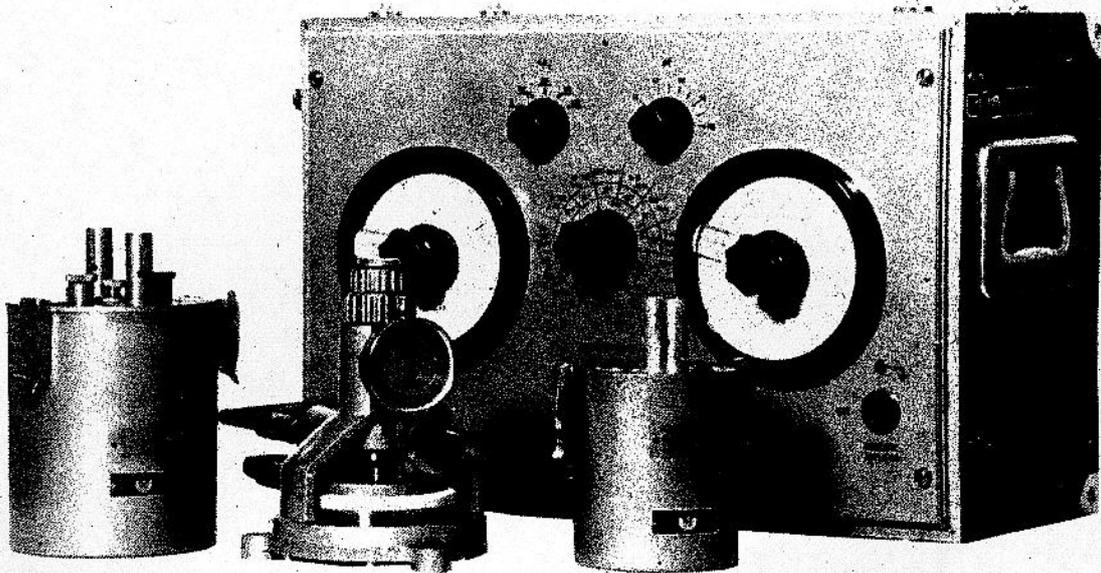


M E S S B R Ü C K E

ZUR BESTIMMUNG DER DIELEKTRIZITÄTSKONSTANTE UND
DES VERLUSTFAKTORS

Typ: TR-9701



INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1.0	Bestimmung und Anwendungsgebiet des Gerätes 5
2.0	Arbeitsprinzip und Konstruktion 5
2.1	Arbeitsprinzip 5
2.2	Blockschaltbild des Gerätes 7
3.0	Technische Daten, Zubehöre 9
3.1	Technische Daten 9
3.11	Messgrenzen 9
3.12	Toleranz-Grenzwerte 9
3.13	Angaben der Eingangs- und Ausgangs-An- schlüsse 11
3.2	Im Preis inbegriffene Zubehöre 11
3.21	Hochfrequenzkabel 11
3.22	Messkondensator mit Schutzring zum Messen fester Dielektrika 11
3.23	Kleines Messgefäß zum Messen flüssiger Dielektrika 12
3.24	Grosses Messgefäß zum Messen flüssiger Dielektrika 12
3.25	1 St Gebrauchsanweisung 12 Nähere Beschreibung der Messgrenzen bei der Messung der Dielektrizitätskonstante und der Kapazität in den einzelnen Bereichen
4.0	Auspackanweisung 15
4.1	Aufschriften und Markierungen an der Transportkiste 15
4.2	Innere Verpackung 15
4.3	Anordnung der Zubehöre 15
5.0	Abbildung und Aufzählung der im Preis inbe- griffenen Zubehöre 16

	Seite
6.0	Eingehende Beschreibung des Gerätes 17
6.1	Mechanische Konstruktion des Gerätes und Beschreibung der Bedienungsorgane 17
6.1.1	Mechanische Konstruktion des Gerätes 17
6.1.2	Mechanische Konstruktion der Zubehöre 23
6.1.21	Anschlusskabel 23
6.1.22	Grosses Messgefäss 23
6.1.23	Kleines Messgefäss 27
6.1.24	Messkondensator mit Schutzring 31
6.2	Beschreibung des Prinzipschaltbildes 35
7.0	Bedienungsanleitung 44
7.1	Beschreibung der Bedienungsorgane 44
7.2	Anschlussmöglichkeiten 45
8.0	Gebrauchsanweisung 46
8.1	Allgemeine Bemerkungen in Bezug auf die Messung der Dielektrizitätskonstante und des Verlustfak- tors verschiedener Stoffe 46
8.1.1	"Aenderung der elektrischen Parameter des Isolier- stoffes als Funktion der Frequenz 47
8.1.2	Rolle der Temperaturabhängigkeit bei der Qualifi- zierungsmessung von Isolierstoffen 48
8.1.3	Rolle der relativen Luftfeuchtigkeit 50
8.2	Anordnung des Messplatzes 51
8.2.1	Generator 51
8.2.2	Anschliessen des Generators 52
8.2.3	Messempfänger 52
8.2.4	Anschluss des Messempfängers 53
8.2.5	Erdung 53
8.2.6	Anschluss des zu messenden Kondensators 53
8.2.7	Störendes elektrisches Feld 54
8.3	Vorbereitung zur Messung 55
8.3.1	Messung fester Isolierstoffe 55
8.3.2	Messung flüssiger Isolierstoffe 56
8.3.21	Vorbereitung des zu messenden Oles 57

	Seite
8.3.22	Vorbereitung des Messgefäßes 57
8.3.23	Sicherung der konstanten Temperatur 58
8.4	Frequenzgrenze 60
8.5	Bestimmung des Multiplikators "B" 61
8.6	Null-Einsteller 62
8.7	Messung von C_{0-1} 62
8.8	Ausgleichung der Brücke 64
8.9	Messung des Verlustfaktors 64
8.10	Messung der Dielektrizitätskonstante 66
8.10.1	Feste Isolierstoffe 66
8.10.2	Flüssigkeiten 66
8.10.3	Messen von Kondensatoren 68
8.11	Zahlenbeispiele zum Bestimmen der Dielektri- zitätskonstante und des Verlustfaktors sowie zur Kapazitätsmessung 68
8.11.1	Flüssige Isolierstoffe 68
8.11.2	Feste Stoffe 69
8.11.3	Kondensatormessungen 70
9.0	Verfahren nach Beendigung der Messung 71
10.0	Instandhaltungsanweisung 72
10.1	Mechanische Wartung 72
10.2	Elektrische Wartung 73
11.0	Service-Anleitung 74
11.1	Mess-Stelle 74
11.2	Überprüfung der Messbrücke 74
11.3	Eichung der Kapazitätsmessung 74
11.4	Die häufigsten Fehler 76
	Anordnung der inneren Teile 82
	Prinzipschaltbild 89-90
	Verzeichnis der Bestandteile 91

Messbrücke zur Bestimmung der Dielektrizitätskonstante und des

Verlustfaktors

Typ: TR-9701

1.0 Bestimmung und Anwendungsgebiet des Gerätes

Die Messbrücke Typ TR-9701 dient zur Bestimmung der Kapazität und des Verlustes von Kondensatoren sowie zur Ermittlung der Dielektrizitätskonstante. Das primäre Anwendungsgebiet des Gerätes ist die Prüfung und Qualifizierung von Isolierstoffen, das mit Hilfe des als Zubehörteil mitgelieferten Einspannkopfes und der Messgefässe geschieht.

Im Gegensatz zu den konventionellen, zur Qualifikation von Isolierstoffen verwendeten Messbrücken, bietet vorliegendes Gerät den Vorteil, dass sich die hochspannungsbedingten Sicherheits- und Schutzmassnahmen erübrigen, da die nötigen Messungen innerhalb des Frequenzbereiches von 30 - 300 000 Hz mit einer Höchstspannung von 40 V durchführbar sind.

Die Messbrücke eignet sich in erster Linie zur Untersuchung der in Starkstromanlagen verwendeten Isolieröle und der in der Fernmeldetechnik verwendeten verschiedenen Isolierstoffe. Zu dem eignet sich noch vorzüglich zu Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf diesen Gebieten, wobei sie aber auch zu grossangelegte Serienmessungen verwendet werden kann.

Die Messbrücke hat einen geringen Raumbedarf und beansprucht keine Schutzvorrichtungen, wodurch sie bei Serien-Stoffprüfungen ein unentbehrliches Messgerät darstellt.

2.0 Arbeitsprinzip und Konstruktion

2.1 Arbeitsprinzip

Die Messbrücke Typ TR-9701 arbeitet nach dem Prinzip der Schering-Brücke. Die zu den Wechselstrombrücken gehörende Schering-Brücke

dient zur genauen Messung von Kapazitäten und eignet sich gleichzeitig auch zur Bestimmung des Verlustwinkels der Kapazität.

Die Speisung der Brücke mit Wechselstrom erfolgt über einen symmetrischen Transformator /siehe Abbildung 1/. Dieser hat die Aufgabe, die Brücke zu symmetrisieren sowie - wegen der Verwendung des asymmetrischen Generators - zu verhüten, dass der Ausgleich der Brücke vom Generator beeinflusst wird. Ein besonderes Merkmal der Brücke ist, dass sich gegenüber den zusammen betätigten beiden Widerstands-Brückenzweigen - von denen jeder mit einem Luftdielektrikum-Drehkondensator parallel geschaltet ist - 2 Kondensator-Brückenzweige befinden, von denen der eine die zu messende Kapazität und der andere ein in pF geeichtes Luft-Drehkondensator ist. Im Gleichgewichtszustand der Brücke lässt sich die Kapazität an dem in pF geeichten Luft-Drehkondensator unmittelbar ablesen, während zur Bestimmung des Verlustwinkels der abgelesene Wert der zu messenden Kapazität gegenüberliegenden parallel geschalteten Widerstandskapazität mit ω multipliziert wird.

Der Ausgang der Brücke ist asymmetrisch. Bei niedrigen Frequenzen kann ein Kopfhörer als Indikator verwendet werden. Bei genaueren Messungen von Frequenzen, die jenseits des hörbaren Frequenzbereiches liegen, ist ein Messempfänger - Verstärker zu verwenden.

2.2 Blockschaltbild des Gerätes

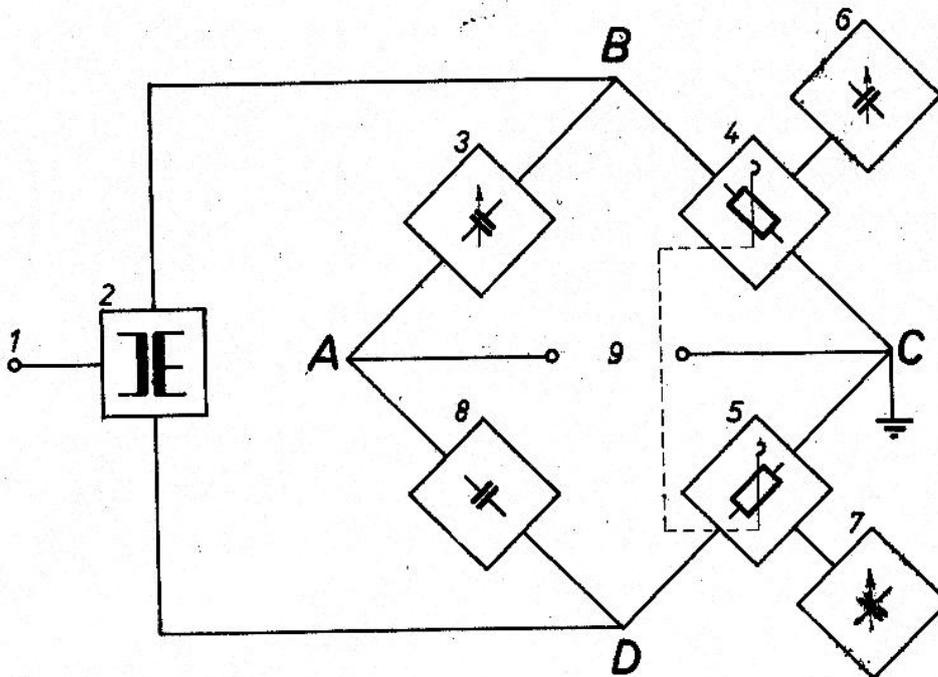


Abb.1

- 1 Eingangsanschluss
- 2 Eingangs-Übertrager
- 3 Der geeichte, kontinuierlich veränderbare Messkondensator /mit Luftdielektrikum/
- 4 Widerstands-Dekadenschalter S_1 /zusammenlaufend/
- 5 Widerstands-Dekadenschalter S_2 /zusammenlaufend/
- 6 Phasenausgleichs-Drehkondensator mit Luftdielektrikum
- 7 Nulleinstell-Drehkondensator mit Luftdielektrikum
- 8 Die zu messende Kapazität
- 9 Ausgangsanschluss

Der Eingang der Brücke besteht aus den symmetrischen Übertragern, die den Punkten B-D angeschlossen und dekadisch veränderbar sind.

Die Brückenzweige B-C und C-D sind mit Kapazitäten überbrückte Widerstände. Der im Zweig B-C befindliche Drehkondensator mit Luftdielektrikum /6/ dient zum Phasenausgleich. Der im Zweig C-D befindliche Nulleinstell-Drehkondensator mit Luftdielektrikum /7/ kompensiert die zwischen die Punkte C-D fallende Kapazität des zu messenden Kondensators C_x /8/, sowie die Anfangskapazität des im Brückenzweig B-C befindlichen Phasenausgleich-Drehkondensators mit Luftdielektrikum /6/.

Im Zweig A-B befindet sich der in pF geeichte Messkondensator /3/. Infolge seiner Konstruktion und der hervorragenden Qualität der verwendeten Isolierstoffe ist der von Temperatur, Kapazität und Luftfeuchtigkeit bedingte Verlust so gering, dass die Messgenauigkeit praktisch nicht beeinträchtigt wird.

Am Widerstands-Dekadenschalter S_1 kann nicht nur der entsprechende Messbereich ausgewählt werden, sondern auch der sich für den Messbereich am meisten geeignete Eingangsübertrager.

3.0 Technische Daten, Zubehöre

3.1 Technische Daten

3.11 Messbereiche

Messfrequenzbereich	50 Hz - 300 kHz
Messgrenzen der Verlustfaktors	$1 \cdot 10^{-4}$ - $1000 \cdot 10^{-4}$
bei 50 Hz	bis $2500 \cdot 10^{-4}$
Messgrenzen der Kapazität	10 pF - 1 μ F
<u>Aufteilung der Messbereiche</u>	
Bereiche 1 - 5	10 - 1000 pF
" 6 - 7	1000 - 10000 pF
" 8 - 9	0,01 - 0,1 μ F
" 10 - 11	0,1 - 1 μ F

Die eingehende Beschreibung der Messgrenzen bei der Messung des Verlustfaktors und der Kapazität der einzelnen Bereiche siehe Seiten 13 und 14.

3.12 Toleranz-Grenzwerte

Fehlergrenze bei der Messung des Verlustfaktors:

In den Bereichen 1 - 5

Auf Skala "A" über 10 Skalen-

 lenteilungen

± 3 %, ± 0,5 Skalenteilungen

 unter 10 Skalen-

 lenteilungen

± 0,5 Skalenteilungen

in den Bereichen 6 - 11

auf Skala "A" über 10 Skalen-

 lenteilungen

± 5 %, ± 0,5 Skalenteilungen

 unter 10 Skalen-

 lenteilungen

± 1 Skalenteilung

Fehlergrenze der Kapazitätsmessung

wenn $\operatorname{tg} \delta < 10^{-2}$	$\pm 1 \% \pm 1 \text{ pF}$
wenn $\operatorname{tg} \delta > 10^{-2}$	$\pm 2 \% \pm 1 \text{ pF}$

Eingangswiderstand

Der Eingangswiderstand ändert sich mit dem Messbereich, mit dem Wert von C_x und der Messfrequenz. Der Eingangswiderstand der Brücke beträgt, abgesehen von wenigen extremen Messfällen $> 500 \text{ Ohm}$

Speisespannung am Brückeneingang

max. $40 V_{\text{eff}}$

Belastbarkeit des Ausganges

100 kOhm

Die am Ausgang messbare niedrigste und höchste Spannung

1 μV - 100 V

Zulässige harmonische Verzerrung des Generators

max. 5%

Klimatische Angaben

Obige technischen Daten im Laboratorium oder im Freien /jedoch unter einem Schutzdach/ vom Gerät dann angedient, wenn

die Temperatur

$/+10^{\circ}\text{C}/ - /+40^{\circ}\text{C}/$

die relative Luft-

feuchtigkeit be-

max. 75%

tragen.

Abmessungen des Gerätes

505 x 340 x 260 mm

Gewicht des Gerätes

ca. 24 kg

3.13 Angaben der Eingangs- und Ausgangsanschlüsse

Generatoranschluss

Koaxiale asymmetrische Hülse von 4 mm \emptyset sowie eine äussere Hülse von 14,5 mm \emptyset zur Aufnahme des koaxialen Anschluss-Stöpsels

Indikatoranschluss

Koaxiale asymmetrische Hülse mit einem \emptyset von 4 mm sowie einer äusseren Hülse mit 14,5 mm \emptyset zur Aufnahme des koaxialen Anschluss-Stöpsels

Messanschlüsse

- 2 St. eingebaute koaxiale Kabel mit geringem Verlust und einem Bananenstecker von 4 mm \emptyset sowie einem äusseren Zylinder von 14,5 mm \emptyset zur Übertragung der Erdung

3.2 Im Preis inbegriffene Zubehöre

3.21 Hochfrequenzkabel

2 St. 1 m lange Hochfrequenzkabel mit einer koaxialer Anschlussbuchse von 14,5 mm \emptyset

3.22 Messkondensator mit Schutzring zum Messen

fester Dielektrika

Durchmesser der geschirmten Elektrode

73,5 mm

Kapazität bei einem Luftspalt von 1 mm	ca 40 pF
Einspannungsvermögen	0 - 10 mm
Einstellgenauigkeit mit Indikatoruhr	0,01 mm
Abmessungen / ϕ und Höhe/	130 x 185 mm
Gewicht	2,8 kg

3.23 Kleines Messgefäß zum Messen flüssiger Dielektrika

Fassungsvermögen	ca. 15 cm ³
Messkapazität in leerem Zustand	ca. 70 pF
Kapazität zwischen der geschirmten Elektrode und der Abschirmung + dem Schutzring	ca. 70 pF
Kapazität zwischen der Gegen- elektrode und der Abschirmung + dem Schutzring	ca. 10 pF
Abmessungen / ϕ und Höhe/	100 x 168 mm
Gewicht	2,6 kg

3.24 Grosses Messgefäß zum Messen flüssiger Dielektrika

Fassungsvermögen	ca. 900 cm ³
Messkapazität in leerem Zustand	ca. 300 pF
Kapazität zwischen der geschirmten Elektrode und der Abschirmung + dem Schutz- ring	ca. 90 pF
Kapazität zwischen der Gegen- elektrode und der Abschirmung + dem Schutzring	ca. 30 pF
Abmessungen / ϕ und Höhe/	135 x 200 mm
Gewicht	4,25 kg

3.25 1 St. Gebrauchsanweisung

Messgrenze von $\text{tg } \theta'$ in 10^{-4} ausgedrückt, wenn A = 10 Skalenteilungen

Messbereichgrenzen des Schalters

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
		x1			x10			x100			x1000	
		10 - 1000 pF		100 - 10 000 pF		1000 - 100 000 pF		10 000 - 1 000 000 pF		10 000 000 pF		
		10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	
50 Hz	5 - 50	-	-	-	5 - 50	-	5 - 50	-	5 - 50	-	5 - 50	
100 Hz	10 - 100	-	-	-	10 - 100	-	10 - 100	-	10 - 100	-	10 - 100	
200 Hz	20 - 200	-	-	-	20 - 200	-	20 - 200	-	20 - 200	-	20 - 200	
350 Hz	35 - 350	-	-	-	35 - 350	-	35 - 350	-	35 - 350	-	35 - 350	
500 Hz	50 - 500	5 - 50	-	-	50 - 500	-	50 - 500	-	50 - 500	-	50 - 500	
1 kHz	100 - 1000	10 - 100	-	-	100 - 1000	10 - 100	100 - 1000	10 - 100	100 - 1000	10 - 100	100 - 1000	
2 kHz	200 - 2000	20 - 200	-	-	-	20 - 200	-	20 - 200	-	20 - 200	-	
3,5 kHz	350 - 3500	35 - 350	-	-	-	35 - 350	-	35 - 350	-	35 - 350	-	
5 kHz	500 - 2500	50 - 500	5 - 50	-	-	50 - 500	-	50 - 500	-	50 - 500	-	
10 kHz	max. 1000	100 - 1000	10 - 100	-	-	100 - 1000	-	100 - 1000	-	100 - 1000	-	
20 kHz	-	200 - 2000	20 - 200	-	-	-	-	-	-	-	-	
35 kHz	-	350 - 3500	35 - 350	-	-	-	-	-	-	-	-	
50 kHz	-	500 - 2500	50 - 500	5 - 50	-	-	-	-	-	-	-	
100 kHz	-	max. 1000	100 - 1000	10 - 100	-	-	-	-	-	-	-	
200 kHz	-	-	200 - 2000	20 - 200	-	-	-	-	-	-	-	
300 kHz	-	-	300 - 3000	30 - 300	-	-	-	-	-	-	-	

C=0,15 μF
20 - 200
C=0,25 μF
35 - 350
C=0,2 μF
50 - 500
C=0,1 μF
100-1000

4.0 Auspackanweisung

In Zusammenhang mit der Auspackung des Gerätes ist folgendes zu bemerken:

Das Gerät gelangt in einer Holzkiste verpackt zum Versand.

4.1 Aufschriften und Markierungen an der Transportkiste

Am Deckel der Kiste sind die Adresse sowie die Brutto - bzw. Nettogewicht vermerkt. An zwei Seiten der Kiste befinden sich Pfeile, die auf den Deckel hinweisen. An beiden Seiten der Kiste befindet sich der Name der Exportfirma und das Wort "zerbrechlich"/russisch oder deutsch/. An beiden Enden der Kiste sieht man das Glas- und Regenschirmzeichen, die auf die richtige Lage der Kiste hinweisen.

Beim Öffnen der Kiste ist zuerst der durch Pfeile bezeichnete Deckel zu entfernen.

4.2 Innere Verpackung

Das Gerät und seine Zubehöre sind in Hut-Packpapier, in Paraffinpapier, in Polyäthylen- oder Superfolie, in eine Schicht Wellpappe und schliesslich in ITA-Papier verpackt sowie an beiden Enden mit Klebeband verklebt.

Das Gerät und die Zubehörteile sind in Holzwolle gebettet.

4.3 Anordnung der Zubehöre

Die Zubehöre sind auf dem Gerät bzw. dem freien Packraum entsprechend untergebracht. Nach Entfernung des Kistendeckels wird zunächst die Baumwollfüllung herausgenommen. Nach der Entnahme der Zubehöre wird das auf diese Weise freigelegte Gerät mit Hilfe der Traggriffe herausgehoben. Der Inhalt der Transportkiste ist an Hand des unter dem Deckel befindlichen Packzettels oder des Transportscheines zu kontrollieren.

5.0 Abbildung und Aufzählung der im Preis inbegriffenen Zubehöre.

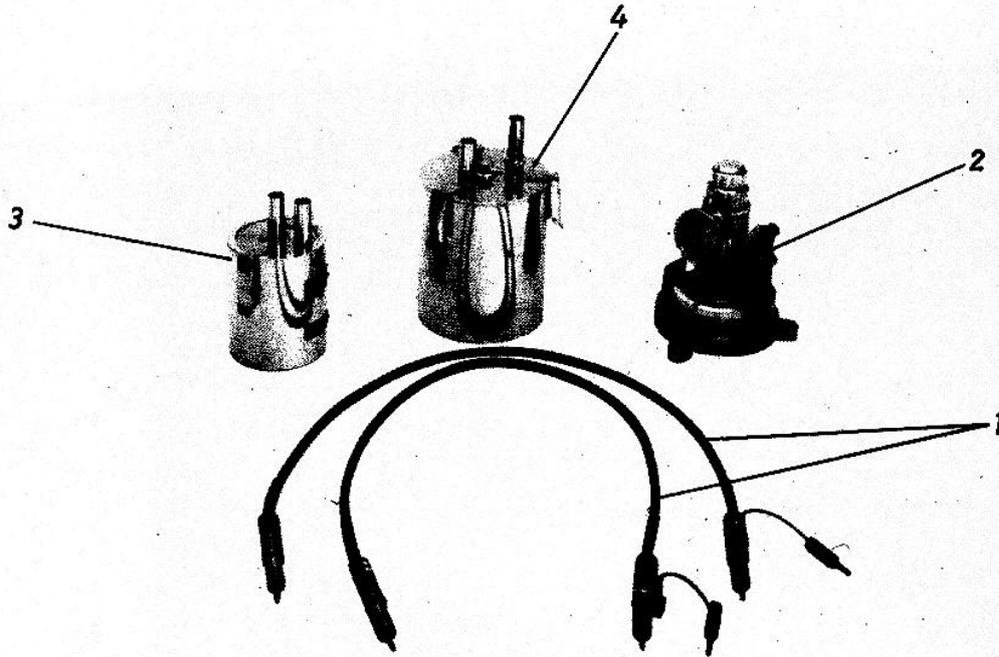


Abb.2

- 1 2 St. 1 m lange koaxiale Messkabel und Anschluss-Stecker mit einem \varnothing von 14,5 mm /TR-9701/1/
- 2 Messkondensator mit Schutzring zum Messen fester Stoffe /TR-9701/2/
- 3 Kleines Messgefäß zur Messung von Flüssigkeiten /TR-9701/3/
- 4 Grosses Messgefäß zur Messung von Flüssigkeiten /TR-9701/4/
- 5 1 St. Bedienungsanleitung in Kunststoffumschlag

6.0 Eingehende Beschreibung des Gerätes

6.1 Mechanische Konstruktion des Gerätes und Beschreibung der Bedienungsorgane

6.1.1 Mechanische Konstruktion des Gerätes

Die Messbrücke ist in einem Eichenholzkasten untergebracht, der mit Exzenterverschlüssen und mit Versenkgriffen versehen ist. Das Gerät ist mit Hilfe von 4 an Panel befindlichen Schrauben, die mit Zierunterlagen versehen sind, im Kasten befestigt. Die Armaturen des Brückenstromkreises befinden sich innerhalb des Holzkastens und sind gegen die sich störend auswirkenden elektrischen und magnetischen Felder mit einer besonderen, vollständigen Abschirmung versehen. Die Abschirmhaube kann nach dem Entfernen der an der Rückseite befindlichen 4 Schrauben abgehoben werden.

Die Brückenstromkreise und ihre Bedienungsorgane sind an einem mit zwei Schutzbügeln versehenen Aluminiumpanel vereinigt. Der verlustarme Drehkondensator C_1 von 1120 pF befindet sich an der rechten Seite ~~des Panels~~, während der zu einem Dreierkondensator ausgebildete Kondensator C_2 an der linken Seite des Panels angebracht ist.

Beide Kondensatoren sind mit einer langen Skala und zur Erhöhung der Ablesegenauigkeit mit Skalenzeigern, die mit Vergrößerungsgläsern bestückt sind ausgestattet. Diese Kondensatoren lassen sich auch mit einem Feintrieb drehen, der über ein Übersetzungsverhältnis von 1:60 verfügt.

Der Drehkondensator C_1 mit einem Endwert von 1120 pF, der am Panel des Gerätes mit "C" bezeichnet ist, hat eine weitgehend verlustfreie Konstruktion. Der Stator des Kondensators ist vom Chassis mit Quarzkugeln isoliert. Die aus Elysolit angefertigte Achse des isolierten Drehteiles dreht sich in Präzisionskugel-

lagern und bewegt den gesondert gelagerten Skalenzeiger über eine Hebelkupplung. Dieser Drehkondensator verfügt über eine Anfangskapazität von weniger als 10 pF und hat eine Konstruktion bei der im Kraftfeld des Kondensators keine Isolierstoffe vorhanden sind. Der Verlustfaktor des Kondensators ist geringer als $0,1 \times 10^{-4}$, das einen so niedrigen Verlustfaktor bedeutet, dass die hervorragenden Eigenschaften des Kondensators selbst von der Luftfeuchtigkeit nicht beeinflusst werden. Gegen das Eindringen von Staub ist der Drehkondensator mit einer geschlossenen Abschirmverkleidung versehen.

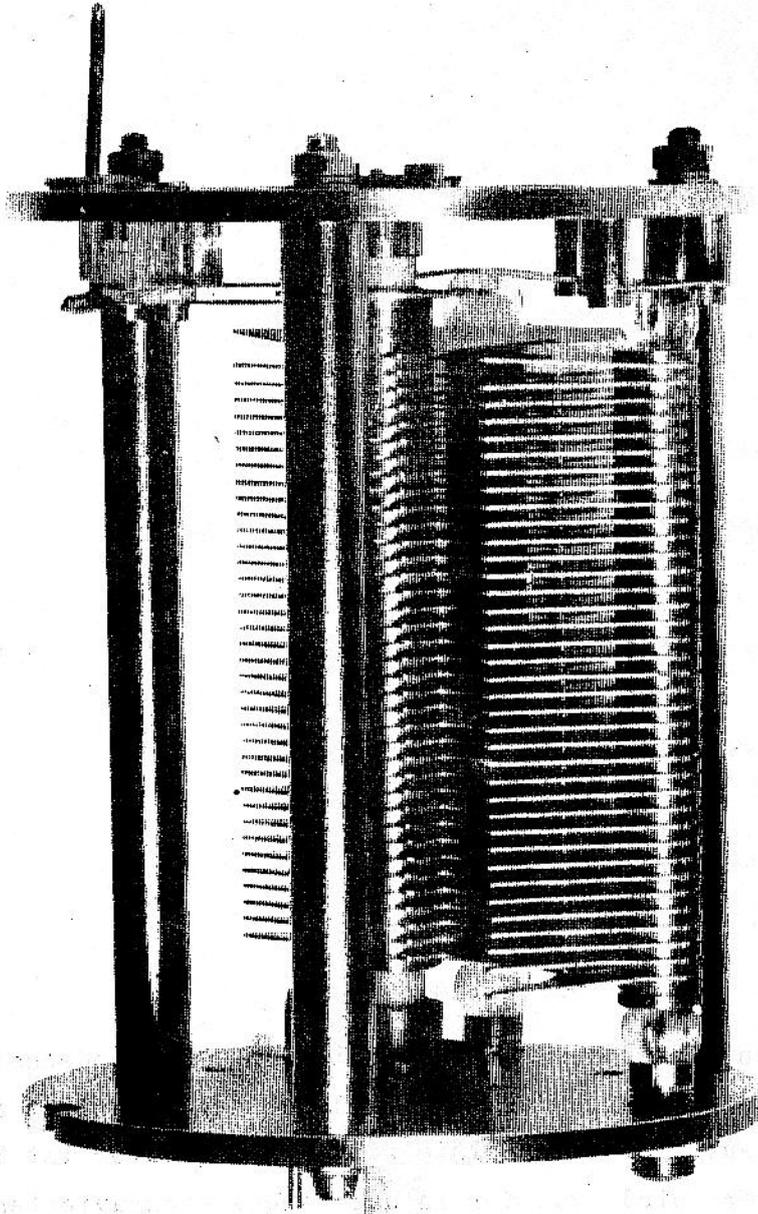


Abb.3

Der Dreierkondensator C_2 ist am Paneel der Messbrücke durch "A₂" bezeichnet. Der Kondensator verfügt über eine logarithmische Charakteristik. Die Bauweise der Skala stimmt mit der Skala von C_1 überein. Beide Drehkondensatoren können mit Hilfe der in der Mitte der Skala befindlichen Drehknöpfe schnell abgestimmt werden.

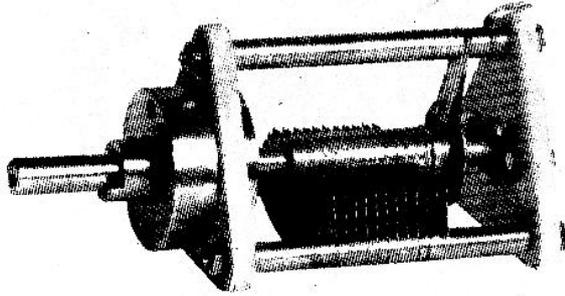


Abb.4.

Am oberen Ende des Paneels ist ein Drehkondensator C_3 von 100 pF vorgesehen, der zum Ausgleich der Kapazität des Schutzringes dient. Die Kennlinie dieser Kondensator ist linear. Der Einstellwert wird von der in das Paneel eingravierten Skala angezeigt.

Schalter S_1

Der in der Mitte des Paneels angebrachte Messgrenzenschalter S_1 hat 11 Stellungen. Die zu den einzelnen Stellungen des Stufenschalters gehörigen Schaltcharakteristiken zeigen gut lesbare, gravierte Aufschriften an.

Die am Schaltplan angeführten Schaltungsmöglichkeiten lassen sich, in 6 Schaltebenen gegliedert, in den nachstehenden Stromkreisschriften verfolgen.

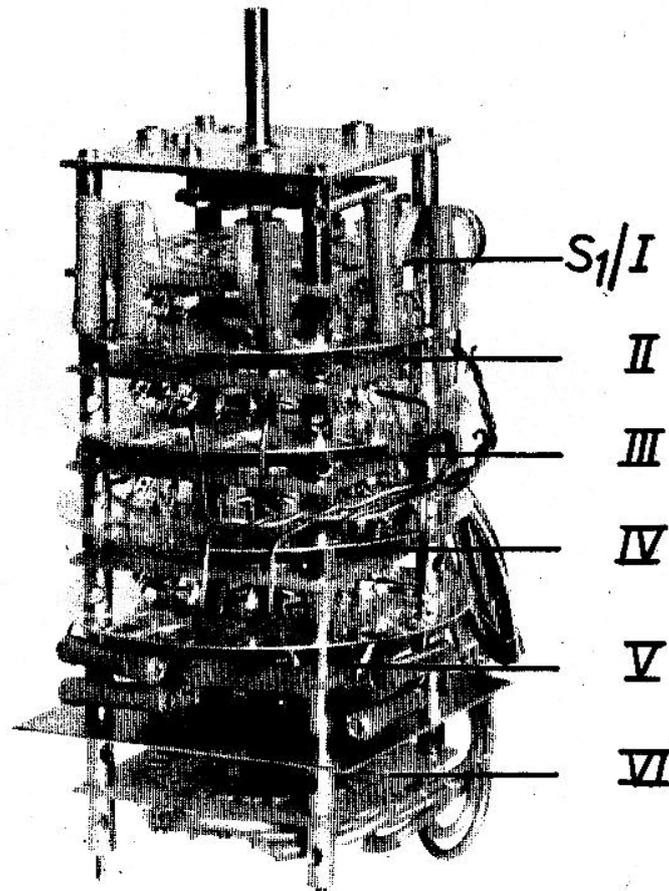


Abb. 5

Das eine Glied des Dekadenwiderstandes wird von Schaltscheibe S_1/I des Schalters S_1 mit Kondensator C_2 parallel geschaltet, wobei der Letztere des Ablesen des Verlustafaktors ermöglicht. Die nächste Schaltscheibe S_1/II schaltet den einen Pol der Sekundärspule des Symmetrisiertransformators.

Die an die Schaltscheibe S_1/III angeschraubten Ausgleichkondensatoren $C_{10} - C_{15}$ erweitern die Kapazität des Kondensators C_1 in den Schalterstellungen $10x$, $100x$, $1000x$.

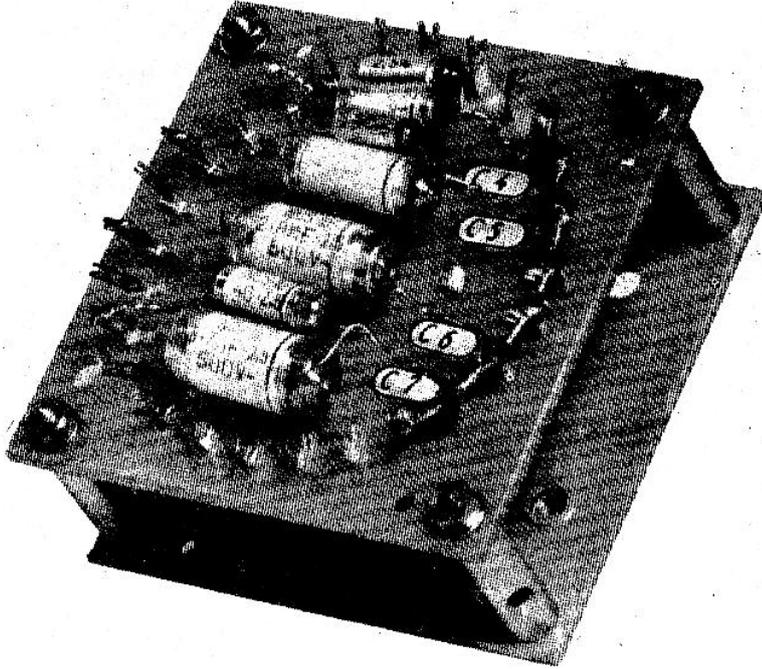


Abb. 6

Schaltscheibe S_1/IV schaltet die Sekundärspulen der Transformatoren Tr_1 , Tr_2 , Tr_3 , während Schaltscheibe S_1/V das andere Glied der mit Kondensator C_3 parallel geschalteten Dekaden-Widerstandsreihe einstellt /zusammen mit Schaltscheibe $S_1/I/$. Schaltscheibe S_1/IV ist vollständig abgeschirmt und führt die vom Generator gelieferte Speisespannung der Primärspule bzw. der Abzweigung der drei Transformatoren zu. Die Schaltscheiben sind gegeneinander abgeschirmt und - mit Ausnahme der vollständig abgeschirmten Schaltscheibe S_1/IV - nach aussen offen.

Schalter S_2

Stufenschalter S_2 verfügt über 4 Stellungen und ermöglicht eine Ausdehnung des Messbereiches von C_2 bis zur Grenze von 500×10^{-4} .

Messkabel

Die zum Anschluss von C_x dienenden Messkabel sind am Paneel des Gerätes untrennbar befestigt. Das sogenannte "warme Kabel" ist mit einem roten Ring markiert. Die Kapazität und der Widerstand des Messkabels werden bei der Einstellung im Herstellerwerk ausgeglichen. Eine Verlängerung oder Verkürzung der Messkabel macht eine Neueichung des Gerätes notwendig. Wenn also ein längeres oder kürzeres Messkabel benötigt, oder der Anschluss beschädigt wird, ist diese unter Angabe der genauen Länge und gleichzeitiger Einsendung des Gerätes beim Herstellerwerk zu bestellen.

6.1.2 Mechanische Konstruktion der Zubehöre

6.1.21 Anschlusskabel

Zum Gerät gehören 2 St. koaxiale Anschlusskabel mit einer Länge von je 1 m und Stecker mit Durchmesser von 14,5 mm. Mit Hilfe dieser Kabel können der Generator und der Indikator der Brücke angeschlossen werden /siehe Pos. 1 auf Abb. 2, Seite 16/
Beide Enden der Kabel sind mit normgerechten koaxialen Steckern versehen.

6.1.22 Grosses Messgefäss /Messkondensator/

/Siehe Abb. 7 und 8 auf Seite 25/

Fassungsvermögen	ca. 900 cm ³
Volumen der zu messenden Flüssigkeit	ca. 900 cm ³
Elektrodenwerkstoff	Kupfer mit Hartsilber-Überzug
Isolierstoffe	Superphenolfiber-Ring /2 Stück/ Durchlassring aus Kalit /3 Paare/

Abstand zwischen der inneren und der äusseren Elektrode	1 mm
Anschluss der äusseren und der inneren Elektrode sowie des Schutzringes	2 St. koaxiale Hochfrequenzbuchsen Ø 14,5 mm Mantel: Schutzring
Zulässige max. Temperatur	+ 105 ⁵
Elektrische Festigkeit /Elektrode zu Elektrode, Elektrode zu Chassis/ leer, bei 25°C	max. 1000 V 50 Hz
Kapazität der inneren und äusseren Elektrode C ₁₋₂ , leer	ca. 330 pF
Kapazität der inneren Elektrode und der Chassis /Schutzring/, C ₀₋₁	ca. 97 pF
Verlustfaktor der Kapazität C ₁₋₂ , leer	nicht messbar
Abmessungen	Ø 135x200 mm
Gewicht	4,45 kg

Zur Beachtung!

Die Elektroden sind mit Silber angelauten. Sie können also nur zum Messen von Flüssigkeiten verwendet werden, die diese Silberschicht nicht lösen. Alkalische Flüssigkeiten, deren pH-Wert über 7 ist, können ohne Einschränkung untersucht werden.

Säurehaltige Flüssigkeiten /zwischen 5 und 7 pH/ schädigen die Silberschicht nicht, während Flüssigkeiten, die Schwefelwasserstoff oder Salpetersäure enthalten, auf die Silberschicht zerstörend wirken.

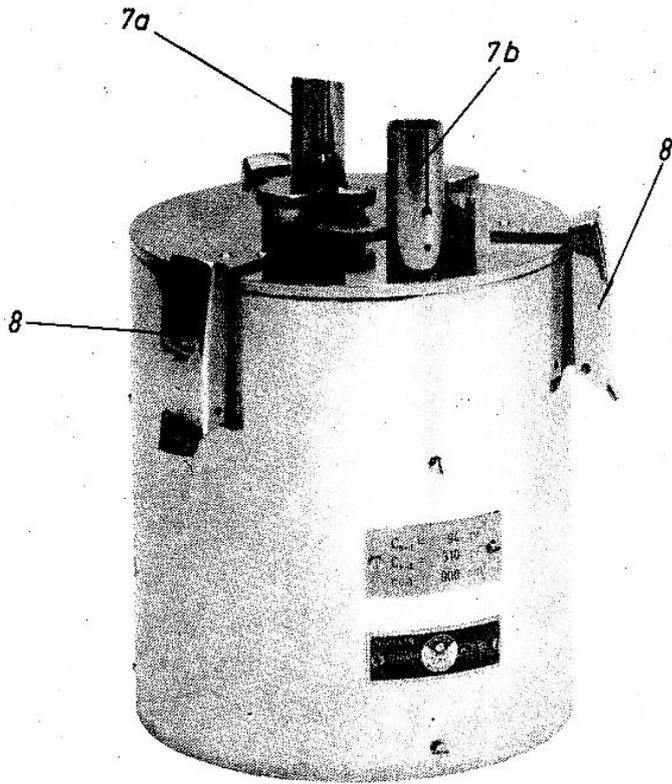
Das grosse Flüssigkeitsmessgefäss ist auf Abb. 7 und 8 auf Seite 25 dargestellt. Die Elektrode /2/ selbst ist das die Messflüssigkeit enthaltende Metallgefäss, das in einem Abschirm-Metallgehäuse /1/ untergebracht ist. Die innere Elektrode /3/ ist am Deckel des Gefässes befestigt. Der äussere Mantel /1/ des Messkondensators dient auch zur Abschirmung der Kondensator-Armaturen. Der Metalldeckel /6/, der die innere Armatur /3/ mit Hilfe von 3 Kalitringen befestigt, trägt auch die Abschirmbuchsen der koaxialen Anschlüsse /7/.

Der Deckel ist mit drei Exzenterverschlüssen /8/ lösbar auf den äusseren Mantel befestigt. Die äussere Elektrode /2/ wird von 2 Superphenolfiber-Ringen /5/ im äusseren Mantel konzentrisch geführt.

Die Klemmen der äusseren und der inneren Armatur sind durch den inneren Schutzring /4/ gegeneinander abgeschirmt, so dass das Kraftfeld der Kapazität C_{1-2} keine Isolierstoffe berührt. Die vollkommene Abschirmung ermöglicht einen äusserst geringen Verlust von C_{1-2} , wodurch der zwischen den Elektroden gemessene Verlustfaktor der Flüssigkeit nicht verfälscht wird. Die Kapazitäten C_{0-1} und C_{0-2} weisen einen gewissen Verlust auf, der jedoch bei der Dreipunkt-Messung /mit Schutzring/ behoben werden kann, da die beiden Verlustkapazitäten sich nicht am Messzweig befinden. Bei hohen Frequenzen wird vom inneren Schutzring sogar die Störwirkung des Randkraftfeldes beseitigt.

Die innere Elektrode ist ein unten wie oben offener Zylinder, der beim Eintauchen die Flüssigkeit nicht verdrängt und auch ihr Niveau nicht hebt. Dadurch ist zum Eintauchen des Zylinders kein besonderer Kraftaufwand erforderlich, wie auch die Konzentrizität der beiden Elektroden genau eingehalten werden kann.

Das Thermometer kann in der inneren Armatur ausserhalb des elektrischen Kraftfeldes so untergebracht werden, dass der im Deckel des Flüssigkeitsmessers befindliche Metallpfropfen herausgehoben



Grosses Messgefäss

TR-9701/4

7a Abgeschirmte Buchse
inneren Armatur

7b Abgeschirmte Buchse
der äusseren Armatur

8 Exzenterverschlüsse

Abb.7

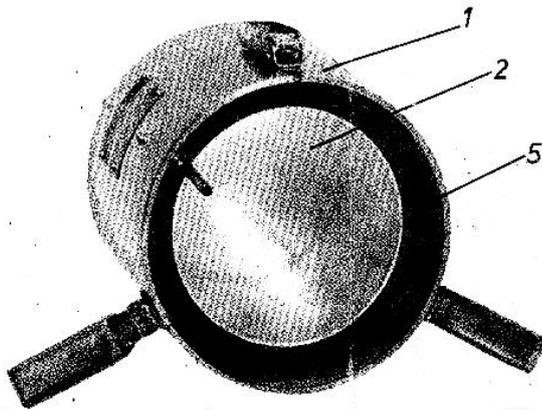


Abb.8

Grosses Messgefäss in geöffnetem Zustand

- 1 Abschirmgehäuse
- 2 Äussere Elektrode
- 3 Innere Elektrode

- 4 Schutzring
- 5 Isolierring
- 6 Metalldeckel

und das Thermometer durch die freigelegte Öffnung eingeführt wird. Auf diese Weise ist die Temperatur der Flüssigkeit direkt messbar. Die aus Superpentinax angefertigten, zwischen dem äusseren Abschirmmantel und der äusseren Elektrode befindlichen Isolierringe ertragen eine Höchsttemperatur von max. 105°C.

6.1.23 Kleines Messgefäss/Messkondensator/

Siehe Abb 9 und 10 auf Seite 29

Die Bauweise des kleinen Messgefässes stimmt mit der des grossen Messgefässes vollkommen überein. Das Fassungsvermögen des kleinen Messgefässes beträgt ca. 15 cm³. Dieses Messgefäss eignet sich in erster Linie für temperaturstabilisierte oder nichtstabilisierte Qualifizierungsmessungen. Selbstverständlich lässt sich das Messgefäss auch zur Kontrolle von Proben, zur Stoffprüfung, zur Untersuchung von Isolierstoffen, Lacken usw. verwenden, obwohl die Vorbereitung der Messungen wegen des kleinen Fassungsvermögens umständlicher ist, als bei der Verwendung des grossen Messgefässes.

Volumen der zu messenden

Flüssigkeit

ca. 15 cm³

Elektrodenwerkstoff

Kupfer mit Hartsilber-
überzug

Isolierstoffe

2 St. Superpentinax-
ringe,
1 Paar Kalitringe

Elektrodenabstand /zwischen

inneren und äusserer

Elektrode/

1 mm

Abschluss der inneren und

äusseren Elektrode und des

Schutzringes /Abschirmung/

2 St. koaxiale Hochfrequenz-
büchsen mit einem Ø von
14,5 mm
Mantel: der Schutzring

Höchstzulässige Temperatur	+ 105°C
Elektrische Festigkeit /Elektrode zu Elektrode, Elektrode zu Chassis/, leer bei 25°C	max. 1000 V 50 Hz
Kapazität der inneren und äusseren Elektrode C ₁₋₂ , leer	ca. 70 pF
Kapazität der Elektrode und des Schutzringes, C ₀₋₁	ca. 70 pF
Abmessungen	Durch. 100 x 168 mm
Gewicht	2,6 kg

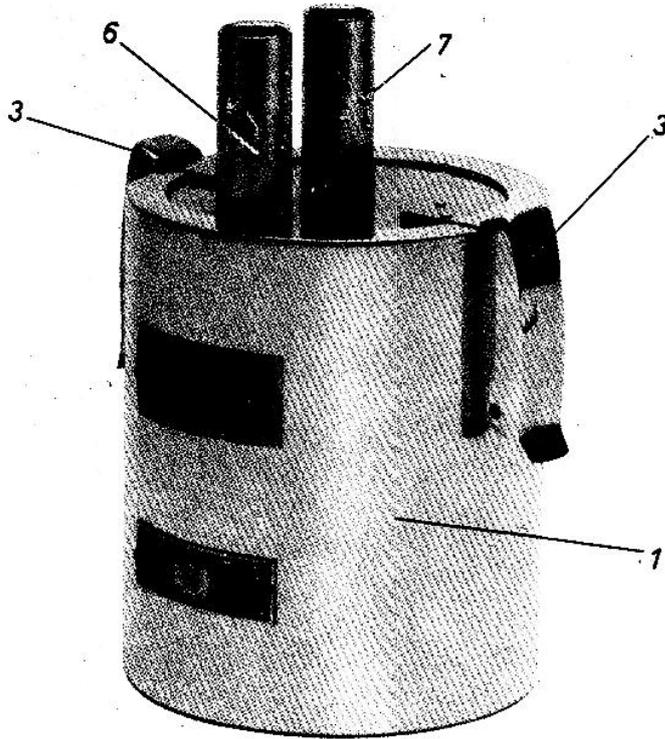
Zur Beachtung:

Siehe Bemerkung auf Seite 24

Das Gehäuse /1/ des Messkondensators ist ein Aluminiumguss-Stück von grosser Masse und hoher Wärmekapazität. Der Deckel ist mit zwei Exzenterverschlüssen /3/ am Gehäuse befestigt. Dem Deckel, der die Fortsetzung der Abschirmung des Gehäuses bildet, schliesst sich der innere Schutzring /4/, sowie die mit Kalit-Isolierringen versehene innere Elektrode /5/ an. Die innere Elektrode kann vom Gehäuse abgeschraubt werden, was die Reinigung erleichtert. Am Deckel befindet sich die abgeschirmte Klemme /6/ der inneren Elektrode. Die Abschirmbuchse der äusseren Elektrode befindet sich auf dem Deckel /7/ und die Buchse der inneren /8/ an der äusseren Elektrode /9/. Die äussere Elektrode ist mit 2 Superphenolfiber-Ringen /10/ konzentrisch am Gehäuse befestigt. Zur Reinigung können die Ringe und die äussere Elektrode aus dem Gehäuse herausgenommen werden.

Der richtige Zusammenbau wird von der Prüfung gesichert. Das Gehäuse, der mit diesem metallisch verbundene Deckel und die abgeschirmten Klemmen ermöglichen eine vollständige Abschirmung der Armatur gegen äussere elektrische Felder. Der innere Schutzring hingegen lenkt die inneren und äusseren gestreuten Kapazitäten von den aus Isolierstoff angefertigten Klemmen gegen das geerdete Gehäuse ab. Dies ermöglicht die vollkommene Verlustfreiheit der Kapazität C_{1-2} der beiden Armaturen.

Die Kapazitäten des Gehäuses /des Schutzringes/ und der Armaturen weisen, da sie mit festem Isolierstoff befestigt sind, einen gewissen Verlust auf. Diese C_{0-1} , C_{0-2} können jedoch in Fällen, wo die Messung nach dem Schutzring-Messprinzip vorgenommen wird, das Messergebnis nicht verfälschen, da die Kapazitäten C_{0-1} und C_{0-2} im Messzweig nicht enthalten sind. Der innere Messring besitzt auch das sich an der Kante der Elektrode entwickelnde gestreute Randkraftfeld, so dass die Messungen auch bei hohen Frequenzen verlässlich sind.



Kleines Messgefäß

TR-9701/3

- 1 Abschirmender Gehäuseguss
- 3 Exzenterverschlüsse
- 6 Abgeschirmte Klemme der inneren Elektrode
- 7 Abgeschirmte Klemme der äusseren Elektrode

Abb. 9

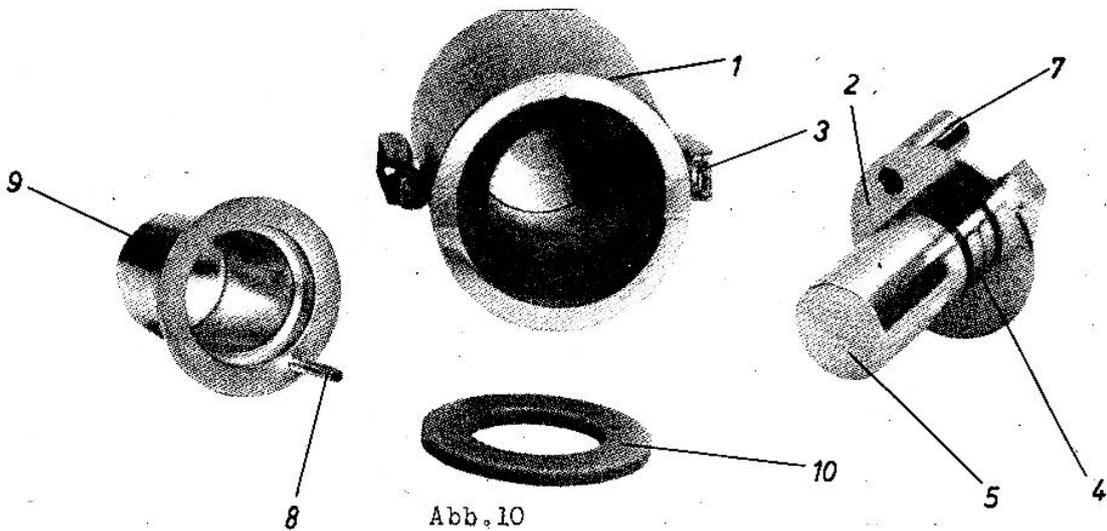


Abb. 10

- 1 Abschirmender Gehäuseguss
- 2 Deckel
- 3 Exzenterverschlüsse
- 4 Schutzring
- 5 Innere Elektrode
- 7 Abschirmbuchse der äusseren Elektrode
- 8 Buchse der äusseren Elektrode
- 9 Äussere Elektrode
- 10 Isoliererring

Die innere Elektrode ist hohl und nach oben geöffnet. In diesem Raum kann die überflüssige Flüssigkeit hineinfließen, und auch das zur Kontrolle der Temperatur angewendete Thermometer ragt in ihn hinein. Das Thermometer befindet sich ausserhalb des Kraftfeldes, so dass es den Messprozess nicht stört.

6.1.24 Messkondensator mit Schutzring

/siehe Abb. 11 auf Seite 33/

Die Klemmvorrichtung mit Schutzring dient zur Bestimmung der Dielektrizitätskonstante und des Verlustfaktors von festen und elastischen Isolierstoffen. Die massive und sehr genaue Konstruktion sowie die Anwendung der Elysolit-Isolierung ermöglichen Messungen im Betrieb, und im Laboratorium. Letztere sind mit sehr hoher Genauigkeit durchführbar.

Durchmesser der stehenden

- Elektrode	73,5 mm
Durchmesser der beweglichen Elektrode	94,0 mm
Elektroden-Werkstoff	rostfreier Stahl
Isolierstoffe zwischen Messkondensator und äusserem Gehäuse	Elysolit
Abmessung des Isolierstoffes	= 8 Ø 94
Elektrodenabstand	0 - 10 mm
Kapazität bei einem Luftspalt von 1 mm	ca. 40 pF
Einstellbare Genauigkeit	0,01 mm
Kapazität zwischen der geschützten Elektrode, dem Gehäuse und dem Schutzring	ca. 60 pF

Luftspalt zwischen der
geschützten Elektrode und
dem Schutzring

0,4 mm

Anschluss der stehenden und
beweglichen Elektroden und
des Schutzringes

2 St. koaxiale Hoch-
frequenzbuchsen

mit einem \varnothing von 14,5 mm

Durch. 130 x 185 mm

Abmessungen

Gewicht

2,80 kg

Das äussere Gehäuse /3/, das die bewegliche Elektrode /10/ enthält, ist aus einem Aluminiumgussstück hergestellt. Die untere Elektrode ist von einem Schutzring /11/ umgeben und gegen das untere Gusstück durch einen Elysolit-Ring isoliert. Die Gusstücke dienen gleichzeitig zur elektrischen Abschirmung der Messelektrode. Die Elektroden sind aus hochfestem Stahl angefertigt und entsprechend geschliffen. Die untere Elektrode ist isoliert, unbeweglich montiert und von einem Schutzring umgeben. Die obere Elektrode, die durch eine Elysolit-Isolierung /9/ gegen das obere Gusstück isoliert ist, kann mit Hilfe einer Grobeinstellschraube /1/ bzw. einer Feineinstellschraube /2/ der unteren Elektrode angenähert werden. Mit der Grobeinstellschraube /1/ ist die Berührungsgrenze des eingespannten Dielektrikums annäherbar. Zur Regelung der Spannkraft dient die Selbsteinstell-Feineinstellschraube /2/. Die abgeschirmten Klemmen /4 und 5/ der beweglichen und der unbeweglichen Elektrode sind am entsprechend ausgebildeten oberen Gusstück anmontiert. Im oberen Gusstück befindet sich eine Haltebohrung /7/, in der mit Hilfe einer Befestigungsschraube /8/ das Mikrometer /12/ befestigt werden kann. Dieses Mikrometer zeigt den Abstand zwischen den Elektroden mit einer Genauigkeit von 0,01 mm an. Das Mikrometer wird von einem zusammen mit der beweglichen Elektrode laufenden und auf einer isolierten Gusscheibe angebrachten Wolfram-Kontakt /14/ gesteuert. Bei einem Elektrodenabstand von 0 mm wird das Mikrometer mit der Nulleinstellschraube /13/ auf Null geeicht. Zur Befestigung des Einspannkopfes dienen 3 Trägerstützen, die sich am unteren Gusstück befinden und mit einem Gewinde von 5 mm \varnothing versehen sind.

Messkondensator mit Schutzring

zum Messen fester Dielektrika

TR-9701/2

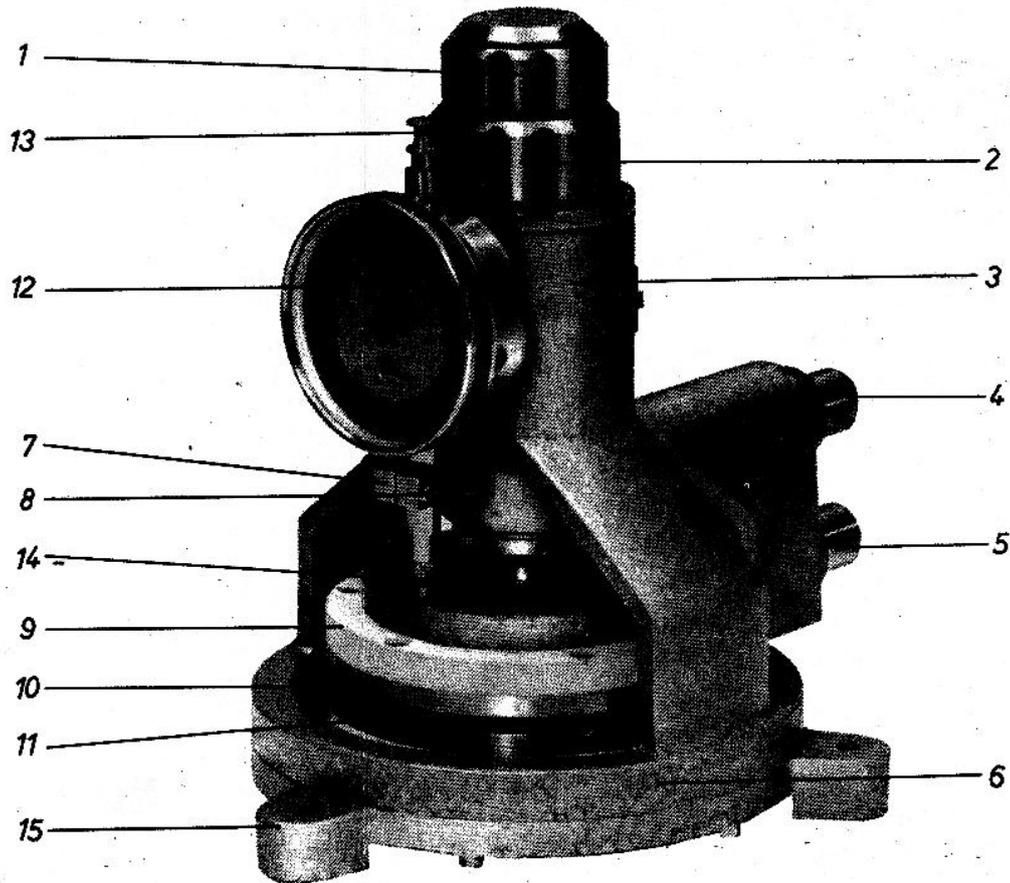


Abb.11

- | | | | |
|---|-------------------------------------|----|---------------------------|
| 1 | Grobeinstellschraube | 9 | Obere Elysolit-Isolierung |
| 2 | Feineinstellschraube | 10 | Obere Elektrode |
| 3 | Oberes Gusstück | 11 | Schutzring |
| 4 | Anschluss der oberen Elektrode | 12 | Indikator-Uhr |
| 5 | Anschluss der geschützten Elektrode | 13 | Skaleneinsteller |
| 6 | Unteres Gusstück | 14 | Wolfram-Kontakt |
| 7 | Haltebohrung der Indikator-Uhr | 15 | Befestigungsstütze |
| 8 | Befestigungsring der Indikator-Uhr | | |

6.2 Beschreibung des Prinzipschaltbildes

Die in die Gruppe der Wechselstrom-Messbrücken gehörende Schering-Brücke wird zu genauen Messung von Kapazitäten verwendet, dient aber gleichzeitig auch zur Bestimmung des Verlustwinkels derselben.

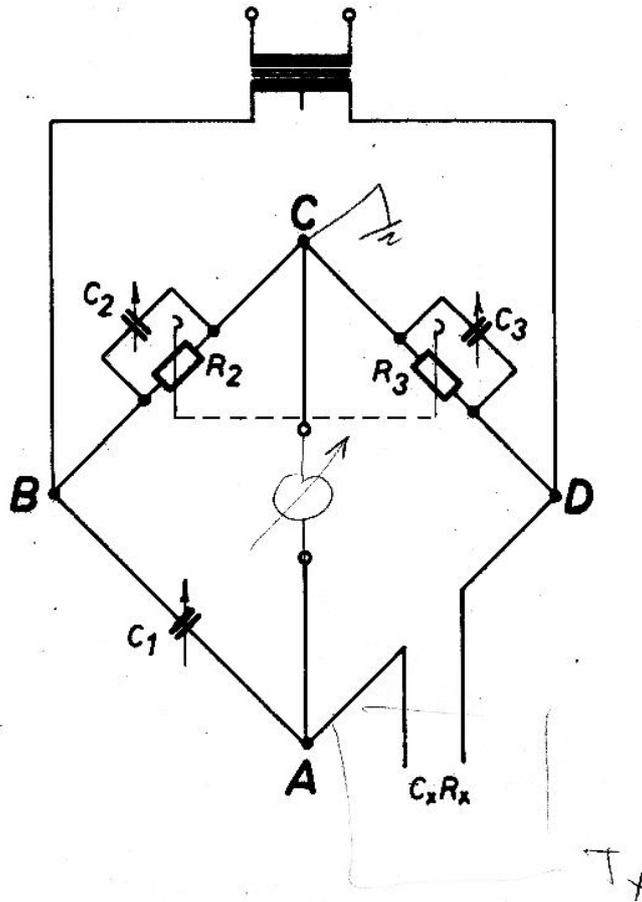


Abb.12

Der eine Brückenweig besteht aus dem zu prüfenden $C_x R_x$ und aus dem dahinter geschalteten Normalwiderstand R_3 , der andere Brückenweig hingegen aus dem in pF geeichten Luft-Drehkondensator C_1 und aus dem dahinter geschalteten Widerstand $C_2 R_2$.

Die Ausgleichsbedingung der auf dem Prinzipschaltbild dargestellten Brücke folgt der allgemeinen Regel:

Die Produkte der Impedanzen der gegenüberliegenden Zweige müssen einander gleich sein. Demgemäss gestattet sich die Bedingungsgleichung wie folgt:

$$\left(\frac{1}{pC_x} + R_x \right) \cdot \left(\frac{R_2}{1 + pC_2R_2} \right) = \frac{1}{pC_1} \cdot \frac{R_3}{1 + pC_3R_3}$$

wo $p = j\omega$ die imaginäre Frequenz darstellt

$$\frac{1 + pC_x R_x}{1 + pC_2 R_2} \cdot \frac{R_2}{C_x} = \frac{R_3}{C_1} \cdot \frac{1}{1 + C_3 R_3}$$

$$\frac{R_2}{R_3} \left(1 + pC_x R_x \right) \cdot \left(1 + pR_3 C_3 \right) = \frac{C_x}{C_1} \left(1 + pC_2 R_2 \right)$$

Die Auflösung der so enthaltenen Gleichung in reelle und imaginäre Teile ergibt für die reellen Teile die Gleichung:

$$\frac{R_2}{R_3} \left[1 - \frac{1}{\omega R_3 C_3} \cdot \frac{1}{\omega R_x C_x} \right] = \frac{C_x}{C_1}$$

Für die imaginäre Teile:

$$\frac{R_2}{R_3} \left(\frac{1}{\omega R_3 C_3} + \frac{1}{\omega C_x R_x} \right) = \frac{C_x}{C_1} \cdot R_2 C_2$$

Nun wird die der Definition entsprechende Bezeichnung

$$\operatorname{tg} \delta = \omega C_x R_x$$

$$\frac{R_2}{R_3} \left(\frac{1}{1 - \omega R_3 C_3 \operatorname{tg} \delta} \right) = \frac{C_x}{C_1}$$

$$\frac{R_2}{R_3} / \omega R_3 C_3 + \operatorname{tg} \delta / = \frac{C_x}{C_1} \omega R_2 C_2$$

Nach Division der beider Gleichungen

$$\frac{\omega R_3 C_3 + \operatorname{tg} \delta}{1 - \omega R_3 C_3 \operatorname{tg} \delta} = R_2 C_2$$

erhält man

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\omega R_2 C_2 - \omega R_3 C_3}{1 + \omega^2 R_2 R_3 C_2 C_3}$$

Wenn nun der vorherige Wert von $\operatorname{tg} \delta$ in die Gleichung derselbe Teile substituiert wird, dann erhält man für die unbekannte Kapazität

$$C_x = \frac{R_2 C_2}{R_3} \cdot \frac{1 + \omega^2 R_3^2 C_3^2}{1 + \omega^2 R_2 R_3 C_2 C_3}$$

$$\text{wenn } \omega^2 R_2 \cdot R_3 \cdot C_3 \cdot C_2 \ll 1$$

$$\text{und } R_2 C_2 \gg R_3 C_3$$

$$\text{bzw. } \omega^2 \cdot R_3^2 \cdot C_3^2 \ll 1 \text{ sind,}$$

dann erhält man für $\operatorname{tg} \delta$ und C_x einfache annähernde Formeln, nämlich

$$\operatorname{tg} \delta = \omega \cdot R_2 \cdot C_2$$

$$C_x = \frac{R_2}{R_3 \cdot C_1}$$

da $\omega = 2 \pi \cdot f$, ωR_2 bei der entsprechenden Wahl von R_2 durch f ersetzt werden kann.

Geht man nun zu den auf dem Paneel des Gerätes befindlichen Markierungen über, so erhält man

$$\operatorname{tg} \delta = A \cdot B \cdot f \quad / \text{kHz} /$$

wo $A = A_1 + A_2$

wenn $A_2 = 0$ $A = A_1$ sind.

"A" stellt einen C_2 entsprechenden kapazitiven Wert dar,
"B" ist die aus $2 \pi R_2$ stammende Instrument-Konstante und
f die Messfrequenz in kHz.

Messgrenzenschalter "S₁" schaltet die Widerstände R_2/R_3 in dekadischen Schritten. Bei den Aufschriften des Schalters S₁, die dem Knopf am nächsten gelegen sind, hatte man nur das Verhältnis von R_2/R_3 anzugeben, das bei den ersten 5 Stellungen 1, bei der 6. bis 7. Stellung 10, bei der 8. bis 9. Stellungen 100 und schliesslich bei der 10. bis 11. Stellung 1000 beträgt.

Nach der Bezeichnung des Paneels ist

$$C_x = C_1 / \text{in pF} / \text{ multipliziert mit dem am Messgrenzenschalter S₁ abgelesenen Faktor 1, 10, 100 oder 1000.}$$

Der Eingang der Messbrücke Typ TR-9701 ist mit einem Symmetrisier-Übertrager versehen /siehe Abbildung 12 und 17 auf Seiten 35 und 82/ Dadurch wird gesichert, dass der Brückenstromkreis und der ihm angeschlossene indizierende Messempfänger hinsichtlich der Erdung vom Speisestromkreis vollständig unabhängig ist. Dies ist hinsichtlich der Ausgleichbarkeit der Brücke von

grosser Bedeutung, da die von aussen kommenden Störströme die Messung ausserordentlich erschweren und in einzelnen Fällen die nötige Ausgleichung sogar unmöglich machen. Infolge der koaxialen asymmetrischen Ausbildung der Eingangs-Anschlussbuchse ist die eine Seite der Primärspule des Transformators geerdet, so dass auch die Speisung mit Hilfe eines Generators mit asymmetrischen Ausgang möglich ist. Zum Anpassen des Generators an die Brücke und zur Umfassung des breiten Frequenzbandes /50 Hz bis 300 kHz/ dienen drei abwechselnd einschaltbare Transformatoren. Die gleichmässige Übertragung erfolgt von 50 Hz bis 10 kHz mit Transformator Tr_1 , zwischen 50 Hz und 10 kHz mit Transformator Tr_2 und zwischen 50 kHz bis 300 kHz mit Transformator Tr_3 . Die Abzweigungen der Primärspule sichern die Anpassung. Die Trimmer-Kondensatoren C_{16} , C_{17} und C_{18} dienen zum Ausgleich der eventuellen kapazitiven Asymmetrie der Speisetransformatoren /siehe Abb. 21 auf Seite 87 /. Dies ermöglicht die Nullschaltung der Kondensatoren C_2 und C_3 . In den ersten 5 Stellungen des Messgrenzschafters S_1 /Multiplikator : 1/ ist Kondensator C_3 nach den Punkten 8.6 bis 8.9 zu eichen. Bei den Multiplikatorstellungen 10, 100 und 1000 nimmt der Wert von C_3 gemäss dem Multiplikator zu. Die Kapazität des Drehkondensators reicht nicht mehr aus, weshalb bei den Multiplikatorstellungen von 10-1000 die Kapazität von C_{0-1} durch die fixen Kapazitäten C_9-C_{15} , die auf Abbildung 17 auf Seite 82 dargestellt sind, ausgeglichen wird.

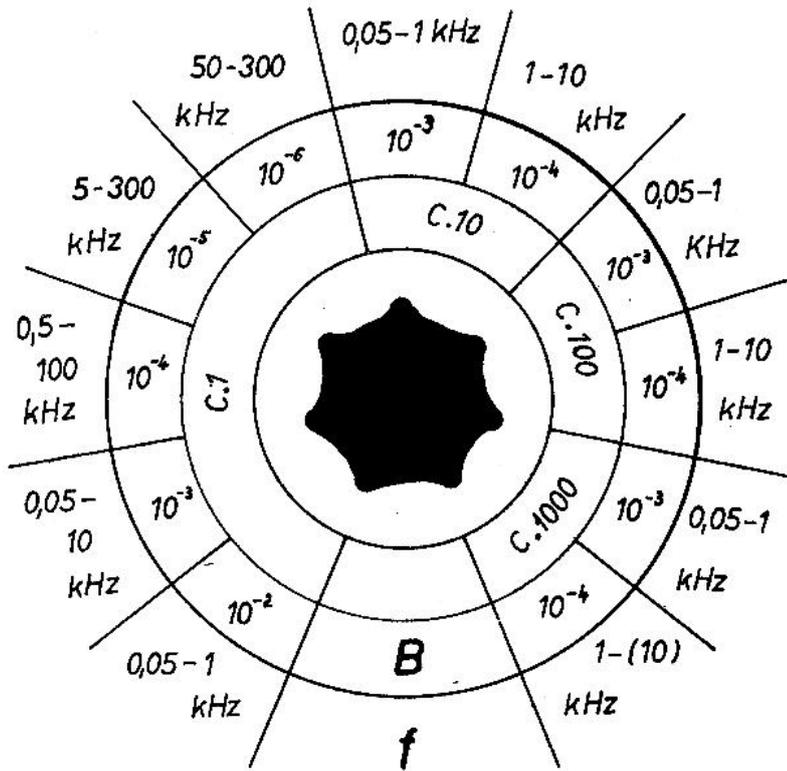


Abb. 13
Messgrenzenschalter S_1

Die zu den 11 Stellungen des Messgrenzenschalters S_1 gehörigen Parameter und Schaltungsvarianten werden von den oben dargestellten Skalen angezeigt /siehe Abb. 13 auf Seite 40 / Die äusserste, mit "f" bezeichnete Skala zeigt jene Frequenzgrenzen an, die bei den verschiedenen Stellungen der Brücke angeschlossen werden können. So trägt z.B. die erste Stellung die Aufschrift 0,05 bis 1 kHz, was so viel bedeutet, dass bei der ersten Schalterstellung Messungen von 50 bis 1000 Hz vorgenommen werden können.

Die mittlere Skala "b" zeigt den Faktor an, der bei der Messung von $\text{tg } \delta$ einen konstanten Multiplikator ergibt. Dieser ist in

der erwähnten ersten Stellung 10^{-2} , d.h. 0,01. Diese beiden Faktoren werden zusammen mit dem an den linksseitigen, mit "C₂" bezeichneten Kondensator abgelesenen Wert "A" zur Bestimmung von $\text{tg } \delta$ verwendet:

$$\text{tg } \delta = A \cdot B \cdot f$$

f = Generatorfrequenz in kHz. Dieser Wert kann bei der ersten Stellung z.B. 500 Hz bzw. 0,5 kHz betragen/.

Die dem Knopf am nächsten gelegene Rundaufschrift bezeichnet den Multiplikator der Kapazitätsmessung. Der bei der Kapazitätsmessung am Kondensator C₁ ablesbare Kapazitätswert kann nur 10 bis 1100 pF betragen. Der Multiplikator ist in den ersten 5 Schalterstellungen 1. Der Wert des gemessenen Kondensators ist C₁₋₁, d.h. der an C₁ abgelesene Wert. Bei der 6. und 7. Schalterstellung ist der Multiplikator 10. Der Messwert ist also das Zehnfache des an C₁ abgelesenen Wertes. Bei der 8. und 9. Schalterstellung beträgt der Multiplikator 100 und bei der 10. und 11. Schalterstellung 1000. Bei den beiden letzten Stellungen können mit der Brücke die grossen Kapazitäten, d.h. solche von 0,01 μF bis 1 μF gemessen werden.

Die im Schalter für den obigen Zweck verwendeten und im Brückenstromkreis enthaltenen Widerstände sind im Interesse der grösseren Stabilität künstlich gealtert, und ihr endgültiger Wert wurde mit einem Spezialverfahren auf die erforderliche Genauigkeit eingestellt.

Unter den Drehkondensatoren, die zum Ausgleich der Messbrücke dienen, besitzt jener auf dem Prinzipschaltbild /Abb. 23 auf Seite 89-90/ mit C₁ und am Paneel mit "C" bezeichnete und in pF geeichte Luft-Drehkondensator eine Präzisionsausführung und zur Sicherung der Stabilität eine wiederholt gealterte, mit

Silber überzogene Armatur. Der Stator dieses Drehkondensators ruht auf Quarzkugeln, die über einen hohen Isolationswiderstand verfügen. Der Drehteil des Kondensators hat eine ausgeglichene Lagerung.

Die auf dem Prinzipschaltbild /siehe Abb. 23 auf Seite 89-90/ dargestellten zwei weiteren Drehkondensatoren C_2 und C_3 , die am Paneel des Gerätes mit " A_1 " und "pF" bezeichnet sind, stellen Luft-Drehkondensatoren von hoher Qualität und einem Kapazitätswert von 1100 pF bzw. 100 pF dar.

Das Gerät besitzt einen asymmetrischen Ausgang. Der eine Punkt ist ständig geerdet, so dass zur Indikation ein asymmetrischer Messempfänger zu verwenden ist.

Gegen gestreute äussere Störfelder sind die einzelnen Abstimme- und Schaltelemente - jedes für sich - sorgfältig abgeschirmt.

7.0 Bedienungsanleitung

7.1 Beschreibung der Bedienungsorgane /siehe Abb. 14 auf Seite 43 /

Die nötigen Anschlüsse und Bedienungsorgane sind am Paneel des Gerätes untergebracht.

Bezeichnung	Benennung	Aufschrift	Bestimmung
1	Feinabstimmknopf	"C" FINE TUNING	Abstimmen des zum Messen dienenden Drehkondensators C_1
2	Feinabstimmknopf	"A" FINE TUNING	Abstimmen des zum Verlustausgleich dienenden Drehkondensators C_2
3	Koaxiale Anschlussbuchse	IN MAX 40 V /50 c/s- 300 kc/s/	Anschliessen des Generators
4	Koaxiale Anschlussbuchse	OUT SELECTIVE AMPLIFIER	Anschliessen des Indikators
5	Messkabel mit rotem Ring bezeichnet	C_x	Anschliessen an die rot markierten Buchsen des Messgefäßes oder des Messkondensators
6	Messkabel ohne Bezeichnung	C_x	Anschliessen an die unbezeichnete Buchse des Messgefäßes oder des Messkondensators
7	Drehkondensator C_2	$A_1 +$ $A = A_1 + A_2$	Messung des Verlustfaktors
8	Drehkondensator C_1	C pF	Kapazitätsmessung
9	Stufenschalter S_2	+ A_2	Ausdehnen des Kapazitätsbereiches des Drehkondensators C_2
10	Stufenschalter S_1	$tg \delta = A.B.f$ /kc/s/	Wählschalter zur Einstellung der Messgrenze und der Betriebsart
11	Drehkondensator C_3	pF	Ausgleichen der Kapazität C_{0-1}

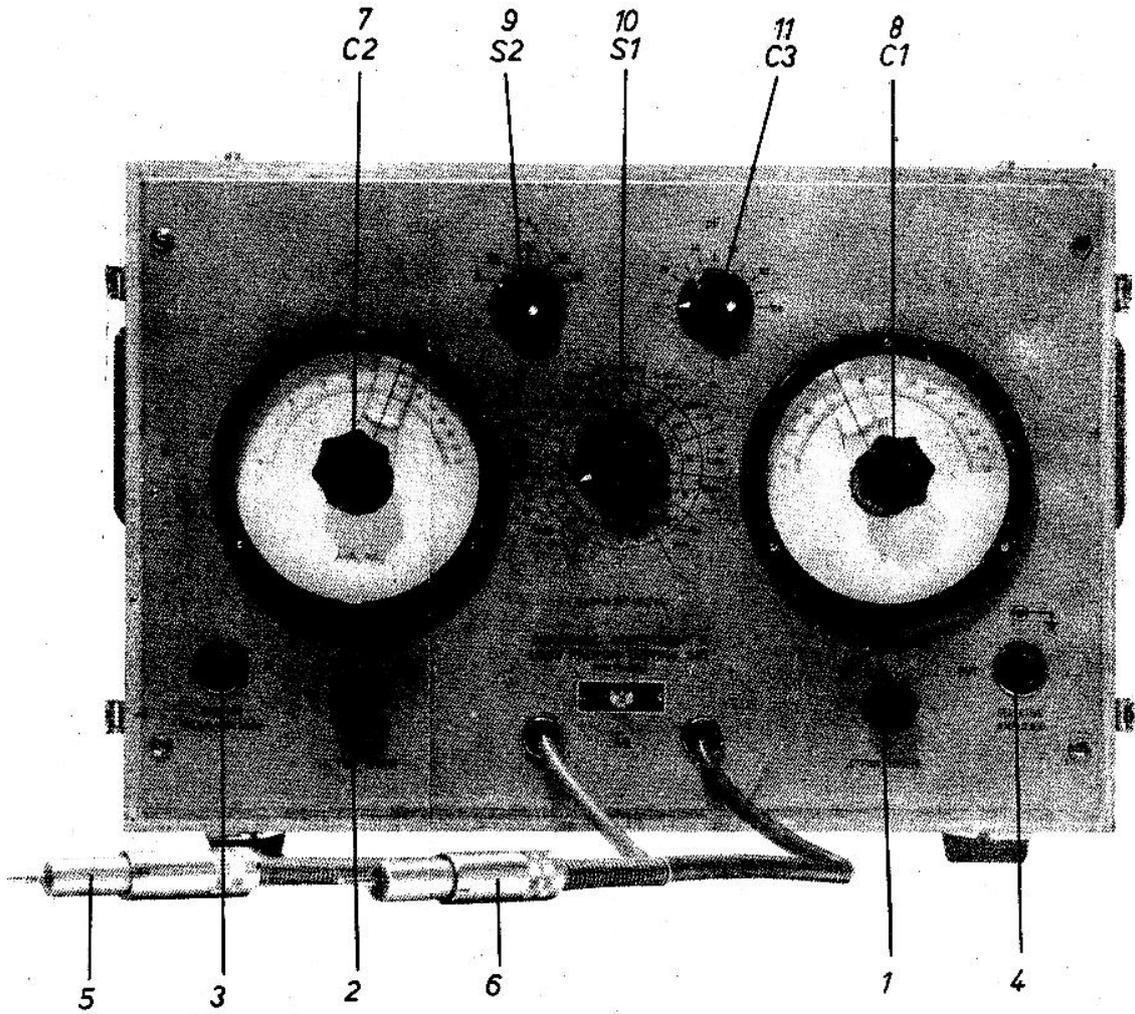


Abb. 14

7.2 Anschlussmöglichkeiten und sonstige empfohlene Instrumente.

Zu den mit der Messbrücke Typ TR-9701 durchgeführten Messungen kann jeder Generator verwendet werden, der den auf Seite 51 gestellten Bedingungen annähernd entspricht.

Bei der Zusammenstellung der Messtelle kommt dem Indikator eine viel grössere Bedeutung zu. Innerhalb des hörbaren Frequenzbereiches kann man sich auch eines Kopfhörers bedienen. Zu Erreichen einer grösseren Messgenauigkeit bzw. zur Indikation der ausserhalb des Bereiches der hörbaren Frequenzen liegenden Frequenzen ist ein Röhrenvoltmeter zu verwenden.

Nachdem die Messgenauigkeit von dem bei der Indikation auftretenden Signal-Störverhältnis in hohem Masse beeinflusst wird, empfiehlt es sich, einen selektiven Messempfänger anzuwenden.

Für diesen Zweck entspricht
der selektive Messempfänger

Typ TT-1301
/von 30 Hz - 300 kHz /

oder der selektive Mess-
empfänger

Typ TT - 1302
/von 30 Hz bis 1 MHz/

ganz besonders.

8.0 Gebrauchsanweisung.

8.1 Allgemeine Bemerkungen in Bezug auf die Messung der Dielektrizitätskonstante und des Verlustfaktors verschiedener Stoffe.

Die Charakteristika der Isolierstoffe sind, abgesehen von einigen Stoffen, die eine sehr hohe Dielektrizität besitzen /Titanate usw./, spannungsunabhängig, so dass die Kleinspannungsmessungen mit den traditionellen Hochspannungsmessungen sehr gut übereinstimmen, d.h. die Hochspannungsmessungen können durch Kleinspannungsmessungen zufriedenstellend reproduziert werden. Früher konnte man es sich kaum vorstellen, dass die Qualifizierungsmessungen von Isolierölen unter einer Spannung von 1000 V durchführbar wären, es wurden doch zu solchen Messungen auch Spannungen von 3000, ja sogar 10 000 V verwendet. Die Gross- und Kleinspannungsmessungen wurden anhand von tausenden von Messungen verglichen, wobei es sich herausstellte, dass die Kleinspannungsmessungen ebenso gute, verlässliche und reproduzierbare Qualifizierungsangaben lieferten, wie die Hochspannungsmessungen. Diese Messerien führten auch zur Erkenntnis, dass die Messungen nur dann verlässliche Ergebnisse liefern, wenn ihre Vorbereitung mit grösster Umsicht und minutiöser Sauberkeit erfolgt. Der Messkondensator des Gerätes TR-9701 wurde unter der weitgehenden Berücksichtigung des obigen Prinzips angefertigt. Die im Entwicklungsprozess vorgenommenen vergleichenden Messungen haben bewiesen, dass die bisher verwendeten normmässigen Hochspannungsmesskondensatoren bereits überholt sind, da man mit ihnen keine reproduzierbaren Messungen durchführen kann. Die Musterstücke der Hochfrequenz-Messkondensatoren wurden unter Anwendung der beim Messkondensator des Gerätes TR-9701 benutzten technischen Lösungen angefertigt, die nicht nur Zubehörteile des Gerätes TR-9701 sind, sondern auch als Grundlage zur Ölqualifizierungsnorm des RGW dienen werden.

8.1.1 " Aenderung der elektrischen Parameter des Isolierstoffe als
Funktion der Frequenz.

Bei Flüssigkeiten und organischen Stoffen mit grossen Molekülen ist die Grösse der Dielektrizitätskonstante für den Stoff kennzeichnend, wobei die frequenzabhängige Änderung im allgemeinen vernachlässigt werden kann. Auch bei kristallinen Stoffen kommt es nur selten vor, dass die Dielektrizitätskonstante einen frequenzabhängigen Höchst- oder Mindestwert hat. Wenn dies der Fall ist, ergibt der Verlauf eine sehr flache Kurve. Die Annahme, dass diese Erscheinung nur von den im Kristallgitter eingebauten fremden Molekülen verursacht wird, ist sehr wahrscheinlich. Was jedoch den Verlustfaktor betrifft, so sind seine Änderungen für die Reinheit und Homogenität jeden Stoffes charakteristisch. In der Nähe der Nullperiode weist der Verlustfaktor einen sehr hohen Wert auf. Bei anwachsender Frequenz nimmt der Verlustfaktor sehr rasch ab, bis er sich dann asymptotisch einem Mindestwert nähert, den er bis zu einem sehr hohen Frequenzwert beibehält. Bei sehr grossen Frequenzen /d.h. im allgemeinen bei Frequenzen von $10^6 - 10^8$ Hz/ nimmt der Verlustfaktor wieder zu. Die Frequenzabhängigkeit des Verlustfaktors zeigt also bis zu den sehr hohen Frequenzen einen hyperbolischen Verlauf. Die Kleinfrequenzmessungen /von 30 - 100 Hz/ geben Aufschluss über die Verunreinigung bzw. Inhomogenität des Werkstoffes. Bei homogenen, sehr reinen kristallinen Stoffen, wie z.B. bei dem aus Aluminium mit einer Verunreinigung von höchstens $10^{-4}\%$ hergestellten Korund oder beim natürlichen, wasserfreien Quarz unterscheidet sich ~~her~~ bei einer niedrigen Frequenz /von 30 - 100 Hz/ gemessene Verlustfaktor von den bei einer Frequenz von 1000 Hz oder 1 MHz gemessenen Werten kaum. Bei Ölen beträgt der bei einer Frequenz von 50 Hz gemessene Verlustfaktor das Zehn- bis Dreissigfache des bei einer Frequenz von 1000 Hz gemessenen Wertes. Bei einem verunreinigten Öl kann diese Änderung noch grösser sein, ja sogar ein Ausmass

erreichen bei der die Messung bei einer Frequenz von 50 Hz unmöglich wird. Verunreinigte Öle können nur bei niedriger Spannung gemessen werden, da bei Hochspannungsmessungen die Verunreinigungen Durchschlagsknoten bilden. Solche Öle werden von der auftretenden Wärme und vom elektrolytischen Effekt zersetzt, wobei die ausscheinende freie Kohle /Russ/ zu einem Kurzschluss führt und die Messung unmöglich macht.

8.1.2 Rolle der Temperaturabhängigkeit bei der Qualifizierungsmessung von Isolierstoffen

Bei den Qualifizierungsmessungen der Isolierstoffe kommt die grösste Bedeutung der Temperaturabhängigkeit zu. Die Untersuchung der Temperaturabhängigkeit der Dielektrizitätskonstante ist in solchen Fällen wichtig, wo der geprüfte Werkstoff aus mehreren Komponenten besteht und die Erstarrungspunkte dieser Komponenten zwischen die untersuchten Temperaturgrenzen fallen. Da sich die Dielektrizitätskonstante bei den Erstarrungstemperaturen der einzelnen Komponenten ändert, ist die in der Temperaturabhängigkeit gemessene Änderung der Dielektrizitätskonstante für die Zusammensetzung des Werkstoffes charakteristisch.

Auf diese Weise kann die komplizierte, langjährige Werkstoffanalyse durch eine rasch durchführbare Messung der Dielektrizitätskonstante ersetzt werden.

Diese Messungen werden auch zur Analyse und Qualifizierung von Asphalten, schweren Mineralien - Fetten, und Paraffinen immer verbreiteter angewendet.

Ähnlicherweise sind auch die Verlustfaktoren der bis jetzt bekannten Isolierstoffe stark temperaturabhängig. Jeder Isolierstoff wird bei einer bestimmten, für den betreffenden Werkstoff kennzeichnenden Temperatur leitend. Die Temperatur, bei der der

Isolierstoff leitend wird, ist um so ausgeprägter, je weniger Komponenten der Isolierstoff besitzt. So werden z.B. manche Glassorten bei 100°C , Quarz bei 200°C und Korund bei 500°C leitend /zum Elektrolyt/. Da die Mineralöle Gemische verschieden langer Kohlenketten sind, tritt ihre Leitfähigkeit nicht sprunghaft bei einer bestimmten Temperatur, sondern in Abhängigkeit von der Temperaturzunahme rasch, jedoch monoton ein. Daher ist bei den Qualifizierungsmessungen von Werkstoffen die genaue Festlegung und Beibehaltung des Temperaturwertes von sehr grosser Wichtigkeit.

Bei Qualifizierungsmessungen von Ölen sind bei einer Temperatur von 100°C durchzuführen. Der Messkondensator wird vorher in einem Ultrathermostat mehrere Stunden lang auf einer konstanten Temperatur gehalten. Die Messungen dürfen erst vorgenommen werden, wenn das vollständige Wärmegleichgewicht erreicht worden ist. Während der Einstellung der Temperatur darf das Öl nicht unter Spannung gesetzt werden, da das elektrische Kraftfeld bei einer hohen Temperatur das Öl altert und den Verlustfaktor erhöht.

Die tatsächliche Temperatur des Öles lässt sich mit guter Annäherung so bestimmen, dass man den mit Öl aufgefüllten Messkondensator zunächst auf eine Temperatur von $105-110^{\circ}\text{C}$ erwärmt, ihn dann im Freien - aber vor Zug geschützt - abkühlen lässt und während des Abkühlens die Temperatur des grossvolumigen Ölman­tels und der inneren Elektrode misst.

Als Temperaturwert des Öles gibt das arithmetische Mittel der beiden abgelesenen Temperaturwerte.

Einen besonderen Platz unter den Isolierstoffen nehmen oxydkeramische besonders /von dem Titandioxyd enthaltende/ Stoffe mit hoher Dielektrizitätskonstante ein, da sich bei ihnen die Dielektrizitätskonstante und der Verlustfaktor in Abhängigkeit

von der Spannung, der Frequenz und der Temperatur ändern. Bei diesen Stoffen ist eine reproduzierbare Messung nur mit der grössten Sorgfalt und Aufmerksamkeit durchführbar.

8.1.3 Rolle der relativen Luftfeuchtigkeit

Der Verlustfaktor der trockenen Luft weicht vom Nullwert in einem unmessbar geringem Masse ab. Wenn aber die Temperatur der Luft über $+30^{\circ}\text{C}$ steigt, und die relative Luftfeuchtigkeit den Wert von 75 % erreicht, wird der Verlustfaktor der Luft so hoch, dass man ihn bereits messen kann.

Ist die Messung in einem Milieu mit sehr hoher relativer Luftfeuchtigkeit vorzunehmen, dann hat man damit zu rechnen, dass der Dunst zwischen die Lamellen des Kondensators C_1 eindringt und **der** dadurch vergrösserte Verlust die Messwerte verfälscht. Dies kommt jedoch nur bei der Messung des Verlustfaktors von Stoffen mit sehr niedrigen Verlustwerten vor. In diesem Falle muss die Luft der Messtelle künstlich ausgetrocknet werden, da das teils vom Drehkondensator der Brücke und teils vom gemessenen Dielektrikum aufgenommene Wasser zu falschen Ergebnissen führt.

8.2 Anordnung des Messplatzes

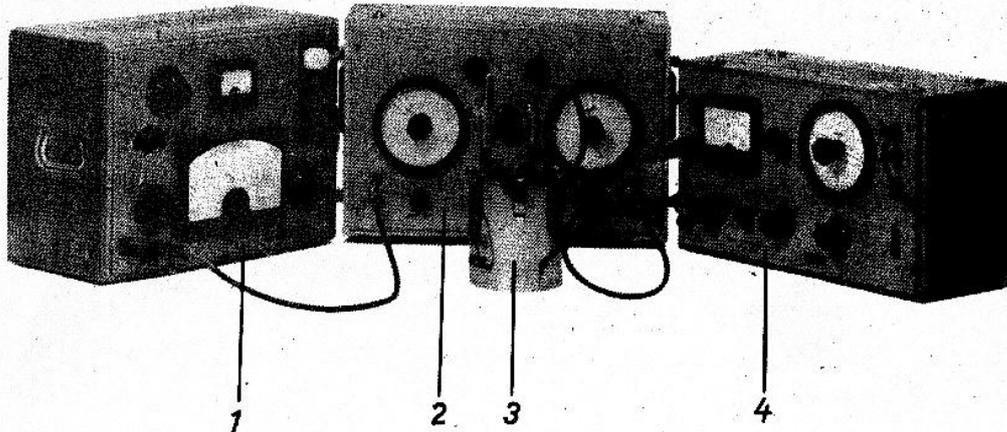


Abb. 15

- 1 Generator /z.B. Typ TT-0204/A/
- 2 Messbrücke
- 3 Grosses Messgefäß
- 4 Selektiver Messempfänger /z.B. Typ TT-13016

Abbildung 15 zeigt die Anordnung der Messtelle. Links befindet sich der Generator /1/, in der Mitte die Messbrücke /2/ mit dem angeschlossenen Messgefäß /3/ und rechts der selektive Messempfänger /4/. Die Anschlüsse befinden sich unter den Geräten, damit sie die Messung nicht beeinflussen.

8.2.1 Generator

Frequenzbereich	50 Hz - 300 kHz
Fehlergrenze	2 %
Ausgangswiderstand	ca. 600 Ohm
Ausgangsspannung	0 - max. 40 V bei 600 Ohm

Zulässige lineare Verzerrung	<1 %
Ausgang: mit asymmetrischem, koaxialem Anschluss	∅ 14,5 mm

8.2.2 Anschliessen des Generators

Der Generator und die koaxiale Kabelbuchse IN der Brücke werden mit Hilfe des als Zubehörteil mitgelieferten Hochfrequenzkabels miteinander verbunden. Beide Enden des Kabels sind mit Anschlusssteckern bestückt. Die Eingangsspannung beträgt max. 40 V_{eff}. Wenn bei 50 Hz-Messungen ein Netztransformator verwendet wird, ist darauf zu achten, dass die Sekundärspannung den Wert von 40 V nicht überschreitet. Dabei hat man einen Widerstand mit einem Wert von mindestens 600 Ohm in Reihe zu schalten, damit die Widerstände der Brücke infolge von Überlastung nicht durchbrennen.

8.2.3 Messempfänger

Frequenzbereich	50 Hz bis 300 kHz
Spannungsgrenzen	100 µV und 1 V
Eingangswiderstand	> 0,1 MOhm
Eingang:	Asymmetrische, koaxiale Anschlussmöglichkeit für einen Stecker mit einem Durchmesser von 14,5 mm. Als Indikator kann nur ein selektives Röhrenvoltmeter verwendet werden, damit der Ausgleich der Brücke vom Geräuschfrequenz-Spektrum und vom harmonischen Inhalt des Generatorsignals nicht beeinflusst wird.

8.2.4 Anschluss des Messempfängers

Der als Indikator angewendete selektive Messempfänger wird ebenfalls mittels eines koaxialen Kabels Zuberhörteil der Messbrücke/ der koaxialen Buchse "OUT" der Brücke angeschlossen. Das Kabel soll kapazitätsarm sein und der Messempfänger einen möglichst hohen Eingangswiderstand haben, damit bei Messungen mit niedriger Kapazität und niedriger Frequenz die Indikationsempfindlichkeit nicht kleiner wird. Der Ausgangswiderstand der Brücke ändert sich als Funktion von C_x und f im Bereich von 1 bis 5

gemäss

$$R_a = \frac{80000}{f \cdot C} \quad \left[\text{KOhm} = \frac{1}{\text{kHz} \cdot \text{pF}} \right]$$

während er in den übrigen Bereichen /6 bis 11/

$$R_a = \frac{160000}{f \cdot C} \quad \left[\text{KOhm} = \frac{1}{\text{kHz} \cdot \text{pF}} \right]$$

beträgt. Die Ausgangsspannung der Brücke besitzt also einen hohen Ohmschen Widerstand und erfordert einen Indikator mit möglichst niedriger Kapazität.

8.2.5 Erdung

Da die Gehäuse des Generators, der Messbrücke und des Indikators geerdet sind, hat man das aus Einheiten zusammengebauten System sorgfältig zu erden, damit das Zustandekommen von gestreuten Feldern verhindert sei. Die Erdung soll an einem Punkt, und zwar am Erdungspunkt des Indikators erfolgen.

8.2.6 Anschluss des zu messenden Kondensators

Die mit einem roten Kreis bezeichnete Ader der linksseitigen Messkabel ist an die eine /innere/ Armatur und die innere Ader des rechtsseitigen /unbezeichneten/ Kabels an die andere /äusse-

re/ Armatur des Kondensators anzuschliessen. Wenn der Kondensator in einem Metallgehäuse untergebracht ist, dann hat man dieses Gehäuse mit der Ader des linksseitigen markierten Kabels zu verbinden.

Beim Anschluss eines Kondensators mit Schutzring ist die innere Ader des linksseitigen Kabels abgeschirmt, während die innere Ader des rechtsseitigen Kabels der Gegenelektrode angeschlossen wird. Der Schutzring ist mit dem äusseren Mantel des linksseitigen Kabels zu verbinden.

Beim Anschluss des Messkondensators mit Schutzring und des Flüssigkeits-Messgefässes hat man nur darauf zu achten, dass das rot markierte Kabel der mit einem roten Kreis bezeichneten Buchse und das unmarkierte Kabel der unbezeichneten Buchse angeschlossen wird. Wenn man diese Anweisung befolgt, wird die Schaltung einwandfrei sein.

8.2.7 Störendes elektrisches Feld

Der zu messende Kondensator kann in das vom Generator ausgestrahlte elektrische Feld gelangen. Dieses Feld indiziert eine Spannung in dem zu messenden Kondensator, die die Messung verfälscht. Deshalb ist der Generator sehr sorgfältig abzuschirmen. Möglicherweise kann man für den zu messenden Kondensator beim Aufbau der Messtelle eine Abschirmdose vorsehen, die am abschirmenden äusseren Mantel des linksseitigen Kabels galvanisch anzuschliessen ist.

Besonders starke Störungen melden sich bei mit Netzspannung durchgeführten Messungen. Das vom Stromnetz hervorgerufene kapazitive Feld lässt sich nur durch eine äusserst sorgfältig durchgeführte Abschirmung beseitigen.

Auch dann stösst man auf Schwierigkeiten, wenn die Messfrequenz der Frequenz des Störfeldes nahe liegt /diese Erscheinung tritt

in der Regel in der Nähe der Frequenzen von 50, 100, 150 und 200 Hz, in der Nähe der Grundfrequenz oder des Mehrfachen der Netzfrequenz auf/. In diesem Falle summieren sich die beiden Frequenzen / Störfrequenz und Generatorfrequenz/, was im Indikator zu einer Schwebung führt. Die Frequenz der Schwebung entspricht der Differenz der beiden Frequenzen. Diese Schwebung macht das Ausgleichen unmöglich. Die Gegenwart eines äusseren störenden Feldes kann am einfachsten dadurch festgestellt werden, dass man die Brücke beinahe genau ausgleicht und den Speisestrom des Generators abschaltet, worauf der Indikator in der empfindlichsten Stellung Null anzeigen muss.

8.3 Vorbereitung zur Messung

8.3.1 Messung fester Isolierstoffe

Zur Messung fester Isolierstoffe dient der mit einer Messuhr versehene Einspannkopf /siehe Abb. 11 auf Seite 33 /. Aus dem zu messenden Isolierstoff wird zunächst eine ca. 85 x 85 mm Folie angefertigt. Diese Folie muss über die Elektroden des zu messenden Kondensators hinausragen. Die Folie soll womöglich stärker als 1 mm sein, wobei aber ihre Stärke 10 mm nicht überschreiten darf. Die parallelen Seiten der Folie, die auf den Armaturen des Messkondensators aufliegen, sind sorgfältig plan- und parallelzuschleifen. Falls die Seiten der Folie nicht eben oder parallel sind, entsteht zwischen der Folie und den Elektroden des Messkondensators ein Luftspalt, der die Messergebnisse verfälscht. Luftspalte und eingeschlossene Luftblasen verringern die tatsächliche Dielektrizität und den tatsächlichen Verlustfaktor je nach der eingeschlossenen Luftmenge. Bei kleinen, besonders aus keramischen Stoffen angefertigten Folien können die hier angeführten Bedingungen nicht erfüllt werden. In diesem Falle wird an die beiden gegenüberliegenden Seiten der Folie eine dünne Aluminiumfolie aufgerollt, und zwar ohne Band oder Klebstoff, nur mit Hilfe einer weichen Gummirolle.

Bei der mit dem Einspannkopf durchgeführten Messung ist darauf zu achten, dass diese Metallfolie die innere Elektrode und den Schutzring nicht kurzschliesst.

Die Kapazität des aus den geometrischen Abmessungen der Folie und der Aluminiumfolie berechneten Luftdielektrikums hat man zu berücksichtigen. Die Messung von dünnen Isolierfolien stösst wegen der Luftspalte und eingeschlossenen Luftblasen auf gewisse Schwierigkeiten. Zur genauen Messung der Folien werden mehrere Schichten mit einer weichen Gummirolle aufeinander gerollt, so dass die Rollbewegung stets nur in einer Richtung erfolgt, wodurch die eingeschlossenen Luftblasen beseitigt werden. Es sollen so viel Schichten aufeinander gerollt werden, dass sie eine Gesamtstärke von ca. 2 bis 3 mm haben. Mit dem auf diese Weise vorbereiteten Stoff können die Messungen mit grosser Genauigkeit durchgeführt werden.

8.3.2 Messung flüssiger Isolierstoffe

Die bei der Messung von flüssigen Isolierstoffen am sorgfältigsten zu erfüllende Grundbedingung ist die unbedingte Sauberkeit. Von flüssigen Isolierstoffen werden nämlich feste Stoffe wie Staub, Wasser, Gase usw. gelöst. Die aufgenommenen Fremdstoffe ionisieren die Flüssigkeiten auch dann, wenn sie nur in Spuren anwesend sind. Bei der Messung von falsch vorbereiteten Isolierstoffen erhält man völlig verfälschte Messergebnisse, die sich nicht auf den Isolierstoff, sondern auf die darin enthaltenen Verunreinigungen beziehen. Daher kann man bei einem Isolierstoff, dessen Verlustfaktor bekannt ist, aus der Zunahme der Verlustfaktors auf das Mass der Verunreinigung schliessen.

Jede Isolierflüssigkeit erfordert, je nach ihren chemischen und physikalischen Eigenschaften, eine andere Vorbereitung. Hier behandeln wir nur die Vorbereitung der Mineralöle, da unter den flüssigen Isolierstoffen zur Zeit diesen die grösste Bedeutung zukommt.

8.3.21 Vorbereitung des zu messenden Öles

Das Öl ist in ein vorher sorgfältig gereinigtes, mit chemischem Benzin ausgespültes und mit heisser Luft getrocknetes Glasgefäss zu füllen. Nun wird das Gefäss in einem Trockenschrank 24 Stunden lang bei einer Temperatur von 100°C getrocknet, dann in einem Trockengefäss mit Silikagel- oder Calciumchlorat-Einsatz luftdicht abgeschlossen und 24 Stunden nachgetrocknet. Bis zum Zeitpunkt der Verwendung wird das Öl im gleichen, stets geschlossenen Gefäss aufbewahrt. Die Aufbewahrungs- und Trockengefässe sollen erst von der Vorbereitung der Messung geöffnet werden. Nach dem Einfüllen des Öles ist das Messgefäss unverzüglich zu verschliessen. Das Gefäss, aus dem das Öl nachgefüllt wird, ist geradeso zu waschen, zu reinigen und zu trocknen, wie das Gefäss, in dem das Öl aufbewahrt wird,

8.3.22 Vorbereitung des Messgefässes

Sämtliche Teile des zerlegten Messgefässes sollen mit einem apolaren Lösemittel /chemisch reines Benzin, Kohlentetrachlorid, Trichloräthylen, Chloroform/ sorgfältig abgewaschen werden. In der Praxis erwies sich die Waschung mit chemisch reinem Benzin als am besten, obwohl dieser Stoff explosions- und feuergefährlich ist. Nach erfolgtem Abwaschen sind die Teile auf Papierwatte zu legen, die aus einem unmittelbar vorher geöffnetem Paket stammt. Die erste Abwaschung kann in einer sauberen Glaschlüssel mit Papierwatte erfolgen. Unmittelbar nach der ersten Waschung soll die zweite Abwaschung stattfinden, bei der man sich einer Spritzflasche bedient, aus der der Benzinstrahl auf den abzuwaschenden Teil gespritzt wird. Nach der zweiten Abwaschung lege man den abgewaschenen Teil wieder auf Papierwatte, die aus einem unmittelbar vorher geöffneten Paket stammt. Die Messflächen dürfen ~~bereits~~ nach der ersten Waschung nicht mehr mit der Hand berührt werden. Nach der zweiten Abwaschung sind die Teile mit heisser Luft zu trocknen.

Die Trocknung mit heisser Luft verfolgt den Zweck, zu verhindern, dass sich keine - infolge der durch Verdunstung des Löse-
mittels hervorgerufenen Abkühlung - aus der Luft stammenden Wassermoleküle an die Oberfläche des Teiles niederschlagen. Die Trocknung mit heisser Luft soll so lange fortgesetzt werden, bis die Teile eine Temperatur von 40 bis 50°C erreichen. Nachher sollen die Teile bis zum Einfüllen des Öles in einem trockenen Gefäss mit Calciumchlorat - oder Silikagel-Einsatz luftdicht aufbewahrt werden.

Nach erfolgtem Einfüllen des Öles soll man mit der Erwärmung oder mit der Einstellung der Temperatur beginnen, was auf folgende Weise durchzuführen ist.

8.3.23 Sicherung der konstanten Temperatur

Die zur Sicherung der konstanten Temperatur dienende Flüssigkeit muss bis zu Exzenterverschluss des in den Thermostat gestellten Messgefässes reichen. Der massige, wärmeleitende äussere Mantel verteilt die von der Wärme-
flüssigkeit aufgenommene Wärme gleichmässig über das ganze Messgefäss. Man soll darauf achten, dass die Wärme-Flüssigkeit oder ihr Dampf mit der zu messenden Flüssigkeit nicht in Berührung kommt. Der obere, aus dem Thermostat hervorstehende Teil des Messgefässes ist gegen die äussere Luft sorgfältig zu isolieren, damit die vom Boden oder den Seiten des Messgefässes übernommene Wärme von dem mit der freien Luft in Berührung stehenden Teil wieder abgegeben wird. In diesem Fall würden nämlich in der Längsrichtung des Messgefässes unbestimmbare und unmessbare Temperaturunterschiede auftreten, die weder durch Messen noch durch Berechnung oder Abschätzung erfasst werden können. Wie die Erfahrung lehrt, können die dadurch verursachten Messfehler sogar 50 % erreichen. Zur Isolierung des Messgefässes gibt es eine bewährte Lösung, nach der man den oberen, aus dem Thermostat hervorstehenden

Teil des Messgefäßes mit einer doppelwandigen Kartonschachtel bedeckt. Der zwischen den beiden Wänden der Schachtel befindliche Raum wird zweckmässig mit Phenolschaum aufgefüllt. Die Stärke der Isolierschicht muss mindestens 10 mm betragen. Für das zur Kontrolle der inneren Temperatur des Messgefäßes dienende Thermometer ist in den Deckel der Schachtel eine entsprechende Öffnung zu schneiden.

Die Stabilisierung der Temperatur soll so lange fortgesetzt werden, bis die Differenz zwischen der äusseren und der inneren Temperatur höchstens $0,1^{\circ}\text{C}$ beträgt. Die Dauer der Temperaturstabilisierung beträgt 3 bis 5 Stunden.

Die Messung soll mit der auf den zu erwartenden Wert von vornherein eingestellten Brücke in der kürzesten Zeit durchgeführt werden. Es empfiehlt sich, den Tisch, auf dem die Messtaste aufgebaut wird, mit einer ca. 10 mm starken Phenolschaumplatte und vier bis fünf Schichten Lösch- oder Filterpapier abzudecken, damit die Kühlwirkung des Tisches beseitigt wird. Diese Isolierschicht dient zugleich auch zur Aufnahme der Wärmeleitfähigkeit /Öl usw./. Während des Messprozesses ist das Messgefäss vor strömender Luft zu schützen.

Die Messung der Temperaturabhängigkeit des Verlustfaktors erfolgt ohne Thermostat. Das vorschriftsmässig vorbereitete und aufgefüllte Messgefäss soll zusammen mit dem Thermometer in einem heizbaren Trockenschrank 5°C über der gewünschten Höchsttemperatur erwärmt werden /die höchstzulässige Temperatur beträgt 105°C /. Nachdem der Wärmeausgleich /nach 3 bis 4 Stunden/ stattgefunden hat, lässt man das Messgefäss an der entsprechend vorbereiteten Messtaste in freier Luft /jedoch ohne künstliche Luftströmung/ abkühlen.) Sobald das Erreichen der gewünschten Temperatur mit Hilfe des eingesetzten Thermometers festgestellt wurde, kann die Messung vorgenommen werden. Selbstverständlich

muss auch das Thermometer zusammen mit dem Messkondensator in eingeseztem Zustand im Trockenschrank angewärmt werden. Während sich das massige Messgefäss, das über eine grosse Wärmekapazität verfügt, langsam abkühlt, können Messungen sogar zu 1°C vorgenommen werden. Messungen, die bei Zimmertemperatur durchzuführen sind, sollen in einem vor Luftströmen geschützten Raum mit konstanter Temperatur vorgenommen werden. Die zu messende Flüssigkeit ist möglichst schon am Vortrage im Messraum unterzubringen, damit der Unterschied zwischen der Temperatur des Messgefässes und der Temperatur der zu messenden Flüssigkeit die Messergebnisse nicht verfälscht. Die Zimmertemperatur, die im vorliegenden Fall zugleich die Temperatur der zu messenden Flüssigkeit ist, soll im Messprotokoll mit einer Genauigkeit von $0,5^{\circ}\text{C}$ vermerkt werden.

Während der Einstellung der Temperatur bzw. der Anwärmung des Messgefässes ist sorgfältig darauf zu achten, dass die Dämpfe der Warmflüssigkeit bzw. des Warmbandes nicht in den Kondensator eindringen. Sobald der vorgeschriebene Temperaturengleich stattgefunden hat, beginnt der eigentliche Messvorgang, und zwar wie oben beschrieben.

Die Messungen sind möglichst rasch durchzuführen. In den Pausen zwischen den einzelnen Messvorgängen ist die Spannung des Generators auf Null einzustellen, da das heisse Öl vom elektrischen Kraftfeld in raschem Tempo oxydiert wird.

8.4 Frequenzgrenze

Das Frequenzband, dem die vorgeschriebene Messfrequenz angehört, ist mit Messgrenzschalter S_1 einzustellen, der sich am Paneel des Gerätes befindet. Die Abmessung der Messkondensatoren mit Schutzring ergibt, dass die Messungen immer in den Bereich Cx1 /1-5/ fallen, so dass die Messung im Band von 50 Hz bis 300 kHz durchgeführt werden kann.

8.5 Bestimmung des Multiplikators "B"

Da der Verlustfaktor die Formel $\operatorname{tg} \delta = A \cdot B \cdot f$ besitzt, hat man bei bekannter Frequenz /in kHz/ den Multiplikator "B" so zu bestimmen, dass der Wert von "A" bei Stellung $+A_2 = 0$ möglichst zwischen 10 bis 100 Skalenteilungen abzulesen ist. Setzt man für $\operatorname{tg} \delta$ einen Schätzwert an, dann ergibt sich Multiplikator "B" aus dem folgenden Zusammenhang:

$$B = \frac{\operatorname{tg} \delta}{A \cdot f} \quad / \operatorname{tg} \delta = 10^{-4}, "f" \text{ in kHz}/$$

wo $A = A_1 + A_2$ /wo A_2 auch 0 sein kann, in welchem Falle

$$A = A_1/$$

Wenn man zu sichern wünscht, dass bei den Messungen in den ersten 5 Bereichen die Skalenteilung von $\pm 3\%$, $\pm 0,5\%$ und in den übrigen 6 Bereichen die Skalenteilung von $\pm 5\%$, $\pm 1\%$ beibehalten bleibt, dann muss der Belastungswert von A_1 zwischen 10 und 100 Skalenteilungen liegen. Unter 10 Skalenteilungen nimmt die Genauigkeit der Messung ab, und in der Nähe von 0 $\operatorname{tg} \delta$ nimmt der Fehler bereits einen sehr hohen Wert an. Falls der angegebene Frequenzwert bekannt ist, dann kann die zu erwartende Bereichstellung und der zu erwartende $\operatorname{tg} \delta$ Wert mit Hilfe der " $\operatorname{tg} \delta$ -Messtabelle" /siehe Seiten in vorhin ein abgeschätzt werden. Aus der gleichen Tabelle ist ersichtlich, welcher $\operatorname{tg} \delta$ -Wert bei der angegebenen Frequenz in den einzelnen Bereichen zwischen 10 und 100 Teilungen der Skala A_1 gemessen werden kann. Die einzige Ausnahme bildet die Messung von Stoffen mit hohem Verlust bei einer Frequenz von 50 - 100 Hz, da nämlich bei diesen der Ausgleich bei Stellung 10^{-2} außerhalb der Skala A_1 fällt. In diesem Falle kann der Schalter A_2 aus der Nullstellung in Stellungen 100-200-300-400 gebracht werden. Die völlige Ausgleichung erfolgt auf Skala A_1 . In diesem Falle ist

$$A = A_1 + A_2$$

angenommen, dass

$$A_1 = 63$$

$$A_2 = 100 \text{ sind,}$$

dann ist

$$A = 163$$

In den übrigen Fällen steht Schalter $+A_2$ in Nullstellung.

8.6 Nulleinsteller

Die Skala des Nulleinstell-Kondensators $/C_3/$ ist von 0 - 100 pF grob geeicht. Der Nulleinsteller dient zum Ausgleichen der zwischen der geschirmten Elektrode und dem Schutzring auftretenden Kapazität.

Bei Messungen im Betrieb genügt es, den Knopf des Nulleinstellers auf den angegebenen Kapazitätswert von C_{0-1} einzustellen. Bei wichtigeren Messungen hat man den Nulleinsteller zusammen mit der eingespannten Probe zu eichen.

8.7 Messung von C_{0-1} /siehe auch Seite 66/

Die Messung ist mit einer eingespannten Probe bzw. mit aufgefülltem Messkondensator durchzuführen. Dabei hat man die innere Ader des unteren coaxialen Anschlusspaares des Messkondensators mit Schutzring durch ein kurzes Drahtstück der inneren Ader des linksseitigen, mit einem roten Kreis bezeichneten Kabels anzuschliessen.

Der äussere Mantel des Kabels wird dem Gehäuse des Messkondensators mit Schutzring nicht angeschlossen. Das Gehäuse des Kondensators mit Schutzring wird mit der inneren Ader des rechtsseitigen, **nicht markierten** Kabels verbunden, während die innere

Ader des oberen Anschlusses dem äusseren Mantel des linksseitigen markierten Kabels angeschlossen wird.

Nun wird die Brücke auf die bereits geschilderte Art /siehe Punkt 8.8/ ausgeglichen und die zwischen der geschirmten Elektrode und der Schutzerdung ~~bestehende~~ Kapazität an Skala "C" abgelesen.

Diese Kapazität wird dann mit Nulleinstellungs-Kondensator in "pF" eingestellt.

Der an der Skala "C" abgelesene Kapazitätswert bezieht sich nur auf die zwischen der geschirmten Elektrode und dem Schutzring gemessene Kapazität, da die Kapazität der geerdeten, ungeschirmten Elektrode das Messergebnis nicht verfälscht.

Die Kapazität von C_{0-1} lässt sich mit der nachstehend beschriebenen Methode noch genauer ausgleichen /siehe Abb. 16 auf Seite 66/

Der Null-Einstellknopf wird ungefähr auf den Wert C_{0-1} eingestellt. Die Brücke wird mit C_{pF} und A ausgeglichen. Der Wert von A wird nun auf ein Zehntel herabgesetzt. /z.B. von 60 auf 6/. Dann bringt man den Schalter S_1 in die nächst niedrigere Schalterstellung /z.B. von 10^{-5} auf 10^{-4} /. Anschliessend wird die Brücke mit C_{pF} und dem Nulleinsteller ausgeglichen.

Danach wird der Schalter in seine ursprüngliche Stellung gebracht. Der Nulleinsteller darf jedoch nicht berührt werden, und die Ausglei chung hat mit Hilfe von C_{pF} und A_1 zu erfolgen. Wenn die Brücke in den beiden ungeschalteten Stellungen ohne Nachstellung ausgeglichen wird, dann ist C_0 genau gleich "pF", d.h. dass die Ablesung von A_1 durch die Abweichung von "pF" nicht verfälscht wird.

8.8 Ausgleichung der Brücke

Die Brücke wird ausgeglichen, indem man die Skalen C_{pF} und A_1 nacheinander einstellt. Dieser Ausgleichprozess ist so lange fortzusetzen, bis der Indikator in der empfindlichsten Stellung keinen Minimumwert anzeigt.

Der Ausgleichvorgang ist stets an der Skala C_{pF} bei unempfindlicher Indikatorstellung zu beginnen. Zunächst wird C_{pF} allmählich abgestimmt und dann mit A_1 am Indikator ein Minimumwert eingestellt. Schliesslich erhält man selbst in der empfindlichsten Stellung des Indikators einen scharfen, sehr ausgeprägten Minimumwert.

8.9 Messung des Verlustfaktors

Der Verlustfaktor kann bei einem tadellosen Ausgleich der Brücke auf Grund folgender Formel unmittelbar ausgewertet werden:

$$\operatorname{tg} \delta^{\wedge} = A \cdot B \cdot f \quad f \text{ kHz}$$

wo $A = A_1 + A_2$ ist, wenn $A_2 = 0$ $A = A_1$
sind.

Die Messung des Verlustfaktors hat neben den bereits geschilderten Voraussetzungen, wie sorgfältigste Sauberkeit usw., die wichtigste Grundbedingung, dass die Kapazität des Schutzringes, also C_{0-1} , durch den Ausgleichskondensator "pF" sehr genau ersetzt wird. Die Art und Weise, wie C_{0-1} ausgeglichen wird, wurde bereits vorangehend geschildert. In Kenntnis des Arbeitsprinzips ist es klar, dass wenn der Wert von C_{0-1} mit dem an "pF" eingestellten Wert nicht übereinstimmt, d.h. wenn die Kapazität C_{0-1} nicht genau abgebildet ist, sich der Unterschied zwischen dem Wert des unrichtig eingestellten Kondensators

"pF" und dem Wert von C_{0-1} am Kondensator "A" in positiver oder negativer Richtung meldet, je nachdem, ob der Wert von C_{0-1} grösser oder kleiner ist, als der an "pF" eingestellte Wert.

Die Ersetzung der Kapazität C_{0-1} bei der geschirmten Elektrode durch Kondensator "pF" ergibt, dass die gestreute Kapazität aus der Messung entfällt, wie das bei Hochspannungs-Messanlagen bei der Verwendung der Wagnerschen Hilfsbrücke der Fall ist. Die Anwendung des Kondensators "pF" bezweckt die Beseitigung der Wagnerschen Hilfsbrücke und die Vereinfachung des bei der (selben erforderlichen und eine grosse Aufmerksamkeit und Praxis) erfordernden Ausgleichprozesses.

Die Kapazität C_{0-1} ist bei eingespanntem Isolierstoff bzw. aufgefülltem Messgefäss auszugleichen. Bei Flüssigkeitsmessungen genügt eine einzige genaue Ausgleichung, da sich im Messgefäss keine einstellbare, bewegliche Armatur befindet, wenn der von vornherein bestimmte Wert C_{0-1} dem verwendeten Messgefäss entsprechend auf der Skala mit "pF" eingestellt wird. Bei der Messung eines festen Dielektrikums nimmt die ungeschützte Armatur $/C_{0-2}/$ je nach der Stärke des geprüften Isolierstoffes im Gehäuse eine veränderliche Stellung ein, so dass sich C_{0-1} zusammen mit dem Wert C_{0-2} der beweglichen Armatur in einem geringen Masse verändert.

Daher empfiehlt es sich, bei Messung von festen Dielektrika den Wert von C_{0-1} durch Anwendung der weiter oben dargelegten Methoden von Fall zu Fall zu bestimmen und auszugleichen.

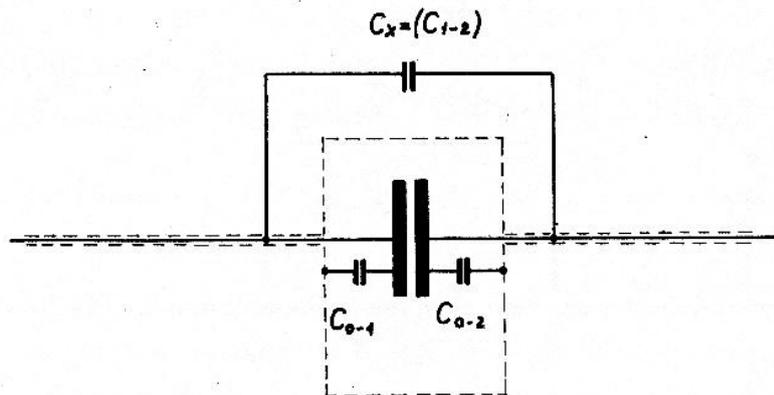


Abb. 16

Die im Text erwähnten zusätzlichen Kapazitäten sind

$$/C_{0-1}, C_{0-2}, C_{1-2} /$$

$C_x = /C_{1-2} /$ ist die Gesamtkapazität

C_{0-1} ist die Kapazität zwischen der geschirmten Armatur und der Abschirmung

C_{0-2} ist die Kapazität zwischen der beweglichen Armatur und der Abschirmung

8.10 Messung der Dielektrizitätskonstante

8.10.1 Feste Isolierstoffe

Die Dielektrizitätskonstante erhält man aus dem folgenden Quotienten:

$$\epsilon_x = \frac{C \text{ Stoff}}{C \text{ Luft}}$$

Hier bedeutet "C Stoff" die mit dem eingespannten Isolierstoff gemessene Kapazität und "C Luft" die bei derselben Stellung gemessene Kapazität im Falle von Luftdielektrika. "C Luft" erhält man für den Einspannkopf mit Hilfe der folgenden Formel:

$$C_{\text{Luft}} = \frac{40}{d} \text{ /pF, mm/}$$

wo "d" den am Indikator abgelesenen Plattenabstand in mm bedeutet.

8.10.2 Flüssigkeiten

Nach Herausnahme der Gegenelektrode werden in das Gefäß ca. 15 bzw. 900 cm³ Flüssigkeit gefüllt und anschliessend der Deckel mit der Gegenelektrode an seinen Platz gebracht. Die geschirmte Elektrode und der Schutzring müssen sich unter der Flüssigkeit befinden.

Frequenz und Schalterstellung: wie zuvor.

Nullpunkt Einstellung: wie vorher, jedoch C_{0-1} beträgt diesmal ca. 70 bzw. 90 pF

Ausgleichen wie zuvor

Auswertung des Verlustfaktors und der Kapazität wie zuvor.

Dielektrizitätsfaktor

$$E_x = \frac{C_{\text{Stoff}}}{C_{\text{leer}}}$$

"C leer" bedeutet die zwischen der geschirmten Elektrode des leeren Gefäßes und der Gegenelektrode gemessenen Kapazitätswerte in pF. Diese betragen ca. 70 bzw. 300 pF. Der genaue Wert wird am Messgefäß vermerkt.

8.10.3 Messen von Kondensatoren von 10 pF - 1 μ F

Kondensatoren werden zwischen den inneren Adern der abgeschirmten Messkabel gemessen. Der Messbereich wird von dem zu erwartenden Wert der Kapazität und des Verlustfaktors bestimmt. Im ~~letzten~~ Bereich /11/ sichert man die grösste Frequenz, bei der man noch Messungen vornehmen kann:

$$f_{\text{max.}} = \frac{1}{C_x} \quad f = \text{kHz} \quad C_x = \text{F}$$

8.11 Zahlenbeispiele zum Bestimmen der Dielektrizitätskonstante und des Verlustfaktors sowie zur Kapazitätsmessung

8.11.1 Flüssige Isolierstoffe

Zu messen ist ein aus einem Transformator abgelassenes Isolieröl bei einer Frequenz von 70 Hz und einer Temperatur von 100°C mit Hilfe des kleinen Messgefässes.

Gravierte Aufschrift des Messgefässes: $C_{1-2} = 73 \text{ pF}$

Die Brücke liefert einen genauen Minimumwert, wenn sich Schalter S_1 in Stellung 10^{-2} , Schalter S_2 in Stellung $A_2 = 100$ befindet und eine Teilung von $C_1 = 184 \text{ pF}$,

$$C_2 = A_1 = 45$$

vorhanden ist. Entsprechend der Stellung des Schalters S_1 ist $f = 70 \text{ Hz} = 0,07 \text{ kHz}$ / fällt innerhalb des Messbereiches/

$$B = 10^{-2}$$

Der Kapazitätsmultiplikator ist 1.

Kapazität des mit Öl gefüllten Kondensators:

$$C_1 \cdot 1 = 184 \text{ pF}$$

Dielektrizitätskonstante des Öles:

$$\epsilon = \frac{184}{73} = 2,52$$

Verlustfaktor des Öles:

$$\begin{aligned} \text{tg } \delta &= /A_1 + 100 / f \cdot B = 145 \cdot 0,07 \cdot 10^{-2} = 10,15 \cdot 10^{-2} = \\ &= 1015 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

Das Öl ist polarisch, leitend, verfügt über ein hohes $\text{tg } \delta$ was auch vom hohen Wert angezeigt wird.

8.11.2 Feste Stoffe

Es ist eine Vinylchlorid-Vinylacetat Kopolymer-Platte bei einer Frequenz von 1 kHz zu prüfen.

Der Indikator des Einspannkopfes zeigt 0,52 mm an.

$$\text{Davon ist } C_{\text{Luft}} = \frac{40}{0,52} = 77 \text{ pF}$$

Die ausgeglichene Brücke gibt bei Stellung 10^{-3} des Schalters S_1 , bei Kapazitätsmultiplikator 1 und bei Stellung 0 des Schalters S_2

$$C_{\text{Stoff}} = 247 \text{ pF}$$

und gibt einen Ausgleich bei

$$A = 12$$

$$f = 1 \text{ kHz}$$

$$B = 10^{-3}$$

Kapazitätsmultiplikator: 1.

Daraus

$$\varepsilon = \frac{247}{77} = 3,16 \text{ und}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = A \cdot B \cdot f = 12 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 12 \cdot 10^{-3} = 120 \cdot 10^{-4}$$

8.11.3 Kondensatormessungen

Zu messen ist ein normgemässer Papierkondensator in einem Papiergehäuse.

Die Brücke kann bei Stellung 10^{-3} des Schalters S_1 ausgeglichen werden,

wo

$$f = 1 \text{ kHz}$$

$$B = 10^{-3}$$

• Kapazitätsmultiplikator: 100

Der Belastungswert beträgt bei Kondensator C_1 : 465 pF,

bei Kondensator C_2 : 37 pF

$$C = 465 \cdot 100 = 46500 \text{ pF} = 0,0465 \mu\text{F}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = A \cdot B \cdot f = 37 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 37 \cdot 10^{-3} = 370 \cdot 10^{-4}$$

9.0 Verfahren nach Beendigung der Messung

Nach Beendigung des Messvorganges ist das Messgefäss zu entleeren, mit Benzin sorgfältig auszuwaschen, anschliessend zusammenzulegen, und in einer staubdicht schliessenden Schachtel aufzubewahren. Auch die Messbrücke soll entstaubt, der Deckel aufgesetzt und das Gerät auf einem staubfreien Platz aufbewahrt werden.

Wenn ein fester Isolierstoff geprüft worden ist, soll auch der Einspannkopf von den Resten des Isolierstoffes, vom Staub gereinigt und auf ähnliche Weise wie die Flüssigkeitsmesser aufbewahrt werden.

10.0 Instandhaltungsanweisung

10.1 Mechanische Wartung

Es empfiehlt sich, das Gerät jährlich einmal regelmässig zu entstauben und zu überprüfen.

In Rahmen der Instandhaltung werden die Kontakte der Schalter nach der Entstaubung abgewaschen und wieder eingeschmirt. Die Schalter sollen mit Hilfe eines feinen Pinsels oder eines Wattebausches mit absolutem Alkohol oder Trichloräthylen abgewaschen werden. Dem sorgfältigen Abwaschen folgt ein halbstündiges Trocknen mit Heissluftstrom. Nach dem Trocknen sind die Kontakte sehr fein einzuschmieren. Als Schmiermittel verwendet man chemischreines, in Trichloräthylen in einem Verhältnis von 1:5 gelöstes Lanolin oder säure-, laugen- und harzfreies, in Benzin gelöstes Vaseline. Nach der Verdunstung des Lösemittels bleibt an den Kontakten eine dünne Schmierstoffschicht zurück.

Auch das Arretierglied und die Lager der Schalter sowie die Lager der Drehkondensatoren sind mit dem gelösten Schmierstoff zu schmieren. Die Stroh-abnahmebürsten der Drehkondensatoren werden auf ähnliche Weise, wie die Schalter gereinigt und geschmiert.

Die Lager der Feintriebe sollen mit einem Tropfen feinen Öls /neutrales Mineralöl/ geschmiert werden. Mit dem Schmierstoff gehe man äusserst vorsichtig um, da die Verunreinigung der Kondensatorisolatoren durch Schmierstoffe das Gerät zugrunde richtet.

Im Rahmen der Instandhaltungsarbeiten sind die Kabel zu überprüfen, die eventuellen Störungen und Unzulänglichkeiten zu reparieren bzw. zu beseitigen.

Bei der Instandhaltung der Brücke empfiehlt es sich, auch den Generator und das Röhrenvoltmeter sorgfältig zu überprüfen und die Unzulänglichkeiten zu beheben.

10.2 Elektrische Wartung

Infolge der sorgfältigen Fertigung, Überprüfung und Auswahl der im Gerät verwendeten elektrischen Bestandteile sowie Widerstände, Kondensatoren, der Brückenweige usw. kommt ein elektrischer Fehler nur ausnahmsweise vor, weshalb das Gerät keiner besonderen elektrischen Instandhaltung bedarf.

11.0 Service-Anleitung

11.1 Mess-Stelle

Bei der Mess-Stelle ist die Zusammenarbeit von drei Geräten erforderlich. Der zu Speisung der Brücke dienende Generator und das zur Anzeige der Nullspannung dienende selektive Röhrenvoltmeter stellen selbständige Einheiten dar. Die in diesen auftretenden Störungen werden auf Grund der mitgelieferten Betriebsanweisungen geklärt und behoben, so dass hier auf diese Thema nicht näher eingegangen werden muss.

11.2 Überprüfung der Messbrücke

Zur Überprüfung der Messbrücke werden abgestimmte, luftisolierte Kondensatoren benötigt, deren Kapazität C_{1-2} völlig verlustfrei ist. Der zu eichende Verlustfaktor kann mit einem in Reihe geschalteten Widerstand abgebildet werden. Kondensatoren mit Nullverlust sind am Einsatzort im allgemeinen nicht gebräuchlich. Ihre Anschaffung oder Anfertigung ist umständlich, und die Eichung des Gerätes stösst unter den gegebenen Umständen auf beträchtliche Schwierigkeiten. Falls ein Zweifel darüber besteht, ob das Gerät den Verlustfaktor genau misst, wende man sich an das Herstellerwerk, da die zur Überprüfung des Gerätes benötigten Instrumente dort zur Verfügung stehen.

11.3 Eichung der Kapazitätsmessung

Die Eichung der Kapazitätsmessung erfolgt mit Hilfe von Normal-Kondensatoren oder einer Kapazitätsdekade, deren Wert bekannt ist. Bei der Eichung ist auch die zulässige Toleranz der Brücke und der Kapazität zu berücksichtigen. Dabei darf man besonders im Falle von niedrigen Kapazitätswerten nicht vergessen, dass die Brücke auf die Kapazität C_{0-1} bzw. C_{0-2} nicht reagiert, d.h. sie misst nur die Kapazität C_{1-2} . Dies bedeutet, dass auch die Kapazität nach dem Messprinzip der Schutzring-Messung gemessen werden soll. Sie muss abgeschirmt und die Abschirmung muss als

dritter Messpunkt herausgeführt sein. Die Kapazität soll also auf Punkt C_{1-2} geeicht sein /siehe Abb. 16 auf Seite 66/

Wenn diese prinzipiellen Forderungen nicht erfüllt werden können, dann führt die Eichung zu falschen Werten. Falls keine entsprechenden Eichnormen zu Verfügung stehen, ist es angezeigt, die Eichung des Gerätes dem Herstellerwerk anzuvertrauen.

11.4 Die häufigsten Fehler

Befund	Wahrscheinliche Ursache	Abhilfe
Kein Ausschlag am Röhrenvoltmeter	Generator und selektives Röhrenvoltmeter sind nicht auf die gleiche Frequenz abgestimmt.	Röhrenvoltmeter auf den Maximumwert der Generatorfrequenz abstimmen.
	Anschlusskabel des Indikators gerissen oder kurzgeschlossen.	Kabel sorgfältig überprüfen, Fehler beheben.
	Anschlusskabel des Generators gerissen oder kurzgeschlossen.	"

Indikator hat zwar einen Ausschlag, jedoch kann kein Minimumwert gefunden werden.

a/ bei zunehmender Kapazität schlägt der Zeiger des Indikators aus, und bei abnehmendem $\text{tg } \delta$ vermindert sich der Ausschlag.

In der zu messenden Kapazität ist eine zu grosse Durchföhrung vorhanden.

Kurzschluss im Kabel C_x beheben. Schadhaften Teil austauschen.

Befund	Wahrscheinliche Ursache	Abhilfe
	Die Isolierung des Anschlussstopfels ist infolge von Überwärmung verkohlt oder beschmolzen.	
b/ Der Ausschlag des Indikators nimmt ab, wenn C in die Richtung der kleineren Kapazitätswerte weist und $\text{tg } \phi$ nicht ausgeglichen werden kann.	Kurzschluss oder Durchbruch im Messkabel C_x	Messkabel reparieren.
Indikator zeigt ständig einen Maximumwert an.	Einer der Widerstände des Messgrenzschalters S_1 verbrannte infolge von Überlastung.	Für den Höchstwert von 40 V der Eingangsspannung sorgen. Allenfalls verbrannten Widerstand auf Grund der auf Seite 91. gegebenen Stückliste austauschen.
Ein Minimumwert ist zwar vorhanden, jedoch erscheint er auf breitem Band auseinandergezogen.	Erdleitung des Röhrenvoltmeters, der Brücke oder des Generators gerissen oder locker geworden.	Erdleitung reparieren.

Befund	Wahrscheinliche Ursache	Abhilfe
	Erdungsbuchse des Messkondensators sichert keine verlässliche Erdung.	Schlitz der Messbuchsen vorsichtig zusammendrücken.
	Der Wert der Kapazität oder des Verlustes fällt ausserhalb des Messbereiches.	Siehe Seiten 13-14.
	Mit Schalter S_1 ist ein unrichtiger Messbereich eingestellt.	S_1 auf den richtigen Messbereich einstellen /siehe die $tg\delta$ -Tabelle auf Seiten 13-14. /
Die Metallteile des Gerätes sind nicht geerdet. Man erfährt einen elektrischen Schlag.	Die Erdleitung ist dem Gerät nicht angeschlossen.	Gerät sorgfältig erden.
	Erdleitung gerissen.	Erdleitung reparieren.
	Die Erdleitung ist nicht eine von der Nulleitung des Stromnetzes abhängige besonders geräuschlose Erdung.	Anstatt der in der Norm vorgeschriebenen Berührungsschutzerdung ist eher eine unabhängige Messerdung anzulegen, da die Betätigung des Gerätes ohne diese lebensgefährlich ist.

Befund	Wahrscheinliche Ursache	Abhilfe
	Die Isolierung des Anschlussstopfels ist infolge von Überwärmung verkohlt oder beschmolzen.	
b/ Der Ausschlag des Indikators nimmt ab, wenn C in die Richtung der kleineren Kapazitätswerte weist und $\text{tg } \delta$ nicht ausgeglichen werden kann.	Kurzschluss oder Durchbruch im Messkabel C _x	Messkabel reparieren.
Indikator zeigt ständig einen Maximumwert an.	Einer der Widerstände des Messgrenzschalters S ₁ verbrannt infolge von Überlastung.	Für den Höchstwert von 40 V der Eingangsspannung sorgen. Allenfalls verbrannten Widerstand auf Grund der auf Seite 91. gegebenen Stückliste austauschen.
Ein Minimumwert ist zwar vorhanden, jedoch erscheint er auf breitem Band auseinandergezogen.	Erdleitung des Röhrenvoltmeters, der Brücke oder des Generators gerissen oder locker geworden.	Erdleitung reparieren.

Befund	Wahrscheinliche Ursache	Abhilfe
	Nulleitung des Stromnetzes ist der Berührungsschutz-Erdung angeschlossen.	Verbindung unbedingt unterbrechen, da dieser Anschluss normwidrig und lebensgefährlich ist.
Ausgleich verändert sich und ist empfindlich gegen Handberührung.	Zu lange Erdleitung.	Erdleitung kürzer machen.
	Erdleitung hat einen zu grossen Widerstand.	Fehlerhafte Kontakte reparieren und eine möglichst kurze, mindestens 1 mm Ø, Erdleitung anlegen.
	Erdleitung gerissen.	Erdleitung reparieren.
Kapazitätswerte C_{pF} weichen von dem zu erwartenden Messergebnis auffallenderweise ab.	Einer der am Messgrenzschalter S_1 vorgesehenen Widerstände $/R_1-R_{11}/$ hat seinen Wert verändert.	Entweder Widerstände einen nach dem anderen messen oder feststellen, bei welcher Stellung des Schalters S_1 sich die Störung meldet. Daraus den Widerstand mit dem veränderten Ohm-Wert bestimmen und auf Grund der auf Seite 71 gegebenen Stückliste austauschen.

Befund	Wahrscheinliche Ursache	Abhilfe
Der Belastungswert der Skala A_1 + weicht bei Stellungen 7-11 des Schalters $S_1/C10$; $C100$; $C1000$ / vom gemessenen und zu erwartenden Verlustfaktor in auffallendem Masse ab.	Einer der Kondensatoren C_{10} - C_{15} hat seinen Wert geändert.	Fehler durch entsprechende Einstellung des Schalters S_1 begrenzen. Kondensator mit dem veränderten Kapazitätswert bestimmen und auf Grund der auf Seite 91. gegebenen Stückliste austauschen. Zwecks Prüfung den Verlustfaktor bereits gemessenen Kondensators feststellen.
Der Zeiger des Indikators gibt bei der Abstimmung auf den Minimumwert einen unregelmässigen Anschlag.	Einer der Drehkondensatoren ist kurzgeschlossen oder verschmutzt.	Fixe und bewegliche Lamellen aller drei Drehkondensatoren /A, C, pF/ durch sorgfältiges Ausblasen entstauben, und im weiteren gemäss dem auf Seite 72. Besagten vorgehen. Wenn dies zu keinem Ergebnis führt, dann nehme man keine weiteren Versuche vor, da die Wiederherstellung der ursprünglichen Genauigkeit nur mit Hilfe der dem Herstellerwerk zu Verfügung stehenden Instrumente möglich ist.

Befund	Wahrscheinliche Ursache	Abhilfe
Der in der Messtellen- schaltung ver- wendete Gene- rator wird durch An- schliessen der Messbrücke allzu sehr be- lastet ; /Spannungs- abfall/	Windungskurzschluss in einem der Ein- gangstransforma- toren.	Fehler mit Hilfe des Mess- grenzenschalters S_1 be- grenzen und schadhaften Transformator durch ei- nen vom Herstellerwerk bezogenen neuen Transfor- mator ersetzen /Typenbe- zeichnung siehe auf Sei- te 92.
Kleines oder grosses Flüs- sigkeits-Mess- gefäss oder Einspannkopf für feste Isolierstoffe beschädigt.	Fehler ausschliess- lich mechanischen Charakters	Beschädigter Teil wird vom Herstellerwerk er- setzt oder bei Einsendung desselben repariert.

Anordnung der inneren Teile

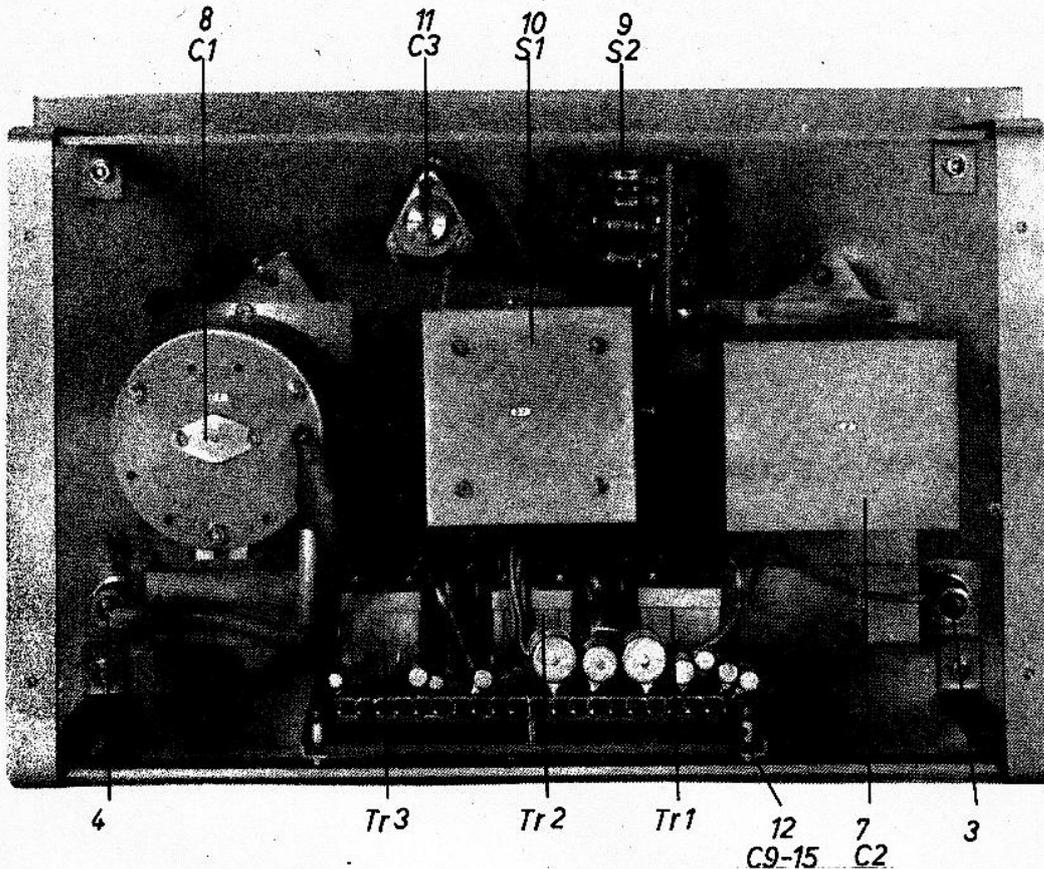


Abb. 17

Hinteransicht des Gerätes

- 3 Generator-Anschlussbuchse /Eingang/
 - 4 Indikator-Anschlussbuchse /Ausgang/
 - 7 Drehkondensator zum Messen des Verlustfaktors
 - 8 Drehkondensator zur Kapazitätsmessung
 - 9 Stufenschalter C_2 /7/ zur Erweiterung des Wertbereiches
 - 10 Messgrenzschalter

 - 11 Drehkondensator zum Ausgleichen der Kapazität C_{0-1}
 - 12 Ausgleichskondensatoren /7/ zum Messen des Verlustfaktors
- | | | |
|-----------------|-----------------------|---------------|
| Tr ₁ | Eingangstransformator | 0,05 - 10 kHz |
| Tr ₂ | Eingangstransformator | 0,5 - 100 kHz |
| Tr ₃ | Eingangstransformator | 5 - 300 kHz |

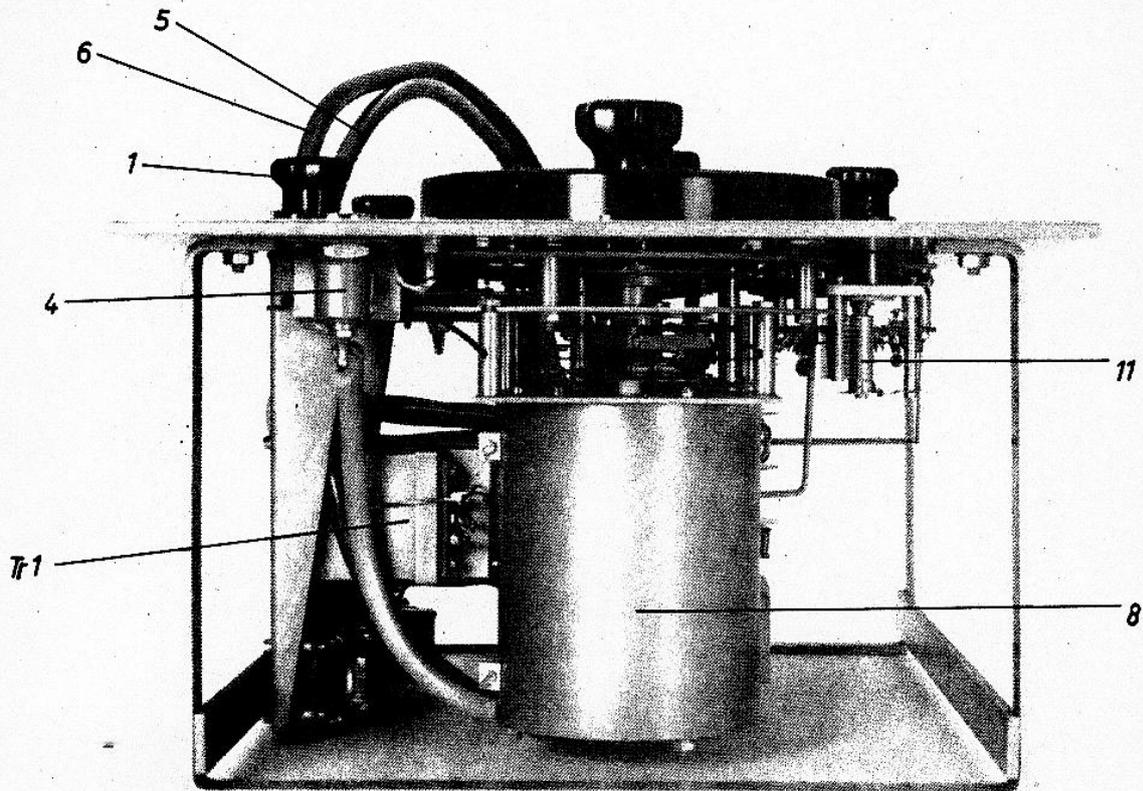


Abb. 18

Seitenansicht des Gerätes von der Ausgangsseite her

- 1 Feinabstimmknopf des Drehkondensators C_1
- 4 Ausgangs-Anschlussbuchse
- 5 Messkabel C_x des Gerätes
- 6 Messkabel C_x^x des Gerätes
- 8 Drehkondensator C_1
- 11 Drehkondensator C_3
- Tr_1 Eingangstransformator

/Nähere Erklärungen zur Abbildung findet man auf Abb.13
und 17 auf Seiten 40 und 82/

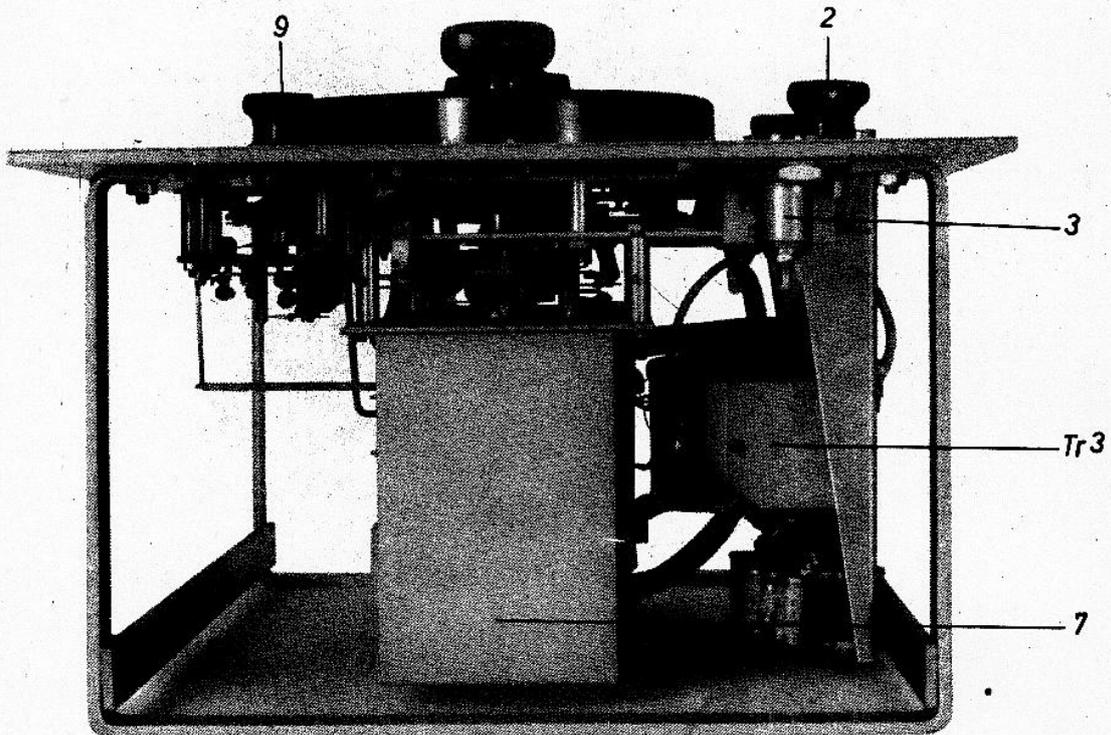


Abb. 19

Seitenansicht des Gerätes von der Eingangsseite her

- 2 Feinabstimmknopf des Drehkondensators C_2
- 3 Eingangs-Anschlussbuchse
- 5 Messkabel C_x des Gerätes
- 6 Messkabel C_x des Gerätes
- 7 Drehkondensator C_2
- 9 Stufenschalter S_2
- Tr_3 Eingangstransformator

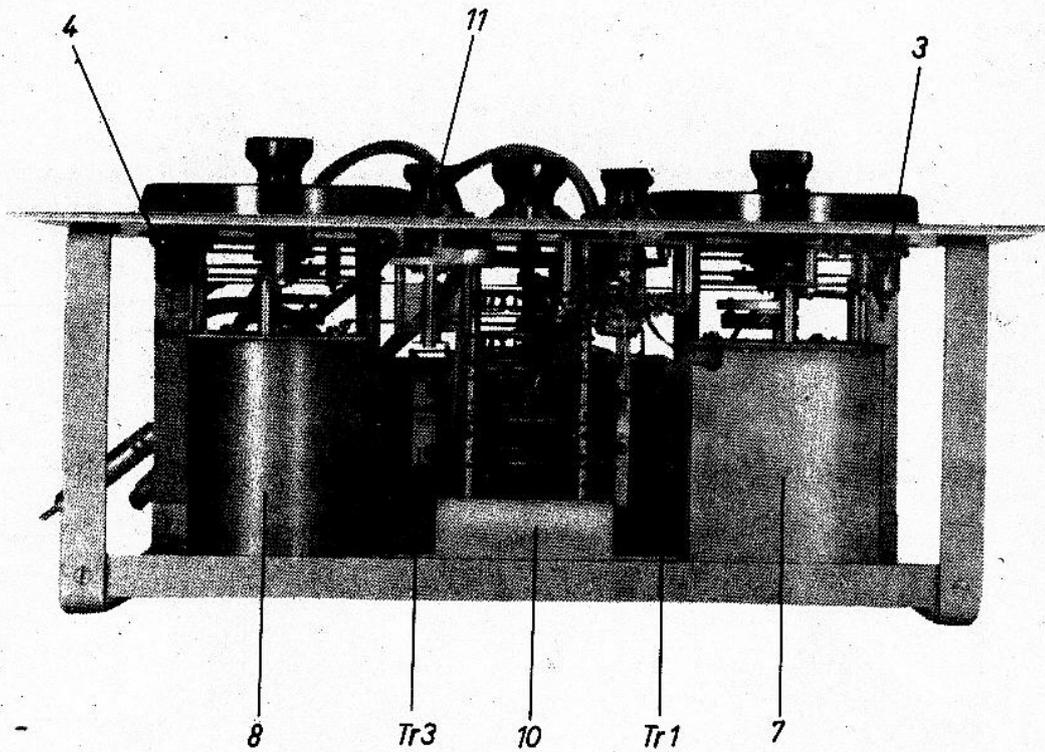


Abb. 20

Obenansicht des Gerätes

- 3 Eingang-Anschlussbuchse
- 4 Ausgang-Anschlussbuchse
- 7 Drehkondensator C_2
- 8 Drehkondensator C_1
- 10 Messgrenzschalter S_1
- 11 Drehkondensator C_3
- Tr_1 Eingangstransformator
- Tr_3 Eingangstransformator

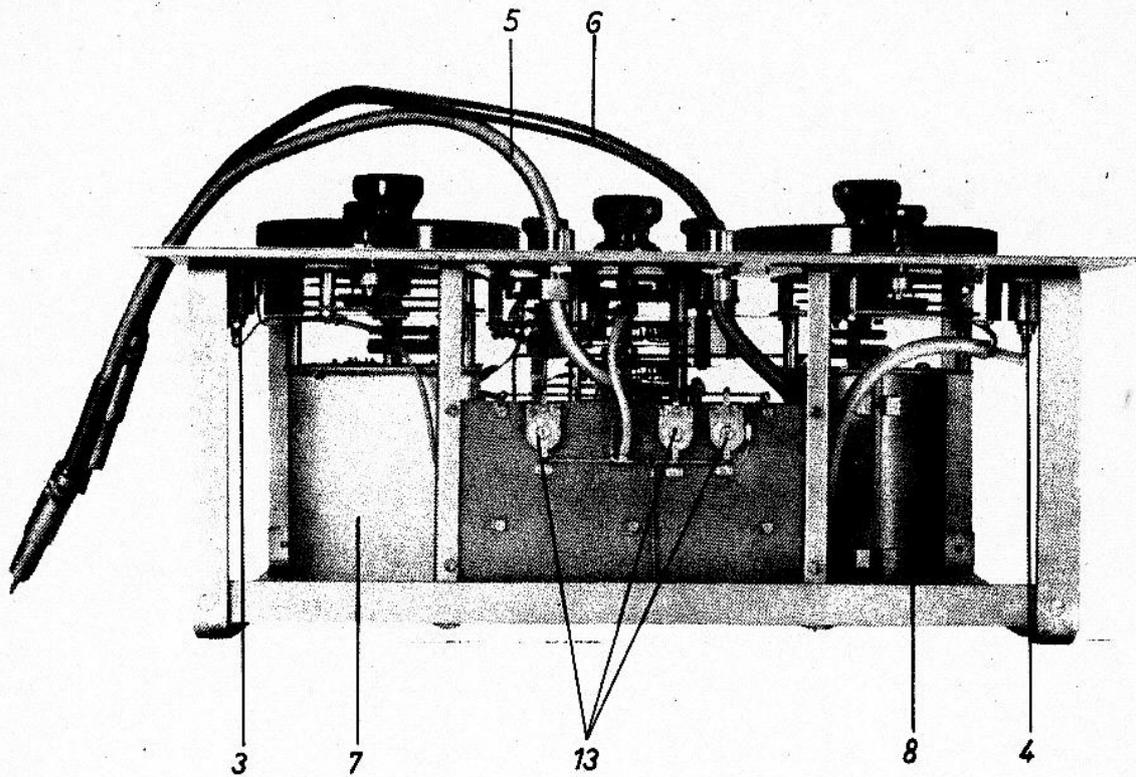


Abb. 21

Untenansicht des Gerätes

- 3 Eingang-Anschlussbuchse
- 4 Ausgang-Anschlussbuchse
- 5 Messkabel mit rotem Kreis
- 6 Messkabel ohne Markierung
- 7 Drehkondensator C_2
- 8 Drehkondensator C_1
- 13 Verstellbare Kondensatoren zur Symmetrisierung der Eingangstransformatoren.

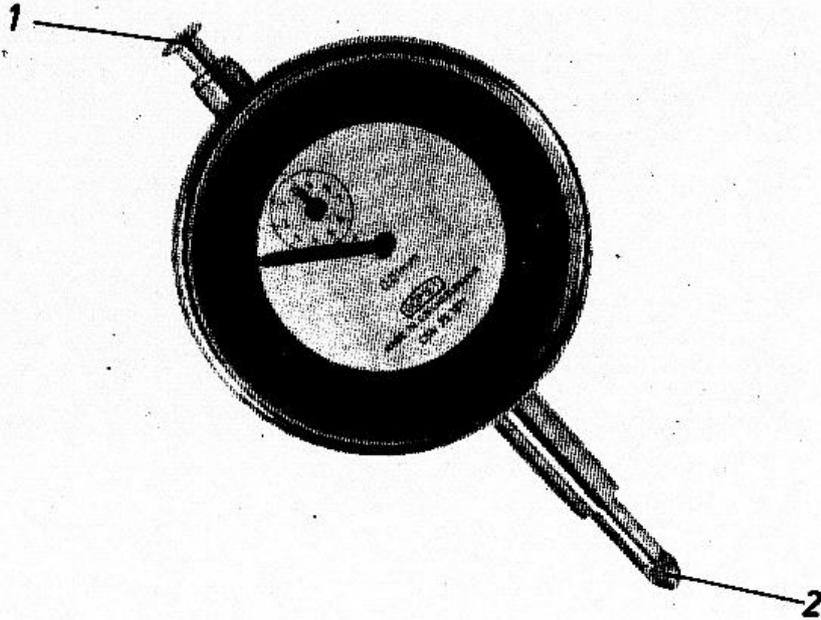


Abb. 22

Mikrometer des Einspannkopfes mit Schutzring

1 Null-Einstellschraube

2 Sich auf die bewegliche Elektrode abstützender
Steuerfuss

IM INTERESSE DER TECHNISCHEN WEITERENTWICKLUNG
WERDEN ALLE RECHTE VON VERÄNDERUNGEN VORBEHAL-
TEN!

Verantwortlicher Herausgeber: Dr.G.Máté-Tóth

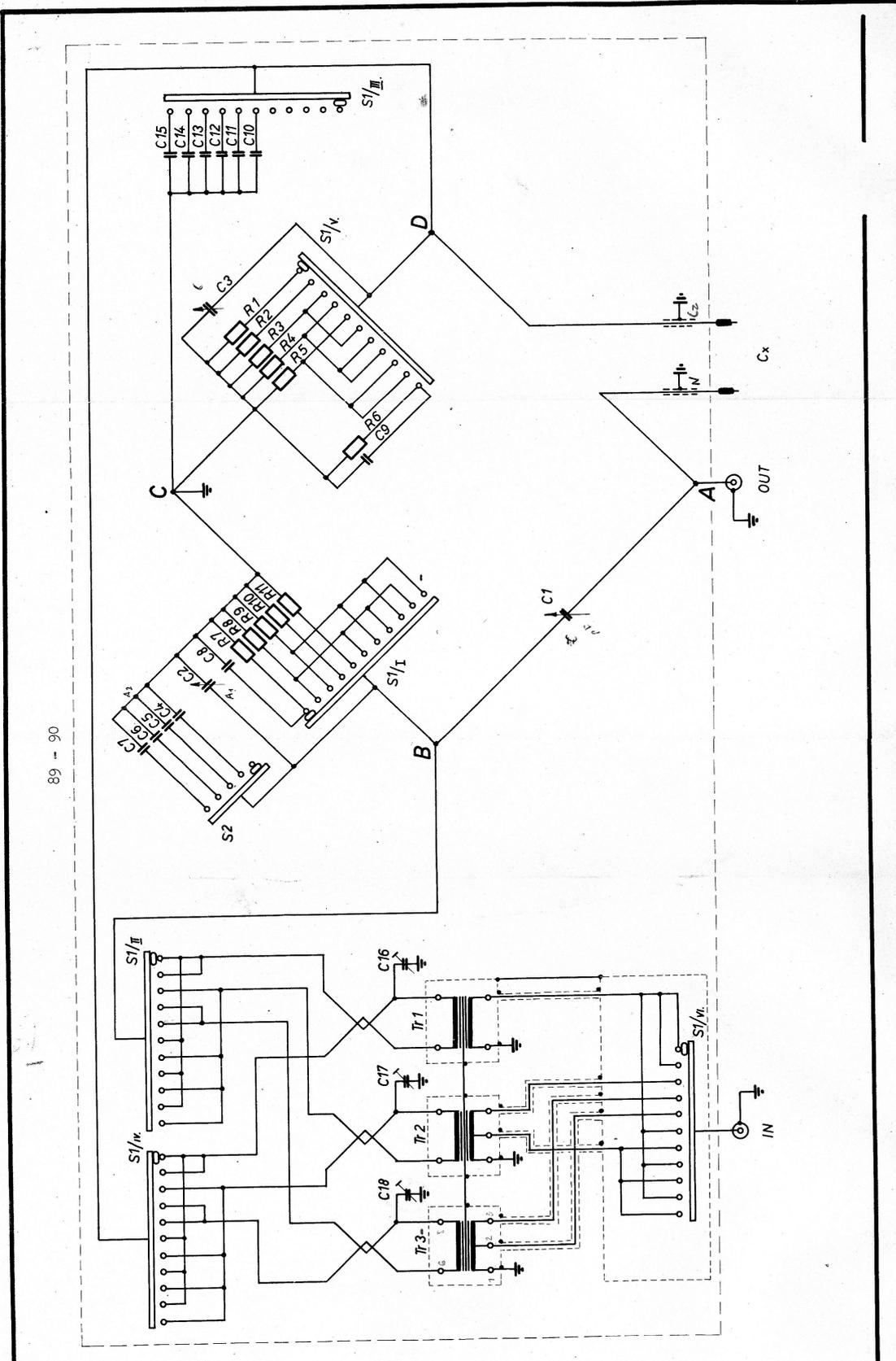


Abb. 23
Prinzipschaltbild

Verzeichnis der Bestandteile

Bezeichnung	Wert	Stückzahl	Werkstoff	Toleranz %	
1	2	3	4	5	
C ₁	10-1100 pF	1	Drehkondensator mit Luftdielektrikum		
C ₂	3 x 500 "	1	"		
C ₃	100 "	1	Keramischer Drehkondensator mit Luftdielektrikum		
C ₄	94 "	1	Styroflex	± 1	125 V
C ₅	1880 "	1	"	± 1	125 V
C ₆	2820 "	1	"	± 1	125 V
C ₇	3760 "	1	"	± 1	125 V
C ₈	5 "	1	keramisch		
C ₉	0,05 / μ F	1	Sikatrop	± 5	125 V
C ₁₀	2000 pF	1	"	± 5	125 V
	1000 pF	1	"	± 5	125 V
C ₁₁	2000 pF	1	"	± 5	125 V
	250 pF	1	keramisch	± 1	125 V
C ₁₂	0,03 / μ F	1	Sikatrop	± 5	125 V
	0,002 "	1	"	± 5	125 V
	500 pF	1	"	± 5	125 V
C ₁₃	0,025 / μ F	1	"	± 5	125 V
	1000 pF	1	"	± 5	125 V
C ₁₄	0,3 / μ F	1	"	± 5	125 V
	0,01 "	1	"	± 5	125 V
C ₁₅	0,3 "	1	"	± 5	125 V
C ₁₆	10 - 70 pF	1	keramischer Trimmer		
C ₁₇	10 - 70 pF	1			
C ₁₈	10 - 70 pF	1			

Bezeichnung	Wert	Stückzahl	Werkstoff	Toleranz
R ₁	170 kOhm	1	Kohlenschicht	± 0,5 1 W
R ₂	17 "	1	"	± 0,5 1 W
R ₃	1,7 "	1	"	± 0,5 1 W
R ₄	170 Ohm	1	"	± 0,5 1 W
R ₅	17 "	1	"	± 0,5 1 W
R ₆	1,7 "	1	Draht	± 0,5 Kohlen- schicht
R ₇	170 kOhm	1	"	± 0,5 1 W
R ₈	17 "	1	"	± 0,5 1 W
R ₉	1,7 "	1	"	± 0,5 1 W
R ₁₀	170 Ohm	1	"	± 0,5 1 W
R ₁₁	17 "	1	"	± 0,5 1 W
S ₁	Schalter	1	Stufenschalter mit 6 Ebenen und 11 Stellungen	
S ₂	Schalter	1	Stufenschalter mit 1 Ebene und 5 Stellungen	
Tr1	Eingangstransformator	1	Nach Zeichn.-Nr.102/501	
Tr2	"	1	Nach Zeichn.-Nr.102/502	
Tr3	"	1	Nach Zeichn.-Nr.102/503	