

Handbuch der Fernmeldetechnik

- Buchreihe AFt -



Band B5

Meßgeräte und Meßschaltungen

Joachim Galster
8551 Gosberg 88

Handbuch der Fernmeldetechnik

— Buchreihe AFt —

17

wichtige Lehr- und Lernwerke für den Lehrl; auch für den Handwerker F und den Fernmeldehandwerker zur Vorbereitung auf die Grundlehrgänge Ft 1 und 2 gut geeignet!

-
- Band A 1** — **Allgemeine Berufskunde**
Weg und Ziel der Ausbildung — Lehrvertrag — Fernmeldehandwerkerprüfung — Tarifvertrag — Gesetze und Verordnungen des Fernmeldewesens
- Band A 2** — **Allgemeine Berufskunde**
Allgemeines über den Staatsaufbau — Aufgaben und Gliederung der DBP — Sozialeinrichtungen bei der DBP — Musterausarbeitungen und Musterthemen
- Band B 1** — **Grundkenntnisse der Physik und Mathematik**
Erklärung der Grundgrößen der Physik — Buchstabenrechnen — Lösen von Gleichungen — Umstellen von Formeln
- Band B 2** — **Fachzeichnen in der Fernmeldetechnik**
Technisches Zeichnen — Stromlaufzeichnen — Planunterlagen und Zeichnen in der Linientechnik
- Band B 3** — **Gleichstromlehre**
Wesen der Elektrizität — Größen, Einheiten und Gesetze im Gleichstromkreis — Wirkungen des elektrischen Stromes — Arten der Spannungserzeugung — Elektrisches Feld — Kondensator
- Band B 4** — **Wechselstromlehre**
(2 Teile)
Dauermagnetismus — Elektromagnetismus — Fremndinduktion — Selbstinduktion — Entstehung des Wechselstromes — Wechselstromwiderstände — Stromversorgungsanlagen — Vorgänge auf elektrischen Leitungen — Elektronenröhren
- Band B 5** — **Meßgeräte und Meßschaltungen**
Meßtechnik und Meßübungen — Entstörungs- und Prüftechnik
- Band B 6** — **Beispiele und Aufgaben aus der Fernmeldetechnik**
(2 Teile)
Übungsbeispiele und Aufgabensammlung aus der Physik und der Gleich- und Wechselstromlehre — Berechnen elektrischer Größen in Schaltungen der Fernmeldetechnik
- Weitere Lehrbücher siehe 3. und 4. Umschlagseite —

HANDBUCH der FERNMELDETECHNIK

— Buchreihe AFt —

Joachim Galster
8551 Gosberg 88

Herausgegeben mit Unterstützung
des Bundesministers für das Post- und Fernmeldewesen

BAND B 5

Meßgeräte und Meßschaltungen

Meßtechnik und Meßübungen;
Entstörungs- und Prüftechnik

2., verbesserte und erweiterte Auflage

Deutsche Postgewerkschaft — Hauptvorstand — Verlag
6 Frankfurt 1 — Savignystraße 43

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort

Die siebzehn Bände des „Handbuchs der Fernmeldetechnik — Buchreihe AFt —“ sollen

1. den Fernmeldelehrlingen während der Lehrzeit ein ständiger Begleiter sein und ihnen eine umfassende und gute Prüfungsvorbereitung ermöglichen,
2. den Fernmeldearbeitern bei der Vorbereitung auf die Prüfung nach dem Tarifvertrag, § 10, behilflich sein,
3. den Handwerkern aus artverwandten Berufen aufzeigen, welches Fachwissen erforderlich ist, um genausoviel zu wissen wie die Lehrlinge am Ende ihrer Lehrzeit,
4. den Fernmeldehandwerkern die Möglichkeit geben, ihr Wissen aufzufrischen und es auf den neuesten Stand der Fernmeldetechnik zu bringen und
5. eine ausreichende Vorbereitung auf den Lehrstoff der dienstlichen Grundlehrgänge gewährleisten.

In der Fernmeldehandwerkerprüfung sowie in den Grundlehrgängen Ft 1 und 2 müssen neben den praktischen Fertigkeiten auch die theoretischen Fachkenntnisse über die Fernmeldetechnik vorhanden sein. Das gleiche gilt hinsichtlich der Kenntnisse in dem wichtigen Prüfungsfach „Allgemeine Berufskunde“ sowie in bezug auf die Grundkenntnisse über die für das Fernmeldewesen wichtigen Gesetze und Verordnungen wie FAG, TWG und FeO. Einer der Bände allein kann dem Leser dieses umfangreiche Wissen nicht vermitteln; alle siebzehn Bände zusammen (vgl. hierzu die Angaben auf der 2. und 3. Umschlagseite) enthalten jedoch das Fachwissen, das sich der Leser im Interesse des Prüfungserfolges und seines weiteren Aufstiegs aneignen muß. In dem „Handbuch der Fernmeldetechnik“ ist nur der unbedingt notwendige Lehrstoff in einfachster Form behandelt worden. Die Verfasser erheben nicht den Anspruch, daß die Bände alle Vorschriften und technischen Einzelheiten sowie das in der Praxis selten oder gar nicht Vorkommende enthalten. Ihnen ging es vielmehr darum, eine

Fibel

für den Fernmeldelehrling,
für den Fernmeldearbeiter,
für den Handwerker aus artverwandten Berufen und
für den Fernmeldehandwerker

zu schaffen, die der gestellten Aufgabe ohne unnötigen Ballast im Interesse der Leser gerecht wird.

Stand: Frühjahr 1970

Nachdruck, auch auszugsweise, nicht gestattet.

1. Messen und Maßeinheiten

- 1.1. Elektro- und fernmeldetechnische Einheiten 8

2. Meßwerke, Meßinstrumente und Meßgeräte

- 2.1. Allgemeines über den Aufbau von Meßinstrumenten und Meßwerken 10
- 2.2. Meßwerke 13
- 2.2.1. Das Drehspulmeßwerk 13
- 2.2.2. Das elektrodynamische Meßwerk 18
- 2.2.3. Das Dreheisenmeßwerk 19
- 2.2.4. Das Vibrationsmeßwerk (Zungenfrequenzmesser) 23
- 2.2.5. Das elektrostatische Meßwerk 25
- 2.2.6. Thermische Meßwerke 27
- 2.2.7. Wiederholungsfragen zu den Abschnitten 2.1. und 2.2. 28
- 2.2.8. Eigenschaften der Meßwerke 29
- 2.3. Meßinstrumente 30
- 2.3.1. Einfache Meßinstrumente 30
- 2.3.2. Vielfach-Instrumente 31
- 2.3.3. Meßinstrumente für Wechselstrom- und -spannungsmessungen 33
- 2.3.4. Meßtechnische Eigenschaften von Meßinstrumenten 35
- 2.3.5. Kennzeichen auf der Skala eines Meßinstruments 39
- 2.3.6. Meßbereichserweiterung bei Spannungs- und Strommessern 40
- 2.3.7. Wiederholungsfragen zum Abschnitt 2.3. 44
- 2.4. Meß- und Prüfgeräte der Fernsprechentstörung, die bei der DBP verwendet werden 45
- 2.4.1. Vielfachmeßinstrument für die Fernsprechentstörung 45
- 2.4.2. Prüfgerät 41, Prüfung der 16-kHz-Zählimpulse 54
- 2.4.3. Automatischer Prüfplatz 64 (APrPl) 56
- 2.4.4. Das Prüfgerät Nr. 57 60
- 2.4.5. Das Kabeladerprüfgerät 64 (KAPG) 62
- 2.4.6. Das Kabeladerprüfgerät 64a 65
- 2.4.7. Wiederholungsfragen zum Abschnitt 2.4. 65

3. Messung elektrotechnischer Grundgrößen

- 3.1. Spannungsmessung 66
- 3.1.1. Direkte Spannungsmessung 66
- 3.1.2. Indirekte Spannungsmessung 68
- 3.1.3. Wechselspannungsmessung 69
- 3.2. Strommessung 71
- 3.2.1. Direkte Strommessung 71
- 3.2.2. Indirekte Strommessung 72
- 3.2.3. Wiederholungsfragen zu den Abschnitten 3.1. und 3.2. 73
- 3.3. Leistungsmessung 74
- 3.4. Widerstandsmessung 75
- 3.4.1. Direkte Widerstandsmessung 75
- 3.4.2. Indirekte Widerstandsmessung 78
- 3.4.3. Die Meßbrücke 80
- 3.4.4. Wiederholungsfragen zu den Abschnitten 3.3. und 3.4. 83
- 3.5. Dämpfungsmessung 84

3.6. Bestimmung von Kapazitäten und Induktivitäten durch indirekte Messungen	84
3.6.1. Indirekte Kapazitätsmessung	84
3.6.2. Indirekte Induktivitätsmessung	86
3.6.3. Wiederholungsfragen zu den Abschnitten 3.5. und 3.6.	87

4. Meßübungen

4.1. Allgemeine Hinweise	87
4.2. Gleichstrommessungen	88
4.2.1. Das Ohmsche Gesetz	88
4.2.2. Die Kennlinie eines Widerstands (lineare Kennlinie)	90
4.2.3. Die Kennlinie einer Glühlampe (nichtlineare Kennlinie)	91
4.2.4. Die Reihenschaltung von Widerständen	92
4.2.5. Die Parallelschaltung von Widerständen	94
4.2.6. Die Gruppenschaltung von Widerständen	95
4.2.7. Die Kennlinie eines unbelasteten Spannungsteilers	96
4.2.8. Die Kennlinie eines belasteten Spannungsteilers	97
4.2.9. Die Klemmenspannung	99
4.2.10. Die Leistungsabgabe an R_n (Anpassung)	101
4.2.11. Die Belastbarkeit von Widerständen	102
4.3. Wechselstrommessungen	103
4.3.1. Die Abhängigkeit des kapazitiven Blindwiderstands von der Frequenz	103
4.3.2. Die Kapazität	104
4.3.3. Die Reihenschaltung von Kapazitäten	105
4.3.4. Die Bestimmung der Spuleninduktivität	106
4.3.5. Die Reihenresonanz	108
4.3.6. Das Übersetzungsverhältnis eines Fernleitungsübertragers ..	109
4.3.7. Der Einfluß der Gleichstromvormagnetisierung des Eisenkerns auf die Wirkungsweise eines Übertragers	109

5. Meßübungen an Fernsprechapparaten und NStAnl

5.1. Allgemeines über das Entstören von Fernsprechteilnehmereinrichtungen	111
5.2. Prüfen und Entstören eines FeAp 61	114
5.2.1. Prüfung des Anrufstromkreises	114
5.2.2. Prüfen der Induktionsspule mit komplexer Nachbildung, der Weckerspule und des Funkenlöschwiderstandes	115
5.2.3. Prüfen des nsa-Kontaktes	116
5.2.4. Prüfung des nsi/nsr-Kontaktes	117
5.2.5. Prüfung der Handapparatschnur auf Berührung	117
5.2.6. Messung des Mikrofonstromkreises	118
5.2.7. Prüfung der Induktionsspule und des Gehörschutzgleichrichters	119
5.2.8. Prüfung der W-Ltg	119
5.2.9. Prüfung der Erdtaste	120
5.3. Prüfen und Entstören eines W 48	121
5.3.1. Prüfen des Anrufstromkreises	121
5.3.2. Prüfen der Induktionsspule und des Wecker-Funkenlöschwiderstands-Nebenschlußkreises	121

5.3.3. Prüfen des nsa-Kontaktes	122
5.3.4. Prüfen der Handapparatschnur	122
5.3.5. Prüfen der Induktionsspule und des Gehörschutzgleichrichters	122
5.3.6. Prüfen des Mikrofonstromkreises	123
5.3.7. Prüfen der W2-Ltg	123
5.3.8. Prüfen der Erdtastenfunktion	124
5.4. Prüfen und Entstören einer WNStAnl W 1/1 (161)	124
5.4.1. Eingrenzen und Beseitigen einer Unterbrechungsstörung	124
5.4.2. Eingrenzen und Beseitigen einer Nebenschlußstörung	126
5.5. Prüfen und Entstören von Reihenanlagen	127
5.6. Wiederholungsfragen zum Abschnitt 5.	128
6. Sinnbilder und Schaltzeichen	130

1. Messen und Maßeinheiten

Messen heißt vergleichen, vergleichen mit bekannten Größen

Wir sehen es heute als eine Selbstverständlichkeit an, daß man die Länge einer Strecke in Metern, die Größe einer Fläche in Quadratmetern mißt und damit eine Größenvorstellung verknüpft. Nicht immer war es so. Noch im Mittelalter benutzte man die immer verfügbaren Naturmaße, um überhaupt eine vergleichende Möglichkeit zu haben. Erwähnt seien die Längenmaße, z. B. Elle, Fuß usw. Ein großer Nachteil dieser Naturmaße waren die nicht unbeträchtlichen Abweichungen, Meßungenauigkeiten. Erst die internationale Einführung des Meters (abgekürzt m) als Längeneinheit brachte ein einheitliches Längenmaß. Hierbei wurde das Meter als der 40 000 000. Teil des Erdumfangs, bzw. der 10 000 000. Teil des Erdquadranten festgelegt. Neuere Messungen ergaben Abweichungen, so daß der modernen Meßtechnik heute Lichtwellen als Maßgrundlage dienen. So ist das Meter jetzt festgelegt als das 1 650 763,73fache der Wellenlänge des leuchtenden Kryptons 86. Hier handelt es sich um eine Naturkonstante, die nach unseren Kenntnissen unveränderlicher und genauer meßbar ist als die Gestalt der Erde. Weitere Fehlerquellen, die bei der Übertragung des Urmeters auf etwaige Nachbildungen unvermeidbar sind, werden somit ausgeschaltet (Urmeter, ein im Internationalen Büro für Maße und Gewichte in Sèvres bei Paris aufbewahrter Platin-Iridium-Stab).

So, wie als Maßeinheit der Länge das Meter festgelegt wurde, bedient sich die Physik weiterer Maßeinheiten. Diese physikalischen Maßeinheiten sind heute fast alle international festgelegt.

Im Jahre 1954 hat die Generalkonferenz für Maß und Gewicht allen Staaten das **Internationale Einheitensystem** (SI-System) zur Einführung empfohlen. Das Internationale Einheitensystem ermöglicht eine einfache und einheitliche internationale technische Zusammenarbeit und den Austausch von physikalischen und technischen Informationen, ohne daß damit die Notwendigkeit einer Umrechnung gegeben ist. Es beruht auf sechs voneinander unabhängigen Grundeinheiten:

1. Längeneinheit 1 Meter,
2. Masseneinheit 1 Kilogramm,
3. Zeiteinheit 1 Sekunde,
4. Einheit der elektrischen Stromstärke 1 Ampere,
5. Temperatureinheit 1 Grad Kelvin und
6. Lichtstärkeinheit 1 Candela.

Nach den ersten vier Grundeinheiten wird dieses Einheitensystem auch als **MKSA-System** bezeichnet (= Meter – Kilogramm – Sekunde – Ampere-System). Alle anderen Einheiten werden aus den 6 genannten Grundeinheiten gebildet und als abgeleitete Einheiten bezeichnet.

Bei der Festlegung der Einheiten ist es u. U. auch von Bedeutung, daß sie zumindestens in technisch gut ausgestatteten Laboratorien mit vorhandenen Mitteln reproduziert bzw. dargestellt werden können. (Vgl.: Zur Längeneinheit mußte man

nach der älteren Festlegung der Einheit Meter mit dem in Paris aufbewahrten Urmeter vergleichen. Heute kann man mit entsprechenden Einrichtungen im Labor Kryptonlicht erzeugen und dessen Wellenlänge messen, um damit eine Eichgröße für die Länge zu erhalten.)

1.1. Elektro- und fernmeldetechnische Einheiten

Für die wichtigsten elektrischen Einheiten gilt heute:

Begriff	Formelzeichen	Einheit	
		Kurzzeichen	Benennung
el. Stromstärke	I	A	Ampere

Nach dem internationalen MKSA-System ist 1 Ampere die Stromstärke des konstanten Gleichstroms, der zwei gerade, fadenförmige und im Abstand von 1 m parallel zueinander verlaufende Leiter durchfließt und zwischen diesen eine Kraft von $2 \cdot 10^{-7}$ N (Newton)¹⁾ je Meter ihrer Länge erzeugt.

Früher galt: 1 Ampere ist die Stärke des konstanten Stroms, der bei Durchgang durch eine Silbernitratlösung in 1 Sekunde 1,118 mg Silber an der Anode abscheidet.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	
		Kurzzeichen	Benennung
el. Spannung	U	V	Volt

Im MKSA-System gilt als abgeleitete Einheit:

Die Spannung 1 Volt ist dann gegeben, wenn ein Prüfkörper, der die Elektrizitätsmenge 1 As trägt, infolge der Kraftwirkung des elektrischen Feldes die Arbeit 1 Ws verrichtet.

Früher: 1 Volt = 1 Ampere · 1 Ohm oder die Spannung des Weston-Normal-elements.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	
		Kurzzeichen	Benennung
el. Widerstand	R	Ω	Ohm

Als abgeleitete Einheit ergibt sich

$$1 \text{ Ohm} = \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ampere}};$$

d. h., fließt über einen Widerstand, an dem die Spannung von 1 Volt liegt, ein Strom der Stärke 1 Ampere, so hat dieser Widerstand den Wert 1 Ohm.

¹⁾ 1 Newton = 0,102 Kilopond.

Früher: 1 Ohm = der Widerstand einer Quecksilbersäule von 1 mm² Querschnitt und 1,063 m Länge bei der Temperatur 0 °C.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	
		Kurzzeichen	Benennung
el. Arbeit (Energie)	W	Ws	Wattsekunde

1 Wattsekunde ist die Arbeit, die während 1 Sekunde an einem Verbraucher verrichtet wird, der an 1 Volt Spannung die Stromstärke 1 Ampere aufnimmt.

$$1 \text{ Ws} = 1 \text{ Volt} \cdot 1 \text{ Ampere} \cdot 1 \text{ Sekunde}$$

Begriff	Formelzeichen	Einheit	
		Kurzzeichen	Benennung
el. Leistung	P	W	Watt

Die elektrische Leistung 1 Watt ist wirksam, wenn über einen Verbraucher an 1 Volt Spannung die Stromstärke 1 Ampere fließt.

$$1 \text{ W} = 1 \text{ Volt} \cdot 1 \text{ Ampere}$$

Begriff	Formelzeichen	Einheit	
		Kurzzeichen	Benennung
Dämpfung (oder auch Verstärkung)	a (v)	Np	Neper

Z. B. hat eine Leitung die Dämpfung 1 Neper, wenn sich die Spannungen von Leitungsanfang zu Leitungsende wie 2,718 zu 1 verhalten¹⁾. Umgekehrt beträgt die Verstärkung 1 Neper, wenn sich die Spannungen wie 1 zu 2,718 verhalten.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	
		Kurzzeichen	Benennung
Dämpfung (oder auch Verstärkung)	a (v)	dB	Dezibel

Eine Leitung hat eine Dämpfung von 1 Dezibel¹⁾, wenn sich die Spannungen von Leitungsanfang zu Leitungsende wie 1,12 zu 1 verhalten.

¹⁾ Vgl. hierzu: „Handbuch der Fernmeldetechnik – Buchreihe Aft“, Band B 4 (Teil 2) unter „Leitungstechnik“.

2. Meßwerke, Meßinstrumente und Meßgeräte

Die Elektrotechnik, ein Teilgebiet der Physik, ist ohne Messungen nicht denkbar. Da diese Messungen nicht unmittelbar, sondern nur mittelbar durchgeführt werden können, sind zum Messen elektrischer Größen besondere Meßgeräte mit empfindlichen Meßwerken entwickelt worden.

Die VDE-Vorschriften 0410 geben hier folgende Erklärung:

- a) **Meßgerät** ist ein Meßinstrument zusammen mit **sämtlichem Zubehör**, also auch mit solchem, das nicht untrennbar mit dem Instrument verbunden, sondern getrennt vorhanden ist.
- b) **Meßinstrument** ist das **Meßwerk** zusammen mit dem **Gehäuse** und gegebenenfalls **eingebautem Zubehör**. Ein Meßinstrument kann auch mehrere Meßwerke enthalten.
- c) Ein **Meßwerk** besteht aus den eine **Bewegung erzeugenden Teilen** und den Teilen, deren Bewegung oder Lage von der Meßgröße abhängt. (Zum Meßwerk gehören z. B. auch Zeiger und Skala.)

Die Grundbegriffe der Meßtechnik sind in DIN 1319 festgelegt.

Nach den zu messenden elektrischen Größen unterscheidet man:

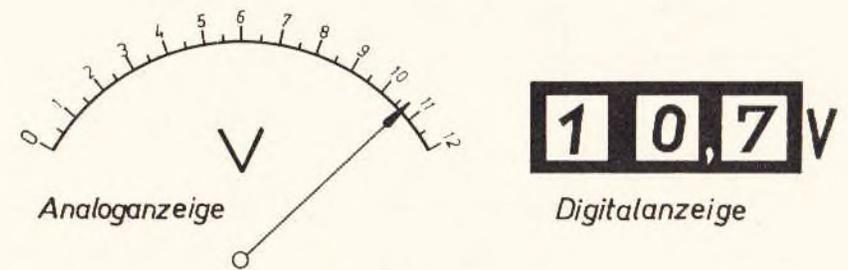
- | | |
|----------------------|--------------------|
| 1. Spannungsmesser | 5. Arbeitsmesser |
| 2. Strommesser | 6. Frequenzmesser |
| 3. Widerstandsmesser | 7. Dämpfungsmesser |
| 4. Leistungsmesser | |

2.1. Allgemeines über den Aufbau von Meßinstrumenten und Meßwerken

Am meisten gebräuchlich sind Zeigerinstrumente. Bei ihnen wird die Meßgröße durch Zeigerausschlag gekennzeichnet und angezeigt. Der Zeiger ist zu diesem Zweck mit dem beweglichen Teil des Meßwerks verbunden. Eine Variante zum Zeigermeßwerk ist das Lichtzeigermeßwerk. Sein Vorteil liegt darin, daß der Lichtzeiger gewichtslos ist und daher keine Massenträgheit besitzt. Beim Zungenfrequenzmesser dagegen wird die Meßgröße durch das Schwingen von Stahlzungen angezeigt.

Neuerdings werden auch für besondere Zwecke Meßinstrumente mit Digitalanzeige verwendet. Digitalanzeige bedeutet soviel wie ziffernmäßige

Vergleich zwischen Analoganzeige und Digitalanzeige



(Abb. 1)

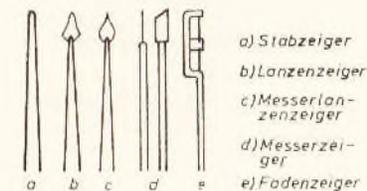
Anzeige des Meßwertes. Im Gegensatz dazu bezeichnet man die Anzeige eines Zeigermeßwerks als Analoganzeige (analog = entsprechend, gleichartig). Die Abb. 1 veranschaulicht den Unterschied zwischen der Analoganzeige eines Zeigerinstrumentes und der Digitalanzeige.

Die Digitalanzeige scheint auf den ersten Blick sehr vorteilhaft zu sein. Sie ist aber nur dort anwendbar, wo es z. B. auf die Überwachung einer Meßgröße ankommt, die normalerweise als konstant anzusehen ist. Eine unmittelbare Digitalanzeige durch Meßwerke würde einen zu großen Energieaufwand erfordern. Daher sind z. B. Verstärker erforderlich.

Sobald Größen gemessen werden sollen, die sich mehr oder weniger verändern können, ist die Analoganzeige im Vorteil. Ebenso lassen sich durch eine Analoganzeige Bereiche, in denen der Meßwert schwankt, viel besser übersehen.

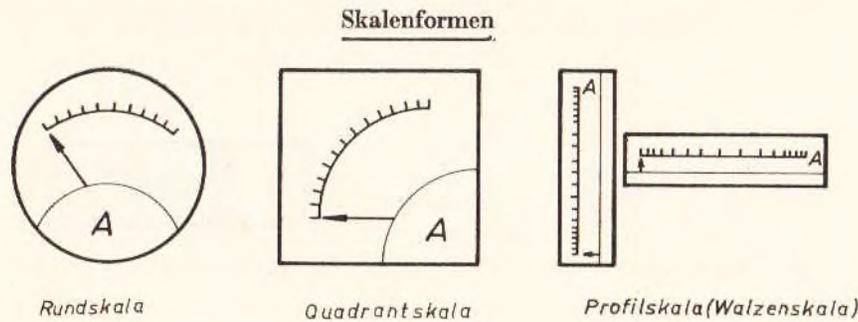
Bei den Zeigermeßinstrumenten ist heute eine derartige Vielfalt an Zeiger- und Skalenformen gebräuchlich, daß hier nur eine Auswahl der am häufigsten vorkommenden Bauformen erläutert werden kann.

Zeigerformen



(Abb. 2)

Eine Besonderheit bei Skalen für elektrische Meßinstrumente ist die **Spiegelskala**. Sie wird überwiegend in Feinmeßinstrumente eingebaut und besteht aus der üblichen Skala mit einem darunter befindlichem

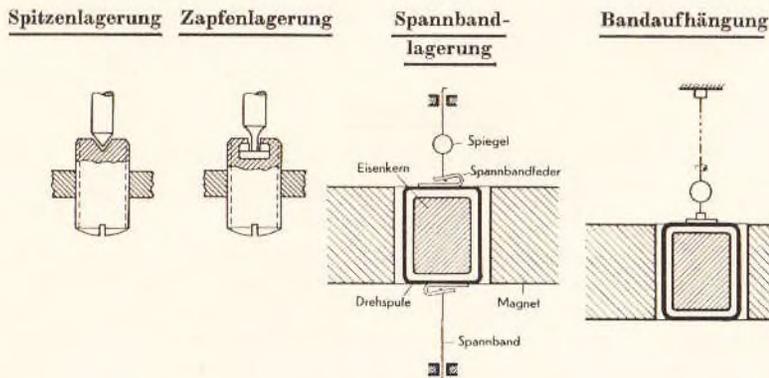


(Abb. 3)

Spiegelbogen. Bei den einfachen Skalen können leicht dadurch Ablesefehler entstehen, daß man etwas schräg auf die Skala blickt und wegen des mehr oder weniger großen Abstands zwischen Zeiger und Skala einen ungenauen Wert abliest. Die Spiegelskala läßt diesen Fehler vermeiden, wenn man beim Ablesen des Meßwerts darauf achtet, daß sich der Zeiger mit seinem Spiegelbild genau deckt. Das ist aber nur der Fall, wenn man genau senkrecht auf Zeiger und Skala blickt.

Weiterhin ist zwischen Einbauinstrumenten (z. B. Schalttafelinstrumenten) und tragbaren Instrumenten zu unterscheiden.

Grundsätzliche Unterschiede bestehen auch bei den Lagerungen des beweglichen Teils eines Meßwerks. So unterscheidet man zwischen



(Abb. 4) (Werkbilder Hartmann & Braun AG)

Die Spitzen- und Zapfenlagerung ist auch z. B. im Uhrenbau üblich. Da bei starken Erschütterungen die sehr feinen Spitzen brechen können,

bevorzugt man für Betriebsinstrumente, die Erschütterungen ausgesetzt sind, die Zapfenlagerung. Die Reibungsverluste durch Spitzen- oder Zapfenlagerung sind erheblich größer als bei der Spannbandlagerung. Zudem sind diese Reibungsverluste meistens auch noch lageabhängig. Daher ist mit Spitzen- oder Zapfenlagerung keine so große Meßgenauigkeit zu erwarten wie mit der Spannbandlagerung. Konstruktionselemente zur Bedämpfung des Zeigerpendelns sind im allgemeinen auf die Art des betreffenden Meßwerks zugeschnitten. Sie werden im Zusammenhang mit den Meßwerktypen besprochen.

Die Wirkungsweise der meisten elektrischen Meßwerke ist auf die

- a) elektrodynamische Kraftwirkung (Drehspul- und elektrodynamisches Meßwerk),
- b) elektromagnetische Kraftwirkung (Drehisenmeßwerk und Zungenfrequenzmesser),
- c) elektrostatische Kraftwirkung (elektrostatisches Meßwerk) oder
- d) Wärmewirkung des elektrischen Stromes (Hitzdrahtamperemeter)

zurückzuführen.

2.2. Meßwerke

2.2.1. Das Drehspulmeßwerk

2.2.1.1. Physikalische Grundlagen zur Arbeitsweise

Ein stromdurchflossener Leiter ist von einem konzentrischen Magnetfeld umgeben, dessen Feldlinienrichtung nach der Korkenzieherregel zu bestimmen ist. Befindet sich der stromdurchflossene Leiter in einem Magnetfeld, so wirkt auf ihn eine Kraft – er wird bewegt. Die Richtung, in die er dabei bewegt wird, hängt von der Feldlinienrichtung des äußeren Magnetfeldes und von der Stromrichtung im Leiter ab. Am einfachsten läßt sich die Bewegungsrichtung des stromdurchflossenen Leiters anhand der Linken-Hand-Regel (Motor-Regel) ermitteln. Ändert sich die Stromrichtung im Leiter, so ändert sich auch die Richtung, in die der Leiter abgelenkt wird.

Die Kraft F , mit der der stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld bewegt wird, hängt von der magnetischen Induktion B des äußeren Magnetfeldes, der wirksamen Leiterlänge l und von der Stromstärke I im Leiter ab. Wir können dafür folgende Formel schreiben:

$$F \sim B \cdot l \cdot I.$$

(In dieser Formel steht an Stelle des Gleichheitszeichens das Zeichen \sim für proportional [verhältnismäßig], da der Umrechnungsfaktor zur Bestimmung der mechanischen Größe F aus den elektrischen Größen fortgelassen wurde.)

Aus der Formel erkennt man, daß z. B. bei Verdopplung der Stromstärke die Kraft ebenfalls verdoppelt wird. Darin liegt die lineare Skalenteilung des Drehspulmeß-

werks begründet. Voraussetzung dafür ist allerdings, daß das äußere Magnetfeld homogen ist, was durch besondere Konstruktionsmerkmale (Polschuhe, Eisenkern) erreicht wird. Ordnet man an Stelle eines einzelnen Leiters eine drehbar gelagerte Spule im homogenen Magnetfeld an, so erhält sie bei Stromdurchgang einen Drehantrieb. Siehe hierzu Abschnitt „Bewegung durch Induktion“ im Band B 4 (Teil 1) des „Handbuchs der Fernmeldetechnik – Buchreihe AFt“.

Gegenkraft/Rückstellkraft

Wird ein Körper durch eine Kraft beschleunigt, so würde er sich ständig weiterbewegen, wenn er nicht gebremst würde. Die drehbar gelagerte Spule würde also durch einen geringen Stromstoß in eine Drehbewegung geraten. So wäre aber eine Messung z. B. der Stromstärke nicht möglich. **Damit die Kraft, mit der die Spule bewegt wird, gemessen werden kann, muß eine Gegenkraft vorhanden sein.** Diese Gegenkraft wird meistens durch die Spannkraft von Spiralfedern oder die Torsionskraft von Spannbändern gebildet. Die Bedeutung und Wirkungsweise der Spiralfedern oder Spannbänder kann man sehr einfach aus der Wirkungsweise einer Federwaage ableiten. Da nun der Drehbewegung der stromdurchflossenen Spule die Spannkraft der Federn entgegenwirkt, kann sie nur so weit gedreht werden, bis die Drehkraft der Spule mit der Spannkraft der Federn im Gleichgewicht ist (die Kräfte also gleich groß sind). Der Ausschlagwinkel eines an der Spule befestigten Zeigers ist ein Maß für die Kraft, mit der sie bewegt wird. Die Spiralfedern bzw. Spannbänder sorgen zudem dafür, daß die Spule nach dem Ausschalten des Stromes in ihre Ausgangslage zurückgeführt wird (**Rückstellkraft**).

Dämpfung

Beim Einschalten des Stromes würde sich die Massenträgheit der Drehspule einschließlich des Zeigers nachteilig auswirken. Der Zeiger würde über den wirklichen Anzeigewert hin ausschlagen und dann pendeln. Um das zu verhindern, benötigt ein Zeigermeßwerk eine Dämpfung. **Zur Dämpfung des Zeigerpendelns bedient man sich beim Drehspulmeßwerk der Kurzschlußdämpfung.**

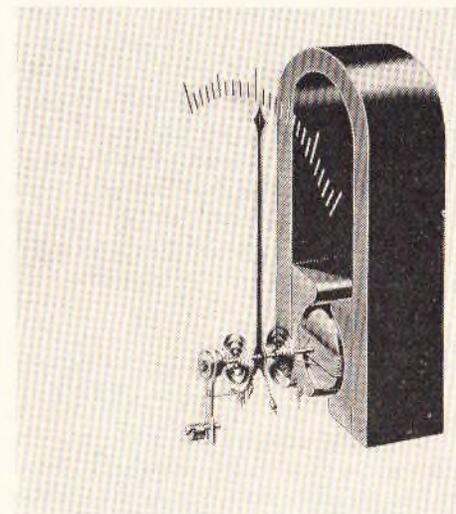
Wird ein Leiter in einem Magnetfeld bewegt, so wird in ihm infolge Änderung des magnetischen Flusses ein Induktionsstrom erzeugt. Dieser Induktionsstrom ist so gerichtet, daß er mit seinem Magnetfeld den Entstehungsvorgang zu hemmen sucht (Lenzsche Regel). Da hier der Entstehungsvorgang die Bewegung des Leiters (Spule) ist, wird sie gebremst. Die bremsende Wirkung ist um so größer, je stärker der Induktionsstrom ist, je niedriger also u. a. der ohmsche Widerstand im Stromkreis ist. Diese Art der Dämpfung wird durch einen **Aluminiumrahmen** erreicht, **auf den die Drehspule gewickelt ist.** Da der Rahmen eine kurzgeschlossene Windung darstellt, ist die Dämpfung verhältnismäßig wirkungsvoll und wird als Kurzschlußdämpfung bezeichnet.

Besitzt die Kupferdrahtwicklung der Drehspule einen kleinen Widerstand und wird das Meßwerk in einem niederohmigen Stromkreis betrieben, so übt der in der Wicklung bei Bewegung entstehende Induktionsstrom ebenfalls eine bewegungshemmende Wirkung aus. **Diese Eigenschaft kann man sich beim Transport von Drehspulinstrumenten zunutze machen, indem man die Drehspule an den Klemmen kurzschließt.** Bei Vielfachinstrumenten erreicht man das weitgehend durch Einschalten des größten Strommeßbereiches, da dann ein sehr kleiner Parallelwiderstand (shunt) an der Drehspule liegt. Das durch Transporterschütterungen verursachte Zeigerpendeln wird damit gedämpft.

2.2.1.2. Aufbau des Drehspulmeßwerks

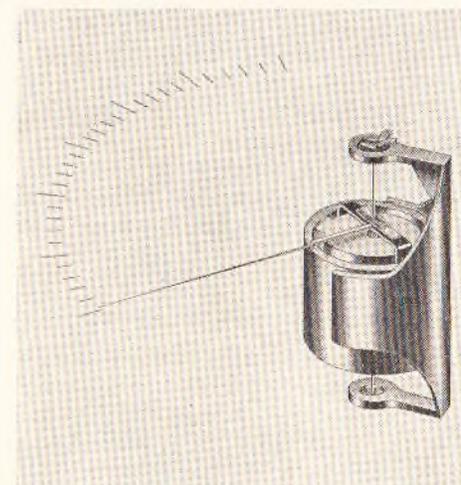
Im homogenen ringförmigen Feld eines Dauermagneten ist eine Spule drehbar gelagert. Das homogene Ringfeld wird durch die besondere Form der Polschuhe und einen zylindrischen Eisenkern erzielt.

Drehspulmeßwerk mit Außenmagnet



(Abb. 5) (Werkbild Hartmann & Braun AG)

Drehspulmeßwerk mit Kernmagnet (Spannbändlagerung)



(Abb. 6) (Werkbild Hartmann & Braun AG)

Die Drehspule ist meistens auf einen Aluminiumrahmen (Dämpfung) gewickelt. An der Spule ist der Zeiger befestigt. Als Gegen- und Rückstellkraft wirken zwei gegenläufig gewickelte Spiralfedern, die oberhalb und unterhalb des Zeigers angebracht sind. Diese Spiralfedern übernehmen als dritte Aufgabe die Stromzuführung zur Drehspule.

Seitdem es gelingt, kleine kräftige Dauermagnete herzustellen, werden Drehspulmeßwerke meistens als sog. Kernmagnetmeßwerke gebaut. Das homogene Ringfeld wird hier durch den als Dauermagneten hergestellten zylindrischen Kern und einen Weicheisenzylinder gebildet, der den Kernmagneten außerhalb der Drehspule umschließt (vgl. Abb. 6).

Um das Gewicht des Zeigers auszugleichen, sind an seinem unteren Ende (unterhalb des Drehpunktes) meistens verschiebbare Gegengewichte angebracht.

2.2.1.3. Eigenschaften des Drehspulmeßwerks

Da die Richtung, in die die Drehspule beim Stromdurchgang bewegt wird, von der Stromrichtung abhängt – Umkehrung der Stromrichtung bedingt die Umkehrung der Bewegungsrichtung –, ist das **Drehspulmeßwerk nur für Gleichstrommessungen geeignet. Für Wechselstrommessungen sind zusätzliche Schaltelemente wie Trockengleichrichter oder Thermoelemente erforderlich.** Eine magnetische Kraftwirkung ist nur dann vorhanden, wenn zwei Magnetfelder aufeinander einwirken. Beim Drehspulmeßwerk wird ein Magnetfeld durch den Dauermagneten gebildet. Der Strom in der Spule braucht daher nur das zweite Magnetfeld aufzubauen. Zudem ist der magnetische Kreis weitgehend durch ferromagnetischen Werkstoff mit guter Permeabilität ausgefüllt. Aus diesen Gründen sind **Drehspulmeßwerke empfindlicher als alle anderen Meßwerke.** So erreicht man eine Empfindlichkeit bis etwa $1 \mu\text{A}$! **Der Eigenverbrauch an elektrischer Energie ist sehr gering.** Er beträgt etwa $0,01 \mu\text{W}$ bis $0,5 \text{ mW}$. Die Dämpfung wird durch den Spulenträger bzw. die Spule selbst erreicht. Damit entfallen zusätzliche Bauelemente zur Dämpfung, die die Masse und damit die Massenträgheit erhöhen würden. **Die Kraft, mit der die Spule ausgelenkt wird, hängt linear von der Stromstärke ab. Deshalb ist auch die Skalenteilung eines Drehspulinstrumentes linear.**

2.2.1.4. Besondere Bauarten von Drehspulmeßwerken

Um die physikalisch bedingte hohe Empfindlichkeit eines Drehspulmeßwerks voll auszunutzen, liegt es nahe, besondere Konstruktionsmöglichkeiten zur Verminderung der Lagerreibung für die Drehspule anzuwenden. Hierzu gehört die schon eingangs erwähnte Spannbandlagerung der Drehspule. Hierbei fällt die u. U. lagebedingte Reibung der Spitzen- oder Zapfenlagerung fort. Die Spannblätter übernehmen somit folgende Aufgaben:

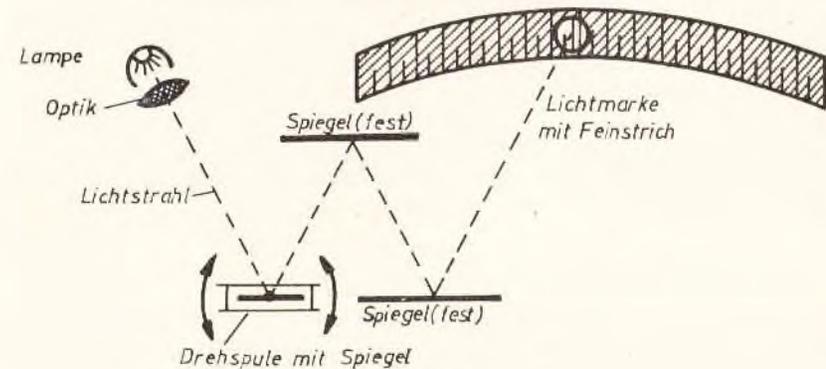
- Gegenkraft (Torsion),
- Rückstellkraft,
- Lagerung der Drehspule und
- Stromzuführung.

Eine weitere Steigerung der Empfindlichkeit ist durch die Bandaufhängung möglich. Hier werden zwei sehr dünne Metallbändchen, die isoliert aneinandergeliebt sind, zur Aufhängung der Drehspule benutzt. Da die Spule aber nicht mehr fest gelagert und damit zentriert ist, muß ein solches Meßwerk genau senkrecht aufgestellt werden. Ein Drehspulmeßwerk mit Bandaufhängung wird meistens als sog. **Galvanometer** gebaut. Galvanometer haben eine freitragende Drehspule ohne Aluminiumrähmchen und meistens keine geeichte Skala. Sie dienen z. B. zur Nullanzeige in Meßbrücken. Tragbare Meßinstrumente, die Meßwerke mit Bandaufhängung enthalten, benötigen eine Wasserlibelle und Stellschrauben, um eine genaue Senkrechtstellung zu ermöglichen.

Zur genauen Ablesung von Skalenwerten ist eine große, fein unterteilte Skala wünschenswert. Eine große Skala bedingt aber lange Zeiger. Lange Zeiger sind jedoch schwerer als kurze und besitzen daher auch eine größere Massenträgheit. Dieser Schwierigkeit begegnet man durch den Bau von **Lichtzeigermeßwerken**. Ein **Drehspul-Lichtzeigermeßwerk** ist im Prinzip wie folgt aufgebaut: An Stelle des Zeigers wird an der Drehspule eines Drehspulmeßwerks ein winzig kleiner Metallspiegel befestigt. Auf diesen Spiegel wird ein scharf gebündelter Lichtstrahl geworfen (Glühlampe und Linsenoptik).

Der vom Drehspiegel reflektierte Lichtstrahl kann nun entweder direkt oder nach mehrfacher Umlenkung durch weitere Spiegel auf eine Skala

Schematischer Aufbau eines Lichtzeigermeßwerks



(Abb. 7)

projiziert werden. Im Gegensatz zu Zeigerinstrumenten mit einer größten Zeigerlänge von etwa 100 mm kann man hier bei geringer Baugröße Zeigerlängen von 300 mm und mehr mit Leichtigkeit erreichen. **Der Lichtzeiger ist masselos!** Hochwertige Kabelmeßeinrichtungen enthalten meistens solche Lichtzeigermeßwerke.

2.2.2. Das elektrodynamische Meßwerk

2.2.2.1. Physikalische Grundlagen zur Arbeitsweise

Grundsätzlich werden zwei Magnetfelder benötigt, damit es zu einer Kraftwirkung kommt. Diese beiden Magnetfelder können durch zwei stromdurchflossene Spulen gebildet werden. Ordnet man innerhalb einer feststehenden Spule eine drehbare gelagerte Spule an, so erhält die Drehspule einen Drehantrieb, wenn durch beide Spulen gleichzeitig ein Strom fließt. Die Wirkungsweise ist der des Drehspulmeßwerks sehr ähnlich, nur daß hier das feststehende Magnetfeld nicht durch einen Dauermagneten, sondern durch die feststehende Stromspule gebildet wird. Meistens wird die feststehende Spule in den Stromkreis (Reihenschaltung) und die bewegliche Spule parallel zum Meßobjekt geschaltet. Diese Schaltung ergibt sich schon aus dem Aufbau:

Stromspule = dicke Drähte,
Spannungsspule = dünne Drähte.

Nach dem Ohmschen Gesetz fließt beim Anlegen einer Spannung auch durch die bewegliche Spule ein Strom $I = \frac{U}{R}$.

Ändert sich die Stromrichtung in beiden Spulen gleichzeitig, so ändert sich auch die Feldlinienrichtung in beiden Spulen. Die Kraftwirkung bleibt aber erhalten. Daraus folgt, daß ein dynamisches Meßwerk auch für Wechselstrommessungen geeignet ist. Das elektrodynamische Meßwerk wird vorwiegend zur Leistungsmessung verwendet. Die elektrische Leistung ergibt sich aus folgenden Formeln

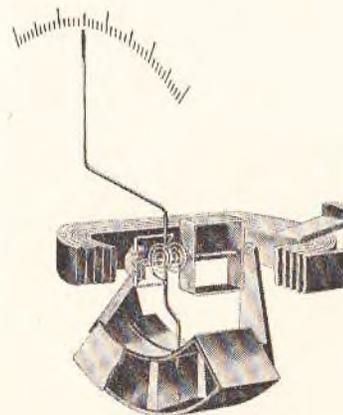
- a) Gleichstrom : $P = U \cdot I$
b) Wechselstrom: $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$

Tritt zwischen Wechselspannung und Wechselstrom eine Phasenverschiebung φ auf, so erreichen die Ströme in der festen Stromspule und in der beweglichen Spannungsspule nicht im gleichen Augenblick ihren Höchstwert. Damit wird die magnetische Kraftwirkung kleiner. Im äußersten Fall ändert sich bei 90° Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom die Kraftwirkung periodisch in je gleicher Größe zur positiven und negativen Drehrichtung. Aufgrund der Massenträgheit bleibt die Drehspule in ihrer Ruhelage – kein Ausschlag. Da der \cos für 90° Null ist, ergibt sich aus der Formel für die Wechselstromleistung: $P = 0$. Das elektrodynamische Meßwerk zeigt also nur die Wirkleistung an (vgl. hierzu: Diagramme Leistungsaufnahme einer Induktivität und einer Kapazität im Band B4 (Teil 1) des „Handbuchs der Fernmeldetechnik“ unter „Die Leistung im Wechselstromkreis“).

2.2.2.2. Aufbau des elektrodynamischen Meßwerks

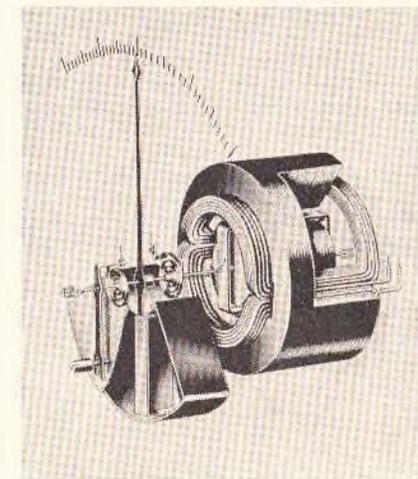
Innerhalb einer feststehenden – aus Kupferdraht mit verhältnismäßig großem Querschnitt hergestellten – Spule ist eine Spule aus dünnen Drähten drehbar gelagert. Die Drehspule ist – wie üblich – mit einem Zeiger verbunden. Spiralfedern dienen als Gegen- und Rückstellkraft.

Elektrodynamisches Meßwerk (eisenlos)



(Abb. 8)

Elektrodynamisches Meßwerk (eisengeschlossen)



(Abb. 9)

(Werkbild Hartmann & Braun AG)

Zur Bedämpfung des Zeigerpendelns bedient man sich meistens der Luftdämpfung. Neben diesen sogenannten eisenlosen Meßwerken sind auch eisengeschlossene Meßwerke gebräuchlich (vgl. Abb. 9). Der Eisenschluß mit seiner großen Permeabilität bewirkt eine höhere Empfindlichkeit und einen Schutz gegen fremde Felder. Bei eisengeschlossenen Meßwerken sind jedoch die mit zunehmender Frequenz steigenden Wirbelstrom- und Ummagnetisierungsverluste zu berücksichtigen.

2.2.2.3. Eigenschaften des elektrodynamischen Meßwerks

Das Meßwerk zeigt nur dann einen Ausschlag, wenn in beiden Spulen gleichzeitig ein Strom fließt. Es wird daher für Messungen verwendet, bei denen zwei elektrische Größen gleichzeitig zu berücksichtigen sind. Aus diesem Grunde bietet sich das Meßwerk zur Messung der Wirkleistung an (**Wattmeter**). Eisenlose Meßwerke eignen sich auch für Messungen bei höheren Frequenzen, sind jedoch gegenüber eisengeschlossenen erheblich unempfindlicher.

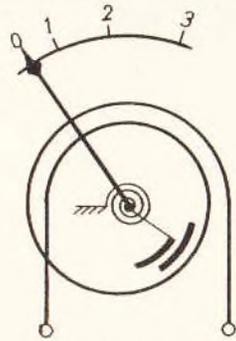
2.2.3. Das Dreieisenmeßwerk

2.2.3.1. Physikalische Grundlagen zur Arbeitsweise

Eine stromdurchflossene Spule erzeugt ein Magnetfeld, dessen Feldlinienrichtung von der Stromrichtung abhängt. Die Feldlinienrichtung läßt sich nach der Korkenzieher-Regel oder der Rechten-Hand-Regel für den Nordpol bestimmen. Ein in die

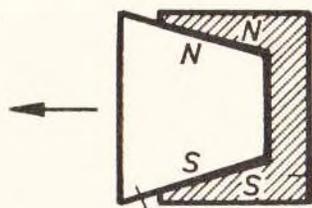
Spule eingebrachter Weicheisenkern wird von den magnetischen Feldlinien durchsetzt und auf diese Weise selbst magnetisiert. Diese Erscheinung ist unter dem Begriff **magnetische Influenz** bekannt. Ordnet man in der stromdurchflossenen Spule zwei Weicheisenkerne parallel, von denen der eine fest, der andere beweglich ist, so werden beide Kerne infolge der magnetischen Influenz in gleicher Richtung magnetisiert. Damit **stehen sich an den parallelliegenden Enden der Weicheisenkerne jeweils gleichnamige Magnetpole gegenüber**. Da sich gleichnamige Magnetpole abstoßen, werden die Eisenkerne auseinandergedrängt. Die Kraft, die zwischen den Weicheisenkernen wirkt, hängt nicht linear von der Stromstärke in der Spule ab. Verdoppelt man beispielsweise die Stromstärke in der Spule, so verdoppelt sich die Stärke des Spulenmagnetfeldes. Infolge Influenz verdoppelt sich aber auch die Stärke des Magnetfeldes in **jedem** der beiden Eisenkerne. Damit wird die Kraftwirkung viermal so groß. Man kann also sagen, daß die Kraft, mit der die Weicheisenkerne aus der Ruhelage abgestoßen werden, vom Quadrat der Stromstärke abhängt: $F \sim I^2$.

Schema eines Dreheisenmeßwerks



(Abb. 10)

Die Skala eines Dreheisenmeßwerks müßte daher eine **quadratische Teilung** erhalten. Diesen Nachteil kann man zum Teil dadurch beheben, daß man den Weicheisenkernen eine besondere Form gibt. Die magnetische Kraftwirkung hängt nämlich auch von der wirksamen Polfläche und von der Luftspaltlänge ab. Formt man den beweglichen Eisenkern trapezförmig aus, so wird bei Abstoßung die wirksame Polfläche zwischen den beiden Kernen zunehmend kleiner. Auf diese Weise wird das quadratische Ansteigen der Kraftwirkung größtenteils ausgeglichen.



Maßnahme zur Linearisierung der Skalenteilung beim Dreheisenmeßwerk

feststehendes } Weicheisenstück
bewegliches }

(Abb. 11)

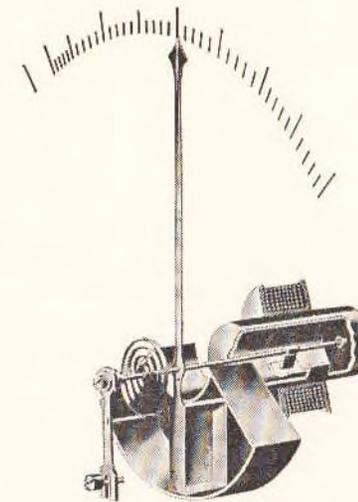
Die Kraftwirkung (Abstoßung) ist nicht von der Stromrichtung in der Spule abhängig. Ändert sich die Stromrichtung in der Spule, so ändert sich zwangsläufig auch die Richtung des Influenzfeldes in beiden Weicheisenkernen. So stehen sich wiederum gleichnamige Magnetpole gegenüber. Die Kraftwirkung ist die gleiche geblieben. Aus diesem Grunde sind Dreheisenmeßwerke grundsätzlich auch für Wechselstrommessungen geeignet.

2.2.3.2. Aufbau des Dreheisenmeßwerks

Innerhalb einer Kupferdrahtspule ist ein Weicheisenstück fest angebracht. In geringem Abstand dazu befindet sich das mit einem Zeiger verbundene bewegliche Weicheisenstück. Eine im Zeigerdrehpunkt montierte Spiralfeder übernimmt die Aufgabe der Gegen- und Rückstellkraft. Da die Stromspule feststeht, entfallen besondere Stromzuführungen zum beweglichen Teil des Meßwerks.

Beim Dreheisenmeßwerk ist eine Kurzschlußdämpfung zur Verminderung des Zeigerpendelns nicht ohne weiteres anwendbar. Hier wird fast ausschließlich die Luftdämpfung angewendet (auch Luftkammerdämpfung genannt).

Dreheisenmeßwerk



(Abb. 12)

2.2.3.2.1. Luftdämpfung

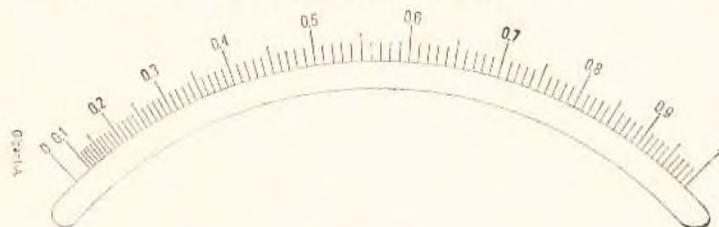
Ein am unteren Ende des Zeigers befestigter Aluminiumflügel kann sich in einer geschlossenen Kammer bewegen. Der Flügel wird so bemessen, daß er sich gerade eben – ohne mit den Kammerwänden in Berührung zu kommen – frei bewegen kann (vgl. hierzu Abb. 12).

Bei einem Zeigeranschlag wird durch die Bewegung des Aluminiumflügels die Luft im linken Teil der Luftkammer verdichtet und kann nur langsam

an den Rändern des Flügels entweichen. Dadurch kommt es zur Abbremsung der Zeigerbewegung und vor allem des Zeigerpendelns.

2.2.3.3. Eigenschaften des Dreheisenmeßwerks

Da die Krafttrichtung nicht von der Stromrichtung in der Spule abhängt, ist das Dreheisenmeßwerk für Wechselstrommessungen geeignet. Mit zunehmender Frequenz erhöhen sich aber der induktive Blindwiderstand der Spule und die Wirbelstromverluste in den Weicheisenkernen. Dadurch sind der Meßgenauigkeit bei Wechselströmen höherer Frequenz absolute Grenzen gesetzt. Die gebräuchlichen Dreheisenmeßwerke sind für Wechselstromfrequenzen bis etwa 150 Hz ausreichend genau. Der Nachteil einer an sich notwendigen quadratischen Skalenteilung wird durch die Form der Weicheisenkerne weitgehend behoben. Allerdings muß damit ein Verlust an Empfindlichkeit in Kauf genommen werden. Folgendes Bild stellt die Skala eines solchen Meßwerks dar.



(Abb. 13)

Beim Dreheisenmeßwerk müssen durch den Spulenstrom beide für eine Kraftwirkung erforderlichen Magnetfelder erzeugt werden. Hinzu kommt, daß der magnetische Kreis überwiegend durch Luft verläuft (schlechte Permeabilität). Dadurch ist die gegenüber dem Drehspulmeßwerk erheblich geringere Empfindlichkeit bedingt. Bei Dreheisenmeßwerken erreicht man eine Empfindlichkeit von etwa 1 mA (vgl. Drehspulmeßwerk: 1 μ A!). Aus vorgenannten Gründen ist ebenfalls der Eigenverbrauch an elektrischer Energie erheblich größer als beim Drehspulmeßwerk. Er liegt etwa zwischen 0,1 W und einigen W (vgl. Drehspulmeßwerk: 0,01 μ W bis 0,5 mW!).

Liegt ein Dreheisenmeßwerk im Streufeldbereich eines fremden Magnetfeldes, so werden die Weicheisenkerne dadurch magnetisiert. Die Anzeige wird ungenau!

Da die Spule beim Dreheisenmeßwerk feststeht, kann sie im Hinblick auf den Drahtquerschnitt und die mechanische Festigkeit besonders stabil gebaut werden. Das ergibt eine große Sicherheit gegen Überbelastung. Zudem entfällt die Notwendigkeit für bewegliche Stromzuführungen.

Die für Drehspulmeßwerke übliche Meßbereichserweiterung für Strommessungen durch Parallelschalten von Nebenwiderständen (sog. shunts)

ist bei Dreheisenmeßwerken nicht anwendbar. Durch das Parallelschalten eines ohmschen Widerstands mit der Feldspule (R und X_L) ergibt sich eine stark frequenzabhängige Stromverzweigung. Bei Dreheisenmeßwerken werden daher zur Änderung des Strommeßbereichs Spulenabgriffe an der Feldspule umgeschaltet: für kleine Ströme liegen die Abgriffe in Reihenschaltung, für große Ströme werden die Spulenabgriffe parallelgeschaltet.

Das Meßwerksymbol für das Dreheisenmeßwerk ist auf den Vorläufer des heutigen Meßwerktyps zurückzuführen. Bei diesem – einem der ältesten elektrischen Meßwerke – wurde ein an einer Zugfeder befestigter Weicheisenkern je nach Stromstärke mehr oder weniger stark in eine Spule hineingezogen. Ein mit dem Eisenkern verbundener Zeiger, der sich über einer Skala bewegen konnte, diente zur Anzeige der Meßgröße.

2.2.4. Das Vibrationsmeßwerk (Zungenfrequenzmesser)

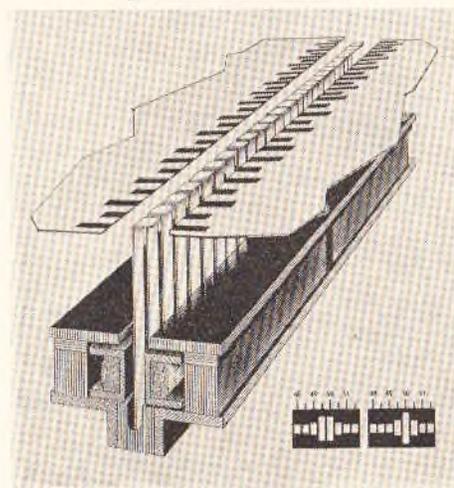
2.2.4.1. Physikalische Grundlagen zur Arbeitsweise

Befindet sich vor der Polfläche eines Elektromagneten ein ferromagnetischer Stoff – z. B. in Form einer Stahlzunge –, so wird er infolge der magnetischen Influenz selbst magnetisiert.

Damit stehen sich ungleichnamige Magnetpole gegenüber – die Stahlzunge wird angezogen. Kehrt man die Stromrichtung um, dann bleibt die Krafttrichtung (Anziehung) erhalten.

Fließt durch den Elektromagneten ein Wechselstrom, so wird die Stahlzunge sowohl während der positiven als auch während der negativen Halbwelle des Wechselstroms angezogen und jeweils beim Nulldurchgang wieder losgelassen. Die Zunge schwingt demnach mit der doppelten Frequenz des Wechselstromes. Sie wird aber nur mit einer Frequenz bevorzugt – also besonders kräftig – schwingen, die ihrer Eigenschwingungszahl entspricht (Resonanz). Die Eigenschwingungszahl hängt

Vibrationsmeßwerk



(Abb. 14)

außer vom Material von den Abmessungen der Zunge ab. So ist es mit einfachen Mitteln möglich, eine ganze Reihe herzustellen, bei der die Eigenschwingungszahl von Zunge zu Zunge um einen bestimmten Betrag steigt.

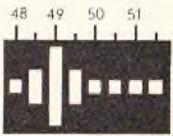
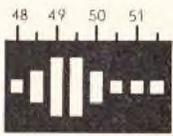
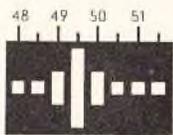
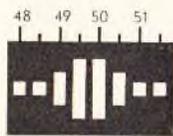
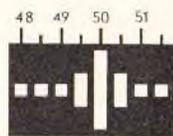
Ordnet man eine solche Stahlzungenreihe vor den entsprechend langen Polschuhen eines Elektromagneten an und legt eine Wechselfspannung an, so wird nur jeweils die Zunge deutlich sichtbar schwingen, deren Eigenschwingungszahl der Frequenz der Wechselfspannung entspricht (bei einer Frequenz von 50 Hz muß die Stahlzunge beispielsweise eine Eigenschwingungszahl von 100 Hz haben). Da die Nachbarzungen nur geringfügig gegen die Wechselfspannungsfrequenz verstimmt sind, werden sie etwas mitschwingen.

2.2.4.2. Aufbau eines Vibrationsmeßwerks

Vor den Polschuhen eines Elektromagneten ist eine Reihe geringfügig gegeneinander verstimmter Stahlzungen eingespannt. Um das Schwingen einer Stahlzunge besser beobachten zu können, ist sie am oberen Ende abgewinkelt und trägt eine weiße Markierung.

Die Zungen können innerhalb einer ausgeschnittenen und auf die Frequenz geeichten Skala frei schwingen (vgl. Abb. 14).

2.2.4.3. Eigenschaften des Vibrationsmeßwerks



Vibrationsmeßwerke werden ausschließlich zur Frequenzmessung benutzt. Sie besitzen eine hohe, stets gleichbleibende Meßgenauigkeit und sind sehr robust gebaut. Die Meßbereiche für Frequenzen liegen etwa zwischen 6 und 1500 Hz. Mit besonderen Hilfsmitteln (Überlagerungsverfahren) ist es möglich, Frequenzen bis herab zu 1 Hz zu messen. Die Meßgenauigkeit beträgt etwa 0,25%. Nebenstehende Bilder erläutern die Ablesung eines Zungenfrequenzmessers.

Ablesung der Frequenz an der Skala eines Zungenfrequenzmessers

(Abb. 15)

(Werkbild Hartmann & Braun AG)

In der Fernmeldetechnik wurden bisher Vibrationsmeßwerke eingesetzt, um die Unterbrechungsfrequenz der Nummernschalter in Fernsprechapparaten zu messen. Da aber Vibrationsmeßwerke keinerlei Rückschluß über das Impulsverhältnis zulassen, sind sie durch andere Meßeinrichtungen ersetzt worden.

Das Hauptanwendungsgebiet der Vibrationsmeßwerke liegt in der Messung der Frequenz technischer Wechselströme (z. B. 50 Hz, $16\frac{2}{3}$ Hz usw.).

2.2.5. Das elektrostatische Meßwerk

2.2.5.1. Physikalische Grundlagen zur Arbeitsweise

Stehen sich zwei großflächige Körper gegenüber, die an einer elektrischen Spannung liegen, so üben sie aufeinander eine anziehende Kraft aus (ungleichnamige elektrische Ladungen ziehen sich an). Die Kraft ist nicht besonders groß und hängt u. a. vom Quadrat der elektrischen Feldstärke E und der wirksamen Fläche A ab:

$$F \sim E^2 \cdot A.$$

Daraus ergibt sich, daß auch die Skalenteilung eines elektrostatischen Meßwerks nicht linear sein kann. Ordnet man eine Fläche fest, die andere beweglich an, so ist die Kraft, mit der die unter Spannung stehenden Flächen angezogen werden, ein Maß für die angelegte Spannung. Nach Umpolung der Spannung stehen sich wiederum verschiedene Ladungen gegenüber. Die Richtung der Kraft ist also nicht von der Richtung der zu messenden Spannung abhängig. Ein elektrostatisches Meßwerk ist daher für die Messung von Wechselfspannungen geeignet.

Die Anordnung zweier voneinander isoliert angeordneter leitender Beläge entspricht dem Aufbau eines Kondensators. Über einen Kondensator fließt aber nur ein Strom, wenn sich die angelegte Spannung verändert (Verschiebungsstrom / dielektrische Verschiebung). Das ist der Fall, wenn eine Gleichspannung angeschaltet wird oder wenn eine Wechselfspannung anliegt. Der Eigenverbrauch ist äußerst gering.

Da bei Anliegen einer Gleichspannung über das Meßwerk kein Strom, bei Anliegen einer Wechselfspannung ein stark von der Frequenz abhängiger Strom fließt, ist eine Meßbereichserweiterung durch Vorschalten von Widerständen nicht möglich. Wenn nämlich z. B. kein Strom fließt, dann tritt an einem Vorwiderstand auch kein Spannungsabfall auf.

2.2.5.2. Aufbau des elektrostatischen Meßwerks

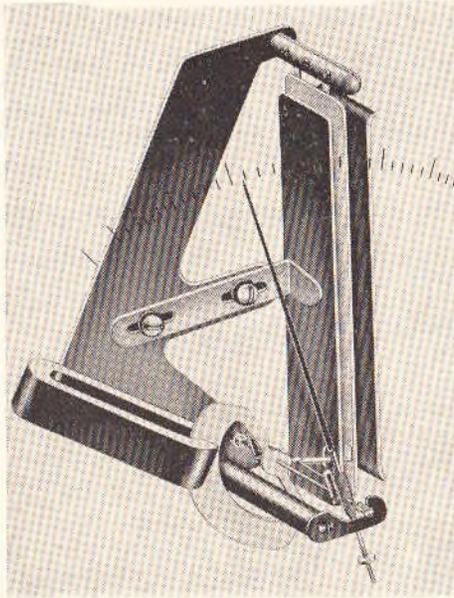
Zwischen zwei feststehenden Metallplatten ist eine bewegliche Metallplatte aufgehängt. Die bewegliche Platte ist mit einer der feststehenden Platten leitend verbunden.

Wird an die feststehenden Platten eine Spannung gelegt, so tritt eine doppelte Kraftwirkung auf: Auf der linken Seite stoßen sich gleichnamige elektrische Ladungen ab – die linke und die bewegliche Platte sind ja leitend verbunden –, auf der rechten Seite ziehen sich ungleichnamige Ladungen an. Die bewegliche Platte wird nach rechts gezogen und ein mit ihr über eine Zwischenstange verbundener Zeiger gibt mit seinem Ausschlag die Meßgröße an. Als Gegen- und Rückstellkraft kann hier das Gewicht der beweglichen Platte dienen. Zur Dämpfung des Zeigerpendels bedient man sich beim elektrostatischen Meßwerk neben der Luftdämpfung einer Wirbelstromdämpfung.

2.2.5.2.1. Wirbelstromdämpfung

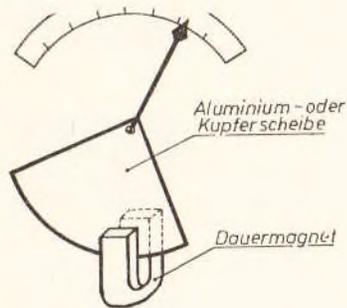
Eine mit dem Zeiger verbundene Aluminium- oder Kupferscheibe kann sich zwischen den Polen eines Dauermagneten frei bewegen.

Elektrostatisches Meßwerk



(Abb. 16) (Werkbild Hartmann & Braun AG)

Wirbelstromdämpfung



(Abb. 17)

Bei einem Zeigerausschlag bewegt sich die Metallscheibe zwischen den Magnetpolen. Das hat die Entstehung von Induktionsströmen zur Folge (Änderung des magn. Flusses um den Leiter). In der großflächigen Metallscheibe können sich diese Induktionsströme frei bewegen und ausgleichen; man spricht von Wirbelströmen. Nach der Lenzschen Regel sind aber Induktionsströme stets so gerichtet, daß sie mit ihrem Magnetfeld den Entstehungsvorgang hemmen. Die Bewegung der Metallscheibe – und damit auch die des Zeigers – wird gebremst.

2.2.5.3. Eigenschaften des elektrostatischen Meßwerks

Elektrostatische Meßwerke sind für **Gleich- und Wechselspannungsmessungen** gut geeignet. Die obere Frequenzgrenze liegt bei etwa 10^7 Hz! Da die elektrostatische Kraftwirkung verhältnismäßig gering ist, ist das

Meßwerk ziemlich **unempfindlich** und wird vorwiegend für die Messung von Spannungen von etwa 20...500 V eingesetzt. Der wesentliche Vorteil des elektrostatischen Meßwerks gegenüber anderen Meßwerken liegt im **hohen Innenwiderstand** begründet. Sein Innenwiderstand ist bei reiner Gleichspannung praktisch unendlich groß. Bei Wechselspannung hängt er von der Kapazität des Meßwerks und der Frequenz ab

$$\left(X_C = \frac{1}{\omega C} \right).$$

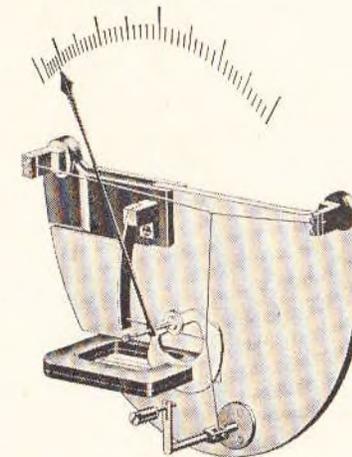
Weil mit dem Ansteigen der angelegten Spannung der Plattenabstand geringer wird, wächst mit höheren Spannungen die Gefahr eines Durchschlags. Der mögliche Spannungsbereich ist daher auch nach oben hin verhältnismäßig stark begrenzt (ca. 500 V).

Neben dem hier beschriebenen Typ eines elektrostatischen Meßwerks gibt es noch andere, wie z. B. das Multizellar und das Quadrantenmeßwerk. Da solche Meßwerke seltener gebraucht werden, wird hier auf eine Beschreibung verzichtet.

2.2.6. Thermische Meßwerke

Meßwerke, deren Funktion auf der Wärmewirkung des elektrischen Stromes beruhen, sind heute nur noch so wenig im Gebrauch, daß hier nur kurz darauf eingegangen werden soll. Die Arbeitsweise dieser Meßwerke ist auf die **Wärmedehnung von Metallen** zurückzuführen.

Hitzdrahtmeßwerk



(Abb. 18)

Fließt ein Strom durch einen Leiter, so wird in ihm aufgrund seines Widerstands elektrische Energie verbraucht und in Wärmeenergie umgesetzt ($P = I^2 \cdot R$). Im einfachsten Fall wird beim Hitzdrahtmeßwerk die durch Stromwärme bewirkte Längenausdehnung eines Drahtes auf einen Zeiger übertragen. In Abbildung 18 ist dieser Draht waagrecht gespannt.

Bei einer anderen Type, dem Bimetallmeßwerk, wird die unterschiedliche Wärmedehnung zweier verschiedener, aufeinandergeschweißter Metallstreifen (Bimetall) ausgenutzt. Durch Stromwärme dehnt sich das eine Metall stärker als das andere. Der Bimetallstreifen wird verbogen und ein damit verbundener Zeiger bewegt.

Die Stromwärme ist nicht von der Stromrichtung abhängig. Darum sind thermische Meßwerke auch für **Wechselstrommessungen** bis zu hohen Frequenzen geeignet (Antennenstrommessung bei Funksendern). Sie müssen jedoch wegen der Abhängigkeit $P = I^2 \cdot R$ eine **quadratische Skalenteilung** erhalten. Thermische Meßwerke sind verhältnismäßig **unempfindlich** und eignen sich nicht zur Messung geringer Stromstärken.

2.2.7. Wiederholungsfragen zu den Abschnitten 2.1. und 2.2.

1. Welcher Unterschied besteht zwischen der Analoganzeige und der Digitalanzeige bei einem Meßinstrument?
2. Welchen Vorteil bietet eine Spiegelskala?
3. Erläutern Sie die hauptsächlichsten Arten der Lagerung des beweglichen Teils von Meßwerken!
4. Nach welchem physikalischen Prinzip arbeitet ein Drehspulmeßwerk?
5. Unter welcher Voraussetzung ist die Skalenteilung eines Drehspulmeßwerks linear?
6. Welche Aufgabe erfüllen die Spiralfedern oder Spannbänder in einem Meßwerk?
7. Warum ist bei Meßwerken eine Dämpfung notwendig?
8. Wie kann das Zeigerpendeln beim Transport eines Drehspulinstrumentes gemindert werden?
9. Welche Unterschiede bestehen zwischen einem Drehspulmeßwerk mit Außenmagnet und einem Kernmagnetmeßwerk?
10. Nennen Sie die wichtigsten Eigenschaften eines Drehspulmeßwerks!
11. Zu welchem Zweck baut man Lichtzeigermeßwerke?
12. Erläutern Sie Aufbau und Wirkungsweise eines elektrodynamischen Meßwerks!
13. Welche Vor- und Nachteile ergeben sich für eisenlose und eisengeschlossene elektrodynamische Meßwerke?
14. Für welche Messungen werden elektrodynamische Meßwerke verwendet?
15. Skizzieren Sie den schematischen Aufbau eines Dreheisenmeßwerks und erläutern Sie die Wirkungsweise!
16. Warum ist die Skala eines Dreheisenmeßwerks grundsätzlich nicht linear geteilt?
17. Wie arbeitet eine Luftdämpfung?
18. Vergleichen Sie das Dreheisen- mit dem Drehspulmeßwerk! Welche Vor- und Nachteile ergeben sich?
19. Erläutern Sie die Wirkungsweise eines Vibrationsmeßwerks!
20. Warum kann man bei einem Zungenfrequenzmesser Zwischenwerte ablesen, obgleich die Resonanzfrequenzen der verschiedenen Zungen größere Abstände aufweisen?
21. Nach welchem physikalischen Prinzip arbeitet ein elektrostatisches Meßwerk?
22. Warum ist der mögliche Meßbereich beim elektrostatischen Meßwerk nach unten und oben stark begrenzt?
23. Worauf beruht die Wirkungsweise der thermischen Meßwerke?
24. Weshalb sind thermische Meßwerke vor allem zur Lösung meßtechnischer Aufgaben der Fernmeldetechnik uninteressant?

2.2.8. Eigenschaften der Meßwerke (Zahlenangaben = Mittelwerte)

Meßwerk	Symbol	Meßgröße	Meßbereich (Vollauschlag)	Eigenverbrauch	Frequenzbereich	wichtigste Eigenschaften
Drehspul-		U I	$10 \text{ mV} \dots 10 \text{ kV}$ $1 \text{ }\mu\text{A} \dots 10 \text{ kA}$	$0,01 \text{ }\mu\text{W} \dots 0,5 \text{ mW}$		Sehr empfindlich, unempfindlich gegen Überlastung ggf. Überlastungsschutz durch Drossel; nur für —
Drehspul- mit Gleichrichter		U I	$100 \text{ mV} \dots \text{einige kV}^*)$ $100 \text{ }\mu\text{A} \dots \text{einige } 100 \text{ A}^*)$	$0,1 \text{ mW} \dots 0,25 \text{ W}$	$15 \dots 10000 \text{ Hz}$ (ggf. bis 20000 Hz)	Empfindlich, überlastungsunempfindlich, auch für \sim bis 10000 Hz , ggf. bis 20000 Hz
Drehspul- mit Thermouniformer		I	$0,1 \dots 10 \text{ A}$	$0,01 \dots 1 \text{ W}$	bis 100 MHz	Wegen des Thermoefformers geringe Empfindlichkeit, nur für Strommessungen, aber für \sim hoher Frequenz.
Dreheisen-		U I	$1 \text{ V} \dots \text{einige kV}^*)$ $1 \text{ mA} \dots \text{einige } 100 \text{ A}^*)$	$0,1 \dots 5 \text{ W}$	bis 150 Hz bis 400 Hz	Nicht sehr empfindlich, verhältnismäßig hoher Eigenverbrauch, unempfindlich gegen Überlastung, robust, für \sim und \sim Strom und Spannung.
elektro- dynamisch		P bzw. Q	$3 \text{ V} / 300 \text{ A} \dots 6000 \text{ V} / 100 \text{ A}^*)$	$0,1 \dots 5 \text{ W}$	bis ca. 1000 Hz	Eisenlos; unempfindlich, aber für \sim bis ca. 1000 Hz . Eisengeschlossen; empfindlicher, aber bei \sim nur bis ca. 150 Hz .
elektrostatisch		U	$20 \dots 500 \text{ V}$	ca. $0,5 \text{ mW}$ / Jar	bis ca. 50 MHz	Praktisch kein Eigenverbrauch, unempfindlich, nur für Spannung, bei \sim bis ca. 50 MHz , sehr empfindlich gegen Überspannung (Durchschlag).
Bimetall- bzw. Hitzdraht-		I	$0,5 \dots 5 \text{ A}$	ca. $1 \dots 5 \text{ W}$	bis ca. 10 MHz	Nur noch selten gebräuchlich, einfacher Aufbau, hoher Eigenverbrauch, Hitzdraht sehr unempfindlich, nur für \sim bis ca. 10 MHz .

^{*)} Dann = Halbleiterbauelemente ähnlich Gehörsschutz (GH).

^{*)} größere Meßbereiche über Meßwandler

2.3. Meßinstrumente

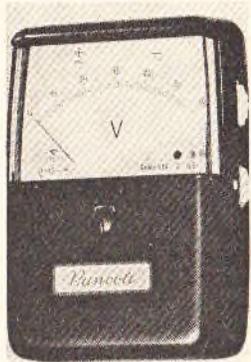
2.3.1. Einfache Meßinstrumente

Wie schon eingangs erläutert, besteht ein Meßinstrument aus dem Gehäuse (heute meistens Kunststoff) und dem eingebauten Meßwerk einschließlich Zubehör. Im einfachsten Fall werden Meßinstrumente als

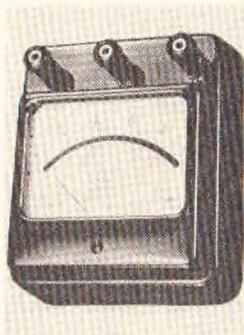
Spannungsmesser (Voltmeter),
Strommesser (Amperemeter),
Widerstandsmesser (Ohmmeter) oder
Leistungsmesser (Wattmeter)

hergestellt und haben vielfach nur einen Meßbereich. Daneben gibt es eine Vielzahl von Meßinstrumenten zur Messung der Temperatur, der Kapazität, der Frequenz, der Lichtstärke usw. Die für den betreffenden Meßbereich erforderlichen Vor- oder Nebenwiderstände sowie Gleichrichter oder Thermoumformer sind normalerweise fest in das Instrument eingebaut und von außen nicht zugänglich. In Abb. 19 sind einige Meßinstrumente dargestellt.

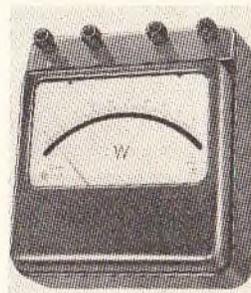
Spannungsmesser
umschaltbare Bereiche



Strommesser
umsteckbare Bereiche

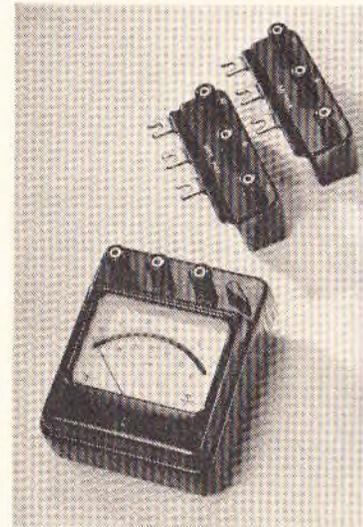


Leistungsmesser
mit Spannungs- und
Strompfad



(Abb. 19)

Strom-Spannungsmesser
mit anklammerbaren
Zusatzwiderständen



(Abb. 20)

Für einige Meßinstrumente werden vom Hersteller entsprechende Vor- oder Nebenwiderstände als Zubehör angeboten. Die Widerstände sind in Kunststoffgehäuse eingebaut und werden zur Meßbereichserweiterung entweder über Klemmschuhe mit dem Instrument verschraubt oder in Steckvorrichtungen (Anschlußbuchsen) des Instruments eingeschoben. Für die Anwendung solcher Instrumente mit Zusatzwiderständen ist vor allem auf eine sichere Kontaktgabe zwischen Zusatzwiderstand und Instrument zu achten.

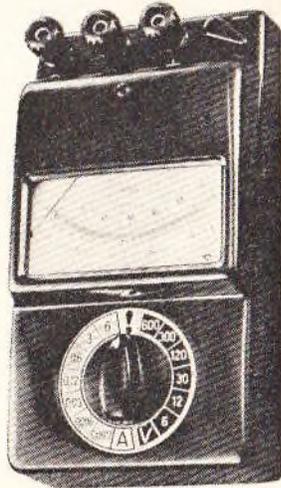
Meßinstrumente werden tragbar oder zum Einbau in Schalttafeln oder Geräte hergestellt.

2.3.2. Vielfach-Instrumente

Sehr viel größer als für einfache Meßinstrumente mit nur ein oder zwei Meßbereichen ist der Anwendungsbereich der Vielfach-Instrumente. Sie sind allerdings auch teurer und bedürfen sorgfältiger Handhabung. Eine der häufigsten Arten von Vielfach-Instrumenten ist die Gruppe der kombinierten Strom-Spannungs-Meßinstrumente mit mehreren Meßbereichen für Strom und Spannung. Daneben gibt es Kombinationen, die für Gleich- und Wechselstrommessungen geeignet sind. Häufig werden sie auch mit zusätzlichen Widerstandsmeßbereichen hergestellt. Bei der Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten für Vielfach-Instrumente ist es praktisch unmöglich, sämtliche Arten in diesem Handbuch aufzuzeigen. Wir wollen uns daher darauf beschränken, Aufbau und Wirkungsweise von Vielfach-Instrumenten anhand eines Volt-Amperemeters zu erläutern.

Die Änderung des Spannungs- oder Strommeßbereiches wird bei Vielfach-Instrumenten meistens durch einen Stufenschalter, seltener durch Umstecken der Meßschnüre in entsprechend gekennzeichnete Buchsen vorgenommen. Das Meßwerk, die Vor- und Nebenwiderstände und der Meßbereichsschalter sind in einem stabilen Kunststoffgehäuse untergebracht. Es sind häufig nur zwei Anschlußklemmen vorhanden. Die Meßbereichs-

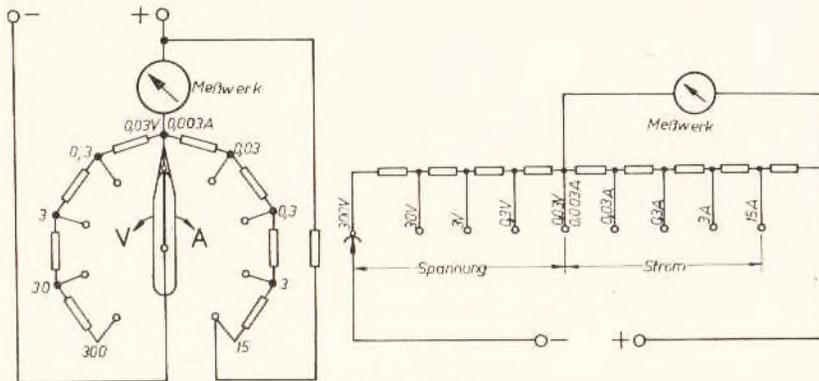
Vielfachinstrument für \approx Strom und -spannung



(Abb. 21)

Abb. 21 zeigt ein Volt-Ampereometer für Messungen an Gleich- und Wechselstrom, das auch bei der DBP verwendet wird.

Schematischer Aufbau und Schaltung eines Vielfachinstruments für Spannungs- und Strommessungen



(Abb. 22)

erweiterung beim Umschalten bewirkt im Spannungsbereich jeweils das Zuschalten eines weiteren Vorwiderstands, wobei der oder die Vorwiderstände des niedrigeren Meßbereichs mit einbezogen werden. Im Strom-

bereich wird der Meßbereich nicht – wie in einfachen Schaltungen üblich – durch Parallelschaltung von Nebenwiderständen erweitert, sondern mit Hilfe des Stufenschalters der Abgriff an einer Spannungsteilerschaltung geändert. Diese Schaltungsart hat den Vorteil, daß die Umschaltung sowohl im Spannungs- als auch im Strombereich unterbrechungsfrei vor sich geht. Auf die Berechnung von Vor- und Nebenwiderständen wird in einem späteren Abschnitt noch besonders eingegangen. Einige bei der Deutschen Bundespost verwendeten Meßgeräte werden im Abschnitt 2.4. behandelt.

2.3.3. Meßinstrumente für Wechselstrom- und -spannungsmessungen

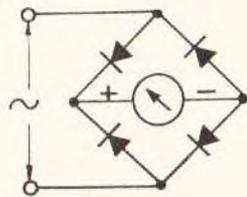
Aufgrund der physikalisch bedingten Eigenarten der verschiedenen Meßwerke sind sie z. B. nicht für Messungen in oder an Wechselstromkreisen geeignet. Zudem ist bei Meßwerken, die für Wechselstrommessungen geeignet sind, der Frequenzbereich für genaue Messungen verhältnismäßig eng begrenzt (vgl.: Dreheisenmeßwerk für Wechselströme und -spannungen bis 150 Hz). Da in der Fernmeldetechnik sehr häufig Wechselspannungen oder -ströme mit verhältnismäßig hoher Frequenz gemessen werden müssen, ist die Eignung der üblichen Meßwerke dafür nur durch zusätzliche Bauelemente zu erreichen.

2.3.3.1. Meßgleichrichter

Drehspulmeßwerke sind grundsätzlich nur für Gleichstrom- oder -spannungsmessungen geeignet. Wegen ihrer hohen Empfindlichkeit ist aber ihre Verwendung für Wechselstrom und -spannungen wünschenswert. Zu diesem Zweck schaltet man Gleichrichter vor Drehspulmeßwerke. Von den heute gebräuchlichen Halbleiter-Gleichrichterarten Kupferoxydul-, Germanium-, Selen- und Siliziumgleichrichter sind für meßtechnische Zwecke nur Kupferoxydul- und Germaniumgleichrichter geeignet. Das hängt mit der für diese beiden Arten verhältnismäßig geringen Diffusionsspannung (ca. 0,1...0,2 V) zusammen. Da über einen Halbleiter-Gleichrichter in Durchlaßrichtung erst ein Strom fließt, wenn die angelegte Durchlaßspannung gleich oder größer als die Diffusionsspannung ist, können auch mit Meßinstrumenten mit Gleichrichtern nur Spannungen gemessen werden, die größer als die Diffusionsspannung sind. Die Skaleneinteilung solcher Meßinstrumente ist aus diesem Grunde am Anfang etwas enger.

Um beide Halbwellen des Wechselstroms zur Messung auszunutzen, werden Meßgleichrichter ausschließlich in Graetzschaltung (Brückenschaltung) angeordnet. Der Meßgleichrichter wird grundsätzlich unmittelbar an das Meßwerk geschaltet, wie es folgende Abb. zeigt. Die Skalen

Meßwerk mit Gleichrichter



(Abb. 23)

von Drehspulinstrumenten mit Meßgleichrichter werden mit sinusförmigem Wechselstrom (bzw. -spannung) geeicht. Grobe Meßfehler treten jedoch erst bei stärkerer Abweichung von der Sinusform auf. Drehspulmeßinstrumente mit eingebautem Gleichrichter sind für Strom- und Spannungsmessungen im Frequenzbereich von 15...10000 Hz geeignet. Oberhalb dieser Frequenz wirken sich die Induktivität der Drehspule und die Kapazität des Meßgleichrichters nachteilig aus. Einige moderne Instrumente lassen auch genaue Messungen bis zu 20000 Hz zu.

2.3.3.2. Thermoumformer

Sollen Wechselströme höherer Frequenz (über 10000 Hz) gemessen werden, so kann man dafür Thermoumformer verwenden. Die Wirkungsweise eines Thermoumformers beruht auf der Tatsache, daß bei einer Erwärmung der Verbindungsstelle zweier verschiedener Metalle zwischen deren Enden eine Spannung – die sog. Thermospannung – entsteht. Die Höhe dieser Spannung ist dabei abhängig von dem Temperaturunterschied zwischen Verbindungsstelle und Drahtende und der Art der verwendeten verschiedenen Metalle. Die einfachste Anordnung bezeichnet man als Thermoelement.

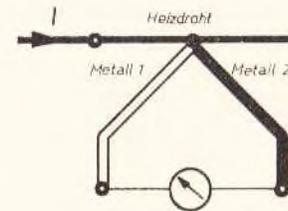
Die Eigenschaften einiger gebräuchlicher Thermoelemente sind in folgender Tabelle zusammengestellt. Die angegebenen Spannungen gelten für einen Temperaturunterschied $\Delta\theta$ von 100 °C.

Aufbau	Spannung bei $\Delta\theta = 100$ °C	Grenztemperatur
Kupfer-Konstantan	4,25 mV	400 °C
Eisen-Konstantan	5,37 mV	600 °C
Chromnickel-Nickel	4,04 mV	900 °C

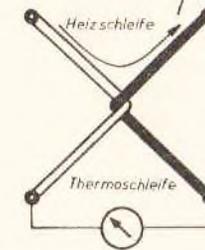
Da zur Erzeugung einer Thermospannung Wärmeenergie benötigt wird, ist mit Thermoelementen bzw. Thermoumformern keine leistungslose

Messung möglich. Bei der Anwendung von Thermoumformern für elektrische Messungen ist daher nur eine Strommessung möglich. Ein Thermoumformer besteht im Prinzip aus einem kurzen Heizdraht, der vom Meßstrom durchflossen wird. An diesen Heizdraht ist ein Thermoelement angeschweißt. Das Thermoelement ist mit dem Meßwerk verbunden.

Thermoumformer



Thermokreuz



(Abb. 24)

Die Thermoumformer können auch als sog. Thermokreuz hergestellt werden, bei denen die beiden verschiedenen Metalldrähte ineinander verhakt werden. Dabei wird dann eine Schleife als Heizschleife (stromdurchflossen) und die andere Schleife als Meß- oder Thermoschleife (Abgriff der entstehenden Thermospannung) benutzt. Fließt durch den Heizdraht bzw. die Heizschleife ein Strom, so tritt infolge des Leistungsverlusts $P = I^2 \cdot R$ eine Erwärmung ein. Damit entsteht eine Thermospannung, die einen Thermostrom über das Meßwerk zur Folge hat. Aus der Beziehung $P = I^2 \cdot R$ ergibt sich eindeutig, daß die Skala eines Meßinstrumentes mit eingebautem Thermoumformer quadratisch geteilt sein muß (am Anfang enge – am Ende weite Teilung).

Da der kurze Heizdraht praktisch keine Induktivität und keine Kapazität aufweist, ist mit Meßinstrumenten mit eingebautem Thermoumformer eine Wechselstrommessung bis zu einer Frequenz von etwa 100 MHz möglich (darüber hinaus wirkt sich der Skin-Effekt nachteilig aus).

2.3.4. Meßtechnische Eigenschaften von Meßinstrumenten

2.3.4.1. Meßgröße und Meßbereich

Zur Durchführung von elektrischen Messungen ist zunächst einmal wichtig, das für die betreffende Meßgröße (z. B. Spannung, Strom oder Widerstand) geeignete Meßinstrument oder -gerät zu wählen. Wichtig ist dabei die Feststellung, ob es sich beispielsweise um reinen Gleichstrom, reinen sinusförmigen Wechselstrom oder wechselstromüberlagerten Gleichstrom handelt. Damit die Beschädigung eines Meßinstrumentes

vermieden wird, muß auch der zu erwartende Zeigerausschlag innerhalb des Meßbereiches liegen. Im Zweifelsfall lieber einen zu großen Meßbereich wählen!

2.3.4.2. Innenwiderstand und Eigenverbrauch

Wie wir noch im Abschnitt 3. „Messung elektrotechnischer Grundgrößen“ erkennen werden, ist die Beachtung des Innenwiderstands für die Genauigkeit der Messung oftmals von ausschlaggebender Bedeutung. Bei Spannungsmessern läßt sich der Eigenverbrauch durch die Stromstärke kennzeichnen, die zum Vollausschlag des Zeigers erforderlich ist. Für andere Meßinstrumente wird die vom Vollausschlag benötigte elektrische Leistung als Eigenverbrauch angegeben. Sie liegt je nach verwendetem Meßwert etwa zwischen $0,01 \mu\text{W}$ und einigen W. Während der Innenwiderstand der Meßinstrumente für den jeweiligen Meßbereich den Datenblättern oder auch dem Skalenaufdruck zu entnehmen ist, kann man ihn für Spannungsmesser verhältnismäßig einfach bestimmen.

Dazu muß der Strom I bekannt sein, der für den Vollausschlag erforderlich ist. Aus praktischen Gründen gibt man den Kehrwert dieses Stromes in der Einheit Ohm pro Volt als Konstante an.

$$k = \frac{1}{I} \quad \frac{\Omega}{\text{V}}$$

Die Einheit für k scheint sich auf den ersten Blick nicht aus der Beziehung zu ergeben. Es gilt jedoch nach dem Ohmschen Gesetz

$$I = \frac{U}{R}$$

demnach ist

$$\frac{1}{I} = \frac{R}{U} \quad (\text{Einheit } \frac{\Omega}{\text{V}}).$$

Ist die Innenwiderstandskonstante für einen Spannungsmesser bekannt, so kann man den Innenwiderstand für jeden Spannungsmeißbereich leicht bestimmen:

$$R_m = k \cdot U_m \quad \Omega$$

Beispiel:

Zum Vollausschlag eines Drehspul-Spannungsmessers ist eine Stromstärke von $50 \mu\text{A}$ erforderlich. Der Meßbereich beträgt 300 V (Vollausschlag).

Die Innenwiderstands-Konstante beträgt demnach:

$$k = \frac{1}{I} = \frac{1}{50 \cdot 10^{-6} \text{ A}} = \underline{\underline{20000 \frac{\Omega}{\text{V}}}}$$

Für den 300-V -Meßbereich ergibt sich demnach ein Innenwiderstand von

$$\begin{aligned} R_m &= k \cdot U_m \\ &= 20000 \frac{\Omega}{\text{V}} \cdot 300 \text{ V} \\ R_m &= \underline{\underline{6000000 \Omega = 6 \text{ M}\Omega}} \end{aligned}$$

2.3.4.3. Anzeigefehler (Klasseneinteilung)

Infolge einer Reihe von Einflüssen im Meßwerk selbst kann die Anzeige eines Meßinstruments nie 100% ig genau sein. So wirkt sich zwangsläufig die Lagerreibung der beweglichen Teile eines Meßwerks auf die Anzeigenauigkeit aus. Kritisch kann auch der Temperatureinfluß werden. Da nahezu alle Wicklungen aus Kupferdraht hergestellt werden, ändert sich infolge des mit der Temperatur steigenden Kupferdrahtwiderstands der Innenwiderstand des Meßwerks. Vor- und Nebenwiderstände werden daher aus Manganin hergestellt. Manganin hat einen kaum von der Temperatur abhängigen spezifischen Widerstand.

Die bei einem Meßinstrument möglichen Anzeigefehler werden durch das sog. Klassenzeichen ausgedrückt. Das Klassenzeichen gibt die zulässige Abweichung des angezeigten Werts vom tatsächlichen Wert – bezogen auf den Vollausschlag – in % an.

Folgende Klassen sind genormt

Geräteart	Klasse	zulässiger Anzeigefehler in % vom Vollausschlag
Feinmeßgeräte	0,1	$\pm 0,1$
	0,2	$\pm 0,2$
	0,5	$\pm 0,5$
Betriebsmeßgeräte	1	± 1
	1,5	$\pm 1,5$
	2,5	$\pm 2,5$
	5	± 5

Das Klassenzeichen wird auf der Skala eines Meßinstruments angegeben.

Es ist wichtig zu wissen, daß sich der durch das Klassenzeichen angegebene zulässige Anzeigefehler immer auf den Meßbereichsendwert bezieht.

Beispiel:

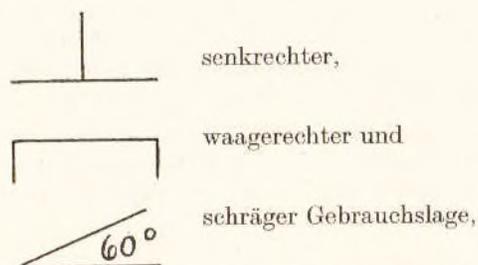
Voltmeter mit einem Meßbereich 250 V Klasse 2. Zulässiger Anzeigefehler also 2% von $250 \text{ V} = 5 \text{ V}$!

Zeigt das Instrument 200 V an, so kann der tatsächliche Wert zwischen 195 V und 205 V liegen. (Der Fehler beträgt ca. $2,5\%$.) Würde man mit diesem Instrument eine Spannung von 20 V messen, so könnte der tatsächliche Wert zwischen 15 V und 25 V liegen und damit der Fehler bereits auf 25% gestiegen sein.

Der Meßbereich eines Meßinstruments sollte daher immer so gewählt werden, daß die Anzeige der Meßgröße im letzten Skalendrittel liegt. (Ausgenommen sind Ohmmeter, bei denen die Anzeige in der Skalenmitte am genauesten ist.)

2.3.4.4. Lageempfindlichkeit (Lagezeichen)

Die Meßgenauigkeit ist bei den meisten Meßinstrumenten von deren Lage abhängig. Mit einer Lageänderung verändert sich meistens auch die Lagerreibung der beweglichen Teile sowie das Gleichgewicht von Zeiger und Gegengewicht. Zur Erzielung einer hohen Meßgenauigkeit ist daher die Beachtung des Lagezeichens wichtig. Man unterscheidet im wesentlichen zwischen



wobei der Neigungswinkel häufig angegeben wird. Der durch das Klassenzeichen angegebene Anzeigefehler wird nur in Grenzen gehalten, wenn das Meßinstrument in der vorgeschriebenen Gebrauchslage zur Messung verwendet wird. Das Lagezeichen findet man auf der Skala eines Instruments.

Prüfspannung

Nach VDE-Vorschriften werden Meßinstrumente und Meßgeräte auf Isolationsfähigkeit geprüft. Dabei ist die Prüfspannung immer erheblich höher als die Betriebsspannung, an der das Instrument bei Messungen liegen darf. Die Prüfspannung wird durch einen fünfzackigen Stern mit oder ohne Zahl auf der Skala eines Meßinstruments angegeben.

Dabei bedeuten

Symbol	Prüfspannung	Zulässige Nennspannung (Betriebsspannung)
Stern ohne Zahl	500 V	bis 40 V
Stern mit Zahl 2	2 kV	40 bis 650 V
Stern mit Zahl 3	3 kV	650 bis 1000 V
Stern mit Zahl 5	5 kV	1000 bis 1500 V

2.3.4.5. Empfindlichkeit

Bei elektrischen Meßinstrumenten versteht man unter der Empfindlichkeit das Verhältnis von Anzeigeänderung zur Meßgrößenänderung und zwar in der Einheit

$$\frac{\text{Länge (auf der Skala)}}{\text{Meßgröße}}$$

Für Spannungsmesser wird die Empfindlichkeit also in mm/V, für Strommesser in mm/A usw. angegeben.

Im allgemeinen gilt:

Hohe Empfindlichkeit entspricht geringem Eigenverbrauch.

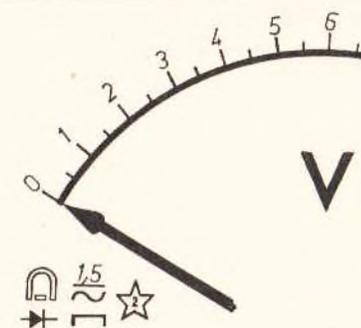
2.3.5. Kennzeichen auf der Skala eines Meßinstruments

Über die Art, den Verwendungszweck und die meßtechnischen Eigenschaften eines Meßinstruments geben Symbole Auskunft, die auf der Skala des Instruments angegeben sind. Zu diesen Kennzeichen gehören:

- Meßeinheit (z. B. V, mV, A, uA, W, Hz, Ω usw.),
- Art des eingebauten Meßwerks,
- Symbol für Zusatz-Schaltelemente, wie Gleichrichter oder Thermounformer,
- Stromartzeichen (z. B. — für Gleich-, ∞ für Wechselstrom),
- Klassenzeichen,
- Lagezeichen und
- Prüfspannungszeichen.

Eine Übersicht über Kennzeichen und Symbole finden Sie im Abschnitt 6. dieses Bandes.

Skalenausschnitt mit Kennzeichen



(Abb. 25)

Die Abb. 25 zeigt den Skalenausschnitt eines Meßinstruments mit den entsprechenden Kennzeichen (als Beispiel).

In diesem Beispiel handelt es sich um ein Meßinstrument mit eingebautem Drehspulmeßwerk mit Gleichrichter, geeignet für Gleich- und Wechselspannungsmessungen. Das Instrument ist mit 2 kV geprüft worden und für waagerechte Gebrauchslage vorzusehen. Die Anzeigegenauigkeit beträgt nach dem Klassenzeichen 1,5% vom Skalendendwert.

2.3.6. Meßbereichserweiterung bei Spannungs- und Strommessern

Unter Berücksichtigung der nach der Prüfspannung zugelassenen Nennspannung läßt sich der Meßbereich von Spannungs- und Strommessern zu größeren Werten hin in weiten Grenzen ändern. Dazu werden Widerstände in Reihe oder parallel zum Meßinstrument geschaltet.

Ist die Nennspannung, an der gemessen werden muß, zu hoch oder die Meßgröße für das Meßinstrument zu groß, so können in Wechselstromkreisen Meßwandler eingesetzt werden. Man unterscheidet Spannungswandler und Stromwandler. **Spannungswandler** sind Transformatoren mit einem genauen Windungszahlenverhältnis, bei denen die hohe Meßwechselspannung auf eine niedrigere Spannung heruntergespannt wird. Das mit der Niederspannungswicklung verbundene Meßinstrument wird normalerweise für die Oberspannung (= zu messende Spannung) geeicht.

Stromwandler besitzen primär wenige und sekundär viele Windungen und setzen dadurch den Strom herab. Damit ermöglichen sie die Messung starker Ströme durch Strommesser mit verhältnismäßig niedrigem Meßbereich. Auch hier wird die Skala des Strommessers für den starken Strom (= zu messenden Strom) geeicht.

Nicht jedes Meßwerk ist für eine Meßbereichserweiterung geeignet. Darum ist grundsätzlich zunächst festzustellen, welcher Art das im Instrument eingebaute Meßwerk ist. Die Eignung der Meßwerke ist den folgenden Abschnitten zu entnehmen.

Nach DIN müssen bei der Meßbereichserweiterung mehrere **Meßbereiche eines Instruments im Verhältnis**
1 : 2, 1 : 5 oder 1 : 10
 stehen.

Ebenso sind Meßbereichs-Endwerte nach DIN 43701 genormt:

Meßbereichs-Endwerte					
1	1,5	2,5	3*)	4	6
10	15	25	30*)	40	60
100	150	250	300*)	400	600
Die Skalen können in den Einheiten μA , mA, A, kA oder mV, V, kV geeicht sein.					

*) Reihe nicht genormt, aber häufig angewandt.

2.3.6.1. Meßbereichserweiterung bei Spannungsmessern

Geeignet sind nur Spannungsmesser mit eingebautem Drehspul- oder Dreheisenmeßwerk. Fehler, die sich infolge des Temperatureinflusses ergeben, machen sich beim Dreheisenmeßwerk erheblich stärker bemerkbar, da die Feldspule im Gegensatz zur Drehspule mehr Windungen bei größerem Spulendurchmesser enthält.

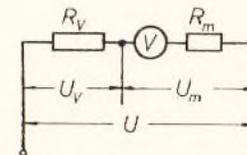
Die zur Meßbereichserweiterung verwendeten Widerstände müssen zur Vermeidung von Meßfehlern infolge Temperatureinflusses einen möglichst **geringen Temperaturbeiwert** besitzen. Aus diesem Grunde werden Meßwiderstände vorwiegend aus dem Widerstandsmaterial Manganin hergestellt.

Sollen mit einem Spannungsmesser größere Spannungen gemessen werden als nach dem Meßbereich möglich, so kann der Meßbereich durch Vorschalten eines Reihenwiderstandes erweitert werden.

Dabei wird die für die Reihenschaltung von Widerständen geltende Gesetzmäßigkeit

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

ausgenutzt; d. h., in einer Reihenschaltung verhalten sich die Teilspannungen wie die zugehörigen Einzelwiderstände. Bei einem Spannungsmesser darf die Teilspannung U_m , die am Meßinstrument liegt, höchstens Vollausschlag bewirken. Die überschüssige Teilspannung U_v muß am Vorwiderstand abfallen. Für die Meßbereichserweiterung eines Spannungsmessers gilt demnach:



(Abb. 26)

$$\frac{R_v}{R_m} = \frac{U_v}{U_m}$$

wobei R_v = zusätzlicher Vorwiderstand,
 R_m = Widerstand des Meßinstruments,
 U_v = Spannungsüberschuß,
 U_m = Spannung, die zum Vollausschlag des Instruments führt.

Der Spannungsüberschuß wird aus der Beziehung

$$U_v = U - U_m$$

bestimmt, wobei U = neuer Meßbereichsendwert.

Ist die Innenwiderstands-Konstante für das eingebaute Meßwerk bekannt, so kann man den zur Spannungsmößbereichserweiterung erforderlichen Vorwiderstand einfach bestimmen:

$$R_v = k \cdot U_v$$

wobei R_v = zusätzlicher Vorwiderstand in Ohm,
 k = Innenwiderstands-Konstante in Ohm pro Volt,
 U_v = Spannungsüberschuß in Volt.

Beispiel 1:

Der Meßbereich eines Spannungsmessers, dessen Innenwiderstand 2500Ω beträgt, soll von 3 V auf 15 V erweitert werden.

Gegeben: $U_m = 3 \text{ V}$; $R_m = 2500 \Omega$; $U = 15 \text{ V}$

Gesucht: R_v

Lösung:

$$\frac{R_v}{R_m} = \frac{U_v}{U_m}$$

$$R_v = \frac{R_m \cdot U_v}{U_m}$$

$$U_v = U - U_m$$

$$U_v = 15 \text{ V} - 3 \text{ V} = \underline{12 \text{ V}}$$

$$R_v = \frac{2500 \frac{\text{V}}{\text{A}} \cdot 12 \text{ V}}{3 \text{ V}} = \underline{\underline{10000 \Omega}}$$

Zur Meßbereichserweiterung muß ein Widerstand von 10000Ω vor den Spannungsmesser geschaltet werden.

Beispiel 2:

Die Innenwiderstands-Konstante für ein Spannungsmößinstrument beträgt $20000 \text{ Ohm pro Volt}$. Der Meßbereich soll von 6 V auf 30 V erweitert werden.

Gegeben: $U_m = 6 \text{ V}$; $k = 20000 \frac{\Omega}{\text{V}}$; $U = 30 \text{ V}$

Gesucht: R_v

Lösung:

$$R_v = k \cdot U_v$$

$$U_v = U - U_m$$

$$U_v = 30 \text{ V} - 6 \text{ V} = \underline{24 \text{ V}}$$

$$R_v = 20000 \frac{\Omega}{\text{V}} \cdot 24 \text{ V} = 480000 \Omega$$

$$R_v = \underline{\underline{480 \text{ k}\Omega}}$$

Zur Meßbereichserweiterung ist ein Vorwiderstand von $480 \text{ k}\Omega$ erforderlich.

2.3.6.2. Meßbereichserweiterung bei Strommessern

Eine Erweiterung des Strom-Meßbereichs durch Nebenwiderstände wird fast ausschließlich bei Meßinstrumenten mit Drehspulmeßwerken angewendet. Bei Dreheisenmeßwerken hängt der Vollausschlag von der ma-

gnetischen Durchflutung (Amperewindungszahl) der Feldspule ab. Wegen der verhältnismäßig hohen Induktivität der Feldspule würde sich beim Parallelschalten eines Nebenwiderstands eine stark frequenzabhängige Stromverzweigung bei Wechselstrommessungen ergeben. Aus diesem Grunde wird die Erweiterung des Strommeßbereichs bei Dreheisenmeßwerken durch Umschalten von Abgriffen an der Feldspule vorgenommen.

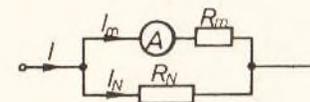
Der Strom-Meßbereich von Drehspulmeßwerken kann durch Parallelschalten von Nebenwiderständen erweitert werden.

Sollen Ströme gemessen werden, die größer sind als der zum Vollausschlag des Zeigers erforderliche Strom, so kann der „überschüssige“ Strom durch genau bemessene Nebenwiderstände abgeleitet werden. Hierfür wird die für die Parallelschaltung von Widerständen bekannte Gesetzmäßigkeit

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

ausgenutzt; d. h., in einer Parallelschaltung von Widerständen verhalten sich die Zweigströme umgekehrt wie die zugehörigen Zweigwiderstände.

Für die Meßbereichserweiterung eines Strommessers gilt:



(Abb. 27)

$$\frac{R_N}{R_m} = \frac{I_m}{I_N}$$

wobei R_N = zusätzlicher Nebenwiderstand (Parallelwiderstand),
 R_m = Widerstand des Strommessers,
 I_m = Meßbereichsendwert des Strommessers
 (vor der Bereichserweiterung),
 I_N = Stromüberschuß.

Der Stromüberschuß ist aus der Beziehung

$$I_N = I - I_m$$

zu bestimmen, wobei I = neuer Meßbereichsendwert.

Beispiel:

Der Meßbereich eines Milliampereometers, das bei 600 mA Vollausschlag einen Innenwiderstand von $0,5 \Omega$ besitzt, soll für Messungen bis 3 A erweitert werden.

Gegeben: $I_m = 600 \text{ mA}$; $R_m = 0,5 \Omega$; $I = 3 \text{ A}$

Gesucht: R_N

Lösung:

$$\frac{R_N}{R_m} = \frac{I_m}{I_N}$$

$$R_N = \frac{R_m \cdot I_m}{I_N}$$

$$I_N = I - I_m$$

$$= 3 \text{ A} - 0,6 \text{ A} = 2,4 \text{ A}$$

$$R_N = \frac{0,5 \Omega \cdot 0,6 \text{ A}}{2,4 \text{ A}} = \frac{0,3}{2,4} \Omega$$

$$R_N = \underline{\underline{0,125 \Omega}}$$

Zur Meßbereichserweiterung muß ein Widerstand von $0,125 \Omega$ parallelgeschaltet werden.

Für die richtige Wahl des Widerstandsmaterials für Nebenwiderstände gilt ebenfalls: Zur Vermeidung von Meßfehlern, die sich infolge Widerstandsänderung durch Temperatureinfluß ergeben können, ist für Nebenwiderstände ein Widerstandsmaterial mit möglichst **geringem Widerstands-Temperaturbeiwert** zu wählen (z. B. Manganin).

Da **Wattmeter** einen Spannungs- und einen Strompfad besitzen, kann ihr Meßbereich durch Vorwiderstände im Spannungspfad und Nebenwiderstände im Strompfad erweitert werden. Je nach Meßgröße kann diese Bereichserweiterung entweder nur im Spannungs- oder nur im Strompfad oder aber auch gemeinsam vorgenommen werden.

2.3.7. Wiederholungsfragen zum Abschnitt 2.3.

1. Es sollen Wechselströme mit einer Frequenz von 8000 Hz gemessen werden. Welche Meßinstrumente sind vom eingebauten Meßwerk her dafür geeignet? 2. Wie läßt sich ein Meßinstrument mit Drehspulmeßwerk für die Messung von Wechselspannungen bzw. Wechselströmen erweitern? 3. Warum lassen sich bei eingebautem Thermounformer nur Strommessungen durchführen? 4. Welche Gleichrichterart wird für Meßzwecke bevorzugt verwendet? Warum? 5. Warum ist die Skalenteilung bei Instrumenten mit eingebautem Gleichrichter am Skalenanfang enger? 6. Begründen Sie die für Instrumente mit eingebautem Thermounformer notwendige Skalenteilung! 7. Mit welcher Angabe wird heute allgemein der Eigenverbrauch eines Spannungsmessers gekennzeichnet? 8. Wie läßt sich der Innenwiderstand bei einem bestimmten Voltmeter-Meßbereich anhand der Innenwiderstandskonstanten bestimmen? 9. Welcher Innenwiderstand ergibt sich für den 60-V-Bereich eines Voltmeters, dessen Innenwiderstandskonstante 833 Ohm pro Volt beträgt? 10. Nennen Sie die wichtigsten Kennzeichenarten, die man auf der Skala eines Meßinstruments findet! 11. Welche Rückschlüsse lassen die Kennzeichen im einzelnen zu? 12. Wie kann man allgemein den Spannungsmößbereich eines Instruments erweitern? 13. Welche physikalische Gesetzmäßigkeit liegt der Spannungsmößbereichserweiterung zugrunde? 14. Wie kann allgemein der Strommeßbereich eines Instruments erweitert werden? 15. Welche physikalische Gesetzmäßigkeit liegt der Erweiterung des Strom-Meßbereichs zugrunde? 16. Warum läßt sich der Strommeßbereich bei Instrumenten mit Dreheisenmeßwerk nicht durch Parallelschalten von Widerständen erweitern? 17. Mit einem μA -Meter, das bei $50 \mu\text{A}$ Vollausschlag zeigt, soll ein Spannungsmesser mit den umschaltbaren Bereichen 1,5 V, 3 V, 15 V, 30 V, 60 V und 300 V hergestellt werden. Welche Vorwiderstände sind in den einzelnen Stufen zu verwenden, wenn der Widerstand des niedrigeren Meßbereichs jeweils in den nächsthöheren Bereich mit einbezogen werden soll (Prinzip des Vielfach-Instruments)?

2.4. Meß- und Prüfgeräte der Fernsprechentstörung, die bei der DBP verwendet werden

2.4.1. Vielfachmeßinstrument für die Fernsprechentstörung

Neben dem Prüfgerät Nr. 1, dem **Fernhörer**, der den geschlossenen Gleichstromkreis durch ein mehr oder weniger lautes Knacken anzeigt und dem **Ohmmeter** gibt es seit einiger Zeit ein praktisches und vielseitig verwendbares Meßgerät, das eigens für die Fernsprechentstörung (FeE) entwickelt worden ist, das **Vielfachmeßinstrument für die FeE**, das **VmFeE**.

Das VmFeE ist ein kombiniertes Meßgerät, denn es mißt **Ströme, Spannungen, Widerstände** und zeigt **Kapazitätswerte** an. Außerdem lassen sich **Isolationswiderstände** zwischen den Adern und zwischen Ader und Erde messen. Es eignet sich daher besonders gut in der Fernsprechaußenentstörung.

Vielfachmeßinstrument für die FeE



(Abb. 28)

(Werkfoto Gossen)

Aus diesem Grunde ist es robust in einem Stahlblechgehäuse mit aufklappbarem Deckel untergebracht. Damit der Entstörer beim Arbeiten mit diesem Gerät die Arme freibehält, kann er sich das etwa $200 \times 100 \times 120$ mm große und 2 kg schwere Meßgerät vor die Brust hängen oder aber rutschsicher auf einer Unterlage ablegen. Drei etwa 90 cm lange Meßschnüre, an je einer Seite mit Prüfspitzen versehen, ermöglichen das Anschalten des Geräts. Sie werden im Gehäusedeckel aufbewahrt. Für die Widerstandsmessungen und die Kapazitätsprüfungen werden Meßspannungen benötigt, die Trockenbatterien (Monozellen) liefern. Sie sind im

unteren Teil des Geräts sicher untergebracht. Man verwendet je eine Batterie von 1,5 V und 30 V (z. B. Pertrix Nr. 235 und Pertrix Nr. 73).

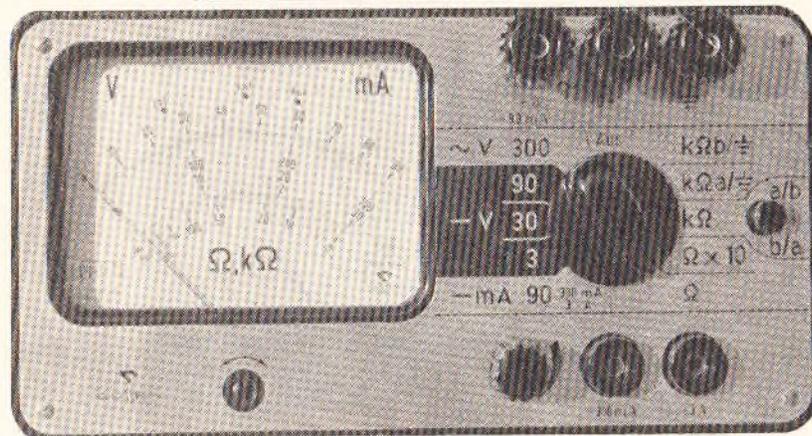
Das im VmFeE verwendete Drehspulmeßwerk besitzt die Güteklasse 2,5 bei der Temperatur 20 Grad. Der Anzeigefehler im Widerstandsmeßbereich beträgt $\pm 10\%$ vom angezeigten Wert innerhalb des durch 2 Punkte markierten Skalenausschnittes (zwischen 10 und 100), vgl. hierzu Abb. 44.

Bei der Spannungsmessung betragen die Innenwiderstände

im 300-V-Bereich	1,2 Megaohm,
im 90-V-Bereich	3,6 Megaohm,
im 30-V-Bereich	1,2 Megaohm und
im 3-V-Bereich	120 Kiloohm.

Wird zum Gebrauch des Meßgerätes der Deckel zurückgeklappt, so liegen Meßgerät und alle Bedienungsteile gut sichtbar auf der Frontplatte (vgl. hierzu Abb. 29). Neben den fünf Anschaltklemmen und dem Meßbereichsschalter enthält das Gerät noch eine Adernvertauschtaste (a/b, b/a) und eine Druckdreh-Potentiometertaste zum Nullpunktsgleich für die „Ohm/kOhm“-Skala. Zum Nullpunktsgleich der Spannungsskala befindet sich eine Stellschraube unterhalb des Meßinstruments.

Frontplatte mit Bedienelementen



(Abb. 29)

Die zu messende Leitung wird über die Meßschnüre an die Anschaltklemmen des Instruments gelegt. Drei dieser Klemmen liegen rechts oben, die anderen zwei rechts unten.

Vor jeder Einzelmessung muß der Meßbereichsschalter in die entsprechende Stellung gebracht werden. Genauso sorgfältig sind zum Anschalten des Geräts die erforderlichen Anschaltklemmen auszuwählen. Da

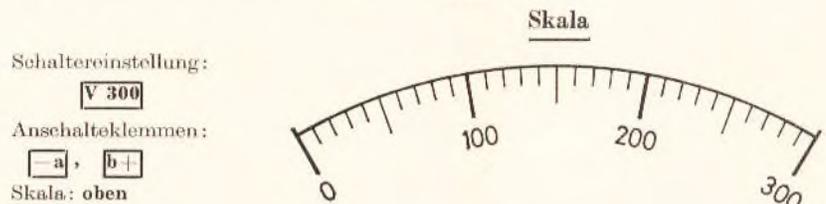
hier bei einem Meßvorgang an mehreren Stellen Bedienungs- oder Ableserfehler entstehen können, sollen im folgenden die mit dem VmFeE möglichen Einzelmessungen kurz besprochen werden.

Grundsätzlich sei erwähnt, daß das Instrument zur zwei Skalen besitzt, eine obere längere mit 4 linearen Teilungen für Spannungs- und Strommessungen und eine kurze mit nur einer nichtlinearen Teilung für die Widerstandsmessungen (vgl. hierzu Abb. 29).

2.4.1.1. Spannungsmessung

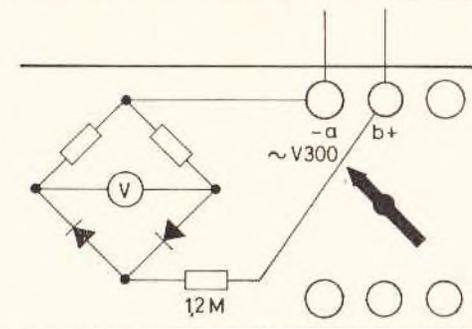
Bei allen Spannungsmessungen werden die oberen Anschaltklemmen $-a$ und $b+$ benutzt. Je nach Meßbereichsschaltereinstellung können Wechselspannungen bis zu 300 V und Gleichspannungen bis zu 90, 30 bzw. 3 V gemessen werden. Selbstverständlich gelten bei der Gleichspannungsmessung die üblichen Grundregeln wie: auf Polarität achten (hierzu dienen die Polaritätsangaben der Anschaltklemmen) und richtigen Meßbereich wählen, d. h., möglichst im rechten Teil der Skala den Meßwert ablesen.

2.4.1.1.1. Messen von Wechselspannungen bis 300 V



(Abb. 30)

Schaltskizze für Wechselspannungsmessung



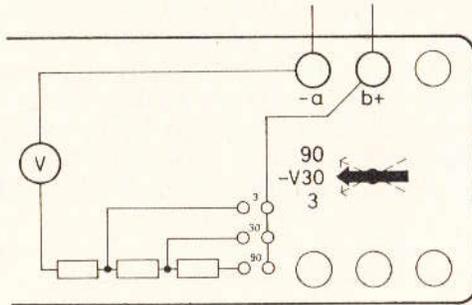
(Abb. 31)

2.4.1.1.2. Messen von Gleichspannung

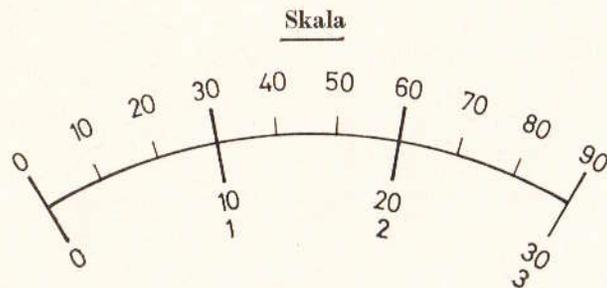
- Schaltereinstellung: a) V 90, Skala: oben, 0...90
 b) V 30, Skala: oben, 0...30
 c) V 3, Skala: oben, 0... 3

Anschaltetelemlen: -a und b+

Schaltskizze für Gleichspannungsmessung



(Abb. 32)



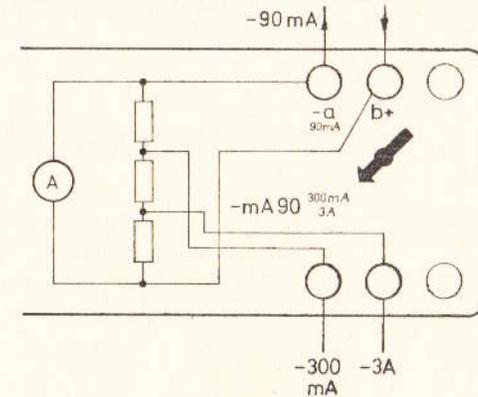
(Abb. 33)

2.4.1.2. Gleichstrommessung

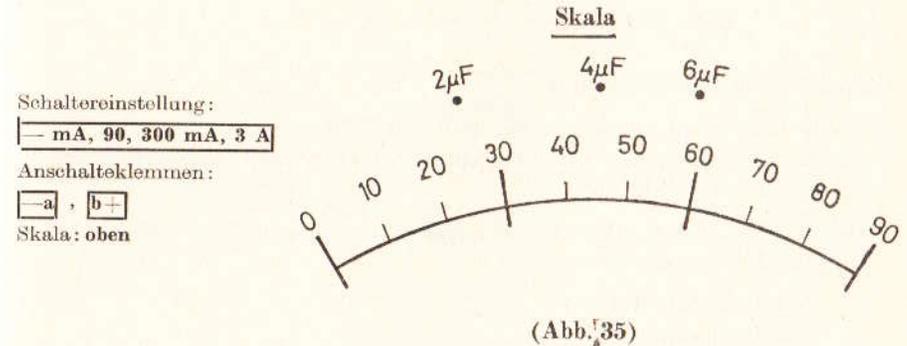
Das Gerät ermöglicht Gleichstrommessungen in 4 Bereichen: 90 mA, 300 mA, 3 A und 9 A. Zur Auswahl der Meßbereiche sind am Gerät 3 Minuspolklemmen und 1 Pluspolklemme vorhanden. Für alle 4 Bereiche gilt dieselbe Schaltereinstellung. Auch bei diesen Messungen muß auf die richtige Polarität geachtet werden.

2.4.1.2.1. Ströme bis 90 mA

Schaltskizze Gleichstrommessung



(Abb. 34)

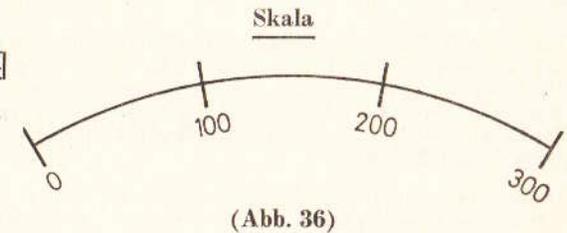


(Abb. 35)

- Schaltereinstellung: mA, 90, 300 mA, 3 A
 Anschaltetelemlen: -a, b+
 Skala: oben

2.4.1.2.2. Ströme bis 300 mA

- Schaltereinstellung: mA, 90, 300 mA, 3 A
 Anschaltetelemlen: b+ (oben)
 300 mA (unten)
 Skala: oben



(Abb. 36)

2.4.1.2.3. Ströme bis 3 A

Schaltereinstellung:

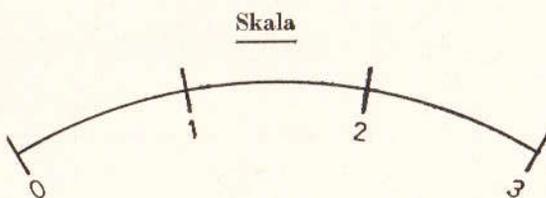
mA, 90, 300 mA, 3 A

Anschaltklemmen:

b+ (oben)

-3A (unten)

Skala: oben



(Abb. 37)

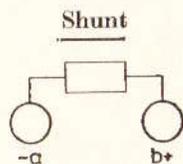
2.4.1.2.4. Ströme bis 9 A

Schaltereinstellung:

mA, 90, 300 mA, 3 A

Anschaltklemmen:

-a und b- unter Verwendung eines besonderen shunts.



(Abb. 38)

2.4.1.3. Widerstandsmessung

Große Bedeutung kommt in der FeE der Widerstandsmessung zu, da sehr oft Widerstandswerte ermittelt und „Schleifen“ und „Nebenschlüsse“ festgestellt werden müssen.

Das VmFeE bietet daher drei Widerstandsmeßbereiche an, die mittels Drehschalter eingestellt werden:

Schalterstellung Ω ,Schalterstellung $\Omega \times 10$,Schalterstellung $k\Omega$.

Die Meßwerte ergeben sich durch Multiplikation der abgelesenen Skalenergebnisse mit 1, 10 bzw. 1000.

Vor jeder Widerstandsmessung ist der Nullpunktabgleich durchzuführen, indem das Instrument kurzgeschlossen wird ($R_x = 0$). Zum Kurzschließen genügt es, den Potentiometerknopf (vgl. Abb. 28) in Tiefdruckstellung zu bringen. Dabei wird eine Kurzschlußaste betätigt und das Potentiometer eingekoppelt. Nun kann durch Verdrehen des Potentiometers der Zeiger auf die Nullmarke (rechts) der unteren Skala eingestellt werden.

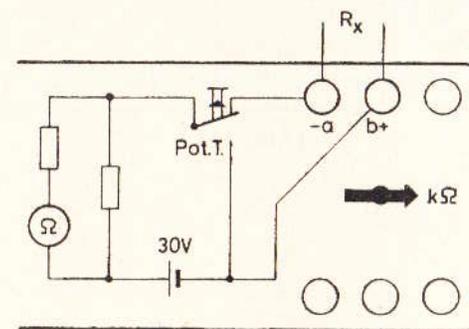
Ist der zu messende Widerstand in seiner Größe nicht grob abschätzbar, so sollte in jedem Falle zuerst mit dem größten Meßbereich gearbeitet werden.

Für alle Widerstandsmessungen gilt die kürzere, nichtlineare untere Skala. Sie hat links die Marke ∞ (unendlich), rechts den Wert 0. Der letzte ablesbare Wert zeigt 2000 an, das bedeutet also in den drei Meßbereichen 2000 Ohm, 20000 Ohm bzw. 2 Megaohm. Die angegebene Polarität an den Klemmen $-a$ und $b+$ hat bei der Widerstandsmessung keine Bedeutung, da die Polarität von der Batterie im Gerät bestimmt wird. Wie aus der Abb. 39 zu erkennen ist, liegt an der $-a$ -Klemme der Pluspol, an der $b+$ -Klemme der Minuspol der Batterie.

2.4.1.3.1. Widerstandsmessung (Isolationmessung)

a- gegen b-Ader ($k\Omega$)

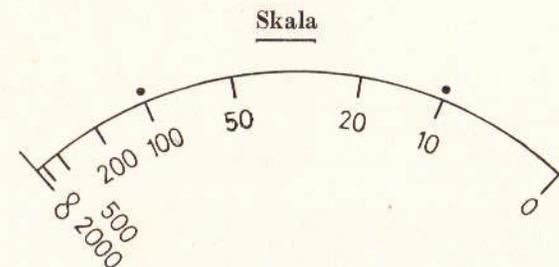
Schaltskizze Isolations-Widerstandsmessung



(Abb. 39)

Schaltereinstellung: $k\Omega$ Anschaltklemmen: $-a$, $b+$

Skala: unten



(Abb. 40)

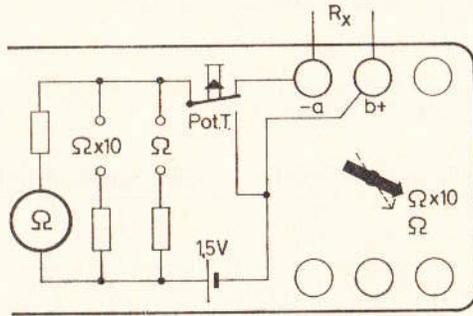
Werte in Kiloohm

Anzeigebereich: 0...2000 Kiloohm

Der Anzeigefehler beträgt im Bereich zwischen den beiden Punkten (10 kΩ bis 100 kΩ) + 10% vom angezeigten Wert.

2.4.1.3.2. Widerstandsmessung a/b Schleife (Ω, Ω × 10)

Schaltskizze für die Widerstandsmessung a/b Schleife

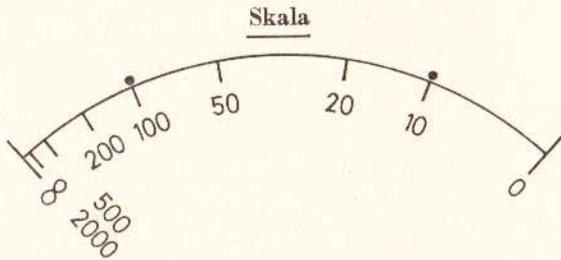


(Abb. 41)

Schaltereinstellung: Ω bzw. Ω × 10

Anschaltklemmen: $\boxed{-a}$, $\boxed{b+}$

Skala: unten



(Abb. 42)

Werte in Ohm bzw. in Kiloohm

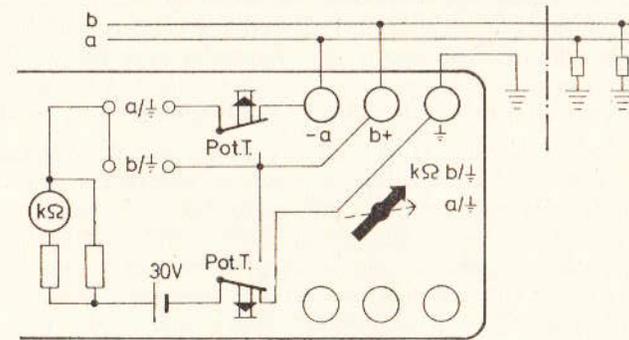
Anzeigebereich: 0... 2000 Ohm bzw. 0... 20000 Ohm

Anzeigefehler: Im Skalenbereich zwischen den beiden Punkten 10% vom angezeigten Wert.

2.4.1.3.3. Widerstandsmessung (Isolationsmessung) a-Ader gegen Erde bzw. b-Ader gegen Erde

Mit dem VmFeE kann festgestellt werden, ob eine Ader gegen Erde **Berührung** oder **unzureichende Isolation** hat. Hierzu muß Erdpotential über die 3. obere Klemme ($\boxed{\text{III}}$) an das Instrument herangeführt werden. Auch vor dieser Messung ist es erforderlich, mit der Potentiometertaste den Nullpunktsabgleich durchzuführen.

Schaltskizze für die a/b-Schleifenmessung

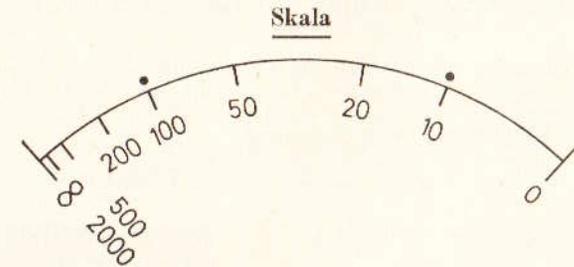


(Abb. 43)

Schaltereinstellung: $\boxed{k\Omega b/a}$ bzw. $\boxed{k\Omega a/b}$

Anschaltklemmen: $\boxed{-a}$, $\boxed{b+}$, $\boxed{\text{III}}$

Skala: unten



(Abb. 44)

Werte in Kiloohm

Anzeigebereich: 0... 2000 Kiloohm, das entspricht 0... 2 Megaohm.

2.4.1.4. Bestimmung der Kapazität

Das VmFeE ermöglicht dem Entstörer, eine Anschlußleitung auf Stromfähigkeit zu prüfen; d. h., er kann feststellen, **ob ein Fernsprechapparat (Kondensator) am Ende der Ltg angeschlossen ist.** Hierzu wird das VmFeE, wie unter 2.4.1.3.1. beschrieben, mit der Ltg verbunden. Mit Hilfe der federnden Kreuzungstaste (a/b, b/a), vgl. hierzu Abb. 29, die nicht öfter als einmal pro Sekunde betätigt werden soll, werden abwechselnd die Leitungs- und Sprechstellenkapazitäten aufgeladen und ent-

laden. Die dabei über das Instrument fließende Elektrizitätsmenge ist ein Maß für die Größe der Kapazität. Oberhalb der obersten Skala sind drei Punkte mit den Werten $2 \mu\text{F}$, $4 \mu\text{F}$ und $6 \mu\text{F}$ angegeben. Sie ermöglichen eine ungefähre Bestimmung der Kapazität (vgl. hierzu Abb. 35).

2.4.2. Prüfgerät 41, Prüfung der 16-kHz-Zählimpulse

Die Prüftechnik 59 gestattet es, von der FeESt aus den GbAnz einer Sprechstelle mit 16-kHz-Impulsen zu versorgen und dessen Anzeige mit einem Rollenzähler am Prüftisch zu vergleichen. Trotzdem wird es manchmal nötig sein, die 16-kHz-Impulse bei der Sprechstelle direkt oder an den Verzweigungseinrichtungen der Ltg messen zu können. Und sei es auch nur darum, eine Aussage über den ankommenden Pegel (Energie) zu erhalten. Die Kenntnis dieses Wertes ist aus zweierlei Gründen wichtig. Einmal, um bei Neueinrichtungen den zweckmäßigsten GbAnz auszuwählen, zum anderen, um bei einer Störung die Stelle der HASl einzugrenzen, bei der die 16-kHz-Spannung absinkt. Für diese speziellen Überprüfungen benutzt man das Prüfgerät 41.

Mit diesem Gerät lassen sich Spannungen der Frequenzen **16 kHz** und Spannungen im Frequenzbereich **300 Hz bis 200 kHz** an einem bestimmten Widerstand als Spannungspegel in **Neper** bzw. in **mW** ablesen. Als Sender (Generator) benutzt man den **Pegel- und Zählimpulssender (PZIS)**, der in der Fern-VSt steht und über eine Kennzahl angewählt wird.

Zum Prüfgerät 41 gehören zwei Prüfschnüre und zwei sog. „Schnellklemmen“, die in den Seitenfächern der Tragetasche untergebracht sind. Das Gerät hat je zwei Buchsen zum Anschalten der HASl und der Sprechstelle, ein hochohmiges Anzeigergerät und einen Drehschalter mit 5 Stellungen:

Prüfgerät 41	
0,3 . . . 200 kHz	600 Ω Sprechstelle
16 kHz	K 200 Ω Sprechstelle F 600 Ω



(Abb. 45)

Zum Messen ist das Prüfgerät in die HASl einzuschleifen. Dazu wird zunächst die Anschlußschnur des Apparates (La, Lb) von der Klemmendose abgetrennt. Mit den beiden **Prüfschnüren verbindet** der Entstörer **die HASl mit den Instrumentenbuchsen „Anschlußleitung“**. Die **Anschlußschnur schließt er mit Hilfe der beiden Schnellklemmen an die Instrumentenbuchsen „Sprechstelle“** an.

Wie sieht nun ein praktisches Anwendungsbeispiel mit dem Prüfgerät 41 aus? Nachdem das Gerät beim Tln in dessen Ltg, wie oben beschrieben, eingeschaltet worden ist, wird der Handapparat abgenommen, der Drehschalter in Stellung „0,3–200 kHz Sprechstelle“ gebracht und die Rufnummer des PZIS gewählt. Durch Nachwahl einer „1“ erhöht sich der Sendepiegel des 800-Hz-Tons von Minus 2 auf Null Neper. Anhand dieser Messung kann die Dämpfung der Ltg vom PZIS bis zum FeAp gemessen werden. Anschließend wird der Schalter zum Überprüfen der 16-kHz-Impulse in die Stellung „16-kHz-Sprechstelle“ gedreht und unter Benutzung der Taste „T 12“, hierbei wird der nsr-Kontakt des NrS unwirksam gemacht, eine Null gewählt. Der PZIS sendet daraufhin in schneller Folge Zählimpulse. Nur der erste dieser Impulse ist etwa zwei Sekunden lang. Die folgenden haben die übliche Länge. Während dieses ersten langen 16-kHz-Impulses kann der Pegel am Instrument abgelesen werden. Die nachfolgenden kurzen Impulse bringen den Zeiger nicht mehr bis zum Endausschlag, diese Ergebnisse sind also unbrauchbar.

Bei der Neueinrichtung eines Anschlusses mit GbAnz kann auf Grund der oben beschriebenen Messung festgestellt werden, welcher GbAnz für eine Ltg der richtige ist. Die Instrumentenskala enthält farbige Markierungen, die den einzusetzenden GbAnz-Typ bestimmen.

Aus der folgenden Tabelle ist zu erkennen, wie die verschiedenen GbAnz ausgewählt werden sollen.

GbAnz	Sollpegel (Np)	Farbmarkierung	
52	+1 . . +3,2	gelb	
55K	+0,5 . +3,2	violett	HASl verläuft überwiegend im Kabel
55F	+1,1 . +3,2	blau	HASl verläuft überwiegend auf Freiltg
T55	–1,8 . +0,7	grün	GbAnz mit Transistorverstärker
T55N	–1,8		GbAnz mit Transistorverstärker für NST

Für diese Messung ist jedoch die Kenntnis wichtig, ob es sich bei dem zu prüfenden Anschluß um eine **Kabelltg**, **Freiltg** oder **zusammengesetzte Ltg** handelt. Bei einer Kabelltg wird das Prüfgerät 41 in die Schalterstellung „16 kHz K 200 Ω “, bei einer Freiltg in die Schalterstellung „16 kHz F 600 Ω “ gebracht. Bei einer zusammengesetzten Ltg muß diese Messung in beiden Schalterstellungen durchgeführt werden. Der höhere Pegelwert entscheidet über die Auswahl des GbAnz. Würde z. B. der Zeigerausschlag in Schalterstellung „16 kHz F 600 Ω “ größer sein als in der Schalterstellung „16 kHz K 200 Ω “, so müßte lt. Tabelle der GbAnz **55 F** angeschaltet

werden. Sollte bei diesen Messungen der geforderte Mindestpegel nicht erreicht werden, so ist der GbAnz T 55 zu wählen.

Erreicht der eingehende Pegel nicht einmal die grüne Farbmarkierung, so liegt mit Sicherheit ein Fehler in der VSt oder HASl vor. Ein Fehler in der Sprechstelleneinrichtung ist anzunehmen, wenn trotz ausreichendem Pegel der GbAnz nicht ordnungsgemäß schaltet.

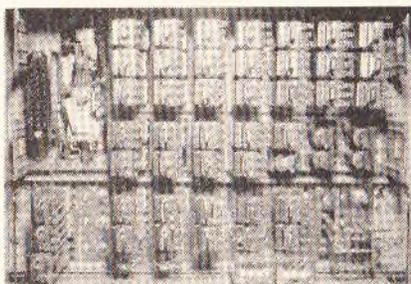
Da bei den Messungen mit den 16-kHz-Impulsen auch die Gesprächszähler in der VSt weiterschalten, ist während jeder Prüfung die Zahl der Prüfpulse zu ermitteln und über Rückrechnungszettel abzusetzen.

2.4.3. Automatischer Prüfplatz 64 (APrPI)

2.4.3.1. Allgemeines

Mit dem APrPI kann der bei dem Teilnehmer arbeitende Entstörer die HASl und die Fernsprech-Tln-Einrichtung nach der Störungsbeseitigung kontrollieren. Dabei wird der Meßplatzbeamte am Prüftisch 59 nicht in Anspruch genommen. Obwohl für die meisten Fälle die „Gut“- bzw. „Schlecht“-Aussagen des APrPI ausreichend sein werden, bietet diese Einrichtung die Möglichkeit, bei Bedarf den Meßplatzbeamten zum Eintreten aufzufordern. Dann kann, ohne daß vom Prüftisch eine neue Prüfverbindung hergestellt werden muß, über das Wählprüfnetz von Hand gemessen werden.

APrPI



(Abb. 46)

Der APrPI, der zur technischen Einrichtung der FeEST gehört, wird vom Tln-Anschluß über das Orts- bzw. Fernnetz angewählt. Die Kennzahlen der APrPI in den FeEST sind nicht einheitlich.

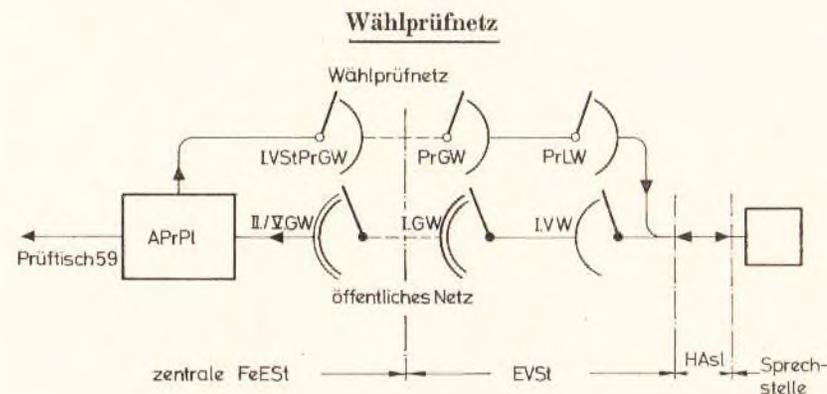
Das Prüfprogramm des APrPI umfaßt die
Leitungsprüfungen

1. Prüfung der a-, b- und a/b-Adern auf Fremdspannung,
2. Prüfung des Isolationswiderstandes der a- und b-Ader gegen Erde,
3. Prüfung des Isolationswiderstandes der a- gegen die b-Ader,

die Sprechkreisprüfung („Hallo“-Prüfung) und die Nummernschalterprüfung (Wahl der Ziffer 0).

Nach den Leitungsprüfungen 1 bis 3, die automatisch ablaufen, folgt der 1. und der Weiterruf. Wird danach der Handapparat abgehoben, so ertönt die erste „Gut“- bzw. „Schlecht“-Aussage. Anschließend können Sprechkreis- und Nummernschalterprüfung durchgeführt werden.

Zur Benutzung des APrPI ist folgendes zu beachten: Vom Tln-Anschluß ist zunächst die Kennzahl des APrPI zu wählen und anschließend die eigene Rufnummer, vorerst jedoch nur bis zur Einstellung des Prüf-LW, also nur bis zu den letzten beiden Ziffern der Rufnummer. Es wird dadurch die Verbindung APrPI-Sprechstelle über das Wählprüfnetz eingestellt.



(Abb. 47)

Bevor die letzten beiden Ziffern gewählt werden dürfen, muß ein 450-(425-) Hz-Dauerton zu hören sein, der aussagt, der PrLW ist frei. Im Besetztfall gibt es kein Signal, es kann aber auf das Freiwerden des PrLW gewartet werden. Nach beendeter Wahl sendet der APrPI den „Aufton“, das sind 450 (425) Hz im Morse-„i“-Rhythmus (tüttüt - tüttüt - tüttüt -).

Der Entstörer muß jetzt den Handapparat einhängen, wodurch die Ansteuerungsverbindung, Sprechstelle-APrPI, auslöst (vgl. hierzu Abb. 47). Nur die Verbindung APrPI-Sprechstelle über das Wählprüfnetz bleibt bestehen. Wird vor Empfang des Auftons aufgelegt, so löst auch diese Wählprüfverbindung aus. Ertönt aber der Besetztton anstelle des Auftons, so ist eine falsche Tln-Rufnummer gewählt worden. War zufällig dieser Tln besetzt, so ertönt wie bei richtiger Wahl der Aufton, jedoch läuft dann das Prüfprogramm nach Auflegen nicht ab.

Der Prüfablauf wird durch das Einhängen des Handapparates eingeleitet und dauert etwa 5 Sekunden. Ein 17teiliger Drehwähler mit 4 Armen steuert in Verbindung mit einer Relaisschaltung den Prüfablauf (vgl. hierzu Abb. 46). Dabei ergeben sich die Schaltungen, die in Abb. 47a aufgeführt sind.

Der Drehwähler steuert dabei die folgenden Prüfungen:

- Schritt 1. Vorbereitung (Entladen der Ltg-Kapazität),
- Schritt 2. Prüfen der a-Ader auf Fremdspannung,

- Schritt 3. Prüfen der b-Ader auf Fremdspannung,
 Schritt 4. Prüfen der a- und b-Ader auf Fremdspannung,
 Schritt 5. Vorbereitung (a- und b-Ader kurzschließen und danach an Spannung legen),
 Schritt 6. Prüfen der Isolation a-Ader gegen Erde,
 Schritt 7. Prüfen der Isolation b-Ader gegen Erde,
 Schritt 8. Vorbereitung (Laden der Ltg.-Kapazität),
 Schritt 9. Prüfen der Isolation a- gegen b-Ader,
 Schritt 10. Aussenden des 1. Rufes,
 Schritt 11. Aussenden des Weiterrufes,
 Schritt 12. Sprechkreisprüfung,
 Schritt 13. NrS-Prüfung.

Mit dem APrPl sind natürlich nur **Vergleichsmessungen** möglich, das bedeutet, es wird signalisiert, ob ein bestimmter Grenzwert über- oder unterschritten worden ist. Dabei dient ein **Telegraphenrelais** als Auswertorgan. Eine feste vorgegebene magnetische Erregung in der einen Spule hält den Anker in der „Trennlage“. Der sich auf Grund der Messung ergebende Strom erzeugt in der 2. Wicklung ein Gegenfeld, das beim Überwiegen seiner AW-Zahl den Anker in die „Zeichenlage“ bringt und somit „Schlechtsaussage“ signalisiert. **Diese Grenzwerte sind so eingestellt, daß bei mehr als 10 V Fremdspannung und weniger als 100 kOhm Isolationswiderstand die „Schlechtsaussage“ ertönt.**

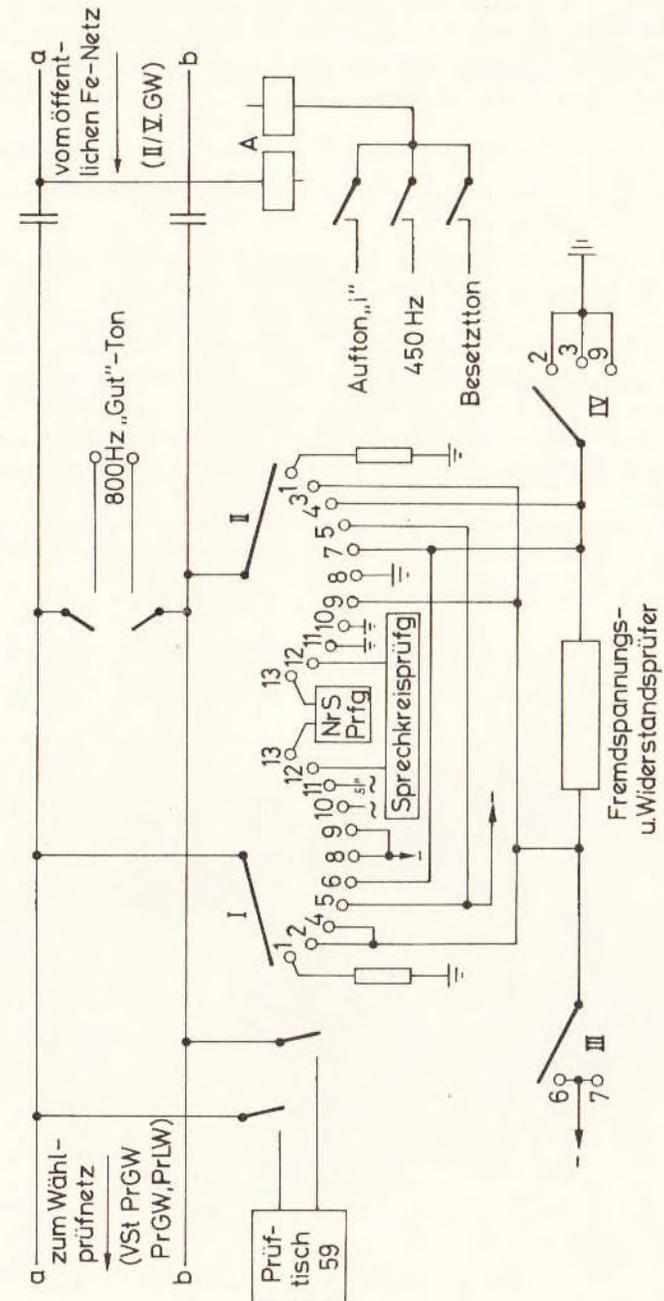
Während des Rufens (Drehwählerstellung Schritt 11) kann der Entstörer den Wecker einstellen. Der Weiterruf liegt für längere Zeit an.

Nach Abheben des Handapparates wird je nach Ergebnis der Leitungsprüfung die „Gut“- oder die „Schlecht“-Aussage in Form von unterschiedlichen Wechselspannungen an die Leitung gelegt. **Dabei bedeutet ein 800-Hz-Dauerton „Gut“ und der Aufton „Schlecht“.**

Der „Gutton“ liegt etwa 5 bis 10 Sekunden an, bis er automatisch abgeschaltet wird. Jetzt folgt die **Sprechkreisprüfung**. Dazu muß mit steigender Lautstärke gegen das Mikrophon gesprochen werden. Bei normaler Lautstärke soll sofort der „Gutton“ zu hören sein. Die im Mikrophon entstehenden Stromschwankungen werden in einem Transistorverstärker so angehoben, daß sie zu einer Vergleichsmessung ausgewertet werden können. Reicht der Sendepiegel nicht aus, so wird der „Aufton“ gesendet.

Die letzte Prüfung ist die **NrS-Kontrolle**. Hierzu muß nach Verschwinden des vorigen „Guttons“ eine „Null“ gewählt werden. Die NrS-Impulse werden auf Anzahl, Länge und Ablaufzeit geprüft. Als einzige Messung läßt sich die NrS-Prüfung wiederholen, auch nach einer „Schlecht“-Aussage. Die Wiederholung ist jedoch erst dann möglich, wenn der „Gut“- bzw. „Schlechtton“ abgeschaltet worden ist.

Besteht beim Entstörer nach einer „Schlechtsaussage“ der Wunsch, daß der Prüfplatzbeamte in diese Verbindung eintreten soll, so legt er den Handapparat nicht auf. Automatisch wird 5 bis 10 Sekunden nach Abschalten des letzten Tones der



(Abb. 47a)

Meßhilfeplatz zum Eintreten aufgefordert. Im Prüftisch leuchtet die Anruflampe auf, und der Entstörer erhält den Freiton. Die Ltg ist durchgeschaltet, wenn der Prüfplatzbeamte abfragt.

Wünscht der Entstörer bereits nach den Leitungsprüfungen eine „Schnellauslösung“, so legt er nach Anhören des ersten Ergebnisses auf. Die Prüfverbindung löst sofort aus.

Der APrPI kann nicht blockiert werden, da er 5 bis 10 Minuten nach der Belegung zwangsausgelöst wird.

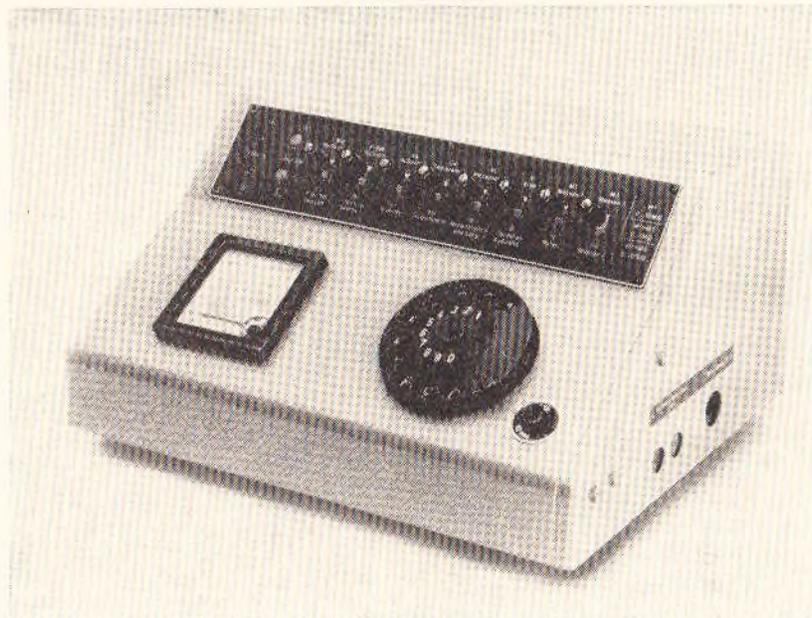
2.4.4. Das Prüfgerät Nr. 57

Das Prüfgerät Nr. 57 stellt die Weiterentwicklung des kleinen Prüfstranks 29 dar und gestattet das Prüfen von Ltg wie HAsl, NAsl, Verbindungsltg usw. sowie der zugehörigen Einrichtungen in der VSt. Es lassen sich also Prüfungen nach „innen“ und nach „außen“ durchführen.

Mit Hilfe entsprechender Prüfschnüre kann das Prüfgerät 57 am HVt senkrecht, z. B. an der Trennleiste 55, am HVt waagerecht, z. B. am Schaltstreifen 55 oder auch im Wählersaal über Prüfklinken an das Wählprüfnetz (Prüfgruppenwähler oder Prüfleitungswähler) angeschlossen werden.

Das in einem pultartigen Gehäuse untergebrachte Prüfgerät enthält auf der Frontplatte die Bedienelemente wie Tasten, Schalter, Lampen, NrS und Ohmmeter. Das Gerät kann bei Bedarf auch auf ein Fahrgestell aufgesetzt werden.

Prüfgerät 57



(Abb. 48)

(Werkfoto DeTeWe)

An der linken Gehäusesseite werden die **Prüfschnüre** und bei Bedarf ein 800-Hz-Pegeltongerät bzw. ein Prüfgerät 41 oder 41a angeschlossen. Die rechte Seite enthält Buchsen zum Anschließen des **Sprechzeugs** und eines **Stromstoßschreibers**.

Folgende Prüfungen sind mit dem Prüfgerät 57 möglich:

1. Prüfung von Tln-Ltg (Einzel- und Zweieranschluß) vom HVt senkrecht, waagrecht oder vom PrGW/PrLW aus

- Prüfung der Adern auf Erde,
- Prüfung der Adern auf Fremdspannung,
- Prüfung auf Stromfähigkeit der Ltg,
- Rufen der Sprechstelle,
- Sprechverständigung,
- Widerstandsmessung der Anschlußltg (Schleife) und
- NrS-Prüfung.

2. Prüfung von Innenltg (Einzel- oder Zweieranschluß) vom HVt senkrecht aus

- abgehender Verkehr, Belegen der Amtsleitung, Wählen einer Prüfnummer und Sprechverständigung,
- ankommender Amtsverkehr, Prüfgerät anrufen, Tln-Meldung und Sprechverständigung.

3. Prüfen der Innenltg (Einzel- und Zweieranschluß) durch Anschalten am PrGW/PrLW (Wählprüfnetz)

- Belegen des PrGW und Einstellen des PrLW (Wahl),
- Belegen der HAsl,
- Wählen einer Prüfnummer und Sprechverständigung.

Für diese Prüfungen werden folgende Prüfschnüre benötigt:

Prüfschnur 203	Anschaltung an Trennleiste 55,
Prüfschnur 204	Anschaltung an Schaltstreifen 55,
Prüfschnur 238	Anschaltung an Sicherungsleiste 33,
Prüfschnur 239	Anschaltung an Trennleiste 32a und
Prüfschnur 205	Anschaltung an PrGW und PrLW.

Die nebeneinander angeordneten 8 Kellogschalter des Prüfgerätes haben bei der Messung folgende Bedeutung:

Schalter 1	{	Mw	=	polt das Meßgerät um (Meßwender)
		BT	=	belegt den PrGW
Schalter 2	{	PrGW	=	schaltet das Prüfgerät an den PrGW an
		BeL	=	belegt das Anruforgan der Innenltg (Schleife)
Schalter 3	{	La	=	schaltet die Außenltg an das Gerät
		Li	=	schaltet die Innenltg an das Gerät
Schalter 4	{	Zw	=	belegt bei Innenltg-Prüfungen die ½ GUE (Zweieranschluß)
		Ma	=	schaltet das Meßwerk auf Fremdspannungsmessung
Schalter 5	{	Vt	=	vertauscht die a/b-Adern
		N	=	schaltet die „Amtspeisung“ für NStAnl ein (Minus an die b-Ader)
Schalter 6	{	E	=	erdet die b-Ader
		A	=	legt Speisung an die a- und b-Ader an

Schalter 7	$\left\{ \begin{array}{l} \text{M1} \\ \text{R} \end{array} \right.$	= schaltet das Meßgerät in folgenden Bereichen ein:
		Widerstandsmeßbereich 0...10 M Ω
		in Verbindung mit M2 0...1 M Ω in Verbindung mit M3 0...10 k Ω
Schalter 8	$\left\{ \begin{array}{l} \text{M2} \\ \text{M3} \end{array} \right.$	= schaltet Rufspannung an a- und b-Ader
		= s. Schalter 7
		= s. Schalter 7

Befinden sich alle Schalter des Prüfgerätes in der Ruhelage, so sind von dem gesteckten Anschluß die Innen- und die Außenltg noch durchverbunden. Erst nachdem man sich mit dem Sprechzeug davon überzeugt hat, daß über diesen Anschluß nicht gesprochen wird, darf durch Betätigen des Schalters La oder Li das Prüfgerät an eine Ltg angeschlossen werden.

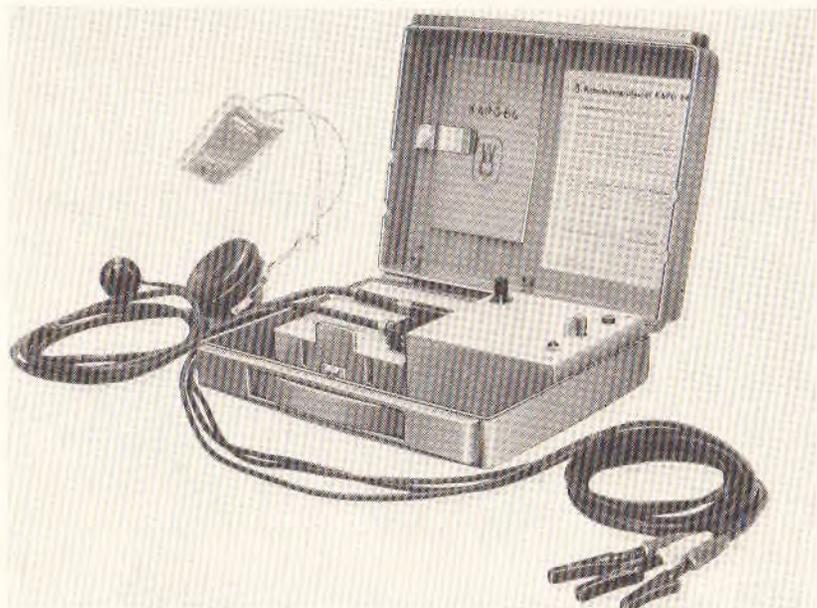
2.4.5. Das Kabeladerprüfgerät 64 (KAPG)

2.4.5.1. Allgemeines

Das KAPG der Fa. Wilhelm Quante ermöglicht dem FHandw das Durchprüfen von Kabeladern, um Vertauschungen, Unterbrechungen und Berührungen feststellen zu können. Es ist geeignet zum Prüfen von unbeschalteten Adern und auch von beschalteten Adern, also mit der Amtseinrichtung einschließlich der Amtsbatterie verbundenen Adern.

Während des Prüfens besteht jederzeit zwischen den beiden Prüfgeräten an den Enden der zu untersuchenden Kabelstrecke Sprechmöglichkeit, da die beiden KAPG über 2 Adern a/b verbunden werden. Es empfiehlt

KAPG 64



(Abb. 49)

(Werkfoto Willh. Quante)

sich, dazu eine **unbeschaltete** Doppelader a/b zu benutzen, da die Verwendung von 2 **beschalteten** a- bzw. b-Adern wegen der möglichen Störungen wie Wählergeräusche und Gespräche nicht zum gewünschten Erfolg führt.

Das KAPG 64 besteht aus einem etwa 2 kp schweren grauen Kunststoffgehäuse (270 × 80 × 220 mm), in dem sich die **Schaltung**, der **Batterieeinsatz**, das **Sprechzeug** und die **Schnüre** befinden. Es kann zum Arbeiten hingestellt, angehängt oder umgehängt werden. Der Batterieeinsatz läßt sich durch leichtes Herausziehen aus seiner Halterung entfernen, und ebenso leicht und schnell lassen sich die beiden 4,5-V-Trockenbatterien auswechseln. Hör- und Sprechkapsel sind in einem Sprechzeug 53 zusammengefaßt, das über eine 2 m lange Schnur mit Hilfe eines Klinkensteckers mit dem Gerät verbunden wird. Die dreiadrige Prüf schnur ist an einem Ende zum Anklemmen an die Kabeladern mit Bananensteckern ausgerüstet und wird über einen dreipoligen Flachstecker mit dem Gerät verbunden. Zwei isolierte Krokodilklemmen und bei Bedarf eine Prüfspitze vervollständigen die Ausrüstung. Seitliche Öffnungen erlauben, die Prüfschnüre herauszuführen, so daß während des Betriebes das Gerät geschlossen werden kann. Die Schaltung des Geräts besteht neben dem Sprechkreis mit Rückhördämpfung und einem Schwingkreis zur Erzeugung des Tonsignals aus einem Transistorhörverstärker, der Sprache und Ton verstärkt. Knaek- und Knallgeräusche dämpft ein Gehörschutzgleichrichter.

Als Bedienungselemente dienen ein **Kellogschalter** mit den Stellungen

Empfänger

Aus

Geber

und ein **Drehpotentiometer** zur richtigen Einstellung des Prüftones. Eine rote Warnlampe leuchtet immer dann auf, wenn versehentlich eine **beschaltete** Doppelader a/b als Sprechader gewählt worden ist.

2.4.5.2. Inbetriebnahme und Bedienung des KAPG

Soll eine Kabelstrecke untersucht werden, so müssen an beiden Enden des Kabels je ein KAPG 64 an vorher vereinbarten unbeschalteten Kabeladern angeschlossen werden (Prüfschnuradern weiß und blau). Die Schalter werden bei dem einen Gerät in Stellung „**Geber**“, beim anderen in Stellung „**Empfänger**“ gebracht. Bei langen HAsI empfiehlt sich zum Verbessern der Prüfempfindlichkeit die Station am entfernten Ende auf „**Geber**“ zu schalten.

Um den Summer im Betriebsfall richtig einstellen zu können, müssen die roten Prüfadern der Prüfschnüre an beiden Geräten mit derselben Kabelader verbunden werden. Am „**Gebergerät**“ ist sodann der Drehknopf vom rechten Anschlag so lange nach links zu drehen, bis der Prüftön an beiden Geräten sicher einsetzt. Klemmt man die Prüfadern von der vereinbarten Ader ab oder legt sie an eine andere Ader an, so muß der Ton verschwinden. Danach soll beim Berühren der verabredeten Ader der Prüftön sofort wieder einsetzen. Nunmehr werden die beiden Geräte umgestellt. „**Geber**“ wird „**Empfänger**“ und umgekehrt. Auf der neuen „**Geberstation**“ wird dieselbe Justierung noch einmal vorgenommen. Damit sind dann beide Geräte für die vorliegende Strecke geeicht.

Zum Prüfen des Summers **eines** Gerätes genügt es, die Kontrolltaste zu betätigen. Hierdurch wird innerhalb der Schaltung die b-Ader mit der Prüfadern verbunden. Indem man wiederum den Drehknopf von rechts nach links dreht, kann der Tön eingestellt werden. Wenn diese Einstellung zu keinem brauchbaren Ergebnis führt oder der Prüftön im Fernhörer überhaupt nicht mehr wahrzunehmen ist, müssen die Batterien gegen neue ausgewechselt werden.

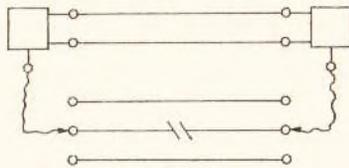
Zur Schonung der Batterien empfiehlt sich, nach Gebrauch der Geräte die Schalter in die Mittelstellung „**Aus**“ zu bringen. Die Schnüre lassen sich im gesteckten Zustand mit etwas Mühe in das Gerät einlegen.

2.4.5.3. Prüfbeispiele mit dem KAPG

An beiden Enden des zu untersuchenden Kabelabschnitts werden die roten Prüf-
adern in einer verabredeten Zählweise nacheinander an die Adern angelegt. Die
Summer ertönen, wenn die Ader ordnungsgemäß durchverbunden ist. Erst jetzt
darf die nächste Ader geprüft werden. Bei fehlerhaften Adern ergeben sich folgende
Abweichungen.

a) Prüfen der Ader auf Unterbrechung

Schaltschema

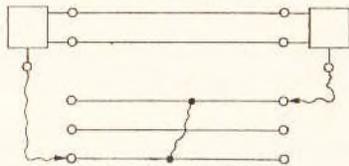


Die Summer sprechen nicht an.

(Abb. 50)

b) Prüfen der Adern auf Berührung

Schaltschema

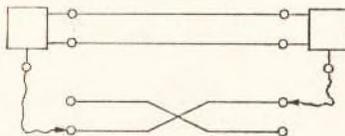


Der Summer spricht nicht nur beim Be-
rühren derselben, sondern auch beim Be-
rühren verschiedener Adern an.

(Abb. 51)

c) Prüfen der Adern auf Vertauschung

Schaltschema

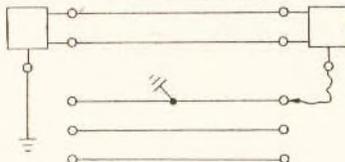


Bei Vertauschung spricht der Summer
erst dann an, wenn die durchgehende
Ader gefunden ist.

(Abb. 52)

d) Prüfen der Adern auf Erdschluß

Schaltschema



Erdschluß liegt vor, wenn beim Berühren
mit nur einer Prüfspitze – die Prüfader
der Gegenstelle ist geerdet – der Summer
anspricht.

(Abb. 53)

2.4.6. Das Kabeladerprüfgerät 64a

Das neue KAPG 64a der Fa. Wilhelm Quante zeichnet sich durch einige
wesentliche Verbesserungen aus:

KAPG 64a



(Abb. 54)

(Werkfoto Wilh. Quante)

- Anstelle der schnell auslaufenden Flachbatterien werden 6 hintereinandergeschaltete Babyzellen (z. B. Pertrix Nr. 233 IEC R 14) mit größerer Kapazität in einem leicht zugänglichen Batteriebehälter verwendet.
- Sprechzeug und Prüfschnur lassen sich dank besserer Raumeinteilung bei gleich großem Gehäuse günstiger unterbringen.
- Sprechzeugschnur und Prüfschnur sind jetzt fest im Gerät angeschlossen.
- Der Kopfbügel vom Hörer besteht neuerdings aus Flachband, der Bügel des alten Sprechzeugs war ein Drahtbügel.

Schaltungstechnische Änderungen wurden nicht vorgenommen.

2.4.7. Wiederholungsfragen zum Abschnitt 2.4.

- Welche Messungen lassen sich mit dem VmFeE durchführen?
- Was muß vor jeder Einzelmessung mit dem VmFeE beachtet werden?
- Schildern Sie die „Stromfähigkeitsprüfung“ mit Hilfe des VmFeE!
- Wieviel Skalen besitzt das VmFeE, und was kann an ihnen abgelesen werden?
- Für welche Messungen wird das Prüfgerät 41 verwendet?
- Aus welchem Grunde muß zur Messung mit dem Prüfgerät 41 der PZIS angewählt werden?
- Wonach richtet sich der Einsatz der verschiedenen GbAnz?
- Beschreiben Sie den Aufbau einer Prüfverbindung zum

APrPl. 9. Welche Einzelprüfungen enthält das Prüfprogramm des APrPl? 10. Wodurch unterscheiden sich die Aussagen des APrPl? 11. Welche Möglichkeiten besitzt der Entstörer, um eine Prüfverbindung auszulösen bzw. um den Prüfplatzbeamten zum Eintreten aufzufordern? 12. An welchen Stellen der Ltg kann das Prüfgerät 57 eingeschaltet werden? 13. Welche elektrischen Messungen und Funktionsprüfungen können mit dem Prüfgerät 57 ausgeführt werden? 14. Wie wird eine „Prüfverbindung“ mit dem KAPG 64 aufgebaut? 15. Für welche Prüfungen eignet sich das KAPG 64 besonders gut?

3. Messung elektrotechnischer Grundgrößen

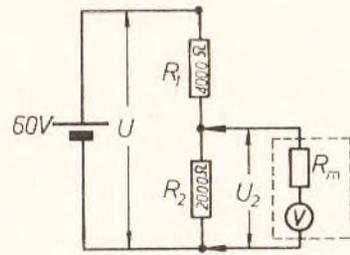
3.1. Spannungsmessung

3.1.1. Direkte Spannungsmessung

Da bei einer Parallelschaltung von Widerständen an jedem Parallelzweig die gleiche Spannung liegt, gilt für das Einschalten eines Spannungsmessers:

Ein Spannungsmesser ist parallel zum Meßobjekt zu schalten!

Für Gleichspannungsmessungen ist auf die **richtige Polarität** zu achten. Es gilt: \oplus -Anschluß des Spannungsmessers an \oplus -Pol oder \oplus -Potential. Bei der Spannungsmessung ist zu beachten, daß neben Anzeigefehlern, die ihre Ursache im Instrument selbst haben (z. B. Klasse, falsche Lage, Temperatur), zusätzliche Meßfehler durch das Einschalten des Spannungsmessers entstehen. Da ein Spannungsmesser einen Eigenverbrauch an el. Leistung hat, belastet er bei der Messung die Spannungsquelle und verursacht durch Stromaufnahme Spannungsabfälle in Reihenwiderständen bzw. eine Stromverzweigung zwischen den Anschaltpunkten. Diese Fehlerquelle wollen wir an zwei einfachen Beispielen untersuchen. Für beide Beispiele wählen wir die gleiche Meßschaltung nach Abb. 55. Danach soll die Spannung am Widerstand R_2 der Schaltung gemessen werden.



(Abb. 55)

Die Spannung U soll in beiden Beispielen 60 V betragen.

Für die erste Messung verwenden wir ein Voltmeter mit der Innenwiderstandskonstanten $100 \frac{\Omega}{V}$. Die Berechnung der

Teilspannung an R_2 ohne Voltmeter ergibt:

$$\begin{aligned} \frac{U_2}{U} &= \frac{R_2}{R} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \\ U_2 &= \frac{U \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{60 \text{ V} \cdot 2000 \Omega}{4000 \Omega + 2000 \Omega} \\ U_2 &= \frac{120\,000}{6\,000} \text{ V} = \underline{\underline{20 \text{ V}}} \end{aligned}$$

Unser Spannungsmesser müßte also 20 V anzeigen. Wir wählen den Meßbereich 25 V. Für diesen Meßbereich ergibt sich ein Innenwiderstand von

$$\begin{aligned} R_m &= k \cdot U \\ R_m &= 100 \frac{\Omega}{V} \cdot 25 \text{ V} = 2500 \Omega \end{aligned}$$

Schalten wir das Meßgerät parallel zu R_2 , so ergeben sich folgende Werte:

$$\begin{aligned} R_1 &= 4000 \Omega \\ R_2 \parallel R_m &= \frac{R_2 \cdot R_m}{R_2 + R_m} = \frac{2000 \Omega \cdot 2500 \Omega}{2000 \Omega + 2500 \Omega} = 1110 \Omega \end{aligned}$$

Berechnen wir aber jetzt die Teilspannung, die an der Parallelschaltung $R_2 \parallel R_m$, also auch am Voltmeter liegt, so erhalten wir:

$$\begin{aligned} \frac{U_{2|m}}{U} &= \frac{R_2 \parallel R_m}{R} = \frac{R_2 \parallel R_m}{R_1 + R_2 \parallel R_m} \\ U_{2|m} &= \frac{U \cdot R_2 \parallel R_m}{R_1 + R_2 \parallel R_m} = \frac{60 \text{ V} \cdot 1110 \Omega}{4000 \Omega + 1110 \Omega} \\ U_{2|m} &= \frac{66\,600}{5\,110} \text{ V} = \underline{\underline{13 \text{ V}}} \end{aligned}$$

Anstelle der tatsächlichen Spannung von 20 V würde der Spannungsmesser nur 13 V anzeigen. Der durch das Einschalten des Meßinstruments verursachte **Fehler beträgt 35%**!

Das für die zweite Messung verwendete Meßinstrument soll $10\,000 \frac{\Omega}{V}$ haben. Für den 25-V-Meßbereich ergibt sich somit ein Innenwiderstand von

$$R_m = k \cdot U = 10\,000 \frac{\Omega}{V} \cdot 25 \text{ V} = 250\,000 \Omega$$

Für die Parallelschaltung $R_2 \parallel R_m$ ergibt sich nun:

$$\begin{aligned} R_2 \parallel R_m &= \frac{R_2 \cdot R_m}{R_2 + R_m} = \frac{2000 \Omega \cdot 250\,000 \Omega}{2000 \Omega + 250\,000 \Omega} \\ &= \frac{500\,000\,000}{252\,000} \Omega = 1985 \Omega \end{aligned}$$

Die am Meßinstrument liegende Teilspannung errechnet sich zu

$$\begin{aligned} \frac{U_{2|m}}{U} &= \frac{R_2 \parallel R_m}{R} \\ U_{2|m} &= \frac{U \cdot R_2 \parallel R_m}{R} = \frac{60 \text{ V} \cdot 1985 \Omega}{4000 \Omega + 1985 \Omega} \\ U_{2|m} &= \frac{119\,100}{5985} \text{ V} = \underline{\underline{19,9 \text{ V}}} \end{aligned}$$

Ergebnis: Die Messung mit dem hochohmigen Voltmeter ist erheblich genauer. Der Fehler beträgt nur noch 0,5%!

Aus den beiden Beispielen folgt:

Ein Spannungsmesser muß einen möglichst großen Innenwiderstand R_m besitzen!

Da der Begriff „möglichst groß“ weitläufig ist, kann für die Praxis folgende Richtlinie angewendet werden:

Soll der Fehler durch Einschalten eines Spannungsmessers weniger als 1% betragen, so muß der Innenwiderstand des Spannungsmessers mindestens 100 mal so groß wie der Widerstand des Meßobjekts sein.

Als Widerstand des Meßobjektes gilt der Gesamtwiderstand, der zwischen den Anschaltpunkten des Spannungsmessers liegt.

Den Innenwiderstand eines Spannungsmessers kann man – wie schon erwähnt – aus der Innenwiderstands-Konstanten für jeden Meßbereich eines Instruments bestimmen:

$$R_m = k \cdot U_m$$

wobei R_m = Innenwiderstand des Instruments in Ω ,

k = Innenwiderstands-Konstante in $\frac{\Omega}{V}$,

U_m = Spannungsmessbereich in V (Vollausschlag).

Damit Anzeigefehler (Klassenzeichen!) im Instrument selbst gering gehalten werden, gilt ferner:

Der Meßbereich eines Spannungsmessers ist immer so zu wählen, daß die Anzeige mindestens im letzten Drittel der Skala liegt.

3.1.2. Indirekte Spannungsmessung

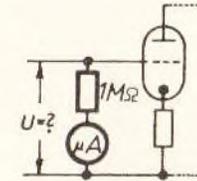
Besonders in der Fernmeldetechnik müssen häufig Spannungen an sehr hochohmigen Meßobjekten gemessen werden (z. B. 2 V an 1 M Ω). Selbst ein Spannungsmeßinstrument mit 100 k Ω /V würde hier zu Meßfehlern bis zu 80% führen. Da Röhren- oder Transistor-Voltmeter nicht immer zur Verfügung stehen, sei hier auf die Möglichkeit der indirekten Spannungsmessung verwiesen.

Zur indirekten Spannungsmessung muß der Widerstand des Meßobjekts bekannt sein. **Mißt man mit einem Mikroamperemeter den Strom, der**

durch den hochohmigen Widerstand fließt, kann man den Spannungsabfall nach dem Ohmschen Gesetz berechnen: $U = I \cdot R$.

Beispiel:

Vorhanden ist ein Mikroamperemeter mit 10 μ A Vollausschlag ($k = 100$ k Ω /V), Klasse 1. Es soll an einem 1 M Ω -Widerstand eine Spannung von 2 V gemessen werden.



(Abb. 56)

Indirekte Messung der Gittervorspannung an einer Elektronenröhre

Die direkte Spannungsmessung würde ca. 80% Fehler ergeben. Bei 2 V Spannung an 1 M Ω muß ein Strom von 2 μ A fließen. Selbst wenn die Ablesung dieser Stromstärke im ersten Fünftel der 10 μ A-Skala liegt, beträgt der Meßfehler immerhin nur ca. 5% gegenüber 80% bei der direkten Spannungsmessung mit einem gleich empfindlichen Meßinstrument.

3.1.3. Wechselspannungsmessung

Zur Messung von Wechselspannungen ist die Beachtung folgender Punkte wichtig:

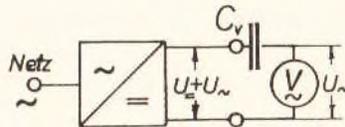
- Richtige Auswahl des Instruments:** Es muß vom Meßwerk her oder durch eingebauten Gleichrichter für Wechselspannungsmessungen geeignet sein. Bei Dreheiseninstrumenten ist eine genaue Messung nur gewährleistet, wenn sie durch Skalenaufdruck ausdrücklich dafür geeicht sind.
- Grenzen des Frequenzbereichs für genaue Messungen:** Der Frequenzbereich, innerhalb dessen sich eine genaue Spannungsmessung möglich ist, sollte den Datenblättern für das betreffende Instrument entnommen werden. Die in der Übersicht unter 2.2.8. „Eigenschaften der Meßwerke“ angegebenen Frequenzbereiche sind Mittelwerte, von denen Abweichungen sowohl nach oben als auch nach unten möglich sind.
- Sinusförmiger Verlauf der Wechselspannung:** Die nach dem Klassenzeichen des Instruments gewährleistete Toleranzgrenze wird nur mit Sicherheit eingehalten, wenn die zu messende Wechselspannung sinusförmigen Verlauf hat. Soweit die Abweichungen von der Sinusform nicht kraß sind, werden Anzeigefehler noch gering gehalten.

- d) Wechselspannungen U_{ss} (Spitze — Spitze) können mit normalen Wechselspannungs-Meßinstrumenten nicht gemessen werden. Der Zusatz U_{ss} wird im allgemeinen bei Spannungsangaben für impulsförmigen Verlauf der Spannung gemacht (z. B. Sägezahn).

3.1.3.1. Messung überlagelter Wechselspannungen

In der Fernmeldetechnik sieht man sich häufig vor die Aufgabe gestellt, den Wechselspannungsanteil an einer mit Wechselspannung überlagerten Gleichspannung zu messen. Beispiele dafür sind die Bestimmung des Oberwellengehalts in der Gleichstromversorgung von Fernmeldeanlagen aus Netzgeräten oder die Messung des durch ein Kohlemikrofon erzeugten Wechselspannungsanteils an der Mikrofon-Gleichspannung (Ruhe-spannung).

Messung überlagelter Wechselspannungen



(Abb. 57)

Zur Lösung dieser meßtechnischen Aufgaben können wir uns eines einfachen Bauelements bedienen, des Kondensators. Schaltet man nach der Schaltung in Abb. 57 vor ein Wechselspannungsmeßgerät einen Kondensator mit verhältnismäßig großer Kapazität (Größenordnung $10 \mu\text{F}$), so zeigt das Spannungsmessgerät nur den Wechselspannungsanteil an. Der Kondensator sperrt bekanntlich den Gleichstrom. Dagegen stellt er für Wechselströme einen kleinen Widerstand dar, der mit zunehmender Frequenz geringer wird. Da Spannungsmesser aber sehr hochohmig sind, kann man den Wechselstromwiderstand des Kondensators bei ausreichender Kapazität vernachlässigen. Im Zweifelsfall kann man die Kapazität berechnen. Dafür gilt:

$$X_c \leq \frac{1}{100} R_m.$$

Der durch die Kapazität verursachte Fehler liegt dann bei oder unter 1%.

Beispiel:

An einem Netzgerät mit Brückengleichrichter soll der Wechselspannungsanteil an der geseihten Gleichspannung gemessen werden. Die niedrigste Frequenz der überlagerten Wechselspannung aus einem Brückengleichrichter beträgt 100 Hz. Das

Wechselspannungsmeßgerät hat im Meßbereich 1 V einen Innenwiderstand von 10000 Ohm. Welche Kapazität ist zur Messung vorzuschalten?

Gegeben: $U \sim \leq 1 \text{ V}; f = 100 \text{ Hz}; R_m = 10000 \Omega$

Gesucht: C_v

$$\text{Lösung: } X_c = \frac{1}{100} \cdot R_m = \frac{1}{100} \cdot 10000 \Omega = 100 \Omega$$

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C_v}$$

$$C_v = \frac{1}{\omega \cdot X_c} = \frac{1}{628 \cdot 100} = 0,0000159 \text{ F}$$

$$C_v = \underline{\underline{16 \mu\text{F}}}$$

Zur Messung des Wechselspannungsanteils muß ein Kondensator mit $C = 16 \mu\text{F}$ vorgeschaltet werden.

3.2. Strommessung

3.2.1. Direkte Strommessung

In einer Reihenschaltung fließt über jeden Reihenwiderstand der gleiche Strom. Ein Meßinstrument, das den Strom messen soll, muß so geschaltet werden, daß es selbst von diesem Strom durchflossen wird (vgl.: Wasseruhr). Daher gilt:

Ein Strommesser ist mit dem Meßobjekt in Reihe zu schalten.

Für Gleichstrommessungen ist auf **richtige Polarität** zu achten! Dabei gilt: Ein Gleichstrommeßinstrument ist so zu schalten, daß der Strom vom \oplus -Anschluß des Strommessers zum \ominus -Anschluß fließt; also \oplus -Anschluß an \oplus -Potential legen.

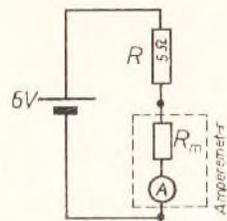
Auch bei der Strommessung wird durch das Einschalten des Strommessers mit seinem Innenwiderstand ein mehr oder weniger großer Fehler verursacht: Durch das Einschalten eines weiteren Widerstands (R_m des Strommessers) erhöht sich der Gesamtwiderstand der Schaltung und der Strom wird geringer.

Wir wollen diese Fehlerquelle wieder an zwei einfachen Beispielen untersuchen (Abb. 58). Der Strom in der angegebenen Schaltung soll gemessen werden.

Für die erste Messung wird ein Amperemeter $1,5 \text{ A}$ mit $R_m = 1 \Omega$ verwendet. Ohne Amperemeter müßte nach den angegebenen Werten ein Strom von

$$I = \frac{U}{R} = \frac{6 \text{ V}}{5 \Omega} = 1,2 \text{ A} \text{ fließen.}$$

Durch das Einschalten des Amperemeters erhöht sich jedoch der Stromkreiswiderstand auf $5 \Omega + 1 \Omega = 6 \Omega$. Somit fließt nur



(Abb. 58)

noch ein Strom der Stärke $\frac{6\text{ V}}{6\ \Omega} = 1\text{ A}$. Der Meßfehler beträgt rd. 17%!

Verwenden wir bei der zweiten Messung ein Amperemeter 1,5 A mit einem Innenwiderstand von 0,05 Ω , so beträgt der Stromkreiswiderstand einschließlich Amperemeter 5,05 Ω . Damit ergibt sich ein Strom von $I = \frac{U}{R} = \frac{6\text{ V}}{5,05\ \Omega} = 1,19\text{ A}$.

Der Fehler beträgt jetzt nur rd. 0,8%!

Aus den Beispielen können wir folgern:

Ein Strommesser soll einen möglichst kleinen Innenwiderstand R_m besitzen!

Für die Praxis kann dabei folgende Richtlinie angewendet werden:

Soll der durch das Einschalten eines Strommessers bedingte Meßfehler unter 1% liegen, so muß der Innenwiderstand des Strommessers weniger als $\frac{1}{100}$ des Gesamtwidestands im Meßstromkreis betragen.

Für die Messung von Wechselströmen gilt sinngemäß das gleiche wie für die Messung von Wechselspannungen (siehe hierzu Abschnitt 3.1.3.).

3.2.2. Indirekte Strommessung

Das Einschalten eines Strommeßinstruments in den Meßstromkreis bedingt zwangsläufig eine Auftrennung des Kreises und damit eine Unterbrechung.

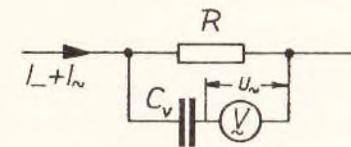
Soll in einem Betriebsstromkreis ohne Stromunterbrechung eine Strommessung vorgenommen werden, so ist hier eine indirekte Strommessung möglich. Dazu muß im Stromkreis ein ohmscher Widerstand in seinem Widerstandswert genau bekannt sein. An diesem Widerstand wird der Spannungsabfall mit einem Voltmeter gemessen. **Aus gemessener Spannung und dem bekannten Widerstandswert läßt sich der fließende Strom nach dem Ohmschen Gesetz berechnen:** $I = \frac{U}{R}$.

Zweckmäßig wäre ein Widerstandswert von z. B. 1 Ω oder 0,1 Ω , da dann die Berechnung der Stromstärke sehr einfach ist. Dieses Verfahren ist auch vorteilhaft, wenn nur ein Spannungsmesser zur Verfügung steht.

3.2.2.1. Messung überlagerter Wechselströme

Die Messung des Wechselstromanteils an mit Wechselstrom überlagertem Gleichstrom ist mit einfachen Mitteln nicht so ausreichend genau durchführbar wie die Messung überlagerter Wechselspannungen. Daher empfiehlt sich hier, die indirekte Strommessung anzuwenden. Dazu muß – wie bei der allgemeinen indirekten Strommessung – ein ohmscher Widerstand bekannter Größe im Stromkreis liegen (z. B. 1 Ω oder 10 Ω).

Indirekte Messung überlagerter Wechselströme



(Abb. 59)

Da die indirekte Strommessung auf einer Spannungsmessung an einem bekannten Widerstand beruht, wird zur Messung des Wechselstromanteils bei überlagertem Wechselstrom lediglich ein Kondensator C_v vor das Wechselspannungsmeßgerät geschaltet. Für die Größe der Kapazität gilt der Hinweis unter 3.1.3.1. sinngemäß.

Aus dem gemessenen Wechselspannungsanteil und dem bekannten Widerstand läßt sich dann die Stromstärke nach dem Ohmschen Gesetz berechnen: $I_{\sim} = \frac{U_{\sim}}{R}$.

3.2.3. Wiederholungsfragen zu den Abschnitten 3.1. und 3.2.

1. Wie ist grundsätzlich ein Spannungsmesser bzw. ein Strommesser zu schalten?
2. Welche Eigenschaften in bezug auf den Innenwiderstand sollen Spannungsmesser bzw. Strommesser haben?
3. Wie groß sollte der Innenwiderstand eines Spannungsmessers sein, damit der durch das Einschalten des Instruments bedingte Fehler unter 1% gehalten wird?
4. Welchen Innenwiderstand sollte ein Strommesser haben, damit der durch das Einschalten des Instruments bedingte Fehler unter 1% liegt?
5. Warum ist der Meßbereich bei Spannungs- und Strommessern so zu wählen, daß die Anzeige in das letzte Skalendrittel fällt?
6. Wie kann man für einen bestimmten Meßbereich den Innenwiderstand eines Spannungsmessers bestimmen?
7. Was versteht man unter indirekter Spannungsmessung und wo wird sie angewendet?
8. Warum kann das Einschalten eines Gleichstrominstruments in oder an einen Wechselstromkreis für das Instrument gefährlich sein?
9. Wie kann man mit

einfachen Mitteln überlagerte Wechselspannungen messen? Geben Sie eine entsprechende Schaltung an! 10. Was versteht man unter indirekter Strommessung und wo wendet man sie an? 11. Wie können mit einfachen Mitteln überlagerte Wechselströme gemessen werden? Geben Sie eine entsprechende Schaltung an!

3.3. Leistungsmessung

Eine direkte Messung der Wirkleistung ist in Gleich- und Wechselstromkreisen mit dem Wattmeter möglich. Wattmeter sind Leistungsmeßinstrumente mit eingebautem elektrodynamischem Meßwerk, dessen Wirkungsweise im Abschnitt 2.2. „Meßwerke“ bereits beschrieben worden ist.

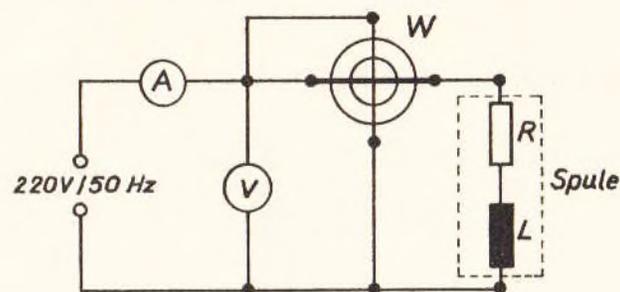
Da elektrodynamische Meßwerke eine feste Spule und eine Drehspule enthalten, ist beim Wattmeter zwischen dem Strompfad (feste Spule) und dem Spannungspfad (Drehspule) zu unterscheiden. Die Schaltungsart ist durch die Bezeichnung festgelegt:

Der Strompfad ist mit dem Verbraucher in Reihe, der Spannungspfad parallel zum Verbraucher zu schalten.

Aufgrund seiner physikalischen Wirkungsweise zeigt ein Wattmeter in Gleich- und Wechselstromkreisen die vom Verbraucher aufgenommene Wirkleistung an.

Mit Hilfe einer zusätzlichen Strom- und Spannungsmessung (Ampere- und Voltmeter) kann in Wechselstromkreisen zudem die Schein- und die Blindleistung berechnet werden.¹⁾ Eine Meßschaltung zur Bestimmung von Wirk-, Schein- und Blindleistung ist in Abb. 60 dargestellt.

Leistungsmessung im Wechselstromkreis



(Abb. 60)

¹⁾ Siehe hierzu Band B 4 (Teil 1) des „Handbuchs der Fernmeldetechnik“.

Steht kein Wattmeter zur Verfügung, so kann in Gleichstromkreisen die von einem Verbraucher aufgenommene Wirkleistung durch eine Strom- und Spannungsmessung bestimmt werden. Die Leistung ergibt sich dann aufgrund der Beziehung:

$$P = U \cdot I \quad \text{W.}$$

3.4. Widerstandsmessung

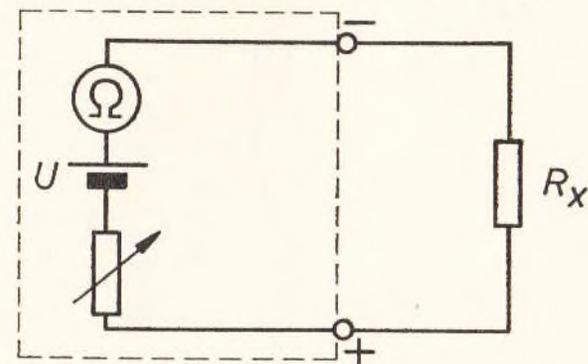
Bei der Widerstandsmessung müssen wir im wesentlichen zwischen drei Arten unterscheiden:

- direkte Messung mit dem Ohmmeter,
- indirekte Messung (Spannungs- und Strommessung),
- Widerstandsbestimmung mit der Meßbrücke.

3.4.1. Direkte Widerstandsmessung

Die zur direkten Widerstandsmessung verwendeten Ohmmeter enthalten eine Spannungsquelle, einen zur Eichung veränderbaren Widerstand oder veränderbaren magnetischen Nebenschluß am Meßwerk und einen Strommesser, dessen Skala in Ohm geeicht ist (ggf. kΩ, MΩ u. ä.). Eine Prinzipschaltung ist in Abb. 61 dargestellt.

Widerstandsmessung mit dem Ohmmeter



(Abb. 61)

Bleibt in einem geschlossenen Stromkreis die Spannung konstant, so verändert sich nach dem Ohmschen Gesetz die Stromstärke in Abhängig-

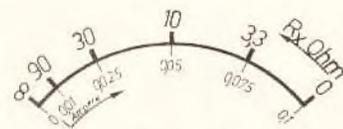
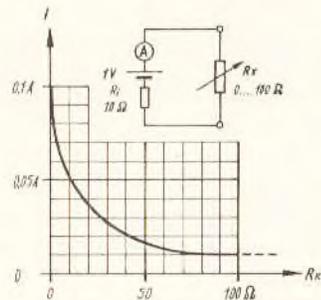
keit vom Widerstand. Je größer der Widerstand im Stromkreis ist, desto geringer ist die Stromstärke. Da die Skala des eingebauten Strommessers in Ohm geeicht wird, muß sie umgekehrt wie eine Strom- oder Spannungsskala verlaufen:

Bei 0 Ohm Vollausschlag des Zeigers,
bei ∞ Ohm dagegen kein Zeigerausschlag.

Aufgrund der Beziehung $I = \frac{U}{R}$ ergibt sich leider kein linearer Zusammenhang zwischen Stromstärke und Widerstand. Man sagt: Stromstärke und Widerstand sind umgekehrt verhältnismäßig (umgekehrt proportional).

Anhand eines Beispiels wollen wir einmal eine Eichkurve und die zugehörige Skalenteilung eines Ohmmeters ableiten.

Skaleneichung eines Ohmmeters



(Abb. 62)

Die Ohmskala wird also gegen ∞ sehr ungenau. Zur Erzielung einer hohen Meßgenauigkeit gilt daher:

Die Anzeige eines Ohmmeters ist in der Skalenmitte am größten.

Die Anzeigegegenauigkeit wird in der Nähe von 0 Ohm (= Vollausschlag) wieder geringer, da Fehler bei der Eichung auftreten können oder die Spannung der eingebauten Spannungsquelle (z. B. galv. Element) wäh-

Wir wählen einen geschlossenen Stromkreis mit einer Spannungsquelle von 1 V ($R_t = 10 \Omega$), einem veränderbaren Widerstand $R_x = 0$ bis 100 Ω und einem Milliampereometer mit Vollausschlag bei 100 mA. Wenn wir für die Widerstandswerte R_x zwischen 0 und 100 Ω die zugehörigen Stromstärken berechnen und die Werte in ein Diagramm eintragen, erhalten wir nebenstehende Kurve. Sie läßt erkennen, daß Widerstandsänderungen bei kleinen Werten von R_x noch große Stromänderungen bewirken. Je größer aber der Widerstand R_x wird, desto geringer wird die Stromänderung. Unter dem Diagramm ist die Skala des Meßwerks dargestellt, und zwar sowohl in Ohm als auch in Ampere geeicht.

Wir erkennen:

Für Werte von R_x zwischen 0 und 90 Ohm ändert sich die Stromstärke um 90 mA. Dagegen beträgt die Stromänderung nur noch 10 mA, wenn sich der Widerstandswert für R_x von 90 bis ∞ Ohm erhöht! Das bedeutet für die in Ohm geeichte Skala, daß auf 90% des Bereichs Widerstandswerte von 0 bis 90 Ohm, auf 10% der Skalenlänge die Werte von 90 bis ∞ Ohm abgetragen werden müssen.

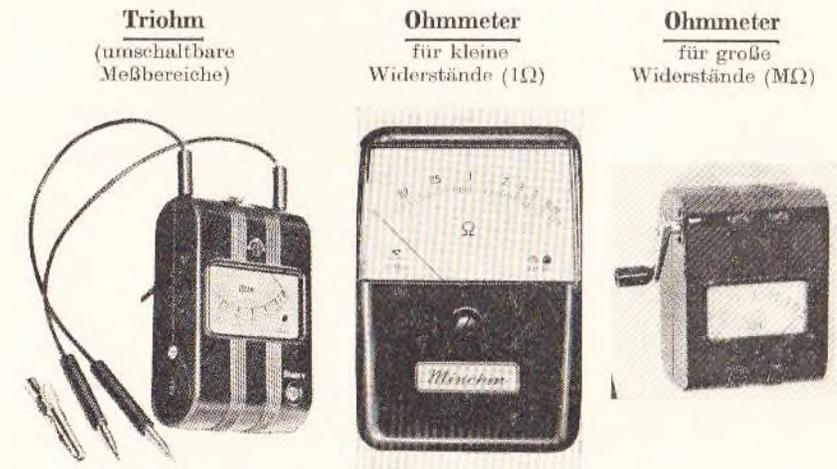
rend einer Messung nicht konstant bleibt. Bei der Auswahl des Widerstands-Meßbereichs ist daher immer der Widerstandswert auf der Skalenmitte entscheidend.

Als Spannungsquelle wird in den meisten Ohmmetern eine Trockenbatterie verwendet, deren Spannung während längeren Gebrauchs nicht konstant bleibt. Ebenso sinkt die Spannung einer Trockenbatterie infolge längerer Lagerzeit. Deshalb enthält ein Ohmmeter zur Eichung einen veränderbaren Widerstand oder einen im Meßwerk eingebauten veränderbaren magnetischen Nebenschluß zur Empfindlichkeitseinstellung.

Vor jeder Widerstandsmessung ist ein Ohmmeter an den Klemmen kurzzuschließen und auf Null (= Vollausschlag) zu eichen. Die Ablesung des Skalenwerts soll so kurzzeitig wie möglich vorgenommen werden.

Kann bei der Eichung kein Vollausschlag erzielt werden, so ist die Batterie gegen eine frische auszuwechseln. Sollen hochohmige Widerstände gemessen werden, so führen kleine Spannungen in der Größenordnung von 1 Volt wegen der begrenzten Empfindlichkeit des Meßwerks nicht mehr zu einem ausreichenden Zeigerausschlag. Ohmmeter zur Messung großer Widerstände enthalten daher entweder eine Batterie höherer Spannung (ca. 10 bis 75 V) oder einen Kurbelinduktor mit mechanischer Drehzahlregelung (z. B. Isolationsmesser in Abb. 63 rechts).

Folgende Abbildungen zeigen einige gebräuchliche Ohmmeter.



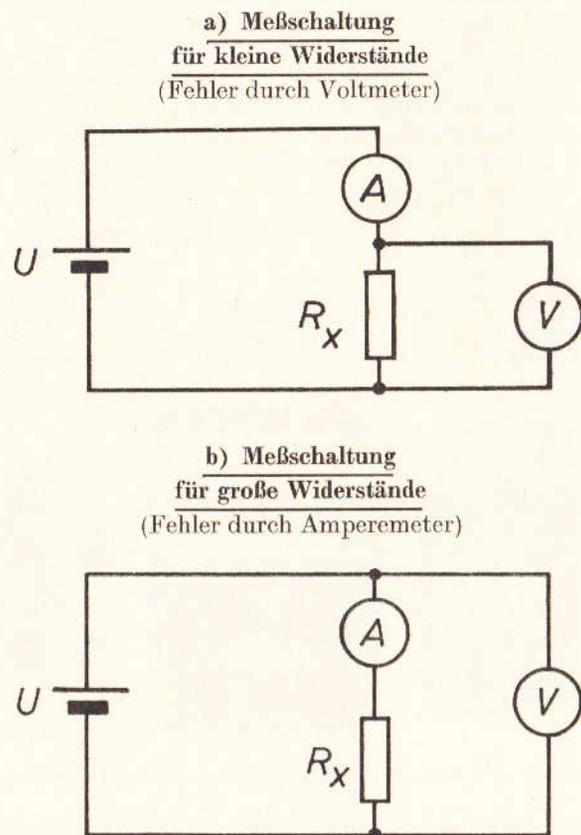
(Abb. 63)

Da jede Spannungsänderung in einem Stromkreis mit konstantem Widerstand zu einer Stromänderung führt, darf die **Widerstandsmessung mit**

einem Ohmmeter nur an Widerständen vorgenommen werden, die nicht an einer Spannung liegen!

3.4.2. Indirekte Widerstandsmessung

Zur Bestimmung von Widerständen kann man auch eine Spannungs- und Strommessung benutzen, wobei der Widerstandswert nach dem Ohmschen Gesetz berechnet werden kann. Wir haben aber bereits festgestellt, daß die Anzeige von Spannungs- und Strommeßinstrumenten wegen ihres eigenen inneren Widerstands nicht unbedingt ausreichend genau ist. Diese Tatsache ist bei der indirekten Widerstandsmessung besonders zu beachten, da wir ja dabei gleichzeitig zwei Meßinstrumente einschalten. Um Meßfehler gering zu halten, müssen wir grundsätzlich zwei Meßschaltungen unterscheiden:



(Abb. 64)

Damit wir die Schaltungen beurteilen lernen, wollen wir zwei Beispiele besprechen:

Beispiel 1:

Wir wählen einen Widerstand von $R_x = 1 \Omega$, ein Amperemeter mit 1 A Vollausschlag ($R_{Am} = 1 \Omega$), ein Voltmeter mit 1 V Vollausschlag ($R_{Vm} = 100 \Omega$) und eine Spannungsquelle mit 1 V Spannung.

Der gesuchte Widerstandswert ergibt sich nach dem Ohmschen Gesetz aus

$$R_x = \frac{\text{Anzeige des Voltmeters}}{\text{Anzeige des Amperemeters}}$$

Wir wollen einmal errechnen, welchen Wert die beiden Instrumente tatsächlich anzeigen würden:

Nach Schaltung a):

$$R_x = \frac{U_{Vm}}{I_{Am}}$$

$$U_{Vm} = I \cdot R_x \parallel R_{Vm}$$

$$I = I_{Am} = \frac{U}{R}$$

$$R = R_{Am} + R_x \parallel R_{Vm}$$

$$= 1 \Omega + \frac{1 \Omega \cdot 100 \Omega}{1 \Omega + 100 \Omega} = 1 \Omega + 0,99 \Omega$$

$$R = 1,99 \Omega$$

$$I = \frac{1 \text{ V}}{1,99 \Omega} = 0,502 \text{ A} \cong \text{Anzeige des Amperemeters}$$

$$U_{Vm} = 0,502 \text{ A} \cdot 0,99 \Omega = 0,497 \text{ V} \cong \text{Anzeige des Voltmeters}$$

$$R_x = \frac{0,497 \text{ V}}{0,502 \text{ A}} = \underline{\underline{0,99 \Omega}}$$

Der Meßfehler beträgt also nur 1%.

Nach Schaltung b):

$$R_x = \frac{U_{Vm}}{I_{Am}}$$

$$U_{Vm} = U = 1 \text{ V} \cong \text{Anzeige des Voltmeters}$$

$$I_{Am} = \frac{U}{R_{Am} + R_x} = \frac{1 \text{ V}}{1 \Omega + 1 \Omega} = 0,5 \text{ A} \cong \text{Anzeige des Amperemeters}$$

$$R_x = \frac{1 \text{ V}}{0,5 \text{ A}} = \underline{\underline{2 \Omega}}$$

Nach Schaltung b) ergibt sich ein Fehler von 100%!

Folgerung:

Für kleine Widerstände ist nur die Meßschaltung a) geeignet.

Beispiel 2:

Der zu messende Widerstand soll 100mal so groß wie im Beispiel a) gewählt werden. Um zu brauchbaren Strömen zu kommen, wird die Spannung auf 10 V erhöht.

Jetzt ist zu beachten, daß sich auch die Widerstände der Instrumente infolge Umschaltens auf einen anderen Meßbereich ändern! Folgende Werte sollen zugrunde gelegt werden:

$R_x = 1000 \Omega$; Milliampereometer mit 20 mA Vollausschlag
($R_{Am} = 50 \Omega$); Voltmeter mit 10 V Vollausschlag
($R_{Vm} = 1000 \Omega$).

Spannungsquelle 10 V.

Nach Schaltung a):

$$R_x = \frac{U_{Vm}}{I_{Am}}$$

$$U_{Vm} = I \cdot R_x \parallel V_m$$

$$I = I_{Am} = \frac{U}{R}$$

$$R = R_{Am} + R_x \parallel V_m \\ = 50 \Omega + \frac{1000 \Omega \cdot 1000 \Omega}{1000 \Omega + 1000 \Omega} = 50 \Omega + 500 \Omega$$

$$R = 550 \Omega$$

$$I = \frac{10 \text{ V}}{550 \Omega} = 0,0182 \text{ A} \cong \text{Anzeige des Amperemeters}$$

$$U_{Vm} = 0,0182 \text{ A} \cdot 500 \Omega = 9,1 \text{ V} \cong \text{Anzeige des Voltmeters}$$

$$R_x = \frac{9,1 \text{ V}}{0,0182 \text{ A}} = \underline{\underline{500 \Omega}}$$

Der Meßfehler beträgt 100%!

Nach Schaltung b):

$$R_x = \frac{U_{Vm}}{I_{Am}}$$

$$U_{Vm} = U = 10 \text{ V} \cong \text{Anzeige des Voltmeters}$$

$$I_{Am} = \frac{U}{R_{Am} + R_x} = \frac{10 \text{ V}}{50 \Omega + 1000 \Omega} = \frac{10 \text{ V}}{1050 \Omega}$$

$$I_{Am} = 0,00953 \text{ A} \cong \text{Anzeige des Amperemeters}$$

$$R_x = \frac{10 \text{ V}}{0,00953 \text{ A}} = \underline{\underline{1050 \Omega}}$$

Hier beträgt der Meßfehler nur noch 5%.

Folgerung:

Für große Widerstände ist nur die Meßschaltung b) geeignet.

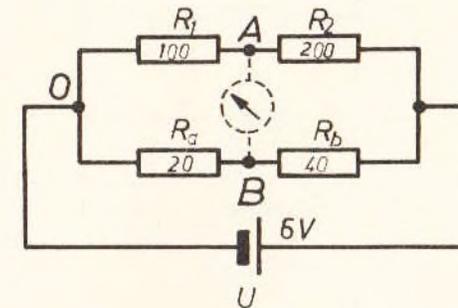
Das zweite Beispiel zeigt aber auch, daß sich bei großen Widerständen R_x das Verhältnis von Meßobjekt (R_x) zum Innenwiderstand des Meßinstrumentes ungünstig verändert, so daß die Meßgenauigkeit deutlich geringer wird.

3.4.3. Die Meßbrücke

Sie läßt die genaueste Messung von Widerständen zu, da bei ihr keine Fehler durch das Einschalten von Meß- oder Anzeigeelementen auf-

treten können. Wegen ihrer hohen Meßgenauigkeit wird die Meßbrücke z. B. in der Kabelmeßtechnik erwendet.

In der Meßbrücke wird das Meßergebnis nicht anhand von Spannung bzw. Strom, sondern durch Vergleich mit bekannten Widerständen ermittelt. Dazu dient die Grundschialtung nach Abb. 65a.



(Abb. 65a)

An jedem Teilwiderstand dieser Schaltung tritt ein Spannungsabfall auf. Stehen die Widerstände $R_1 : R_2$ im gleichen Verhältnis wie die Widerstände $R_3 : R_4$, so verhalten sich auch die Spannungen $U_1 : U_2$ wie $U_3 : U_4$. Die Gesamtspannung wird in beiden Zweigen im gleichen Verhältnis aufgeteilt. In unserer Schaltung liegt also zwischen A und O eine gleich große Spannung (2 V) wie zwischen B und O (2 V).

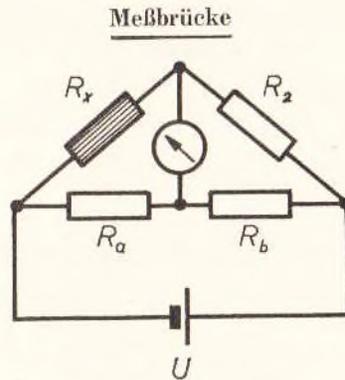
Da zwischen den Punkten A und B keine Spannung wirksam ist (Potentialdifferenz = 0!), zeigt ein zwischen A und B geschaltetes Anzeigeelement nichts an. Diesen Zustand bezeichnet man als **Brückenabgleich** oder abgegliche Brücke.

Schalten wir jetzt anstelle des Widerstandes R_1 einen Widerstand unbekannter Größe R_x in den oberen Zweig, so muß das Widerstandsverhältnis im unteren Zweig durch einen regelbaren Widerstand R_a so verändert werden, daß das Anzeigeelement keinen Ausschlag zeigt. Wir wissen dann, daß $R_x : R_2 = R_a : R_b$.

Damit jetzt der Widerstandswert R_x bestimmt werden kann, müssen die Widerstandswerte R_2 , R_a und R_b bekannt sein; R_2 bis R_b müssen also genau geeichte Widerstände sein.

Ist die Brücke abgeglichen, so gilt:

$$\frac{R_x}{R_2} = \frac{R_a}{R_b}$$

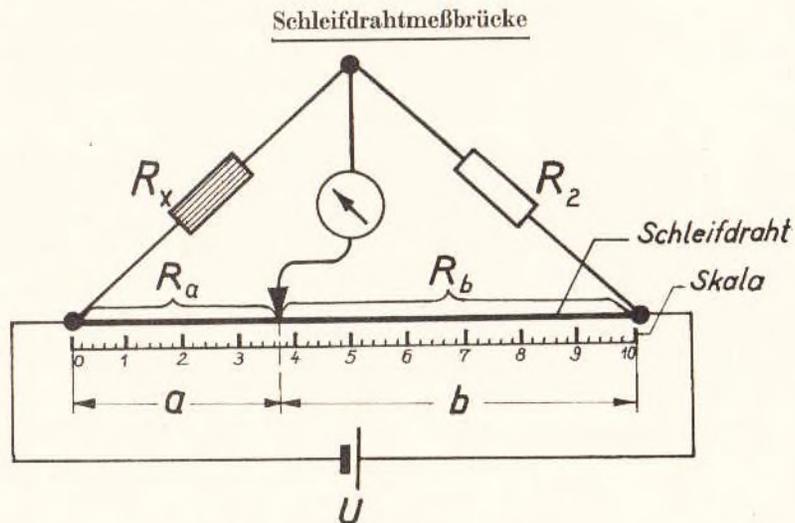


(Abb. 65b)

Durch Umstellung läßt sich R_x ermitteln:

$$R_x = \frac{R_2 \cdot R_a}{R_b}$$

Eine weitere Vereinfachung ist möglich, wenn man anstelle der Widerstände R_a und R_b einen blanken Widerstandsdraht bestimmter Länge verwendet und mit Hilfe eines Schleifkontakts einen veränderbaren Abgriff herstellt (Schleifdrahtmeßbrücke).



(Abb. 66)

Am Schleifdraht ist eine Längeneinteilung als Skala vorhanden. Schaltet man einen Widerstand R_x unbekannter Größe in die Brücke, so stellt man den Brückenabgleich durch Verschieben des Schleifkontakts her (Anzeige = 0). Dann gilt:

$$\frac{R_x}{R_2} = \frac{R_a}{R_b} = \frac{a}{b}$$

und nach Umstellung:

$$R_x = R_2 \cdot \frac{a}{b}$$

Da sich bei einem blank gezogenen Widerstandsdraht die Widerstände wie die Drahtlängen verhalten, genügt es also, das Längenverhältnis $a : b$ am Schleifdraht zu ermitteln.

Vorteile der Meßbrücke: Beim Brückenabgleich liegt am Anzeigeelement keine Spannung bzw. fließt über das Instrument kein Strom. Damit kann das Anzeigeelement keinen Fehler verursachen.

Das Anzeigeelement dient nicht zur Ablesung des Meßwerts. Es braucht daher nicht einmal geeicht zu sein. Für das Anzeigeelement genügt eine hohe Empfindlichkeit (Spannung bzw. keine Spannung). Daher kann man in Meßbrücken auch Fernhörer als „Anzeigeelement“ verwenden, wenn als Stromquelle ein Tonfrequenzgenerator dient. Ein Fernhörer ist billiger und empfindlicher als z. B. ein Drehspulinstrument. In etwas abgewandelter Form finden Meßbrücken auch zur Messung von Induktivitäten (L-Meßbrücken) oder Kapazitäten (C-Meßbrücken) Verwendung.

3.4.4. Wiederholungsfragen zu den Abschnitten 3.3. und 3.4.

1. Welche Meßwerkart wird in Wattmeter eingebaut? 2. Wie ist ein Wattmeter zu schalten? Geben Sie eine Leistungsmeßschaltung an! 3. Wie kann in Gleichstromkreisen die von einem Verbraucher aufgenommene Leistung gemessen werden (zwei Verfahren!)? 4. Welche grundsätzlichen Möglichkeiten zur Widerstandsmessung gibt es? 5. Erläutern Sie den grundsätzlichen Aufbau eines Ohmmeters! 6. Warum ist die Skalenteilung eines Ohmmeters nicht linear? 7. Warum zeigt ein Ohmmeter bei Vollausschlag des Zeigers den Wert 0 Ohm an? 8. Begründen Sie, in welchem Skalenbereich die Anzeige eines Ohmmeters am genauesten ist! 9. Aus welchem Grunde ist ein Ohmmeter grundsätzlich vor jeder Messung zu eichen? 10. Warum können mit dem Ohmmeter keine Widerstandsmessungen an Betriebsstromkreisen vorgenommen werden? 11. Geben Sie Meßschaltungen an Betriebsstromkreisen an! 12. Begründen Sie die Zweckmäßigkeit der beiden Meßschaltungen für große und kleine Werte von R_x ! 13. Skizzieren Sie die Schaltung einer Meßbrücke! 14. Was versteht man unter dem Brückenabgleich? 15. Wie ist eine Schleifdraht-Meßbrücke aufgebaut? 16. Warum braucht das Brückeninstrument keine geeichte Skala zu haben? 17. Welcher Vorteil ergibt sich aus der Verwendung von Fernhörern als Brücken-Nullanzeiger? 18. Unter welcher Voraussetzung kann in einer Meßbrücke ein Fernhörer als Nullanzeiger verwendet werden?

3.5. Dämpfungsmessung

Unter Dämpfung versteht man in der Fernmeldetechnik den Spannungsverlust auf einem Übertragungsweg (Leitung, techn. Einrichtung usw.). Zur Bestimmung der Dämpfung sind daher auch Spannungsmessungen notwendig.

Voraussetzung für eine Dämpfungsmessung ist eine richtige Anpassung (allgemein üblich: 600Ω), die sich auch auf das Dämpfungsmeßinstrument bezieht. Da Dämpfungsmessung = Spannungsmessung ist, kann man sie mit Spannungsmeßinstrumenten vornehmen. Das Dämpfungsmaß (Neper oder Dezibel) beruht jedoch auf logarithmischem Zusammenhang. Soll also eine direkte Dämpfungsmessung ermöglicht werden, so wird die Skala eines entsprechenden Spannungsmessers in Neper oder Dezibel (also logarithmisch) geeicht.

Zur Dämpfungsmessung wird an den Eingang des Übertragungsweges ein sog. Normalgenerator geschaltet. Der Generator erzeugt eine Wechselspannung von 800 Hz und $0,775 \text{ V}$ (U_k), wenn ein ohmscher Verbraucherwiderstand von 600Ω anliegt. Er erzeugt damit 1 Milliwatt Wirkleistung. (Man spricht dabei vom Bezugspegel 0 Np bzw. 0 dB.) Ein direkt angeschlossener Dämpfungsmesser ($R_m = 600 \Omega$!) würde 0 Np bzw. 0 dB anzeigen. Liegt aber ein Übertragungsweg zwischen Normalgenerator und Dämpfungsmesser, so treten auf ihm Spannungsverluste auf. Der Ausschlag des Dämpfungsmessers ist kleiner. Er zeigt damit eine entsprechende Dämpfung an.

Für den Dämpfungsmesser gilt also:

Großer Zeigerausschlag = kleine Dämpfung,
kleiner Zeigerausschlag = große Dämpfung.

Wegen der Eichung im Dämpfungsmaß kann der Wert auf der Skala direkt abgelesen werden.

3.6. Bestimmung von Kapazitäten und Induktivitäten durch indirekte Messungen

Eine unmittelbare Messung von Kapazitäten oder Induktivitäten ist mit entsprechenden Meßbrüchen möglich. Im Rahmen dieses Handbuchs soll aufgezeigt werden, wie solche Messungen mit einfachen Mitteln zumindest annähernd genau ausgeführt werden können.

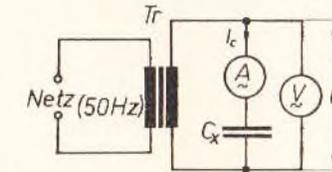
3.6.1. Indirekte Kapazitätsmessung

Der Gleichstromwiderstand eines Kondensators ist so groß, daß er mit üblichen Widerstandsmeßgeräten nicht gemessen werden kann. Wir kön-

nen also davon ausgehen, daß ein Kondensator nur eine nachweisbare Kapazität besitzt.

Die Kapazität eines Kondensators läßt sich bei Wechselstromspeisung anhand einer Spannungs- und Strommessung bestimmen, wenn die Frequenz des Wechselstroms bekannt ist. Man kann im öffentlichen Stromversorgungsnetz (Verbundnetz) heute ohne weiteres voraussetzen, daß die Frequenz des Netzwechselstroms genau 50 Hz beträgt.

Indirekte Kapazitätsmessung



(Abb. 67)

Legt man nach der Schaltung Abb. 67 an einen Kondensator eine Wechselspannung ($f = 50 \text{ Hz}$) und mißt die anliegende Wechselspannung und den fließenden Wechselstrom (Blindstrom), so kann die Kapazität aus den Beziehungen $X_c = \frac{U_c}{I_c}$ und $X_c = \frac{1}{\omega C}$ bestimmt werden.

Wichtig ist dabei, die Spannungsfestigkeit des Kondensators zu berücksichtigen. Ist die Netzspannung für den Kondensator zu hoch, so kann sie durch einen Transformator herabgesetzt werden.

Beispiel:

Die Kapazität eines Kondensators mit einer Spannungsfestigkeit von 150 V_m soll bestimmt werden.

Gegeben: $U_{max} = 150 \text{ V}$; $f = 50 \text{ Hz}$

Gesucht: C

Lösung: Da der Höchstwert der Betriebsspannung für den Kondensator 150 V beträgt, darf der Effektivwert der angelegten Wechselspannung nur $U_{eff} = 0,707 \cdot U_{max} = 0,707 \cdot 150 \text{ V} = 106 \text{ V}$ betragen.

Gewählt wird 100 V_{eff} . Diese Spannung muß durch einen Transformator erzeugt werden. Beim Anschalten des Kondensators werden folgende Werte gemessen ($f = 50 \text{ Hz}$):

$$U_{\sim} = 95 \text{ V}$$

$$I_{\sim} = 45 \text{ mA} = 0,045 \text{ A.}$$

Die Rechnung ergibt:

$$X_c = \frac{U_c}{I_c} = \frac{95 \text{ V}}{0,045 \text{ A}} = 2110 \Omega$$

$$X_c = \frac{1}{\omega C}$$

$$C = \frac{1}{X_c \cdot \omega}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 314$$

$$C = \frac{1}{2110 \cdot 314} = 0,00000151 \text{ F}$$

$$C = \underline{\underline{1,51 \mu\text{F}}}$$

Der Kondensator hat eine Kapazität von 1,51 μF .

3.6.2. Indirekte Induktivitätsmessung

Die indirekte Messung der Induktivität einer Spule ist eigentlich nur bei Spulen ohne Eisenkern genau. Da bei Wechselstromspeisung im Eisenkern einer Spule Wirbelstromverluste auftreten, ergibt sich damit zwangsläufig auch ein Meßfehler. Zudem kann sich der Magnetisierungsgrad des Eisenkerns auf die Größe der Induktivität auswirken. Trotzdem läßt sich mit einfachen Mitteln eine wenigstens annähernd genaue Bestimmung der Induktivität durchführen.

Bei Spulen darf der Wirkwiderstand der Wicklungsdrähte auf keinen Fall vernachlässigt werden. **Zur Bestimmung der Induktivität sind daher zwei Messungen erforderlich:**

- Gleichstrommessung zur Bestimmung des Wirkwiderstandes und
- Wechselstrommessung zur Bestimmung des Scheinwiderstandes der Spule.

Aus beiden Messungen läßt sich dann die Induktivität berechnen. **Die Frequenz des Wechselstromes muß bekannt sein.**

Beispiel:

An einer Drosselspule werden folgende Messungen vorgenommen:

- Gleichstrom $U_{\sim} = 60 \text{ V}; I_{\sim} = 1,2 \text{ A};$
- Wechselstrom $U_{\sim} = 75 \text{ V}, I_{\sim} = 0,6 \text{ A};$
 $f = 50 \text{ Hz}.$

Wie groß ist die Induktivität der Spule?

Gegeben: $U_{\sim} = 60 \text{ V}; I_{\sim} = 1,2 \text{ A}; U_{\sim} = 75 \text{ V}; I_{\sim} = 0,6 \text{ A};$
 $f = 50 \text{ Hz}$

Gesucht: L

Lösung: $X_L = \omega \cdot L$

$$L = \frac{X_L}{\omega}$$

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

$$Z = \frac{U_{\sim}}{I_{\sim}} = \frac{75 \text{ V}}{0,6 \text{ A}} = 125 \Omega$$

$$R = \frac{U_{\sim}}{I_{\sim}} = \frac{60 \text{ V}}{1,2 \text{ A}} = 50 \Omega$$

$$X_L = \sqrt{125^2 - 50^2} = \sqrt{15600 - 2500}$$

$$X_L = \sqrt{13100} = 114 \Omega$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 314$$

$$L = \frac{114}{314} = \underline{\underline{0,363 \text{ H}}}$$

Die Drosselspule hat eine Induktivität von 0,363 H.

3.6.3. Wiederholungsfragen zu den Abschnitten 3.5. und 3.6.

1. Was versteht man unter Dämpfung? 2. Welcher Art ist grundsätzlich eine Dämpfungsmessung? 3. Wie ist ein Dämpfungsmesser aufgebaut? 4. Mit welchen Mitteln lassen sich Kapazitäten durch Messungen bestimmen? 5. Geben Sie eine einfache Meßschaltung zur indirekten Kapazitätsmessung an! 6. Welche Messungen sind zur indirekten Induktivitätsbestimmung notwendig? 7. Warum ist die Induktivitätsbestimmung schwieriger und u. U. auch ungenauer als die Kapazitätsbestimmung? 8. Wie groß ist die Induktivität, wenn an einer Spule folgende Messungen durchgeführt wurden: a) Ohmmeter : $R = 15 \text{ Ohm}$, b) Wechselstrommessung: $U_{\sim} = 60 \text{ V}/50 \text{ Hz}; I_{\sim} = 1,2 \text{ A}?$

4. Meßübungen

In diesem Abschnitt soll anhand einiger ausgewählter Beispiele der Umgang mit Meßinstrumenten und die praktische Ausführung von Messungen geübt werden. Sie erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit und sollen nur eine Anregung darstellen. Da die Bedingungen, unter denen die Meßübungen praktisch durchgeführt werden, von Fall zu Fall unterschiedlich sind, wird in diesem Band auf die Angabe genauer Werte verzichtet. Es wird vielmehr aufgezeigt, was bei der Durchführung und Auswertung der Übungen zu beachten ist. Die vereinzelt angegebenen Werte sind nur als Richtwerte, also größenordnungsmäßig, zu verstehen. Um Fehler zu vermeiden, ist die Belastbarkeit der Bauteile – insbesondere der Widerstände – zu berücksichtigen (ggf. mit kleinerer Spannung arbeiten!).

4.1. Allgemeine Hinweise

Da die Meßübungen von Lernenden ausgeführt werden, ist unbedingt darauf zu achten, daß an den Meßschaltungen keine unzulässig hohen Berührungsspannungen auftreten können. **Wir empfehlen daher dringend, als Stromquellen nur Kleinspannungsgeräte gemäß VDE 0100 zu verwenden,**

bei Gleichspannung: $U_{\max} = 60 \text{ V}$,
 bei Wechselspannung: $U_{\text{eff}} = 42 \text{ V}$.

Wegen der technischen Ausführung der Stromversorgungsgeräte verweisen wir auf die VDE-Vorschrift 0100, die auszugsweise auch im Band B 4 dieser Handbuchreihe wiedergegeben ist. Empfehlenswert ist auch die Absicherung des Meßstromkreises mit einer Sicherungs-Nennstromstärke, die der Meßschaltung angepaßt ist. Dadurch wird die z. B. bei Kurzschluß mögliche Zerstörung eines Strommeßinstruments weitgehend vermieden.

Beim Umgang mit Meßgeräten sollte folgendes beachtet werden:

- Beim Transport von Meßinstrumenten Erschütterungen vermeiden! Drehspulinstrumente an den Klemmen kurzschließen, um das Zeigerpendeln beim Transport abzubremesen.
- Im Zweifelsfall immer zunächst einen zu hohen Meßbereich wählen (sowohl für Strom- als auch für Spannungsmessungen). Vielfachinstrumente grundsätzlich zunächst auf den höchsten Bereich schalten.
- Ist die Stromart nicht bekannt, sollte zuerst immer im Wechselstrom- bzw. Wechselspannungsbereich gemessen werden. Gleichstrominstrumente zeigen an Wechselstrom auch bei Überlastung keinen Ausschlag!
- Bei der Ablesung des Meßwerts auf der Skala den eingeschalteten Meßbereich beachten. Skalenwert kurz ablesen, dann erst anhand der abgelesenen Teilstriche umrechnen.
- Vorsicht ist bei Vielfachinstrumenten mit Widerstandsmeßbereichen geboten. Bei der Umschaltung kann leicht versehentlich auf einen Widerstandsmeßbereich geschaltet werden. Das Instrument wird dabei in Meßschaltungen mit Stromquelle meistens zerstört.
- Zur Vermeidung von Meßfehlern auf die richtige Lage des Instruments (Lagezeichen!) und den günstigsten Meßbereich achten.
- Manchmal kann es zweckmäßig sein, bei der Aufnahme von Meßwertreihen (Diagrammen) eine Umschaltung auf andere Meßbereiche zu vermeiden. Mit der Bereichsumschaltung ändert sich auch der Innenwiderstand des Instruments! Falls durch Bereichsumschaltung grobe Fehler auftreten, stellt man den Meßbereich nach dem größten Meßwert ein und mißt im gleichen Bereich auch kleinere Werte.

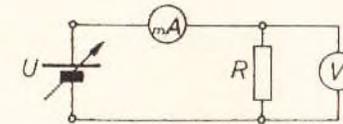
4.2. Gleichstrommessungen

4.2.1. Das Ohmsche Gesetz

Versuchsziel: An einem geschlossenen Stromkreis soll untersucht werden, wie sich Stromstärke, Widerstand und Spannung zueinander verhalten, wenn man jeweils die Spannung oder den Widerstand verändert.

Geräte: Stromquelle (ca. 24 V/0,5 A) mit veränderbarer Spannung (ggf. Potentiometer zur Spannungsänderung),
 Widerstände (100, 200, 300, 400 und 500 Ω , Belastbarkeit 4 W),
 Voltmeter (Meßbereich bis 25 V),
 Milliampereometer (Meßbereich bis 250 mA).

Meßschaltung a:



(Abb. 68)

Versuchsausführung: ($R = \text{konstant}$; U wird verändert)

Ein Widerstand von 100 Ω wird eingeschaltet und die Spannung in Stufen von 4 V von 0 bis 20 V erhöht. Bei jeder Spannungsstufe werden Spannung und Strom gemessen.

Tabelle der Meßwerte:

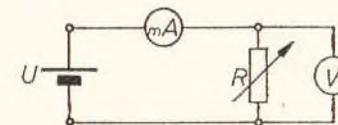
R	100	100	100	100	100	100	Ω
U	0	4	8	12	16	20	V
I							A
$\frac{U}{I}$							

Versuchsergebnis:

In einem geschlossenen Stromkreis steigt die Stromstärke bei gleichbleibendem Widerstand im gleichen Verhältnis (proportional) wie die Spannung. Das Verhältnis Spannung zu Strom ergibt einen festen, gleichbleibenden Wert, nämlich den Wert des Widerstands:

$$R = \frac{U}{I}.$$

Meßschaltung b:



(Abb. 69)

Versuchsausführung: ($U = \text{konstant}$; R wird verändert)

Die Spannung wird fest auf 20 V eingestellt. In den Stromkreis werden nacheinander die Widerstände 100, 200, 300, 400 und 500 Ω eingeschaltet und zu jedem Widerstand Spannung und Strom gemessen.

Tabelle der Meßwerte:

U	20	20	20	20	20	V
R	100	200	300	400	500	Ω
I						A
$\frac{U}{R}$						

Versuchsergebnis:

In einem geschlossenen Stromkreis ist bei gleichbleibender Spannung die Stromstärke um so geringer, je größer der Widerstand ist. Stromstärke und Widerstand sind umgekehrt verhältnismäßig (umgekehrt proportional). Teilt man den Wert der anliegenden Spannung durch den Widerstandswert, so erhält man die Stromstärke:

$$I = \frac{U}{R}$$

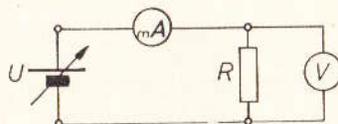
Diese Gesetzmäßigkeit wird als **Ohmsches Gesetz** bezeichnet.

4.2.2. Die Kennlinie eines Widerstands (lineare Kennlinie)

Versuchsziel: Die Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung in einem geschlossenen Stromkreis mit konstantem Widerstand soll durch ein Diagramm veranschaulicht werden.

Geräte: Gleiche Geräte wie beim Versuch „Das Ohmsche Gesetz“.

Meßschaltung:



(Abb. 70)

Versuchsausführung: ($R = \text{konstant}$; U wird verändert)

Ein Widerstand von 100Ω wird eingeschaltet und die Spannung in Stufen von 2 V zwischen 0 und 20 V verändert.

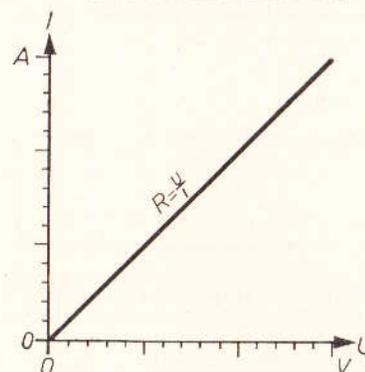
Bei jeder Stufe werden Spannung und Strom gemessen.

Tabelle der Meßwerte:

U	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	V
I												A

Versuchsergebnis: Tragen wir die Meßwerte in ein Diagramm – waagerechte Achse = Spannungsachse, senkrechte Achse = Stromachse – und verbinden die Punkte untereinander, so ergibt sich folgendes Bild:

Kennlinie eines ohmschen Widerstands



(Abb. 71)

Alle Meßpunkte liegen auf einer Geraden. Man spricht daher auch von einer **linearen Kennlinie** oder in diesem speziellen Fall von der linearen Kennlinie eines Widerstands.

Anmerkung: Eine Kennlinie stellt die Abhängigkeit einer Größe von einer anderen veränderbaren Größe dar. Dabei ist die veränderbare Größe (Spannung) als Ursache, die davon abhängige Größe (der Strom I) als Wirkung anzusehen. Die Kennlinie selbst läßt den Widerstand erkennen:

- kleine Ursache – große Wirkung = **kleiner Widerstand** (steiler Kennlinienverlauf),
- große Ursache – kleine Wirkung = **großer Widerstand** (flacher Kennlinienverlauf).

Empfohlene weitere Versuche:

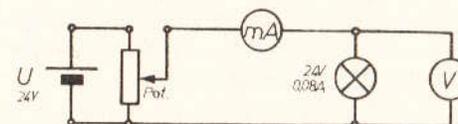
- Kennlinienaufnahme für Widerstände 200Ω und 400Ω . Tragen Sie die Kennlinien der drei Widerstände 100 , 200 und 400Ω in ein Diagramm ein! Was erkennen Sie?
- Nehmen Sie die Kennlinien auch für negative Werte von U auf (Umpolung der Spannungsquelle) und zeichnen Sie die Kennlinie(n)!

4.2.3. Die Kennlinie einer Glühlampe (nichtlineare Kennlinie)

Versuchsziel: Am Beispiel einer Glühlampe soll untersucht werden, wie sich ein Widerstand bei veränderter Belastung und damit bei veränderter Temperatur verhält.

Geräte: Stromquelle (ca. $24 \text{ V}/0,5 \text{ A}$) mit veränderbarer Spannung, ggf. Potentiometer (ca. $200 \Omega/0,3 \text{ A}$), Signallampe ($24 \text{ V}/0,08 \text{ A}$), Voltmeter (Meßbereich bis 25 V), Milliampereparameter (Meßbereich bis 100 mA).

Meßschaltung:



(Abb. 72)

Versuchsausführung: (gleicher Verbraucher; U wird verändert)

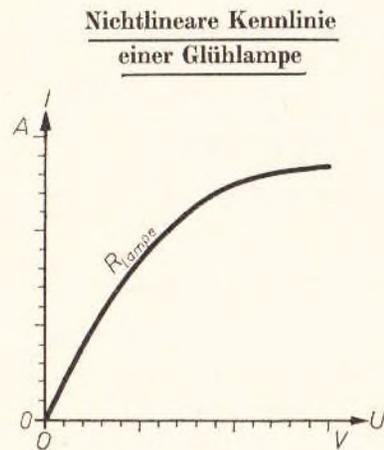
Bei geschlossenem Stromkreis wird die Spannung an der Signallampe in Stufen von 3 V zwischen 0 und 24 V erhöht. Bei jeder Spannungsstufe werden Strom und Spannung gemessen.

Tabelle der Meßwerte.

U	0	3	6	9	12	15	18	21	24	V
I										A
R	—		—	—		—	—	—		Ω

Anhand der Meßergebnisse wird der Lampenwiderstand für die Spannungsstufen 3, 12 und 24 V errechnet.

Versuchsergebnis:



(Abb. 73)

Das nach den Meßwerten gezeichnete Diagramm, die Widerstandskennlinie einer Glühlampe, zeigt keinen geraden (linearen) Verlauf mehr. Man bezeichnet eine solche Kennlinie als **nichtlineare Kennlinie**. Sowohl anhand der errechneten Widerstände bei 3 V, 12 V und 24 V als auch am Verlauf der Kennlinie erkennt man, daß mit wachsender Spannung an der Lampe ihr Widerstand größer wird (vgl.: steiler Verlauf = kleiner Widerstand, flacher Verlauf = großer Widerstand). Ursache für die Widerstandsänderung ist der Temperatureinfluß auf den Widerstand eines metallischen Leiters (Glühfaden):

Je höher die Temperatur, desto größer der Widerstand.

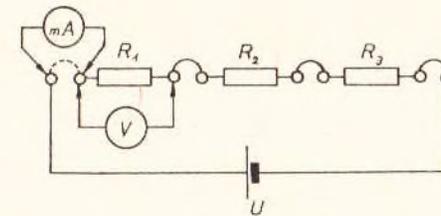
Im Gegensatz zu einem normalen Widerstand tritt beim Glühfaden einer Lampe eine Erwärmung bis etwa 2500 °C auf.

4.2.4. Die Reihenschaltung von Widerständen

Versuchsziel: An einem geschlossenen Stromkreis sollen durch Messung der Spannungen und Ströme an einer Reihenschaltung von Widerständen die Gesetzmäßigkeit der Reihenschaltung veranschaulicht werden.

Geräte: Stromquelle (ca. 24 V/0,5 A), Widerstände 100, 200, 300, 400 Ω (Belastbarkeit 2 W), Voltmeter (Meßbereich bis 25 V), Milliamperemeter (Meßbereich bis 250 mA).

Meßschaltung:



(Abb. 74)

Versuchsausführung a: ($U = \text{konstant}$; R_1 bis $R_3 = \text{konstant}$)

Die Widerstände 100, 200, und 300 Ω werden so in Reihe geschaltet, daß sich zwischen den Widerständen auftrennbare Verbindungen zum Einschalten des Strommeßinstruments ergeben. Es wird eine Spannung von 18 V fest eingestellt.

Wir messen nun der Reihe nach durch Anlegen des Voltmeters und Einschalten (Brücke entfernen!) des Milliamperemeters an den drei Widerständen Spannung und Strom.

Meßwerte: $U =$; $I =$;

$$\text{an } R_1 : \frac{U_1}{I_1} = \quad ; \quad \text{an } R_2 : \frac{U_2}{I_2} = \quad ; \quad \text{an } R_3 : \frac{U_3}{I_3} = \quad .$$

Versuchsergebnis: Bilden wir das Verhältnis der drei Widerstände $R_1 : R_2 : R_3$ und das Verhältnis der drei Teilspannungen $U_1 : U_2 : U_3$, so stellen wir fest, daß **Widerstände und die zugehörigen Teilspannungen im gleichen Verhältnis stehen:**

$$R_1 : R_2 : R_3 = U_1 : U_2 : U_3 .$$

Die Summe der Teilspannungen ergibt die Speisespannung:

$$U_1 + U_2 + U_3 = U .$$

Die Stromstärke ist in der Reihenschaltung überall gleich:

$$I_1 = I_2 = I_3 = I .$$

Versuchsausführung b: ($U = \text{konstant}$; R_1 bis $R_3 = \text{konstant}$)

In der Meßschaltung wird der Widerstand R_1 (100 Ω) durch einen Widerstand 400 Ω ersetzt und die Messungen wie bei 4.2.1. unter b) wiederholt; Spannung = 18 V.

Meßwerte: $U =$; $I =$;

$$\text{an } R_1 : \frac{U_1}{I_1} = \quad ; \quad \text{an } R_2 : \frac{U_2}{I_2} = \quad ; \quad \text{an } R_3 : \frac{U_3}{I_3} = \quad .$$

Versuchsergebnis: Wie im vorhergehenden Versuch stehen Widerstandswerte und zugehörige Teilspannungen im gleichen Verhältnis:

$$R_1 : R_2 : R_3 = U_1 : U_2 : U_3 .$$

Auch der Strom ist an allen Stellen der Reihenschaltung gleich stark. An den gegenüber dem ersten Versuch unveränderten Widerständen R_2 und R_3 treten jedoch andere Teilspannungen auf.

Ebenso hat sich die Stromstärke gegenüber dem ersten Versuch geändert.

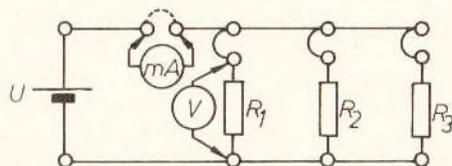
Folgerung: Wird in einer Reihenschaltung von Widerständen nur ein Widerstandswert verändert, so ändert sich die Stromstärke und die Teilspannung an allen Widerständen.

4.2.5. Die Parallelschaltung von Widerständen

Versuchsziel: An einer Parallelschaltung von Widerständen sollen die Gesetzmäßigkeiten mit Hilfe von Spannungs- und Strommessungen gefunden werden.

Geräte: Stromquelle (ca. 24 V/0,5 A), Widerstände 100 Ω (4 W), 200 Ω (2 W), 300 Ω (2 W) und 400 Ω (1 W), Voltmeter (Meßbereich bis 25 V), Milliampereometer (Meßbereich bis 250 mA).

Meßschaltung:



(Abb. 75)

Versuchsausführung: ($U = \text{konstant}$, R_1 bis $R_3 = \text{konstant}$)

Die Spannung wird auf 18 V fest eingestellt. Die Widerstände 100, 200 und 300 Ω werden so parallelgeschaltet, daß sich in jedem Parallelzweig auftrennbare Verbindungen (Brücken) zum Einschalten des Strommeßinstruments ergeben. Auch in der Zuleitung Stromquelle-Parallelschaltung wird eine solche Brücke vorgesehen. Wir messen nacheinander die Spannungen an den drei Widerständen und die Teilströme in jedem Zweig (Brücke entfernen!).

Meßwerte: $U =$; $I =$;

$$\text{an } R_1 : \frac{U_1}{I_1} = \quad ; \quad \text{an } R_2 : \frac{U_2}{I_2} = \quad ; \quad \text{an } R_3 : \frac{U_3}{I_3} = \quad .$$

Versuchsergebnis: Die Spannungen sind an allen drei parallelgeschalteten Widerständen gleich groß bzw. ebenso groß wie die Speisespannung:

$$U_1 = U_2 = U_3 = U.$$

Bilden wir das Verhältnis der drei Ströme und vergleichen mit dem Verhältnis der drei Widerstände, so stellen wir fest, daß sie sich umgekehrt verhalten:

$$I_1 : I_2 : I_3 = R_3 : R_2 : R_1.$$

Die Summe der drei Teilströme ergibt den Gesamtstrom I :

$$I_1 + I_2 + I_3 = I.$$

Empfohlene weitere Auswertungen:

- Für die Reihenschaltung: Bestimmen Sie den Gesamt Widerstand des Stromkreises nach dem Ohmschen Gesetz und vergleichen Sie mit der Summe der Einzelwiderstände!

Welche Gesetzmäßigkeit ergibt sich?

- Für die Parallelschaltung: Bestimmen Sie den Gesamt widerstand des Stromkreises nach dem Ohmschen Gesetz und vergleichen Sie mit den Einzelwiderständen!

Ergebnis: R_g ist kleiner als der kleinste Teilwiderstand.

Da $I = I_1 + I_2 + I_3$ ist, gilt

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}.$$

Die Spannung ist überall gleich ($U_1 = U_2 = U_3 = U$), so daß die Gleichung durch U dividiert werden kann.

$$\text{Ergebnis: } \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$

- Für die Parallelschaltung: Ersetzen Sie R_1 durch einen Widerstand 400 Ω und wiederholen die Messungen an allen Widerständen bzw. Zweigen! Ändern sich hier auch – wie bei der Reihenschaltung – alle Werte? (Begründung)

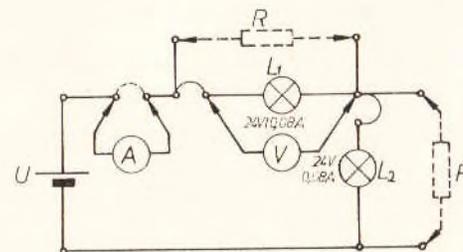
4.2.6. Die Gruppenschaltung von Widerständen

Da sich Gruppenschaltungen aus Reihen- und Parallelschaltungen zusammensetzen, gelten für die entsprechenden Teilgruppen auch die entsprechenden Gesetzmäßigkeiten der Reihen- und Parallelschaltung. Sie können ebenso wie in den Meßübungen zur Reihen- und Parallelschaltung ermittelt werden. Der folgende Versuch soll zeigen, welchen Einfluß die Veränderung eines Widerstands in einer Gruppenschaltung hat.

Versuchsziel: An einer Gruppenschaltung soll untersucht werden, wie sich durch Zuschalten von Widerständen Teilspannungen und Teilströme verhalten.

Geräte: Stromquelle (ca. 24 V/0,5 A), 2 Signallampen (24 V/0,08 A), Voltmeter (Meßbereich bis 25 V), Milliampereometer (Meßbereich bis 100 mA), Widerstände 500 Ω (0,5 W), 2mal je 200 Ω (1 W), 100 Ω (1 W).

Meßschaltung:



(Abb. 76)

Versuchsausführung: Die Spannung wird auf 24 V fest eingestellt. Zunächst werden nun die beiden Signallampen in Reihe geschaltet und Teilspannungen und Strom gemessen.

$$\begin{aligned} \text{Meßwerte: } U_{L1} &= \quad ; & I_{L1} &= \quad ; \\ U_{L2} &= \quad ; & I_{L2} &= \quad ; \\ U &= \quad ; & I &= \quad . \end{aligned}$$

Danach wird ein Widerstand von ca. 500Ω zur Lampe 2 parallelgeschaltet und die Messungen wiederholt.

Meßwerte: $U_{I_1} = \quad ; I_{I_1} = \quad ;$
 $U_{I_2} = \quad ; I_{I_2} = \quad ;$
 $U = \quad ; I = \quad .$

In der jetzt vorhandenen Schaltung wird ein Widerstand von 100Ω parallel zu Lampe 2 und Widerstand 500Ω geschaltet (Beobachtung der Lampenhelligkeit!).

Meßwerte: $U_{I_1} = \quad ; I_{I_1} = \quad ;$
 $U_{I_2} = \quad ; I_{I_2} = \quad ;$
 $U = \quad ; I = \quad .$

Interessant wird das Ergebnis, wenn wir zu jeder der beiden Lampen nur je einen Widerstand von 200Ω parallel schalten (alle vorher eingeschalteten Widerstände entfernen).

Meßwerte: $U_{I_1} = \quad ; I_{I_1} = \quad ;$
 $U_{I_2} = \quad ; I_{I_2} = \quad ;$
 $U = \quad ; I = \quad .$

Versuchsergebnis: Bei der Hintereinanderschaltung zweier gleicher Widerstände (Signallampen) fällt an jedem eine gleich große Teilspannung ab. Die Lampen glühen mit gleicher Helligkeit. Wird zur Lampe 2 ein Widerstand parallelgeschaltet, so kommt es zur Stromverzweigung mit dem Ergebnis, daß Lampe 2 schwächer, Lampe 1 dagegen heller leuchtet. Das Ergebnis wird deutlicher, wenn der Parallelwiderstand zur Lampe 2 noch kleiner gemacht wird.

Folgerung: In einer Gruppenschaltung ändern sich **alle** Teilströme und Teilspannungen, wenn nur **ein** Widerstand der Gruppenschaltung geändert wird.

Wird zu jeder der beiden Lampen ein gleich großer Widerstand parallelgeschaltet, so ergeben sich für die Lampen die gleichen Verhältnisse wie bei der ursprünglichen Reihenschaltung. Beide Lampen leuchten gleich hell.

Empfohlene Auswertungen:

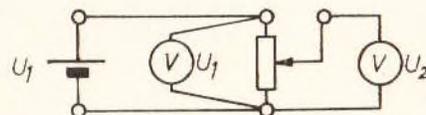
1. Begründen Sie durch Berechnung der Teilwiderstände anhand der Meßwerte die Stromaufteilung und Spannungsverteilung!
2. Beweisen Sie durch Berechnung, daß im letzten Fall beide Lampen gleiche Spannung und gleichen Strom erhalten!

4.2.7. Die Kennlinie eines unbelasteten Spannungsteilers

Versuchsziel: An einem regelbaren Spannungsteiler (Potentiometer) soll die Abhängigkeit der Ausgangsspannung von der Einstellung des Abgriffs bei konstanter Eingangsspannung untersucht werden.

Geräte: Stromquelle (ca. $24 \text{ V}/0,5 \text{ A}$), Schiebewiderstand (R_p ca. 1000Ω), 2 Voltmeter (Meßbereich bis 25 V).

Meßschaltung:



(Abb. 77)

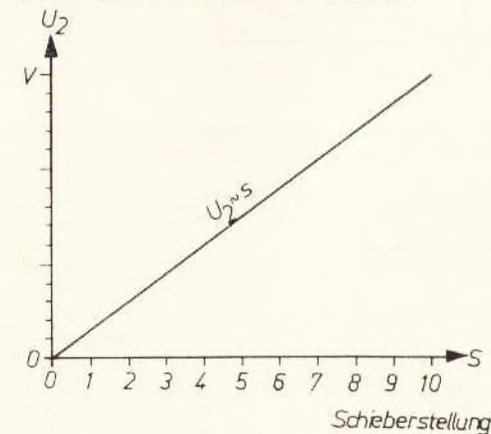
Versuchsausführung: Um die Stellung des Schiebers (Abgriff) genau bestimmen zu können, empfiehlt sich, den Regelbereich in 10 gleiche Abschnitte zu unterteilen (Klebeband markieren). Die Eingangsspannung U_1 wird auf 20 V fest eingestellt. Dann wird der Schieber in 10 Stufen vom unteren zum oberen Widerstandsende verschoben und bei jeder Stellung die Ausgangsspannung gemessen. Die Eingangsspannung ist dabei zu kontrollieren.

Tabelle der Meßwerte:

U_1	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	V
Schieberstellung	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
U_2												V

Versuchsergebnis: Zeichnet man ein Diagramm für die Abhängigkeit der Ausgangsspannung von der Stellung des Schiebers, so ergibt sich ein linearer Zusammenhang, also eine lineare Kennlinie. Daraus folgt:

Kennlinie eines unbelasteten Spannungsteilers (Potentiometers)



(Abb. 78)

Beim unbelasteten Spannungsteiler ist die Ausgangsspannung dem Abgriff (Schieberstellung) verhältnismäßig, vorausgesetzt die Eingangsspannung bleibt konstant. Damit wird bewiesen, daß sich in einer Reihenschaltung die Teilspannungen wie die zugehörigen Widerstände verhalten:

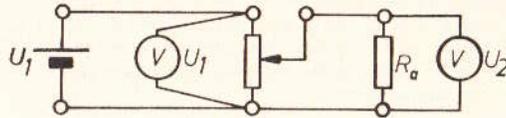
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

4.2.8. Die Kennlinie eines belasteten Spannungsteilers

Versuchsziel: Wir wollen durch eine Meßreihe feststellen, ob sich für einen belasteten Spannungsteiler eine ähnliche oder gar die gleiche Kennlinie wie für einen unbelasteten Spannungsteiler ergibt.

Geräte: Stromquelle (ca. $24 \text{ V}/0,5 \text{ A}$), Schiebewiderstand (R_p ca. 1000Ω), 2 Voltmeter (Meßbereich bis 25 V), Widerstände 100Ω (4 W) und 500Ω (1 W).

Meßschaltung:



(Abb. 79)

Versuchsausführung: Wie im vorhergehenden Versuch wird die Stellung des Schiebers in 10 Stufen verändert. Die Eingangsspannung wird konstant auf 20 V gehalten und bei jeder der 10 Schieberstellungen die Ausgangsspannung am Belastungswiderstand R_a gemessen. Es wird je eine Meßreihe für $R_a = 100 \Omega$ und $R_a = 500 \Omega$ aufgenommen.

Tabelle der Meßwerte:

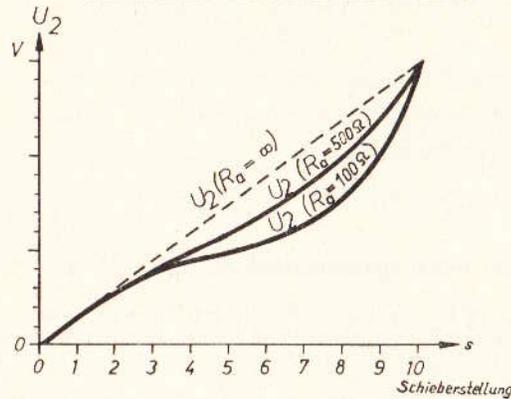
$U_1 = 20 \text{ V}$ $R_a = 100 \Omega$	Schieberstellung	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	U_2												V

$U_1 = 20 \text{ V}$ $R_a = 500 \Omega$	Schieberstellung	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	U_2												V

In das Diagramm soll auch die Kennlinie aus dem vorhergehenden Versuch eingetragen werden.

Versuchsergebnis: Mit zunehmender Belastung ist die Kennlinie eines Spannungsteilers stärker gekrümmt. Der belastete Spannungsteiler stellt keine Reihenschaltung, sondern eine Gruppenschaltung von Widerständen dar.

Kennlinien eines belasteten Spannungsteilers (Potentiometers)



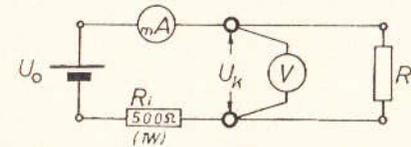
(Abb. 80)

4.2.9. Die Klemmenspannung

Versuchsziel: Die Abhängigkeit der Klemmenspannung von der Belastung einer el. Energiequelle mit nicht vernachlässigbarem Innenwiderstand soll untersucht werden.

Geräte: Stromquelle (ca. 24 V/0,5 A), Widerstände 100 Ω (0,25 W), 250 Ω (0,25 W), 500 Ω (1 W), 500 Ω (0,25 W), 750 Ω (0,25 W), 1000 Ω (0,25 W), Voltmeter (Meßbereich bis 25 V), Milliampereometer (Meßbereich bis 50 mA).

Meßschaltung:



(Abb. 81)

Versuchsausführung: ($U = \text{konstant}$; $R_i = \text{konstant}$; R_a wird verändert)

Die Spannung wird im unbelasteten Zustand ($R_i = \infty$) auf 20 V fest eingestellt. Als Innenwiderstand wird ein Widerstand 500 Ω (1 W) geschaltet. In einer Meßreihe werden dann Spannung und Strom zunächst im unbelasteten Zustand und dann – mit dem größten Widerstand beginnend – an den nacheinander eingeschalteten Belastungswiderständen gemessen. Die letzte Messung wird (kurzzeitig!) bei kurzgeschlossenen Klemmen vorgenommen.

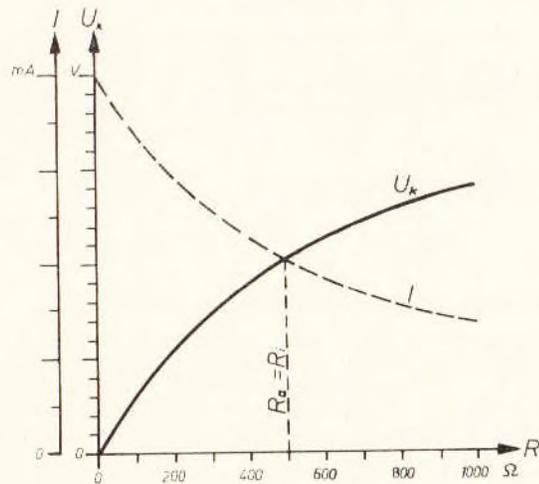
Tabelle der Meßwerte:

$U_o = 20 \text{ V}$ $R_i = 500 \Omega$	R_a	∞	1000	750	500	250	100	0	Ω
	U_k								V
	I								mA

Anhand der Meßwerte soll ein Diagramm für die Abhängigkeit von Klemmenspannung und Strom von der Größe des Belastungswiderstands gezeichnet werden.

Versuchsergebnis: Im unbelasteten Zustand ist die Klemmenspannung gleich der Ursprungsspannung (EMK) der Stromquelle. Man spricht daher auch von der Leerlaufspannung U_0 . Mit zunehmender Belastung – d. h. mit kleiner werdendem Belastungswiderstand R_a – wird die Klemmenspannung geringer, die Stromstärke größer. Da die treibende Spannung im Stromkreis konstant geblieben ist, muß ein Teil der Spannung am Innenwiderstand R_i der Stromquelle abgefallen sein. Mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes läßt sich beweisen, daß dieser innere Spannungsverlust U_{vi} einer Stromquelle sich tatsächlich aus dem Produkt Strom mal Innenwiderstand ergibt:

Klemmenspannung und Strom einer veränderlich belasteten Stromquelle



(Abb. 82)

$U_{vi} = I \cdot R_i$.

$$U_{vi} = I \cdot R_i$$

Die Klemmenspannung ist um den inneren Spannungsverlust kleiner:

$$U_k = U_0 - U_{vi}$$

$$U_k = U_0 - I \cdot R_i$$

Im Kurzschlußfall fließt der größtmögliche Strom. Er wird nur durch den Innenwiderstand begrenzt. Die Klemmenspannung beträgt daher 0V.

Empfohlene Auswertungen:

1. Berechnen Sie für die einzelnen Belastungsfälle den inneren Spannungsverlust und die Klemmenspannung! Vergleichen Sie mit den Meßwerten!
2. Bestimmen Sie aus Leerlaufspannung sowie Klemmenspannung und Strom eines bestimmten Belastungsfalls den inneren Widerstand der Stromquelle!

$$U_{vi} = U_0 - U_k$$

$$R_i = \frac{U_{vi}}{I}$$

3. Wiederholen Sie die Meßreihe mit verändertem R_i (z. B. 100 Ω)! Was kann daraus gefolgert werden?

4.2.10. Die Leistungsabgabe an R_a (Anpassung)

Versuchsziel: Die von einer Stromquelle mit bestimmter Leerlaufspannung und bestimmtem inneren Widerstand an einen Verbraucher abgegebene Leistung soll in Abhängigkeit vom Widerstand des Verbrauchers untersucht werden. Die Auswertung kann anhand des Versuchs „Die Klemmenspannung“ vorgenommen werden.

Geräte und Meßschaltung wie im vorhergehenden Versuch „Die Klemmenspannung“.

Versuchsausführung: An die Stromquelle, deren Leerlaufspannung auf 20 V fest eingestellt worden ist, werden nacheinander die Belastungswiderstände 0 bis 1000 Ω geschaltet. Zu jedem Widerstand werden Spannung und Strom gemessen. Dabei kann auf die Meßwertreihe des vorhergehenden Versuchs zurückgegriffen werden.

Für jeden Belastungswiderstand ist die von ihm aufgenommene Leistung ($P = I \cdot U_k$) zu bestimmen.

Tabelle:

R_a	∞	1000	750	500	250	100	0	Ω
U_k								V
I								mA
P_{ab}								mW

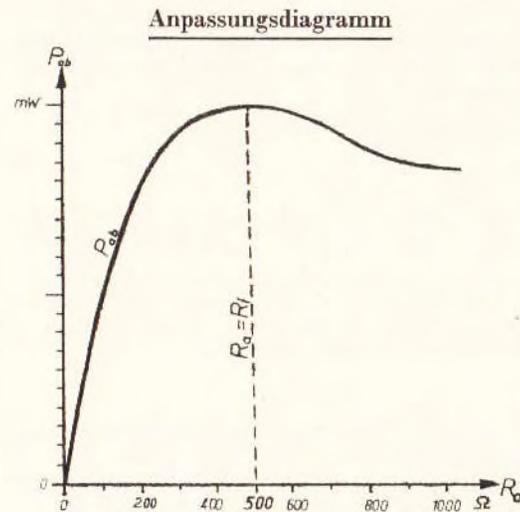
Anhand der Tabellenwerte soll in einem Diagramm die Abhängigkeit der abgegebenen Leistung von der Größe des Belastungswiderstands veranschaulicht werden.

Versuchsergebnis: Das dargestellte Diagramm läßt deutlich ein Leistungsmaximum erkennen. Dieses Maximum ergibt sich für den Fall, bei dem der Belastungswiderstand gleich dem Innenwiderstand der Stromquelle ist.

Daraus folgt:

Die von einer elektr. Stromquelle an einen Verbraucher abgegebene Leistung ist dann am größten, wenn der Belastungswiderstand R_a gleich dem Innenwiderstand R_i der Stromquelle ist. Diesen Belastungs-Sonderfall bezeichnet man als Anpassung: $R_a = R_i$.

Das Diagramm läßt erkennen, daß ein zu großer Anpassungswiderstand R_a weniger zur Fehlanpassung führt als ein zu kleiner.



(Abb. 83)

4.2.11. Die Belastbarkeit von Widerständen

Für die Verwendung von Widerständen als Bauteil ist die Beachtung der Belastbarkeit von großer Bedeutung. Nicht nur der Widerstandswert, sondern auch die vom Widerstand in Wärme umgesetzte elektrische Leistung sind für die richtige Funktion einer Schaltung maßgebend.

Versuchsziel: An einer Reihenschaltung von Widerständen soll erkannt werden, wie sich die falsche Wahl von Widerständen in bezug auf ihre Belastbarkeit auswirkt.

Geräte: Stromquelle (ca. 24 V/0,5 A), Widerstände (Kohleschicht) 50 Ω (0,25 W), 50 Ω (2 W), Voltmeter (Meßbereich bis 15 V), Milliampereometer (Meßbereich bis 250 mA).

Meßschaltung: Wie Abb. 74 zum Versuch „Die Reihenschaltung von Widerständen“, jedoch nur mit zwei Widerständen.

Versuchsausführung: An einer Spannung von 20 V werden ein 50-Ω-Widerstand (0,25 W belastbar) und ein 50-Ω-Widerstand (2 W belastbar) in Reihe geschaltet. Gleich nach dem Einschalten werden Strom und die Teilspannungen an den beiden Widerständen gemessen. Nach etwa 1 bis 2 Minuten werden die Messungen wiederholt.

Meßwerte: a) beim Einschalten

I	=	;
U_1	=	;
U_2	=	;

b) nach 1 bis 2 Minuten

I	=	;
U_1	=	;
U_2	=	;

Versuchsergebnis: Unmittelbar nach dem Einschalten sind die Teilspannungen an den Widerständen R_1 und R_2 gleich groß. Nach einer Betriebszeit von 1 bis 2 Minuten ist die Teilspannung am Widerstand mit 0,25 W Belastbarkeit kleiner geworden, wenn es sich um einen Kohleschichtwiderstand handelt. Der Widerstand hat sich dabei stark erwärmt. Die Erwärmung kann so stark sein, daß der Widerstand zerstört wird.

Folgerung:

Wird in einer Schaltung ein Widerstand mit zu geringer Belastbarkeit verwendet, so ändert sich nicht nur der Widerstandswert, der Widerstand erwärmt sich zu stark und wird u. U. zerstört.

Für die Versuchsschaltung ergeben sich folgende Werte:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{20 \text{ V}}{100 \Omega} = 0,2 \text{ A}$$

$$U_1 = I \cdot R_1 = 0,2 \text{ A} \cdot 50 \Omega = 10 \text{ V}; \quad P_1 = I^2 \cdot R_1 = 0,04 \cdot 50 = 2 \text{ W};$$

$$U_2 = I \cdot R_2 = 0,2 \text{ A} \cdot 50 \Omega = 10 \text{ V}; \quad P_2 = I^2 \cdot R_2 = 0,04 \cdot 50 = 2 \text{ W}.$$

Der Widerstand mit 0,25 W Belastbarkeit ist also 8fach belastet worden. Widerstände müssen in bezug auf die Belastbarkeit so konstruiert sein, daß sie die bei Nennbelastung erzeugte Wärme ausreichend schnell an die umgebende ruhende Luft abgeben können (große Belastbarkeit \cong große Oberfläche).

Empfohlene weitere Versuche,

- Ermitteln Sie die Zeit, nach der eine Rücklötsicherung (träge Sicherung) bei a) 25%, b) 50% Überlastung den Stromkreis unterbricht!
- Bestimmen Sie anhand des Sicherungswiderstands (Messung!) die Belastung der Sicherung in W a) bei Nennstrom, b) bei 25%, c) bei 50% Überlastung!

4.3. Wechselstrommessungen

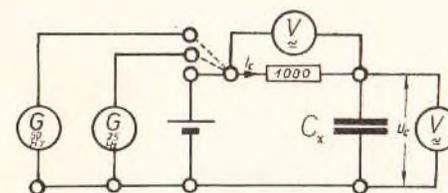
4.3.1. Die Abhängigkeit des kapazitiven Blindwiderstands von der Frequenz

Versuchsziel: Anhand von Spannungs- und Strommessungen an einem Kondensator an Gleichspannung bzw. an Wechselspannungen verschiedener Frequenz soll die Abhängigkeit des kapazitiven Blindwiderstands von der Frequenz ermittelt werden. Da einfache Vielfachinstrumente meistens nur Wechselspannungsmessbereiche enthalten, soll die indirekte Strommessung angewendet werden. Sollte ein Milliampereometer für Wechselstrom (10 mA) vorhanden sein, so ist dieses in der Meßschaltung anstelle der Parallelschaltung 1000-Ω-Widerstand-Voltmeter einzusetzen.

Geräte: Gleichstromquelle (ca. 24 V), Netzgerät 50 Hz (ca. 24 V/0,5 A), RSM 25 Hz (ca. 24 V/0,25 A), Widerstand 1000 Ω (0,25 W), Kondensator (ca. 1 bis 1,5 μF), Voltmeter (Meßbereich bis 25 V \sim), Voltmeter (Meßbereich bis 10 V \sim), Voltmeter (Meßbereich bis 30 V \sim).

Steht ein Vielfachinstrument mit entsprechenden Meßbereichen zur Verfügung, so können sämtliche Messungen nacheinander mit einem Instrument vorgenommen werden.

Meßschaltung:



(Abb. 84)

Versuchsausführung: Nacheinander werden durch Umschalten der Stromversorgung Kondensatorstrom (indirekt) und Kondensatorspannung gemessen.

Meßwerte:

1. Gleichstrom: an R_{1000} : $U = 0 \text{ V}$; das entspricht $I_c = \frac{0 \text{ V}}{1000 \Omega} = 0 \text{ A}$;

an C_x : $U = U_c = \text{ V}$;

2. Wechselstrom 25 Hz: an R_{1000} : $U_{\sim 25} = \text{ V}$; das entspricht $I_{c25} = \frac{\text{ V}}{1000 \Omega} = \text{ A}$;

an C_x : $U_{\sim 25} = \text{ V}$; das entspricht U_{c25} ;

3. Wechselstrom 50 Hz: an R_{1000} : $U_{\sim 50} = \text{ V}$; das entspricht $I_{c50} = \frac{\text{ V}}{1000 \Omega} = \text{ A}$;

an C_x : $U_{\sim 50} = \text{ V}$; das entspricht U_{c50} .

Versuchsergebnis: An Gleichspannung nimmt der Kondensator keinen Strom auf. Sein Widerstand ist unendlich groß. An Wechselspannung ist jedoch die Stromaufnahme um so größer, je höher die Frequenz des Wechselstroms ist. Die Berechnung des Widerstands aus den Meßwerten ergibt bei

- a) Gleichstrom: $X_c = \frac{U_c}{I_c} = \frac{V}{0A} = \infty \Omega$;
- b) Wechselstrom 25 Hz: $X_c = \frac{U_{c25}}{I_{c25}} = \frac{V}{A} = \Omega$;
- c) Wechselstrom 50 Hz: $X_c = \frac{U_{c50}}{I_{c50}} = \frac{V}{A} = \Omega$.

Daraus folgt:

Ein Kondensator besitzt für Gleichstrom einen praktisch unendlich großen Widerstand; er sperrt den Gleichstrom. **Im Wechselstromkreis ist der Blindwiderstand des Kondensators um so kleiner, je höher die Frequenz des Wechselstroms ist.** Der kapazitive Blindwiderstand ist der Frequenz umgekehrt verhältnismäßig:

$$X_c \sim \frac{1}{f}$$

Empfohlener weiterer Versuch:

Stellen Sie anhand von Spannungs- und Strommessungen bei verschiedenen Kapazitätswerten an 50-Hz-Wechselspannung die Abhängigkeit des kapazitiven Blindwiderstands von der Kapazität fest!

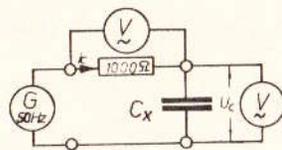
4.3.2. Die Kapazität

Versuchsziel: Durch indirekte Messung soll die Kapazität eines Kondensators bestimmt werden.

Geräte: Netzgerät 50 Hz (ca. 24 V/0,5 A), Kondensator (ca. 1...1,5 μ F), Widerstand 1000 Ω (0,25 W), Voltmeter (Meßbereich bis 10 V \sim), Voltmeter (Meßbereich bis 30 V \sim).

Die Messungen können auch nacheinander mit einem Vielfachinstrument durchgeführt werden.

Meßschaltung:



(Abb. 85)

Versuchsausführung: Der Kondensator unbekannter Kapazität wird über den 1000- Ω -Widerstand an Wechselspannung gelegt. Seine Stromaufnahme wird indirekt aus dem gemessenen Spannungsabfall am Vorwiderstand bestimmt. Die Spannung am Kondensator wird direkt gemessen.

Meßwerte: an R_{1000} : $U_{1000} = \quad$ V; das entspricht $I_c = \frac{V}{1000 \Omega} = \quad$ A;

an C_x : $U_c = \quad$ V.

Versuchsergebnis: Der Blindwiderstand des Kondensators ergibt sich zu

$$X_c = \frac{U_c}{I_c} = \frac{V}{A} = \Omega.$$

Aus der Formel $X_c = \frac{1}{\omega C}$ erhält man durch Umstellung

$$C = \frac{1}{\omega X_c}. \text{ Da mit Netzfrequenz 50 Hz gearbeitet wurde, beträgt}$$

$$\omega = 314. \text{ Somit ergibt sich für den Kondensator eine Kapazität}$$

$$\text{von } C = \frac{1}{314 \cdot \Omega} = \quad \text{F.}$$

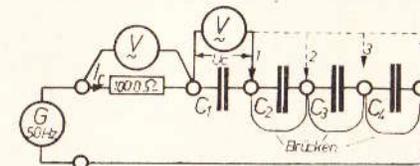
4.3.3. Die Reihenschaltung von Kapazitäten

Versuchsziel: Durch indirekte Messung der Gesamtkapazität einer Reihenschaltung von Kondensatoren soll die Gesetzmäßigkeit für die Reihenschaltung von Kapazitäten veranschaulicht werden.

Geräte: Netzgerät 50 Hz (ca. 42 V/0,5 A), 4 Kondensatoren (je ca. 2 μ F), Widerstand 1000 Ω (1 W), Voltmeter (Meßbereich bis 25 V \sim), Voltmeter (Meßbereich bis 50 V \sim).

Die Messungen können auch nacheinander mit einem Vielfachinstrument durchgeführt werden.

Meßschaltung:



(Abb. 86)

Versuchsausführung: Wie im vorhergehenden Versuch wird die Kapazität anhand von Strom- und Spannungsmessungen bestimmt. Die Reihenschaltung wird durch Entfernen der Drahtbrücken von einem auf zwei, drei und vier Kondensatoren nacheinander erweitert. Bei jeder Stufe werden Strom (indirekt) und Spannung der Kapazitätsschaltung gemessen.

Meßwerte:

<p>1 Kondensator</p> $I_c = \frac{U_{1000}}{1000 \Omega} = \quad \text{A};$ $U_c = \quad \text{V.}$	<p>2 Kondensatoren in Reihe</p> $I_{2c} = \frac{U_{1000}}{1000 \Omega} = \quad \text{A};$ $U_{2c} = \quad \text{V.}$
<p>3 Kondensatoren in Reihe</p> $I_{3c} = \frac{U_{1000}}{1000 \Omega} = \quad \text{A};$ $U_{3c} = \quad \text{V.}$	<p>4 Kondensatoren in Reihe</p> $I_{4c} = \frac{U_{1000}}{1000 \Omega} = \quad \text{A};$ $U_{4c} = \quad \text{V.}$

Versuchsergebnis: Die Berechnung der Gesamtkapazität ergibt für

1 Kondensator:

$$X_c = \frac{U_c}{I_c} = \frac{V}{A} = \quad ; \quad C = \frac{1}{\omega X_c} = \frac{1}{314 \cdot \quad} = \quad F;$$

2 Kondensatoren:

$$X_{2c} = \frac{U_{2c}}{I_{2c}} = \frac{V}{A} = \quad ; \quad C_2 = \frac{1}{\omega C_{2c}} = \frac{1}{314 \cdot \quad} = \quad F;$$

3 Kondensatoren:

$$X_{3c} = \frac{U_{3c}}{I_{3c}} = \frac{V}{A} = \quad ; \quad C_3 = \frac{1}{\omega X_{3c}} = \frac{1}{314 \cdot \quad} = \quad F;$$

4 Kondensatoren:

$$X_{4c} = \frac{U_{4c}}{I_{4c}} = \frac{V}{A} = \quad ; \quad C_4 = \frac{1}{\omega X_{4c}} = \frac{1}{314 \cdot \quad} = \quad F.$$

Daraus folgt:

In einer Reihenschaltung von Kondensatoren (Kapazitäten) ist die Gesamtkapazität kleiner als die kleinste Einzelkapazität:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} \dots$$

Werden Kondensatoren genau gleicher Kapazität verwendet, so beträgt die Gesamtkapazität bei Reihenschaltung von 2 Kondensatoren $C = \frac{C_1}{2}$,

$$\text{von 3 Kondensatoren } C = \frac{C_1}{3},$$

$$\text{von 4 Kondensatoren } C = \frac{C_1}{4}.$$

Empfohlener weiterer Versuch:

Ermitteln Sie die Gesetzmäßigkeit für die Parallelschaltung von Kapazitäten. Messen Sie Strom und Spannung an einem, zwei, drei und vier Kondensatoren in Parallelschaltung und bestimmen Sie jeweils die Gesamtkapazität. (Für die indirekte Strommessung muß bei Verwendung der Geräte aus dem vorhergehenden Versuch der 1000-Ω-Widerstand eine Belastbarkeit von 1,5 bis 2 W haben.)

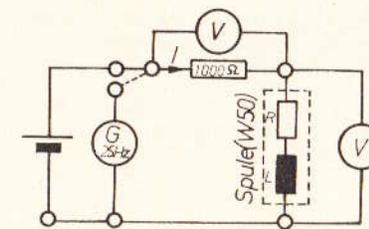
4.3.4. Die Bestimmung der Spuleninduktivität

Meßübungen mit Spulen, z. B. Reihen- und Parallelschaltungen, erfordern einen verhältnismäßig hohen Aufwand an Rechnungen, da bei Spulen der Wirkwiderstand nicht vernachlässigt werden kann. Aus diesem Grunde soll in diesem Rahmen nur die Bestimmung der Spuleninduktivität mit Hilfe von Gleich- und Wechselstrommessungen aufgezeigt werden.

Versuchsziel: Durch Bestimmung des Gleichstromwiderstands und des Wechselstromscheinwiderstands einer Spule anhand von Spannungs- und Strommessungen soll die Induktivität einer Spule ermittelt werden.

Geräte: Gleichstromquelle (ca. 24 V/0,5 A), Wechselstromquelle 25 Hz (ca. 42 V/0,25 A), Wechselstromwecker W 50, Widerstand 1000 Ω (0,25 W), Voltmeter (Meßbereich 15 V₌), Voltmeter (Meßbereich 15 V_~), Voltmeter (Meßbereich 50 V_~).

Meßschaltung:



(Abb. 87)

Versuchsausführung: Zunächst werden Stromaufnahme und Spannung an der Spule des Weckers bei Gleichstromspeisung gemessen. Anschließend werden nach Umschalten der Stromversorgung auf 25-Hz-Wechselstrom (RSM) entsprechend Wechselstrom und -spannung an der Spule gemessen.

Meßwerte:

1. Gleichstrom:

$$\text{an } R_{1000}: U_{=} = \quad V; \quad \text{das entspricht } I_{=} = \frac{V}{1000 \Omega} = \quad A;$$

$$\text{an der Spule: } U_{=} = \quad V;$$

2. Wechselstrom:

$$\text{an } R_{1000}: U_{\sim} = \quad V; \quad \text{das entspricht } I_{\sim} = \frac{V}{1000 \Omega} = \quad A;$$

$$\text{an der Spule: } U_{\sim} = \quad V.$$

Versuchsergebnis: Die Gleichstrommessung ergibt den Wirkwiderstand der Spule:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{V}{A} = \quad \Omega.$$

Aus Wechselstrom und Wechselspannung läßt sich der Scheinwiderstand der Spule berechnen:

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{V}{A} = \quad \Omega.$$

Den Blindwiderstand können wir aus der Beziehung

$$Z^2 = R^2 + X_L^2 \text{ bestimmen.}$$

Durch Umstellung der Formel erhalten wir

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

$$X_L = \sqrt{\quad} = \sqrt{\quad} = \quad \Omega.$$

Da $X_L = \omega \cdot L$ ist und ω für 25 Hz den Wert 157 ergibt, können wir jetzt L berechnen:

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{\quad}{157} = \quad H.$$

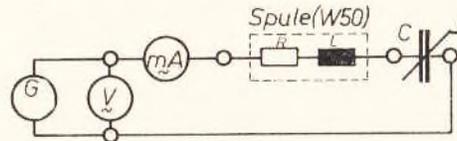
Die Induktivität des Wechselstromweckers 50 ergibt sich zu etwa 16 bis 17 H.

4.3.5. Die Reihenresonanz

Versuchsziel: Die Reihenschaltung einer Spule (Wechselstromwecker 50) mit einem Kondensator soll bei Wechselstromspeisung mit konstanter Frequenz (25 Hz) durch Verändern der Kapazität auf Resonanz abgestimmt werden.

Geräte: Wechselstromquelle (RSM 25 Hz/ca. 24 V), Wechselstromwecker W 50, Kondensatoren 0,2, 0,5, 1, 2, 4, 8 μF , Milliampere-meter (Meßbereich bis 20 mA \sim), Voltmeter (Meßbereich bis 25 V \sim).

Meßschaltung:



(Abb. 88)

Versuchsausführung: Die Reihenschaltung Spule-Kondensator wird an konstanter Spannung bei konstanter Frequenz betrieben. Der Kapazitätswert wird stufenweise von 0,2 μF auf 0,5 μF , 1 μF , 2 μF , 2,2 μF , 2,5 μF , 3 μF , 4 μF und 8 μF erhöht. In jeder Stufe wird der fließende Wechselstrom gemessen. Sollte kein Milliampere-meter für Wechselstrommessungen zur Verfügung stehen, so kann auch – wie in den vorhergehenden Versuchen – indirekt mit einem Voltmeter an 1000 Ω gemessen werden.

Meßwerte:

C	0,2	0,5	1	2	2,2	2,5	3	4	8	μF
I										mA

Versuchsergebnis: Der höchste Strom fließt in der Reihenschaltung mit einer Kapazität von μF . In diesem Fall ist der Kreis nahezu auf Resonanz abgestimmt. Da wir die Induktivität des Weckers bereits bestimmt haben (Meßversuch 4.3.4.), können wir den genauen Kapazitätswert für den Resonanzfall auch berechnen.

Für Resonanz gilt:

$$X_L = X_C$$

$$\omega \cdot L = \frac{1}{\omega C}$$

$$C = \frac{1}{\omega^2 \cdot L} = \frac{1}{157^2 \cdot \quad} = \quad \text{F.}$$

Empfohlener weiterer Versuch:

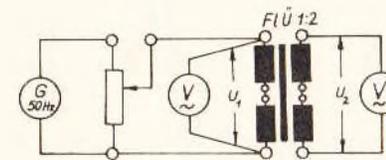
Bestimmen Sie durch eine entsprechende Meßreihe bei 50-Hz-Wechselstrom den Kapazitätswert zur Abstimmung auf Reihenresonanz! Prüfen Sie das Ergebnis durch Berechnung des Kapazitätswerts! Warum wird im Fernsprechapparat dem Wecker ein Kondensator mit dem Kapazitätswert 1 μF vorgeschaltet, obgleich er die Resonanzbedingung nicht erfüllt?

4.3.6. Das Übersetzungsverhältnis eines Fernleitungsübertragers

Versuchsziel: Das Übersetzungsverhältnis eines Fernleitungsübertragers bezieht sich auf das Verhältnis von Primär- zu Sekundärwellenwiderstand (Scheinwiderstand). Durch Messung des Spannungs-Übersetzungsverhältnisses soll für einen Übertrager der Zusammenhang zwischen Widerstands- und Spannungs-Übersetzungsverhältnis ermittelt werden.

Geräte: Wechselstromquelle 50 Hz (ca. 24 V/0,25 A), Regelwiderstand (Potentiometer) 1000 Ω , Fernleitungsübertrager 1:2, Voltmeter (Meßbereich bis 25 V \sim), Voltmeter (Meßbereich bis 50 V \sim).

Meßschaltung:



(Abb. 89)

Versuchsausführung: Die Wechselspannung wird über ein Potentiometer der Primärwicklung des Übertragers zugeführt. Es genügen zwei Spannungseinstellungen für die Primärspannung (z. B. 10 V und 20 V). Bei beiden Einstellungen werden Primärspannung und Sekundärspannung gemessen.

Meßwerte:

$$U_{11} = 10 \text{ V}; U_{21} = \quad \text{V};$$

$$U_{12} = 20 \text{ V}; U_{22} = \quad \text{V}.$$

Versuchsergebnis: Die Meßwerte ergeben für den Fernleitungsübertrager folgendes Übersetzungsverhältnis der Spannungen

$$\hat{u} = \frac{U_{11}}{U_{21}} = \frac{\text{V}}{\text{V}} = \frac{1}{\quad}; \quad \hat{u} = \frac{U_{12}}{U_{22}} = \frac{\text{V}}{\text{V}} = \frac{1}{\quad}.$$

Vergleichen wir die Ergebnisse (die gleich sein müßten!) mit dem auf dem Übertrager angegebenen Übersetzungsverhältnis, so stellen wir fest:

$$\text{Spannungsübersetzungsverhältnis} = 1 : \quad,$$

$$\text{Widerstandsübersetzungsverhältnis} = 1 : 2.$$

Daraus folgt:

Das Widerstandsübersetzungsverhältnis ($\hat{u}_Z = Z_1 : Z_2$) ist gleich dem Quadrat des Spannungsübersetzungsverhältnisses:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{U_1^2}{U_2^2} \text{ oder } \hat{u}_Z = \hat{u}^2$$

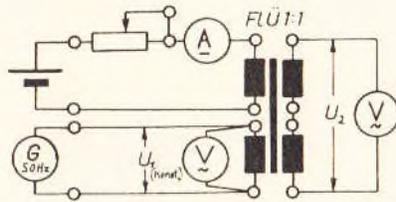
4.3.7. Der Einfluß der Gleichstromvormagnetisierung des Eisenkerns auf die Wirkungsweise eines Übertragers

Versuchsziel: Die Wirkungsweise eines Fernleitungsübertragers bei steigender Gleichstrommagnetisierung des Eisenkerns soll untersucht werden.

Geräte: Als Fernleitungsübertrager empfiehlt sich die Verwendung des Typs Fha 32. Der Wirkwiderstand einer Wicklungshälfte beträgt beim Übersetzungsverhältnis 1:1 ca. 40 Ω . Auf diesen Übertrager sind die Geräte abgestimmt.

Wechselstromquelle (ca. 24 V/0,25 A), Gleichstromquelle (ca. 40 V/1 A), Regelwiderstand 330 Ω (mind. 0,5 A), Amperemeter (Meßbereich bis 0,5 A), Voltmeter (Meßbereich bis 25 V \sim), Voltmeter (Meßbereich bis 50 V \sim).

Meßschaltung:



(Abb. 90)

Versuchsausführung: An eine Hälfte der Primärwicklung wird eine Wechselspannung von etwa 20 bis 24 V gelegt. Die Primärspannung und die Sekundärspannung werden durch Voltmeter angezeigt. Über die zweite Hälfte der Primärwicklung läßt man einen Gleichstrom fließen, der in Stufen von 0, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 und 0,5 A mit dem Regelwiderstand eingestellt und durch das Amperemeter gemessen wird. In jeder Stufe wird die Sekundärspannung gemessen.

Meßwerte:	$I = 0$ A;	$U_2 \sim =$	V;
	$I = 0,1$ A;	$U_2 \sim =$	V;
	$I = 0,2$ A;	$U_2 \sim =$	V;
	$I = 0,3$ A;	$U_2 \sim =$	V;
	$I = 0,4$ A;	$U_2 \sim =$	V;
	$I = 0,5$ A;	$U_2 \sim =$	V.

Versuchsergebnis: Mit steigender Gleichstrommagnetisierung des Eisenkerns wird die Sekundärspannung geringer, obgleich sich weder das Windungszahlenverhältnis, noch die Primärspannung geändert haben. Infolge der steigenden Vormagnetisierung wächst der Sättigungsgrad des Eisenkerns. Damit wird die mögliche Änderung des magnetischen Flusses durch Wechselstrom geringer. Würde man die Vormagnetisierung weiter steigern (was wegen der begrenzten Belastbarkeit der Wicklungen nicht möglich ist), so würde die Sekundärspannung nahezu auf den Wert Null sinken.

Daraus folgt:

Die Wirkungsweise eines Übertragers wird durch den Grad der Vormagnetisierung seines Eisenkerns stark beeinflusst.

Deshalb erhalten z. B. die Eisenkerne der Induktionsspulen einen Luftspalt. Der Gleichstrom kann auch durch Reihenschaltung eines Kondensators zur Wicklung vom Übertrager ferngehalten werden.

5. Meßübungen an Fernsprechapparaten und NStAnl

5.1. Allgemeines über das Entstören von Fernsprechteilnehmereinrichtungen

Die wichtigsten Voraussetzungen für das erfolgreiche Entstören eines Apparates oder einer Anlage sind:

Gute Kenntnisse über die Grundlagen der Elektrotechnik und der Fernmeldetechnik,

gute Kenntnisse über Aufbau und Wirkungsweise der verwendeten Bauteile,

Sicherheit im Schaltungslesen, hierzu zählen

Stromlaufzeichnungen (Sz),

Übersichtspläne (Üp),

Bauschaltpläne (Bp),

Relaisdiagramme (Di),

Schaltzeichen nach DIN 40700,

Tabellen (Ta),

Kenntnisse über die Zählweise der Kontakte und Wicklungsanschlüsse bei Relais (vgl. hierzu Band B 2 des „Handbuchs der Fernmeldetechnik“),

Erfahrungen über das Bedienen der Prüf- und Meßgeräte und

gute Kenntnisse über die Bedienung der Fernsprechapparate und Nebenstellenanlagen.

Zum letzten Punkt gehören z. B. Kenntnisse über die wesentlichen Aufgaben der Relais und sonstigen Bauteile einer NStAnl.

Die wichtigsten Prüf- und Meßgeräte sowie Hilfsmittel sind im Abschnitt 2.4. kurz beschrieben worden.

Hierzu gehören:

Der Prüfhörer (Prüfgerät Nr. 1): Dieses vom Entstörer vorwiegend benutzte Prüfgerät eignet sich gut zum Eingrenzen von Unterbrechungsfehlern. Es ist leicht, anzeigempfindlich und handlich in der Bedienung. Bei neueren Prüfhörern (Prüfgerät Nr. 1a) ist der Innenwiderstand umschaltbar von 600 Ω auf 10 k Ω . Bei den älteren (Prüfgerät Nr. 1) läßt sich ein Kondensator vorschalten. Das Prüfergebnis – **lautes oder weniger lautes Knacken** – sagt aber nichts aus über die genaue Höhe des Stromes bzw. der Widerstände und über evtl. vorhandene Nebenschlüsse. Außerdem kann der in Reihe geschaltete Widerstand des Fernhörers Fehlstrom für die Relais bedeuten.

Das **Vielfachmeßinstrument** für die Fernsprechentstörung (VmFeE). Es ist für die Fernsprechentstörung speziell entwickelt worden und eignet sich zum Messen von Widerständen und Spannungen.

Hilfsmittel: Hierunter versteht man Prüfschnüre mit Prüfspitzen oder -klammern zum schnellen Festlegen der Prüfspitzen an die Lötösen oder Kontaktfedern, Isolierstreifen zum Isolieren von Kontakten, Quetschklammern (Krokodilklemmen) zum Festlegen von Relaisankern u. ä.

Das **Prüfgerät 41** ist ein Gerät zum Messen der 16-kHz-Impulse und der Leitungsdämpfung.

Das **Prüfgerät 57** ist geeignet zum Prüfen der Leitungen und Inneneinrichtungen.

Der **Automatische Prüfplatz** dient zum Überprüfen der Leitungen, des Weckers, des Sprechkreises und des NrS einer TIn-Einrichtung.

Das **Kabeladerprüfgerät:** Mit Hilfe dieses Geräts lassen sich Vertauschungen und Berührungen in Kabeln leicht prüfen.

In diesem Band sollen an einigen Beispielen praktische Entstörungsversuche an Fernsprechapparaten und NStAnl aufgezeigt werden. Grundsätzlich gilt hierzu folgendes:

Die Untersuchung eines von der **HAsI abgetrennten FeAp** wird zweckmäßig mit dem **VmFeE** (Ohmmeter) vorgenommen, dagegen wird bei einer NStAnl zum schnellen Durchprüfen auch der Prüfhörer von großem Nutzen sein. Nur in Ausnahmefällen, wenn es wirklich nicht anders möglich ist, darf die HAsI als Spannungsquelle zum Prüfen mit dem Prüfhörer verwendet werden, da bei jedem Schleifenschluß die Amtseinrichtung belegt wird. Bei NStAnl wird in jedem Falle mit den Spannungen des Gleichrichtergerätes geprüft.

Der Entstörer muß sich beim Eingrenzen eines Fehlers immer von der Überlegung leiten lassen, daß es 2 wichtige Arten von Fehlern gibt:

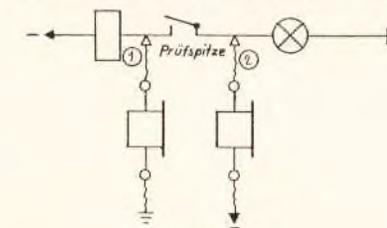
die **Unterbrechungsstörung** und
die **Nebenschlußstörung.**

Während es sich bei der Unterbrechung tatsächlich um eine Stromkreisunterbrechung handelt, liegt bei der Nebenschlußstörung ein Parallelweg vor, der ein wichtiges Bauteil, z. B. Relais, durch seinen mehr oder weniger großen Widerstand überbrückt. Beide Fehler müssen nach verschiedenen Methoden gesucht werden. Im 1. Fall wird ein einfaches „Durchknacken“ zum Ziele führen. Bei der Nebenschlußstörung werden sich jedoch eine Widerstandsmessung und evtl. ein Drahtauslöten nicht umgehen lassen.

Wie geht man nun am erfolgversprechendsten mit dem Prüfgerät Nr. 1 um?

Ein Unterbrechungsfehler wird mit dem Prüfhörer eingegrenzt, indem man den Stromkreis mit einer Prüfspitze an leicht zugänglichen Stellen absucht und die andere Prüfspitze mit dem Gegenpotential des Teilprüfstromkreises versieht. Es muß also im Prüfstromkreis immer Plus- und Minus-Potential vorhanden sein.

Arbeitsbeispiele mit dem Prüfhörer



(Abb. 91)

Im Fall 1 sucht die Prüfspitze das Minus-Potential am Relais, im Fall 2 das Plus-Potential an der Lampe.

Es ist sinnvoll, einen langen Stromkreis mit einem Unterbrechungsfehler nicht von einem Ende aus abzusuchen, der Fehler könnte ja genau am anderen Ende liegen. Man bestimmt, von der Mitte ausgehend, erst einmal die Stromkreishälfte, die den Fehler enthält. Ist der gestörte Teil des Stromkreises gefunden, so muß Punkt für Punkt (Kontakt, Lötöse, Klemme, Steckverbindung usw.) abgesucht werden, bis das Knacken aufhört. Zwischen diesem Punkt und dem letzten Knackpunkt liegt der Fehler.

Zu beachten ist jedoch dabei, daß der Stromkreis nachgebildet werden muß, d. h., offene Relaiskontakte müssen zuvor geschlossen werden, z. B. durch Festlegen der Relaisanker mit Krokodilklemmen. Außerdem müssen gleichstromsperrende Bauelemente, wie Kondensatoren und Dioden, im Stromkreis entsprechend berücksichtigt werden.

Ein Unterbrechungsfehler kann aber auch mit dem VmFeE eingegrenzt werden. Hierbei ist die Anlage unbedingt **spannungsfrei** zu machen, also der Netzstecker zu ziehen und evtl. die HAsI aufzutrennen. Auch ist auf Parallelkreise und galvanische Verbindungen mit dem Gleichrichtergerät zu achten. Diese sind am besten aufzutrennen. Überhaupt sollte vor jeder Entstörung die Betriebsspannung einer NStAnl mit dem VmFeE gemessen werden, denn häufig ist eine nicht mehr ausreichende Spannung, hervorgerufen durch das Altern der Gleichrichter, die Ursache eigenartig erscheinender Störungen.

Der Vorteil der Widerstandsmessung gegenüber der „Knackmethode“ ist die exakte Aussage des Ohmmeters über die Höhe der einzelnen Widerstände. Es lassen sich daher beim Abtasten des Stromkreises Kontrollen darüber anstellen, ob der in der Stromlaufzeichnung angegebene Widerstandswert mit der Wirklichkeit übereinstimmt.

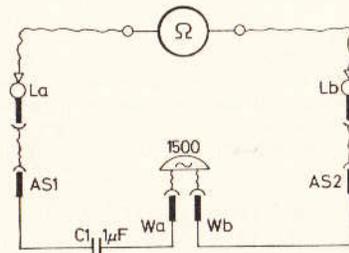
Liegen zu untersuchende Stromkreise parallel oder liegt ein Nebenschlußfehler vor, so müssen die Nebenschlußwege durch Auslöten der Drahtverbindungen aufgetrennt werden. Diese Methode ist jedoch nur dann nötig, wenn die Parallelwege durch Kontakte nicht aufzutrennen sind, z. B. durch Einlegen eines Isolierstreifens zwischen 2 Kontaktfedern.

5.2. Prüfen und Entstören eines FeAp 61

Der FeAp wird zweckmäßig mit dem VmFeE in Widerstandsmeßschaltung geprüft. Vor Beginn der Prüfung muß er von der HASI abgetrennt werden. Für die normalen Prüfungen brauchen wir ihn nicht zu öffnen.

5.2.1. Prüfung des Anrufstromkreises

Prüfung des Anrufstromkreises



(Abb. 92)

Auszuführende Arbeiten

Der Handapparat liegt auf. Das VmFeE ist auf den kOhm-Bereich einzustellen und über die Anschaltklemmen $\boxed{-a}$ und $\boxed{b+}$ mit dem FeAp (La, Lb) zu verbinden. In Abständen von etwa einer Sekunde ist die Taste a/b, b/a des VmFeE zu betätigen.

Ergebnisse

Der Zeiger des Meßwerks muß bis zu einem bestimmten Punkt ausschlagen und dann langsam in seine Ruhelage zurückkehren. Beim Betätigen der Taste wird der Kondensator des FeAp über das Anzeigeelement aufgeladen und entladen. Dabei erreicht der Zeiger etwa den Wert „15“ der oberen Skala.

Das entspricht der Kapazität von etwa 1 μF. Auf der VmFeE-Skala sind nur die Kapazitätswerte 2, 4 und 6 μF grob markiert.

5.2.2. Prüfen der Induktionsspule mit komplexer Nachbildung, der Weckerspule und des Funkenlöschwiderstandes

Prüfen der Induktionsspule, der Weckerspule und des Funkenlöschwiderstandes

Auszuführende Arbeiten

Der Handapparat ist abzuheben und die Sprechkapsel herauszunehmen. Das VmFeE wird mit dem mittleren Widerstandsmeßbereich ($\Omega \times 10$) an die Klemmen La und Lb gelegt.

Ergebnisse

Das VmFeE muß bei einem Weckerwiderstand von 1500 Ohm einen Gesamtwiderstand etwa 700 Ohm anzeigen.

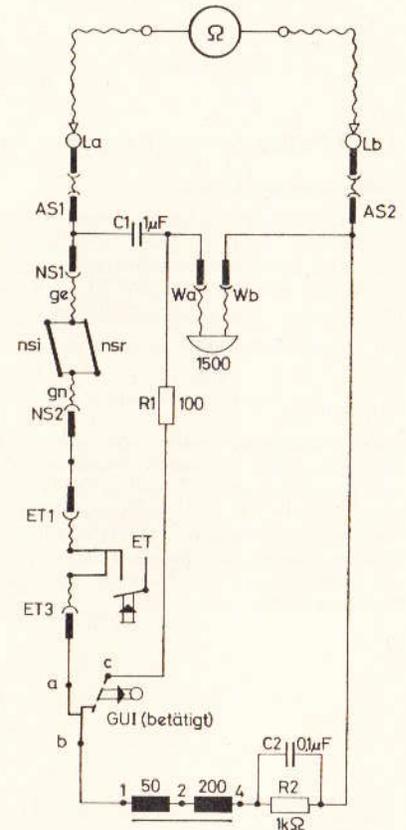
Der Weckerwiderstand liegt mit dem 100-Ohm-Funkenlöschwiderstand in Reihe, ebenso die 250 Ohm vom Übertrager mit dem 1-kOhm-Nachbildwiderstand. Beide Reihenkreise sind parallelgeschaltet.

$$R_g = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2}$$

$$R_g = \frac{1600 \Omega \cdot 1250 \Omega}{1600 \Omega + 1250 \Omega}$$

$$R_g = \frac{2000000 \Omega^2}{2858 \Omega}$$

$$R_g = 705 \text{ Ohm}$$



(Abb. 93)

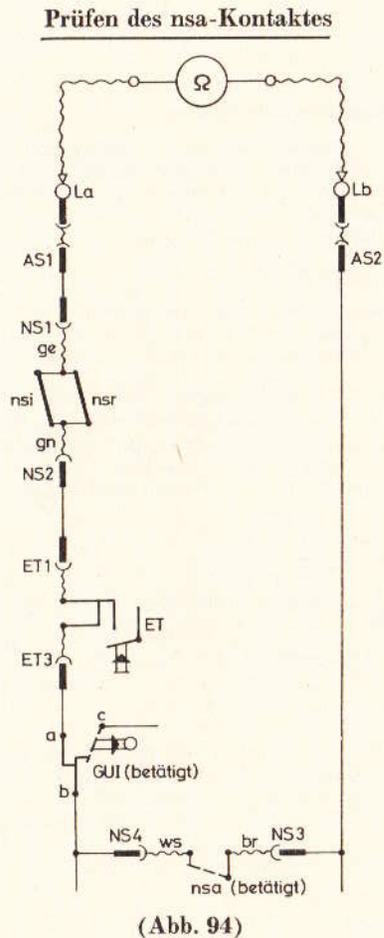
5.2.3. Prüfen des nsa-Kontaktes

Auszuführende Arbeiten

Der Handapparat wird zur Messung abgenommen. Das VmFeE ist auf den kleinsten Bereich (Ohm) einzustellen und mit den Anschaltetelemlen $\boxed{-a}$ und $\boxed{b+}$ an die Apparateklemmen La und Lb anzuschließen. Der NrS ist aufzuziehen!

Ergebnisse

Das Instrument muß nahezu **0 Ohm** anzeigen, denn der nsa-Kontakt schließt alle Bauteile kurz. Bei merklicher Widerstandsangabe ist der Kurzschlußstromkreis nicht in Ordnung. Übergangswiderstände können am nsi/nsr-Kontakt, an der Erdtaste, am GU- und am nsa-Kontakt entstehen.



5.2.4. Prüfung des nsi/nsr-Kontaktes

Auszuführende Arbeiten

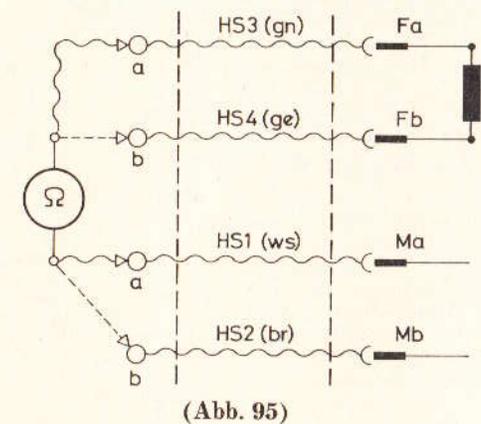
Der FeAp wird wie unter Prüfung 5.2.3. an das VmFeE angeschaltet. Man wählt zunächst die Ziffer „Null“, anschließend eine „Eins“.

Ergebnisse

Beim Ablauf des NrS muß der Zeiger des VmFeE pulsieren. Bei der Wahl der Ziffer „Eins“ darf der Zeiger deutlich nur einen Impuls anzeigen.

5.2.5. Prüfung der Handapparatschnur auf Berührung

Prüfen der Handapparatschnur



Auszuführende Arbeiten

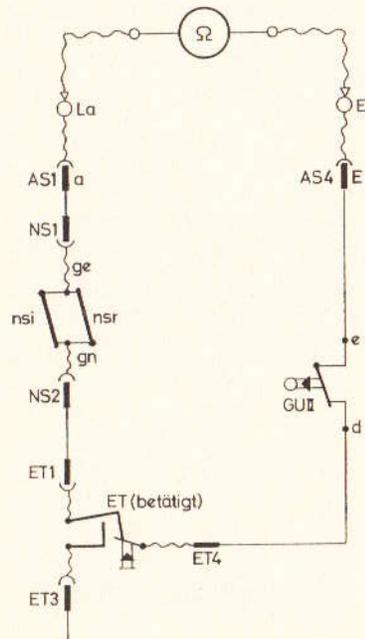
Die Hör- und Sprechkapseln sind aus dem Handapparat herauszunehmen. Das VmFeE ist mit den Anschaltetelemlen $\boxed{-a}$ und $\boxed{b+}$ an je eine Feder des Hör- und Sprechkapselinsatzes zu legen. Man wählt den größten Meßbereich (kOhm). Während der Messung wird die Handapparatschnur bewegt.

Ergebnisse

Der Widerstand muß größer als 1 MOhm sein, nahezu $\infty \Omega$ groß. Sollte der Zeiger beim Bewegen der Handapparatschnur ausschlagen, dann muß die Schnur ausgetauscht werden. Es besteht Berührung zwischen den Adern.

5.2.9. Prüfung der Erdtaste

Prüfung der Erdtaste



(Abb. 99)

Auszuführende Arbeiten

Das VmFeE ist wiederum im kleinsten Widerstandsmeßbereich (Ω) an die Apparatklemmen La und E zu legen. Die Erdtaste ist zu drücken.

Ergebnisse

Bei abgenommenem Handapparat und gedrückter Erdtaste muß der Widerstandswert nahezu **0 Ohm** betragen.

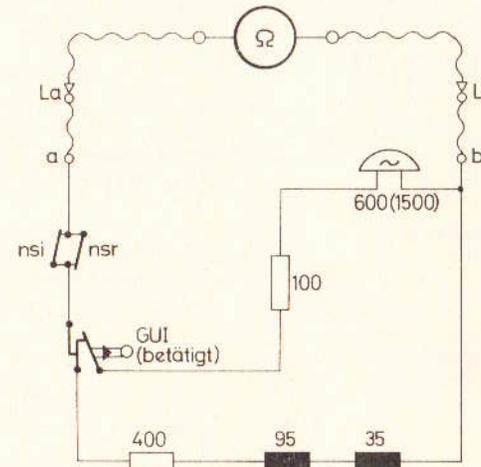
Bei Abweichungen vom angegebenen Wert wird der Apparat geöffnet und der entsprechende Stromkreis mit dem VmFeE von Punkt zu Punkt gemessen. Zu beachten ist, daß durch verschmutzte Kontakte Übergangswiderstände entstehen können.

5.3. Prüfen und Entstören eines W 48

Auch diesen FeAp prüft man zweckmäßig mit dem VmFeE, ohne ihn zu öffnen. Der Apparat wird dazu von der HASl abgetrennt.

5.3.1. Prüfen des Anrufstromkreises

Prüfen des Kondensators im Anrufstromkreis



(Abb. 100)

Auszuführende Arbeiten

Der Handapparat liegt auf und das VmFeE ist mit seinen Anschaltklemmen \boxed{a} und \boxed{b} an die Klemmen La und Lb in der Klemmdose angeschlossen. Im größten Widerstandsmeßbereich ($k\Omega$) betätigt man die Vertauschtaste a/b.

Ergebnisse

Der Zeiger des Instruments schlägt bis zu einem bestimmten Punkt aus und kehrt dann in die Ruhelage zurück. Die Kapazität kann dabei grob bestimmt werden (vgl. hierzu 5.2.1.).

5.3.2. Prüfen der Induktionsspule und des Wecker-Funkenlöschwiderstands-Nebenschlußkreises

Auszuführende Arbeiten

Der Handapparat ist abzuheben, die Sprechkapsel herauszunehmen und das VmFeE im mittelsten Widerstandsmeßbereich ($\Omega \times 10$) an die Klemmen La und Lb anzulegen.

$$R_g = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2}$$

$$R_g = \frac{1600 \Omega \cdot 520 \Omega}{1600 \Omega + 520 \Omega}$$

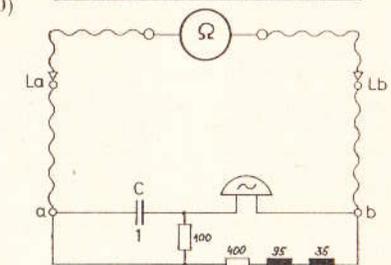
$$R_g = \frac{832000 \Omega^2}{2120 \Omega}$$

$$R_g = \underline{\underline{400 \text{ Ohm}}}$$

Ergebnisse

Das Meßgerät muß bei einem Weckerwiderstand von $2 \times 300 \text{ Ohm}$ (1500) einen Gesamtwiderstand von **300 (400) Ohm** anzeigen.

Prüfen der Induktionsspule



(Abb. 101)

Die Weckerspule liegt mit dem 100-Ohm-Widerstand in Reihe, ebenso der Nachbildwiderstand mit der Induktionsspule. Beide Reihenschaltungen liegen parallel.

5.3.3. Prüfen des nsa-Kontaktes

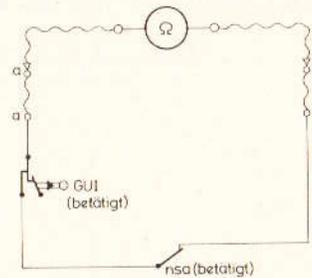
Auszuführende Arbeiten

Der Handapparat ist abzuheben und das VmFeE im niedrigsten Widerstandsbereich (Ω) an die Apparateklemmen La und Lb anzuschalten. Anschließend wird der Nrs aufgezogen.

Ergebnisse

Das Instrument muß **0 Ohm** anzeigen, andernfalls ist der Kurzschlußstromkreis nicht in Ordnung (vgl. hierzu 5.2.3.).

Prüfen des nsa-Kontaktes



(Abb. 102)

5.3.4. Prüfen der Handapparatschnur

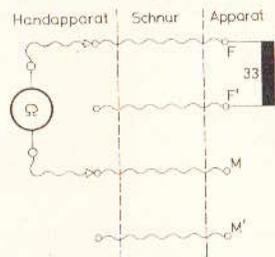
Auszuführende Arbeiten

Die Sprechkapsel ist aus dem Handapparat herauszunehmen und das VmFeE an je eine Feder des Hör- und Sprechkapselraumes anzuschalten. Es wird der größte Widerstandsbereich ($k\Omega$) gewählt.

Ergebnisse

Der gemessene Wert muß nahezu $\infty \Omega$ groß sein. Das bedeutet, beim Anschalten des Instruments darf sich der Zeiger kaum aus seiner Ruhelage verändern. Entsteht beim Bewegen der Schnur eine Widerstandsminderung, so ist die Schnur auszuwechseln.

Prüfen der Handapparatschnur



(Abb. 103)

5.3.5. Prüfen der Induktionsspule und des Gehörschutzgleichrichters

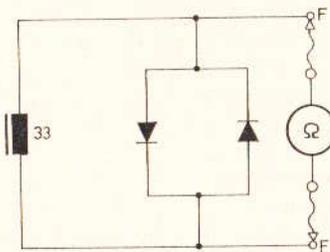
Auszuführende Arbeiten

Das VmFeE ist im niedrigsten Widerstandsbereich an je eine Feder im Hörkapsel-einsatzraum anzulegen.

Ergebnisse

Der Meßwert liegt bei **30 Ohm** (vgl. hierzu die Erklärung unter 5.2.7.).

Prüfen der Induktionsspule und des Gleichrichters



(Abb. 104)

5.3.6. Prüfen des Mikrofonstromkreises

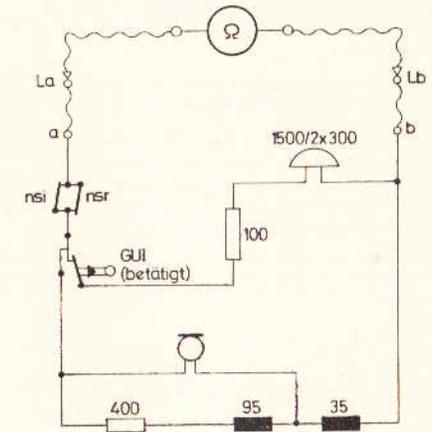
Auszuführende Arbeiten

Das VmFeE wird im mittleren Widerstandsbereich ($\Omega \times 10$) an die Apparateklemmen La und Lb gelegt. Anschließend ist der Handapparat zu bewegen.

Ergebnisse

Auf Grund der schwankenden Widerstandswerte des Mikrofons ergibt sich ein Meßergebnis von etwa **200 bis 300 Ohm**.

Prüfen des Mikrofonstromkreises



(Abb. 105)

5.3.7. Prüfen der W2-Ltg

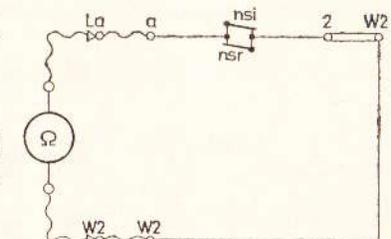
Auszuführende Arbeiten

Das VmFeE wird im niedrigsten Widerstandsbereich (Ω) an die Klemmen W2 und La angelegt.

Ergebnisse

Der Meßwert muß **0 Ohm** betragen, da die W2-Ltg über die Verbindung 2-W2 die verlängerte a-Ltg darstellt und keine Widerstände enthält.

Prüfen der W2-Ltg



(Abb. 106)

5.3.8. Prüfen der Erdtastenfunktion

Auszuführende Arbeiten

Das VmFeE wird im niedrigsten Widerstandsmeßbereich (Ω) an die Klemmen La und E angelegt.

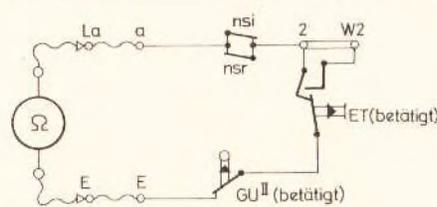
Ergebnisse

Bei betätigter Erdtaste soll der Meßwert **0 Ohm** betragen.

Bei Abweichungen von den angegebenen Werten muß der Apparat geöffnet und der entsprechende Stromkreis mit dem VmFeE schrittweise abgetastet werden.

Handelt es sich um einen Nebenschlußfehler, dann wird der Stromkreis so weit aufgetrennt, bis der Nebenschlußstromkreis gefunden ist.

Prüfen der Erdtastenfunktion



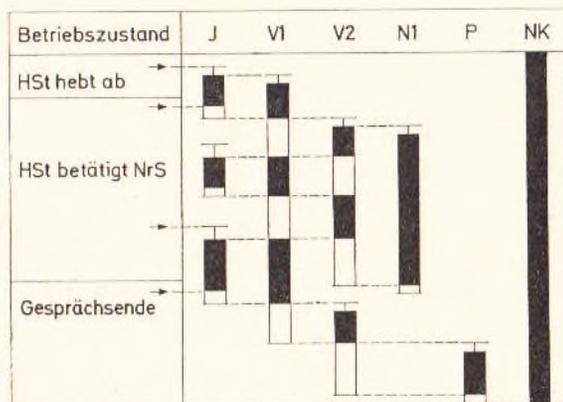
(Abb. 107)

5.4. Prüfen und Entstören einer WNStAnl W 1/1 (161)

5.4.1. Eingrenzen und Beseitigen einer Unterbrechungsstörung

Als Beispiele für eine Unterbrechungsstörung soll angenommen werden, daß es sich um einen Fehler im Innenverbindungswege handelt. Bei der Überprüfung der Anlage wurde festgestellt, daß die HSt die NSt nicht rufen kann. Um einen Fehler in der Stromversorgung auszuschließen, ist es sinnvoll, vor jeder weiteren Eingrenzung die Speise- und Rufspannung im Gleichrichtergerät zu messen. Die Speisenspannung beträgt im Leerlauf 30 V, die Rufspannung 60 V.

Relaisdiagramm



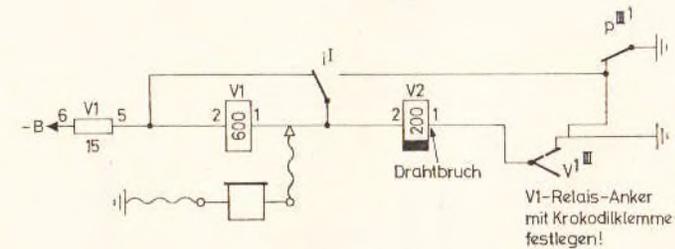
(Abb. 108)

Anhand des Relaisdiagramms kann zuerst festgestellt werden, ob die erforderlichen Relais angesprochen haben. Im angenommenen Falle zeigt sich, daß das V2-Relais bei der internen Wahl nicht anspricht. Es wird daraufhin ein Unterbrechungsfehler vermutet.

Zum Prüfen des Stromkreises muß der Anzugsstromkreis für das V2-Relais nachgebildet werden. Hierzu legt man mit einer Krokodilklemme den V1-Relaisanker fest.

Nun kann mit dem Prüfgerät Nr. 1 der gestörte Stromkreis abgesucht werden. Zweckmäßigerweise wird dazu der eine Pol fest am Pluspotential angeschlossen. Mit der anderen Prüfspitze sucht man daraufhin die folgenden Prüfpunkte ab:

Schaltungsauszug



(Abb. 109)

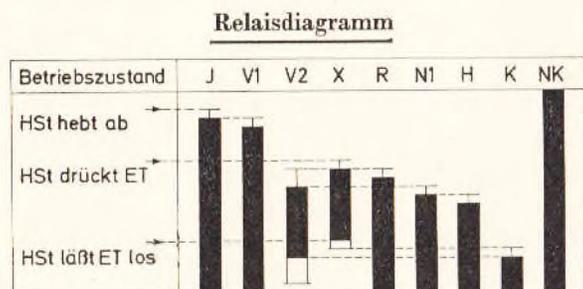
1. Prüfpunkt: Minuspotential; starkes Knackgeräusch, Prüfung des Prüfgerätes, evtl. Kondensator ausschalten.
2. Prüfpunkt: V1-Relais, Lötstift 5; Knackgeräusch, Fehler liegt in Richtung „Plus“.
3. Prüfpunkt: V1-Relais, Lötstift 2; Knackgeräusch, Fehler liegt in Richtung „Plus“.
4. Prüfpunkt: V1-Relais, Lötstift 1; Knackgeräusch wie unter 3., V1-Relais ist kurzgeschlossen.
5. Prüfpunkt: V2-Relais, Lötstift 2; Knackgeräusch, Fehler liegt in Richtung „Plus“.
6. Prüfpunkt: V2-Relais, Lötstift 1; Knackgeräusch, Relais zieht an.
Laut Schaltung liegt am V2-Relais, Lötstift 1, Pluspotential an. Wäre die Pluslg bis hierher in Ordnung, dürfte es nicht knacken (Relais nicht anziehen). Zur Sicherheit jetzt Prüfspitze an Minuspotential legen, kein Knacken. Fehler liegt in Richtung „Plus“.
7. Prüfpunkt: Prüfgerät am Minuspotential lassen, mit der anderen Prüfspitze den v1^{III}-Kontakt abtasten; Knackgeräusch, Fehler liegt in Richtung V2-Relais.
8. Prüfpunkt: V2-Relais, Lötstift 1, kein Knackgeräusch. Der Fehler liegt also zwischen dem v1^{III}-Kontakt und dem Lötstift 1 des V2-Relais. Bei genauem Hinsehen bzw. Anfassen des Drahtes mit einer Pinzette wird ein Drahtbruch am Lötstift 2 festgestellt.

Zur schnellen Eingrenzung des Fehlers empfiehlt es sich, die Prüfpunkte in Stichproben, z. B. 1, 6, 8, abzusuchen.

Nach dem Beseitigen des Fehlers durch Anlöten des Drahtes muß die Anlage selbstverständlich gründlich durchgeprüft werden. Hierzu sind alle möglichen Verbindungen aufzubauen, und erst wenn sich kein weiterer Fehler zeigt, gilt die Anlage wieder als betriebsbereit.

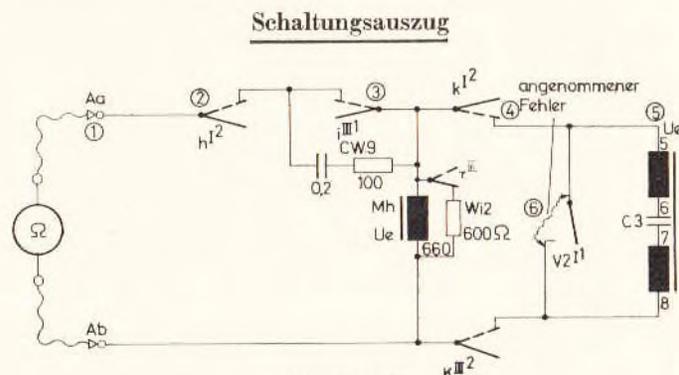
5.4.2. Eingrenzen und Beseitigen einer Nebenschlußstörung

Für dieses Beispiel soll angenommen werden, daß kein „Wählton“ vorliegt. Der gestörte Anlagenteil bezieht sich also auf den **Amtsweg**. Die Speisespannung ist vorhanden, und die angesprochenen Relais stimmen mit denen im Relaisdiagramm überein (vgl. hierzu Abb. 110). Auch eine Kontrolle mit dem Prüfhörer an den Klemmen Aa und Ab ergibt einen fehlerfreien Wählton. Wenn der Wählton trotzdem nicht in den Sprechstellen gehört werden kann, muß auf einen Nebenschlußfehler geschlossen werden.



(Abb. 110)

Die Eingrenzung dieses Fehlers wird mit dem VmFeE im mittleren Widerstandsmeßbereich durchgeführt. Amtsltg und Netzspannung sind zuvor unbedingt abzutrennen. Zur Stromkreisnachbildung müssen die H-, J- und K-Relais-Anker mit Krokodilklemmen festgelegt werden.



(Abb. 111)

Nachdem das VmFeE an die Klemmen a und b der Anlage angeschlossen worden ist, werden folgende Prüfungen nacheinander durchgeführt:

1. Anschalten des VmFeE: **0 Ohm**; Kurzschluß besteht zwischen a und b.
2. Auftrennen am h^{12} -Kontakt: **∞ Ohm**; Fehler liegt in Richtung Übertrager.
3. Auftrennen am i^{111} -Kontakt (h^{12} wieder geschlossen): **∞ Ohm**; Fehler liegt in Richtung Übertrager.
4. Auftrennen am k^{12} -Kontakt (i^{111} wieder geschlossen): **660 Ohm**; Kurzschlußfehler liegt also in Richtung Übertrager hinter dem k^{12} -Kontakt.
5. Auftrennen am Übertrager, z. B. durch Drahtauslöten am Lötstift 5, k^{12} wieder geschlossen: **0 Ohm**; Fehler liegt zwischen Übertrager und k-Kontakten.
6. Draht am Übertrager Lötstift 5 wieder anlöten, Draht am v^{211} -Kontakt ablöten: **660 Ohm**; Fehler liegt also am v^2 , v^{211} -Kontakt.
7. Draht wieder anlöten, Kontakt justieren, bzw. Berührung zwischen den beiden Federn beseitigen.
8. Anlage durchprüfen.

5.5. Prüfen und Entstören von Reihenanlagen

Da die Reihenanlagen ohne bzw. mit nur sehr wenigen Relais arbeiten, sind die Stromkreise zwar einfacher, aber die ausgedehnte Kabelführung macht das Eingrenzen eines Fehlers unübersichtlicher.

Bevor man mit dem Prüfen beginnt, ist es zweckmäßig, sich über die Kabelführung zu informieren. Man kontrolliert die einzelnen Reihenapparate, angefangen von der Reihenstelle 1 über alle fortlaufenden Reihenstellen bis zur HSt einschließlich des Gleichrichtergeräts. Nach der Kontrolle der Reihenapparate beginnt der eigentliche Prüfvorgang. Begonnen wird bei der Reihenstelle 1, bei der man die beste Wähltonkontrolle hat. Wichtig ist, daß alle Anlagenteile bei der Prüfung erfaßt werden. Die Prüfung bezieht sich auf folgende Funktionen:

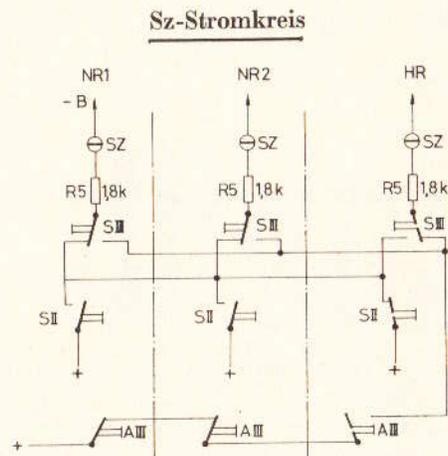
- Innenverbindungsweg,
- Amtsweg,
- Rückfrageweg,
- Schauzeichen- bzw. Lampenstromkreis,
- Mithörweg und
- Anrufweg.

Ist ein gestörter Anlagenteil (Stromweg) festgestellt worden, so wird anhand der Stromlaufzeichnung dieser Stromkreis überprüft.

Als Prüfgeräte sind auch hier das Prüfgerät Nr. 1 und das VmFeE gut geeignet. Der Einsatz dieser Geräte richtet sich wiederum nach der Fehlerart (Unterbrechungs- oder Nebenschlußfehler).

Nachdem der Fehler eingegrenzt, gefunden und beseitigt worden ist, muß die gesamte Anlage mit allen ihren Funktionen durchgeprüft werden. Erst wenn sich kein weiterer Fehler zeigt, darf die Entstörung als abgeschlossen betrachtet werden.

Bei einer Reihenanlage 202 1/2 soll als Fehler ein nicht einwandfrei schließender Kontakt S^{II} bei der HSt angenommen werden (vgl. hierzu Abb. 112). Dieser Fehler macht sich dadurch bemerkbar, daß beim Abfragen durch die HSt die Sz der Reihenapparate nicht ansprechen. Bei nichtgestörter Anlage müßten über die S^{II}-Kontakte der HSt die Sz der NR1 und NR2 ansprechen. Von dem ordnungsgemäßen Arbeiten der betreffenden Sz1 und 2 kann man sich überzeugen, indem man die Amtstasten der Reihenapparate 1 bzw. 2 drückt. Sie sprechen dann über die eigenen S^{II}-Kontakte an. Die angegebene Schaltung sieht das „optische Übergabezeichen“ für die HSt vor, d. h., die HSt erkennt durch Ansprechen des eigenen Sz, wann die NR das ihr zugeteilte Amtsgespräch übernommen hat.



(Abb. 112)

Bei der so beschriebenen Störung muß angenommen werden, daß die HSt das Pluspotential für die Sz der NR nicht ordnungsgemäß anlegt.

Es handelt sich somit um einen Unterbrechungsfehler am S^{II}-Kontakt der HSt, der mit dem Prüfhörer eingegrenzt werden kann.

5.6. Wiederholungsfragen zum Abschnitt 5.

1. Nennen Sie die Ihnen bekannten Prüf- und Meßgeräte für das Entstören von Fernsprechteilnehmereinrichtungen. 2. Was ist zu beachten beim Eingrenzen a) einer Unterbrechungsstörung, b) einer Nebenschlußstörung? 3. Wie führt die „Durchknackmethode“ mit dem Prüfhörer am schnellsten zum Ziel? 4. Durch welche Maßnahmen kann man am einfachsten während der Messung offene Relais-

kontakte schließen? 5. Beschreiben Sie die Kapazitätsmessung mit dem VmFeE. 6. Wie läßt sich die Handapparatschnur auf Berührung prüfen? 7. Wieviel Ohm soll der Apparatwiderstand betragen, wenn der NrS aufgezogen ist? (Begründung!) 8. Warum mißt das VmFeE im kleinsten Widerstandsmeßbereich zwischen den Federn im Hörkapselraum nicht 0 Ohm sondern etwa 30 Ohm? 9. Zwischen welchen Apparateklemmen muß das VmFeE angelegt werden, um den Erdtastenstromkreis zu prüfen? 10. Warum ist es sinnvoll, vor jeder Störungseingrenzung in NStAnl die Spannung zu messen? 11. Welche Unterlagen gehören unbedingt zur Störungsermittlung von NStAnl? 12. Was muß nach dem Beseitigen eines Fehlers in einer NStAnl unbedingt getan werden? 13. Aus welchem Grunde muß der Netzstecker bei NStAnl gezogen werden, wenn mit dem VmFeE in Widerstandsstellung geprüft werden soll?

6. Sinnbilder und Schaltzeichen

a) Sinnbilder für Meßwerke

	Drehspulmeßwerk		Dreheisenmeßwerk
	Drehspulmeßwerk mit Gleichrichter		dynamisches Meßwerk (eisenlos)
	Drehspulmeßwerk mit Thermoumformer		dynamisches Meßwerk (eisengeschlossen)
	elektrostatisches Meßwerk		Vibrationsmeßwerk
	Hitzdrahtmeßwerk		Bimetallmeßwerk

b) Sinnbilder für Gebrauchshinweise

	senkrechte Gebrauchslage		für Gleichstrom oder Gleichspannung
	waagerechte Gebrauchslage		für Wechselstrom oder Wechselfpannung
	schräge Gebrauchslage		Achtung! Gebrauchsanweisung beachten!
	Zeigernullstellung		Schutzleiteranschluß
1,5	Klassenzeichen für Anzeigefehler bezogen auf Meßbereich-Endwert		Prüfspannungszeichen (hier z. B. 2 kV)
	Anzeige durch Zeiger		schreibendes Gerät
	Digitalanzeige		Anzeige durch Vibration
	trägheitsarm in der Anzeige		große Anzeigetragheit

c) Schaltzeichen

	Meßinstrument (allgemein)		Strommesser in Ampere geeicht
	Meßgerät (allgemein)		Spannungsmesser in Volt geeicht
	Meßinstrument mit Nullstellung in Skalenmitte		Spannungsmesser für Gleich- und Wechselfpannung
	Meßinstrument mit Strom- und Spannungspfad (z. B. Wattmeter)		trägheitsarmes Meßinstrument (z. B. mit Oszillographenschleife)

- Band C 1** — **Werkstoffkunde und Werkstoffbearbeitung**
Werkstoffe der Fernmeldetechnik und ihre Bearbeitung — Werkzeuge und Werkzeugmaschinen — Werkstoffprüfung — Oberflächenschutz der Metalle — Nichtmetallische Werkstoffe — Isolierstoffe — Kunststoffe
- Band C 2** — **Oberirdischer Linienbau**
FBG und FBZ im oberirdischen Linienbau — Planung und Bau oberirdischer Anschlußlinien — Installationskabel und Luftkabel — Erdungsanlagen
- Band C 3** — **Unterirdischer Linienbau**
Gestaltung der Fernmelde netze — Fernmeldekabel — Aufgaben und Aufbau der Bauteile im Anschlußnetz — Schaltungen in Verzweigungseinrichtungen — Druckluftprüfeinrichtungen
- Band C 4** — **Fernsprechapparate und Zusatzeinrichtungen**
Aufbau, Schaltung und Wirkungsweise der Fernsprechapparate und Zusatzeinrichtungen
- Band C 5** — **Wählvermittlungstechnik**
(mit Beiheft) Grundzüge der Wählvermittlungstechnik — Bauelemente und ihre Verwendung — Gliederung und Aufbau der Ortswählvermittlungen — Vorfeldeinrichtungen — Stromversorgungs- und Erdungsanlagen — Fernwählvermittlungsstellen
- Band C 6** — **Nebenstellenanlagen**
(mit Beiheft) Zweck der Nebenstellenanlagen — Baustufen — Stromversorgung — Schaltungsaufbau der kleinen Nebenstellenanlagen und der Reihenanlagen
- Band C 7** — **Sprechstellenbau**
Bauftrag — Einrichtungs- und Änderungsgebühren — Teilnehmer-einrichtungen — Fernmeldebauzeug — Bauausführung

Umfang je Band rund 140 Seiten

Wichtig zur Vorbereitung auf Eignungsfeststellungen und Prüfungen

Deutschlehre

(mit Beiheft)

Rechtschreibung — Wortlehre — Satzlehre — Zeichensetzung — Stil- und Aufsatzkunde — Übungsaufgaben — Übungsdiktate — Lösungen
Umfang rund 200 Seiten

Preis 5,— DM

Rechenlehre

Rechnen — Raumlehre — Sortenverwandlung — Übungsaufgaben — Angewandte Aufgaben — Lösungsheft

Umfang rund 190 Seiten

Preis 5,— DM

— Weitere Lehrbücher siehe 2. und 4. Umschlagseite —

Handbuch der Fernmeldetechnik

— Buchreihe BFt —

12

wichtige Lehr- und Lernwerke zur Vorbereitung auf den Grundlehrgang Ft 2, die verschiedenen Aufbaulehrgänge BFt und den Abschlußlehrgang BFt

Band G — Grundlagen der Fernmeldetechnik (2 Teile)

Band E — Fachbereich Entstörungstechnik (2 Teile)

Band L — Fachbereich Linientechnik

Band V — Fachbereich Vermittlungstechnik (3 Teile)

Band T — Fachbereich Telegraphentechnik (2 Teile)

Band U — Fachbereich Übertragungstechnik

Band Fu — Fachbereich Funktechnik

Umfang je Band etwa 180 Seiten

Sonderband:

Allgemeines Prüfungswissen
(für die Kräfte des BFW-, BFt- und BPT-Dienstes)
(2 Teile)

Sämtliche Lehrwerke können bestellt werden bei
Deutsche Postgewerkschaft — Hauptvorstand — Verlag
6 Frankfurt 1 — Savignystraße 43