

ROHDE & SCHWARZ



L-MESSGERÄT LRT BN 6100

Zusammengestellt
nach R 23387

Printed in West Germany

Beschreibung

L-MESSGERÄT LRT

L-Meßbereich $0,1 \mu \dots 1 \text{ H}$

O-Meßbereich $2 \dots 1000$

BN 6100

Inhaltsverzeichnis

1.	<u>Eigenschaften</u>	5
1.1.	Anwendung	5
1.2.	Technische Daten	7
1.3.	Zubehör	7
1.4.	Arbeitsweise	8
1.5.	Empfohlenes Zubehör	10
2.	<u>Betriebsvorbereitung und Bedienung</u>	11
2.1.	Betriebsvorbereitung	11
2.1.1.	Einstellen des Gerätes auf die gegebene Netzspannung .	12
2.1.2.	Aufstellen des Gerätes	12
2.1.3.	Einstellen des mechanischen Instrumenten-Nullpunktes .	12
2.1.4.	Einschalten	13
2.2.	Bedienung	13
2.2.1.	Anschließen einer Spule	13
2.2.2.	Messung von Induktivitäten von 0,1 μ H — 1 H und Gütefaktoren von 2-1000	13
2.2.2.1.	Vorwahl der Anzeigecharakteristik	13
2.2.2.2.	Vorwahl der Kopplung zwischen Generator und Meßkreis .	14
2.2.2.3.	Abstimmen auf Resonanz und Meßwertablesung	14
2.2.3.	Meßgenauigkeit und Fehlerquellen bei der Induktivitäts- messung	15
2.2.3.1.	Einfluß der Eigenkapazität	15
2.2.4.	Meßgenauigkeit und Fehlerquellen bei der Gütefaktor- messung	20
2.2.4.1.	Q-Meßfehler für Spulen mit großen Induktivitätswerten und hohen Güten	20
2.2.4.2.	Q-Meßfehler für Spulen mit kleinen Induktivitätswerten	20
2.2.5.	Messung von Induktivitäten kleiner als 0,1 μ H	21
2.2.6.	Messung von Induktivitäten größer als 1 H	23
2.2.7.	L-Vergleichsmessung mit hoher Genauigkeit	24
2.2.8.	Messung der Wicklungskapazität einer Spule	24
2.2.9.	Messung der Resonanzfrequenz von Parallelschwing- kreisen	26
2.2.10.	Dimensionierung einer Spule mit maximaler Güte mit Hilfe des LRT	27

2.2.10.1.	Verschiebung des $\tan\delta$ -Minimums zu tieferen Frequenzen	28
2.2.10.2.	Verschiebung des $\tan\delta$ -Minimums zu höheren Frequenzen	28
2.2.10.3.	Messung der Verluste einer Probespule bei verschie- denen Frequenzen	29
2.2.10.4.	Dimensionierung einer Spule mit max. Güte, deren Be- triebsfrequenz tiefer als die LRT-Meßfrequenz liegt	29
2.2.10.5.	Die Betriebsfrequenz der zu entwerfenden Spule liegt höher als die LRT-Meßfrequenz	30
<u>3.</u>	<u>Wartung und Reparatur</u>	<u>31</u>
3.1.	Wartung	31
3.1.1.	Lagerung	31
3.1.2.	Prüfung der Geräteeigenschaften	32
3.1.2.1.	Prüfung der L-Eichung über die Frequenz	32
3.1.2.1.1.	Prüfung der Frequenzeichung des Generators	32
3.1.2.1.2.	Überprüfung der Meßkreiskapazität	33
3.1.2.1.3.	Kontrolle der Eigenkapazität	33
3.1.2.2.	Überprüfung der L-Eichung mit L-Normalen	33
3.1.2.3.	Überprüfung der Q-Eichung	33
3.1.2.3.1.	Kontrolle der Oszillatorspannungsamplitude	34
3.1.2.3.2.	Kontrolle der Meßkreiserregerspannung	34
3.1.2.3.3.	Kontrolle des Anzeigeverstärkers	34
3.1.2.3.3.1.	Linearität bei Q-Messung	35
3.1.2.3.3.2.	Frequenzgang	35
3.1.2.3.3.3.	Anzeige bei L-Messung	35
3.1.2.3.3.4.	Eingangswiderstand	36
3.1.2.3.4.	Meßprotokoll zur Überprüfung der Q-Anzeige	36
3.1.2.3.5.	Auswertung der Meßergebnisse	37
3.1.2.4.	Kontrolle der Wicklungs-C-Messung	37
3.1.3.	Elektrische Wartung	37
3.1.3.1.	Frequenzabgleich des Generators	38
3.1.3.1.1.	Abgleich des L-Wertes der Oszillatorspulen	38
3.1.3.1.2.	Abgleich der Trimmer C13 ... C20	38
3.1.3.1.3.	Abgleich des Senderdrehkondensators	39
3.1.3.2.	Abgleich des Meßkreises	40
3.1.3.2.1.	Abgleich der Meßkreiskapazität	40
3.1.3.2.2.	Abgleich der inneren Eigenkapazität	40
3.1.3.2.3.	Abgleich der inneren Verdrahtungsinduktivität	40

3.1.3.3.	Abgleich der Gütefaktormessung	40
3.1.3.3.1.	Abgleich der Oszillatorspannungsamplitude	41
3.1.3.3.2.	Abgleich der Meßkreiserregerspannung	42
3.1.3.3.3.	Abgleich des Anzeigeverstärkers	43
3.1.3.3.3.1.	Abgleich der Nullpunktunterdrückung für die Stellung L-Messung des Anzeigeverstärkers	44
3.1.3.3.3.2.	Abgleich des Eingangswiderstandes	44
3.1.4.	Mechanische Wartung	44
3.2.	Schaltungsbeschreibung	44
3.2.1.	Oszillator	45
3.2.2.	Auskopplung und Teilung der Oszillatorspannung	46
3.2.3.	Meßkreis	46
3.2.4.	Anzeigeverstärker	46
3.2.5.	Stromversorgung	47
3.3.	Mechanischer Aufbau	47
3.4.	Reparatur	47
3.4.1.	Reparatur des Netzteils	48
3.4.2.	Reparatur am Oszillator	48
3.4.2.1.	Reparatur der elektrischen Bauteile	48
3.4.2.2.	Reparatur der mechanischen Bauteile	50
3.4.3.	Reparatur des Meßkreises	50
3.4.4.	Reparatur des Anzeigeverstärkers	51
Bild 1	Blockschaltbild	52
Bild 2	Bedienungsorgane an der Frontplatte	53
Bild 3	Diagramm zur Korrektur der L-Werte von Spulen mit großer Wicklungskapazität	54
Bild 4	Ersatzschaltbild eines Übertragers	55
Bild 5	Nomogramm zur Ermittlung der Eigenkapazität von Spulen	56
Bild 6	Korrektur der Gütemessung bei großen Induktivitäts- werten	57
Bild 7	Korrektur der Gütemessung bei kleinen Induktivitäts- werten	58
Bild 8	Obere Meßbereichsgrenze für Eigenkapazitäten, abhän- gig von der Spulengüte	59
Bild 9	Untere Meßbereichsgrenze für Eigenkapazitäten, abhän- gig vom L-Wert der Spule	60
Bild 10	Kurven zur Dimensionierung einer Spule mit maximaler Güte	61

1. Eigenschaften

1.1. Anwendung

Das L-Meßgerät Typ LRT, BN 6100, dient zur direkten Messung der Induktivität von Spulen im Bereich von $0,1 \mu\text{H} \dots 1 \text{ H}$ und deren Gütefaktor mit Werten von $2 \dots 1000$. Die Meßgenauigkeit bei L-Messungen für $Q > 10$ beträgt $\pm 1 \% \pm 0,01 \mu\text{H}$, die der Gütemessung $\pm 10 \%$, wobei für die Q-Messung von Spulen, deren L-Werte in den Randbereichen liegen und Meßobjekte mit Gütefaktoren größer 300 eine Korrektur vorzunehmen ist. Mit dem Gerät kann die Selbstinduktion einer kleinen Drahtschleife von ungefähr 5 cm Länge ebenso bequem und schnell gemessen werden wie der L-Wert von Ferritkernspulen bis 1 H. Bei Ausführung einer einfachen Differenzmessung sind jedoch auch Spulen bis etwa 10 H indirekt meßbar.

Außerdem läßt sich mit dem Gerät auch auf einfache Weise die Eigenkapazität von Spulen und die Resonanzfrequenz von Parallelschwingkreisen ermitteln. Der empfindliche Anzeigeverstärker ermöglicht weiterhin eine sehr genaue L-Vergleichsmessung mit $\pm 0,1 \%$ Sicherheit.

Die Spannung am Meßobjekt beträgt bei Resonanz maximal 80 mV. Diese definierte, sehr kleine Meßspannung sowie die Möglichkeit einer Güteablesung bei der LRT-Meßfrequenz sind zwei der Hauptvorteile gegenüber Konkurrenzfabrikaten und dem früheren L-Meßgerät Typ LARU, BN 610. Die kleine Meßspannung ist bei Kernwerkstoffen mit großer Permeabilität unbedingt erforderlich, da sonst, bedingt durch die zu hohe Feldstärke, die Induktivität und Güte des Prüflings falsch gemessen werden können.

Wie man erkennt, ist das Meßgerät vielseitig anwendbar. Es ist für genaue Messungen und den Abgleich von Spulen im Labor und Prüffeld ebenso geeignet wie für den Einsatz in der Fertigung, wo zum Beispiel in der Wickerei Spulen nachgemessen, getrimmt oder auch nur auf Windungs- und Masseschluß überprüft werden.

Ein großer Vorteil gegenüber der L-Messung mit einer Meßbrücke liegt in dem einfacheren Meßaufbau und der schnelleren Ablesung. Außerdem hat die LRT-Meßfrequenz normalerweise die gleiche Größenordnung wie die Betriebsfrequenz der zu messenden Spule, was bei Messungen von kleinen L-Werten mit Niederfrequenzbrücken dagegen nicht immer gegeben ist.

Hier können dann infolge der niedrigen Güte, die das Meßobjekt bei der höchst möglichen Brücken-Meßfrequenz hat, schon erhebliche Unterschiede zwischen Parallel- und Serien-L auftreten und somit zu einem scheinbar falschen Meßergebnis führen. (siehe "Messen Sie die Induktivität richtig?", R & S -Kurzinformation Heft 14).

Die Bedienung des Meßgerätes LRT ist sehr einfach und übersichtlich. Eine Fehlbedienung oder falsches Ablesen des L-Wertes ist auch von angelernten Kräften kaum möglich, da die Ableseskala zugleich mit dem Bereich umgeschaltet wird und nur die gültige Skala im Frontplattenausschnitt erscheint.

Der Anschluß des Meßobjektes erfolgt über 2 Schraub-Rändelklemmen mit einem 4-mm-Loch für Bananenstecker und einer Querbohrung für Drähte bis 2 mm^Ø. Sollen des öfteren Serienmessungen durchgeführt werden, empfiehlt sich auf jeden Fall die Anschaffung zweier Schnellmeßklemmen (siehe empfohlenes Zubehör). Die Anschlüsse des Prüflings brauchen dann nicht mehr um die Rändelklemme gelegt und festgeschraubt, sondern nur zwischen die Kontaktfedern der Schnellmeßklemme geschoben zu werden. Diese Art der Kontaktierung beschleunigt den Meßvorgang wesentlich.

Das L-Meßgerät LRT enthält keine stoß- oder vibrationsempfindlichen Teile. Auch die Verdrahtung ist so ausgeführt, daß es sich für rauen Werkstattbetrieb oder beweglichen Einsatz in einem Meßwagen eignet. Alle die Genauigkeit bestimmenden Bauelemente sind mit besonderer Sorgfalt ausgewählt und so dimensioniert, daß ein Nachabgleich auch nach Jahren noch nicht erforderlich wird. Die Frequenzkonstanz des Oszillators z.B. wird durch sorgfältig geklebte Schalenkernspulen mit großem Luftspalt und einen gealterten, mechanisch spannungsfrei montierten Drehkondensator gewährleistet.

Bei der Konstruktion des LRT wurde weiterhin auf leichte Zugänglichkeit aller Baugruppen und einfache Montage großer Wert gelegt. Diese Tatsache vereinfacht Wartung und Reparatur ganz wesentlich. Sollte, obwohl Verschleißteile, wie Potentiometer, Schalter und Skalentrieb von bester Qualität sind, eine Reparatur erforderlich werden, so kann diese ohne weiteres von einem Fachmann mit geringem Aufwand an Hilfsmitteln ausgeführt werden.

1.2. Technische Daten

Meßbereich der Induktivität		Meßfrequenz
in 7 Teilbereichen.	0,1...1 μH	4,5...2,1 MHz
	1...10 μH	2,1...0,7 MHz
	10...100 μH	0,7...0,22 MHz
	0,1...1 mH	220...70 kHz
	1...10 mH	70...22 kHz
	10...100 mH	22...7 kHz
	0,1...1 H	7...2,2 kHz

Fehler

bei $Q > 10$, Temperatur 20...26 °C und
relative Luftfeuchtigkeit 40...60 %
über die ganze Skala $\pm 1 \% \pm 0,01 \mu\text{H}$

bei $Q > 10$, im ganzen Bereich der zu-
lässigen Umgebungstemperatur und der
zulässigen relativen Luftfeuchtig-
keit (siehe weiter unten)

in den beiden oberen Skalendrit-
teln $\pm 1 \% \pm 0,01 \mu\text{H}$

im unteren Skalendrittel $\pm 2 \% \pm 0,01 \mu\text{H}$

Meßspannung $\leq 80 \text{ mV}$ (je nach Spulengüte)

Meßbereich von Spulengüten 2...1000 (für $L \leq 10 \mu\text{H}$)

Fehlergrenzen $\pm 10 \%$ (für Spulen, deren L-Werte in
den Randbereichen liegen und Meßob-
jekte mit Gütefaktoren > 300 ist ein
zusätzlicher Korrekturwert zu be-
rücksichtigen).

Meßbereich für Spuleneigenkapazi-
täten 0...200 pF ($Q > 20$, $L > 42 \mu\text{H}$)

Zulässige Umgebungstemperatur

L-Messung +10...+35 °C

Q-Messung +15...+35 °C

Zulässige relative Luftfeuchtig-
keit 30...70 %

Netzanschluß 115/125/220/235 V +10 %...-15 %
47...63 Hz; 5 VA

Abmessungen (einschl. Deckel). 269 x 238 x 277 mm
(B x H x T)

Gewicht (einschl. Deckel) ca. 7 kg

1.3. Zubehör

- 1 Netzanschlußkabel LKA 08025
- 2 Ersatzschmelzeinsätze M 0,1 C DIN 41571 im Ersatzsicherungshalter
- 2 Ersatzschmelzeinsätze M 0,05 C DIN 41571 auf dem Spannungswähler
- 2 Ersatzglühlämpchen RLT 32400 (lose beige packt).
- 1 Lampenzieher (lose beige packt):
- 2 Gerätebeschreibungen

1.4. Arbeitsweise

Das L-Meßgerät LRT arbeitet nach dem Resonanzprinzip (siehe Blockschaltbild). Die zu messende Induktivität L_x bildet mit dem eingebauten, festen Meßkreiskondensator C_M einen Parallelschwingkreis, dessen Resonanzfrequenz bei festem C-Wert nur von der zugeschalteten Induktivität L_x abhängig ist. Dieser Meßkreis wird von einem Generator mit stetig durchstimmbarer Frequenz über eine in 4 definierten Stufen einstellbare kapazitive Kopplung erregt.

Man verändert bei dem Meßvorgang die Generatorfrequenz so, daß der Anzeigeverstärker ein Spannungsmaximum zeigt, d.h. die Meßkreis-Resonanzfrequenz f_{res} ist gleich der Generatorfrequenz f_g . Dann gilt:

$$f_{res} = f_g = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_M \cdot L_x}}$$

Die Gleichung nach der einzigen Unbekannten L_x aufgelöst ergibt

$$L_x = \frac{1}{(2\pi f)^2 \cdot C_M}$$

Um L_x direkt ablesen zu können, ist die Skala des Sender-Drehkondensators neben der Frequenzzeichnung direkt in Selbstinduktionswerten geeicht.

Die Höhe der Resonanzspannung U_m hängt direkt von der Erregerspannung U_1 des Meßkreises, d.h. der Größe des eingeschalteten Kopplers und der Güte des Meßobjektes ab. (Die Verluste des Meßkreiskondensators sind so gering, daß sie bei einer Meßgenauigkeit von $\pm 10\%$ erst berücksichtigt werden brauchen, wenn der Gütefaktor des Prüflings größer 300 ist).

Es gilt folgende Beziehung:

$$\frac{U_m}{U_1} = \frac{Q}{1 + \frac{C_M}{C_K}}$$

Daraus

$$U_m = \frac{Q}{1 + \frac{C_M}{C_K}} \cdot U_1$$

Die Skala des Anzeigeinstrumentes kann also direkt in Q-Werten geeicht sein, wobei die Größe des eingeschalteten Kopplers den jeweiligen Q-Bereich bestimmt.

Um für die Ablesung einen linearen Skalenverlauf zu erhalten, muß auch die Anzeigecharakteristik des Verstärkers linear sein. Die in der Betriebsart Q-Messung erreichbare Empfindlichkeit des Anzeigeverstärkers ist aber nicht groß genug, um L-Vergleichsmessungen mit einer Genauigkeit von 0,1 % durchzuführen und den L-Wert von Spulen mit Güten kleiner 20 mit 1 % Genauigkeit zu messen. Die Resonanzkurve dieser Spulen ist nämlich wesentlich flacher und das Spannungsmaximum läßt sich nicht exakt genug einstellen. Wird dagegen mit dem Schalter S3 auf die Betriebsart L-Messung umgeschaltet, so arbeitet der Anzeigeverstärker je nach Stellung des Knopfes "Anzeige" (Potentiometer R55) mit mehr oder weniger unterdrücktem Nullpunkt; die Empfindlichkeit der Anzeige ist immer ungefähr um den Faktor 5 vergrößert. Da praktisch nur die Kuppe der Resonanzkurve angezeigt wird, ist nun das genaue Maximum, also der gesuchte L-Wert, auch für Spulen mit großen Verlusten eindeutig zu bestimmen. Interessiert für die gemessene Spule auch der Q-Wert, so kann der Schalter S3 auf die Betriebsart Q-Messung gestellt und die Güte auf dem Anzeigeinstrument abgelesen werden.

Die Schaltung ist so dimensioniert, daß weder durch die Umschaltung Q-Messung → L-Messung noch durch das Verändern der Koppler die Meßkreis- oder Generatorfrequenz beeinflusst wird.

Das LRT bietet außer der L- und Q-Messung die Möglichkeit, die Eigenkapazität einer Spule zu bestimmen. Hierfür sind zwei Messungen und eine einfache Rechnung erforderlich. Zuerst wird ebenso wie bei der L-Messung das Spannungsmaximum des Meßkreises bei eingeschaltetem C_M eingestellt, dann aber nicht der L-Wert, sondern die Frequenz f_L abgelesen. Nun wird mit dem Schalter S2 der Meßkreiskondensator vom Meßkreis getrennt: Stellung "Wicklungs-C-Messung". Die dem Meßobjekt parallelliegende Kapazität setzt sich nun nur aus der inneren Koppel- und Schaltkapazität $C_i = 30 \text{ pF}$ und der Eigenkapazität C_e der zu untersuchenden Spule zusammen. Jetzt wird auf das bei einer entsprechend höheren Frequenz f_e liegende Spannungsmaximum des Meßkreises abgestimmt und f_e abgelesen. Die Eigenkapazität der Spule erhält man dann zu:

$$C_e = \left(\frac{f_L}{f_e}\right)^2 \cdot C_M - C_1$$

Nach Einsetzen der stets gleichbleibenden Kapazitätswerte von C_M und C_1 ergibt sich

$$C_e = \left(\frac{f_L}{f_e}\right)^2 \cdot 5000 - 30$$

1.5. Empfohlenes Zubehör

a) 1 Kastendeckel KBJ 80559

Wird das Gerät des öfteren transportiert und ist es nicht für den stationären Betrieb an einem festen Meßplatz vorgesehen, sollte zum Schutz der Frontplatte ein Kastendeckel mitbestellt werden.

b) 2 Klemmen BN 5501-62

Die Schnellmeßklemmen werden direkt an den Meßbuchsen befestigt; sie vereinfachen wesentlich die Kontaktierung der Meßobjekte.

Die Anschlußdrähte einer Spule brauchen nicht mehr mit den Rändelklemmen festgeschraubt zu werden, sondern können einfach zwischen die Kontaktfedern gedrückt werden. Sollen mit dem LRT öfters Serienmessungen durchgeführt werden, empfiehlt sich auf jeden Fall diese Anschaffung.

2. Betriebsvorbereitung und Bedienung

2.1. Betriebsvorbereitung

Legende zum Bedienungsbild

- ① Schraube zur Befestigung des Meßgerätes im Kasten.
- ② Frequenzskala
- ③ L-Skala
- } umschaltbar mit Bereichsschalter ⑪
- ④ Abstimmzeiger zur L- und f-Ablesung. Wird mit Knopf ⑥ bedient.
- ⑤ wie ①
- ⑥ Abstimmknopf für das Durchdrehen der Oszillatorfrequenz innerhalb eines Meßbereiches.
- ⑦ Kontrolllampe zur Anzeige des Einschaltzustandes.
- ⑧ wie ①
- ⑨ Netzschalter
- ⑩ Drehknopf zur Einstellung der Nullpunktunterdrückung des Anzeigeverstärkers. (Nur wenn ⑬ auf Stellung L-Messung)
- ⑪ Bereichsschalter zum Umschalten der 7 L-Bereiche
- ⑫ a) Schalter zur Wahl der verschiedenen Koppelkondensatoren bei L- und Q-Messung.
b) Umschaltung auf Eigenkapazitätsmessung.
- ⑬ } Meßklemmen
- ⑭ }
- ⑮ wie ①
- ⑯ Umschalter für Q-Messung → L-Messung. Bei Q-Messung arbeitet der Anzeigeverstärker linear, bei L-Messung mit unterdrücktem Nullpunkt, d.h. vergrößerter Empfindlichkeit.
- ⑰ Mechanische Nullpunktkorrektur des Anzeigeinstrumentes.
- ⑱ Meßinstrument zur Anzeige des mit ⑥ zu suchenden Spannungsmaximums der Resonanzkurve und des Gütefaktors Q für die Stellung Q-Messung des Schaltknopfes ⑯.

2.1.1. Einstellen des Gerätes auf die gegebene Netzspannung.

Das Gerät wird ab Werk für 220 V Netzspannung eingestellt geliefert. Zur Umstellung auf 115, 125 oder 235 V muß man die Befestigungsschrauben ①, ⑤, ⑧, ⑮ an der Frontplatte lösen und das Gerät aus dem Gehäuse nehmen. Vor dieser Arbeit ist selbstverständlich der Netzstecker zu ziehen. Der Sicherungshalter sitzt auf der rückwärtigen Wanne. Zu den Netzspannungen 220 V und 235 V gehört eine mittelträge 0,05-A-Sicherung; soll das Gerät bei 115 V oder 125 V arbeiten, muß diese Sicherung entfernt und eine mittelträge 0,1-A-Sicherung zwischen das mit der gewünschten Spannung gravierte Kontaktfederpaar eingesetzt werden. Die Netzspannung darf zwischen +10 % und -15 %, die Frequenz zwischen 47 und 63 Hz schwanken, ohne daß die Genauigkeit des Gerätes darunter leidet.

2.1.2. Aufstellen des Gerätes

Die Genauigkeit des Gerätes wird bei der L-Messung für Umgebungstemperaturen von +10 bis +35 °C, bei der Q-Messung für Temperaturen zwischen +15 und +35 °C garantiert. Aber auch an Arbeitsplätzen mit extremeren Bedingungen kann das Gerät eingesetzt werden, ohne daß funktionelle Störungen auftreten. Der Meßfehler in dem erweiterten Temperaturbereich von 0 bis 45 °C beträgt für die L-Messung ± 2 %, für die Q-Messung +12 %/-20 %. Das LRT sollte möglichst nicht direkt neben einem starken Sender aufgestellt werden, da sich bedingt durch den hohen Eingangswiderstand und die große Empfindlichkeit des Anzeigeverstärkers speziell in der Stellung "Wicklungs-C-Messung" ein Störausschlag am Anzeigeinstrument ergeben kann. Da das Ablesen eines Meßwertes besonders einfach ist, wenn man senkrecht auf die Skala blickt, läßt sich das LRT mit Hilfe eines unter dem Kastenboden befestigten Bügels nach hinten neigen. Auf diese Weise kann man auch bei unterschiedlich hohen Standpunkten des Gerätes immer optimal ablesen.

2.1.3. Einstellen des mechanischen Instrumenten-Nullpunktes

Die Korrektur des mechanischen Nullpunktes des Anzeigeinstruments erfolgt mit Hilfe eines kleinen Schraubenziehers durch Verstellen von ⑰ bei ausgeschaltetem Gerät.

2.1.4. Einschalten

Nach dem Einführen des Netzkabelsteckers (3-Stift-Europastecker) in die Gerätesteckdose an der Rückseite des Gerätes und dem Einstecken des Schutzkontaktsteckers in die Netzsteckdose kann das Gerät eingeschaltet werden. Dies erfolgt durch Druck auf den Netzschalter (9). Zur Überwachung des Einschaltzustandes dient die Kontrollampe (7). Nun ist das Meßgerät voll betriebsfähig. Es braucht keine Einlaufzeit abgewartet zu werden. Nacheichvorgänge sind nicht erforderlich.

2.2. Bedienung

2.2.1. Anschließen einer Spule

Die zu messende Spule wird so angeschlossen, daß der im Betrieb auf Erdpotential liegende Spulenanschluß an der rechten Klemme (13) liegt. Bei einer abgeschirmten Spule muß man zwischen L-Wert mit und ohne Abschirmung unterscheiden. Ohne Abschirmung kann der L-Wert größer sein. Bei Spulen mit großen Streufeldern, speziell großen Luftspulen, kann auch eine mit Eisenblech abgedeckte Tischplatte zu Fehlmessungen führen. Für Meßobjekte mit kleinen Induktivitätswerten und langen Zuleitungen sollte man sich vergewissern, wie stark ihr Einfluß auf den L-Wert und damit auf die Meßgenauigkeit ist.

2.2.2. Messung von Induktivitäten von 0,1 μ H ... 1 H und Gütefaktoren von 2 ... 1000.

Das LRT arbeitet nach dem Resonanzprinzip (siehe 1.4.). Die Frequenz des eingebauten Generators wird so verändert, daß sie mit der Meßkreisresonanzfrequenz übereinstimmt. Als Kriterium hierfür dient das bei Resonanz am Meßkreis auftretende Spannungsmaximum, das mit dem Anzeigeverstärker sichtbar gemacht wird. Vor dem Aufsuchen der Resonanz, also dem eigentlichen Meßvorgang, ist eine Vorwahl der Anzeigecharakteristik (siehe 2.2.2.1.) und der Kopplung (siehe 2.2.2.2.) zwischen Generator und Meßkreis zu treffen.

2.2.2.1. Vorwahl der Anzeigecharakteristik

Der Schaltknopf (16) dient zur Wahl der Betriebsart L-Messung $\leftrightarrow$ Q-Messung. Die beiden Betriebsarten unterscheiden sich nur in der Anzeigeart des Verstärkers. In der Stellung L-Messung arbeitet dieser mit unterdrücktem

Nullpunkt. Der Gesamtausschlag des Instrumentes entspricht einer Spannungsänderung von ≈ 15 mV. Diese große Empfindlichkeit ist für die eindeutige Bestimmung des Resonanzkurvenmaximums und damit des L-Wertes bei Spulen mit Q-Werten < 20 erforderlich.

In der Stellung Q-Messung dagegen ergeben bei linearer Anzeigecharakteristik erst 80 mV Vollausschlag. Die Anzeige ist unempfindlicher, überstreicht aber dafür einen sehr viel größeren Anzeigebereich. Da man aber auch für Spulen mit Q-Werten < 20 das Spannungsmaximum erkennen kann, empfiehlt es sich, das Aufsuchen der Resonanz in der Stellung Q-Messung des Schalters (16) durchzuführen. Man erspart sich hierdurch die Empfindlichkeitsnachregelung mit Knopf (10) während des Meßvorganges und kann außerdem ohne Umschalten von (16) direkt die Güte ablesen.

2.2.2.2. Vorwahl der Kopplung zwischen Generator und Meßkreis.

Mit dem Knopf (12) stellt man die Stärke der Kopplung zwischen dem Generator und dem Meßkreis ein. Sie ist durch verschieden groß gravierte Punkte auf der Frontplatte, auf die jeweils die untere Markierung der Rosette des Schaltknopfes zeigt, gekennzeichnet. Gleichzeitig wählt man mit dem Kopplungsgrad den Gütebereich (obere Markierung der Rosette des Knopfes (12)). Da die Meßkreisspannung proportional mit der Güte des Meßobjektes und der Stärke der Kopplung steigt, mißt man, um eine möglichst gleichbleibende Meßkreisspannung zu erhalten, in dem größten Gütebereich mit dem kleinsten Koppler. Auf diese Weise überschreitet die Spannung am Meßobjekt, wenn der Anzeigeverstärker nicht übersteuert ist, niemals 80 mV. Für ein Meßobjekt mit unbekannter Güte stellt man zum Aufsuchen der Resonanz die stärkste Kopplung ein, für eine Spule mit ungefähr bekannter Güte wählt man den entsprechenden Q-Bereich vor.

2.2.2.3. Abstimmen auf Resonanz und Meßwertablesung.

Ist der L-Wert der zu messenden Spule größenordnungsmäßig bekannt, so wählt man mit dem Schaltknopf (11) den entsprechenden Bereich vor. Andernfalls beginnt man mit der Suche nach der Resonanz im niedrigsten L-Bereich, d.h. bei der höchsten Meßfrequenz, um nicht irrtümlich auf eine Oberwelle abzustimmen. Dies kann allerdings, da der Klirrfaktor des Oszillators äußerst gering ist, nur bei stärkster Kopplung und bei Spulen mit sehr großer Güte vorkommen.

Mit dem Drehknopf (6) wird nun der Skalenzeiger (4) durchgedreht, bis der Instrumentausschlag seinen Höchstwert erreicht hat. War die Güte unbekannt, so muß bei Q-Werten > 30 die Kopplung mit Knopf (12) verringert werden. Die Ablesung des L-Wertes erfolgt auf der schwarz beschrifteten L-Skala parallaxefrei mit Hilfe des auf den Abstimmzeiger gravierten Doppel-Haarstrichs. Eine Fehlablesung ist nicht möglich, da immer nur die jeweils gültige Skala im Frontplattenausschnitt bei der Umschaltung des Bereiches erscheint.

Läßt sich für Spulen mit den selten vorkommenden Gütewerten < 20 der L-Wert nicht exakt genug bestimmen, so schaltet man mit (16) auf die Betriebsart L-Messung. Nun kann man bei erhöhter Empfindlichkeit des Anzeigeverstärkers den L-Wert genau einstellen. Mit Drehknopf (10) wird die Stärke der Nullpunktunterdrückung so nachgeregelt, daß der Zeiger des Meßinstrumentes (18) bei Resonanz in der Mitte der Skala steht. Im rechten Drittel wird die Anzeige durch die beginnende Begrenzung des Zeigerausschlages (Instrumentenschutz) unempfindlicher.

2.2.3. Meßgenauigkeit und Fehlerquellen bei der Induktivitätsmessung

Wie unter 1.2. angegeben, können Spulen, deren Güte größer als 10 ist, mit einer Genauigkeit von $\pm 1 \% \pm 0,01 \mu\text{H}$ gemessen werden. Die Angabe $\pm 0,01 \mu\text{H}$ bedeutet, daß unterhalb $1 \mu\text{H}$ zum Fehler $\pm 1 \%$ ein Absolutfehler von $\pm 0,01 \mu\text{H}$ hinzukommt. Eine Spule mit zum Beispiel $0,5 \mu\text{H}$ kann also nur mit einer Genauigkeit von $\pm 3 \%$ gemessen werden: $1 \% \text{ Meßungenauigkeit des LRT } \pm (0,01/0,5) \cdot 100 = \pm 2 \% \text{ Absolutfehler}$. Diese Genauigkeitsangaben gelten für Spulen, deren Eigenkapazitäten die folgenden Werte im nächsten Abschnitt nicht überschreiten. Ist die Eigenkapazität größer, so muß der gemessene L-Wert entsprechend korrigiert werden, um den wirklichen L-Wert zu erhalten.

2.2.3.1. Einfluß der Eigenkapazität

Wie aus Abschnitt 1.4. hervorgeht, bildet die zu messende Spule L_x mit dem eingebauten Meßkreiskondensator C_M (5000 pF) einen Parallelschwingkreis, wobei also zwischen Induktivität, Kapazität und Resonanzfrequenz folgender Zusammenhang besteht:

$$L_x = \frac{1}{\omega^2 C_M}$$

Da nun aber jede Wicklung außer ihrer Induktivität eine mehr oder weniger große Eigenkapazität C_e (oder Wicklungskapazität) aufweist, die je nach Art der Spule zwischen etwa 1 pF und einigen 1000 pF liegt, und die Eichung des LRT nicht auf beliebig große Eigenkapazitätswerte abgestimmt sein kann, ist es verständlich, daß sich unter Umständen ein erheblicher Meßfehler ergibt. Dieser Meßfehler ist jedoch korrigierbar, wenn man die dem Meßkreiskondensator C_M parallelliegende Eigenkapazität C_e kennt. Damit diese Korrektur bei den meisten Spulen entfallen kann, ist in der Eichung des LRT eine bestimmte Eigenkapazität berücksichtigt:

$$\begin{aligned} C_{eb} &= 0 \text{ pF in den 2 Bereichen von } 0,1 \dots 10 \text{ } \mu\text{H}, \\ C_{eb} &= 10 \text{ pF in den 4 Bereichen von } 10 \text{ } \mu\text{H} \dots 100 \text{ mH und} \\ C_{eb} &= 20 \text{ pF im Bereich von } 100 \dots 1000 \text{ mH.} \end{aligned}$$

Weicht die tatsächliche Eigenkapazität C_e der Spule von diesem in der Eichung berücksichtigten Wert C_{eb} ab, so entsteht ein Meßfehler:

$$F [\%] = \frac{C_e - C_{eb}}{5000} 100 \quad [C_e \text{ und } C_{eb} \text{ in pF}]$$

Ein Beispiel möge zeigen, daß dieser Fehler bei den üblichen Spulen nur klein ist und deshalb meist nicht korrigiert zu werden braucht: Gemessen werde in den Bereichen 10 $\mu\text{H} \dots 100 \text{ mH}$, wobei $C_{eb} = 10 \text{ pF}$. Die Eigenkapazität der Spule betrage jedoch etwa 20 pF. Hiermit entsteht ein Fehler:

$$F = \frac{20 - 10}{5000} 100 = 0,2 \%$$

Bei Spulen mit wesentlich größerer Eigenkapazität, zum Beispiel bei Übertrager-Wicklungen, muß man folgende Korrektur vornehmen:

$$L_\omega = L_g \frac{5000}{5000 + (C_e - C_{eb})} = L_g \cdot k \quad [C_e \text{ und } C_{eb} \text{ in pF}]$$

Hierin sind L_ω die wirkliche Induktivität, L_g die mit dem LRT gemessene Induktivität. Einfacher ist es, wenn man für die gegebene Eigenkapazität C_e aus Bild 3 den Korrekturfaktor k entnimmt und diesen mit dem gemessenen L -Wert multipliziert. Hatte man bei zum Beispiel 100 pF Eigenkapazität eine Induktivität von 200 mH gemessen, so beträgt die wirkliche Induktivität

$$L_\omega = L_g \cdot k = 200 \cdot 0,984 = 196,8 \text{ mH.}$$

Die Eigenkapazität kann man nach dem im Abschnitt 2.2.8. beschriebenen Verfahren mit dem LRT messen.

Besonders zu beachten sind Übertrager. Bild 4 zeigt das Ersatzschaltbild eines Übertragers mit zwei Wicklungen, wobei die Verluste vernachlässigt sind. Grundsätzlich können auch drei oder mehr Wicklungen vorhanden sein. Mit L_1 und L_2 sind die eigentlichen Induktivitäten (Hauptinduktivitäten) der Primär- und Sekundärwicklung bezeichnet, mit C_{e1} und C_{e2} die Wicklungskapazitäten. δL_1 und δL_2 symbolisieren die Streuinduktivitäten. Die Streuinduktivität δL_1 beispielsweise ist derjenige Teil der Primärinduktivität, deren magnetischer Kraftfluß die Sekundärwicklung nicht durchsetzt und demzufolge in dieser auch keine Spannung hervorrufen kann. Die Kapazität einer Übertragerwicklung kann zwischen rund 25 pF und mehreren 100 pF liegen; sie ist im wesentlichen vom geometrischen Aufbau der Wicklung sowie von der Drahtisolation abhängig und nur unwesentlich von der Windungszahl.

Eine sekundärseitig angeschlossene Impedanz Z_2 wird mit dem Quadrat des Windungszahlverhältnisses $n_1/n_2 = \ddot{u}$ auf die Primärseite übersetzt und erscheint hier als $Z_1 = Z_2 \cdot \ddot{u}^2$. Auch die Wicklungskapazität C_{e2} wirkt wie eine sekundärseitig angeschlossene Impedanz $Z_2 = 1/\omega C_{e2}$, die auf der Primärseite als $Z_1 = (1/\omega C_{e2})\ddot{u}^2$ zur Wirkung kommt. Rechnet man mit den Leitwerten ωC_{e1} und $\omega C_{e2}\ddot{u}^2$, so erkennt man, daß primärseitig die Summe von C_{e1} und $C_{e2}\ddot{u}^2$ wirksam ist. Falls $n_2 < n_1$, und besonders dann, wenn $n_2 \ll n_1$, dann kann, wenn man auf der Primärseite mißt, C_{e2} vernachlässigt werden. Ist dagegen $n_2 > n_1$ oder gar $n_2 \gg n_1$, zum Beispiel $\ddot{u} = n_2/n_1 > 10$, dann ist auf der Primärseite im wesentlichen nur noch $C_{e2}\ddot{u}^2$ wirksam.

Abgesehen davon, daß wegen dieser übersetzten Kapazität eine Korrektur des gemessenen L-Wertes erforderlich wird, kann sie auch eine so niedrige Impedanz haben, daß sie für ωL_1 nahezu einen Kurzschluß bewirkt und womöglich sogar kleiner ist als die Impedanz der Streuinduktivität δL_1 . Beim Messen der Induktivität mit einer Brücke läßt sich diese Schwierigkeit durch die Wahl einer sehr niedrigen Meßfrequenz umgehen. Mit dem LRT dagegen ist die Frequenz (wegen des hier angewandten Meßprinzips) nicht frei wählbar. Man sollte daher bei Übertragern, deren Wicklungsaufbau bekannt ist, die Induktivitätsmessung nur an derjenigen

Wicklung vornehmen, die die größte Windungszahl hat; denn in diesem Fall ist es unwahrscheinlich, daß das Meßergebnis durch die übersetzten Wicklungskapazitäten unbrauchbar gemacht wird. Mit dem LRT ist das natürlich nur möglich, wenn die Induktivität dieser Wicklung nicht größer als 1 H ist. Bei unbekannten Übertragern sollte man, wenn möglich, die Induktivität und Kapazität aller Wicklungen messen und die Ergebnisse kritisch betrachten. Als Faustregel merke man sich: der gemessene L-Wert weicht um nicht mehr als etwa 10 % vom wirklichen L-Wert ab, wenn das Übersetzungsverhältnis folgender Gleichung genügt:

$$\ddot{u} \leq \sqrt{\frac{500}{C_{e2}}}$$

Meßbeispiel 1

Werte

$$L_1 = 0,9 \text{ H}$$

$$L_2 = 3,6 \text{ H}$$

$$\ddot{u} = 2$$

$$\ddot{u}^2 = 4$$

$$\delta = 0,5 \%$$

$$\delta L_1 = 4,5 \text{ mH}$$

$$\delta L_2 = 18 \text{ mH}$$

$$C_{e1} = 100 \text{ pF}$$

$$C_{e2} = 100 \text{ pF}$$

Messung an L₁

Wirksame Kapazität:

$$C_e = C_{e1} + C_{e2} \ddot{u}^2 = 100 + 100 \cdot 4 = 500 \text{ pF}$$

Mit dem LRT gemessener L-Wert:

$$L_g = L_1 \frac{5000 + (C_e - C_{eb})}{5000} = 0,9 \cdot 1,096 = 0,98 \text{ mH}$$

Die Streuinduktivitäten gehen hier nicht in das Meßergebnis ein.

Messung an L₂

Wirksame Kapazität:

$$C_e = C_{e2} + C_{e1} / \ddot{u}^2 = 100 + 100 / 4 = 125 \text{ pF}$$

Der L-Wert ist nicht meßbar, da $L_2 > 1 \text{ H}$

Meßbeispiel 2

Werte

$$L_1 = 1 \text{ mH}$$

$$L_2 = 100 \text{ mH}$$

$$\ddot{u} = 10$$

$$\ddot{u}^2 = 100$$

$$C_{e1} = 30 \text{ pF}$$

$$C_{e2} = 100 \text{ pF}$$

Messungen an L_1

Wirksame Kapazität:

$$C_e = 30 + 100 \cdot 100 = 10030 \text{ pF}$$

Mit dem LRT gemessener L-Wert:

$$L_g = 1 \cdot 15020/5000 = 1 \cdot 3 = 3 \text{ mH}$$

Von einer Messung kann hier nicht mehr gesprochen werden, weil die Korrektur ungenau wird; denn diese setzt voraus, daß C_e genau bekannt ist. Man mißt genauer an L_2 .

Messungen an L_2

Wirksame Kapazität:

$$C_e = 100 + 30/100 = 100,3 \text{ pF.}$$

Mit dem LRT gemessener L-Wert:

$$L_g = 100 \cdot 1,016 \approx 102 \text{ mH}$$

Meßbeispiel 3

Werte

$$L_1 = 0,5 \text{ H}$$

$$L_2 = 200 \text{ H}$$

$$\ddot{u} = 20$$

$$\ddot{u}^2 = 400$$

$$\delta = 3 \%$$

$$\delta L_1 = 15 \text{ mH}$$

$$\delta L_2 = 6 \text{ H}$$

$$C_{e1} = 100 \text{ pF}$$

$$C_{e2} = 100 \text{ pF}$$

Messungen an L_1

Wirksame Kapazität

$$C_e = 100 + 100 \cdot 400 = 40100 \text{ pF.}$$

Abgesehen davon, daß nach der Faustformel $\ddot{u} \leq 2,2$ sein müßte, ist in diesem Beispiel der Blindwiderstand $1/\omega C_e$ bei der niedrigsten Meßfrequenz des LRT bereits wesentlich geringer als ωL_1 , so daß die Hauptinduktivität L_1 nicht gemessen werden kann. Man findet zwar eine Resonanz bei etwa 13,4 mH, das ist aber die Steuinduktivität $\delta L_1 = 15 \text{ mH}$ abzüglich eines Wertes, der von $1/\omega C_e$ herührt. Da $L_2 \gg 1 \text{ H}$, kann ein solcher Übertrager mit dem LRT nicht gemessen werden. Dieses Beispiel soll nur zeigen, daß man zu völlig falschen Ergebnissen gelangt, wenn die oben genannte Faustformel mißachtet wird.

2.2.4. Meßgenauigkeit und Fehlerquellen bei der Gütefaktormessung

Der Meßfehler von $\pm 10\%$ für die Gütemessung ist durch die Konstanz der Meßkreiserregerspannung, d.h. bei fehlerfreiem kapazitivem Spannungsteiler durch die Generatorspannung und die Genauigkeit des Anzeigeverstärkers bestimmt. Bei Prüflingen mit Q -Werten größer 300 tritt weiterhin durch die Verluste des Meßkreiskondensators eine zusätzliche Ungenauigkeit auf, die aber mit Hilfe der Korrekturkurven ausgeglichen werden kann.

Außer diesen über den gesamten Meßbereich gleichermaßen verteilten Fehlern wirken sich in den Randbereichen folgende Komponenten störend aus:

2.2.4.1. Q -Meßfehler für Spulen mit großen Induktivitätswerten und hohen Güten.

Bei Meßobjekten $> 0,1\text{ H}$ mit Güten > 100 wirkt der Eingangswiderstand des Anzeigeverstärkers dämpfend auf den Meßkreis.

Beispiel: Der induktive Widerstand ωL einer Spule von 1 H beträgt bei der LRT-Meßfrequenz von $2,2\text{ kHz}$ etwa $14\text{ k}\Omega$. Bei einer Güte $Q = 300$ beträgt der Resonanzwiderstand (Parallelersatzschaltung) $R_{\text{res}} = Q \cdot \omega L \approx 4,2\text{ M}\Omega$. Der durch den Eingangswiderstand des Verstärkers von etwa $55\text{ M}\Omega$ hervorgerufene Fehler ist also ungefähr $7,1\%$. Der Fehler nimmt ab mit kleiner werdendem L und geringer werdender Güte. Mit Hilfe der "Korrekturkurven der Gütemessung für große Induktivitätswerte" (Bild 6) kann dieser Fehler ausgeglichen werden. Es empfiehlt sich daher, für Induktivitäten $> 0,1\text{ H}$ und Güten > 100 die Größe des Meßfehlers abzuschätzen und, wenn nötig, zu korrigieren.

2.2.4.2. Q -Meßfehler für Spulen mit kleinen Induktivitätswerten

Die Meßkreisinduktivität des LRT wird aus der Reihenschaltung des Meßobjekts und der abgeglichenen inneren Verdrahtungsinduktivität gebildet. Diese ist für die L -Messung mit eingeeicht. Bei der Q -Messung ergibt sich aber, hervorgerufen durch die geringe Güte der Meßkreisinduktivität ein Meßfehler. Er wird um so größer, je höher der Gütefaktor des Meßobjektes und je kleiner die Induktivität des Prüflings ist. Aus den Korrekturkurven für die Gütemessung bei kleinen Induktivitätswerten (Bild 7) erkennt man, daß für L -Werte $< 50\text{ }\mu\text{H}$ mit Güten > 100 der Meßwert auf jeden Fall berichtigt werden muß.

2.2.5. Messung von Induktivitäten kleiner als 0,1 μH

Mit Hilfe einer Spule L_h (Drahtschleife), die am unteren Ende des kleinsten Bereiches (0,1...1 μH) noch direkt meßbar ist, kann man durch Ausführung einer einfachen Differenzmessung auch L-Werte unter 0,1 μH indirekt messen. Hierzu mißt man erst den L-Wert der Hilfspule L_h , schaltet dieser dann L_x in Reihe und mißt den L-Wert der Reihenschaltung $L_s = L_h + L_x$. Damit erhält man $L_x = L_s - L_h$. Voraussetzung ist hierbei, daß die gegenseitige induktive Kopplung vernachlässigbar klein ist. Eine Meßvorrichtung die diese Bedingung weitgehend erfüllt, besteht aus einer bandförmigen Leiterschleife, die um eine Kunststoffscheibe herumgelegt ist (Bild 11). Durch die Bandform ist das Magnetfeld eng um den Leiter konzentriert, so daß sich auch kleine Meßobjekte ohne störende Verkopplung messen lassen. Die beiden Enden der Leiterschleife sind durch eine Steckerplatte aus kupferkaschiertem Glashartgewebe mit zwei 4-mm-Bananensteckern verbunden, die einen Abstand von 30 mm haben. Diametral gegenüber ist die Leiterschleife aufgetrennt. Rechts und links neben der Trennstelle - im Abstand von 5 mm - befinden sich zwei kleine Steckhülsen. Im einfachsten Fall können dies Rohrnieten sein, deren Innendurchmesser wenig größer als der Drahtdurchmesser des Meßobjektes ist. Für häufige Benutzung sind jedoch Steckbuchsen zu empfehlen, wie sie von verschiedenen Herstellern, beispielsweise zur Kontaktierung von Halbleitern, geliefert werden. Für unser Versuchsmuster wurden Kontaktbuchsen der Firma Barnes verwendet. In Deutschland sind solche Buchsen über die Firma Selectron, 8 München 2, Pappenheimstraße 7, erhältlich. Sie ergeben einen einwandfreien Kontakt bei Drahtdurchmessern von 0,5 bis 1 mm. Auch für dickere Drähte liefert die genannte Firma geeignete Typen.

Diese Meßvorrichtung läßt sich leicht herstellen. Da nicht beabsichtigt ist, sie serienmäßig zu fertigen, sind im Bild 12 die erforderlichen Meßskizzen gezeigt.

Die Isolierscheibe zur Aufnahme des Kupferbandes wurde aus Ultramid-S angefertigt, weil es besonders gut zu bearbeiten ist. Grundsätzlich eignet sich hierfür aber auch jedes andere wärmebeständige Material. Die Rille in der Scheibe dient nur zur besseren Fixierung der Kupferbänder und ist nicht unbedingt erforderlich. Die Trägerplatte für die beiden Bananenstecker (Steckplatte) sollte aus einem (möglichst dicken) kupferkaschierten Material bestehen, damit man die Induktivität der Zuleitungen gegenüber derjenigen der Bandschleife vernachlässigen kann. Die Kontaktbuchsen werden einfach in die Kunststoffscheibe eingepreßt und anschließend zur besseren Kontaktgabe mit den Kupferbändern verlötet. Die Bohrungen mit 2,8 und 2,7 mm Durchmesser beziehen sich auf die erwähnten Kontaktbuchsen der Firma Barnes. Die Kupferröllchen, die den Abstand zwischen der Steckerplatte und der Isolierscheibe herstellen, können notfalls durch übereinandergestapelte Unterlegscheiben ersetzt werden.

Meßvorgang: Man schließt die Trennstelle mit einer Drahtbrücke kurz und steckt die Vorrichtung so weit in die Buchsen des L-Meßgerätes hinein, daß die ganze Anordnung eine Induktivität von genau 100 nH hat. Eine exakte Begrenzung der Einstecktiefe ermöglichen die Rändelmutter der Klemmen. Nach dieser Einstellung steckt man anstelle der Drahtbrücke die Anschlüsse der zu messenden Spulen in die kleinen Buchsen. Das Gerät liefert dann den Meßwert

$$L_s = L_x + L_h = L_x + 100 \text{ nH.}$$

Der abgelesene Wert braucht also nur um 100 nH vermindert zu werden, um die Induktivität L_x der unbekannten Spule zu erhalten.

Die Anordnung ist so empfindlich, daß bereits bei vorsichtigem Herausziehen der Kurzschlußbrücke Änderungen von 1 nH zu erkennen sind. Daß die Verkopplung zwischen Meßobjekt und Hilfsschleife gering ist, ließ sich anhand einer Drahtschleife mit nur 10 mm Durchmesser nachweisen: Der gemessene L-Wert deckte sich praktisch mit dem errechneten. Der Meßfehler der Anordnung hängt vor allem von der Länge der Spulenan-schlüsse ab, da ein Verändern oder Verkürzen um nur 1 mm bereits etwa

1 nH ausmacht. Spulen unter 100 nH werden sich deshalb nur auf einige Prozent genau bestimmen lassen, je nach Induktivitätswert. Die einprozentige Genauigkeit des LRT fällt kaum noch ins Gewicht.

Die Güteanzeige des LRT liefert bei Spulen mit so kleinen Induktivitätswerten nur einen Vergleichswert. Für eine absolute Anzeige ist sie nicht verwendbar, weil die Widerstände der inneren Verdrahtung und der Schalter sowie der unvermeidliche Kontaktwiderstand des Schwingkreiskondensators die gesamte Güte erheblich verschlechtern und außerdem noch frequenzabhängig machen. Schließt man die Meßbuchsen der beschriebenen Vorrichtung kurz, so ergibt sich ein Gütewert von nur etwa 15, obwohl die Bandschleife eine sehr viel höhere Güte haben müßte.

2.2.6. Messung von Induktivitäten größer als 1 H

Mit Hilfe einer Spule L_h , die am oberen Ende des größten Meßbereiches (100 bis 1000 mH) noch direkt meßbar ist, kann man auch größere Spulen mit einem L-Wert von 1 bis etwa 10 H indirekt messen. Hierzu ermittelt man erst den L-Wert der Hilfsspule L_h , schaltet dieser dann L_x parallel und mißt den L-Wert der Parallelschaltung L_p . Damit erhält man

$$L_x = (L_h \cdot L_p) / (L_h - L_p).$$

Auch hier muß man dafür sorgen, daß L_h und L_x völlig entkoppelt sind. Mit zunehmendem L-Wert von L_x nimmt die Meßgenauigkeit rasch ab. Eine Spule mit z.B. 10 H (in Parallelschaltung mit $L_h = 1$ H) ist nur mehr mit etwa ± 10 % Genauigkeit meßbar.

2.2.7. L-Vergleichsmessung mit hoher Genauigkeit

Die scharfe Resonanzanzeige im Anzeigebereich "messen" (Schalter (16) in der Stellung L-Messung) gestattet L-Vergleichsmessungen mit einer Sicherheit von $\pm 0,1\%$. Hierbei darf jedoch, bedingt durch die Größe der inneren Meßkreiskapazität, der Unterschied der Eigenkapazitäten von L_N (Normalspule) und L_x nicht größer sein als 5 pF. Hätte z.B. die Normalspule eine Eigenkapazität von 50 pF und die zu messende (oder abzugleichende) Spule eine von 100 pF, so wäre die Vergleichsmessung nur mehr mit $\pm 1\%$ Genauigkeit möglich, d.h., man würde durch die Anwendung einer Normalspule keine Genauigkeitssteigerung erreichen. Genaue Vergleichsmessungen sind aber trotz sehr unterschiedlicher Eigenkapazität ausführbar, wenn man die Eigenkapazitäten von L_N und L_x durch eine Zusatzkapazität einander angleicht. Nach obigem Beispiel müßte also der Spule L_N eine Zusatzkapazität von 50 pF parallelgeschaltet werden, um Kapazitäts-gleichheit zu erzielen.

Beim Abgleich einer Spule L_x nach einem Normal L_N schließt man erst L_N an, stimmt am LRT genau auf Resonanz ab, ersetzt dann L_N durch L_x und gleicht diese ab, bis das LRT wieder genau Resonanz anzeigt. Damit ist $L_x = L_N$.

2.2.8. Messung der Wicklungskapazität einer Spule

Zur Ermittlung der Eigenkapazität einer Spule sind zwei Messungen und eine einfache Rechnung erforderlich. Bei der ersten Messung geht man so vor, wie für die L-Messung beschrieben, liest an der Skala aber nicht den L-Wert, sondern die zugehörige Frequenz f_L ab. Für die zweite Messung wird der Meßkreisschalter auf "Spulen-C-Messung" geschaltet. Die Abstimmung wird nun nach höheren Frequenzen hin durchgedreht, bis wieder Resonanz erreicht ist. Den Regler "Anzeige" stellt man dabei so ein, daß im Anzeigebereich "messen" abgestimmt werden kann. An der Skala liest man nun die Frequenz f_e ab und ermittelt die Eigenkapazität aus

$$C_e = \left(\frac{f_L}{f_e} \right)^2 5000 - 30 \quad (\text{pF})$$

Diese Formel gilt nur für die normalerweise vorkommenden C-Werte. Bei Werten über etwa 100 pF empfiehlt sich die Anwendung der genauen Formel:

$$C_e = \frac{5000 (f_L/f_e)^2 - 30}{1 - (f_L/f_e)^2} \quad (\text{pF})$$

Wesentlich einfacher und schneller erhält man die Eigenkapazität einer Spule ohne Rechnung aus dem "Nomogramm zur Bestimmung der Wicklungskapazität" (Bild 5). Durch die Ablesungenauigkeit wird aber ein auf diese Weise ermittelter C-Wert mit einem größeren Fehler behaftet sein, als die aus der Formel berechnete Eigenkapazität einer Spule.

Der Meßbereich für die Eigenkapazität beginnt bei 0 pF. Die obere Meßbereichsgrenze wird durch die Güte Q der zu messenden Spule bestimmt. Ist die Güte zu gering, so kann das LRT die Resonanzspannung nicht mehr anzeigen. Kennt man die ungefähre Güte der Spule bei der Frequenz f_e , läßt sich mit Hilfe des Bildes 8 abschätzen, ob die Eigenkapazität der Spule mit dem LRT gemessen werden kann oder nicht. Außerdem besteht eine untere Meßbereichsgrenze, und zwar abhängig vom L-Wert der Spule, weil die höchste Meßfrequenz des LRT 4,5 MHz beträgt; das heißt, je größer der Induktivitätswert ist, desto kleiner kann die Eigenkapazität sein. Siehe Bild 9.

Für das Messen der Eigenkapazität von Übertragerwicklungen gelten die im Abschnitt 2.2.3.1. erläuterten Gesichtspunkte. Man muß also stets auch die übersetzten Wicklungskapazitäten mit berücksichtigen, das heißt überlegen, ob das Messen an einer der gegebenen Wicklungen überhaupt einen Sinn hat. Es wäre zum Beispiel sinnlos, an einer Wicklung mit 100 Windungen und etwa 100 pF Eigenkapazität diese zu messen, wenn auf dem Übertrager eine andere Wicklung mit 500 Windungen und ebenfalls etwa 100 pF Eigenkapazität vorhanden ist; denn bei diesem $ü = 5$ ist an der niederohmigen Wicklung eine Eigenkapazität von etwa $100 + 100 \cdot 5^2 = 100 + 2500 = 2600$ pF wirksam. Die Eigenkapazität der hochohmigen Wicklung dagegen ist gut meßbar, da hier die übersetzte Kapazität nur etwa $100/5^2 = 4$ pF beträgt.

2.2.9. Messung der Resonanzfrequenz von Parallelschwingkreisen

Bei Einstellung des Betriebsartenschalters auf "Spulen-C-Messung" kann die Eigenresonanz eines Parallelschwingkreises gemessen oder auch auf einen vorgeschriebenen Wert abgeglichen werden, wenn die Kapazität oder die Induktivität des Kreises veränderbar ist.

Falls die Resonanzfrequenz des zu messenden Kreises völlig unbekannt ist, so beginne man beim Aufsuchen der Resonanz am besten mit dem höchsten Frequenzbereich (2,1 ... 4,5 MHz), um nicht irrtümlich auf eine Oberwelle abzustimmen. Beim Messen von Schwingkreisen mit kleiner Kapazität muß man berücksichtigen, daß dem Kreis die innere Meßkreiskapazität $C_i = 30 \text{ pF}$ parallel liegt und daß dadurch die Resonanzfrequenz herabgesetzt wird.

In manchen Fällen, z.B. beim Vorabgleich von Bandfilterkreisen mit $C \approx 200 \text{ pF}$, spielt die durch C_i verursachte Herabsetzung der Resonanzfrequenz keine Rolle, denn in der Regel betragen auch die Schalt- und Röhrenkapazitäten im Empfänger rund 15 pF, so daß der Frequenzfehler des Vorabgleichs sehr klein ist.

Wenn aber die Resonanzfrequenz des freien Schwingkreises ermittelt werden soll, so mißt man erst den L-Wert, berechnet dann die der Spule parallel liegende Kapazität aus

$$C = \frac{1}{(2\pi f)^2 L} - C_i$$

und hieraus die wirkliche Resonanzfrequenz des freien Schwingkreises:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{CL}}$$

Die Ausführbarkeit einer Resonanzfrequenzmessung ist außer von der höchsten einstellbaren Frequenz (4,5 MHz) auch von der Güte Q der Spule und der Schwingkreiskapazität C abhängig. (Siehe Bild 8 und 9)

2.2.10. Dimensionierung einer Spule mit maximaler Güte mit Hilfe des LRT

Für Spulen und Drosseln, die in selektiven Kreisen arbeiten, ist nicht nur die Kenntnis des L-Wertes von Interesse, sondern auch der Gesamtverlustwinkel

$$\tan \delta = \frac{R}{\omega L}$$

oder der reziproke Wert, die Güte

$$Q = \frac{\omega L}{R}$$

R = Reihenwiderstand, der die Gesamtverluste der Spule repräsentiert.

Da mit größer werdender Güte z.B. die Trennschärfe eines Selektionskreises oder die Frequenzstabilität einer Oszillatorschaltung steigt, wird man versuchen, die Spule so zu dimensionieren, daß ihr Gütemaximum in der Nähe der Betriebsfrequenz liegt. Dies ist mit Hilfe von drei mit dem LRT gemessenen Punkten der Kurve $Q = f(f)$ ohne weiteres möglich, wenn bekannt ist, wie sich bei Veränderung der Kupfer- oder Eisenverluste das Verlustfaktorminimum bzw. Gütemaximum absolut und in der Frequenzlage ändert.

Der prinzipielle Verlauf des Verlustwinkels $\tan \delta$ als Funktion von Wicklungswiderstand R_{Cu} und Eisenverlustwiderstand R_{Fe} ergibt sich aus folgenden Zusammenhängen:

Der Wicklungswiderstand R_{Cu} ist bei Vernachlässigung des Skineffekts frequenzunabhängig (Bild 10a Kurve I); die Wirbelstromverluste, der Hauptteil der Eisenverluste, steigen quadratisch mit der Frequenz (Bild 10a Kurve II). Addiert man die beiden Kurven und bezieht den Gesamtwiderstand auf die Induktivität L, so erhält man die in Bild 10b wiedergegebene Kurve. Dividiert man nun noch den "bezogenen Widerstand" R/L durch $\omega = 2\pi f$, so ergibt sich der Verlustwinkel $\tan \delta = \frac{R}{\omega L}$ (Bild 10c). Aus dem horizontal verlaufenden Abschnitt der Kurve I Bild 10a entsteht der mit $\frac{1}{\omega}$ fallende Ast I' und aus der mit ω^2 ansteigenden Kurve II Bild 10a der nur noch mit ω steigende Ast II'.

Man erhält also theoretisch ein eindeutiges Dämpfungsminimum mit beidseitig unter 45° ansteigenden Flanken. Das Minimum selbst liegt bei einer Frequenz, für die

Kupferverluste = Eisenverluste

sind.

In der Praxis ist das $\tan\delta$ -Minimum bzw. das Gütemaximum nicht derart scharf ausgeprägt; es ergeben sich abgeflachtere Kurven, deren Maximum sich aber absolut und in Bezug auf die Frequenz gemäß den vorausgegangen Überlegungen verändern läßt:

2.2.10.1. Verschiebung des $\tan\delta$ -Minimums zu tieferen Frequenzen

Der Kupferverlustanteil R_{Cu}/L des bezogenen Widerstandes muß gesenkt werden. Dies kann bei noch nicht voll genutztem Wickelraum durch Vergrößerung des Drahtquerschnitts erfolgen, im anderen Fall durch die Wahl eines größeren Kerntyps mit mehr Wickelraum oder durch die Verwendung eines Werkstoffes mit größerer Permeabilität. Für diesen Fall ist allerdings zu prüfen, ob durch den Einsatz eines anderen Eisens sich nicht die Eisenverluste so ändern, daß die Verschiebung des $\tan\delta$ -Minimums und seine Absolutwertänderung aufgehoben werden. Durch diese Maßnahmen steigt auch gleichzeitig der Absolutwert der Güte. Bei der Verringerung der Windungszahl und damit der Kupferverluste durch die Wahl eines kleineren Luftspalts, d.h. größerem A_L -Wert bei gleicher Kerngröße, erhöhen sich gleichzeitig die Eisenverluste; das Gütemaximum verschiebt sich ebenfalls zu tieferen Frequenzen, steigt aber absolut nicht an.

2.2.10.2. Verschiebung des $\tan\delta$ -Minimums zu höheren Frequenzen

Der Schnittpunkt $R_{Cu} = R_{Fe}$ muß bei höheren Frequenzen liegen (Senkung der Wirbelstromverluste); dies wird bei geschichteten Übertragern durch eine dünnere Blechstärke erreicht, bei Ferritspulen durch Einführung eines Luftspalts. Die erste Möglichkeit erhöht auf jeden Fall den Absolutwert der Güte, die zweite bedingt durch verringerten A_L -Wert und damit erhöhter Windungszahl einen geringeren Kupferquerschnitt des Drahtes und somit keine absolute Verringerung des $\tan\delta$ -Minimums.

2.2.10.3. Messung der Verluste einer Probepule bei verschiedenen Frequenzen.

Die LRT-Induktivitäts- und Q-Eichung ist auf einen festen Meßkreiskondensator bezogen, d.h., der Q- und L-Wert einer bestimmten Spule lassen sich nur bei der LRT-Meßfrequenz ohne zusätzliche Rechenarbeit ermitteln. Der Meßkreiskondensator ist nicht abschaltbar; in der Stellung Spulen-C-Messung ist keine Gütemessung möglich, da die Erregerspannung nicht geeicht ist.

Die Resonanzfrequenz des Meßkreises kann aber durch Parallel- oder Reihenschaltung eines bekannten C-Wertes zum Meßkreiskondensator verändert werden. Der zu diesem Zweck benutzte Kondensator sollte keinen schlechteren Verlustfaktor als $2,5 \cdot 10^{-4}$ haben. Dies ist für gute Kunststoff-, Glimmer- oder Keramik Kondensatoren gegeben. Im anderen Falle würde bei der Messung hoher Spulengüten die Meßgenauigkeit durch den zugeschalteten Kondensator verringert.

Da die Güteablesung auf eine bestimmte Spannungsteilung zwischen Koppel- und Meßkreiskondensator bezogen ist (siehe 1.4. Arbeitsweise), muß der bei einem veränderten Meßkreiskondensator gemessene Wert mit einem Faktor k multipliziert werden. Die Frequenz kann jeweils direkt bei der Messung des Gütewertes auf der Frequenzskala abgelesen werden.

2.2.10.4. Dimensionierung einer Spule mit maximaler Güte, deren Betriebsfrequenz tiefer als die LRT-Meßfrequenz liegt.

Um den Q-Wert des Prüflings bei niedrigeren Frequenzen als der LRT-Meßfrequenz messen zu können, werden dem Meßkreiskondensator folgende Kapazitäten C_p parallelgeschaltet:

C_p (pF)	$C_{\text{Meßkreis}}$ (pF)	Faktor k $Q_{\text{ist}} = k \cdot Q_{\text{abgel.}}$	Frequenz
0	5000	1	f_{LRT}
5000	10000	2	$f_1 = (f_{\text{LRT}}/1,41)$
15000	20000	4	$f_2 = (f_{\text{LRT}}/2)$
45000	50000	10	$f_3 = (f_{\text{LRT}}/3,18)$

Hat man den Gütefaktor bei den 4 empfohlenen Frequenzen f_{LRT} , f_1 , f_2 , f_3 gemessen, so kann man den Kurvenverlauf in ein Diagramm (siehe Bild 10d) eintragen. Es können sich folgende verschiedene Tendenzen ergeben: Aus den Meßpunkten der Kurve 1 ergibt sich eindeutig, daß das Güte-
maximum zu tieferen Frequenzen verschoben werden muß; es sind also Maßnahmen nach 2.2.10.1. erforderlich. Der Kurvenverlauf von 2 liegt, was die Frequenz betrifft, optimal; der Güteverlauf nach 3 erfordert Maßnahmen nach Punkt 2.2.10.2.: Verschiebung des $\tan\delta$ -Minimums zu höheren Frequenzen. Es läßt sich also mit Hilfe des LRT der Absolutwert der Güte bei einer entsprechenden Betriebsfrequenz mit einer Genauigkeit von ungefähr $\pm 15\%$ aus dem gezeichneten Diagramm ablesen. Der Gütefaktor kann auch direkt bei der späteren Betriebsfrequenz der Spule gemessen werden, wenn man sich die Mühe macht, den eingebauten Meßkreiskondensator (5000 pF) auf den erforderlichen Kapazitätswert C_M' , mit dem die Spule arbeitet und der ja normalerweise bekannt sein wird, zu ergänzen; die gemessene Güte wird dann mit dem Faktor

$$K = \left(\frac{C_M' \cdot [\text{pF}]}{5000 \text{ pF}} \right) \text{ multipliziert.}$$

2.2.10.5. Die Betriebsfrequenz der zu entwerfenden Spule liegt höher als die LRT-Meßfrequenz

Um die Meßkreiskapazität zu verkleinern, wird in Reihe zu dem eingebauten Meßkreiskondensator ein in der Tabelle aufgeführter Kondensator C_{reihe} geschaltet. Dies erfolgt, indem man Prüfling L_x und C_{reihe} in Reihe legt und das freie Ende der Spule an die Rändelklemme (14) und das des Kondensators an die Massebuchse anschließt. Die abgelesenen Q-Werte müssen dann mit folgenden Faktoren multipliziert werden:

C_{reihe} [pF]	$C_{\text{Meßkreis}}$ [pF]	Faktor k ($Q_{\text{ist}} = Q_{\text{gemessen}} \cdot k$)	Frequenz
0	5000	1	f_{LRT}
5000	2500	2	$f_1 = f_{LRT} \cdot 1,41$
2000	1430	3,5	$f_2 = f_{LRT} \cdot 1,87$
1000	833	6	$f_3 = f_{LRT} \cdot 2,45$

Möchte man die Güte bei einer bestimmten Frequenz messen, so ist zunächst die Größe des mit L_x in Reihe zu schaltenden Kondensators zu bestimmen. $C_{\text{Meßkreis}}$ entspricht demjenigen Kondensator, mit dem die Spule später im Betrieb zusammenarbeitet.

$$C_{\text{reihe}} = \frac{5000 \text{ pF} \cdot C_{\text{Meßkreis}} [\text{pF}]}{5000 \text{ pF} - C_{\text{Meßkreis}} [\text{pF}]}$$

Die gemessene Güte muß dann mit dem Faktor

$$K = \left(\frac{5000}{C_{\text{reihe}}} + 1 \right)$$

multipliziert werden.

Nach der Messung läßt sich dann ebenso wie unter 2.2.10.4. aus der Lage der gezeichneten Kurven abschätzen, welche Maßnahmen erforderlich sind, um das Gütemaximum in Richtung der Betriebsfrequenz zu verschieben.

3. Wartung und Reparatur

3.1. Wartung

3.1.1. Lagerung

Das LRT kann bei Temperaturen zwischen -20°C und $+70^{\circ}\text{C}$ gelagert werden. Hierzu ist aber zu bemerken, daß die natürliche Alterung von Kondensatoren und Isolation der Verdrahtung mit steigender Temperatur stark zunimmt. Hohe Luftfeuchtigkeit fördert Korrosionserscheinungen und kann außerdem die Genauigkeit des L- und Q-Abgleichs verringern (Veränderung des Eigenkapazitätswertes und der Güte der Oszillatorspule). Aus diesem Grund sollte man auch die Bildung von Kondenswasser, das beim plötzlichen Wechsel von niedrigen zu hohen Umgebungstemperaturen auftritt, vermeiden.

3.1.2. Prüfung der Geräteeigenschaften

Unter 1.1. wurde schon erwähnt, daß das Gerät mechanisch und elektrisch so dimensioniert ist, daß normalerweise auch nach Jahren keine Nachtrimmarbeit erforderlich wird. Möchte man sich trotzdem vergewissern, ob die unter 1.2. gemachten Angaben und Toleranzen noch voll eingehalten werden, so sind folgende Messungen bei einer Umgebungstemperatur von 20 ... 25 °C und normaler Luftfeuchtigkeit durchzuführen.

3.1.2.1. Prüfung der L-Eichung über die Frequenz

Die Induktivitätsmessung mit dem LRT beruht auf der Resonanzfrequenzmessung des aus Prüfling L_x und Meßkreiskondensator gebildeten Meßkreises.

3.1.2.1.1. Prüfung der Frequenzeichung des Generators

Vor der Messung sind die Schrauben (1), (5), (8) und (15) zu lösen und das Gerät aus dem Kasten zu nehmen. Im Bereich 100 ... 1000 μH werden die Frequenzen 220 kHz, 200 kHz, 170 kHz, 140 kHz, 120 kHz, 90 kHz, 70 kHz nachgemessen (Trimpunkte beim Abgleich des Gerätes). Stimmen diese Meßergebnisse mit den eingestellten Sollfrequenzen auf $\pm 0,4\%$ überein, so sind sowohl der Induktivitätswert der Spule L_4 , der Wert des Trimmers C16 als auch der Kapazitätsverlauf des Senderdrehkondensators als richtig anzusehen. Für die übrigen Bereiche brauchen nur noch die Eckfrequenzen gemessen zu werden, um sicher zu gehen, daß sich die Trimmer C13 ... C20 und die L-Werte der Oszillatorspulen nicht geändert haben.

Ein Frequenzmesser $R_E = 100\text{ k}\Omega$ kann für die unteren Bereiche direkt am Kollektor von T1 (Punkt 13) der gedruckten Schaltung 6100-6.5 angeschlossen werden. Die gedruckte Schaltung ist auf dem Bereichsschalter S1 befestigt. Für die drei hohen Frequenzbereiche muß dagegen zwischen dem Auskoppelkondensator C25 und dem gemeinsamen Punkt der Koppler C27 ... C31 gemessen werden. Im anderen Falle könnte die Eingangskapazität des Frequenzmessers die Oszillatorfrequenz geringfügig verwerfen.

3.1.2.1.2. Überprüfung der Meßkreiskapazität

Der Schalter S2 wird auf $Q = 100$ gestellt. Die Messung erfolgt mit einer Durchgriffskapazitätsmeßbrücke bei $f = 10$ kHz zwischen den Buchsen Bu1 und Bu2. Da der Anzeigeverstärker eingesteckt und das Gerät eingeschaltet sein muß, soll die Spannung am Meßobjekt 80 mV nicht überschreiten. Das entspricht Vollausschlag des Instruments bei der Stellung "Q-Messung" des Schalters S3.

Sollwert der Meßkreiskapazität 5000 pF ± 5 pF.

3.1.2.1.3. Kontrolle der Eigenkapazität

Es wird bei gleichem Meßaufbau wie unter 3.1.2.1.2. gemessen, der Schalter S2 allerdings auf "Wicklungs-C-Messung" gestellt. Sollwert der inneren Meßkreiskapazität 30 pF $\pm 0,3$ pF.

3.1.2.2. Überprüfung der L-Eichung mit L-Normalen

Ist man im Besitz von L-Normalen, so läßt sich auch mit diesen die Genauigkeit des Gerätes kontrollieren. Es sollten jeweils die Bereichswerte sowie 2 über den Bereich verteilte Meßpunkte überprüft werden. Vor der Kontrollmessung ist die Eigenkapazität des Normal mit dem LRT zu messen und festzustellen, ob eine Korrektur nach Abschnitt 2.2.3.1. erforderlich ist. Sind die Normalen selbst angefertigt und mit einer Niederfrequenzmeßbrücke abgeglichen worden, so sollte man sich für die kleinen Induktivitätswerte auf jeden Fall vergewissern, in welcher Ersatzschaltung das Normal gemessen wurde, wie groß der Gütefaktor Q bei der Brückenmeßfrequenz war und ob eine Umrechnung des L-Wertes für Reihen-ersatzschaltung in den L-Wert für Parallelersatzschaltung erforderlich ist.

3.1.2.3. Überprüfung der Q-Eichung

Wie unter Abschnitt 1.4. beschrieben, ist die Genauigkeit der Güteableitung von der Größe und Konstanz der Oszillatorspannung, der Genauigkeit des kapazitiven Spannungsteilers und dem Anzeigeverstärker abhängig. Es ist deshalb erforderlich, wenn man nicht im Besitz von Gütenormalen ist, die in bestimmten Verhältnissen zueinander stehenden Spannungswerte der einzelnen Funktionsgruppen nachzumessen und in ein Prüfprotokoll einzutragen.

3.1.2.3.1. Kontrolle der Oszillatorspannungsamplitude

Die Oszillatorspannung U_{CE} wird bei 400 kHz mit einem Röhrenvoltmeter mit Tastkopf, Mindestgenauigkeit $\pm 3\%$ ($C_e \leq 5 \text{ pF}$, $R_E \geq 500 \text{ k}\Omega$, z.B. R & S-Spannungs-Strom-Widerstandsmeßgerät URI) am Punkt 13 der Oszillatorplatte 6100-6.5 kontrolliert. Dieser für die Eichung des Gerätes wichtige Meßpunkt wird in das Meßprotokoll eingetragen.

An dieser Stelle sollte außerdem die größte und kleinste Oszillatorspannung für jeden Bereich gemessen und auf ihre Toleranz von $\pm 8\%$ zum Sollwert von $2,7 V_{\text{eff}}$ geprüft werden.

3.1.2.3.2. Kontrolle der Meßkreiserregerspannung

Diese Spannungsmessung muß mit einem selektiven Mikrovoltmeter $C_e \leq 50 \text{ pF}$, $R_E \geq 100 \text{ k}\Omega$, z.B. mit Type USVH erfolgen. C_E ist die Summe der Eingangskapazität des Meßgerätes und der Kapazität des Meßkabels.

Es wird bei einer Frequenz von 400 kHz zwischen den Buchsen Bu1 und Bu2 (Bu2 liegt an der Masse) gemessen. Die Spannungen für die vier verschiedenen Koppler, Schalter S2 auf $Q = 30$, $Q = 100$, $Q = 300$, $Q = 1000$ werden in das Meßprotokoll eingetragen. Sollwerte siehe Beispiel Meßprotokoll.

3.1.2.3.3. Kontrolle des Anzeigeverstärkers

In der Stellung "Wicklungs-C-Messung" des Schalters S2 ist der Meßkreis-kondensator vom Meßkreis getrennt und es kann zur Kontrolle des Anzeige-verstärkers direkt an den Buchsen Bu1 und Bu2 mit einem Meßsender $R_i \leq 100\Omega$ (z.B. R & S-Meßsender SRB) bei $f = 400 \text{ kHz}$ eingespeist werden. Es ist diejenige Speisespannung U_{sp} zu ermitteln, die nötig ist, damit der Anzeigeverstärker in der Stellung "Q-Messung" des Schalters S3 einen Ausschlag von 10 Skt zeigt. Das entspricht also den Güten $Q = 100$ oder $Q = 1000$. Die Größe der Speisespannung ist mit dem gleichen Meßgerät nachzumessen, mit dem die Erregerspannungen überprüft werden und der Wert in das Meßprotokoll einzutragen. Der Sollwert beträgt $80 \text{ mV}_{\text{eff}} \pm 3\%$.

Neben diesem für die Gesamteichung des Meßgerätes wichtigen Wert sind noch folgende charakteristischen Eigenschaften des Anzeigeverstärkers zu überprüfen:

3.1.2.3.3.1. Linearität bei Q-Messung

Einspeisung [mV_{eff}]	Anzeige	Toleranz
$U_{\text{sp}} = 80$	10 Skt	± 0 Skt
$\frac{U_{\text{sp}}}{2} = 40$	4,9 Skt	$\pm 0,2$ Skt
$\frac{U_{\text{sp}}}{4} = 20$	2,5 Skt	$\pm 0,5$ Skt

3.1.2.3.3.2. Frequenzgang

Die Speisespannung ist so zu wählen, daß bei $f = 10 \text{ kHz}$ ein Ausschlag von 10 Skt entsteht. Damit ergibt sich bei gleicher Speisespannung für

$$f = 1 \text{ kHz} \quad 10 \text{ Skt} \begin{matrix} +0 \\ -2 \end{matrix} \text{ Skt}$$

$$f = 5 \text{ MHz} \quad 10 \text{ Skt} \begin{matrix} +0 \\ -2 \end{matrix} \text{ Skt}$$

3.1.2.3.3.3. Anzeige bei L-Messung

In der Stellung "L-Messung" des Schalters S3 sollen sich ungefähr folgende Zeigerausschläge für die verschiedenen Stellungen des Potentiometers R55 (Drehknopf (10)) ergeben:

R55 links kleinste Empfindlichk. Speisespannung [mV]	R55 rechts größte Empfindlichk. Speisespannung [mV]	mit angegebener Ein- speisung soll folgen- der Instrumentaus- schlag einstellbar sein [Skt]
73 ± 30 %	4 ± 30 %	0,5
86,5 ± 30 %	17,5 ± 30 %	10

3.1.2.3.3.4. Eingangswiderstand

Ein 10-M Ω -Widerstand wird vor den Eingang (direkt an die Buchsenleiste) des Anzeigeverstärkers gelötet und die Spannungsverringernng am Ausgang der Einspeisung gegenüber ohne Vorwiderstand gemessen. Dann ergibt sich der Eingangswiderstand R_E zu

$$R_E = \frac{R_V}{\frac{U_1}{U_2} - 1}$$

Meßfrequenz 1 kHz

Da nur die Größenordnung des Eingangswiderstandes von $R_E = > 20 \text{ M}\Omega$ bestimmt zu werden braucht, kann die Spannung U_2 bei linearer Anzeigecharakteristik des Anzeigeverstärkers in der Stellung "Q-Messung" aus dem Zeigerausschlag des Instruments ermittelt werden (Vollausschlag entspricht 80 mV).

3.1.2.3.4. Meßprotokoll zur Überprüfung der Q-Anzeige

Geprüft: L-Meßgerät Typ LRT BN 6100

Benutzte Meßgeräte

Oszillatorspannung U_{CE} : Röhrenvoltmeter Typ URI,

Meßkreiserregerspannung U_{err} : Selektives Mikrovoltmeter Typ USVH

Speisespannung für Anzeigeverstärker U_{sp} : Meßsender Typ SRB

Meßergebnisse

Meßfrequenz = 400 kHz	U_{Osz} [V _{eff}]	U_{err} [mV _{eff}]				Speisespg. damit A.V. Vollausschl. U_{sp} [mV _{eff}]
		Koppler Q = 30	Q = 100	Q = 300	Q = 1000	
Sollwerte	2,7	2,53	0,8	0,25	0,08	80
Meßwerte						
Meßwerte nach Abgleich des Gerätes						

3.1.2.3.5. Auswertung der Meßergebnisse

Verhält sich die für Vollausschlag des Anzeigeverstärkers notwendige Speisespannung U_{sp} zu den verschiedenen Erregerspannungen wie

$$31,6 : 1 \quad 100 : 1 \quad 316 : 1 \quad 1000 : 1,$$

so ist die Q-Eichung richtig eingestellt.

Ein Meßwert für die Oszillatorspannung wurde aus dem Grunde mit in das Prüfprotokoll aufgenommen, um bei einem Fehler die Ursache direkt feststellen und beheben zu können.

3.1.2.4. Kontrolle der Wicklungs-C-Messung

Die Frequenzzeichnung des Generators wurde schon unter 3.1.2.1. kontrolliert. Wenn nicht die innere Meßkreiskapazität durch Lötarbeiten an der Meßkreisverdrahtung (Veränderung an der Schirmung) verkleinert oder vergrößert wurde, ist keine Nachprüfung erforderlich. Im anderen Falle ist die innere Eigenkapazität nach 3.1.2.1.3. zu überprüfen.

3.1.3. Elektrische Wartung

In den folgenden Abschnitten sind analog zu der Gliederung des Kapitels 3.1.2. "Prüfung der Geräteeigenschaften" diejenigen Trimmerarbeiten beschrieben, die zur Wiederherstellung der Solleigenschaften der einzelnen Funktionsgruppen erforderlich sind.

Es ist auf jeden Fall zu empfehlen, die eigene Meßschaltung auf Fehlermöglichkeiten zu überprüfen, bevor man einen von der Firma Rohde & Schwarz eingestellten Abgleichwert verändert, ganz besonders dann, wenn keine einleuchtende Ursache für den Fehlwert des LRT-Abgleichs bekannt ist.

3.1.3.1. Frequenzabgleich des Generators

Der Abgleich des Oszillators wird für den Bereich IV (100 ... 1000 μ H) beschrieben, da hier auch der Senderdrehkondensator C23 des LRT im Prüffeld getrimmt wird. Das Einstellen der oberen und unteren Grenzfrequenzen gilt sinngemäß auch für die anderen Bereiche; der C-Verlauf des Senderdrehkondensators darf dagegen nicht mehr verändert werden.

Bei der Überprüfung der Frequenzzeichnung nach 3.1.2.1.1. kann sich folgendes Fehlerverhalten ergeben:

3.1.3.1.1. Abgleich des L-Wertes der Oszillatorspulen

Der prozentuale Meßfehler zwischen den auf der Skala des Senderdrehkondensators eingestellten Sollwerten (220 kHz, 200 kHz, 170 kHz, 140 kHz, 120 kHz, 90 kHz, 70 kHz) und den abgelesenen Meßwerten ist für die tiefen und hohen Frequenzen des Bereichs gleich groß.

Dies deutet darauf hin, daß sich der L-Wert der Oszillatorspule L4 verstimmt hat. Den L-Wert der Spule nun über die Frequenz zu trimmen, ist nur dann möglich, wenn sichergestellt ist, daß der C-Verlauf des Senderdrehkondensators seinen Sollwerten entspricht. Dies ist dann der Fall, wenn der Frequenzverlauf des Generators zumindest in einem Bereich zufriedenstellend ist. Im anderen Fall muß die Spule L4 ausgebaut und auf ihren Sollwert von 4,9 mH $\pm 0,3$ % eingestellt werden. Die Messung erfolgt bei $f = 10$ kHz zwischen den Anschlüssen 1 ... 4 z.B. mit der LC-Präzisionsmeßbrücke Typ LCB.

3.1.3.1.2. Abgleich der Trimmer C13 ... C20

Diagnose: Die Meßwerte der tiefen Frequenzen stimmen mit den eingestellten Sollwerten ziemlich genau überein, zu den hohen Frequenzen des Meßbereichs hingegen wächst der prozentuale Fehler.

Ein solches Fehlerverhalten ergibt sich, wenn der C-Wert des Trimmers C16 nicht mehr stimmt oder die hierzu parallelliegende Eigenkapazität der Oszillatorspule sich geändert hat. Bei tiefen Frequenzen ist der Einfluß einer derartigen Verstimmung deshalb wesentlich geringer, da dort die gesamte Drehkondensatorkapazität von ca. 1000 pF der Spule L8

parallellliegt und somit der prozentuale Fehler, hervorgerufen durch die Verstimmung von einigen Pikofarad, kleiner ist als im hohen Frequenzbereich, wo die Drehkondensatorkapazität nur ca. 40 pF beträgt. Die Frequenz wird mit dem Trimmer C16 auf ihren Sollwert eingestellt. (Zu beachten ist, daß sich die unter 3.1.3.1.1. und 3.1.3.1.2. beschriebenen Abgleicharbeiten gegenseitig beeinflussen).

3.1.3.1.3. Abgleich des Senderdrehkondensators

Der prozentuale Fehler zeigt keinerlei Regelmäßigkeit. In diesem Fall ist der Kapazitätsverlauf des Senderdrehkondensators fehlerhaft. Die Spule L4, die als Bezugsnorm für die Trimmerarbeit am Drehkondensator dient, muß ausgebaut und, wie unter 3.1.3.1.1. beschrieben, mit einer Präzisionsmeßbrücke überprüft und gegebenenfalls nachgetrimmt werden. Nach dem Einbau der Spule wird nun der Zeiger ④ auf 220 kHz gestellt und die Generatorfrequenz auf diesen Sollwert $\pm 0,1\%$ mit dem Trimmer C16 nachgeregelt. Die übrigen Frequenzen des Bereiches werden nacheinander, bei den hohen Werten beginnend, durch Verbiegen der Randplatten des Drehkondensators abgeglichen. Dies geschieht, indem man diejenigen Randplatten des Rotors, die sich beim Einstellen auf die entsprechende Sollfrequenz gerade in das Statorpaket schieben, mit einer Justierzange verbiegt. Dabei wird die Frequenz höher, wenn der Abstand zwischen Stator und Rotorplatte vergrößert wird, da dies einer Kapazitätsverringerung des Drehkondensators entspricht. Verkleinert sich dagegen der Abstand der Kondensatorplatten, so verschiebt sich die Generatorfrequenz zu tieferen Werten. Nach diesem Abgleich sind die Randfrequenzen aller übrigen Meßbereiche zu kontrollieren.

3.1.3.2. Abgleich des Meßkreises

3.1.3.2.1. Abgleich der Meßkreiskapazität

Hat sich beim Überprüfen der Meßkreiskapazität nach 3.1.2.1.2. ein größerer Fehler als $\pm 0,3\%$ ergeben, so ist die Ursache hierfür zu suchen, z.B. ein loser Draht in der Meßkreisverdrahtung. Wurde an den Kondensatoren C34, C35, C36 gelötet, so ist vor der Messung so lange zu warten, bis die betreffenden Bauelemente wieder normale Betriebstemperatur haben.

Der Sollwert der Meßkreiskapazität von 5000 pF ± 2 pF kann dann mit dem Trimmer C35 eingestellt werden.

3.1.3.2.2. Abgleich der inneren Eigenkapazität

Unter 3.1.2.1.3. gemessene Abweichungen können mit dem Trimmer C33 nachgestellt werden.

3.1.3.2.3. Abgleich der inneren Verdrahtungsinduktivität

Die Verdrahtungsinduktivität des LRT-Meßkreises ist im Stromlauf durch die Spule L8 dargestellt. Sie ergibt sich aus der Drahtführung von Punkt 20 der gedruckten Platine 6100-1.10 über den Schalter S2IR zur Buchse 1 (Rändelklemme (14)). Kontrolle und Abgleich können nur mit Hilfe eines 0,1 μ H Normals durchgeführt werden. Der Abgleich erfolgt, indem man die Verbindung von Punkt 20 zum Schalterpunkt S2IR2 so verbiegt, daß sich bei eingestecktem 0,1- μ H-Normal maximaler Ausschlag am Instrument ergibt.

3.1.3.3. Abgleich der Gütefaktormessung

Für den Nachabgleich der Q-Eichung sind entsprechend dem Abschnitt 3.1.2.3. folgende Arbeiten erforderlich:

Da die Gütefaktormessung, wie schon beschrieben, von der Genauigkeit der Spannungsverhältnisse zwischen Oszillator, Auskopplung und Anzeigerverstärker abhängig ist, sollten nach Trimmarbeiten an einer Funktionsgruppe alle Meßwerte nachgeprüft und in die Spalte "Meßwert nach Abgleich des Gerätes" der Tabelle auf Seite 34 eingetragen werden.

3.1.3.3.1. Abgleich der Oszillatorspannungsamplitude

Zeigt sich bei der Messung der Oszillatorspannungsamplitude nach 3.1.2.3.1., daß die Oszillatorspannung für einen Frequenzbereich die zulässige Toleranz stark überschreitet, für die anderen Bereiche aber ihrem Sollwert entspricht, so ist zunächst der Shunt-Widerstand des betreffenden Bereiches zu überprüfen. Die Widerstände R17, R18, R19, R20, R56 liegen direkt an den Lötflächen der Oszillatorspulen. Die jeweiligen Nummern der Lötösen sind aus dem Stromlauf ersichtlich. Liegt der Fehler nicht in einem defekten oder nicht angeschlossenen Widerstand oder an einem von außen erkennbaren, z.B. durch Verbiegen der Verdrahtung entstandenen, teilweisen Kurzschluß einer Wicklung, so ist die Fehlerursache mit Hilfe der Reparaturanleitung zu suchen und zu beseitigen.

Ist die Oszillatorspannung in allen Bereichen zu hoch oder zu niedrig, so haben sich wahrscheinlich die Transistordaten von T1 oder T2 geändert. In diesem Fall wird mit dem Potentiometer R6 bei einer Frequenz von 400 kHz die Oszillatorspannung auf ihren Sollwert getrimmt. Ergibt sich bei der Überprüfung des Arbeitspunktes von T1 am Widerstand R9 auf den im Stromlauf angegebenen Spannungswert eine größere Abweichung als $\pm 20\%$, so sind die beiden Transistoren T1 und T2 gegen typengleiche Exemplare auszuwechseln, die Wechselspannungsamplitude auf ihren Sollwert von 2,7 V $\pm 3\%$ einzustellen und der Arbeitspunkt von T1 zu kontrollieren.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß das Löten an gedruckten Platten äußerste Sorgfalt und Spezialwerkzeug erfordert. Die Temperatur der LötKolbenspitze darf nicht zu hoch liegen. Das flüssige Lötzinn des betreffenden Lötunktes wird mit einer Spezialpumpe von der Leiterplatte abgesaugt. Nun kann der abgewinkelte Anschlußdraht des Bauelementes gerade gebogen und nach oben aus der Schaltung gezogen werden. Es darf auf keinen Fall Gewalt angewendet werden, da hierdurch sowohl Bauelement wie Leiterbahn gefährdet werden.

Im Anschluß an diese Arbeit muß die größte und kleinste Oszillatorspannung für jeden Bereich gemessen und auf ihre Toleranz von $\pm 8\%$ zum Sollwert geprüft werden.

Bemerkt man bei dieser Kontrolle, daß in einem Bereich beim Durchdrehen der Frequenz die Schwingung kurzzeitig ganz abreißt, so stelle man fest, ob dies auch in einem anderen Bereich bei gleicher Drehkondensatorstellung erkennbar ist. Die Ursache für diese Erscheinung ist fast immer eine Verunreinigung eines Drehkondensators. Ein Tropfen Lötzinn, ein kurzes, abgeschnittenes Drahtende oder auch nur starker Staub schließen die Platten des Stator- und Rotorpaketes meistens nur in einer bestimmten Stellung des Drehkondensators kurz, so daß die Schwingung abreißt. Man entfernt die Verunreinigung am besten mit einem Borstenpinsel, ohne mit dem Schaftende die Kondensatorplatten zu berühren. Das Ausblasen mit Preßluft ist zu vermeiden, da sich bei zu starkem Luftstrom die Platten verbiegen können, wodurch die gesamte Eichung verfälscht wird.

3.1.3.3.2. Abgleich der Meßkreiserregerspannung

Ist die Oszillatorspannungsamplitude nachgemessen bzw. auf ihren Sollwert abgeglichen worden und liegen die Erregerspannungen für alle Kopplkondensatorstellungen um einen bestimmten Prozentsatz zu hoch oder zu tief, so wird dieser Fehler der Auskoppelspannung mit dem Koppler C25, der Verbindung zwischen Generator und Meßkreis korrigiert.

Sollwert der Auskoppelspannung U_1 gemessen zwischen C25 und C26...C31 gegen Masse 315 mV $\pm 3\%$ (Meßgerät: das gleiche Gerät verwenden wie unter 3.1.2.3.2.). Der Trimmer C25 liegt zwischen Schalter S1 und der Oszillatorspule L1.

Ist die Erregerspannung für einen Q-Bereich fehlerhaft bzw. sind mehrere Bereiche mit unterschiedlichen Fehlern behaftet, so werden die Erregerspannungen mit den entsprechenden Kopplern auf ihre Sollwerte getrimmt.

Stellung des Schalters (12) auf	Q = 30	Q = 100	Q = 300	Q = 1000
eingeschalteter Koppler	C30, C31	C29	C28	C27
Sollwerte der Erregerspannung [mV]	2,53	0,8	0,25	0,08

Die Koppler sind auf einem Winkel montiert, der direkt auf den Schalter S2 geschraubt ist.

3.1.3.3.3. Abgleich des Anzeigeverstärkers

Weicht die unter 3.1.2.3.3. gemessene Speisespannung, die zur Erzielung eines Instrumentenausschlages von 10 Skt erforderlich ist, nicht stärker als $\pm 10\%$ vom Sollwert ab, so kann die Gesamtverstärkung des Anzeigeverstärkers mit dem Potentiometer R45 nachgeregelt werden. Das Potentiometer ist bei eingestecktem Anzeigeverstärker von oben durch eine Bohrung seitlich von den Schwingspulen mit einem Schraubenzieher zugänglich.

Größere Abweichungen der Meßergebnisse vom Sollwert lassen darauf schließen, daß die Funktion des Anzeigeverstärkers grundlegend gestört ist. Die Ursache hierfür kann das sehr starke Absinken der Verstärkung eines Transistors oder eine defekte Gleichrichterdiode im Anzeigeteil sein. Zeigen allerdings die Meßwerte unter 3.1.2.3.3.2. sehr große Fehler, so kann die Verdrahtung, ein Koppelkondensator oder ein die Gleichstromgegenkopplung überbrückender Tantalelektrolytkondensator defekt sein. In diesem Fall sollte man zunächst die im Kapitel 3.4.4. beschriebenen Prüfungen und erforderlichen Reparaturen vornehmen, bevor die Arbeitspunkte der Transistoren des Anzeigeverstärkers nachgestellt bzw. Dioden oder Transistoren ausgetauscht werden. Die Lage der einzelnen Bauelemente und die Leiterführungen der gedruckten Platte sind auf einfache Weise aus der Zeichnung 6100-5 Bl. 2 zu erkennen. Man zieht die gedruckte Platte 6100-5 nach oben aus dem Gerät. Zur Überprüfung der Arbeitspunkte der Transistoren wird die gedruckte Schaltung flach auf den Tisch gelegt und eine Gleichspannung von $18\text{ V} \pm 2\%$ am Kondensator C53 eingespeist. Stimmt der Meßwert für den Arbeitspunkt einer Stufe nicht mit dem im Stromlauf angegebenen Wert überein, so ist der entsprechende Transistor gegen einen typengleichen auszuwechseln, der Arbeitspunkt neu einzustellen und die Verstärkung des gesamten Anzeigeverstärkers im eingebauten Zustand auf seinen Sollwert mit dem Potentiometer R45 abzugleichen. Gleichzeitig hiermit müßten auch Fehler, die unter 3.1.2.3.3.1. festgestellt werden, behoben sein.

Läßt sich bei der Überprüfung der Transistoren kein Fehler finden, so sind die Dioden G1 7 ... G1 10 auf ihre Funktionsfähigkeit hin zu messen.

3.1.3.3.3.1. Abgleich der Nullpunktunterdrückung für die Stellung L-Messung des Anzeigeverstärkers

Arbeitet der Anzeigeverstärker in der Stellung Q-Messung fehlerfrei, erreicht aber beim Umschalten des Schalters (16) auf L-Messung nicht die erforderliche Empfindlichkeit, so kann dies nur an der abgesunkenen Verstärkung des Transistors T8 oder an der Diode G1 12 liegen.

Ist die Speisespannung zur Erzielung eines Instrumentausschlages von 0,5 Skt und 10 Skt (siehe 3.1.2.3.3.3. Anzeige bei L-Messung) jeweils um den gleichen Betrag zu groß, so ist sehr wahrscheinlich der Transistor nicht mehr in Ordnung. Entspricht dagegen die Speisespannung für 0,5 Skt Ausschlag ungefähr dem Sollwert und ist andererseits für Vollauschlag eine zu hohe Einspeisung erforderlich, so begrenzt die Diode zu früh; sie muß ausgewechselt werden.

3.1.3.3.3.2. Abgleich des Eingangswiderstandes

Zeigt sich bei der Messung nach 3.1.2.3.3.4., daß der Eingangswiderstand unter den angegebenen Wert abgesunken ist, so muß der Feldeffekttransistor T5 ausgewechselt werden. Im Anschluß hieran ist der Arbeitspunkt nachzuregeln und die innere Meßkreiskapazität nach 3.1.2.1.2. zu überprüfen.

3.1.4. Mechanische Wartung

Der Drehkondensatortrieb, die Schlittenführung des Ablesezeigers und die beiden Seiltriebe werden im Werk einmal mit einem nicht harzenden Fett geschmiert und bedürfen normalerweise keiner Wartung.

3.2. Schaltungsbeschreibung

Auf Grund des Meßprinzips (siehe Blockschaltbild Bild 1) setzt sich das LRT aus folgenden Funktionsgruppen zusammen:

Dem stetig durchstimbaren, geregelten Oszillator, der Kopplungsstufe, dem Meßkreis, dem Anzeigeverstärker mit Gleichrichtung und Nullpunktunterdrückung sowie dem geregelten Netzteil.

3.2.1. Oszillator

Die LRT-Meßfrequenz ist in 7 Bereiche unterteilt. Die Umschaltung der Oszillatorspulen L1 ... L7, das entspricht der Bereichswahl 1 μ H bis 1 H, erfolgt über den Schalter S1. Mit Hilfe des Drehkondensators C23 läßt sich jeweils die Frequenz innerhalb eines Bereiches variieren. Die Funktion der einzelnen Bauelemente und Wicklungen einer Oszillatorspule soll für den Bereich 7 (0,1 H ... 1 H, Oszillatorspule L7) erklärt werden; sie gilt sinngemäß aber auch für die übrigen Spulen.

Die Frequenz des Generators wird durch die Induktivität der Spule L7 1 ... 4 (wobei Punkt 1 an Masse liegt) und der Parallelschaltung von C41, dem Trimmer C13 und dem Drehkondensator C23 bestimmt. Bei vorabgeglichenem, definiertem Kapazitätsverlauf des Drehkondensators wird die untere Randfrequenz eines Bereichs durch Einstellen der Induktivität der Oszillatorspule L7 mit Hilfe des Abgleichkerns getrimmt. Für die Eichung der oberen Sollfrequenz wird der Trimmer C13, parallel dazu der kleine Kondensator C41, verwandt. Der Schichtwiderstand R17 parallel zur Schwingwicklung dient zum Abgleich des Absolutwertes und der Verbesserung des Frequenzganges der Amplitude.

Um eine möglichst hohe Frequenzkonstanz zu erhalten, ist die Kollektorstromwicklung (Anschluß 5 und 7) von der frequenzbestimmenden Schwingwicklung noch einmal entkoppelt.

Mit Hilfe der Regelungswicklung (Anschluß 3) wird über die Diode G1 4 eine Gleichspannung erzeugt. Diese dient mit dem als Emitterwiderstand von T1 arbeitenden Transistor T2 zur Amplitudenregelung des Oszillators. Steigt die Oszillatorspannung über den Sollwert, so steigt auch die Spannung an der Regelungswicklung und damit die an der Diode G1 4 gleichgerichtete Spannung. Der Transistor T2 wird dadurch zugesteuert, der Ruhestrom des Transistors T1 sinkt und damit auch seine Verstärkung und die Oszillatorausgangsspannung.

Der Kondensator C1 hat die Aufgabe, den Emitterwiderstand von T1 wechselstrommäßig zu überbrücken. Er muß von Bereich zu Bereich umgeschaltet werden, da Pendelschwingungen auftreten, wenn die Zeitkonstante von C1 und der Emitterwiderstand eine bestimmte Größe überschreiten.

3.2.2. Auskopplung und Teilung der Oszillatorspannung

Die Erregerspannung für den Meßkreis wird an der Kollektorwicklung abgenommen. Mit Hilfe des aus C25 und der Summe der Koppelkondensatoren C27 ... C31 gebildeten kapazitiven Teilers wird die Kollektorspannung von ca. 2,7 V auf 0,315 V geteilt. Die zwischen C25 und dem gemeinsamen Punkt der Kondensatoren C27 ... C31 liegende Spannung ist unabhängig von der Stellung des Schalters S2 konstant, da die nicht eingeschalteten Koppler über den Schalter an Masse und der eingeschaltete Kondensator über den Meßkreiskondensator praktisch auch an Masse liegen. Eine zweite kapazitive Teilung erfolgt nun zwischen dem eingeschalteten Koppler und dem Meßkreiskondensator; dieses Teilungsverhältnis (also die Größe des eingeschalteten Kopplers bestimmt die Höhe der Erregerspannung und damit den vorgewählten Q-Bereich.

3.2.3. Meßkreis

Der eigentliche Meßkreis wird gebildet aus dem Prüfling L_x , zu dem in Reihe die abgegliche Verdrahtungsinduktivität L_8 liegt, und dem Meßkreiskondensator. Dieser setzt sich aus der Parallelschaltung von C34, C35, C36 und der inneren Meßkreiskapazität zusammen (Verdrahtungs- und Verstärker-Eingangskapazität).

3.2.4. Anzeigeverstärker

Der Anzeigeverstärker setzt sich aus der Eingangsstufe, dem Verstärker und dem Anzeigeteil mit Gleichrichtung sowie der Nullpunktunterdrückung für I-Messung zusammen. In der ersten Stufe, einem als Sourcefolger geschalteten Feldeffekttransistor, wird der Eingangswiderstand auf ungefähr 55 M Ω erhöht. Der folgende 2stufige Verstärker setzt die Spannung von ca. 80 mV_{eff} (maximale Spannung am Meßkreis) auf etwa 3,6 V_{eff} hinauf; dies entspricht einer Verstärkung von ca. 33 dB. Der Kondensator C51 mit R43 in Reihe vermindert die Gegenkopplung an der oberen Frequenzgrenze geringfügig und wirkt damit dem Absinken der Verstärkung entgegen.

Im Anzeigeteil wird die Ausgangsspannung des Verstärkers bei der Gleichrichtung vervierfacht. Diese Spannung kann einmal direkt über R54 vom Instrument J1 angezeigt werden (Schalter S3 : "Q-Messung").

Bei der L-Messung verändert man mit Hilfe von T8 je nach Stellung des Potentiometers R55 die Nullpunkt-Unterdrückung, wobei die Empfindlichkeit unabhängig von der Unterdrückung etwa konstant bleibt.

Die Diode G1 12 dient bei der Messung mit unterdrücktem Nullpunkt zum Schutze des Instrumentes. Der Widerstand R57 ist erforderlich, da die Diode beim Umschalten von „L-Messung“ auf „Q-Messung“ kurzzeitig zwischen +18 V und 0 V liegt.

3.2.5. Stromversorgung

Die Stromversorgung erfolgt aus einem Netztransformator und anschließender Gleichrichtung in Brückenschaltung. Nach einer Siebung wird die Gleichspannung mit einer Zenerdiode auf 18 V stabilisiert.

3.3. Mechanischer Aufbau

Das LRT ist seinen elektrischen Funktionsgruppen entsprechend in mechanische Konstruktionseinheiten aufgegliedert.

- a) Frontplatte mit Meßkreis
- b) Bereichumschaltwerk, Skalentrommel- und Zeigertrieb sind eine kompakte Einheit. An dieser Einheit ist auch der Anzeigeverstärker befestigt. Er ist steckbar und kann deshalb ohne Löten ausgewechselt werden.
- c) Auf einer Zwischenplatte sind die Oszillatorspulen, der Drehkondensator und der Bereichsschalter mit gedruckter Oszillatorplatte montiert.
- d) Die an der Rückseite des Meßgerätes befestigte Wanne trägt den Netzteil. Sie ist nach Lösen der Halteschrauben nur noch durch den Kabelbaum mit dem Gerät verbunden, so daß sie sich leicht zur Seite schwenken läßt. Der Oszillator ist dann ohne Behinderung zugänglich.

3.4. Reparatur

Hier sind diejenigen Fehler beschrieben, die nicht durch den Nachabgleich eines Bauteiles oder das Auswechseln von Dioden und Transistoren behoben werden können. Als Fehlerursache für eine Störung oder den Ausfall des Gerätes kann praktisch jedes Bauelement und jeder Verdrahtungszweig in Frage kommen. In den meisten Fällen liegt jedoch die Ursache bei

Bauteilen, die einem Verschleiß unterliegen, mechanisch besonders empfindlich sind oder bei Alterung ihre Eigenschaften ändern. In den folgenden Abschnitten der Reparaturanleitung werden deshalb auch nur diese Bauelemente, der durch sie möglicherweise hervorgerufene Fehler und seine Beseitigung behandelt.

3.4.1. Reparatur des Netzteils

Leuchtet die Kontrolllampe (7) nicht mehr auf, und hat man sich vergewissert, daß die Lampe selber in Ordnung ist, so überprüfe man die Sicherung Si1 (siehe 2.1.2. Einstellen des Gerätes auf die gegebene Netzspannung). Hat diese noch Durchgang, so ist sehr wahrscheinlich das Netzkabel oder der Schalter S5 defekt. Beide Teile können nicht repariert, sondern nur gegen neue ausgewechselt werden. Ist die Sicherung dagegen durchgebrannt, so liegt wahrscheinlich sekundärseitig ein Kurzschluß vor. Man löse an der Zenerdiode alle Leitungen ab, die zu den Verbrauchern gehen und schließe parallel zur Diode eine Ersatzlast von $1,4 \text{ k}\Omega$ ($N_{\min} 0,3 \text{ W}$) an. Nun kann eine neue Sicherung eingelegt und die Spannung an der Zenerdiode mit einem Gleichspannungsvoltmeter auf ihren Sollwert von $16,8 \text{ V} \dots 19 \text{ V}$ geprüft werden; die primäre Stromaufnahme beträgt dabei $16,5 \text{ mA} \pm 20 \%$. Werden diese Werte stärker über- oder unterschritten bzw. brennt die Sicherung erneut durch, so liegt der Fehler im Netzteil selbst. Die gesamte Verdrahtung dieser Gruppe muß überprüft werden; ist hierbei die Ursache für den Kurzschluß nicht zu finden, so sind nacheinander der Transformator Tr1, der Gleichrichter Gl 1, die Siebkette (C40, C39, C38, R2 und R4) sowie die Zenerdiode Gl 3 zu kontrollieren.

3.4.2. Reparatur am Oszillator

3.4.2.1. Reparatur der elektrischen Bauteile

Ergibt sich beim Abstimmen auf Resonanz kein Ausschlag mehr und arbeitet der Netzteil zufriedenstellend, so überprüfe man nach 3.1.3.1. und 3.1.3.3.1. den Oszillator. Stellt man hierbei fest, daß der Generator ganz oder teilweise in seiner Funktion gestört ist und lassen sich durch die unter "Wartung" beschriebenen Arbeiten die Solleigenschaften

nicht mehr herstellen, so kontrolliere man zunächst die am fehleranfälligsten Bauelemente des Generators: Bereichsschalter S1 und seine Verdrahtung, den Drehkondensator C23 und die Schwingspulen L1 ... L7. Arbeitet der Oszillator in einem oder mehreren Bereichen einwandfrei, so scheidet der Drehkondensator als Fehlerursache mit größter Wahrscheinlichkeit aus. Zur Kontrolle des Schalters vergewissere man sich, ob die Rotormesser des Schalters S1 für den defekten Bereich in der Mitte der jeweils eingeschalteten Kontaktzangen (das Ende der Kontaktzange ist als Lötflanke ausgebildet) stehen. Trifft dies nur ungenau zu oder stellt man eine starke Verschmutzung der Schaltkontakte fest, so ist mit einem Ohmmeter der Durchgangswiderstand festzustellen. Liegt die Fehlerursache an falscher Stellung von Schleifer und Kontakt zueinander oder ist die Kontaktzange durch axiale Belastung der Schaltachse auseinandergedrückt oder verbogen, so muß ein Ersatzschalter eingebaut werden oder das Gerät zur Reparatur an das Werk eingeschickt werden. Stark verschmutzte Kontakte arbeiten nach der Behandlung mit einem Kontaktreinigungsspray normalerweise für eine gewisse Zeit wieder zufriedenstellend. Ist das Kontaktmaterial dagegen durch stark aggressive Umgebungseinflüsse angegriffen worden, empfiehlt sich ebenfalls der Austausch des Schalters. Lag der Fehler dagegen nicht am Schalter, so überprüfe man durch Sichtkontrolle und leichten Zug mit einer Pinzette an den Schaltdrähten, Lötstellen an der Verdrahtung des entsprechenden Bereiches. Muß an der Verdrahtung des Gerätes gelötet werden, ist auf jeden Fall vorher der Netzstecker zu ziehen.

Ist das Meßgerät starker Stoßbeanspruchung ausgesetzt gewesen, z.B. durch Herabfallen vom Tisch, so kann unter Umständen der Ferritkern einer Spule gebrochen sein. Dies läßt sich in den meisten Fällen durch Aufschrauben der Halterung von außen erkennen. Die defekte Spule muß ausgebaut und der Kern ausgewechselt werden. Vor dem Einbau der Spule wird diese mit einer Meßbrücke oder einem anderen LRT vorabgeglichen. Nach dem Einbau müssen die Frequenzbereichsendwerte entsprechend 3.1.3.1. getrimmt werden.

Der Austausch der Transistoren T1 und T2 sowie die Reinigung des Drehkondensators C23 wurde schon unter 3.1.3.3.1. behandelt. Die übrigen Bauelemente der gedruckten Platte 6100-6.5 dürften normalerweise nicht als Fehlerursache in Erscheinung treten.

3.4.2.2. Reparatur der mechanischen Bauteile

Bewegt sich beim Umschalten des Bereichsschalters die Skalentrommel bzw. beim Durchdrehen der Frequenz der Abstimmzeiger (4) nicht, so ist die Ursache hierfür ein loser Bedienungsknopf, eine rutschende Schalterkupplung oder ein defektes Antriebsseil. Bedienungsknopf und Kupplung können durch Anziehen der Madenschrauben mit Innensechskant wieder rutschfrei auf der Achse befestigt werden. Es ist lediglich darauf zu achten, daß die Bereichsanzeige dem durch die Stellung des Schalters S1 bestimmten Bereich entspricht.

Dies gilt auch beim Auswechseln des Antriebsseils für die Skalentrommel. Beim Erneuern des Seils für den Abstimmzeiger muß auf jeden Fall wieder ein Skalenseil ZAL 19 x 0,1 ~ 120 mm lang verwendet werden, das von R&S als Ersatzteil bezogen werden kann. Spiel im Antrieb oder ein rutschendes Seil wirken sich direkt auf die Genauigkeit des Gerätes aus. Zur Einstellung des Skalenzeigers löst man die Befestigungsschraube der Kupplung, über die die Verbindung zwischen Skalenzeigerantrieb und Drehkondensator erfolgt. Nun dreht man den Skalenzeiger an den rechten Anschlag und stellt den Drehkondensator so, daß er ganz eingedreht ist. Jetzt kann die Schraube zur Befestigung der Kupplung auf der Antriebswelle wieder angezogen werden. Nach erfolgter Reparatur sind die Randfrequenzen nach 3.1.2.1.1. im Bereich 100 ... 1000 µH zu überprüfen. Stimmen die Werte nicht, so ist noch einmal eine Korrektur der mechanischen Einstellung Drehkondensator zur Abstimmanzeige erforderlich.

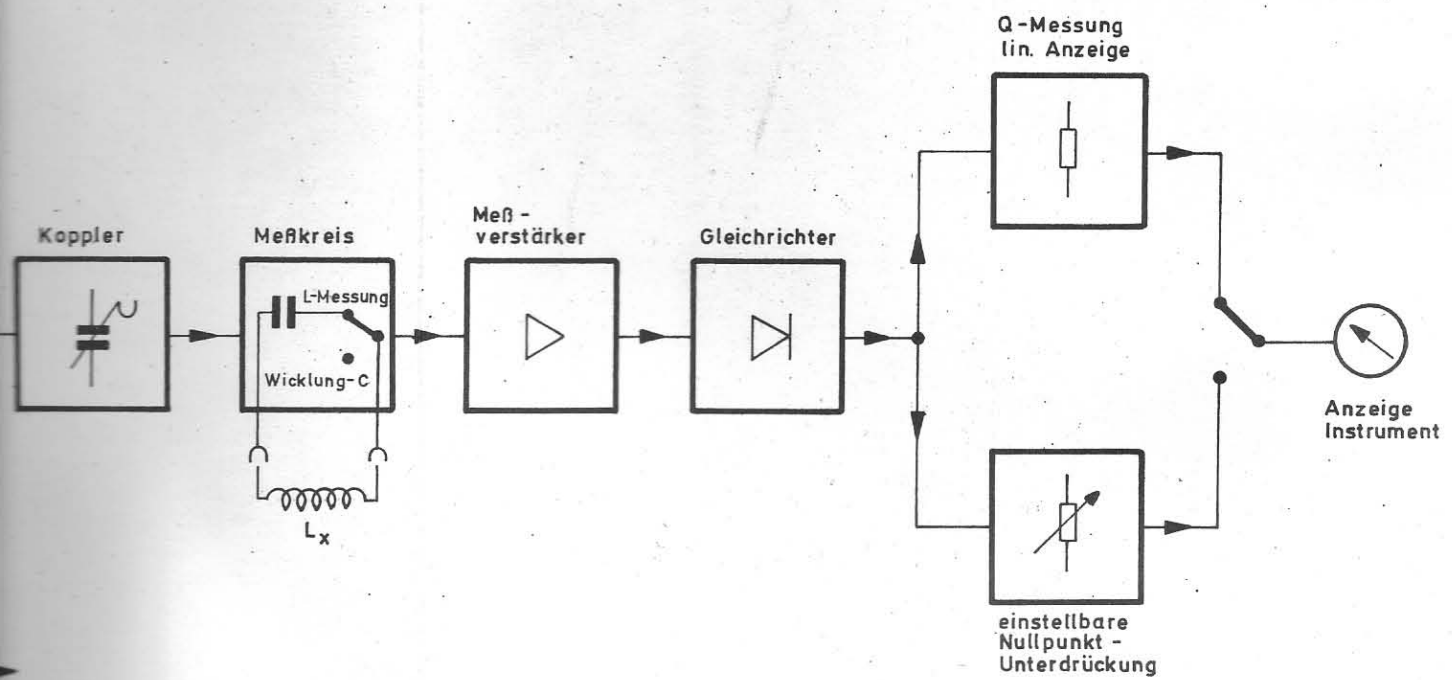
3.4.3. Reparatur des Meßkreises

Die Bauelemente des Meßkreises, Lufttrimmer der Kopplungsstufe und die Styroflexkondensatoren, sind nicht fehleranfällig; man überprüfe deshalb, bevor man den Meßkreis näher untersucht, durch Einspeisung mit einem Meßsender die Funktionsfähigkeit des Verstärkers. Zeigt es sich, daß der Anzeigeverstärker zufriedenstellend arbeitet, so liegt der Fehler in der Verdrahtung des Meßkreises oder am Schalter S2. Für die Reparatur dieser beiden Punkte gilt das gleiche wie für das unter 3.4.2.1. Gesagte.

3.4.4. Reparatur des Anzeigeverstärkers

Das Austauschen der Transistoren des Anzeigeverstärkers und die Kontrolle der Gleichrichterdiode wurden schon unter 3.1.3.3.3. und 3.1.3.3.3.1. behandelt. Lassen sich hiermit die Solleigenschaften der Anzeige nicht mehr herstellen, so kontrolliere man zunächst die Verdrahtung der gesamten Gruppe und den Schalter S3.

Liegt hier keine Fehlerursache vor, so ist die gedruckte Platine 6100-5 nach oben aus dem Gerät zu ziehen und wie unter 3.1.3.3.3. beschrieben an den Kondensator C53 die Gleichversorgungsspannung zu legen. Nun kann am Widerstand R28 eine Testspannung von 80 mV, $f = 10 \text{ kHz}$ eingespeist werden. Für diese Einspeisung muß sich am Kondensator C54 eine Wechselspannung von $3,6 \text{ V}_{\text{eff}} \pm 20 \%$ und am Anschlußpunkt 8 der Steckerleiste Bu3 eine Gleichspannung von $15 \text{ V} \pm 20 \%$ ergeben. Wird der Spannungswert am Kondensator C54 stark unterschritten, bzw. ist gar kein Signal mehr meßbar, so läßt sich der Fehler durch Messen an den Koppelkondensatoren C46 und C49 eingrenzen. Im anderen Falle (die Spannung an C54 entspricht ihrem Sollwert) ist die Gleichrichterschaltung noch einmal genau zu überprüfen. Liegt die Ursache für den Ausfall des Anzeigeverstärkers an einem defekten Bauteil und muß dieses ausgewechselt werden, so gilt für das Löten an der gedruckten Platte das gleiche wie unter 3.1.3.3.1.



Blockschaltbild

Bild 1.

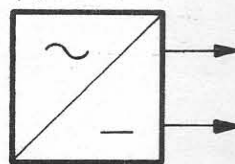
LC-Generator
2,2kHz - 4,5 MHz



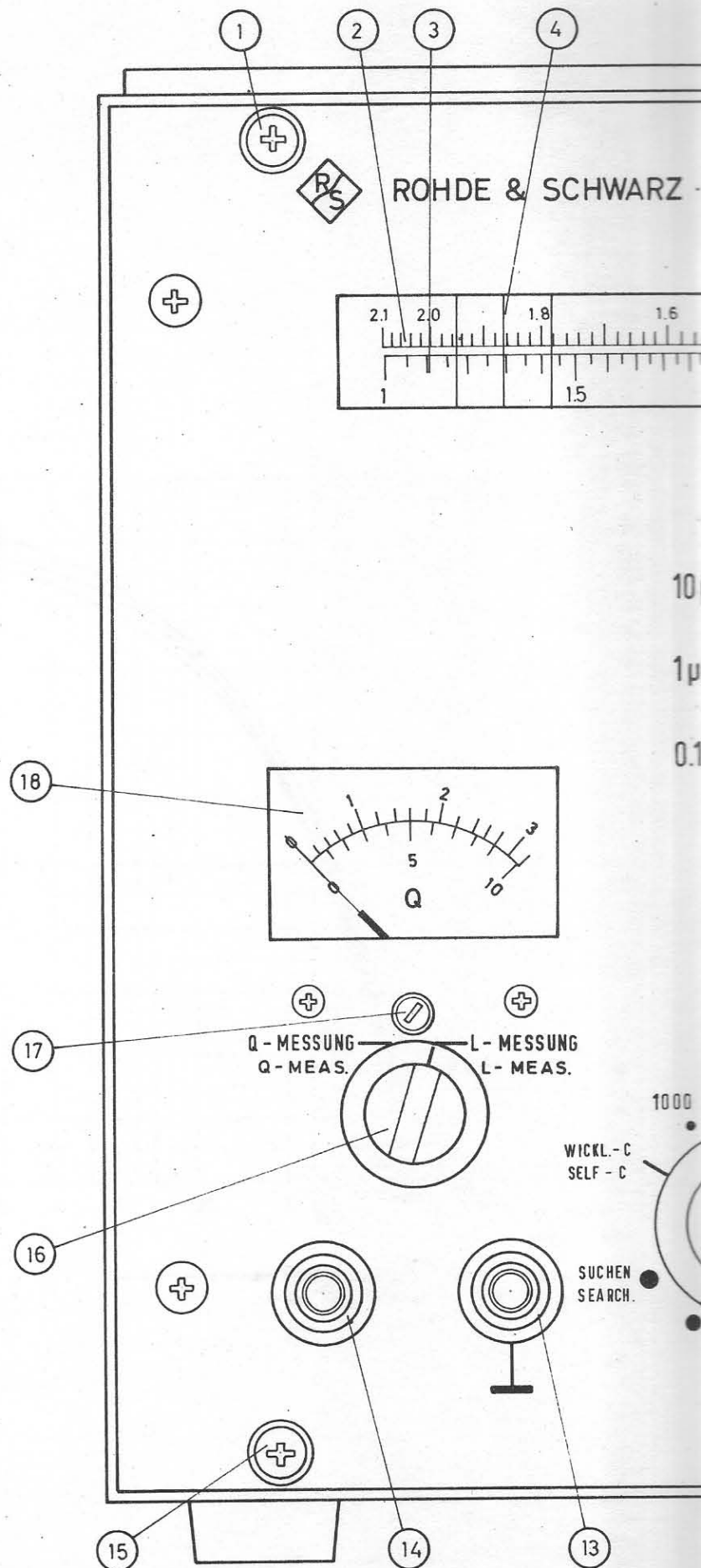
Koppl



Netzteil

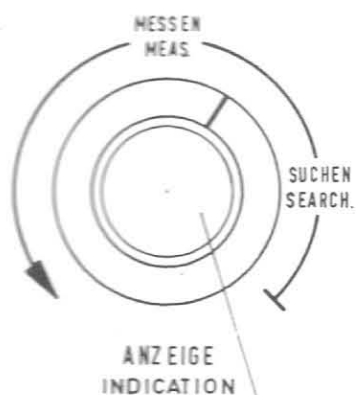
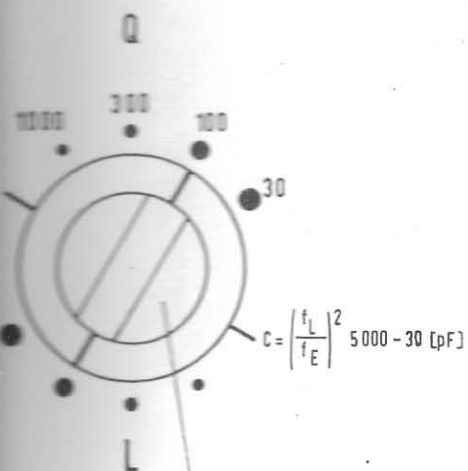
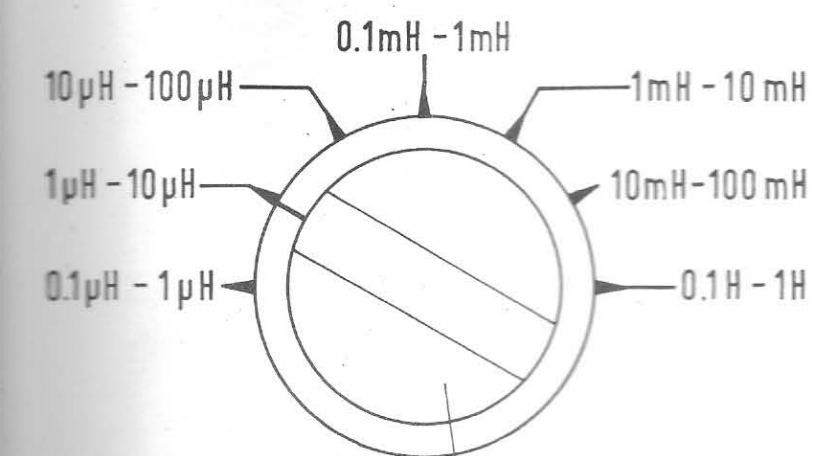
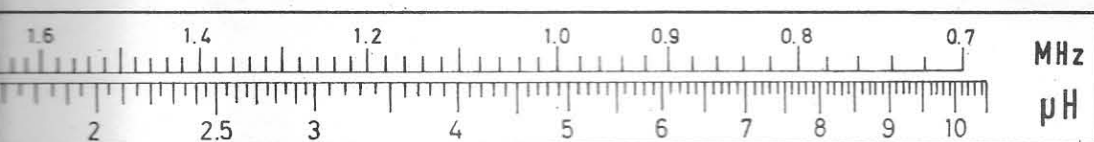


geregelt



R 16070
Bl. 53

ARZ · L-MESSGERÄT · INDUCTANCE METER · TYPE LRT · BN 6100



NETZ POWER



12

11

10

9

8

7

6

5

Bedienungsorgane an der Frontplatte

Bild 2.

Korrekturfaktor k



1,01

1,00

0,99

0,98

0,97

0,96

0,95

0,94

0,93

0,92

0,91

0,90

R 16070
Bl. 54

Anteil k

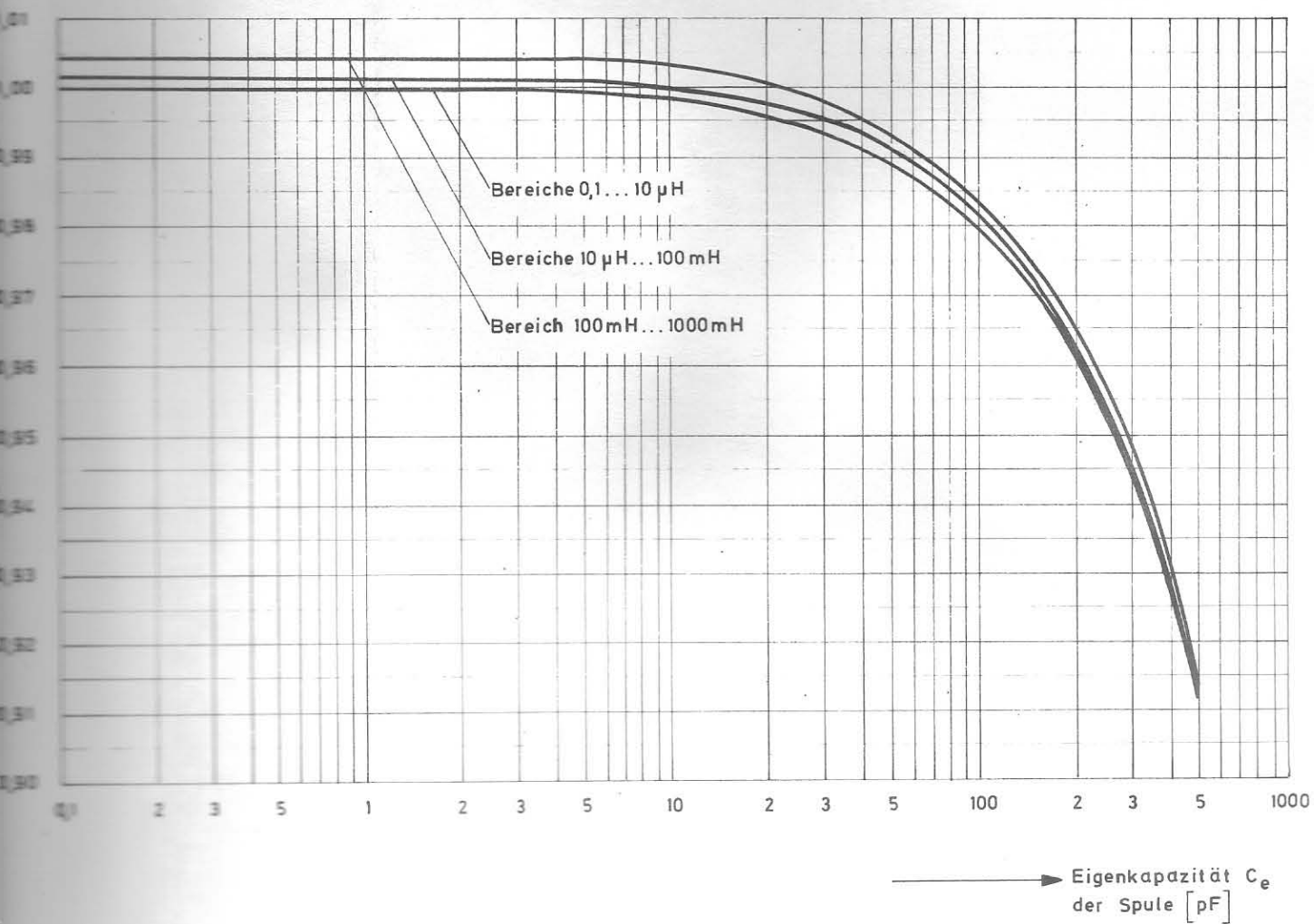
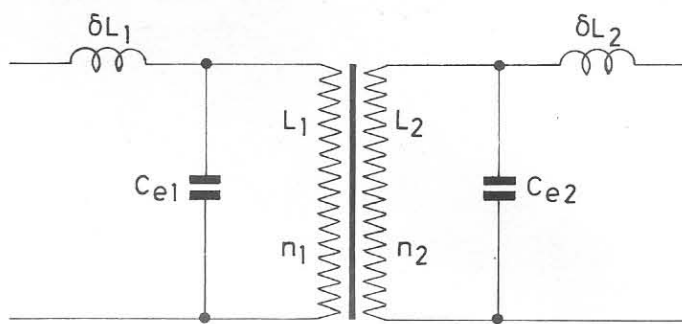


Diagramm zur Korrektur der L-Werte von
Spulen mit großer Wicklungskapazität

Bild 3.



Ersatzschaltbild eines Übertragers

Bild 4 .

1 MHz f_L

f_L = Resonanzfrequenz mit eingeschaltetem
Meßkreiskondensator gemessen
Schalter S2 auf L-Messung

10 MHz f_e

f_e = Resonanzfrequenz mit abgeschaltetem
Meßkreiskondensator gemessen
Schalter S2 auf Stellung "Spulen-C-Messung"

100 kHz

1 MHz

10 kHz

100 kHz

10 kHz

2 kHz

5 kHz

Meßbeispiel :

$f_L = 300 \text{ kHz}$

$f_e = 2 \text{ MHz}$

$C_E = 82,5 \text{ pF}$

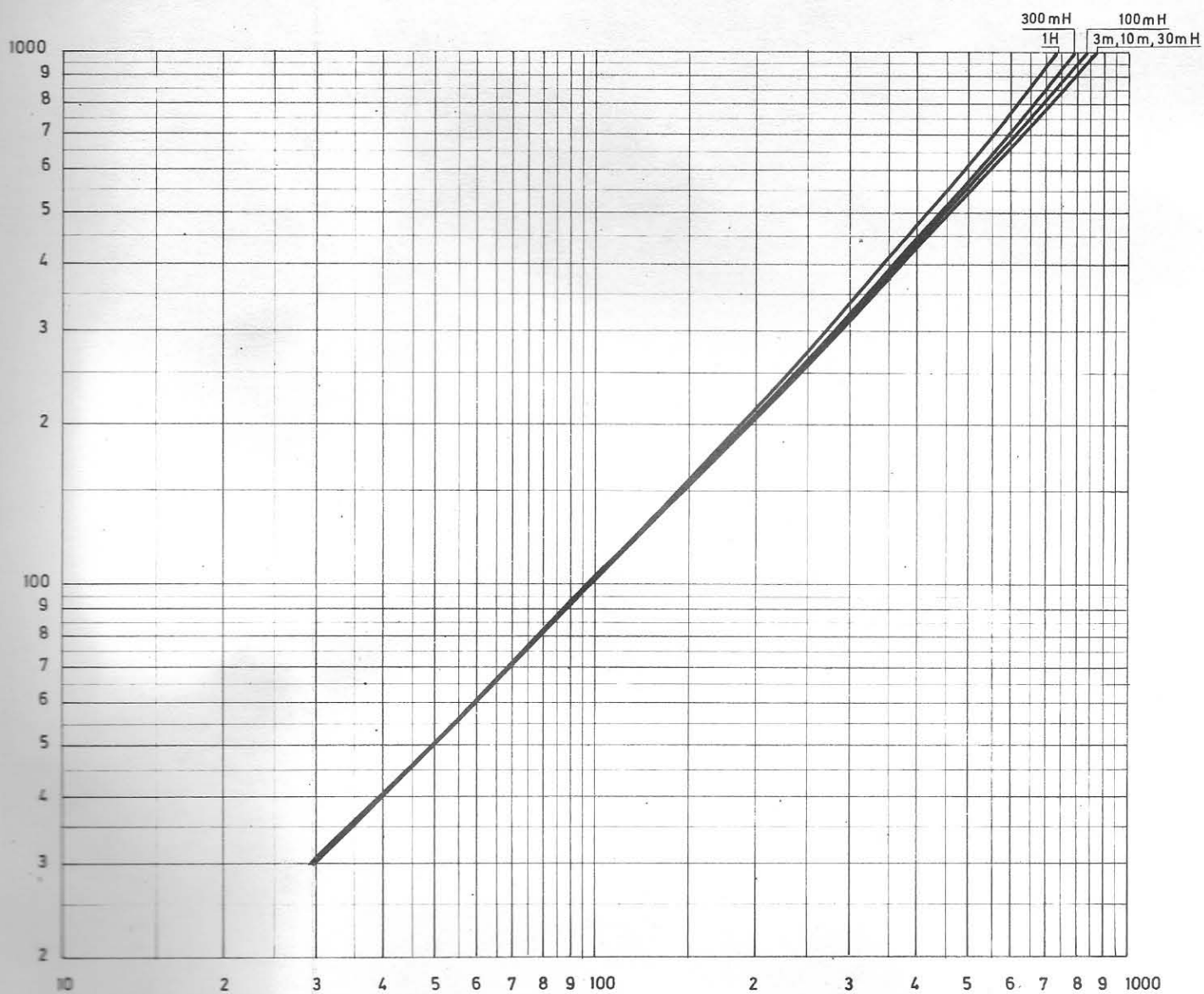
$C_E [\text{pF}]$

1
2
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
60
70
80
90
100
120
140
160
180
200

Nomogramm zur Ermittlung der
Eigenkapazität von Spulen

Bild 5.

tsächlicher Gütewert
es Meßobjektes



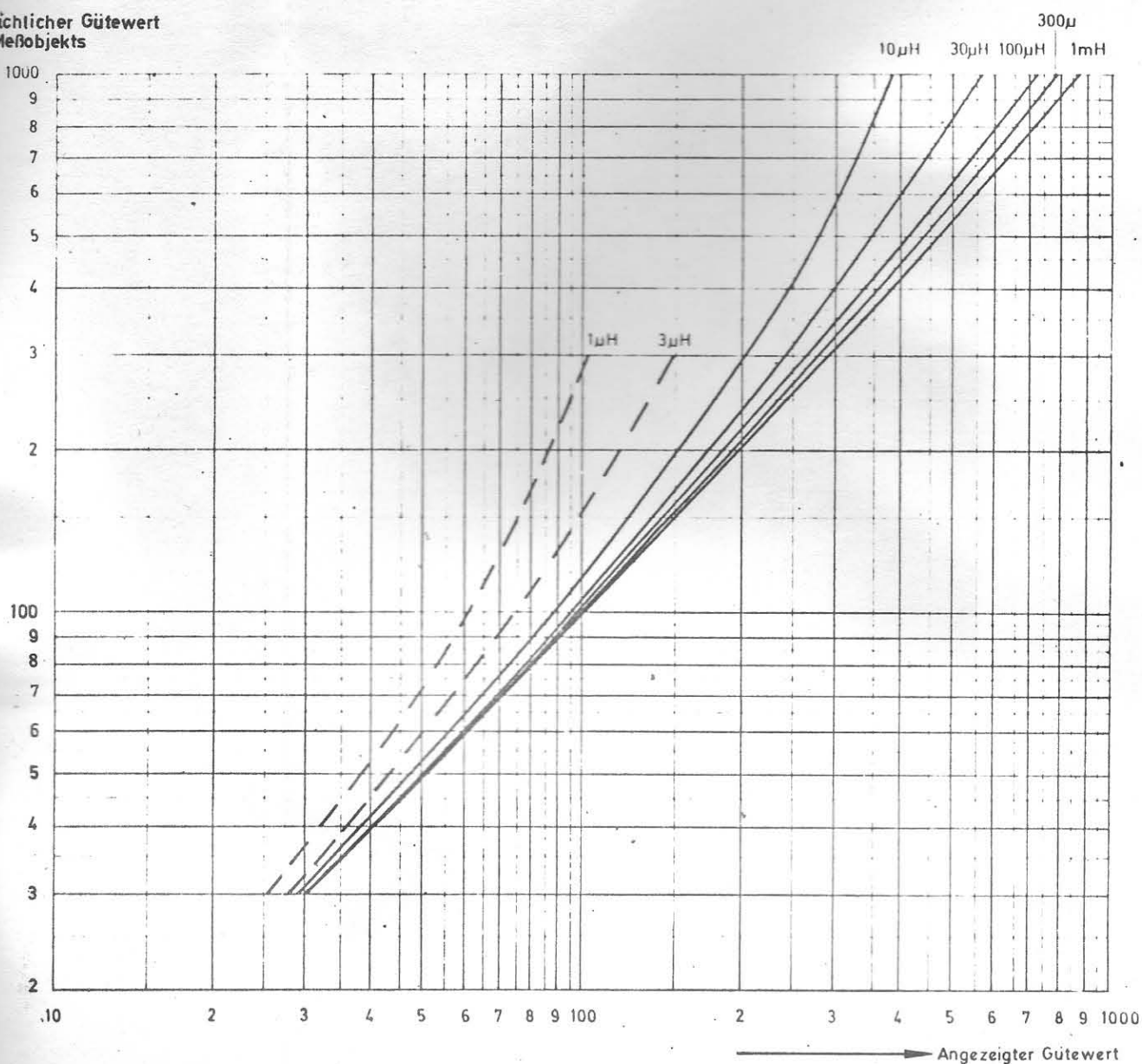
Anzeige-Abweichung bedingt durch:
a) den endlichen Eingangswiderstand des Anzeigeverstärkers,
welcher bei hohen Resonanzwiderständen eine zusätzliche
Meßkreisbedämpfung verursacht
b) die Verluste des Meßkreis Kondensators

→ Angezeigter Gütewert

Korrektur der Gütemessung bei
großen Induktivitätswerten

Bild 6.

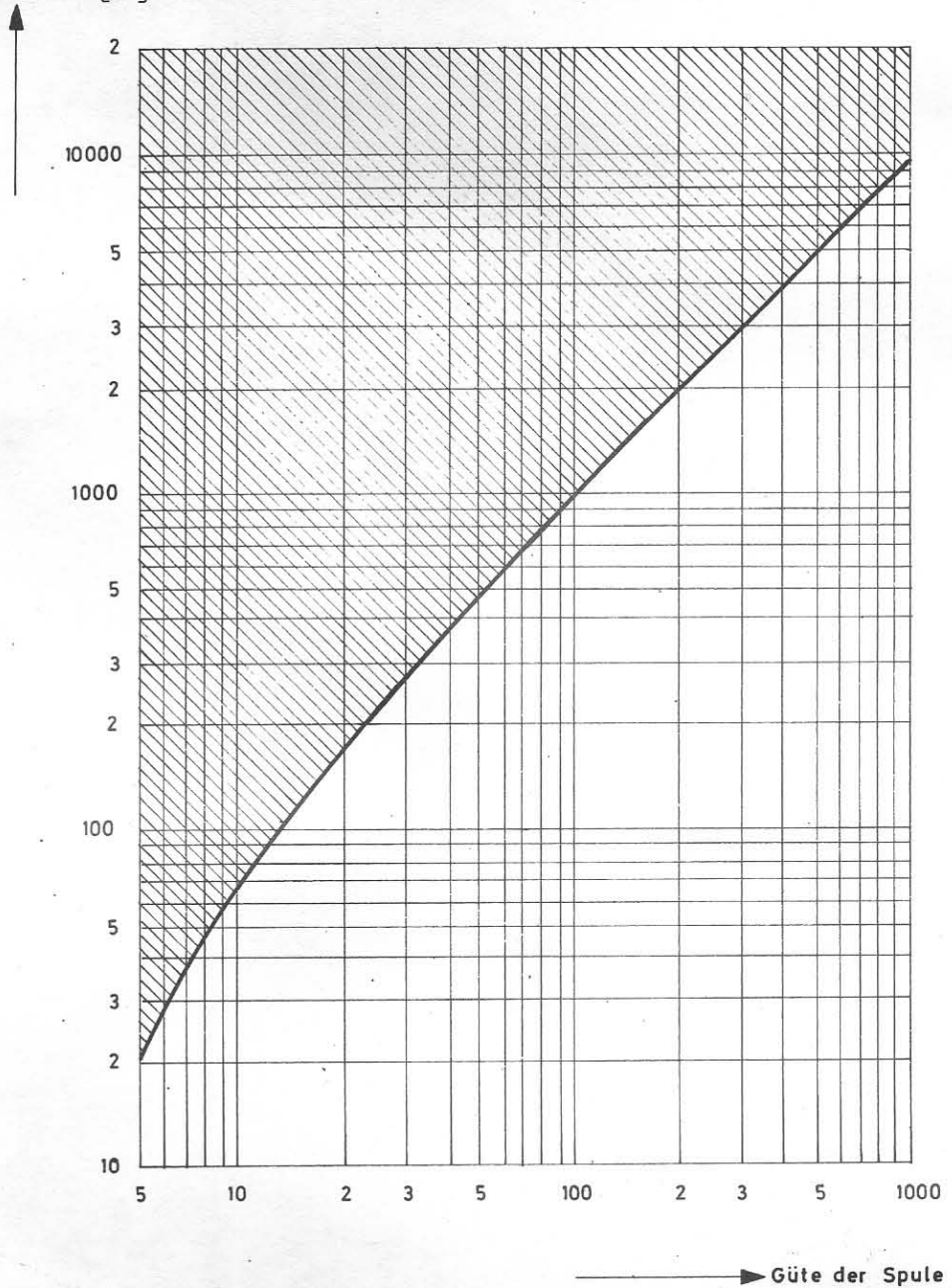
Tatsächlicher Gütewert
des Meßobjekts



Anzeige - Abweichung bedingt durch die geringe Güte
der Eigeninduktivität des Meßkreises und durch die
Verluste des Meßkreiskondensators.
(Die gestrichelten Kurven deuten die starke Verschlech-
terung des Meßkreises für sehr kleine Induktivitäten
an; sie sind für eine Korrektur nur bedingt verwendbar.)

Korrektur der Gütemessung bei
kleinen Induktivitätswerten

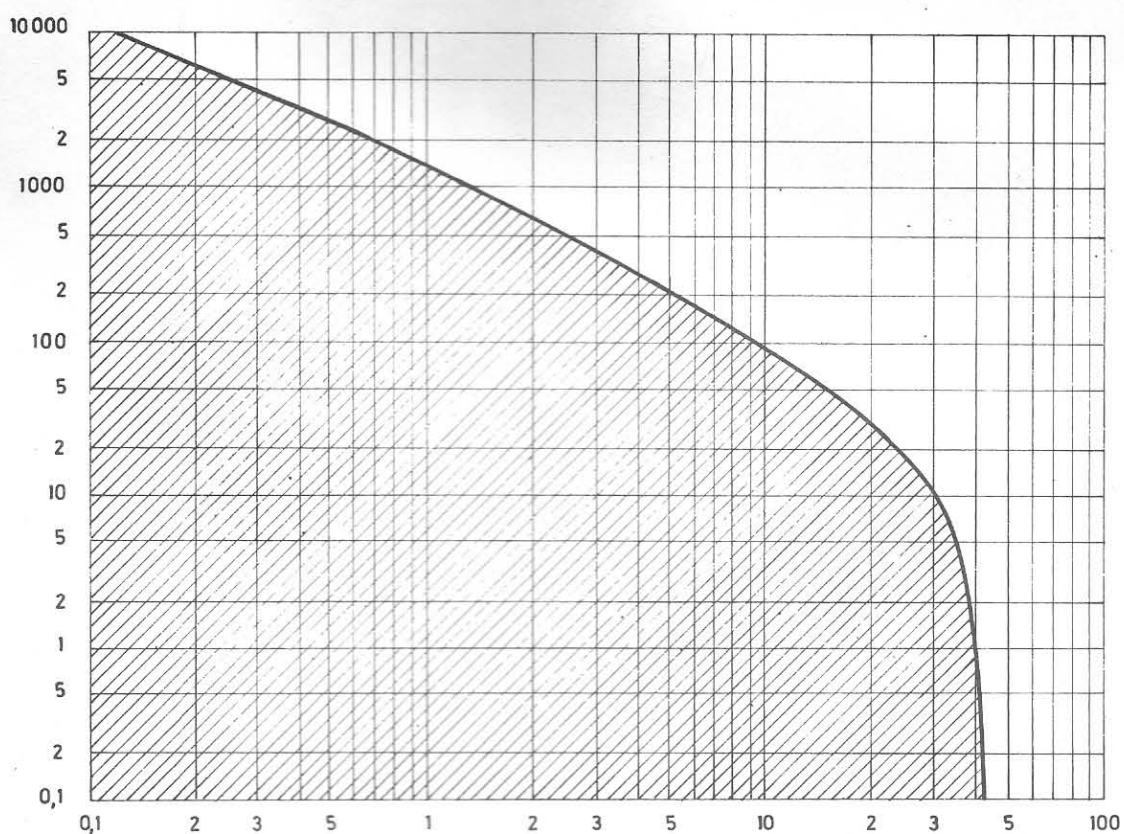
Eigenkapazität C_e
der Spule [pF]



Obere Meßbereichsgrenze für Eigenkapazitäten, abhängig von der Spulengüte

Bild 8.

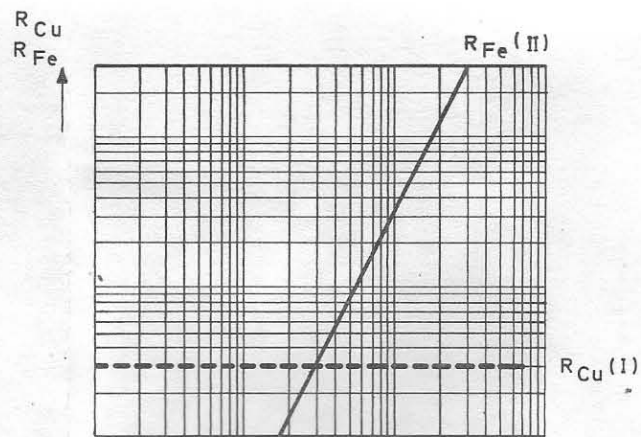
Eigenkapazität C_e
der Spule [pF]



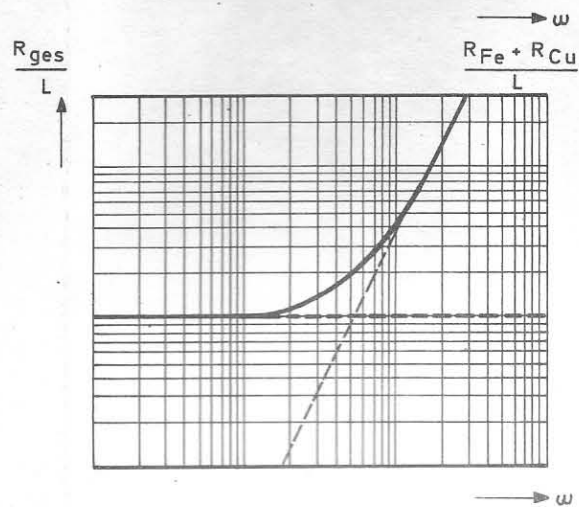
Induktivität
der Spule [μH]

Untere Meßbereichsgrenze für Eigenkapazitäten, abhängig vom L-Wert der Spule

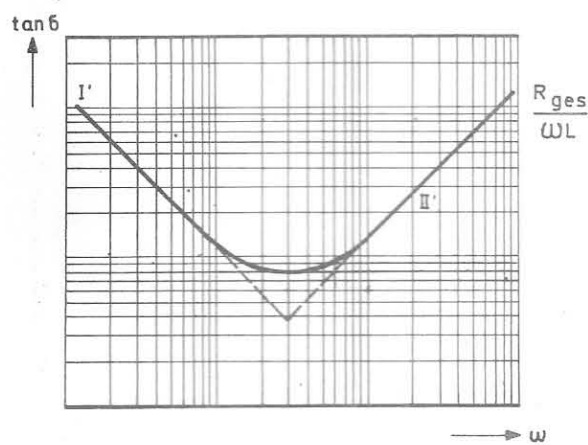
Bild 9.



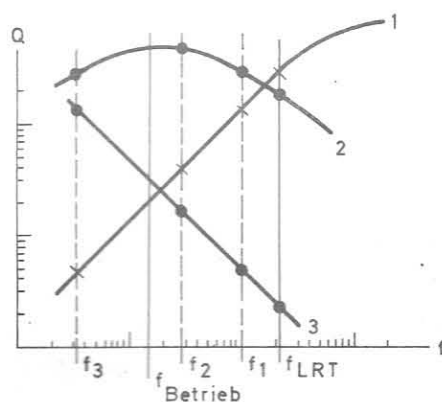
a) Verlauf des Kupfer-sowie des Eisenverlustwiderstandes in Abhängigkeit von der Frequenz



b) Verlauf des gesamten Verlustwiderstandes bezogen auf die Induktivität L der gemessenen Spule in Abhängigkeit von der Frequenz



c) Der Verlustfaktor $\tan \delta$ in Abhängigkeit von der Frequenz



d) Gütekurven in Abhängigkeiten von der Frequenz

Die Abbildungen 10a...10d zeigen den prinzipiellen Kurvenverlauf in relativen Maßstäben

Kurven zur Dimensionierung einer Spule mit maximaler Güte

Bild 10.

Stückliste für die Me

- 2 Leiter
- 1 Scheibe
- 1 Steckerplatte
- 2 Abstandsstücke
- 2 einschraubbare Ba
mit 4-mm-Gewin
- 2 Zahnscheiben 4 D
- 2 Muttern M4 DIN
- 2 Buchsen, Fa.Barr
(oder ähnliche Ausf
Bulletin Nr.121 der
- 2 Zylinderschraube

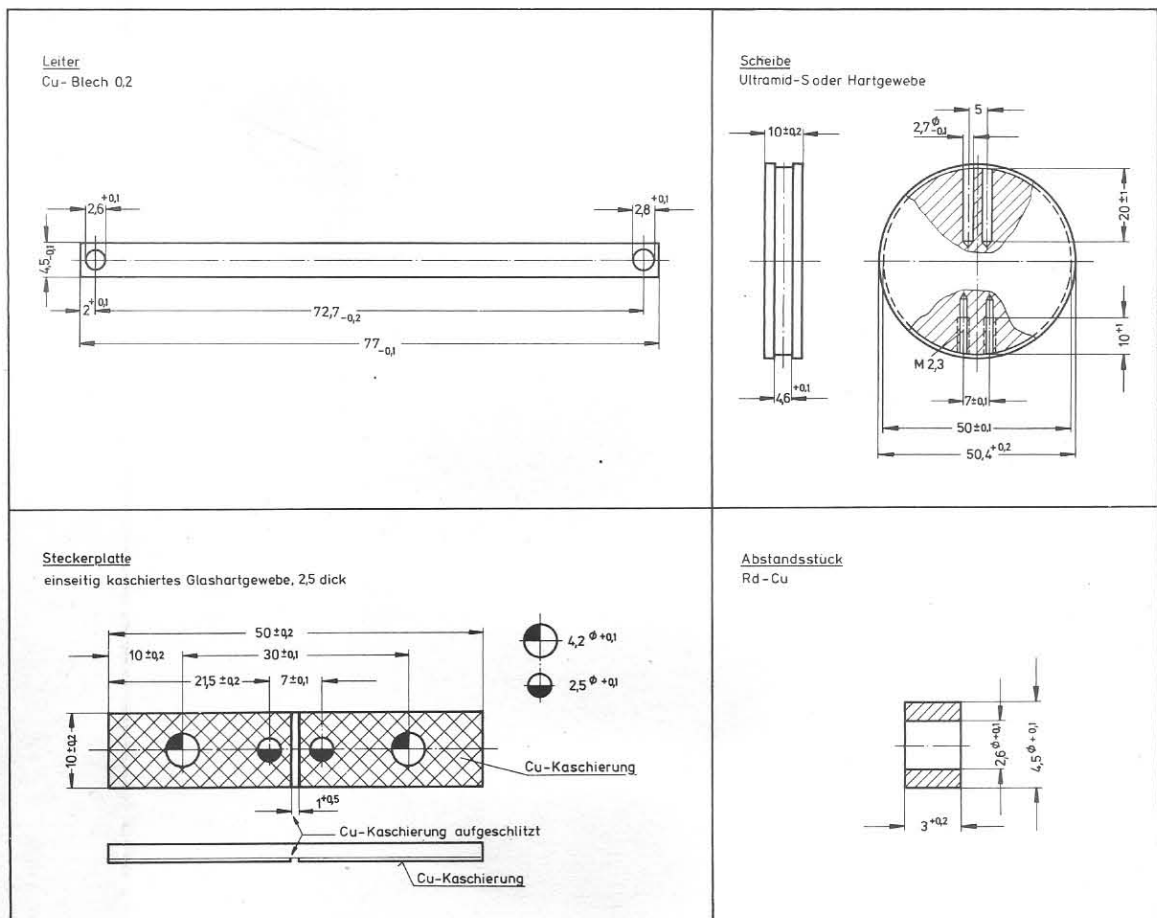


Vorrichtung zum Messen von Induktivitäten unter 100 nH.
Links ohne, rechts mit Meßobjekt

Bild 11.

die Meßvorrichtung :

te
ücke
bare Bananenstecker
-Gewinde
en 4 DIN 439
4 DIN 439
a Barnes, Typ LBX-01
e Ausführung, siehe
121 der Fa. Barnes)
rauben M2,3x12 DIN 84



Maßskizzen der Meßvorrichtung

Bild 12.

Diese Zeichnung ist unser Eigentum. Vervielfältigung, anbefugte Verwertung, Mitteilung an andere ist strafbar und schadenersatzpflichtig.

XBX KX Kenn- zeichen	Stück- zahl	Benennung	Sach-Nr.		Bemerkungen
1	2	3	4	5	6
Bu 1		Rändelklemme	KLB 14421		
Bu 2		Rändelklemme	KLB 14421		
Bu 3		Kontaktleiste	FUL 30112		
C 1		MKT-Kondensator	CKG 50054 u 2,2		
C 2		MKT-Kondensator	CKG 50054 u 1		
C 3		KT-Kondensator	CKK 54564 n 220		
C 4		KT-Kondensator	CKK 54564 ...	n 100	Trimmwert
C 5		KT-Kondensator	CKK 54564 n 47		
C 6		KT-Kondensator	CKK 54564 n 22		
C 7		KT-Kondensator	CKK 54564 n 4,7		
C 8		KT-Kondensator	CKK 62564 n 2,2		
C 9		KT-Kondensator	CKK 54564 n 10		
C10		KT-Kondensator	CKK 54564 n 10		
C11		MKT-Kondensator	CKG 50054 u 1		
C13		Lufttrimmer	CV 8025		
C14		Lufttrimmer	CV 8025		
C15		Lufttrimmer	CV 8025		
C16		Lufttrimmer	CV 8025		
C17		Lufttrimmer	CV 8025		
C18		Kf-Kondensator	CKD 2/30/500		Trimmwert
C19		Lufttrimmer	CV 8025		
C20		Lufttrimmer	CV 8025		

 ROHDE & SCHWARZ MÜNCHEN		Änd.- zust.	Änd.-Mittlg. Nr.	Datum	Name	Liste Nr. 6100 Sa	Liste besteht aus 8 Blatt Blatt Nr. 1
		f	12943	7.67	Ws		
		g	13498	1.68	H.W		
1CDE	Datum	Name					
geschrieben	7.67						
bearbeitet		Ws					
geprüft							
normgeprüft							
Ersatz für Liste			3258820 / Schalttailliste zu L-Meßgerät Type LRT				

Arbeits-Pause Nr.

Arbeits-Pause Nr.

Diese Zeichnung ist unser Eigentum. Vervielfältigung, unbefugte Verwertung, Mitteilung an andere ist strafbar und schadenersatzpflichtig.

Kenn- zeichen	Stück- zahl	Benennung	Sach-Nr.		Bemerkungen
1	2	3	4	5	6
C21		Kf-Kondensator	CKD 1/125/125		Trimmwert
C23		Drehko	5100 - 4.44		bearb. aus CD 8527
C25		Lufttrimmer	CV 8110		
C26		Keramik-Kondensator	CCG 11/0,5		
C27		Ker.Rohrtrimmer	CVC 72692 p 3		
C28		Lufttrimmer	CV 8110		
C29		Lufttrimmer	CV 8125		
C30		Lufttrimmer	CV 8125		
C31		Kf-Kondensator	CKD 1/30/125		
C32		Keramik-Kondensator	CCG 11/0,5		
C33		Ker.Rohrtrimmer	CVC 72692 p 9		
C34		Kf-Kondensator	CKD 1/.../125		Trimmwert
C35		Lufttrimmer	CVC 11512 p 30		zusammen 5000 pF ± 2%/00;
C36		Kf-Kondensator	CKS 52157 n 4,9		
C38		Elko	CED 21/250/35		
C39		Elko	CED 21/250/35		
C40		Elko	CED 21/250/35		
C41		Kf-Kondensator	CKD 1/16/125		Trimmwert
C42		Kf-Kondensator	CKD 1/16/125		Trimmwert
C43		KS-Kondensator	CKD 2/1000/125		
C46		KT-Kondensator	CKK 54564 n 47		



ROHDE & SCHWARZ
MÜNCHEN

Änd.- zust.	Änd.-Mittlg. Nr.	Datum	Name	Liste Nr.	Liste besteht aus Blatt
f	12943	7.67	Ws	6100 Sa	Blatt Nr. 2
g	13498	1.68	H.W		
h	13805	6.68	Ws		
1CDE	Datum	Name		Ersatz für Liste	
geschrieben	7.67				
bearbeitet		Ws			
geprüft					
normgeprüft					

L-Meßgerät Type LRT

Diese Zeichnung ist unser Eigentum. Vervielfältigung, unbefugte Verwertung, Mitteilung an andere ist strafbar und Schadensersatzpflichtig.

XXL K Kenn- zeichen	Stück- zahl	Benennung	Sach-Nr.		Bemerkungen
1	2	3	4	5	6
C48		Tantalelko	CEU 36443 u 47		
C49		MKT-Kondensator	CKG 50053 n 470		
C51		Kf-Kondensator	CKD 1/250/125		
C53		Tantalelko	CEU 36543 u 100		
C54		MKT-Kondensator	CKG 50053 n 470		
C55		MKT-Kondensator	CKG 50053 n 470		
C56		MKT-Kondensator	CKG 50053 n 470		
C57		MKT-Kondensator	CKG 50053 n 470		
C59		Keramik-Kondensator	CCG 55/15		
C60		Keramik-Kondensator	CCG 55/12		
C61		Keramik-Kondensator	CCH 11/4		
G1 1		Gleichrichter	GNB 75541		
G1 3		Z-Diode ZX 18	GEE 25640 E 18		
G1 4		Ge-Diode OA 95	GCE 17420		

 ROHDE & SCHWARZ MÜNCHEN		Änd.- zuel.	Änd.-Mittlg. Nr.	Datum	Name	Liste Nr. 6100 Sa	Liste besteht aus Blatt Blatt Nr. 3
		f	12943	7.67	Ws		
		h	13805	6.68	Ws		
1CDE	Datum	Name					
geschrieben	7.67						
bearbeitet		Ws					
geprüft							
normgeprüft							

Ersatz
für Liste

L-Meßgerät Type LRT

Diese Zeichnung ist unser Eigentum. Vervielfältigung, unbefugte Verwertung, Mitteilung an andere ist strafbar und schadenersatzpflichtig.

 Kenn- zeichen	Stück- zahl	Benennung	Sach-Nr.		Bemerkungen		
1	2	3	4	5	6		
G1 7		Ge-Diode OA 95	GCE 17420				
G1 8		Ge-Diode OA 95	GCE 17420				
G1 9		Ge-Diode OA 95	GCE 17420				
G110		Ge-Diode OA 95	GCE 17420				
G112		Ge-Diode OA 95	GCE 17420				
J 1		Drehspulstrommesser	JPS1015C				
K 1		HF-Kabel	LKK 91000				
K 2		HF-Kabel	LKK 91000				
K 3		HF-Kabel	LKK 91000		mit Seele LD 208		
L 1		Schwingspule (Gr.)	6100 - 6.11		hierzu bes.Stückliste		
L 2		Schwingspule (Gr.)	6100 - 6.12		hierzu bes.Stückliste		
L 3		Schwingspule (Gr.)	6100 - 6.13		hierzu bes.Stückliste		
L 4		Schwingspule (Gr.)	6100 - 6.14		hierzu bes.Stückliste		
L 5		Schwingspule (Gr.)	6100 - 6.15		hierzu bes.Stückliste		
L 6		Schwingspule (Gr.)	6100 - 6.16		hierzu bes.Stückliste		
L 7		Schwingspule (Gr.)	6100 - 6.17		hierzu bes.Stückliste		
 ROHDE & SCHWARZ MÜNCHEN		Änd.- zust.	Änd.-Mittlg. Nr.	Datum	Name	Liste Nr. 6100 Sa	Liste besteht aus Blatt Blatt Nr. 4
		f	12943	7.67	Ws		
1CDE		Datum	Name	i	58486	11.4.70. &	
Arbeitspause Nr.		geschrieben	7.67				
		bearbeitet		Ws			
		geprüft					
		normgeprüft					
Ersatz für Liste						Schaltteilliste zu L-Meßgerät Type LRT	

Vervielfält.-Pause Nr.

Arbeitspause Nr.

Diese Zeichnung ist unser Eigentum. Vervielfältigung, unbefugte Verwertung, Mitteilung an andere ist strafbar und schadenersatzpflichtig.

	Stückzahl	Benennung	Sach-Nr.		Bemerkungen
1	2	3	4	5	6
L 8		Verdrahtungs-induktivität	LD 210		entsprechend Trimmplan abgeglichen (L = 105mm)
R 1		Schichtwiderstand	WFE 321 E 390		
R 2		Schichtwiderstand	WFE 521 E 270		
R 4		Schichtwiderstand	WFE 521 E 270		
R 6		Schicht-Drehwiderst.	WSG 11010/1 M		
R 7		Schichtwiderstand	WFE 321 k 220		
R 8		Schichtwiderstand	WFE 321 k 150		
R 9		Schichtwiderstand	WFE 321 k 1		
R11		Schichtwiderstand	WFE 321 k 10		
R12		Schichtwiderstand	WFE 321 k 27		
R14		Schichtwiderstand	WFE 321 k 10		
R15		Schichtwiderstand	WFE 321 k 1		
R16		Schichtwiderstand	WFE 321 E 470		
R17		Schichtwiderstand	WFE 521 M 18		Trimmwert
R18		Schichtwiderstand	WFE 321 M 4,7		Trimmwert
R19		Schichtwiderstand	WFE 321 M 4,7		Trimmwert
R20		Schichtwiderstand	WFE 321 M 4,7		Trimmwert
R21		Schichtwiderstand	WFE 321 E 330		

 ROHDE & SCHWARZ MÜNCHEN		Änd.-zust.	Änd.-Mittlg. Nr.	Datum	Name	Liste Nr. 6100 Sa	Liste besteht aus Blatt Blatt Nr. 5
		f	12943	7.67	Ws		
		i	58486	20. 3. 70	He		
1CDE	Datum	Name					
geschrieben	7.67						
bearbeitet		Ws					
geprüft							
normgeprüft							
Ersatz für Liste							
Schaltteilleiste zu			L-Meßgerät Type LRT				

Diese Zeichnung ist unser Eigentum. Vervielfältigung, unbefugte Verwertung, Mitteilung an andere ist strafbar und schadenersatzpflichtig.

Kenn- zeichen	Stück- zahl	Benennung	Sach-Nr.		Bemerkungen
1	2	3	4	5	6
R28		Schichtwiderstand	WFE 321 k 1		
R29		Schichtwiderstand	WFE 521 M 20		
R31		Schicht-Drehwiderst.	WSG 11000/5 k		
R34		Schicht-Drehwiderst.	WSG 11000/1 M		
R35		Schichtwiderstand	WFE 321 k 68		
R37		Schichtwiderstand	WFE 321 E 220		
R38		Schichtwiderstand	WFE 321 k 4,7		
R40		Schichtwiderstand	WFE 321 k 4,7		
R41		Schichtwiderstand	WFE 321 k 6,8		
R42		Schicht-Drehwiderst.	WSG 11000/250 k		
R43		Schichtwiderstand	WFE 321 E 100		
R44		Schichtwiderstand	WFE 321 E 10		
R45		Schicht-Drehwiderst.	WSG 11000/50 E		
R47		Schichtwiderstand	WFE 321 k 1,5		
R48		Schichtwiderstand	WFE 321 E 22		

 ROHDE & SCHWARZ MÜNCHEN			Änd.- zust.	Änd.-Mittlg. Nr.	Datum	Name	Liste Nr. 6100 Sa	Liste besteht aus Blatt
			f	12943	7.67	Ws		Blatt Nr. 6
1CDE	Datum	Name						
geschrieben	7.67						Ersatz für Liste	
bearbeitet		Ws					Schaltteilleiste zu	
geprüft							L-Meßgerät Type LRT	
normgeprüft								

Arbeitspause Nr.

Diese Zeichnung ist unser Eigentum. Vervielfältigung, unbefugte Verwertung, Mitteilung an andere ist strafbar und schadenersatzpflichtig.

KZ Kenn- zeichen	Stück- zahl	Benennung	Sach-Nr.	5	Bemerkungen
1	2	3	4	5	6
R51		Schichtwiderstand	WFE 321 k 470		
R52		Schichtwiderstand	WFE 321 k 10		
R53		Schichtwiderstand	WFE 321 k 2,2		
R54		Schichtwiderstand	WFE 341 k 150		
R55		Schicht-Drehwiderst.	WS 9126/10 k		
R56		Schichtwiderstand	WFE 321 k 150		Trimmwert
R57		Schichtwiderstand	WFE 321 k 1		
R58		Schichtwiderstand	WFE 321 E 15		
R59		Schichtwiderstand	WFE 321 M 6,8		Trimmwert
R60		Schichtwiderstand	WFE 321 k 100		Trimmwert
R61		Heißeleiter	WHD 232/10 k/10		
R1 1		Kleinlampe	RLT 32400		zusätzl. 2 St. Ersatz
S 1		Schalter (Gr.)	6100 - 6.18		hierzu bes. Stückliste
S 2		Schalter (Gr.)	6100 - 1.11		hierzu bes. Stückliste
S 3		Stufenschalter	SRW 12560		Achs-L = 22
S 4		Spannungswähler	FD 60502		
S 5		Netzschalter	SDE 32012		
Si 1		Schmelzeinsatz	M 0,1 C DIN 41571 x) M 0,05 C DIN 41571 x)		115...125 V 220...235 V Netzspg. x) zusätzl. je 2 St. Ersatz

 ROHDE & SCHWARZ MÜNCHEN	Änd.- zust.	Änd.-Mittlg. Nr.	Datum	Name	Liste Nr.	Liste besteht aus Blatt
	f	12943	7.67	Ws	6100 Sa	Blatt Nr. 7
	g	13498	1.68	H.W		
1CDE	Datum	Name	Ersatz für Liste			
geschrieben	7.67					
bearbeitet		Ws				
geprüft						
normgeprüft						

Arbeitspause Nr.

Arbeitspause Nr.

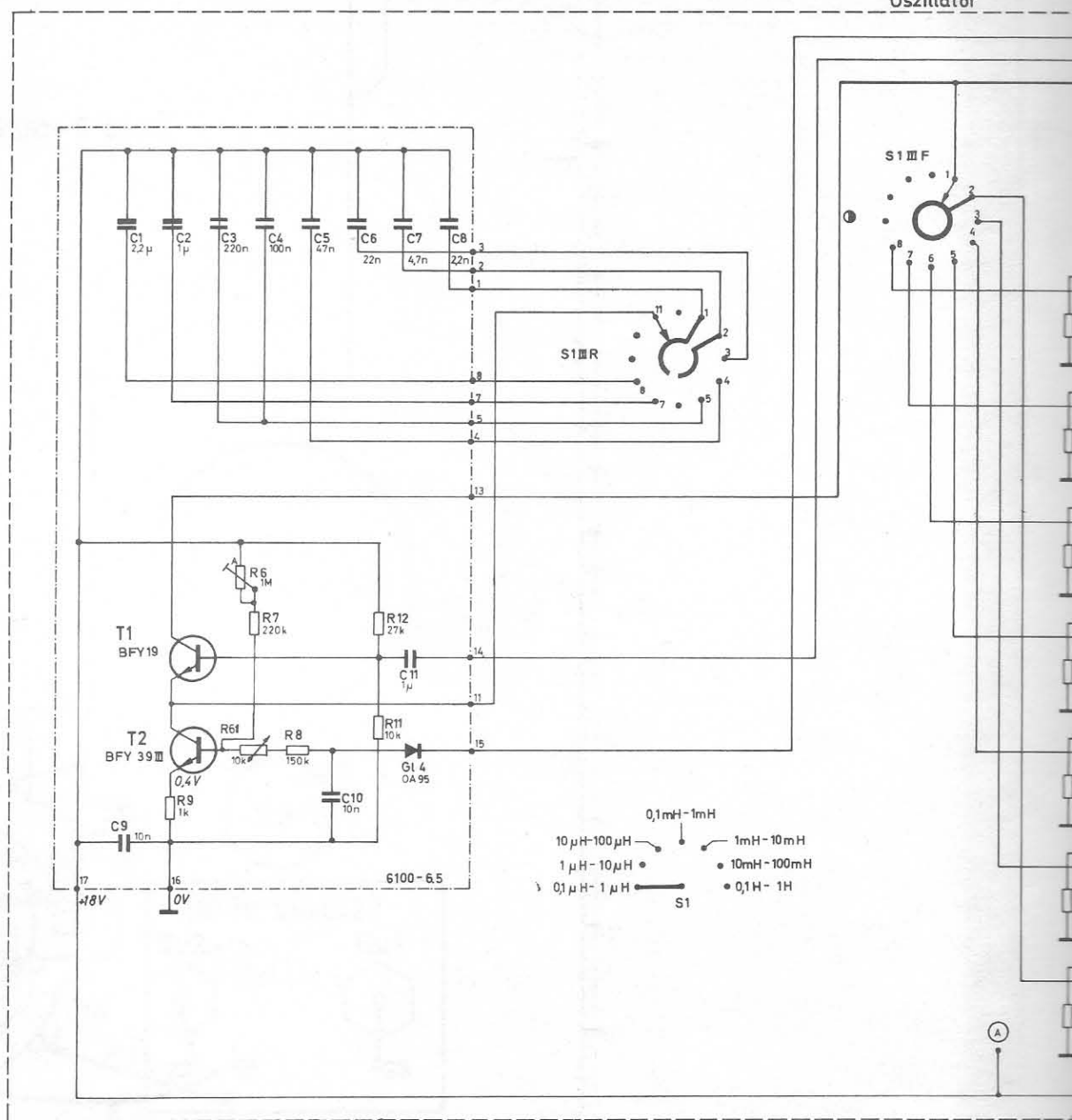
L-Meßgerät Type LRT

ROHDE & SCHWARZ · MÜNCHEN

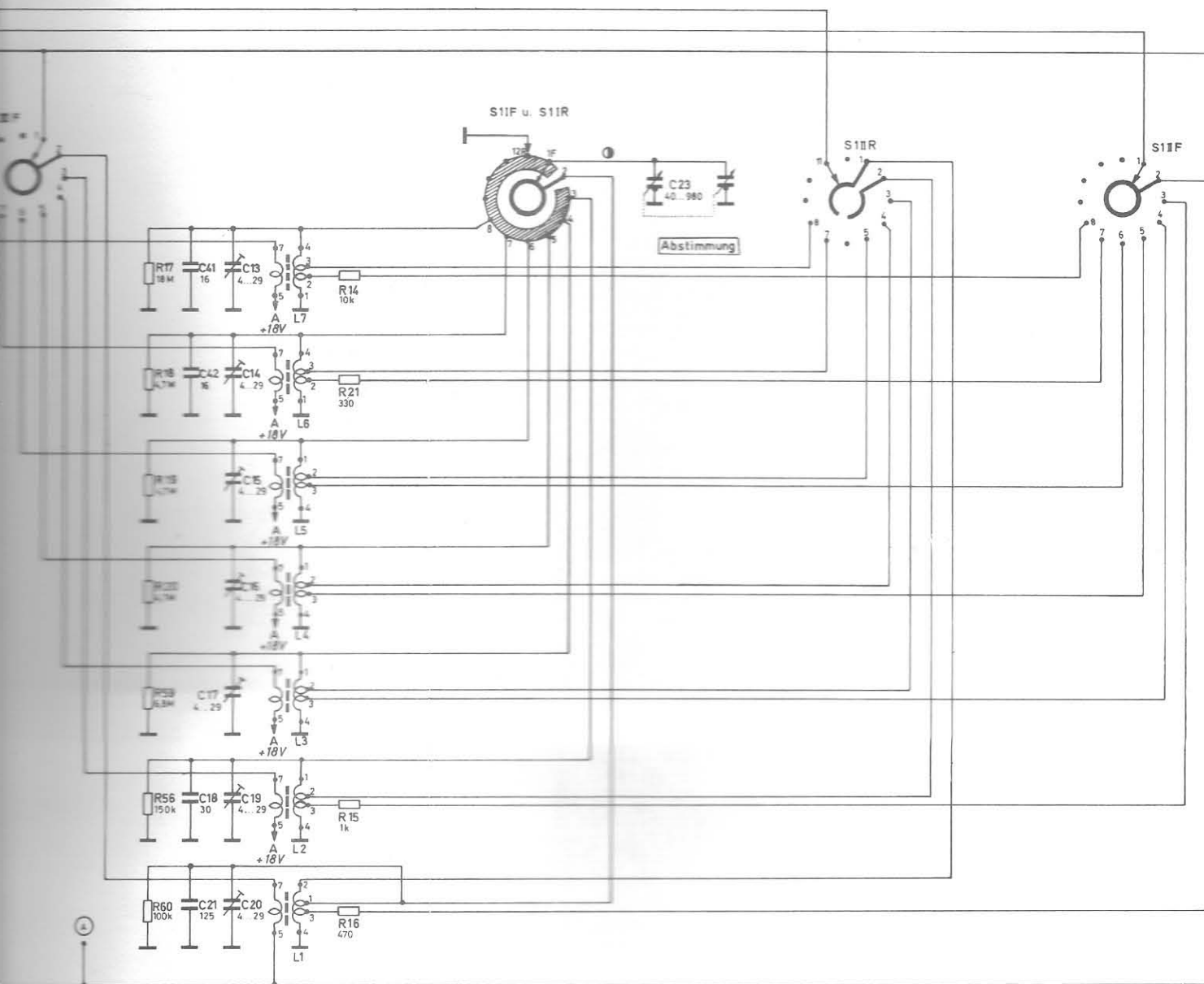
Diese Zeichnung ist unser Eigentum. Vervielfältigung, Ausfertigung oder Verbreitung ist ohne unsere schriftliche Genehmigung strafbar.

Name	Datum	And. Mittig. Nr.	And. zust.

Name	Datum	And. Mittig. Nr.	And. zust.



Oszillator



12

13

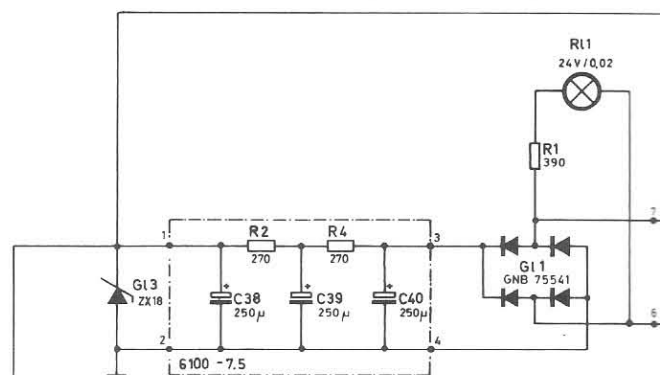
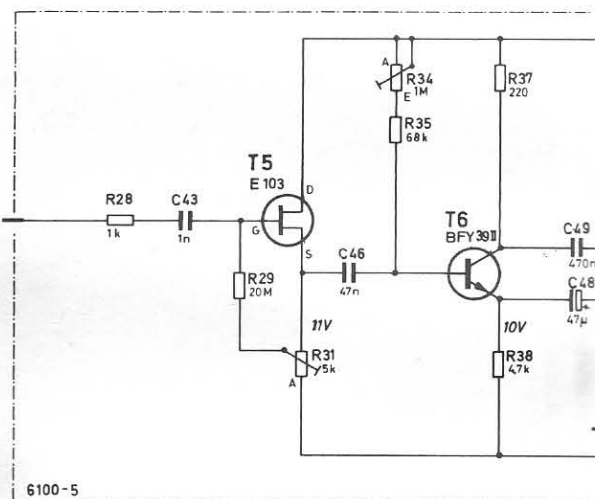
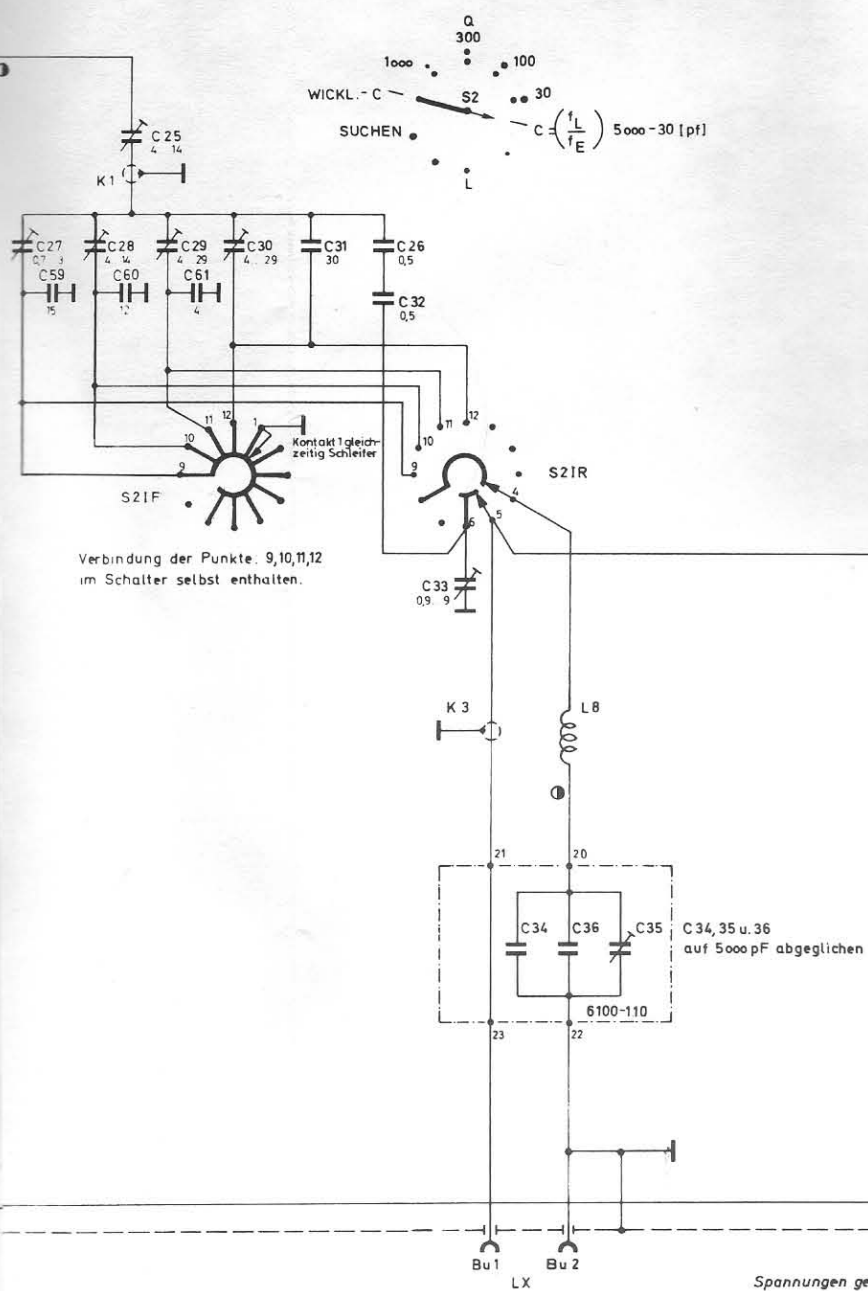
14

15

16

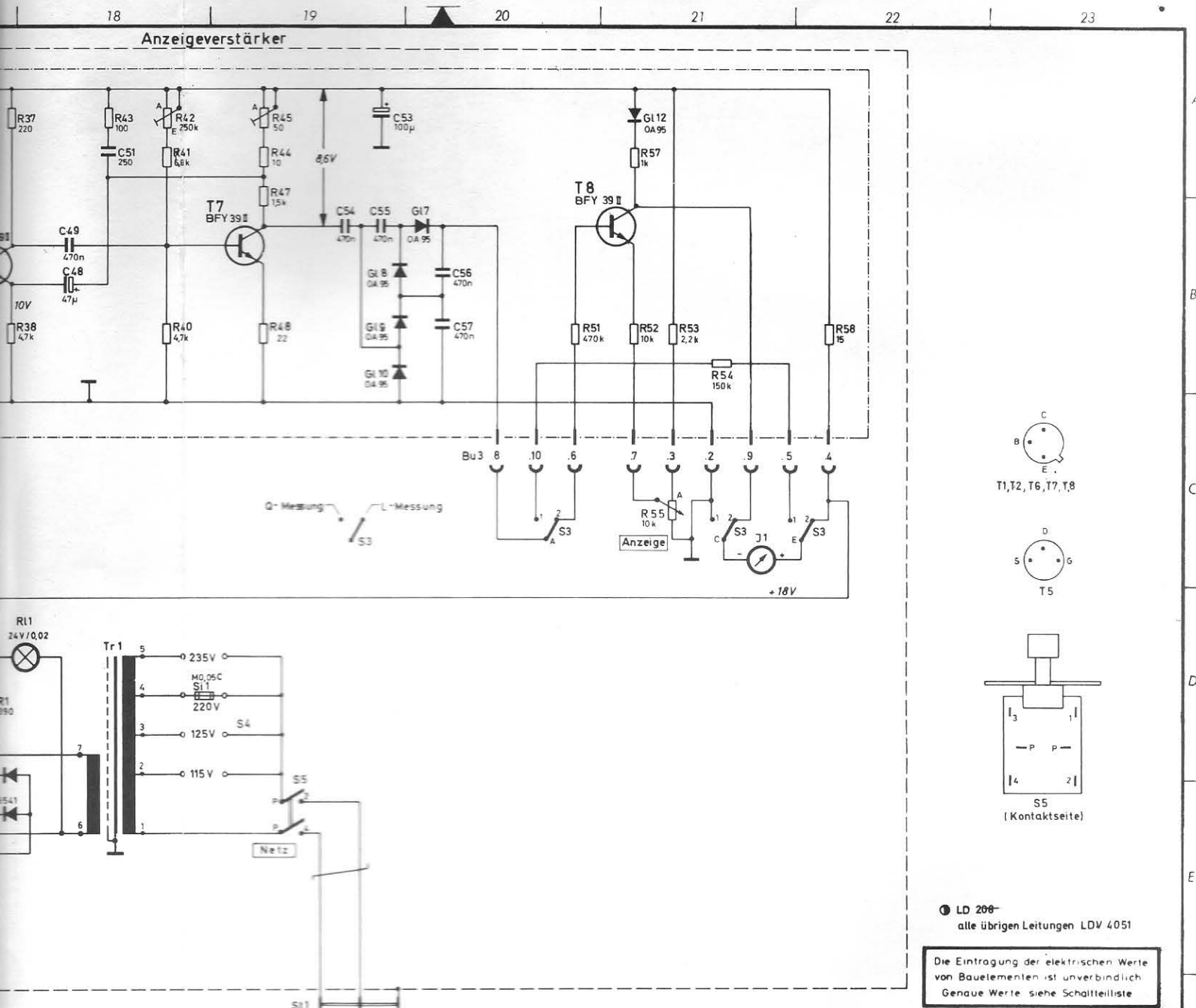
17

Meßkreis



Netzteil

Spannungen gemessen mit Röhrevoltmeter ($R_e > 10 \text{ M}\Omega$) gegen Masse



Stromlauf zu

L-Meßgerät Type LRT

Zeichn. Nr. 6100S

hierzu 6100 Sa

A

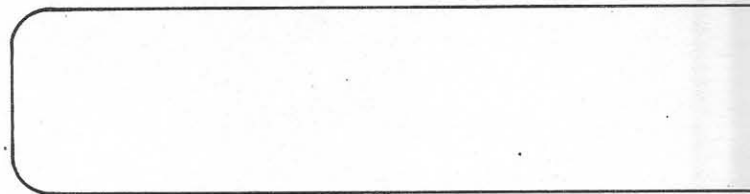
B

C

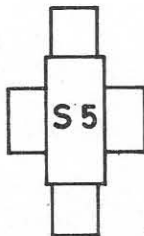
D

E

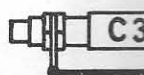
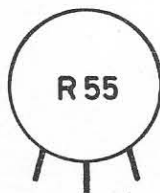
Diese Zeichnung ist unser Eigentum. Vervielfältigung,
unbefugte Verwertung, Mitteilung an andere ist
strafbar und schadenersatzpflichtig.



R11



R55

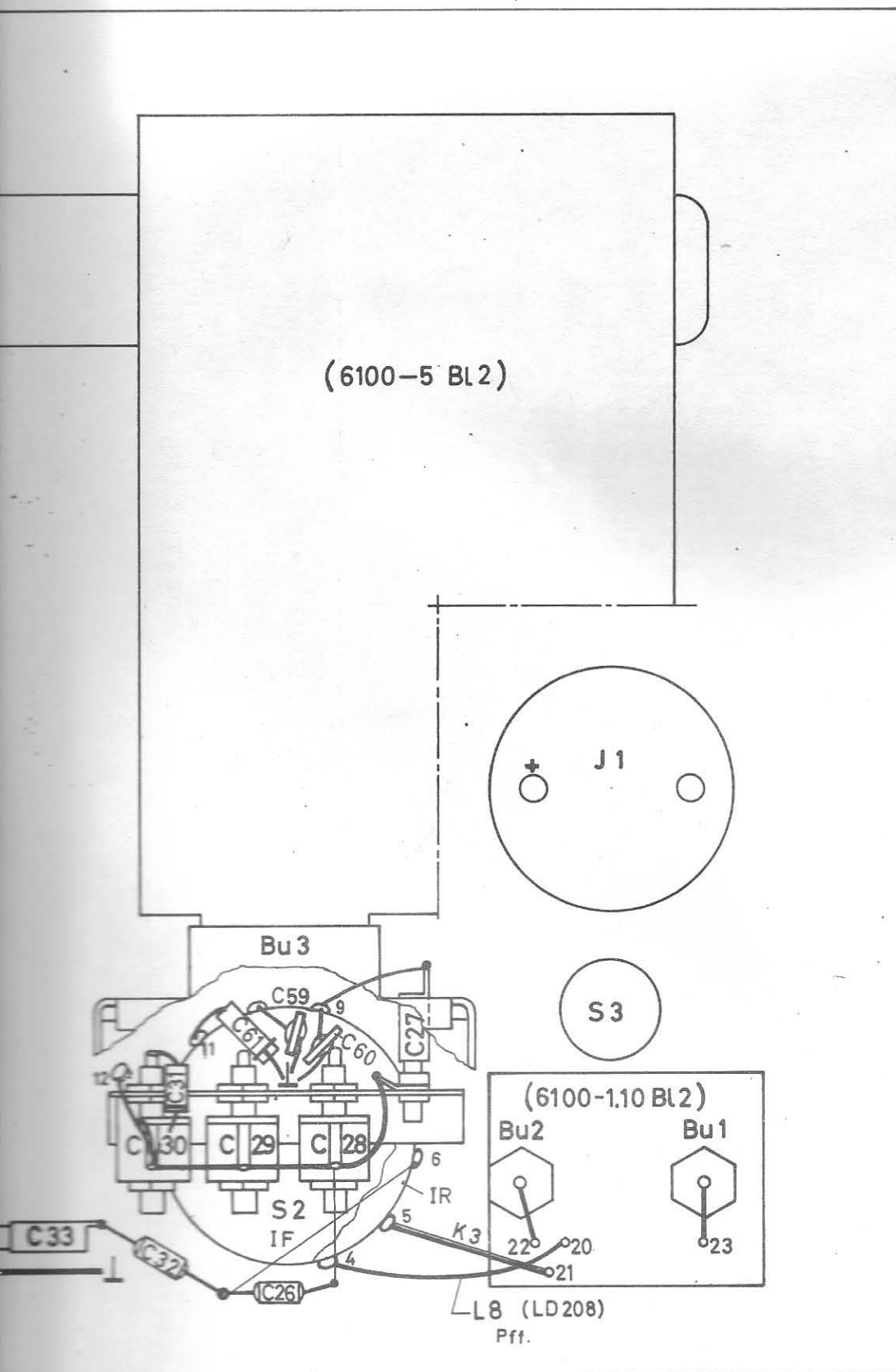


ISO-Projektion,
Mode E



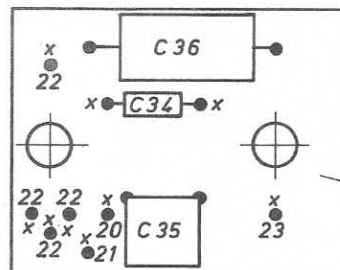
Vervielfält.-Pause
Nr.

Arbeitspause Nr.



 ROHDE & SCHWARZ MÜNCHEN			Halbzeug, Werkstoff			Untolerierte Maße	Zeichn. Nr.
						Maßstab	6100-1 Bl.2
1CDE	Datum	Name	Änd. zust.	Änd. Mittlg. Nr.	Datum	Name	Ersatz f. Zeichn.
gezeichnet	4.67		a	—	4.9.67	Pe-ko	
bearbeitet							
geprüft							
normgepr.							

Frontplatte (Gr.)



x KLL 30804 (9 Stück)

C34 im Prüffeld gelötet nach HVM 230

Zeichnung besteht aus 2 Blatt
hierzu 6100-1.10 St

 ROHDE & SCHWARZ MÜNCHEN		Halbzeug, Werkstoff		Untolerierte Maße		Zeichn. Nr.	
				Maßstab		6100-1.10 BL.1	
1CDD	Tag	Name	Änd. zust.	Änd.-Mittlg. Nr.	Tag	Name	Ersatz f. Zeichn.
gezeichnet	28.9.66	Wm	a	13214	16.10.67	Ka	
bearbeitet							
geprüft							
normgepr.							

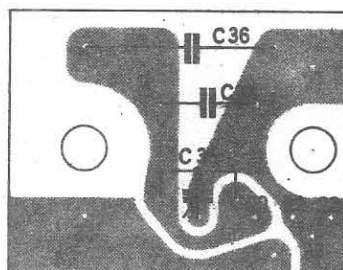
Platte (Gr.)

vielfält.-Pause Nr.

reitspause Nr.

Diese Zeichnung ist unser Eigentum. Vervielfältigung, unbefugte Verwertung, Mitteilung an andere ist strafbar und Schadensersatzpflichtig.

Auf Leiterseite gesehen



1-Projektion,
Maße E



vielfält.-Pause
Nr.

Zeichnung Pause Nr. 2 Blatt

 ROHDE & SCHWARZ MÜNCHEN			Halbzeug, Werkstoff				Untolerierte Maße		Zeichn. Nr. 6100-1.10 Bl. 2
							Maßstab 1:1		
1CDE	Datum	Name	Änd. zust.	Änd.-Mittlg. Nr.	Datum	Name	Platte (Gr.)		
gezeichnet	22.9.67		b	14280	14.1.69	Ka			
bearbeitet		Ka							
geprüft									
normgepr.									

A

B

C

D

E

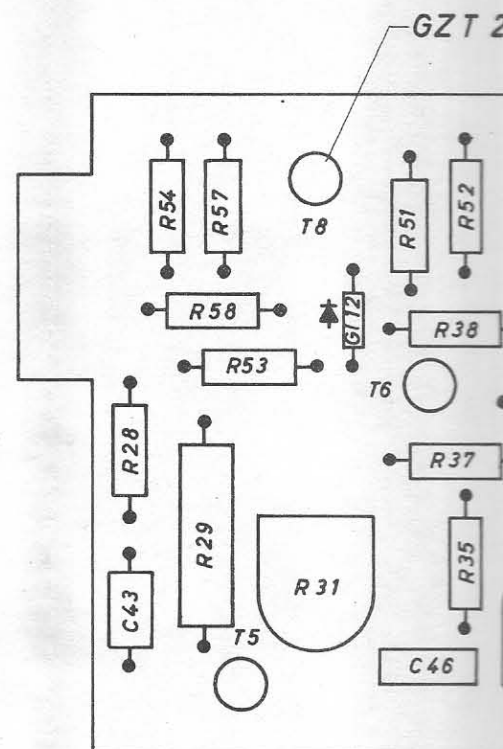
Diese Zeichnung ist unser Eigentum. Vervielfältigung,
unbefugte Verwertung, Mitteilung an andere ist
strafbar und schadenersatzpflichtig.

ISO-Projektion,
Methode E

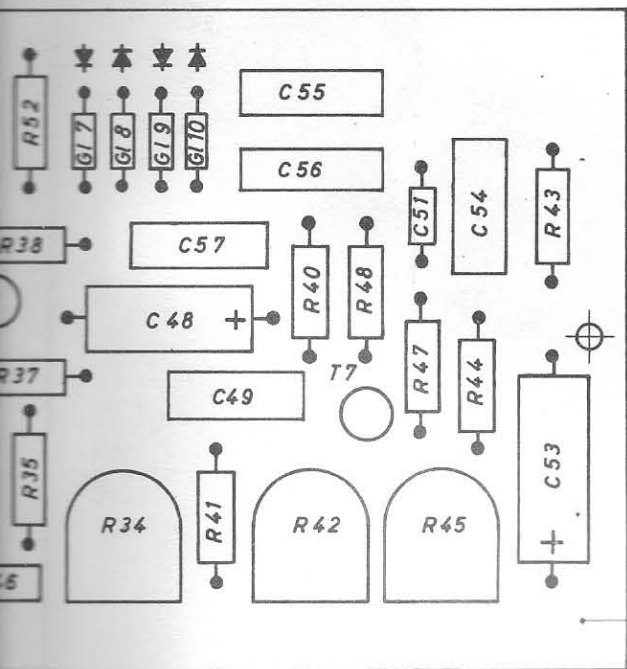


Vervielfält.-Pause
Nr.

Arbeitspause Nr.



ZT 20283(4 Stück)

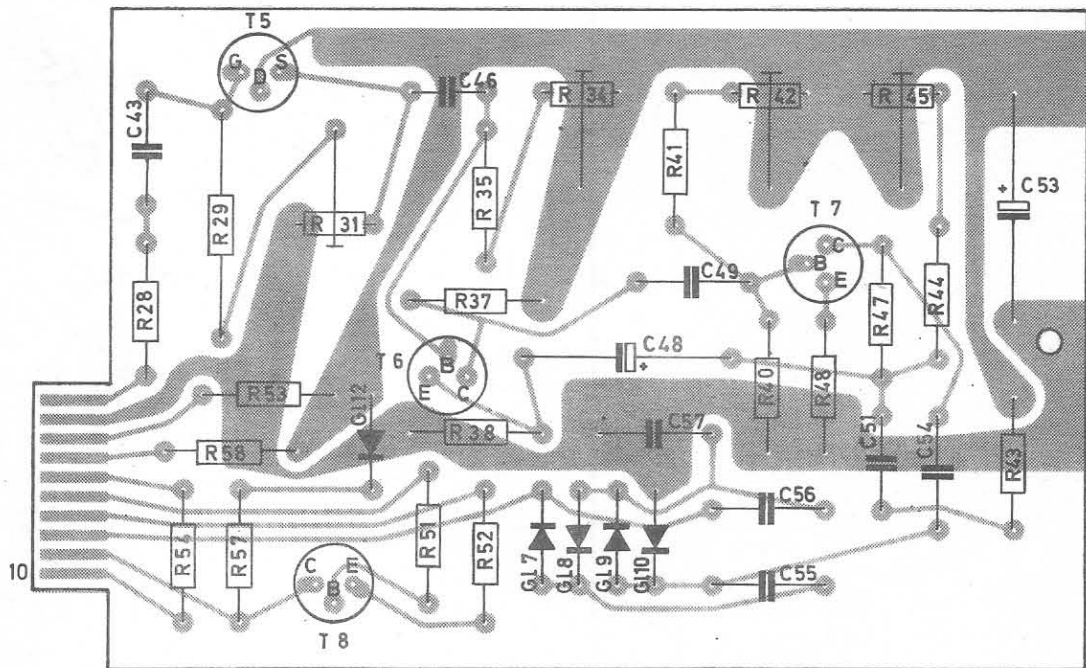


- 5.1

Zeichnung besteht aus 2 Blatt
hierzu 6100 - 5 St

 ROHDE & SCHWARZ MÜNCHEN		Halbzeug, Werkstoff		Untolerierte Maße		Zeichn. Nr.	
				Maßstab		6100 - 5 BL.1	
				1:1		Ersatz f. Zeichn.	
1CDD	Datum	Name	Änd. zust.	Änd.-Mitgl. Nr.	Datum	Name	
gezeichnet	8.7.67	Wh.	b	12943	19.7.67	Ss	
bearbeitet			c	13214	16.10.67	Ka	
geprüft							
normgepr.							
Platte (Gr.)							

Auf Leiterseite gesehen



Diese Zeichnung ist unser Eigentum. Vervielfältigung, Verbreitung, Verwertung, Mitteilung an andere ist strafbar und schadenersatzpflichtig.

0-Projektion, rhode E



vvielfält.-Pause Nr.

beitspause Nr.



ROHDE & SCHWARZ
MÜNCHEN

Halbzeug, Werkstoff

Untolerierte Maße

Zeichn. Nr.

6100 - 5 Bl. 2

Maßstab

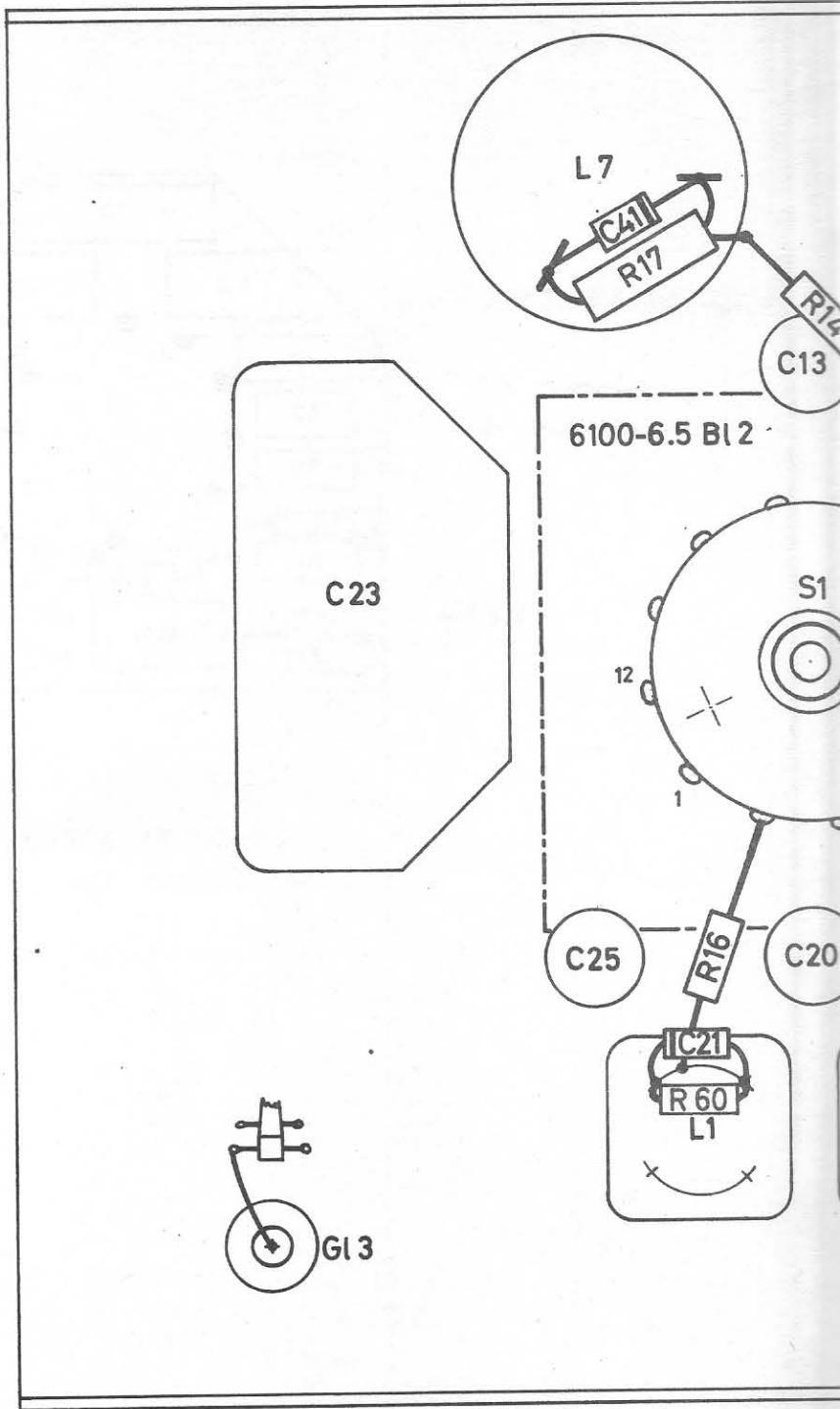
1:1

Ersatz f. Zeichn.

ICDE	Datum	Name	Änd. zust.	Änd.-Mitlg. Nr.	Datum	Name
gezeichnet	1. 9. 67	Wil				
bearbeitet		Ka				
geprüft						
normgepr.						

Platte (Gr.)

Diese Zeichnung ist unser Eigentum. Vervielfältigung, unbefugte Verwertung, Mitteilung an andere ist strafbar und schadenersatzpflichtig.

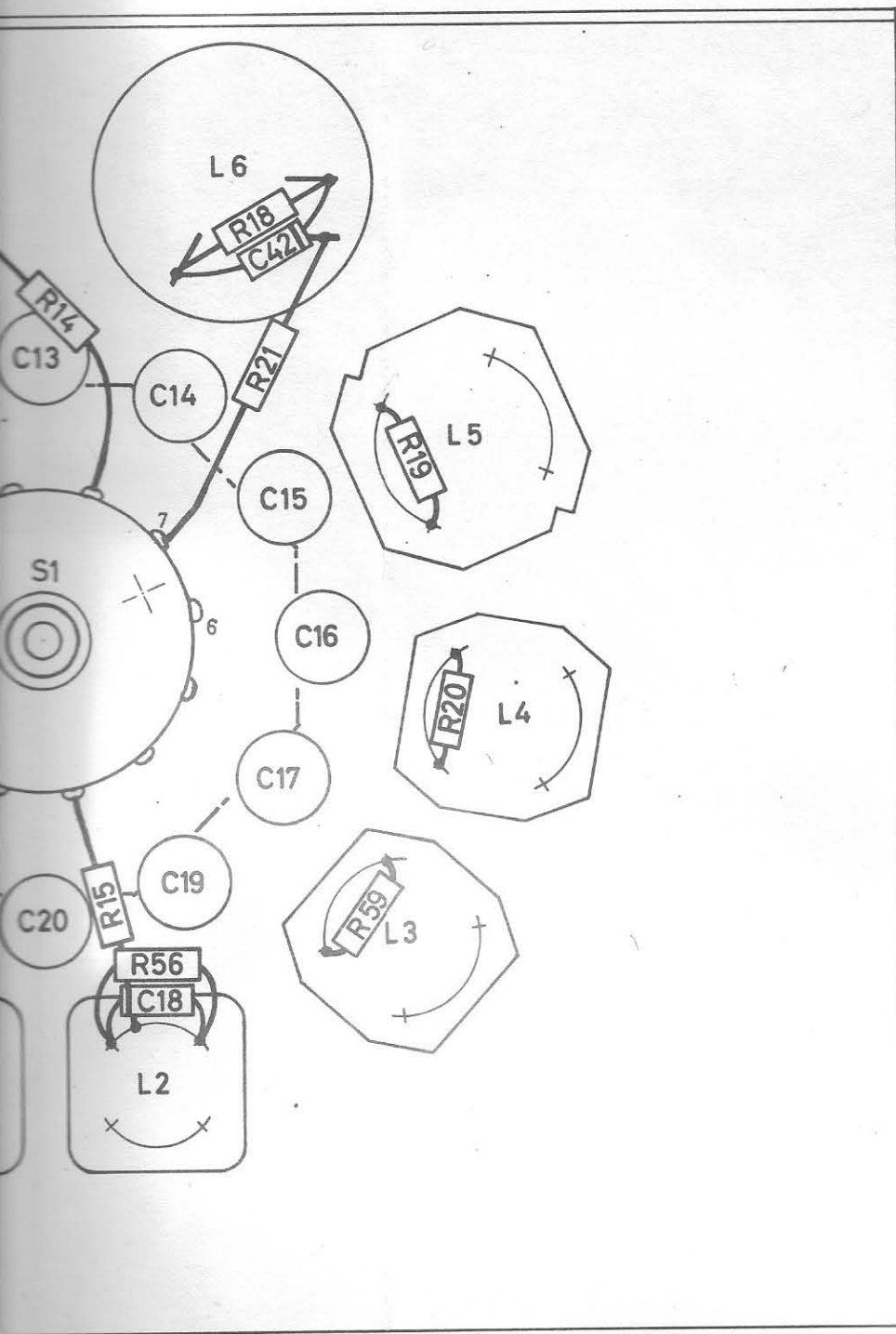


D-Projektion,
Seite E

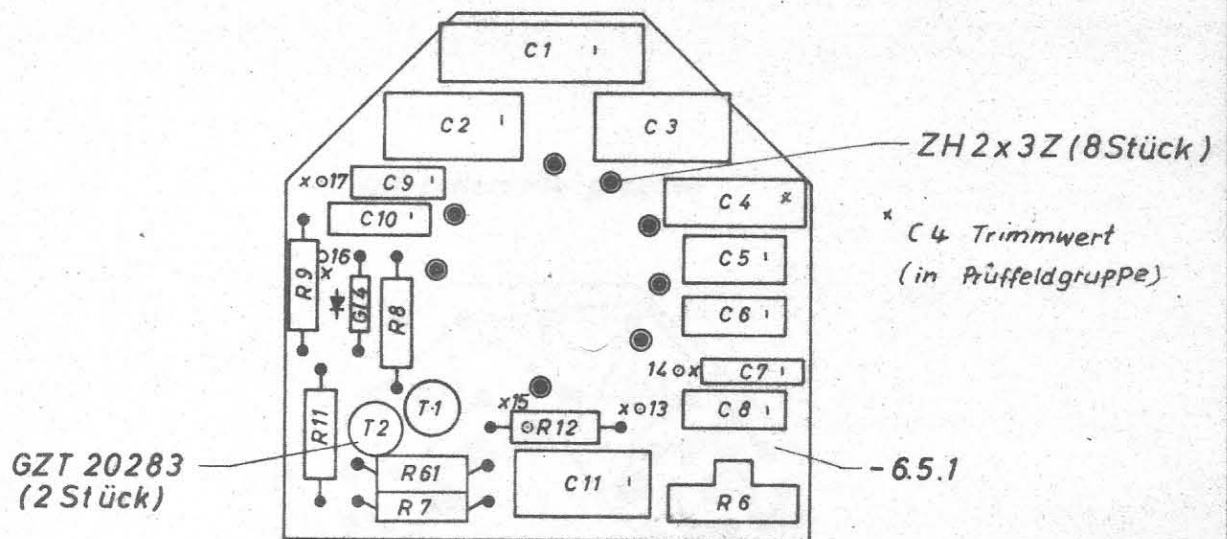


vielfält.-Pause
Nr.

beitspause Nr.



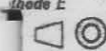
 ROHDE & SCHWARZ MÜNCHEN			Halbzeug, Werkstoff				Untolerierte Maße	Zeichn. Nr.
							Maßstab	6100-6 Bl.2
1CDE	Datum	Name	Änd. zust.	Änd.-Mittlg. Nr.	Datum	Name	Ersatz f. Zeichn.	
gezeichnet	4.67		a	—	4.9.67	Pe-ko		
bearbeitet			d	13498	17.1.68	Ka		
geprüft								
normgepr.								
Spulenplatte (Gr.)								



x KLL 30304 (5 Stück)
von unten eingesetzt

Zeichnung besteht aus 2 Blatt
hierzu 6100 - 6.5 St

3-Projektion,
1. Stufe E



vielfält.-Pause
Nr.

beifspause Nr.



ROHDE & SCHWARZ
MÜNCHEN

Halbzeug, Werkstoff

Untolerierte Maße

Zeichn. Nr.

Maßstab

1:1

6100 - 6.5 Bl. 1

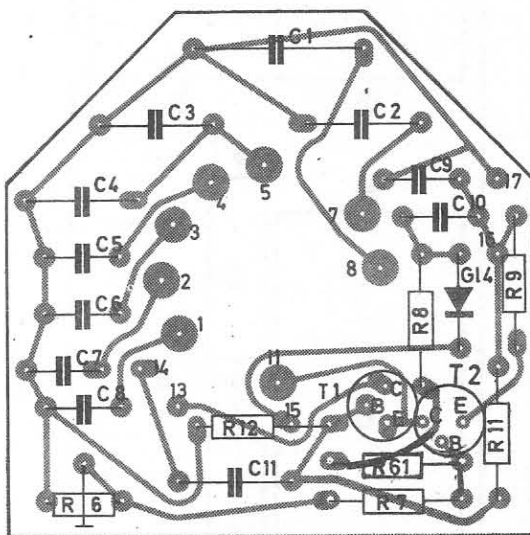
Ersatz f.
Zeichn.

ICDD	Datum	Name	Änd. zust.	Änd.-Mittlg. Nr.	Datum	Name
gezeichnet	8.7.67	Wh.	a	12943	19.7.67	Fre
bearbeitet			b	13214	16.10.67	Ka
geprüft			c	13498	18.1.68	Fre
normgepr.			d	58486	21.3.70	Jo

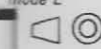
Platte (Gr)

Diese Zeichnung ist unser Eigentum. Vervielfältigung, unbefugte Verwertung, Mitteilung an andere ist strafbar und schadenersatzpflichtig.

Auf Leiterseite gesehen



1-Projektion, thode E



vielfält.-Pause Nr.

beispause Nr.



ROHDE & SCHWARZ
MÜNCHEN

Halbzeug, Werkstoff

Untolerierte Maße

Zeichn. Nr.

Maßstab

1:1

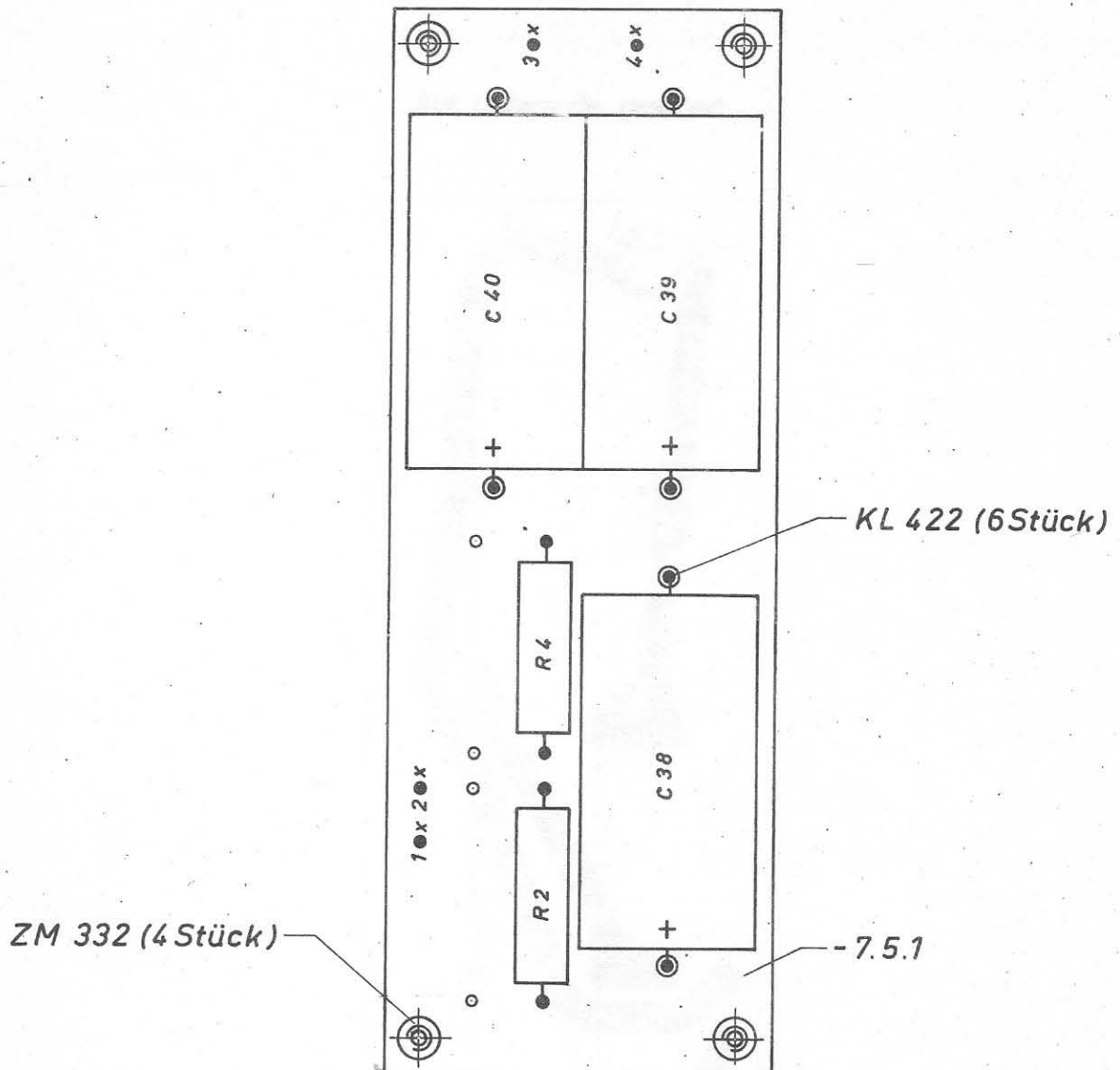
6100 - 6.5 Bl. 2

Ersatz f. Zeichn.

1CDE	Datum	Name	Änd. zust.	Änd.-Mittlg. Nr.	Datum	Name
gezeichnet	13. 9. 67	Wil	c	13498	22. 1. 68	Pe-ko
bearbeitet		Ka	d	5 8486	20. 3. 70	Jo
geprüft						
normgepr.						

Platte (Gr.)

Diese Zeichnung ist unser Eigentum. Vervielfältigung, unbefugte Verwertung, Mitteilung an andere ist strafbar und schadenersatzpflichtig.



x KLL 30804 (4 Stück)

ZM 332 vor dem Tauchlöten mit Klebeband abgedeckt
C38, C39 und C40 nach dem Tauchlöten gelötet nach HVM 230

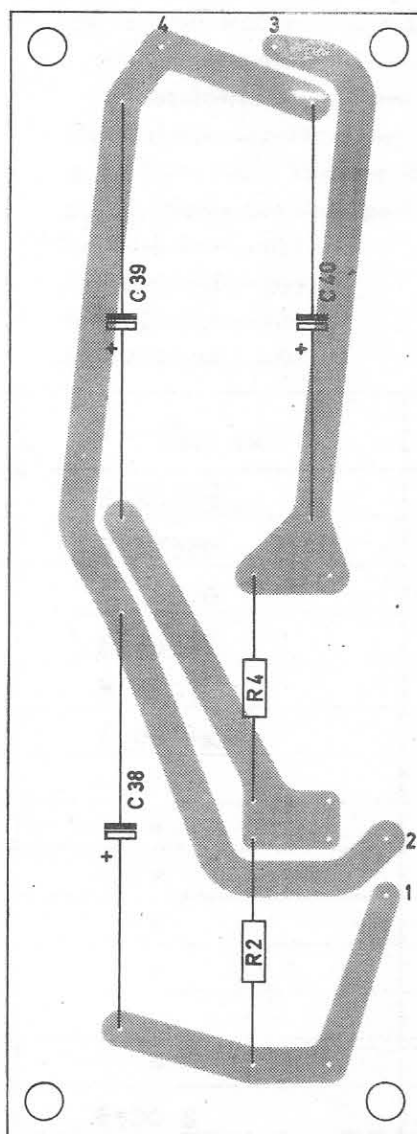
Zeichnung besteht aus 2 Blatt
hierzu 6100 - 7.5 St

 ROHDE & SCHWARZ MÜNCHEN		Halbzeug, Werkstoff		Untolerierte Maße		Zeichn. Nr.
				Maßstab		6100 - 7.5 Bl.1
1CDD	Tag	Name	Änd. zust.	Änd.-Mittlg. Nr.	Tag	Name
gezeichnet	15.9.66	Wm	a	13214	16.10.67	Ka
bearbeitet						
geprüft						
normgepr.						
Platte (Gr.)						

Vervielfält.-Pause Nr.

Arbeitspause Nr.

Auf Leiterseite gesehen



Diese Zeichnung ist unser Eigentum. Vervielfältigung, unbefugte Verwertung, Mitteilung an andere ist strafbar und schadenersatzpflichtig.

ISO-Projektion,
Methode E



Vervielfält.-Pause
Nr.



ROHDE & SCHWARZ
MÜNCHEN

Halbzeug, Werkstoff

Untolerierte Maße

Zeichn. Nr.

6100 - 7.5 Bl.2

Maßstab

1 : 1

Ersatz f.
Zeichn.

1CDE	Datum	Name	Änd. zust.	Änd.-Mittlg. Nr.	Datum	Name
gezeichnet	22.9.67					
bearbeitet		Ka				
geprüft						
normgepr.						

Platte (Gr.)

Arbeitspause Nr.