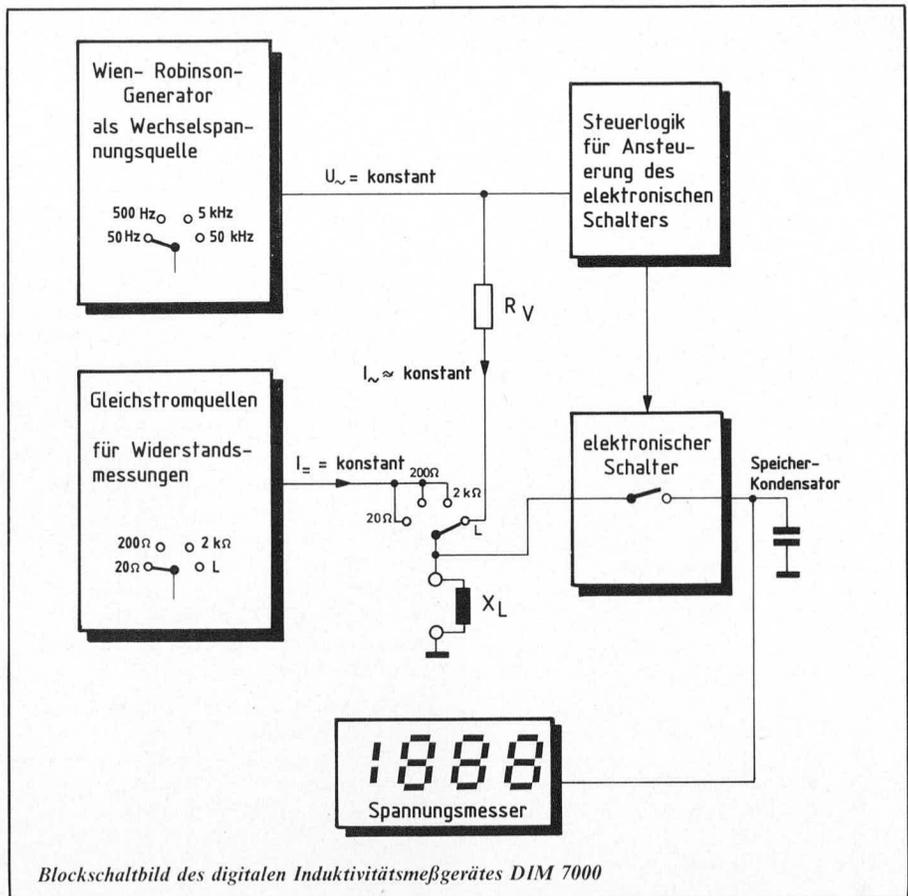
Aufgrund der physikalischen Gesetzmäßigkeiten ist die an der reinen Induktivität des Prüflings ohne Berücksichtigung des ohmschen Anteils abfallende Spannung um 90° phasenverschoben, gegenüber der aus dem Wien-Robinson-Generator entnommenen Wechselspannung.

Ein elektronischer Schalter wird nun von einer Steuerlogik derart betätigt, daß er immer in dem Moment schaltet, indem er durch den angeschlossenen Prüfling fließende Strom gleich Null wird. Die Spannung an der Induktivität ist in diesem Moment jedoch aufgrund der physikalischen Gesetzmäßigkeiten keineswegs gleich Null, und der momentane Spannungswert bei dem Strom $I = 0$ wird über den geschlossenen elektronischen Schalter auf den Speicherkondensator übertragen. Ein daran anschließender digitaler Spannungsmesser läßt diesen Wert auf der Anzeige erscheinen. Der Skalenfaktor wird so eingestellt, daß der angezeigte Wert ohne weitere Umrechnung direkt dem Induktivitätswert des angeschlossenen Prüflings entspricht.

Aufgrund der Tatsache, daß der elektronische Schalter immer dann für einen kurzen, jedoch ausreichenden Moment geschlossen wird, wenn der durch den Prüfling fließende Strom gleich Null ist, kann selbstverständlich an dem Widerstandsanteil des Prüflings keine Spannung abfallen, die durch diese schaltungstechnische Besonderheit unberücksichtigt bleibt und der reine Induktivitätswert angezeigt wird.

Die zur Ansteuerung des elektronischen Schalters erforderlichen Impulse werden mittels einer Steuerlogik erzeugt, die ihre Informationen wiederum aus der Phasenlage des Wien-Robinson-Generators bezieht.

Für Widerstandsmessungen wird durch den Prüfling ein reiner Gleichstrom geschickt, der jetzt lediglich an dem Widerstandsanteil des Prüflings einen Spannungsabfall hervorruft, der über den elektronischen Schalter auf den Speicherkondensator übernommen und von dem Spannungsmesser in Ω angezeigt wird. Die Schaltfolge des elektronischen Schalters, der auch in den Ohmbereichen arbeitet, spielt hierbei überhaupt



Blockschaltbild des digitalen Induktivitätsmeßgerätes DIM 7000

keine Rolle, da durch den Prüfling, wie bereits erwähnt, ein reiner Gleichstrom fließt und die an dem Prüfling abfallende Gleichspannung ebenfalls konstant ist.

Zur Schaltung

Der Wien-Robinson-Generator, der zur Erzeugung der Sinus-Schwingungen dient, ist mit einem Operationsverstärker (OP1) mit Zusatzbeschaltung aufgebaut. Dieser OP befindet sich zusammen mit 3 weiteren Operationsverstärkern in einem IC des Typs XS004 A. Der Einsatz dieser besonders hochwertigen Operationsverstärker ist erforderlich, da zum einen ein besonders geringer Klirrfaktor erzielt werden muß, damit die Induktivitätsmessungen nicht durch Oberwellen verfälscht werden und zum anderen die Offsetspannungswerte und die Driftneigungen extrem gering sein müssen. Dies gilt besonders für den OP4. Zu all diesen Eigenschaften kommt noch die Forderung nach einem hohen Eingangswiderstand hinzu. Vorgenannte Anforderungen sind jedoch nur durch extreme Selektion bei schärfsten Testvorgängen zu erzielen, die bei dem IC des Typs XS 004 A in nahezu vollkommener Weise erfüllt werden. Grundsätzlich könnte allerdings auch ein IC des etwas bekannteren Typs LM 124 Verwendung finden, das auch verhältnismäßig niedrige Offsetspannungswerte besitzt, aber in den höherfrequenten kleineren Meßbereichen zu keinen brauchbaren Ergebnissen mehr führt.

An dieser Stelle wollen wir die Betrachtungen des IC's XS 004 A abschließen und die Schaltungsbeschreibung fortsetzen.

Die frequenzbestimmenden Glieder des Wien-Robinson-Generators sind zum einen die Kondensatoren C1 bis C8, in Verbin-

dung mit dem Widerstand R1 sowie die Kondensatoren C9 bis C16 in Verbindung mit dem Parallelwiderstand R2. Die 2. Brückenhälfte wird mit den Widerständen R3 und R4 in Zusammenhang mit dem FET des Typs BF245 C (T1) aufgebaut. Dieser Transistor wird über eine Linearisierungsschaltung, bestehend aus C17 sowie R5 und R6 von einer phasenkompensierten Gleichrichterschaltung, bestehend aus R7 bis R9 sowie C18 bis C20 und den beiden Dioden D1 und D2 realisiert. Am Ausgang des OP1 (Pin 14) steht ein sinusförmiges Signal zur Verfügung, das je nach Schalterstellung von S1 die Frequenzen 50 Hz, 500 Hz, 5 kHz und 50 kHz aufweisen kann.

Über R10 gelangt das Signal auf den OP2, der lediglich zur Auskoppelung dient, und wird daran anschließend auf die Steuerelektronik gegeben, die zur Ansteuerung des als Schalter arbeitenden FET's T2 dient. Die Steuerelektronik besteht aus den IC's 2 und 3 mit Zusatzbeschaltung, die den Schalter (T2) immer gerade in dem Moment ansteuern (schließen) wenn die am Prüfling (zu messende Induktivität) anstehende Spannung dem Wert entspricht, der zu der entsprechend anliegenden Induktivität gehört, unter weitgehendem Ausschluß des ohmschen Anteils des Prüflings.

Darüber hinaus versorgt der Wien-Robinson-Generator über R20 den Eingang des OP3, dessen Ausgang mit Hilfe des Vorwiderstandes R23 einen rein sinusförmigen Wechselstrom mit den vom Generator kommenden Frequenzen in die zu messende Induktivität einprägt. Zwischen dem Platinenprüfpunkt A (Pin 8 des IC1) und dem Masseanschluß (linke Eingangsbuchse auf der Frontplatte) ist mittels R22 eine Spannung von $5,35 V_{\text{eff}}$ einzustellen.

Befindet sich der Schalter S 2 in Stellung „4“ (L-Messung), so fließt durch den angeschlossenen Prüfling (X_L) ein Strom von ca. 1,6 mA_{eff}, der einen entsprechenden Spannungsabfall je nach eingestelltem Frequenzbereich und Größe der zu messenden Induktivität hervorruft.

Dieser Spannungsabfall wird über R 24 auf den nichtinvertierenden (+) Eingang des OP4 gegeben, der als Verstärker 1:1 mit dem Rückkoppelwiderstand R 25 geschaltet ist. Dieser OP ist zur Entkoppelung außerordentlich wichtig, darf jedoch keine nennenswerte Eingangsoffsetspannung besitzen. Darüber hinaus müssen auch hier Drift- und Klirrfaktor besonders gering und der Eingangswiderstand selbstverständlich besonders hoch sein, wobei selbst bei Eingangsfrequenzen von 50 kHz und Eingangsspannungen von wenigen mV keine meßbaren Phasenverschiebungen auftreten dürfen. Besonders durch diesen OP 4, der ebenfalls in dem IC des Typs XS 004 A integriert ist, wurde der Einsatz eines speziell für diese Anforderungen selektierten IC's erforderlich.

Am Ausgang des OP 4 (Pin 7) steht nun das gepufferte Meßsignal an, das zu den bestimmten von der Steuerelektronik festgelegten Zeitpunkten über T 2 auf den Speicherkondensator C 29 und von dort auf den Meßeingang des IC 8 gegeben wird. Da sich am Source-Anschluß von T 2, bedingt durch die Schaltzeitpunkte eine Gleichspannung befindet, kann diese direkt von dem Gleichspannungsmesser, der mit dem IC 8 mit Zusatzbeschaltung aufgebaut wurde, gemessen werden. Da dieser Baustein hinreichend bekannt sein dürfte, soll auf eine nähere Beschreibung an dieser Stelle verzichtet werden.

Für die Widerstandsmessungen ist mit Hilfe des IC 4 in Verbindung mit dem Transistor T 3 und dessen Zusatzbeschaltung eine Stromquelle aufgebaut, die über die Schalterebene S 2b in drei Bereichen geschaltet werden kann (50 mA, 5 mA und 0,5 mA). Die Einstellung des Konstantstromes erfolgt mit Hilfe des Spindeltrimmers R 37.

Die Stromversorgung des DIM 7000 erfolgt mit Hilfe des Netztransformators Tr 1 in Verbindung mit den Gleichrichterdiolen D 20 bis D 25 und den Festspannungsreglern IC 5 bis IC 7 sowie den entsprechenden Lade- und Filterkondensatoren.

Zum Nachbau

Der Nachbau des Digitalen-Induktivitätsmeßgerätes DIM 7000 gestaltet sich weitgehend problemlos, da sämtliche Bauelemente bis auf den Netzschalter auf den beiden Leiterplatten Platz finden. Von zusätzlicher Verdrahtung kann nicht mehr die Rede sein.

Bevor allerdings mit der Bestückung der Platine begonnen werden kann, sind diese in das Gehäuse einzupassen.

Ist ein Probeeinbau der Platinen zur Zufriedenheit verlaufen (Platinen sind noch nicht miteinander verlötet), kann mit der Bestückungsarbeit begonnen werden.

Zunächst werden die Brücken, dann die Widerstände, Kondensatoren, Dioden usw. in gewohnter Weise eingelötet.

Ist die Bestückung nach dem Einsetzen der

IC's vollendet, wird die Anzeigenplatine senkrecht an die Basisplatine gelötet und zwar so, daß sie ca. 3 mm unter ihr hervorragt.

Sind alle Kupferflächen der senkrecht aufeinanderliegenden Platinen miteinander verlötet, kann der Einbau ins Gehäuse vorgenommen werden.

Der Schutzleiter des Netzkabels ist sowohl mit der Schaltung (Massepunkt) als auch mit dem Befestigungshals des Netzschalters zu verbinden. Die VDE-Bestimmungen sind zu beachten.

Inbetriebnahme und Abgleich

Nachdem die Bestückung der Platinen noch einmal sorgfältig kontrolliert wurde, kann das Gerät in Betrieb genommen werden. Zum Abgleich des Gerätes ist zum einen ein möglichst genaues Gleich- und Wechselspannungsmessgerät mit einem Eingangswiderstand von mindestens 1 M Ω , als auch ein Frequenzzähler erforderlich, wobei ein Oszilloskop ebenfalls gute Dienste leisten kann.

Zuerst ist mit Hilfe des Gleichspannungsmessers die Referenzspannung des eingebauten digitalen Voltmeters mit dem Spindeltrimmer R 29 auf exakt 500 mV einzustellen. Gemessen wird diese Spannung zwischen den Platinentestpunkten „B“ und „C“.

Als nächstes ist der Wien-Robinson-Generator in Betrieb zu nehmen. Sollte er nicht einwandfrei Sinusschwingungen erzeugen, kann evtl. der Widerstand R 3 um max. 2 k Ω erhöht (Reihenschaltung eines Widerstandes bis max. 2 k Ω), bzw. falls erforderlich verkleinert werden (durch Parallelschaltung von 270 k Ω bis 2,7 M Ω). Der genaue Wert ist, falls überhaupt erforderlich, auszuprobieren.

Da die Frequenz des Wien-Robinson-Generators direkt in die Genauigkeit des Meßergebnisses eingeht, sind die mit dem rechten Drehschalter umschaltbaren 4 Frequenzen, mit denen die Meßbereiche gewechselt werden, möglichst genau auf die angegebenen Werte einzustellen.

Im kleinsten Meßbereich sollte die Oszillator-Frequenz des Wien-Robinson-Generators 50 kHz betragen, im 20 mH-Bereich 5 kHz, im 200 mH-Bereich 500 Hz und im 2 H-Bereich 50 Hz.

Die hierfür erforderlichen Arbeiten erfordern ein wenig Geduld, da die Frequenzen nicht mit einem Potentiometer, sondern mit Festkondensatoren einzustellen sind, wobei jeweils immer 2 Kondensatorpaare, die zu einem Frequenzbereich gehören, den gleichen Wert aufweisen müssen.

Im kleinsten Meßbereich (2 mH) beträgt die Meßfrequenz 50 kHz.

Durch Parallelschaltung der beiden Kondensatoren C 7 (ca. 220 pF) und C 8 (ca. 68 pF) deren Summe ca. 300 pF betragen muß sowie der beiden Kondensatoren C 15 (68 pF) und C 16 (220 pF) ist die Frequenz auf diesen Wert (50 kHz) festzulegen. An dieser Stelle sei nochmals darauf hingewiesen, daß die Kapazitätssumme sowohl von C 7 und C 8, als auch von C 15 und C 16 ca. 300 pF betragen muß und außerdem beide

Summen gleich sein müssen, d. h. C 7 und C 8 = C 15 und C 16 ~ 300 pF (für 50 kHz). Ist die Frequenz zu hoch, sind die Kapazitätswerte zu niedrig und müssen daher erhöht werden, während bei zu geringer Frequenz die Kapazitätswerte zu verkleinern sind.

Im 20 mH-Bereich muß die Oszillator-Frequenz des Wien-Robinson-Generators 5 kHz betragen, im 200 mH-Bereich 500 Hz und im 2 H-Bereich 50 Hz.

Stimmen die Frequenzen gut mit den angegebenen Werten überein (Abweichungen möglichst unter 1%), kann mit Hilfe eines Wechselspannungsmessers die Spannungshöhe des an Pin 8 des IC 1 anstehenden Wechselspannungswertes gemessen und mit R 22 eingestellt werden.

Da die meisten gebräuchlichen Wechselspannungsmesser ihre beste Genauigkeit bei 50 Hz Sinuswechselspannung aufweisen, stellt man die Ausgangswechselspannung mit R 22 am besten bei eingeschaltetem 2 H-Meßbereich ein, indem der Oszillator mit diesen 50 Hz schwingt. Mit R 22 ist die zwischen Pin 8 (Platinentestpunkt „A“) und Masse (linke Eingangsbuchse auf der Frontplatte) einzustellende Spannung dann auf 5,35 V_{eff} einzustellen. Mit Hilfe eines Oszilloskopes könnte man auch den Spitzenwert einstellen, der in diesem Falle 7,56 V beträgt, d. h. von der oberen Spitze zur unteren 7,56 V x 2 = 15,12 V. Dies entspricht einem Effektivwert, wie bereits erwähnt, von 5,35 V.

Die Spannungen in den anderen Frequenzbereichen liegen durch die eingebaute elektronische Stabilisierung des Wien-Robinson-Generators bei dem gleichen Wert.

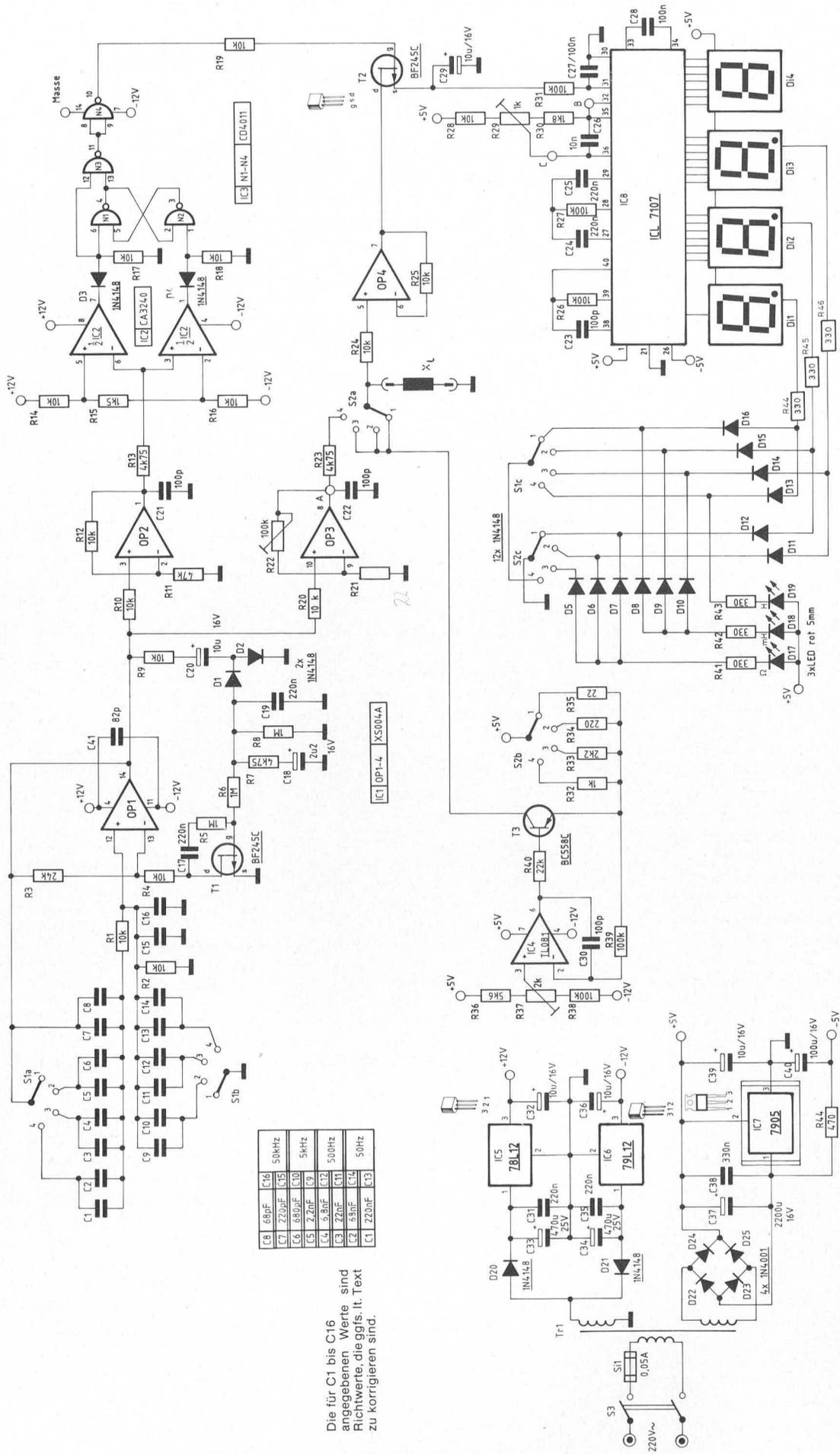
Der Abgleich für die Induktivitätsmessungen ist damit beendet.

Für die Widerstandsmessungen ist lediglich ein einziger Trimmer einzustellen. Zweckmäßigerweise schaltet man hierzu den linken Drehschalter in die Stellung 200 Ω , schließt die Eingangsbuchsen des DIM 7000 über ein möglichst genaues Strommeßgerät kurz und stellt mit dem Trimmer R 37 einen Strom von 5 mA ein.

Zu Kontrollzwecken kann im 20 Ω -Bereich ein Strom von 50 mA und im 2 k Ω -Bereich ein Strom von 0,5 mA gemessen werden. Bei Abweichungen von mehr als 1% liegt entweder ein Fehler vor, oder aber die Widerstände R 33 bis R 35 sind geringfügig zu verändern (entweder durch Reihenschaltung eines sehr kleinen Widerstandes, der eine Stromreduzierung herbeiführt, oder durch Parallelschaltung eines sehr großen Widerstandes, der eine Stromerhöhung zur Folge hat). R 32 besitzt eine bei „L“-Messungen günstige, stabilisierende Wirkung auf das IC 4 und hat bezüglich der Genauigkeit keinerlei Einfluß. Damit ist auch der Abgleich der Ohmmessbereiche vollzogen und das DIM 7000 ist einsatzbereit.

Meßgenauigkeit

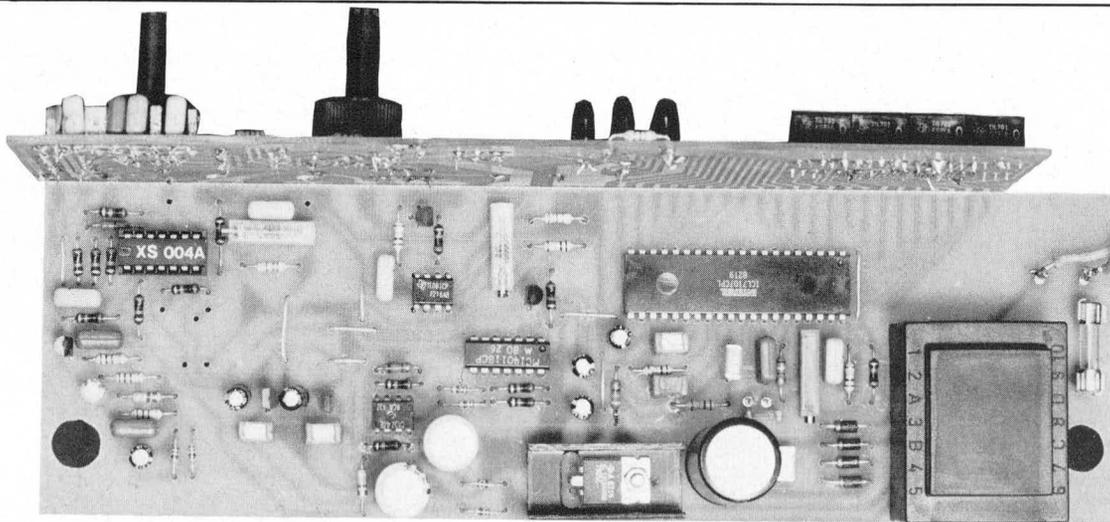
Durch eine ausgereifte Schaltungstechnik sowie durch Einsatz von hochwertigen Bauelementen besitzt das DIM 7000 eine Grundgenauigkeit von ca. 1%. Wir weisen an dieser Stelle jedoch ausdrücklich darauf hin, daß bei Messungen an Induktivitäten



C8	68pF	C16	50nHz
C7	220pF	C15	5kHz
C6	680pF	C10	5kHz
C5	2.2nF	C9	500Hz
C4	5.9nF	C7	500Hz
C3	22nF	C11	50Hz
C2	55nF	C14	50Hz
C1	220nF	C13	

Die für C1 bis C16 angegebenen Werte sind Richtwerte, die ggfs. lt. Text zu korrigieren sind.

Schaltbild des digitalen Induktivitätsmeßgerätes DIM 7000



Ansicht der bestückten und zusammengesetzten Platinen des digitalen Induktivitätsmeßgerätes DIM 7000 vor dem Einbau ins Gehäuse

durch die vielfältigsten Umstände und Erscheinungen, deren ausführliche Erläuterung den Rahmen dieses Artikels bei weitem sprengen würden, die Meßfehler z. T. ganz erheblich größer werden können.

Beschränkt man sich auf die Messung von reinen Induktivitäten ohne Eisenanteil, die zudem noch eine hohe Güte aufweisen, ist mit einer Genauigkeit von wenigen Prozenten zu rechnen.

Kommen hingegen sehr große Widerstandsanteile zur reinen Induktivität beim Prüfling hinzu, so kann die Steuerelektronik den hierfür erforderlichen exakten Meßzeitpunkt, der teilweise bis auf wenige μ -Sekunden genau festgelegt werden muß, nur noch bedingt genau realisieren und dem elektronischen Schalter zuführen. Hier können die Abweichungen dann schon in der Größenordnung von 5–10% liegen.

Noch ungenauer werden die Messungen, wenn es sich um Prüfbjekte handelt, die einen Ferrit- bzw. Eisenkern besitzen. Solange die Eisenverluste nicht extrem hoch sind und der Kern nicht in Sättigung fährt, können auch hier Genauigkeiten von wenigen Prozenten erzielt werden. In dem Moment, wo aber Sättigungserscheinungen des Kernmaterials auftreten (bei Drosseln für extrem kleine Spannungen), werden die Meßfehler schlagartig größer. Induktivitätsbauelemente, die nur für max. Spannungen von wenigen 100 mV ausgelegt sind, können auf diese Weise zu vollkommen falschen Meßwerten führen.

Da die verwendeten Meßspannungen im DIM 7000 jedoch max. $0,8 V_{\text{eff}}$ betragen, kann in aller Regel davon ausgegangen werden, daß für die meisten gebräuchlichen Induktivitäten sowohl die Spannungen als auch die eingesetzten Frequenzen günstig sind und eine gute Anzeigegenauigkeit erreicht werden kann.

Abschließend wollen wir noch darauf hinweisen, daß sich die Induktivitäten auch mit den verschiedenen Meßfrequenzen ändern können, so daß eine Induktivität von 1 mH gemessen im 2 mH-Bereich, sich im 20 mH-Bereich durchaus um 10% und mehr verändern kann. Dies ist ebenfalls physikalisch bedingt und muß keineswegs ein Meßfehler des DIM 7000 sein.

Stückliste:

Digitales Induktivitätsmeßgerät DIM 7000

Halbleiter

IC1	XS 004 A
IC2	CA 3240
IC3	CD 4011
IC4	TL 081
IC5	78 L 12
IC6	79 L 12
IC7	7905
IC8	ICL 7107
T1, T2	BF 245 C
T3	BC 558 C
Di1–Di4	TIL 701
D1–D16, D20, D21	1 N 4148
D17–D19	LED rot 5 mm
D22–D25	1 N 4001

Kondensatoren

C1, C13	220 nF
C2, C14	68 nF
C3, C11	22 nF
C4, C12	6,8 nF
C5, C9	2,2 nF
C6, C10	680 pF
C7, C15	220 pF
C8, C16	68 pF
C17	220 nF
C18	2,2 μ F/16 Volt
C19	220 nF
C20	10 μ F/16 V
C21, C22, C23	100 pF
C24, C25	220 nF
C26	10 nF
C27	100 nF
C28	100 nF
C29	10 μ F/16 V
C30	100 pF
C31, C35	220 nF
C32, C36	10 μ F/16 V
C33, C34	470 μ F/25 V
C37	2200 μ F/16 V
C38	330 nF
C39	10 μ F/16 V
C40	100 μ F/16 V

Widerstände

R1, R2, R4	100 k Ω
R3	24 k Ω

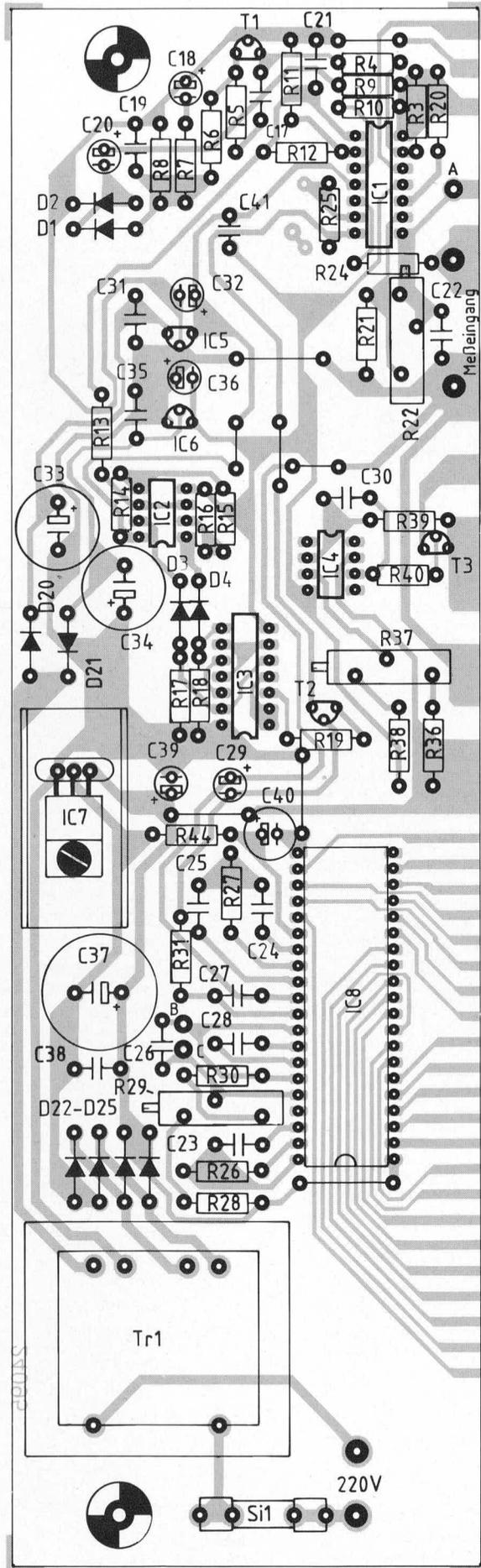
R5, R6, R8	1 M Ω
R7	4,75 k Ω
R9, R10, R12	10 k Ω
R11	47 k Ω
R13	4,75 k Ω
R14, R16	10 k Ω
R15	1,5 k Ω
R17–R20	10 k Ω
R21	22 k Ω
R22	100 k Ω , Spindeltrimmer
R23	4,75 k Ω
R24, R25	10 k Ω
R26, R27	100 k Ω
R28	10 k Ω
R29	1 k Ω , Spindeltrimmer
R30	1,8 k Ω
R31	100 k Ω
R32	1 k Ω
R33	2,2 k Ω
R34	220 Ω
R35	220 Ω
R36	5,6 k Ω
R37	2 k Ω , Spindeltrimmer
R38, R39	100 k Ω
R40	22 k Ω
R41–R46	330 Ω

Sonstiges

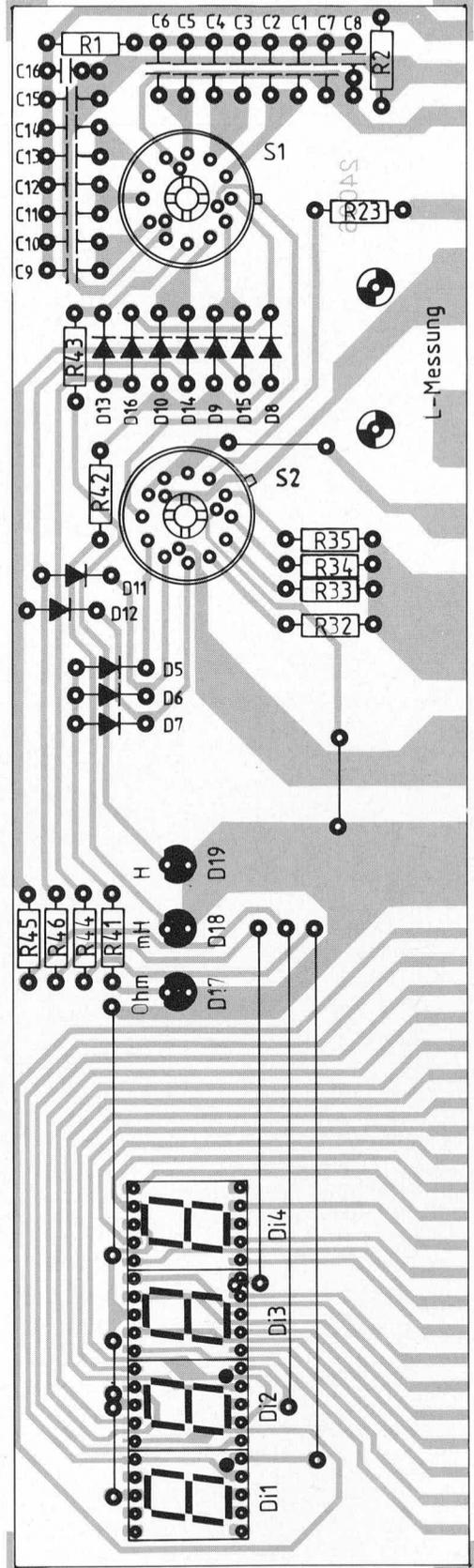
Tr1	Typ 042-071
	prim: 220 V/4,5 VA
	sek.: 1 x 9 V/400 mA
	1 x 12 V/75 mA
2 x	Präzisions-Drehwähler
	2 x 4 Stellungen
1 x	U-Kühlkörper für TD220(SK 13)
1 x	Platinensicherungshalter
Si1	0,05 A
7 x	Lötnägel

Gehäusebausatz

1	Gehäuse aus der Serie 7000
1	bedruckte und gebohrte Frontplatte
2	Gehäusebefestigungsschrauben
	M 3 x 15 mm
1	3adriges Netzkabel mit Stecker
1	Kippschalter 2polig
2	Polklemmen (rot/schwarz)
2	Drehknöpfe mit Deckel und
	Pfeilscheibe



Bestückungsseite der Basisplatte



Bestückungsseite der Anzeigenplatte