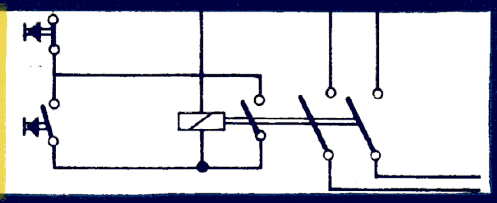
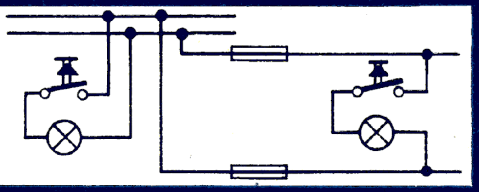
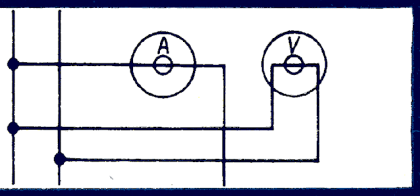
Schalten



Prüfen



Messen



in der Elektrotechnik

Gerhard Rätzel

Schalten – Prüfen – Messen
in der Elektrotechnik

LEHRBÜCHER FÜR DIE BERUFSAUSBILDUNG

GERHARD RÄTZEL

Schalten Prüfen Messen

in der Elektrotechnik

3., unveränderte Auflage mit 167 Bildern

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Vom Staatlichen Amt für Berufsausbildung als Lehrbuch für die Ausbildung von Facharbeitern anerkannt.



Lektor: Dipl.-Gwl. *Wolfgang Wosnizok*
Redaktionsschluß am 31. 1. 1966
DK 621.317
ES 20 K 2
Bestellwort: Rätzel, Schalten
Alle Rechte vorbehalten · Copyright 1966 by VEB Verlag Technik, 102 Berlin
VLN 201 · Dg.Nr. 370/101/68 Deutsche Demokratische Republik
Satz und Druck: Engelhard Reyher-Stollbergsche Buchdruckerei KG, Gotha
Einband: *Kurt Beckert*
4,60

VORWORT

Das vorliegende Lehrbuch ist nach dem gleichnamigen Lehrplan Schalten – Prüfen – Messen der beruflichen Grundausbildung Elektrotechnik entwickelt worden. Es behandelt alle Stoffgebiete, die im Unterricht vermittelt werden. Gleichzeitig entsprechen die Themen in ihrer Reihenfolge denen des Lehrplanes, so daß eine unmittelbare Verwendung für den Unterricht möglich ist. Es beinhaltet vorwiegend die theoretischen Grundlagen des Schaltens, Prüfens und Messens. Sie sind die Voraussetzung für die praktischen Übungen und werden deshalb auch vor diesen im Unterricht behandelt. Darüber hinaus soll es die Lernenden zum selbständigen Studium anregen und für Wiederholungen und Vertiefungen eine Stütze sein.

Für die „Praktischen Übungen" sind Übungsaufgaben enthalten. Sie sind so abgefaßt, daß sie trotz der Vielzahl der Lehrberufe in allen Ausbildungsstätten gelöst werden können.

Der Verfasser, der neben dem Lehrbuch auch für den Lehrplan verantwortlich zeichnet, dankt an dieser Stelle den Mitgliedern des Arbeitskreises Schalten — Prüfen — Messen beim Deutschen Institut für Berufsausbildung, den Diplomgewerbelehrern *Günter Jung*, Dresden, und *Björn Raabes*, Leipzig, sowie den Berufsschullehrern und Ingenieuren *Kurt Braddatsch*, Berlin, *Harry Fell*, Magdeburg, *Paul Leimann*, Parchim, *Siegried Gerhard*, Leipzig, *Gerhard Linne*, Leipzig, *Heinz Fabian*, Berlin, für ihre aktive Mitarbeit und Durchsetzung des neuen Unterrichtsfaches Schalten — Prüfen — Messen.

Autor und Verlag

INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung 9

1. Grundregeln zum Verhalten im Unterrichtskabinett und bei der Durchführung der praktischen Übungen 11

1.1. Verhalten im Unterrichtskabinett 11

1.2. Verhalten bei der Durchführung der praktischen Übungen . . . 12

2. Grundlagen der Schaltungstechnik 15

2.1. Allgemeine Grundlagen 15

2.2. Schalter 16

2.2.1. Installations- und Geräte schalter 17

2.2.2. Paketschalter 19

2.3. Schütze 19

2.3.1. Schütz mit Dauerkontakt . . . 20

2.3.2. Schütz mit Impulskontakt . . 20

2.3.3. Verriegelungsanlage 21

2.3.4. Wendeschützschaltung 21

2.4. Relais 22

2.4.1. Arbeitsstromkreis 23

2.4.2. Ruhestromkreis 24

2.5. Praktische Übungsaufgaben . . 25

3. Allgemeine Grundlagen der Meßtechnik 26

3.1. Grundbegriffe 26

3.1.1. Prüfen und Messen 26

3.1.1.1. Prüfverfahren 26

3.1.2. Meßgenauigkeit, Meßfehler und Toleranzen 28

3.1.3. Empfindlichkeit, Eigenverbrauch und innerer Widerstand 30

3.2. Aufbau der elektrischen Meßinstrumente 31

3.2.1. Allgemeiner Aufbau 31

3.2.2. Lagerung 33

3.2.3. Meßwerkfedern 34

3.2.4. Zeiger 35

3.2.5. Skalen 36

3.2.6. Dämpfung 36

3.3. Praktische Übungsaufgaben . . 37

4. Messen von Strom und Spannung 40

4.1. Dreheisenmeßinstrument . . . 40

4.1.1. Flachspulmeßwerk 40

4.1.2. Rundspulmeßwerk 41

4.1.3. Eigenschaften 41

4.1.4. Strom- und Spannungsmessung 43

4.1.5. Meßbereicherweiterung 44

4.2. Drehspulinstrument 46

4.2.1. Drehspulmeßwerk 46

4.2.2. Eigenschaften 48

4.2.3. Sonderbauarten 48

4.2.4. Meßbereicherweiterung 50

4.2.5. Messen von Wechselströmen . . 52

4.2.6. Vielfachmeßinstrumente . . . 53

4.3. Meßschaltungen 56

4.3.1. Meßschaltungen mit Strom- und Spannungsmesser 56

4.3.2. Aufnahme der Strom-Spannungs-Kennlinie 56

4.3.2.1. *I-U*-Kennlinie eines galvanischen Elements 57

4.3.2.2. *I-U*-Kennlinie eines temperaturunabhängigen Drahtwiderstandes 58

4.3.3. Einstellen von Strömen und Spannungen 59

4.3.3.1. Einstellen der Stromstärke mit dem Vorwiderstand 59

4.3.3.2. Einstellen der Spannung mit dem Spannungsteiler 61

4.3.4. Eichen von Strom- und Spannungsmessern 64

4.4. Meßregeln 66

4.4.1. Allgemeine Regeln 66

4.4.2. Regeln für das Messen mit dem Vielfachmesser 67

4.5. Praktische Übungsaufgaben . . 67

5. Ermitteln ohmscher Widerstände 69

5.1. Strom- und Spannungsmessung 70

5.1.1. Grundlagen 70

5.1.2. Messen von Widerständen nach beiden Meßschaltungen 71

5.1.3. Messungsbeispiel 73

5.1.3.1. Prüfen von elektrischen Maschinen 73

5.1.3.2. Abgleichen von kleinen Meßwiderständen 73

5.1.3.3. Ermitteln von Kontaktwiderständen 74

5.1.3.4. Messen des Erdungswiderstandes bei Anwendung der Schutzerdung 74

5.1.4. Praktische Übungsaufgaben . . 75

5.2. Vergleichsverfahren 75

5.2.1. Grundlagen 75

5.2.1.1. Stromvergleichsverfahren . . . 75

5.2.1.2. Spannungsvergleichsverfahren . 76

5.2.1.3. Spannungsteiler-Vergleichsverfahren 77

5.2.1.4. Meßwiderstände 78

5.2.2. Praktische Übungsaufgaben . . 79

5.3. Spannungsmesserverfahren (Ohmmeter) 79

5.3.1. Grundlagen 79

5.3.2. Eichung der Skale eines Drehspulinstruments in Ohm . . . 80

5.3.3. Praktische Übungsaufgaben . . 81

5.4. Isolationsmessung mit dem Kurbelinduktor 82

5.4.1. Grundlagen 82

5.4.2. Technische Ausführung 82

5.4.3. Messen des Isolationszustandes einer elektrischen Anlage . . . 84

5.4.4. Praktische Übungsaufgaben . . 85

5.5. Kreuzspulmeßwerk (Quotientenmesser) 85

5.5.1. Grundlagen 85

5.5.2. Technische Anwendung 87

5.5.3. Praktische Übungsaufgaben . . 88

5.6. Wheatstone-Meßbrücke 88

5.6.1. Grundlagen 88

5.6.2. Technische Ausführung 90

5.6.3. Messungsbeispiele 92

5.6.3.1. Messen eines ohmschen Festwiderstandes 29

5.6.3.2. Messen eines Erdungswiderstandes 92

5.6.4. Praktische Übungsaufgaben . . 93

6. Messen der elektrischen Leistung im Gleich- und Wechselstromkreis 94

6.1. Grundlagen 94

6.2. Ermitteln der Leistung durch Strom- und Spannungsmessung 94

6.3. Messen der Leistung mit dem Leistungsmesser 95

6.3.1. Die eisenlose Ausführung . . . 95

6.3.2. Die eisengeschlossene Ausführung 97

6.4. Messen der Leistung im Gleich- und Wechselstromkreis 98

6.5. Praktische Übungsaufgaben . . 100

7. Messen der elektrischen Arbeit 101

7.1. Grundlagen 101

7.2. Einphasen-Induktionszähler . . 101

7.3. Leistungsschild 103
7.4. Überprüfung der Zählerfeder . 103
7.5. Leistungsermittlung durch Zähler 104
7.6. Praktische Übungsaufgaben . . 105

8. Schalten, Prüfen und Messen von Wechselstromwiderständen 106
8.1. Grundlagen 106
8.1.1. Unterschied der Wechselstromwiderstände zu den ohmschen Widerständen 106
8.2. Messen von Wechselstromwiderständen 107
8.3. Schaltungen von Wechselstromwiderständen 109
8.4. Prüfung von Spulen und Kondensatoren 113
8.4.1. Prüfen von Spulen 113
8.4.2. Prüfen von Kondensatoren . . 114
8.5. Praktische Übungsaufgaben . . 115

9. Störungssuche in Stromkreisen 116
9.1 Grundlagen der Fehlersuche . . 116
9.2. Störungsmeldebuch 116
9.3. Methoden der Fehlersuche . . 117
9.4. Praktische Übungsaufgaben . . 118

Sachwörterverzeichnis 119

EINLEITUNG

Der Fortschritt und die Entwicklung der Technik in der Deutschen Demokratischen Republik sind eindeutig auf die weitere Elektrifizierung der Betriebe aller Wirtschaftszweige sowie der kulturellen und gesellschaftlichen Einrichtungen gerichtet. Hierbei kommt der Mechanisierung und Automatisierung der Produktion große Bedeutung zu.

Die für den weiteren sozialistischen Aufbau notwendigen, dem Weltstand entsprechenden Elektroanlagen, Maschinen, Apparate und Geräte benötigen neue, technisch zweckmäßige und den jeweiligen Verhältnissen angepaßte funktionelle Eigenschaften, die letztlich auf einer hochentwickelten Schalt-, Prüf- und Meßtechnik basieren. Ohne diese drei Techniken sind gerätetechnische Neuentwicklungen, der reibungslose Produktionsablauf jeglicher Art, die Überwachung der Betriebszustände, das Erkennen und Verhüten von Fehlern, Verlusten und Unfällen in elektrischen Einrichtungen nicht mehr gewährleistet. Darüber hinaus ermöglicht die wirtschaftlich-technische und vorteilhafte Anwendbarkeit der elektrischen Prüf- und Meßtechnik ebenfalls das qualitative und quantitative Erfassen zahlreicher anderer physikalischer Größen, wie Temperatur, Druck, Länge usw., die außerdem noch in fast beliebiger Entfernung von der Meßstelle abgelesen werden können.

Besonders in den Steuer- und Regelanlagen aller Industrieanlagen hat die Schalt-, Prüf- und Meßtechnik Eingang gefunden und wird durch die Zunahme der Automation stärker an Bedeutung gewinnen. Die Schaltungen und Messungen in diesen Anlagen werden noch speziellere Art annehmen und sich im Umfang beträchtlich erweitern. Es kann heute schon gesagt werden, daß die Technik des Schaltens, Prüfens und Messens in Zukunft den Hauptteil der beruflichen Tätigkeiten der Elektromonteure, Elektromechaniker, Fernmeldemechaniker, Funkmechaniker und aller anderen Elektrofacharbeiter ausmachen werden. Für den zukünftigen Facharbeiter ist es darum notwendig, daß er in seiner beruflichen Grundausbildung zunächst die Grundlagen des Schaltens, Prüfens und Messens erlernt sowie in seiner weiteren Berufsausbildung befähigt wird, die speziellen Schaltungen und Messungen seines Berufsgebietes sicher zu beherrschen und weiterzuentwickeln.

1. GRUNDREGELN ZUM VERHALTEN IM UNTERRICHTSKABINETT UND BEI DER DURCHFÜHRUNG DER PRAKTISCHEN ÜBUNGEN

Der Unterricht im Schalten – Prüfen – Messen findet in einem Unterrichtskabinett statt, in dem die *theoretischen Grundlagen* dieser Fachdisziplin gelehrt und anschließend durch *praktische Übungen* gefestigt, erweitert und vertieft werden. Mit Hilfe der im Kabinett vorhandenen Arbeitsplatzeinrichtungen, der zur Verfügung stehenden Spannungsquellen, Meßinstrumente, Verbraucher und weiteren Arbeitsmittel können systematisch und zielgerichtet Versuche durchgeführt und durch Kontrollrechnungen, Diagramme und Aufzeichnungen ausgewertet werden.

Der erfolgreiche Ablauf des Unterrichts, vor allem der praktischen Übungen, erfordert, daß die Versuche nach bestimmten schalttechnischen Regeln unfallsicher aufgebaut und durchgeführt werden. Von allen Versuchsteilnehmern ist Umsichtigkeit, Aufmerksamkeit und Disziplin zu fordern, wobei die Kenntnis und Beachtung der einschlägigen Vorschriften und Arbeitsschutzanordnungen Grundvoraussetzung ist. Die Einhaltung dieser Bestimmungen und Verhaltensmaßnahmen ist bei der Gefährlichkeit der im Kabinett vorhandenen Spannungen oberstes Gebot, denn

> der Mensch ist in der sozialistischen Gesellschaftsordnung das wertvollste Gut, das es zu schützen und zu erhalten gilt.

Folgende Grundregeln für das Verhalten im Kabinett und beim Durchführen der praktischen Übungen sind zu beachten:

1.1. Verhalten im Unterrichtskabinett

a) Das Unterrichtskabinett ist ein elektrischer Betriebsraum. Für diesen ist während des Unterrichts der darin unterrichtende Lehrer oder Lehrmeister allein verantwortlich.

b) Der Aufenthalt im Unterrichtskabinett ist nur während des Unterrichts bzw. nur mit besonderer Genehmigung des Kabinettverantwortlichen gestattet.

c) Die vorbildliche Disziplin der Schüler ist eine Grundvoraussetzung für den reibungslosen Unterrichtsablauf und für ein unfallfreies Arbeiten. Täuschen, Necken und Erschrecken eines anderen Schülers ist daher strengstens verboten. Auch der unbefugte Aufenthalt an anderen Übungstischen und das unnötige Hinundherlaufen im Kabinett ist untersagt.

d) Bei offensichtlicher Gefahr für Personen und Geräte ist jeder im Raum Anwesende verpflichtet, einen besonders gekennzeichneten Notschalter zu betätigen, der die gefährliche Spannung abschaltet.

e) Die Einrichtungsgegenstände und Arbeitsmittel des Kabinetts sind schonend zu behandeln.

f) Der Aufenthalt und das Arbeiten im Kabinett erfordern, daß jeder Schüler die entsprechenden Bestimmungen der TGL, der ASAO und eventuelle innerbetriebliche Vorschriften kennt. Vor allem ist die Einhaltung der ASAO 900 und der ehemaligen VDE-Vorschrift 0100 Grundvoraussetzung. Die VDE 0100 ist jetzt in die TGL-Blätter 0600, 0601, 0602, 0603, 0605, 0611, 0612, 0613, 0614, 0618, 0624, 0625, 0626, 0629, 0635, 0643, 0644, 0652, 0653, 3082, 3083 übernommen worden.

1.2. Verhalten bei der Durchführung der praktischen Übungen

a) Vor Übungsbeginn sind sämtlich empfangene Meßinstrumente, Geräte, Werkzeuge u. a. Arbeitsmittel auf ihre unfallsichere Beschaffenheit zu überprüfen.

b) Der Versuchsaufbau muß übersichtlich erfolgen, und es darf kein Drahtgewirr entstehen. Die eingeschalteten Verbraucher und Meßinstrumente müssen so aufgestellt werden, daß sie gut beobachtet werden können. Hierbei ist auf blendungsfreies Ablesen der Meßinstrumente zu achten. Bei Verwendung von leistungsstarken Glühlampen sind gegen Blendung dunkle Augengläser aufzusetzen bzw. sind die Glühlampenkolben zu schwärzen.
Beim Aufbau der Schaltung wird von einem Pol der Spannungsquelle beginnend der Hauptstromkreis zum anderen Pol geschaltet. Die Spannungsquelle ist zunächst spannungsfrei, eingebaute Schalter befinden sich in der Ausstellung und Spannungsteiler sind auf null Volt einreguliert, dagegen haben Vorwiderstände den vollen Widerstandswert.
Anschließend werden die eventuell vorgesehenen Nebenstromkreise, bestehend aus Verbraucher, Spannungsmesser, Spannungspfad des Leistungsmessers u. ä., eingeschaltet.
Die Klemmen bzw. Buchsen müssen, um Erwärmungen oder Meßfehler zu vermeiden, guten Kontakt gewährleisten.

c) Jede aufgebaute Schaltung muß vom Lehrer bzw. Lehrmeister abgenommen und zur Spannungszuschaltung freigegeben werden.

d) Die Bedienung der Zentralschalttafel erfolgt vom Lehrer bzw. Lehrmeister und darf nur nach Genehmigung von diesen von einem Schüler bedient werden.

e) Während des Versuchsablaufs ist ein Umklemmen der unter Spannung stehenden Leitung verboten.

f) Durchgeführte Versuche sollen zur Erkenntnisbildung schriftlich ausgewertet werden und später bei Zweifelsfällen rekonstruierbar sein. Folgende Gliederung des Protokolls hat sich bewährt:

1. Schule, Datum,
2. Name des Schülers,
3. Thema der praktischen Übung (Aufgabenstellung),
4. Instrumenten- und Geräteliste mit den wichtigsten Nennwerten,
5. Schaltbild bzw. Versuchsbeschreibung,
6. Beobachtungs- bzw. Meßergebnisse,
7. Auswertung (Tabelle, grafische Darstellung oder Niederschrift).

Beispiel eines Protokolls

Klaus Janke
BBS Braunkohlenwerk „Einheit"
Klasse El 1

Bitterfeld, den 25. 5. 1965

PROTOKOLL

für Schalten — Prüfen — Messen

Thema: Widerstandsbestimmung

Aufgabe: Es ist die *U-I*- Kennlinie einer Glühlampe von 24 V/25 W aufzunehmen.
Für die Kennlinienaufnahme sind 24 Meßpunkte zu wählen.
a) Begründen Sie den Kennlinienverlauf!
b) Ermitteln Sie die Einschalt- und Nennstromstärke!
c) Wie ist eine Parallelschaltung von mehreren Glühlampen abzusichern?

Versuchsdurchführung

Instrumenten- und Geräteliste:

1 Wheatstonesche Kleinmeßbrücke,
1 Multizet II, 1,5-A-Meßbereich,
1 Multizet II, 30-V-Meßbereich,
1 Glühlampe 24 V/25 W,
1 Glühlampenfassung E 27,
1 Spannungsteiler 250 Ω 3 A,
Klemmenspannung (Schalttafel) 25 V.

Versuchsaufbau (Bild 1.1):

Der geschätzte Warmwiderstand der Glühlampe beträgt ≈ 30 Ω. Der Widerstand des Spannungsmessers ist im 30-V-Meßbereich ≈ 30 000 Ω und ist 1000mal größer als der Glühlampenwiderstand. Es kommt deshalb die spannungsrichtige Schaltung zur Anwendung.

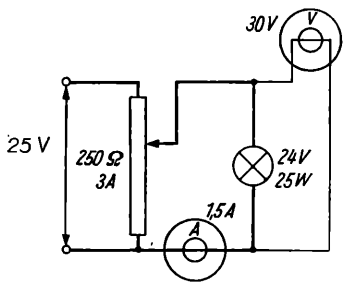


Bild 1.1

Versuchsablauf:

1. Messen des Kaltwiderstandes mit der Meßbrücke.
Ergebnis: $R_k = 1{,}8\ \Omega$.
2. Messen des Warmwiderstandes durch Strom- und Spannungsmessung.

Ergebnis:

Meßpunkt	in V	in A	in Ω
1	1	0,24	4,1
2	2	0,32	6,3
3	3	0,36	8,3
4	4	0,39	10,1
5	5	0,43	11,6
6	6	0,47	12,8
7	7	0,5	13,9
8	8	0,55	14,5
9	9	0,58	15,7
10	10	0,69	16,8
11	11	0,62	17,9
12	12	0,64	18,8
13	13	0,67	19,5
14	14	0,69	20,3
15	15	0,72	21,0
16	16	0,74	21,8
17	17	0,76	22,4
18	18	0,78	23,1
19	19	0,8	23,8
20	20	0,82	24,3
21	21	0,84	24,8
22	22	0,86	25,4
23	23	0,88	26,0
24	24	0,9	27,6

R_w wurde ohne Berücksichtigung des Meßinstrumentenwiderstandes nach $R_w = U/I$ ermittelt.

Auswertung:

a) Kennlinienverlauf (Bild 1.2)

Die Widerstandskennlinie verläuft nichtlinear. Ursache ist die Erwärmung des temperaturabhängigen Wolfram-Drahtwendels. Laut Tabellenbuch hat Wolfram eine positive Temperaturzahl $\alpha = +0{,}0041 \frac{1}{\text{grd}}$, d. h., der Widerstand der Drahtwendel nimmt bei Erwärmung zu.

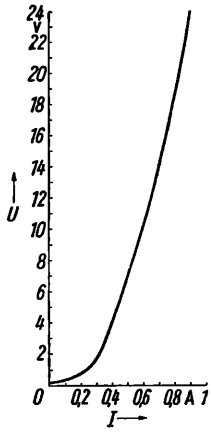


Bild 1.2

b) Der Kaltwiderstand ist $R_k = 1{,}8\ \Omega$. Beim Einschalten entsteht bei 24 V Betriebsspannung ein Einschaltstrom von

$$I_e = \frac{U}{R_k} = \frac{24\ \text{V}}{1{,}8} = 13{,}31\ \text{A}.$$

Dieser Stromstoß erwärmt die Drahtwendel sehr kurzzeitig, und es erfolgt eine etwa 14fache Widerstandszunahme auf $R_w = 27{,}6\ \Omega$. Die Nennstromstärke ist $I_n = 0{,}9$ A.

c) Bei Parallelschaltung von 6 Glühlampen entsteht ein gesamter Nennstrom $I_n = 6 \cdot 0{,}9\ \text{A} = 5{,}43$ A, so daß der Lampenstromkreis mit einer Sicherung von 6 A abgesichert werden muß.

Beim gleichzeitigen Einschalten aller Glühlampen entsteht nunmehr ein Einschaltstrom von $I_e = 6 \cdot 13{,}31\ \text{A} = 79{,}86$ A, der eine flinke Sicherung von 6 A zur Auslösung bringen kann.

Schlußfolgerung: In einem vollausgelasteten Lampenstromkreis dürfen nicht alle Glühlampen gleichzeitig eingeschaltet werden, weil der hohe Einschaltstrom die Sicherung auslösen kann.

2. GRUNDLAGEN DER SCHALTUNGSTECHNIK

Die elektrotechnische Praxis beinhaltet drei große Fertigungsbereiche, von deren sicherem Beherrschen durch den Elektrofacharbeiter der Wert der Elektroproduktion bestimmt wird. Es sind

die *Montage* von Leitungen, Bauelementen und sonstigen Betriebsmitteln,

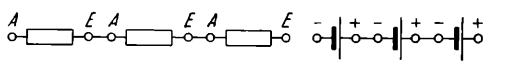
das *Schalten* und

das *Messen* dieser montierten Einrichtungen.

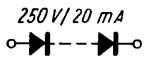
Hierbei nimmt die Schaltungstechnik eine besondere zentrale Stellung ein, weil erst durch sie die Funktionstüchtigkeit der elektrischen Einrichtung herbeigeführt und ihre Überprüfung wiederum auch nur durch bestimmte Meßschaltungen ermöglicht wird. Auch die fortschreitende Elektrifizierung und Zunahme der Steuerungs- und Regelungstechnik werden in Zukunft der Schaltungstechnik in ihrer Bedeutung immer mehr betonen und den Umfang und die Güte der Schaltungen beträchtlich erweitern.

2.1. Allgemeine Grundlagen

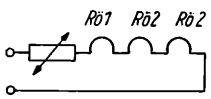
Das Grundprinzip aller Schaltungen, unabhängig von den dazu verwendeten Bauelementen bzw. Schaltgeräten, ist die Reihenschaltung (Bild 2.1) und die Parallelschaltung (Bild 2.2) von passiven und aktiven Bauelementen sowie deren Kombination zu Gemischtschaltungen (Bild 2.3).



allgemeine Schaltung von passiven und aktiven Bauelementen



Selengleichrichter (passiv)



Heizkreis beim Allstromempfänger

Bild 2.1

In den vorstehenden Bildern sind die Bauelemente schaltungsmäßig unveränderlich angeordnet. Solch gleichbleibenden Schaltungsaufbau trifft man bei einfachen elektrischen Maschinen, Geräten und Apparaten an. Seien es Motoren, Generatoren, Mehrfachbeleuchtungskörper oder einfache Rundfunkgeräte, stets wird durch eine bestimmte Schaltanordnung, und zwar durch Reihen-, Parallel- oder Gemischtschaltung der einzelnen Schaltteile, nur *ein* entsprechender Verwendungszweck der elektrischen Einrichtung auf Grund der durch die Schaltung hervorgerufenen Eigenschaft erzielt. Die Schaltungen solcher Maschinen, Geräte und Apparate sind im Zusammenhang mit dem Verständnis

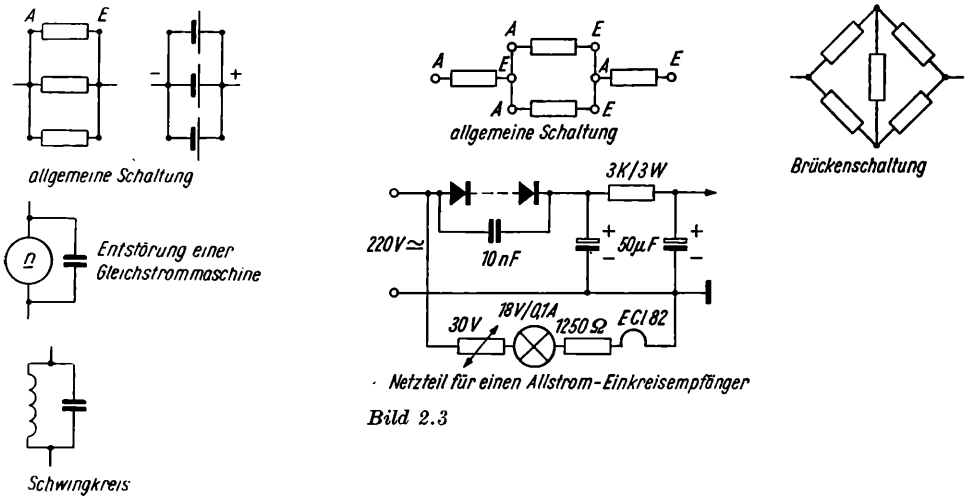


Bild 2.3

Bild 2.2

der Funktion der Bauelemente leicht erfaßbar und bereiten dem Praktiker auch die wenigsten Schwierigkeiten.

Viel verbreiteter als diese konstanten Schaltungen sind solche, die mittels Schalter, Schützen und Relais ständig verändert werden können. Schalter haben den Zweck, einen Zustand — in diesem Fall sind bestimmte Strom-, Spannungs- oder Widerstandsverhältnisse einer elektrischen Anlage gemeint — sofort zu verändern und in einen anderen überzuführen. Ein einfaches Beispiel solch veränderlicher Geräteschaltungen ist im Bild 2.4 dargestellt. Mit Hilfe eines Regelschalters können die drei

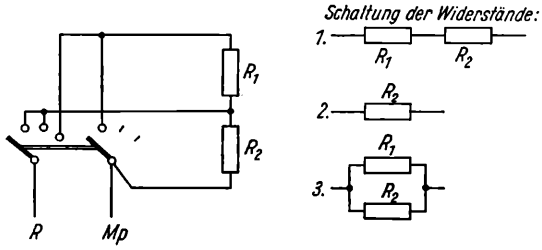


Bild 2.4

Heizwiderstände der elektrischen Kochplatte so verschieden geschaltet werden, daß der Kocher drei unterschiedliche Heizleistungen besitzt.

Im folgenden kommt es darauf an, die Grundschaltungen von Schaltern, Schützen und Relais zu erlernen.

2.2. Schalter

Schalter werden nicht nur für Geräteschaltungen eingesetzt, sondern vielmehr in elektrischen Anlagen, in denen diese Geräte nur Teile der Anlage sind. Entsprechend der technischen Anforderung werden die Schalter in verschiedenen Ausführungen

hergestellt und können schaltmäßig vielseitig eingesetzt werden. Grundprinzip aller Schalter sind die standardisierten Schaltertypen 1 bis 13. Diese finden in der Installationstechnik bei Stromkreisschaltungen von Lampen, Heizwiderständen und Motoren die häufigste Verwendung. Sie werden deshalb auch als Installations- und Geräteschalter bezeichnet. Die mit diesen Schaltern durchzuführenden Schaltungen sind aber von so grundsätzlicher Art, daß sie für alle Bereiche der Elektrotechnik gelten. Hierbei ist für das Grundprinzip der Schaltungen der technische Schalteraufbau, wie Dreh-, Hebel- oder Tastschalter usw., unwesentlich.

2.2.1. *Installations- und Geräteschalter*

Als Beispiel der allseitigen Verwendung der Installations- und Geräteschalter wird im Bild 2.5 der Wegeschalter gezeigt.

Die Installations- und Geräteschalter werden zu ihrer Unterscheidung mit einer

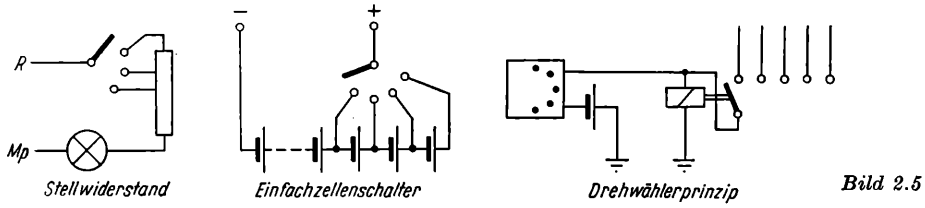


Bild 2.5

Kurzbezeichnung versehen. Während die erste Zahl die Schalterart kennzeichnet, gibt die zweite Zahl die Anzahl der Polklemmen an. Die Kurzbezeichnung 1/3 sagt aus, daß der Schalter *1* (Ausschalter) in dreipoliger Ausführung besteht (Bild 2.6). In Tafel 2.1 werden als Übersicht die Schalter *1* bis *13* zur Erläuterung des Grundprinzips hauptsächlich nur in einpoliger Darstellung angegeben.

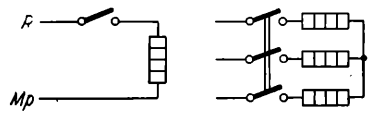


Bild 2.6

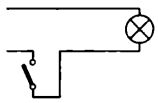
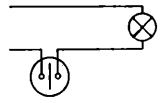
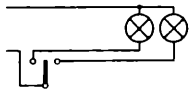
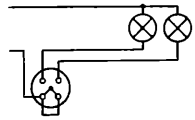
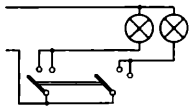
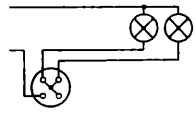
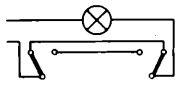
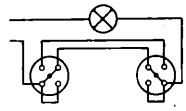
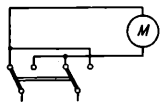
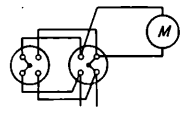
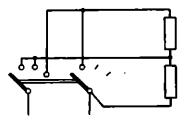
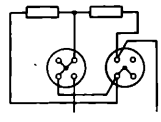
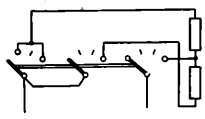
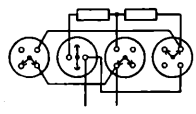
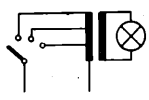
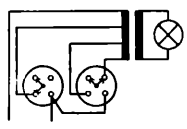
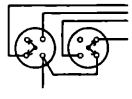
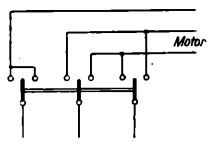
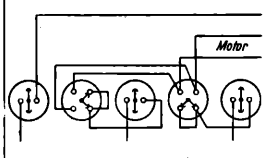
Vergleicht man die einzelnen Installationsschaltungen der Schalter *1* bis *6* auf ihre Ähnlichkeit, so kann man folgende Schaltregel erkennen:

> **Bei jeder einpoligen Schaltung wird stets eine Phase (Pol) an den Schalter und die andere Phase an den Verbraucher gelegt.**

Für die einzelnen Schaltungen gilt zusätzlich: Ausschaltung — an die 2. Schalterklemme wird der 2. Lampendraht gelegt.

Gruppen- und Serienschaltung — an die 2. und 3. Schalterklemme wird je ein Lampendraht gelegt. Wechselschaltung — die 2. und 3. Klemme beider Schalter werden miteinander verbunden. Die Schalterphase geht an den 1. Schalter, der Lampendraht an den 2. Schalter.

Tafel 2.1

Schalter	Schaltung	Paketschalter
Schalter 1/1 (Ausschalter)		
Schalter 4/1 (Gruppenschalter)		
Schalter 5/1 (Serienschalter)		
Schalter 6/1 (Wechselschalter)		
Schalter 7/1 (Kreuzschalter)		
Schalter 9/1 (Regelschalter für Heizgeräte)		
Schalter 10/2 (Reihen-Parallel-Schalter)		
Schalter 11/1 (3-Wegeschalter)		
Schalter 12/1 (4-Wegeschalter)		
Schalter 13/3 (Drehrichtungsumkehrschalter)		

2.2.2. *Paketschalter*

Von allen Schalterarten verdient der Paketschalter eine besondere Beachtung, weil er in allen Bereichen der Technik vorkommt und schaltungstechnisch universal angewendet wird. Auf Grund seiner vielseitigen Verwendbarkeit wird er auch für einen großen Lastbereich, und zwar von 6···200 A hergestellt. Vom mechanischen Aufbau her ist er ein Drehschalter, der in 3···4 Takten seinen Umlauf hat. Je nach Art der Schaltaufgabe kann dieser Schalter kombiniert und nach dem Baukastenprinzip zusammengesetzt werden. Aus diesem Grunde sind zum Aufbau dieses Schalters verschiedene Schaltelemente, wie Ausschalter, Umschalter usw., vorhanden, die je nach Bedarf, in einzelnen Kammern voneinander isoliert, peketartig aufgeschichtet und zusammengeschraubt werden (Bild 2.7).

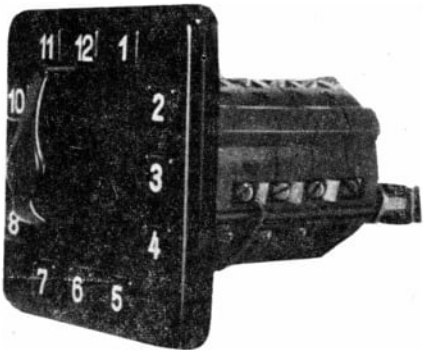


Abb. 2.7

Diese Art des Zusammenbaus erlaubt bei einer relativ kleinen Baugröße vielseitige Schaltungsanwendungen. In Tafel 2.1 wurden einige Schaltungsbeispiele des Paketschalters als Parallele zu den anderen Schaltern aufgeführt. Die ab Schalter 7 nebeneinander gezeichneten Schaltelemente sind in Wirklichkeit zu einem Paket zusammengesetzt.

2.3. Schütze

In modernen Starkstromanlagen finden vornehmlich Schütze als Schalter für Licht-, Wärme- und Motorenanlagen Verwendung. Schütze sind Fernschalter mit Kraftantrieb (elektromechanisch, motorisch, Druckluft). Die Betätigung des Schützes erfolgt aus der Ferne durch Schalter mit Dauer- bzw. Impulskontakte (Drehschalter, Druckknopfschalter u. ä.), die den Stromkreis der Schützspule, auch Steuer- oder Hilfsstromkreis genannt, schließen oder öffnen. Wird die Schützspule von einem Steuerstrom durchflossen, so wird über das elektromagnetische Antriebssystem der Hauptschalter geschlossen. Bei Öffnen des Steuerstromkreises geht die elektromagnetische Antriebskraft des Schützes auf Null zurück, und der Hauptstromkreis wird dadurch unterbrochen. Das Grundprinzip der Schützschaltung wird im Bild 2.8 deutlich. Es wird ersichtlich, daß diese Schaltung eigentlich aus zwei miteinander verbundenen Ein-Aus-Schaltungen besteht. Während im 1. Stromkreis die Schützspule der Verbraucher ist, wird sie im 2. Stromkreis zur Triebkraft für den Hauptschalter.

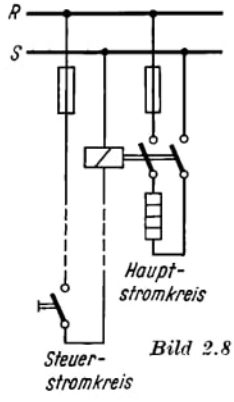


Bild 2.8

Der Vorteil einer Schützschaltung liegt darin, daß von einem günstigen und zugänglichen Schaltort der Hauptstromkreis gesteuert werden kann. Auch der Schutz gegen zu hohe Berührungsspannung ist leichter durchführbar, weil die Steuerspannung meist niedriger als die Netzspannung des Hauptstromkreises gewählt wird. In der Praxis ist es so, daß bis zu einer Netzspannung von 220 V die Steuerspannung direkt dem Netz entnommen und bei einer höheren Netzspannung von einem Transformator abtransformiert wird.

2.3.1. *Schütz mit Dauerkontakt*

Im Bild 2.9 wird als praktisches Anwendungsbeispiel die Regelung eines Pumpenmotors gezeigt. Prinzip dieser Schaltung ist, daß die Betätigung des Schützes mit einem *Dauerkontakt* erfolgt. Anstelle des Schwimmerschalters kann auch ein Dreh- oder Hebelschalter bei einer anderen praktischen Schaltungsanwendung als Dauerkontaktgeber eingesetzt werden.

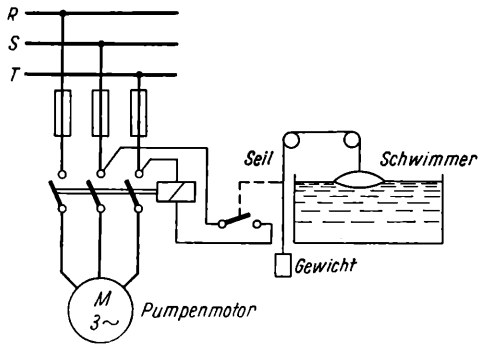


Bild 2.9

2.3.2. *Schütz mit Impulskontakt*

Wird anstelle des Dauerkontaktschalters ein Druckknopfschalter verwendet, so kann bei dessen Betätigung nur ein Schaltimpuls hervorgerufen werden, weil dieser Schalter nach der Betätigung sich wieder öffnet. In diesem Fall würde nach Aufhören des Schalterdruckes das Schütz wieder abgeschaltet. Damit das Schütz nach der kurzen Schaltbetätigung eingeschaltet bleibt, hat man diesem zwei oder mehrere Hilfskontakte als Haltekontakte für den Steuerstromkreis eingebaut. Diese, aber auch die Hauptkontakte sowie die des Betätigungsschalters werden je nach Art der Schließung in *Schließer* und *Öffner* eingeteilt (Bild 2.10). Bei Verwendung von Impulskontakten muß das Schütz für den Steuerstromkreis Hilfskontakte als Schließer haben, damit der Steuerstromkreis anstelle des Dauerkontaktschalters geschlossen

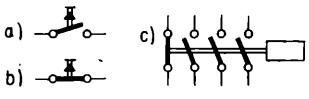


Bild 2.10

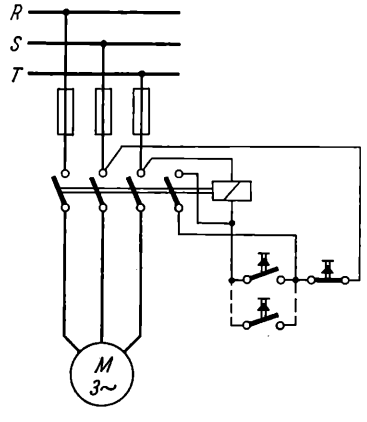


Bild 2.11

bleiben kann. Zur Ausschaltung muß dann aber ein zweiter Druckknopfschalter mit Öffnungskontakten vorhanden sein (Bild 2.11).

Für den Steuerstromkreis gilt folgende Schaltregel:

Schützspule sowie Ein- und Ausschalter werden in Reihe geschaltet.
Die Hilfskontakte und alle weiteren zusätzlichen Einschalter sind zum 1. Einschalter parallelgeschaltet, dagegen sind alle weiteren zusätzlichen Ausschalter mit dem 1. Ausschalter hintereinandergeschaltet.

2.3.3. *Verriegelungsanlage*

Der reibungslose Ablauf des Produktionsprozesses in Betrieben mit Transportanlagen erfordert Schaltungen für die Antriebsmotoren, die beim Ausfall eines Transportbandes die vorherigen Bänder ausschalten, um Verstopfungen der Transportanlage durch das anfallende Stückgut zu vermeiden. So ist es z. B. bei einem Schaufelradbagger notwendig, daß sich der Antriebsmotor des Schaufelrades selbständig immer dann ausschaltet, wenn die Motoren der nachfolgenden Transportbänder durch Störungen ausfallen und stillstehen.

Beim Einschalten der Gesamtanlage wird deshalb so vorgegangen, daß zuerst das letzte Transportband eingeschaltet wird, danach wird es schaltungsmäßig erst möglich, die vorhergehenden Einrichtungen in Bewegung zu setzen. Eine solche Schaltung, die eine Verkettung der einzelnen Motoren bewirkt, nennt man eine *elektrische Verriegelung.*

Im Bild 2.12 ist eine solche *Schützverriegelungsanlage* als Prinzipmotorenanlage dargestellt. Jeder Motor wird, wie die Schaltung im Bild 2.11 zeigt, geschaltet, jedoch

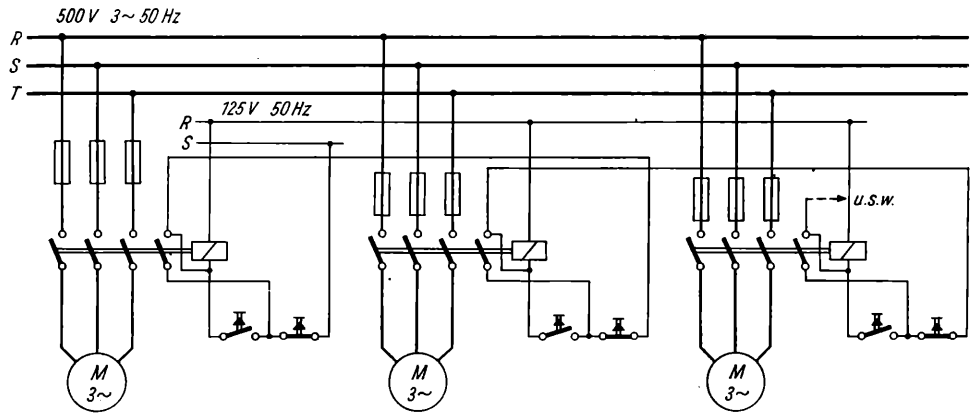


Bild 2.12

mit dem Unterschied, daß der schaltabhängige Hilfskontakt die Steuerspannung für den nachfolgenden Schütz gibt.

Als Schaltregel gilt:

> **In einer elektrischen Verriegelungsanlage sind alle Schütze als Impulskontaktschaltung aufgebaut. Die Steuerspannung jedes Schützes wird vom vorhergehenden Schütz abgenommen, und zwar am schaltabhängigen Hilfskontakt.**

2.3.4. *Wendeschützschaltung*

Als Abschluß der Grundschaltung für Schütze wird im Bild 2.13 das Zusammenwirken zweier Schütze als sogenannte Wendeschütze gezeigt. Wendeschütze dienen zur Drehrichtungsänderung. Die Drehrichtungsänderung bei Drehstrommotoren

wird durch Vertauschen zweier Phasen herbeigeführt. Dies ist auch im Bild 2.13 ersichtlich. Damit jedoch nicht beide Schütze mit einem Male eingeschaltet werden können, sind sie über die Hilfskontakte verriegelt, und es kann nunmehr nur dann eine bestimmte Drehrichtung eingeschaltet werden, wenn zuerst der Ausschaltknopf betätigt worden ist.

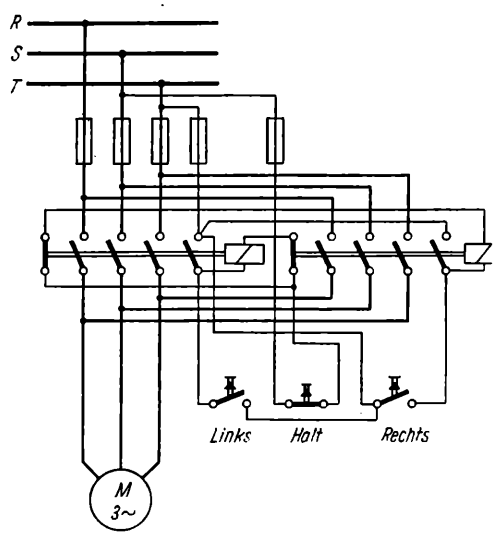


Bild 2.13

2.4. Relais

Die Wirkungsweise eines Relais ist im Prinzip der des Schützes ähnlich. Relais sind Vorrichtungen, die mit Hilfe einer kleinen Energieleistung elektrischer oder anderer physikalischer Art betätigt werden und größere elektrische Leistungen steuern. Hierbei kann der Schaltvorgang sofort oder zeitlich verzögert ablaufen. Der Anwendungsbereich, und es gibt heute kaum eine größere elektrische Anlage, in der nicht Relais eingesetzt sind, ist sehr groß. Besonders werden für Fernmelde- und Starkstromanlagen zur Überwachung, Steuerung und Regelung von Strömen, Spannungen, Leistungen, Stromrichtungen, Temperaturen, Drücken, Helligkeiten und anderen physikalischen Größen eine Vielzahl unterschiedlicher Relais benötigt. Von der Vielfalt der Relaisschaltungen sollen im folgenden nur einige Grundschaltungen gegeben werden, die das Prinzip solcher elektrischer Einrichtungen verdeutlichen.

Die günstige Anwendbarkeit der Relais wird vor allen Dingen durch die verschiedenen Anregeglieder und Triebsysteme als auch durch eine umfangreiche Auswahl von Kontaktarten gegeben. Diese Kontakte wurden schon bei der Installations- und Geräteschaltern sowie den Schützen bekannt. Im Bild 2.14 werden sie nochmals zusammengefaßt.

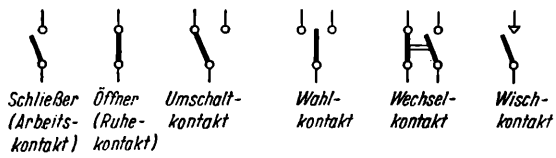


Bild 2.14

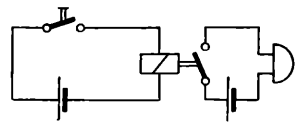


Bild 2.15

Das Grundprinzip der Relaisschaltungen wird im Bild 2.15 gezeigt und ist im Grunde genommen wie die Schützgrundschaltung aufgebaut. Das soll jedoch wiederum nicht zu der Annahme führen, daß Schütze und Relais identisch sind. Relais unterscheiden sich von Schützen eben dadurch, daß sie in Schwachstromkreisen eingesetzt werden und so dimensioniert sind, daß sie schon bei sehr kleinen Energien ansprechen. Der Auslösungsmechanismus von Relais kann gegenüber Schützen so ge-

staltet sein, daß er beim Überschreiten oder Unterschreiten eines bestimmten Wertes der Meßgröße (z. B. Überstromrelais, Unterspannungsrelais) anspricht oder auch dann, wenn sich die Meßgröße zwischen oder außer zwei bestimmten Werten der Meßgröße befindet (z. B. Differentialrelais). Ein weiterer Unterschied zu den Schützen liegt auch in der größeren Schaltungsmöglichkeit der Kontaktarten und in der den jeweiligen Betriebsverhältnissen angepaßten Relaisbauart (z. B. Quecksilberrelais, Klappankerrelais, Tauchankerrelais usw.).

2.4.1. *Arbeitsstromkreis*

In Erweiterung der im Bild 2.15 gezeigten Relaisschaltungen werden in den Bildern 2.16 bis 2.21 einige Anwendungsbeispiele gegeben. Die Auslösung des Relais erfolgt bei diesen Beispielen durch Schließen des betriebsmäßig offenen Stromkreises. Der zum Fließen gelangende Auslösungsstrom wird auf Grund seiner durchzuführenden Arbeit (Anziehen des Ankers) als *Arbeitsstrom* bezeichnet. Demzufolge nennt sich auch diese Auslösung *Arbeitsstromauslösung.*

Im Bild 2.16 wird ein Zeitrelais verwendet. Dieses ist mit einem dem Uhrwerk ähnlichen Laufwerk verbunden, und es hat die Aufgabe, den Ausschaltvorgang zu verzögern. Ein bekanntes Relais dieser Art ist der Treppenhausautomat.

In den Bildern 2.17 bis 2.19 werden die immer mehr in der Installationstechnik in Anwendung gelangenden Stromstoßrelais, auch Starkstrom-Schwachstrom-Relais (SSW) genannt, gezeigt. Durch einen Kleintransformator wird der Schwachstrom für die Betätigung der Relais geliefert. Das Stromstoßrelais ändert seine Schaltstellung stets dann, sobald ein Stromimpuls erfolgt, d. h., zum Einschalten bzw. Ausschalten der Lichtanlage ist jedesmal ein Schalterdruck notwendig.

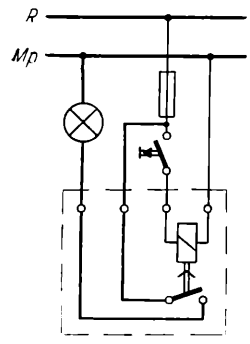


Bild 2.16

Die Verwendung von Relais in der Fernmeldetechnik wird an Beispielen in den Bildern 2.20 bis 2.22 dargestellt. Die Lichtrufanlage im Bild 2.20 hat den Vorzug, geräuschlos zu arbeiten und wird deshalb meist in Krankenhäusern verwendet. Von der Zentrale des Krankenhauses wird durch

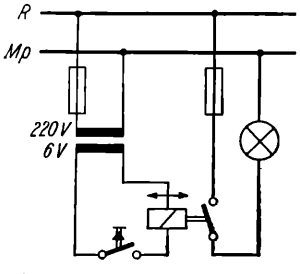


Bild 2.17

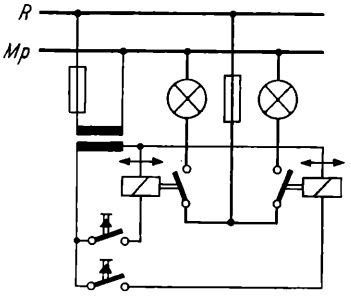


Bild 2.18

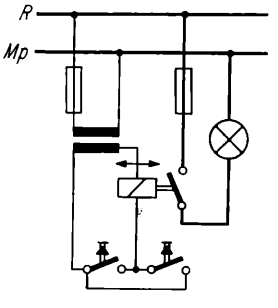


Bild 2.19

Drücken des entsprechenden Ruftasters das zugehörige Lichtrufrelais betätigt, das an verschiedenen Orten das Namensschil der zu suchenden Person aufleuchten läßt. Das Abstellen der Lampe geschieht durch Druck auf den Schalter am Lichtrelais bzw. von der Zentrale aus.

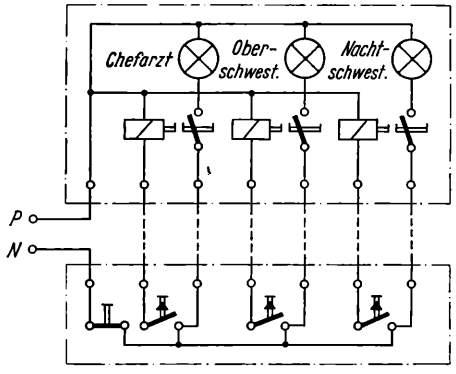


Bild 2.20

Die Arbeitsstromauslösung im Bild 2.21 wird durch eine Fotozelle bzw. durch ein Fotoelement betätigt. Diese beiden elektronischen Bauelemente haben die Eigenschaft, bei Belichtung einen Stromfluß zu bewirken, der, über einen Gleichstromverstärker geleitet, ein Feinrelais ansprechen läßt. Die Anwendungsgebiete dieser elektrischen Bauelemente in Verbindung mit Relais sind Dämmerungsschalter für die Ein- und Ausschaltung der Straßenbeleuchtung, Lichtschranken, Zähleinrichtungen, Sicherungsanlagen für Feuerschutz, Rauchmeldeanlagen und bei Verwendung der unsichtbaren ultraroten Strahlen als Alarmanlagen.

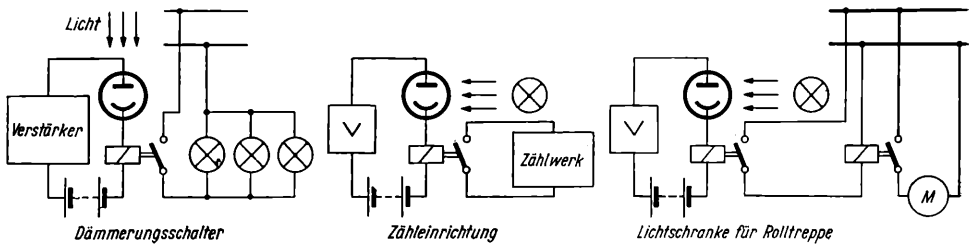


Bild 2.21

2.4.2. *Ruhestromkreis*

Im Gegensatz zur Arbeitsstromauslösung gibt es die *Ruhestromauslösung*, die durch Öffnen des betriebsmäßig geschlossenen Stromkreises bewirkt wird. Sie wird deshalb so bezeichnet, weil der Anker des Relais erst dann betätigt wird (Federdruck), sobald kein Strom (Ruhestrom) im Steuerkreis mehr fließt. Bei dieser Schaltung ist also der Stromkreis der Relaisspule ständig geschlossen, d. h., Schalter und Spule stehen betriebsmäßig immer unter Spannung. Der ständige elektrische Energieaufwand, der zur Aufrechterhaltung der Funktion der Anlage notwendig ist, wird durch

ein hochohmiges Relais gering gehalten. Der Nachteil der Ruhestromauslösung ist jedoch nicht nur der Energieverbrauch, sondern er liegt vor allen Dingen darin, daß bei Unterbrechung des Stromkreises, z. B. Leitungsbruch, Abschmelzen der Leitungssicherung usw., das Relais ungewollt zur Auslösung gebracht wird. Andererseits kann aus diesem Nachteil aber auch ein Vorteil gewonnen werden. Dieses ist bei

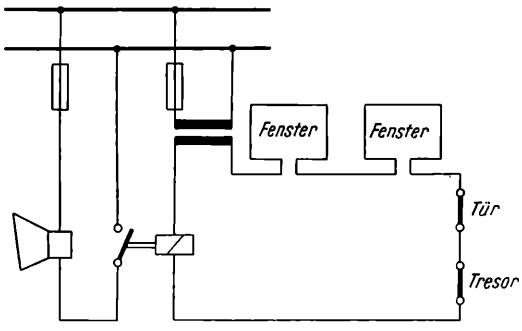


Bild 2.22

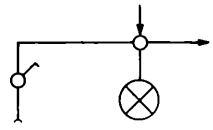


Bild 2.23

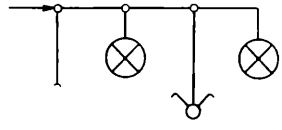


Bild 2.24

den sogenannten Raumschutzanlagen der Fall. Solche Anlagen haben im Spulenstromkreis ein leicht zerreißbares Draht- oder Leiterfoliennetz, das an die zu sichernden Objekte (Fenster, verglaste Türen) installiert ist. Wird die Leiterschleife durch gewaltsames Öffnen von Türen und Fenster zerrissen, so fällt der Anker der Relaisspule ab und schließt den Stromkreis des Alarmgerätes (Hupe, Wecker, Signalanzeige bei der Polizei, Anschalten der Deckenbeleuchtung usw.). An Tresortüren werden anstelle der Leiterschleife Türkontakte verwendet (Bild 2.22).

2.5. Praktische Übungsaufgaben

1. Führen Sie die Installationsschaltungen *1* bis *6* durch, und erweitern Sie diese durch Steckdosen!
2. Klemmen Sie die in den Bildern 2.23 und 2.24 gezeigten Schaltungen!
3. Stellen Sie einen Paketschalter entsprechend dem Schalter 10/2 zusammen, und schließen Sie den entsprechenden Lampenstromkreis an!
4. Begründen Sie die unterschiedliche Helligkeit bei den einzelnen Schaltstufen! Geben Sie an, wo solche Anlagen praktische Anwendung finden könnten!
5. Schalten Sie eine Verriegelung mit zwei Motoren! Erkundigen Sie sich in Ihrem Betrieb, wo solche Anlagen bestehen, und erlernen Sie dort das Ein- und Ausschalten dieser Anlagen!
6. Erweitern Sie die Relaisschaltungen im Bild 2.17 mit einem zweiten Druckknopftaster!
7. Montieren Sie die Grundschaltung einer Signal-, Sicherungs- bzw. Fernmeßanlage Ihres Berufsgebietes an! Stellen Sie fest, welche Fernmeldeanlagen (außer Fernsprechanlagen) es in Ihrem Betrieb gibt, und lernen Sie ihre Schaltung kennen!
8. Lernen Sie die Schaltung einer elektrischen Anlage, eines Gerätes oder Apparates Ihres Berufsgebietes am Objekt selbst kennen, und skizzieren Sie diese Schaltung an Ort und Stelle!

3. ALLGEMEINE GRUNDLAGEN DER MESSTECHNIK

3.1. Grundbegriffe

Das Messen der elektrischen Größen setzt Kenntnisse über Aufbau, Wirkungsweise und Eigenschaften der Meßinstrumente voraus. Hierbei tritt unabhängig von der Art der Messung eine immer wiederkehrende Anzahl von meßtechnischen Grundbegriffen auf, die vor der Beschreibung der einzelnen Meßverfahren bekannt sein müssen.

3.1.1. *Prüfen und Messen*

Die einwandfreie Funktion von montierten bzw. zu überwachenden elektrischen Anlagen erfordert bestimmte Prüfverfahren. Diese können sein:

1. Prüfen der elektrischen Eigenschaften der Anlage in bezug auf ihren Spannungszustand, Isolierungszustand usw.
2. Messen der vorhandenen elektrischen Größen, wie Spannung, Isolationswiderstand usw.

Obwohl in der Systematisierung der Fachbegriffe die beiden Seiten des Überprüfens als *nichtmaßliches* und *maßliches* Prüfen bezeichnet werden, haben sich jedoch diese Bezeichnungen in der betrieblichen Praxis und im Sprachgebrauch der Elektrotechnik nicht eingebürgert. Im folgenden soll daher auch weiterhin mit den Begriffen „Prüfen" und „Messen" operiert werden.

Prüfen heißt kontrollieren, ob vorgeschriebene Eigenschaften eingehalten worden sind oder nicht.

Messen heißt Vergleichen einer unbekannten Größe mit einer gleichartigen standardisierten Größe, die als Einheit dient, um festzustellen, wie oft diese Einheit in der unbekannten Größe enthalten ist.

3.1.1.1. *Prüfverfahren*

Für alle Elektroberufe gibt es drei grundsätzliche Prüfverfahren, die immer wieder bei der Wartung, Inbetriebnahme und Reparatur von elektrischen Anlagen und Geräten in Anwendung gelangen. Diese sind:

1. Ermittlung des Spannungszustandes,
2. Ermittlung des Stromdurchganges,
3. Ermittlung des Isolationszustandes.

Der Spannungszustand einer elektrischen Anlage wird — außer einem Spannungsmesser — mit Hilfe des *Spannungssuchers* ermittelt. Dieses Prüfmittel besitzt als Sichtanzeiger eine Glimmröhre, der zur Strombegrenzung ein Widerstand vorge-

schaltet ist (Bild 3.1). Zum Schutz gegen Zersplitterung befindet sich die Glimmröhre in einem stabilen Isoliergehäuse, das mit einem kleinen Sehschlitz versehen ist. Die vielfach verbreitete offene Glühlampe scheidet deshalb aus Sicherheitsgründen aus. Von den Herstellerbetrieben werden zwei Ausführungen gefertigt: der zweipolige und der einpolige Spannungssucher in Kombination mit einem Schraubenzieher. Bei Anwendung der Spannungssucher ist auf den aufgedruckten Spannungsbereich zu achten. Der Spannungssucher hat den Vorteil, daß seine Verwendung über den 220-V-Bereich geht. Hinzu kommt, daß mit ihm in Gleichstromnetzen und genullten Netzen die Polarität der Leitungen ermittelt werden kann.

Der Stromdurchgang einer Leitung oder eines Verbrauchers, meist nur als *Durchgangsprüfung* bezeichnet, *wird in Anlagen, die von der Betriebsspannung abgeschaltet sind, durchgeführt!* Die hierzu notwendigen Prüfmittel sind in ihrem Aufbau sehr einfach (Bild 3.2). Sie enthalten als Prüfspannungsquelle eine Taschenlampenbatterie und als Anzeiger für den Stromdurchgang eine Glühlampe oder einen Hörmelder.

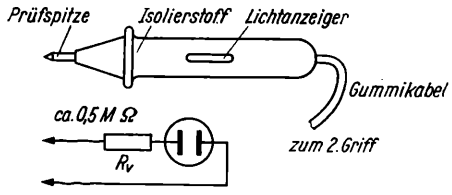


Bild 3.1

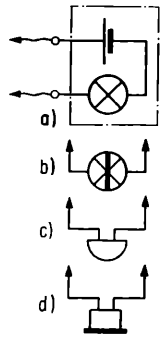


Bild 3.2

Mit Hilfe zweier Prüfspitzen wird die Prüfspannung an die Leitung oder den Verbraucher gelegt. Ist keine Leitungsunterbrechung vorhanden, so kommt ein Stromfluß zustande, der durch den Anzeiger angegeben wird. Diese Prüfmittel sind bei Schaltarbeiten und Reparaturarbeiten in allen Bereichen der Elektrotechnik unentbehrliche Werkzeuge, weil mit ihnen

Kurzschlüsse,	Schaltverbindungen,
Erdschlüsse,	Drahtbrüche und
Körperschlüsse,	schlechte Kontakte

überprüft werden können. Je nach Art der Spannungsquelle, des Anzeigers, der Prüfung von nieder-, mittel- oder hochohmigen Widerständen gibt es zweckentsprechende Prüfmittel. Als Beispiel seien einige gebräuchliche Prüfmittel genannt:

optische Prüfmittel, wie Prüflampe und Schauzeichen,

akustische Prüfmittel, wie Summer und Kopfhörer,

Kurbelinduktoren.

Die *Prüflampe* (Bild 3.2a) besteht in der einfachen Ausführung aus einer Taschenlampe, bei der der Schalter durch zwei herausgeführte Prüfspitzen ersetzt wird. Mit ihr können Durchgangsprüfungen aller Art, jedoch nur von niederohmigen (etwa

bis 30 Ω) Leitern und Verbrauchern durchgeführt werden. Diesem gleichen Prinzip entspricht der von der PGH „Energie" in Torgau gefertigte „Prüffix" (Bild 3.3).

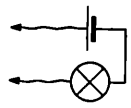


Bild 3.3

Das Schauzeichen kann auch anstelle der Glühlampe eingesetzt werden (Bild 3.2b). Bei Stromdurchgang wird die Spule des Schauzeichens erregt, und diese bewirkt nach dem elektrodynamischen Prinzip eine Drehung der Scheibe. Das Schauzeichen hat gegenüber der Prüflampe eine größere Anzeigeempfindlichkeit, und es können mit ihm größere Leitungs- und Verbraucherwiderstände (mehrere 1000 Ω) auf Durchgang geprüft werden.

Die akustischen Prüfmittel sind schaltungsmäßig im Bild 3.2c dargestellt. Sie haben den Vorteil, daß der Prüfende sich besser auf das Einschalten der Leitungen und Verbraucher konzentrieren kann und nicht durch das Beobachten des Prüfmittels abgelenkt wird. Bei der Verwendung von Kopfhörern wird die Durchgangsprüfung von hochohmigen Widerständen möglich.

Von der Vielzahl der Durchgangsprüfmittel sei das im Gebrauchsmusterregister der DDR eingetragene „Schutzleitungsprüfgerät für elektrische Handwerkzeuge und bewegliche Leitungen" im Bild 3.4 dargestellt.[1]) Mit diesem Gerät ist ein Dauerprüfstrom von 8 A, der etwa dem Kurzschlußstrom entspricht, möglich. Kommt der

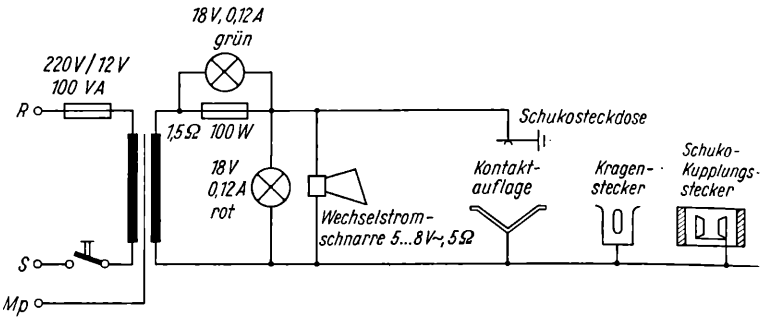


Bild 3.4

Prüfstrom zustande, so wird praktisch die Schnarre und die rote Lampe kurzgeschlossen, und ein Ansprechen beider Melder erfolgt nicht; jedoch leuchtet dafür die grüne Meldelampe auf. Kommt dagegen kein Prüfstrom zustande, ist also eine Leitungsunterbrechung vorhanden, so bringt der durch die Schnarre und die Lampe fließende Strom beide zur Anzeige.

Die Anwendung und Beschreibung des *Kurbelinduktors* erfolgt im Abschn. 5.4.

3.1.2. *Meßgenauigkeit, Meßfehler und Toleranzen*

Jede Messung ist mit einem mehr oder weniger großen Fehler behaftet, der das Meßergebnis verfälscht. Eine absolut genaue Messung gibt es deshalb nicht. Unter Meßgenauigkeit eines Instruments versteht man, inwieweit die Meßanzeige dem absoluten Wert nahekommt. Je weniger also der Meßwert vom Absolutwert abweicht, um so größer ist die Meßgenauigkeit des Instruments.

[1]) Siehe Der Elektro-Praktiker 5/1962, Seite 171, Schutzleitungsgerät für elektrische Handwerkzeuge und bewegliche Leitungen von Ing. *W. Eggert.*

Die Fehler, die das Meßergebnis verfälschen, können objektiver und subjektiver Art sein. Objektiv sind solche, die durch die Konstruktion des Meßwerkes bedingt sind und die durch äußere Einflüsse, wie Temperatur-, Frequenz-, Spannungs-, Fremdfeld-, Leistungsfaktor- und Lageeinfluß, hervorgerufen werden.
Subjektive Fehler entstehen durch den Messenden selbst, wie falsches Ablesen, schräges Anvisieren des Zeigers und durch falsches Abschätzen des Bruchteils eines Skalenteils.

Besonders gilt für den Facharbeiter, daß er nicht durch falsche und pfleglose Handhabung des Meßinstruments die objektiven Fehler vergrößert und daß er darauf bedacht sein muß, alle subjektiven Fehler zu vermeiden.

Von besonderem Wert ist die *Fehlerermittlung* bei Präzisionsmessungen, Eichen des Instruments, Aufstellen von Fehlerkurven usw. Der Fehler einer Messung ergibt sich:

$$\text{Fehler} = \text{Anzeige} - \text{Sollwert},$$
$$F = A - S.$$

Je nachdem, wie groß der angezeigte Wert gegenüber dem wahren Wert ist, kann der Fehler positiv oder negativ sein. Als Maßeinheit werden die Meßgröße oder die Skalenteile angegeben.
Da alle Fehler einer Messung relativ sind, also auf den wahren Wert bezogen werden, wird dieser wie folgt errechnet:

$$\text{relative Fehler} = \frac{\text{Anzeige} - \text{Sollwert}}{\text{Sollwert}},$$

$$\varepsilon = \frac{A - S}{S}.$$

Meist wird der Fehler in Prozent angegeben, d. h. $p = 100 \cdot \varepsilon$.

Anzeigefehler ist die prozentuale Fehlangabe eines anzeigenden Instruments. Er wird in Prozent des Meßbereichs-Endwertes bzw. der Skalenlänge bzw. des richtigen Wertes angegeben.

Der den Meßinstrumenten anhaftende Gerätefehler muß in bestimmten Grenzen liegen. Diese sind durch die verschiedenen Bauarten sehr unterschiedlich, und man teilt deshalb die Meßinstrumente in verschiedene Genauigkeitsklassen ein.

Feinmeßgeräte	Klasse	0,1	0,2	0,5	
	(Toleranz	± 0,1	± 0,2	± 0,5)	
Betriebsmeßgeräte	Klasse	1,0	1,5	2,5	5
	(Toleranz	± 1,0	± 1,5	± 2,5	± 5)

Die Genauigkeitsklassenzahlen geben gleichzeitig die zulässige prozentuale Meßabweichung (Toleranz), bezogen auf den Endwert, an. Diese Klassetoleranzen schließen jedoch nur die Fehler ein, die durch Unvollkommenheit der Herstellung

oder Eichung entstehen (Reibung, Kipp-, Eich- und Skalenfehler, Fehler durch elastische Nachwirkung der Meßwerkfedern, mechanische Alterung der Bauteile). Die durch äußere Einflüsse hervorgerufenen Fehler sind hierin nicht mit einbezogen und werden gesondert berücksichtigt.

Beispiel:

Ein Spannungsmesser mit einem Endwert von 100 V entspricht der Klasse 2,5. Welche Meßabweichungen können bei 100, 50, und 10 V bestehen? Diese sind in Prozent des jeweiligen Meßwertes anzugeben!

Lösung:

Die Meßabweichung von 2,5% des Endwertes bedeutet

Wahrer Wert	Meßabweichung	Fehler in % des jeweiligen Meßwertes
100 V	97,5 V...102,5 V	2,5%
50 V	47,5 V... 52,5 V	5%
10 V	7,5 V... 12,5 V	25%

Hieraus wird ersichtlich:

Am Skalenende besteht die größte relative Meßgenauigkeit, die zum Skalenanfang hin abnimmt. Aus diesem Grunde wählt man möglichst solch ein Meßinstrument, bei dem die Anzeige im letzten Drittel der Skale erfolgen kann.

3.1.3. *Empfindlichkeit, Eigenverbrauch und innerer Widerstand*

Die Durchführung von Messungen erfordert Meßinstrumente mit einer *dem Zweck entsprechenden Genauigkeit und Empfindlichkeit.* Unter Empfindlichkeit eines Meßinstruments versteht man das Verhältnis der Ausschlagsänderung zur Änderung der Meßgröße:

$$\text{Empfindlichkeit} = \frac{\text{Ausschlag in Grad, Skalenteile oder mm}}{\text{Einheit der Meßgröße}}.$$

Benötigt z. B. ein Meßinstrument mit einer gleichmäßigen Skale von 60 Skalenteilen zum Vollausschlag 2 mA, so ist seine Empfindlichkeit $= \frac{30\ \text{Skalenteile}}{\text{mA}}$. Besonders bei hochempfindlichen Meßinstrumenten wird diese Größe auf der Skale angegeben. Für den Praktiker ist zur Beurteilung seines Meßinstruments besonders die Kenntnis über dessen *Eigenverbrauch* bzw. *inneren Widerstand* von Wert. Großer Eigenverbrauch bzw. ein kleiner Innenwiderstand bei Spannungsmessern können

eine merkliche Belastung des Meßkreises darstellen, die sogar bis zum Zusammenbruch der zu messenden Spannung führen kann. Von den Herstellerbetrieben werden deshalb diese Größen in der Meßgerätebeschreibung angegeben. Zum allgemeinen Überblick seien einige Werte über den Eigenverbrauch von Meßwerken aufgeführt:

Spiegelgalvanometer	$10^{-17} \ldots 10^{-14}$ W,
Drehspulmeßwerke (Zeiger)	$10^{-4} \ldots 10^{-2}$ W,
Dreheisenmeßwerke	0,5 ... 3 W,
elektrodynamische Meßwerke	1 ... 3 W,
Vibrationsmeßwerke	0,2 ... 1 W.

Der innere Widerstand ist z. B. bei einem Vielfachmesser mit 1000 Ω/V

im 6-V-Bereich: $1000\,\Omega/\mathrm{V} \cdot 6\,\mathrm{V} = 6000\,\Omega$,
im 600-V-Bereich: $1000\,\Omega/\mathrm{V} \cdot 600\,\mathrm{V} = 600\,000\,\Omega$.

Der innere Widerstand eines Meßinstruments wird entweder in Ohm oder als Kehrwert der Stromaufnahme in Ohm je Volt (Ω/V) angegeben. Vielfach wird diese Meßgröße auch als Stromdämmung bezeichnet.

$$\text{Stromdämmung} = \frac{\text{innerer Widerstand}}{\text{Meßbereich}} \text{ in } \frac{\Omega}{\mathrm{V}}.$$

Die Angabe der Stromdämmung Ω/V hat den Vorteil, daß bei Vielfachmessern der innere Widerstand der jeweiligen Spannungsbereiche leicht bestimmt werden kann. Während einfache Meßinstrumente noch für 333 und 500 Ω/V ausgelegt sind, haben die modernen Vielfachmesser Werte von 1000, 3000, 20 000 bzw. sogar 100 000 Ω/V.

3.2. Aufbau der elektrischen Meßinstrumente

3.2.1. *Allgemeiner Aufbau*

Bei allen elektrischen *Meßgeräten*, *Meßinstrumenten* oder *Meßwerken* kommen gleichartige Einzelbauteile vor, von denen die wichtigsten in den nachfolgenden Abschnitten gekennzeichnet werden. Auch der Aufbau, also das Zusammenwirken der Bauteile, ist bei allen Geräten ähnlich, und darum wird er zur Verallgemeinerung im Bild 3.5 dargestellt. Gleichzeitig wird im Bild 3.5 die Unterscheidung meßtechnischer Begriffe deutlich:

a) *Meßgerät*, im Sinne dieser Regeln, ist ein Meßinstrument zusammen mit sämtlichem Zubehör, also auch mit solchem, das vom Instrument trennbar ist.

b) *Meßinstrument*, im Sinne dieser Regeln, 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. (Auch die Skale ist ein Teil des Meßwerkes.)

d) *Bewegliches Organ* ist der Meßwerkteil, dessen Bewegung oder Lage vom Wert der Meßgröße abhängt.

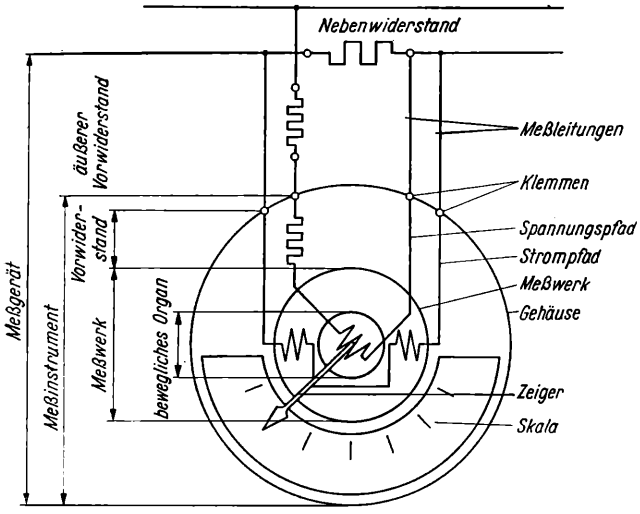


Bild 3.5

e) *Strompfad* ist der vom Meßstrom oder einem Teil des Meßstroms durchflossene Teil eines Meßgerätes (Meßpfad).

f) *Spannungspfad* ist der mittelbar oder unmittelbar an die Meßspannung anzuschließende Teil eines Meßgerätes (Meßpfad).

g) *Nebenwiderstand* ist ein im Nebenschluß zum Meßpfad eines Meßwerkes angeschlossener Widerstand.

h) *Vorwiderstand* ist der Widerstand, der einem Meßwerk im Spannungspfad vorgeschaltet ist.

i) *Zuleitungen* sind leitende Verbindungen zwischen Meßstellen sowie Zubehör und Meßgerät. Ihre Eigenschaften beeinflussen unter Umständen die Anzeige.
Die Bezeichnung „Meßleitung" wurde in Übereinstimmung mit den Festlegungen der Wärmetechnik verlassen, da sie in der Hochfrequenz für eine Meßeinrichtung benutzt wird.

k) *Zubehör* (allgemein), im Sinne dieser Regeln, ist ein vom Meßinstrument getrennter Teil des Strom- und Spannungspfades, der mit dem Meßinstrument verbunden wird.
Das Zubehör kann z. B. bestehen aus Widerständen, Induktivitäten, Kapazitäten, Gegeninduktivitäten, Halbleiter-Zweipolen oder aus beliebigen Kombinationen von diesen.

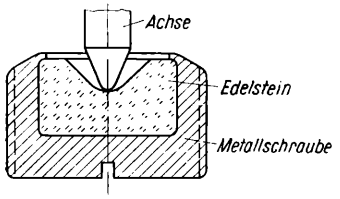
l) *Austauschbares Zubehör* kann unter Einhaltung der gewährleisteten Fehlergrenzen durch anderes gleichen Typs und gleicher Klasse ersetzt werden.

m) *Nicht austauschbares Zubehör* gewährleistet nur zusammen mit dem nach der Kennzeichnung zugehörigen Meßinstrument das Einhalten der Fehlergrenzen der angegebenen Genauigkeitsklasse.

3.2.2. *Lagerung*

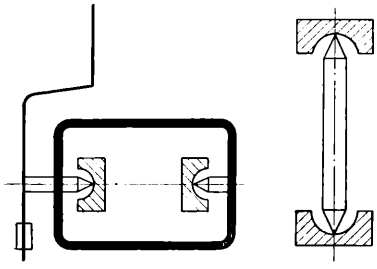
Die Anzeigegenauigkeit und die Empfindlichkeit des Meßwerkes ist sehr stark von der Lagerung des beweglichen Organs abhängig. Diese muß so konstruiert sein, daß die auftretenden Reibungsverluste und das axiale Spiel des beweglichen Organs gering bleiben. Es liegt hierbei ohne weiteres im Bereich der Möglichkeiten, diese Verluste durch eine präzise Lagerausführung sehr gering zu halten. Dabei muß aber bedacht werden, daß solche Konstruktionen sehr empfindlich gegen mechanische

Tafel 3.1. Lagerungen



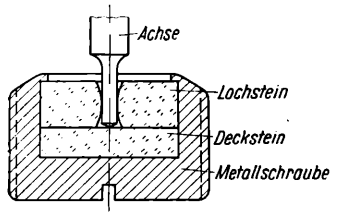
Spitzenlagerung

Meiste Verwendung; Achse enthält beiderseitig gehärtete, hochglanzpolierte Stahlkegel (Spitzenwinkel ≈ 60°) mit abgerundeten Spitzen; Krümmungsradius der Spitzen 0,025 bis 0,05 mm; Lagersteine sind natürlicher oder synthetischer Saphir, Rubin bzw. Achat oder Bronze; bei Außenspitzenlagerung treten Kippfehler auf



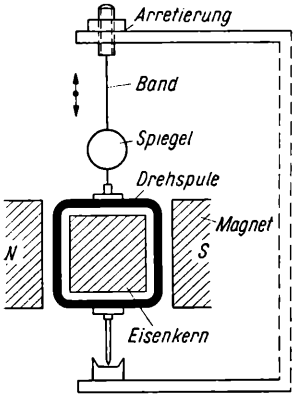
Innenspitzen- und Außenspitzenlagerung

Bei senkrechter Achslage treten Kippfehler auf, darum Innenspitzenlagerung; bei waagerechter oder schräger Lage tragen beide Lager, darum Außenspitzenlagerung



Zapfenlagerung

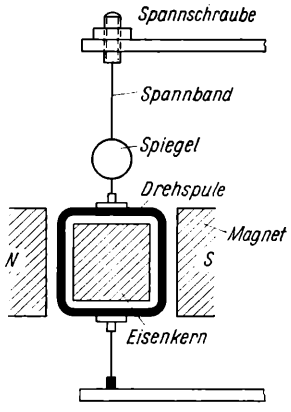
Verwendung bei schweren beweglichen Organen (Schreibgeräte) bzw. bei starken Stoßbelastungen; größere Reibung; keine Kippfehler



Bandaufhängung

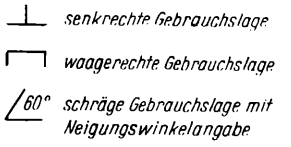
Verwendung bei Präzisionsinstrumenten; Band oder Draht besteht aus Platin, Bronze oder Quarz; Band ersetzt die Lagerung und bewirkt durch die Torsionsbeanspruchung die Rückstellung der Spule; die Aufstellung des Instruments muß in senkrechter Lage erfolgen, darum ist zur Einstellung eine Wasserwaage eingebaut; das hochempfindliche Meßwerk muß erschütterungsfrei aufgestellt werden; für den Transport wird das bewegliche Organ festgehalten (Arretierung)

Tafel 3.1. (Fortsetzung)



Spannbandaufhängung

Verwendung bei Schalttafelinstrumenten, Spiegelgalvanometern, Lichtmarkengeräten; durch die Spannfedern wird eine Schräglage des Instruments möglich; nachteilig ist das Erreichen der Nullpunktkonstanz und das Kleinhalten der elastischen Nachwirkung; Bänder dienen gleichzeitig der Stromzuführung



Sinnbilder für die Gebrauchslage der Meßinstrumente

Beanspruchungen sind und nicht für alle Anwendungsbereiche, wie z. B. rauhe Betriebsverhältnisse, in Frage kommen. Je nach Verwendungszweck des Meßwerkes werden deshalb verschiedene Lagerarten verwandt. Diese sind in Tafel 3.1 erläutert.

Aus der Darstellung der Lagerarten ergibt sich folgende Schlußfolgerung:

1. Meßinstrumente müssen stets erschütterungsfrei aufgestellt werden.
2. Ihre Montage muß in der auf der Skale angegebenen Gebrauchslage erfolgen.
3. Feuchtigkeit, Staub und Schüttelbewegungen rufen Abnutzungserscheinungen der Lager hervor und vergrößern die Lagerreibung.
4. Ein Ölen der Lager ist unzulässig (kommt höchstens bei Schreibgeräten nach entsprechenden Vorschriften vor).
5. Meßinstrumente mit Bandaufhängung müssen zum Transpor tarretiert werden.

3.2.3. *Meßwerkfedern*

Die Meßwerkfedern haben die Aufgabe,

das Gegenmoment für das Drehmoment des beweglichen Organs zu erzeugen, den Zeiger bei stromlosem Zustand des Meßwerkes in der Nullstellung zu halten und

bei bestimmten Meßwerken gleichzeitig Stromzuführung für das bewegliche Organ zu sein.

Die Meßwerkfedern beeinflussen unmittelbar die Meßanzeige. Darum müssen sie folgende Eigenschaften besitzen:

1. Sie müssen für die Lebensdauer des Meßwerkes ein konstantes Gegenmoment liefern, also eine gleichbleibende Elastizität besitzen,
2. aus unmagnetischem Werkstoff gefertigt sein,
3. korrosionsbeständig sein und
4. eine gute elektrische Leitfähigkeit haben.

Diese Forderungen an den Werkstoff und an die Konstruktion der Federn wird am besten durch ein *spiralförmiges Band* aus *Kupferlegierungen*, wie Siliziumbronze oder Phosphorbronze, erfüllt.

Beim Ausschalten eines für längere Zeit in Betrieb gewesenen bzw. überlasteten Meßinstruments zeigt sich vielfach eine elastische Federnachwirkung. Diese äußert sich darin, indem nach Abschalten der Spannung die Feder nicht sofort in ihre ursprüngliche Spiralform zurückgeht, sondern dazu eine geraume Zeit benötigt. Diese kann sogar meherer Stunden andauern. Der Zeiger kommt also in diesem Fall nicht genau auf den Nullstrich, sondern etwas daneben zum Stillstand. Bei der Bedienung des Meßinstruments muß folgendes beachtet werden:

Eine Nullpunktstellung des Zeigers unmittelbar nach der Messung mit Hilfe der Nullkorrekturschraube ist falsch, weil der Zeiger nach einer bestimmten Zeit von selbst auf den Nullpunkt zurückgeht.

3.2.4. *Zeiger*

Der Zeiger des Meßwerkes ist mit dem beweglichen Organ unmittelbar verbunden und gibt dessen Drehbewegung sichtbar an. Damit die Anzeigeempfindlichkeit nicht durch zu großes Eigengewicht und das damit zusammenhängende Trägheitsmoment des Zeigers verschlechtert wird, muß dieser möglichst gewichtsarm bzw. gewichtslos sein. Als Werkstoffe kommen deshalb für die meisten Meßzwecke Hartaluminium und für Feinmeßwerke dünn gezogene Glasstäbchen in Frage. Die Zeiger aus beiden

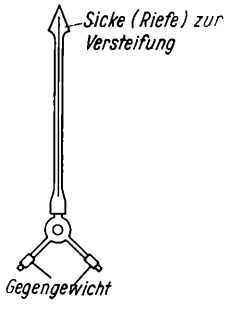


Bild 3.6

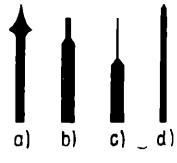


Bild 3.7

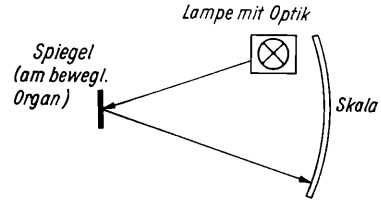


Bild 3.8

Werkstoffen werden aus Gründen der Gewichtsverminderung auch nur mit einem sehr leichten schwarzen Lack bestrichen bzw. sogar nur schwarz gefärbt. Trotz der leichten Bauausführung der körperlichen Zeiger muß deren Gewicht um die Drehachse noch ausbalanciert werden, damit sie in *jeder* Anzeigestellung ein labiles Gleichgewicht besitzen. Dieses wird am besten durch ein oder zwei Gegengewichte hergestellt (Bild 3.6). Die Form der Zeiger richtet sich nach der Güteklasse und Verwendung des Meßwerkes (Bild 3.7).

Bei hochempfindlichen Meßwerken (Spiegelgalvanometer) wird der *gewichtslose Lichtanzeiger* verwendet (Bild 3.8).

3.2.5. *Skalen*

Die Skalen bestehen meist aus Hartaluminiumblech, auf das weißer Mattlack aufgespritzt ist. Seltener kommen andere Metalle, Hartpapier oder von hinten beleuchtetes Milchglas zur Anwendung. Die auf der Skalenscheibe aufgedruckte, gezeichnete oder fotografierte Skaleneinteilung wird als Grob- oder Feinteilung und hierbei als lineare oder nichtlineare Teilung ausgeführt. Sie ist von der Genauigkeit und von der Ableseentfernung des Instruments abhängig. Einige solcher Skalen sind in den Bildern 4.5 bis 4.7 (s. Abschn. 4.1.3.) dargestellt.

Für Feinmeßinstrumente wird vielfach unterhalb der Skalenteilung ein Spiegel untergelegt, damit ein parallaxenfreies Ablesen des Meßwertes ermöglicht wird.

Die Skalen müssen die wichtigsten Instrumentenangaben enthalten und sind somit die „Visitenkarte" des Meßinstruments. Folgende Angaben sind auf der Skale vorhanden:

Fertigungsnummer,	Klassenzeichen,
Ursprungszeichen (Firmenzeichen),	Stromartzeichen,
Prüfspannungszeichen,	Sinnbild des Meßwerkes,
Einheit der Meßgröße,	Gebrauchslagezeichen.

Hinzu kommen eventuelle zusätzliche Aufschriften, wie Angaben über Zubehör (Vor- und Nebenwiderstände, Meßwandler usw.), besondere Schutzarten u. a.

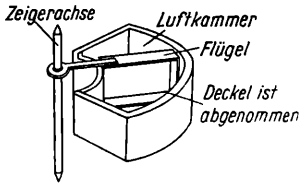
In der Tafel 3.3 sind einige dieser Sinnbilder und Kurzzeichen angegeben.

3.2.6. *Dämpfung*

Das bewegliche Organ stellt mit seinen Einzelteilen (Spule, Achse, Zeiger usw.) eine Masse dar, der bei der Meßwerteinstellung eine kinetische Energie zugeführt wird und die durch das Wirken der Rückstellfeder in Schwingungen gerät. Je empfindlicher das Organ gelagert ist, um so länger hält der Schwingungszustand um den Anzeigewert an, und die Zeigerablesung wird zeitlich verzögert. Darum ist es notwendig, diese Zeigerschwingungen zu dämpfen.

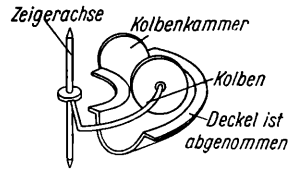
Am gebräuchlichsten sind die Luftdämpfung, Flüssigkeitsdämpfung und Magnetdämpfung (Tafel 3.2).

Tafel 3.2. Dämpfung der Zeigerschwingungen



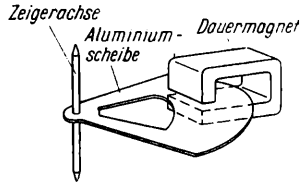
Luftdämpfung (Flügeldämpfung)

Verwendung vorwiegend bei Dreheisenmeßwerken und elektrodynamischen Meßwerken; technische Ausführung erfolgt als Flügel- oder Kolbendämpfung; Flügel oder Kolben bewegt sich in einer geschlossenen Kammer und wird in seiner Bewegung durch die entstehende Luftströmung gedämpft

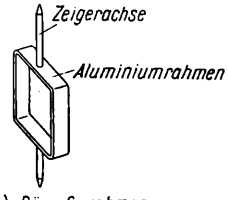


Flüssigkeitsdämpfung (Kolbendämpfung)

Verwendung bei Geräten mit großen Richtkräften, wie Schreibgeräte; als Dämpfungsmittel wird Öl oder Glyzerin verwendet; aus Gründen der Dichtung wird die Kolbendämpfung bevorzugt



a) Scheibendämpfung



b) Dämpferrahmen

Magnetische Dämpfung

Verwendung vorwiegend bei Drehspul- und Induktionsmeßwerken; wird ein in sich geschlossener Leiter (Aluminiumblech oder Aluminiumrahmen) in einem Magnetfeld bewegt, so entstehen im Leiter Wirbelströme, die die Leiterbewegung hemmen (Lenzsches Gesetz)

3.3. Praktische Übungsaufgaben

Ermitteln Sie mit dem Spannungssucher den Nulleiter einer elektrischen Anlage!

Bestimmen Sie die Polarität der Leiter einer Gleichstromanlage!

Führen Sie mit einem Prüfmittel Durchgangsprüfungen an längeren Leitungen (Kabeln, Klingelleitung usw.) sowie an Verbrauchern aller Art durch! Benutzen Sie das richtige Prüfmittel (Widerstand der Verbraucher beachten)!

Ermitteln Sie mit einem Prüfmittel die Schaltung eines Gerätes, eines Schalters (Paketschalter), Relais u. ä. Betriebsmittel!

Skizzieren Sie die Schaltung!

Führen Sie mit dem Prüffix oder Schauzeichen eine Überprüfung der Schutzleitung in der Lehrwerkstatt durch, ob alle Verbraucher (mit Metallverkleidung) entsprechend der VDE 0100 mit dem Nulleiter, der Schutzerdung u. ä. der Starkstromanlage verbunden sind! Orientieren Sie sich über wichtige Aussagen zu den elektrischen Meßgeräten, wie Baubestimmungen, Sicherheitsbestimmungen und Genauigkeitsanforderungen!

Tafel 3.3. Kurzzeichen und Sinnbilder zum Beschriften der Meßgeräte

Nr.	Schaltzeichen	Benennung
1		**Drehspulmeßgerät.** Feststehender Dauermagnet, Spule, durch Strom magnetisch abgelenkt. Drehmagnetmeßgerät. Eine oder mehrere feste Spulen, mindestens 1 Magnet
2		**Drehspulquotientenmesser.** Feststehender Magnet, mehrere ablenkbare Spulen. (Ohne Richtkraft.)
3		**Dreheisenmeßgerät.** Strom in feststehender Spule bewegt Eisenstücke
4		**Dreheisenquotientenmesser.** Strom in mehreren feststehenden Spulen bewegt Eisenstücke
5		**Elektrodynamisches Meßgerät** (eisenlos). Elektrodynamisch abgelenkte Spulen
5a		Desgleichen (eisengeschlossen). Eisen steigert Drehmoment
6		**Elektrodynamischer Quotientenmesser** (eisenlos). Elektrodynamisch abgelenkte Spulen
6a		Desgleichen (eisengeschlossen)
7		**Induktionsmeßgerät.** Drehfeldmeßwerk mit einem feststehenden und einem beweglichen Stromleiter (Scheiben oder Trommeln)

Nr.	Schaltzeichen	Benennung
19		Gleichstrom
20		Wechselstrom
21		Gleich- und Wechselstrom (Allstrom)
22		Drehstrommeßgerät mit 1 Meßwerk
23		Drehstrommeßgerät mit 2 Meßwerken
24		Drehstrommeßgerät mit 3 Meßwerken
25		senkrechte Gebrauchslage
26		waagerechte Gebrauchslage
27		schräge Gebrauchslage
28		desgleichen mit Neigungswinkelangabe
29		**Nulleinstellung**
30		**Prüfspannungszeichen** schwarz umrandeter Stern

Sternzeichen	Betriebsspannung U_b oder Stromkreisnennspannung.	Prüfspannung U_p
ohne Ziffer	··· 40 V	500 V
mit Ziffer 2	über 40··· 650 V	2 000 V
mit Ziffer 5	über 650··· 1 500 V	5 000 V
mit Ziffer 10	über 1 500··· 3 000 V	10 000 V
mit Ziffer 20	über 3 000··· 6 000 V	20 000 V
mit Ziffer 30	über 6 000···10 000 V	30 000 V
mit Ziffer 50	über 10 000···15 000 V	50 000 V
U_p in kV	über 15 000···	2,2 U_b + 20 000 V
mit Ziffer 2	Meßgeräte zum Anschluß an Stromwandler	2 000 V

8 

Induktionsquotientenmesser. Wie Nr. 7, jedoch mit mehreren Stromleitern

9 

Hitzdrahtmeßgerät. Zeigerbewegung durch Erwärmung (Verlängerung) des Leiters

10 

Elektrostatisches Meßgerät. Zwischen Platten wirken abstoßende Kräfte

11 

Vibrationsmeßgerät. Schwingungsfähige Anzeigesysteme (Anziehung oder Abstoßung)

12 

Thermoumformer. Thermoelemente liefern eine EMK

13 

Desgleichen mit Drehspulmeßgerät. Thermoelemente mit Nr. 1

14 

Isolierter Thermoumformer. Wie Nr. 12, jedoch mittelbare Erwärmung

15 

Desgleichen mit Drehspulmeßgerät. Wie Nr. 13, mittelbare Erwärmung

16 

Gleichrichter. Zu messender Wechselstrom in Gleichstrom umgeformt

17 

Desgleichen mit Drehspulmeßgerät. Nr. 16 mit Nr. 1

18 

Eisenschirm für Meßgeräte. Abschirmung von Fremdfeldern. Eisenblechgehäuse gilt nicht als Abschirmung

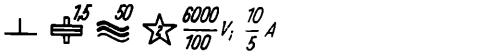
Klasseneinteilung		Zulässige Anzeigefehler der Meßgeräte bei 20 °C Raumtemperatur	
Arten der Geräte	Klassenzeichen		
Feinmeßgeräte	0,1	±0,1	% vom Meßbereich-Endwert
	0,2	±0,2	
	0,5	±0,5	
Betriebsmeßgeräte	1,0	±1,0	
	1,5	±1,5	
	2,5	±2,5	

Die gleichen Abweichungen in % sind zulässig bei:
1. Leistungsmessern mit Phasenverschiebung 90°,
2. Änderung der Raum-Bezugs-Temperatur um ±10 °C,
3. Änderung der Frequenz ±10% der Nennfrequenz,
4. Änderung der Spannung bei Leistungszeigern um ±20 der
4. Änderung der Spannung bei Leistungszeigern um ±20% der Nennspannung.

Vorstehende Fehlergrenzen gelten für Meßgeräte einschließlich der zugehörigen Neben- und Vorwiderstände. — Getrennt gelieferte Widerstände sollen nachstehend angegebenen Genauigkeitsklassen angehören.

Fehlergrenzen getrennt gelieferter Widerstände

Neben- und Vorwiderstandsklasse	Abweichung vom Nennwert bzw. Belastungswert zwischen +10° und 30 °C
0,1; 0,2; 0,5	±0,1; ±0,2; ±0,5% vom Nennwert



Beispiel für einen Leistungsanzeiger:

senkrechte Lage; Betriebsmeßgerät Kl. 1,5; Drehstrom 50 Hz mit 2 Meßwerken; Prüfspannung 2000 V für Spannungswandler 6000/100 V und Stromwandler 10/5 A

4.1. Dreheisenmeßinstrument

Dreheisenmeßwerke werden in zwei grundsätzlich verschiedene Konstruktionsformen, dem Flachspul- und dem Rundspulmeßwerk, unterschieden. Sie sind trotz ihrer geringen Empfindlichkeit und ihres hohen Eigenverbrauchs in der Betriebsmeßtechnik zum Messen von Wechselströmen und Wechselspannungen normaler technischer Frequenzen stark verbreitet, weil ihr robuster und einfacher Aufbau den rauhen Betriebsverhältnissen entspricht.

4.1.1. *Flachspulmeßwerk*

Das Flachspulmeßwerk, dessen Aufbau im Bild 4.1 dargestellt ist, besitzt eine Spule mit rechteckiger flacher Öffnung, in die ein exzentrisch gelagertes Weicheisenblech (Dreheisen) durch das bei Stromzufluß entstehende elektromagnetische Feld hineingezogen wird. Hierbei ist die Wirkungsrichtung des Drehmomentes von der Stromrichtung unabhängig, weshalb das Meßwerk für beide Stromarten geeignet ist. Die Kraft, mit der das Dreheisen angezogen wird, wird vom Meßstrom bestimmt und ist proportional dem Quadrat des Stromes I^2. Wird z. B. der Meßstrom verdreifacht, so wächst die auf das Eisen ausgeübte Kraft um das Neunfache, und der Zeigerausschlag wird dadurch um das Neunfache größer. Wegen der quadratischen Abhängigkeit der Kraft vom Meßstrom hat die *natürliche Skale* eine quadratische Teilung.

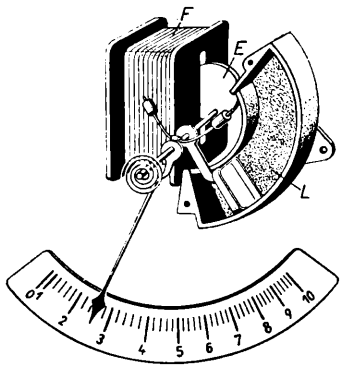


Bild 4.1

Dem Drehmoment muß ein Gegenmoment entgegenwirken. Wäre das nicht der Fall, so erfolgte stets ein Zeigervollauschlag, bzw. der Zeiger würde bei schräger Lage des Meßwerkes immer in dieser Endstellung verharren. Der Zeiger wird deshalb durch eine Richtkraft in Form einer Spiralfeder, die mit der Zeigerachse verbunden ist, in die Nullstellung zurückgezogen. Wirkt bei Stromfluß die magnetische Anziehungskraft der Spule auf das bewegliche Organ ein, dann erfolgt mit dem Zeigerausschlag ein Dehnen der Spiralfeder, die auf Grund ihrer Elastizität eine Gegenkraft entwickelt und die Drehbewegung aufhalten möchte. Entsprechend dem Hookeschen Gesetz wächst diese Gegenkraft mit größer werdender Dehnung proportional der Anzugs-

kraft, und zwar so lange, bis beide Kräfte gleich groß sind und sich das Gleichgewicht halten. Der Zeiger nimmt dann eine bestimmte Ruhestellung ein, die als Maß für den Meßstrom gelten kann.

Der Zeiger besitz in Verbindung mit dem beweglichen Organ eine Masse. Kommt diese Masse in Bewegung, so kommt sie auf Grund des ihr innewohnenden Trägheitsmoments nicht sofort zur Ruhelage, so daß der Zeiger beim Ausschlag länger anhaltende Schwingungen um den Meßwert ausführt. Deshalb wird das bewegliche Organ mit einer Luftdämpfung versehen, die eine Kolben- oder Flügeldämpfung sein kann.

4.1.2. *Rundspulmeßwerk*

Das Rundspulmeßwerk hat in letzter Zeit immer mehr das Flachspulmeßwerk verdrängt. Seinen Aufbau zeigt Bild 4.2. In einer feststehenden Rundspule befinden sich im Gegensatz zum Flachspulmeßwerk zwei Weicheisenbleche. Während das eine Blech (Festeisen) fest in der Spule angeordnet ist, jedoch zum Zweck der Justierung noch verschoben werden kann, befindet sich diesem ein an der Zeigerachse befestigtes bewegliches Blech (Dreheisen) gegenüber. Auch bei diesem Meßwerk ist das bewegliche Organ mit einer Luftdämpfung versehen.

Der Wirkungsmechanismus des Meßwerkes beruht auf dem Prinzip der Abstoßung gleicher magnetischer Pole. Beide Bleche nehmen beim Entstehen eines elektromagnetischen Feldes gleiche Polarität an und stoßen sich dadurch gegenseitig ab. Die auf das Dreheisen ausgeübte Kraft ist genauso wie beim Flachspulmeßwerk vom Quadrat des Meßstromes abhängig. Das Gegenmoment wird wiederum durch eine Spiralfeder erzeugt.

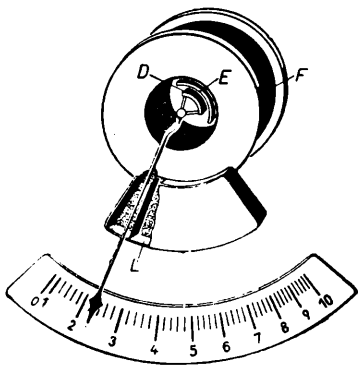


Bild 4.2

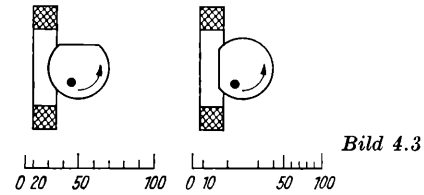


Bild 4.3

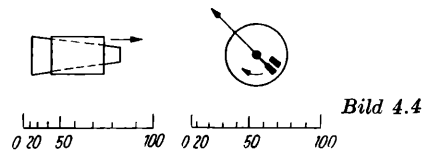


Bild 4.4

4.1.3. *Eigenschaften*

Die Skale der Dreheisenmeßwerke hat trotz der genannten quadratischen Teilung einen ungleichmäßigen Verlauf. Dieser Fehler rührt von der Remanenz im Eisen her; er wird um so kleiner, je schmaler die Magnetisierungskurve des Eisens verläuft und je größer der Entmagnetisierungsfaktor ist. Durch Wahl der Eisensorte, vor allen Dingen durch remanenzarme Nickel-Eisen-Legierungen und durch ent-

sprechende Formgebung sowie Anordnung der Bleche kann man die Skaleneinstellung ändern und für den gewünschten Zweck gestalten. So ist es möglich. Meßwerke mit fast linearer Skalenteilung herzustellen (Bilder 4.3 und 4.4).

Bei Verwendung der Dreheisenmeßwerke für Betriebsmeßinstrumente gestaltet man die Skale so, daß man nur ein gutes Ablesen der Betriebswerte auf der Skale ermöglicht. Vielfach werden die Meßwerte so konstruiert, daß

a) die Skalen für Strommesser im Mittelbereich fast gleichmäßig geteilt werden und am Anfang sowie am Ende eine etwas gedrängte Teilung erhalten (Bild 4.5);

b) die Skalen für stark überlastete Strommesser am Anfang und Ende stärker in der Teilung gedrängt werden. Dadurch wird im Mittelbereich ein gutes Ablesen des

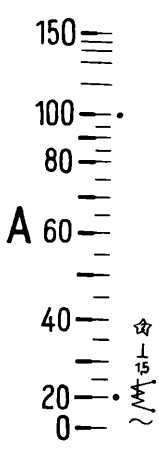


Bild 4.5

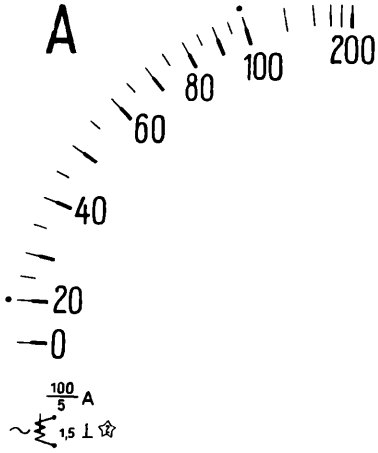


Bild 4.6

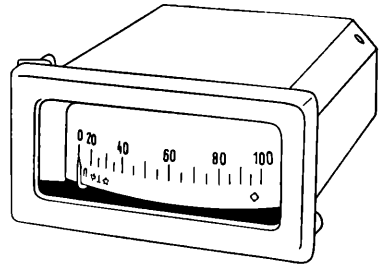


Bild 4.7

Leer- und Nennstromes ermöglicht, und auch der hohe Anlaufstrom wird durch einen großen Überlastbereich ablesbar. Diese Skalen werden hauptsächlich für Motoranlagen benötigt, wobei man den Überlastbereich bis auf 400% ausdehnt (Bild 4.6);

c) die Skalen für Spannungsmesser von etwa $^1/_5$ des Endwertes an beginnen und fast gleichmäßig geteilt sind (Bild 4.7).

Werden Dreheisenmeßwerke für Gleichstrom verwendet, dann tritt ein zusätzlicher Anzeigefehler auf, so daß eine besondere Eichung des Meßwerkes erforderlich wird.

Die Meßgenauigkeit wird im wesentlichen durch den induktiven Blindwiderstand der Spule, durch die Temperaturerhöhung der Spule und durch den Hysteresefehler der Weicheisenbleche verursacht. Diese Einflußgrößen können aber heute schon weitestgehend unterdrückt werden, so daß die Meßgenauigkeit verbessert werden kann. Außer der Herstellung der üblichen Güteklassen der Betriebsinstrumente ist man in der Lage, auch für die Feinmeßtechnik Instrumente mit den Klassen 0,5 oder 0,2 herzustellen.

Der Eigenverbrauch ist gegenüber anderen Meßwerksarten groß. Ursache ist, daß für den Zeigerausschlag nur ein Magnetfeld zur Verfügung steht. Für das schwere, be-

wegliche Organ muß eine magnetische Durchflutung von 200···400 AW aufgebracht werden. Deshalb beträgt der Eigenverbrauch bei Strommesser etwa 0,5 bis 1,5 VA und bei Spannungsmesser etwa 4 VA.
Die Überlastbarkeit ist höher als bei anderen Meßwerken, weil die Stromzuführung der Spule direkt ohne Zwischenschaltung von empfindlichen Strombändern erfolgt und Überströme nicht das stromfreie bewegliche Organ zerstören oder beschädigen können. Strommesser werden so gefertigt, daß sie ständig einer Belastung mit dem 1,2fachen Nennstrom und kurzzeitig sogar mit dem 10fachen Nennstrom standhalten. Auch die Spannungsmesser können dauernd mit der 1,2fachen Nennspannung belastet werden.

4.1.4. *Strom- und Spannungsmessung*

Die Wirkungsweise der Dreheisenmeßwerke beruht auf der magnetischen Grundlage, deren Ursache wiederum der elektrische Stromfluß ist. Darum sind diese und auch andere auf magnetischer Grundlage funktionierende Meßwerke im Prinzip grundsätzlich als Strommesser zu betrachten.
Die Strommesser müssen, weil sie den Strom eines Verbrauchers oder eines Stromkreises messen sollen, diesen zur Anzeige in sich aufnehmen. Deshalb sind sie in Reihe mit dem Verbraucher zu schalten. Der durch den Eigenwiderstand des Meßwerkes entstehende Spannungsabfall muß sehr gering bleiben, damit keine Verfälschung der Meßgröße eintritt.

Beispiel:

Ein Strommesser mit einem Eigenwiderstand von 1 Ω ist in den Stromkreis eines Widerstandes von 4 Ω gelegt. Welche Stromstärke hat der Stromkreis bei einer Spannungsquelle von 4 V?

Lösung:

a) ohne Strommesser

$$I = \frac{U}{R} = \frac{4\ \text{V}}{4\ \Omega} = 1\ \text{A},$$

b) mit Strommesser

$$I = \frac{U}{R + R_{iA}} = \frac{4\ \text{V}}{4\ \Omega + 1\ \Omega} = 0{,}8\ \text{A}.$$

Daraus ergibt sich:

Strommesser haben einen sehr kleinen Eigenwiderstand. Wenn die Meßgröße nicht mehr als um 1% verfälscht werden soll, dann darf der Eigenwiderstand höchstens den hundertsten Teil des Stromkreiswiderstandes betragen.

Das Meßwerk kann aber auch als Spannungsmesser verwendet werden. Nach dem Ohmschen Gesetz ruft eine hohe Meßspannung einen großen Meßstrom und eine niedrige Meßspannung einen kleinen Meßstrom hervor. In jedem Fall schlägt der Zeiger entsprechend der ihn beeinflussenden Stromstärke aus, die wiederum ein Maß für die Spannung darstellt. Die Skale kann demnach in Volt geeicht werden. Schal-

tungsmäßig muß nun das Meßwerk parallel zum Verbraucher gelegt werden und darf dabei keine zusätzliche Belastung des Stromkreises sein.
Daraus ergibt sich:

Spannungsmesser haben einen sehr hohen Eigenwiderstand (Idealfall ist unendlich). Wenn der Meßwert nicht mehr als um 1% verfälscht werden soll, dann muß der Eigenwiderstand mindestens 100mal so groß wie der Stromkreiswiderstand sein.

Die Einschaltung des Meßwerkes als Strom- bzw. als Spannungsmesser wird aus Bild 4.8 ersichtlich.

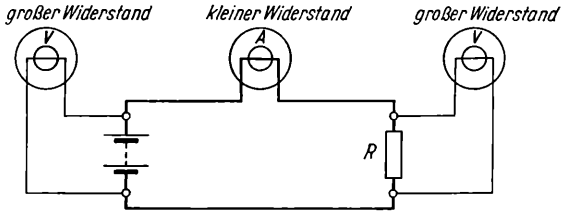


Bild 4.8

4.1.5. *Meßbereicherweiterung*

Dreheisenmeßwerke benötigen zum Zeigerausschlag eine bestimmte magnetische Durchflutung, die für das Meßwerk eine Konstante ist. Sie ergibt sich aus dem Produkt des Meßstromes und der Windungszahl der Spule und wird als Amperewindungszahl bezeichnet.

$$\Theta = I \cdot w = \text{konst.}$$

Will man den Meßbereich eines Strommessers z. B. von 1 auf 10 A erweitern, dann muß die Windungszahl der Spule, weil die Meßwerkkonstante Θ gleichbleiben muß, im umgekehrten Verhältnis verringert werden.

Strommesser

Beispiel:

Ein Meßwerk benötigt zum Zeigerendausschlag eine Durchflutung von 300 AW. Welche Windungszahl ist erforderlich, wenn ein Meßbereich von 6 A hergestellt werden soll? Welcher Drahtdurchmesser ist bei einer Stromdichte von 1,5 A/mm² zu verwenden?

Lösung:

$$w = \frac{\Theta}{I} = \frac{300\ \text{AW}}{6\ \text{A}} = 50\ \text{Windungen},$$

$$A = \frac{I}{S} = \frac{6\ \text{A}}{1{,}5\ \text{A/mm}^2} = 4\ \text{mm}^2 \triangleq 2{,}3\ \text{mm Durchmesser}.$$

Spannungsmesser

Beispiel:

Das gleiche Meßwerk soll als Spannungsmesser für einen Meßbereich von 50 V verwendet werden. Welche Windungszahl und welcher Drahtdurchmesser sind bei einer Stromdichte von 1,5 A/mm² erforderlich, wenn der Eigenverbrauch von 1 W nicht überschritten werden soll?

Lösung:

$$I = \frac{P_v}{U} = \frac{1\ \text{W}}{50\ \text{V}} = 0{,}02\ \text{A},$$

$$w = \frac{\Theta}{I} = \frac{300\ \text{AW}}{0{,}02\ \text{A}} = 1500\ \text{Windungen},$$

$$\text{A} = \frac{I}{S} = \frac{0{,}02\ \text{A}}{1{,}5\text{A/mm}^2} = 0{,}013\ \text{mm}^2 \triangleq 0{,}1\ \text{mm Durchmesser}.$$

Will man Spannungsmesser auf größere Meßbereiche, wie z. B. 220 V, erweitern, so ist eine Erhöhung der Windungszahl nicht mehr zweckmäßig. Sehr hohe Windungszahlen bedeuten konstruktive Schwierigkeiten, weil der Drahtdurchmesser nicht unbegrenzt klein gestaltet werden kann. Vor allen Dingen wirkt sich die Temperaturerhöhung der Spule nachteilig auf die Meßgenauigkeit aus. Aus diesem Grunde werden Vorwiderstände aus temperaturkonstanten Leiterwerkstoffen in den Meßstromkreis geschaltet, die durch ihren Spannungsabfall die Meßwerkspannung niedrig halten. Als Faustregel gilt, daß der Vorwiderstand etwa dreimal so groß wie der Spulenwiderstand sein soll, wenn der Temperatureinfluß keine bedeutenden Meßfehler hervorrufen soll. Andererseits muß aber auch bedacht werden, daß der Leistungsverbrauch des Vorwiderstandes in Kauf genommen werden muß.

Wenn der Leistungsverbrauch des vorher berechneten Meßwerkes 1 W beträgt, dann würde entsprechend der Faustregel der gesamte Leistungsverlust des Meßkreises auf 4 W ansteigen.

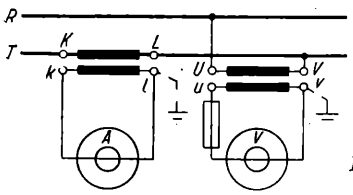


Bild 4.9

Die Meßbereichserweiterung von Dreheisenmeßinstrumenten wird in Starkstromanlagen durch Meßwandler (Transformatoren) vorgenommen. Im Bild 4.9 wird zur allgemeinen Information die Schaltung von Meßwandlern dargestellt.

4.2. Drehspulinstrument

4.2.1. *Drehspulmeßwerk*

Das Drehspulmeßwerk besitzt gegenüber dem Dreheisenmeßwerk wesentliche Vorzüge. Durch seinen geringen Leistungsverbrauch, durch höhere Anzeigegenauigkeit sowie größere Empfindlichkeit wird es für Präzisionsinstrumente verwendet und durch Zusatzbauelemente, wie Thermoumformer, Meßgleichrichter u. a., weitreichend universell eingesetzt. Seine Verwendung reicht von der Gleichstrom-, Niederfrequenz- und Hochfrequenztechnik bis zu den vielfältigsten Bereichen der Steuerungs- und Regelungstechnik.

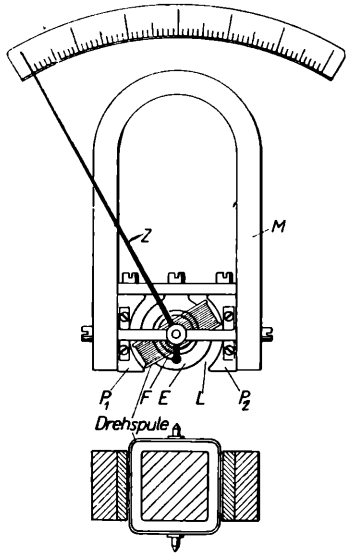


Bild 4.10

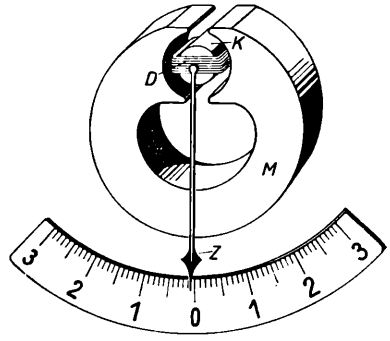


Bild 4.11

Der Aufbau und die Wirkungsweise des Meßwerkes wird aus den Bildern 4.10 bis 4.14 ersichtlich. Das Feld des Meßwerkes wird durch einen Dauermagneten erzeugt. Dieser wird aus den verschiedensten Stahllegierungen gefertigt. Während Dauermagneten aus Wolframstahl zur Sicherheit gegen Entmagnetisierung lang gebaut sein müssen, können Dauermagneten aus hochlegierten Kobaltstählen, den Legierungen aus Aluminium—Nickel—Eisen (Tromalit, Alni-Stahl, Oerstit, Koerzitit) und den keramischen Dauermagneten (Maniperm) auf Grund ihrer großen Koerzitivkraft kleinere Bauformen erhalten. Dies wirkt sich wiederum günstig auf das Gewicht, die Luftspaltinduktion und auf die Verringerung der magnetischen Streuung aus (Bild 4.12).

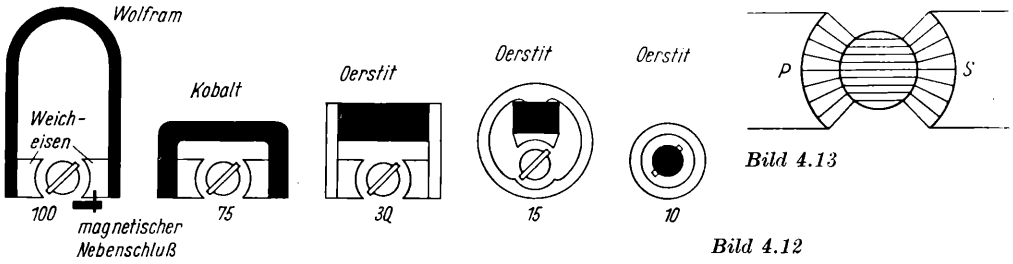


Bild 4.13

Bild 4.12

Im Feld des Dauermagneten befindet sich ein am Meßwerkträger befestigter und genau zentrierter zylindrischer Polkern aus Weicheisen. Er hat die Aufgabe, im Luftspalt ein radialhomogenes Feld zu schaffen, d. h., in diesem streben die Kraftlinien von den Polschuhen in gleichmäßiger Dichte zum Polkern (Bild 4.13). Im Luftspalt bewegt sich um den Polkern eine in Edelsteine gelagerte Drehspule, deren sehr dünne Drähte auf ein Aluminium-Dämpfungsrähmchen gewickelt sind. Über zwei Spiralfedern, die ein- oder beidseitig der Spule im gegenläufigen Wicklungssinn angebracht sein können, wird der Meßstrom zugeführt. Bei Stromfluß (Bild 4.14) entsteht ein magnetisches Spulenfeld, dessen Kraftlinien sich mit den Kraftlinien des radialhomogenen Feldes in eine Wirkungsrichtung bringen wollen. Es kommt ein Drehmoment der Spule (Ablenkmoment) zustande, das einen Zeigerausschlag bewirkt und dabei eine Dehnung der Spiralfeder hervorruft. Das dadurch entstehende Gegenmoment (Richtmoment) wächst wie beim Flachspulmeßwerk so lange an, bis beide Momente sich im Gleichgewicht befinden.

Das Pendeln des Zeigers wird durch den in dem Aluminiumrahmen entstehenden Induktionsstrom gedämpft.

Beim Umgang mit Drehspulinstrumenten ist besonders die richtige Belastung zu beachten. Wird die Meßstromstärke weit über den Meßbereich gewählt, so reicht die Rückstellkraft der Feder nicht mehr aus, und der Zeiger schnellt gegen die rechte Zeigerbegrenzung, was zum Bruch oder zur Verformung des Zeigers führen kann. Auch kann die Überbeanspruchung zu einer bleibenden Dehnung der Feder führen. Geht der Zeiger nach einer Messung nicht sofort auf den Nullwert zurück, so darf nicht gleich die Arretierungsschraube zur Nullpunkteinstellung betätigt werden. Die Federn benötigen eine geraume Zeit, um den Zeiger wieder in seine Ausgangsstellung zu bringen.

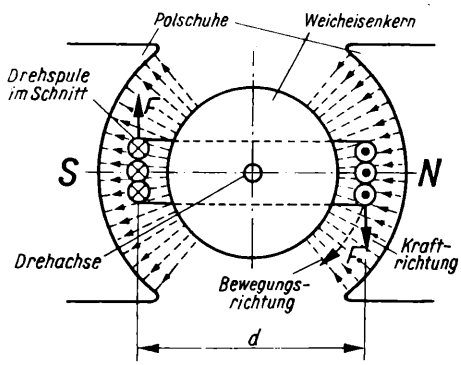


Bild 4.14

4.2.2. *Eigenschaften*

Die Skale des Meßwerkes verläuft gleichmäßig, weil die Luftspaltinduktion eine gleichmäßige Dichte besitzt (Bild 4.15). Einen nichtlinearen Skalenverlauf kann man durch Konstruktion eines ungleichmäßigen Luftspaltes erreichen (Bild 4.16).
Die Meßgenauigkeit und Empfindlichkeit wird durch die leichte Bauart des beweglichen Organs (leichte Drehspule, keine Luftdämpfung), durch die Verwendung kräftiger Dauermagneten und durch die reibungsarme Lagerung der Drehspule (Edelsteinfeinstlagerung, Spannbandaufhängung) günstig beeinflußt. Drehspulenmeßwerke sind von allen Meßwerken am empfindlichsten und genauesten. Als Feinmeßwerke der Klasse 0,2 und 0,5 sind sie (außer als Betriebsmeßinstrument) weit verbreitet und liegen vielfach noch unter dem Fehlerbereich der Klasse 0,2.
Der Eigenverbrauch ist dementsprechend sehr gering und von der Bauart abhängig. So z. B. beträgt der Eigenverbrauch vom

Spiegelgalvanometer	$10^{-17} \cdots 10^{-14}$ W,
Lichtmarkengalvanometer	$10^{-9} \cdots 10^{-7}$ W,
Zeigermeßwerk	$10^{-4} \cdots 10^{-2}$ W.

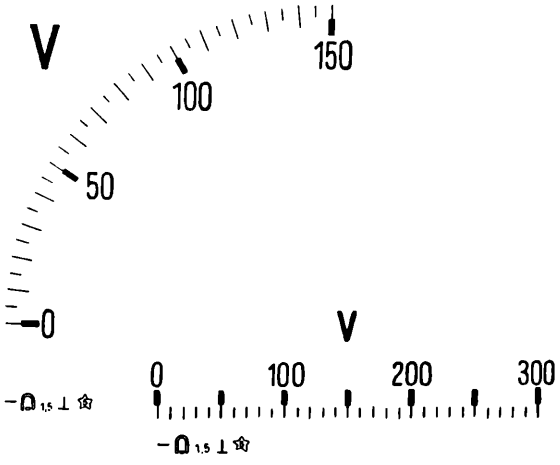


Bild 4.15



Bild 4.16

4.2.3. *Sonderbauarten*

Die hohe Genauigkeit und Empfindlichkeit führten zur weiteren Verbesserung des Meßwerkes, indem die Drehspule noch leichter gebaut wurde und eine Feinstlagerung erhielt (Spannbandlagerung).
Besonders für die Zwecke der Feinmeßtechnik wurden

Spiegelgalvanometer,
Lichtmarkengalvanometer und
Kriechgalvanometer

gefertigt.

In den Bildern 4.17 und 4.18 sind die beiden erstgenannten im Prinzip dargestellt.

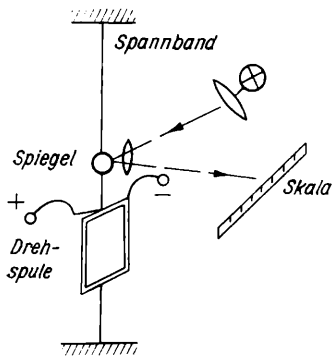


Bild 4.17

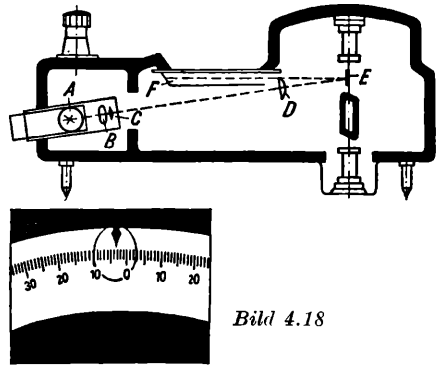


Bild 4.18

Kernmagnet-Drehspulmeßwerk

Die klassische Bauform des Drehspulmeßwerkes hat durch das Kernmagnetsystem eine grundlegende Umwandlung erfahren, die es gestattet, das Meßwerk bei unveränderten Daten um ein vielfaches leichter und kleiner zu gestalten (Bild 4.12, letztes System). Besonders als Schaltafel- und Betriebsinstrument in den Klassen 1,0 und 1,5 und als spannbandgelagertes Feinmeßinstrument der Klasse 0,5 verdrängt es immer mehr die bisherige Bauform. Aus Bild 4.19 wird der Aufbau ersichtlich.

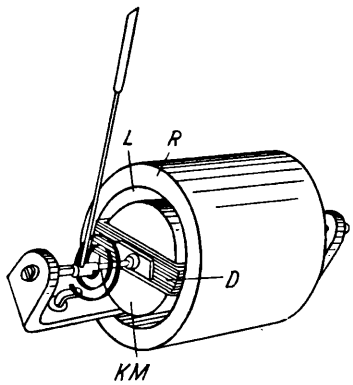


Bild 4.19

Der weitere Vorzug dieser Bauform, wie geringe magnetische Streuung, erschließt diesem Meßwerk weitere Bereiche der Meßtechnik (Flugzeugkompaß).

Zur konkreten Veranschaulichung seien die Daten der vom VEB Elektro-Apparate-Werke Berlin-Treptow gefertigten Universalmeßinstrumente, die mit einem *Kernmagnet-Drehspulmeßwerk in Spannbandausführung* ausgerüstet sind, angegeben.

Universal-messer	Meßbereiche	Eigenverbrauch	Innenwiderstand	Genauigkeit
II	24—	50...100 mV	100 000 Ω/V	±1,5%
III	9—	10 µA 333 µA	3 000 Ω/V 3 000 Ω/V	±1,5%
IV	28≃	500 µA, 500 mV 50 µA, 60 mV	20 000 Ω/V	+1,0 bzw, —1,5%
VI	16~	2 mA	500 Ω/V	±2,5%

4.2.4. *Meßbereicherweiterung*

Die Meßbereicherweiterung der Drehspulmeßinstrumente erfolgt durch Zuschalten von Nebenwiderständen bei Strommessern und von Vorwiderständen bei Spannungsmessern. Das beim Dreheiseninstrument angewandte Verfahren der Windungszahlveränderung ist bei diesem Meßwerk deshalb nicht möglich, weil ein Eingriff zur Veränderung der Meßwerksdaten, wie Genauigkeit, Empfindlichkeit usw., führt.

Strommesser

Die Parallelschaltung eines Nebenwiderstandes zum Meßwerk hat zur Folge, daß der zu messende Strom I nur zum Teil durch das Meßwerk geleitet wird und sich in den Instrumentenstrom I_i und in den Strom I_N verzweigt. Verändert sich die Gesamtstromstärke, so ändert sich im gleichen Verhältnis die Instrumentenstromstärke, so daß die Skale des Meßwerkes auf die Gesamtstromstärke geeicht werden kann. Im Bild 4.20 wird die Stromverzweigung zu den beiden Widerständen dargestellt. Es ergibt sich.

$$\frac{R_N}{R_i} = \frac{I_i}{I_N} \quad \text{bzw.} \quad R_N = R_i \cdot \frac{I_i}{I_N}.$$

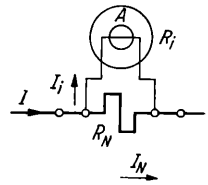


Bild 4.20

Weil $I_N = I - I_i$,

wird $R_N = R_i \cdot \dfrac{I_i}{I - I_i}$.

Durch Kürzung mit I_i erhält man

$$R_N = R_i \cdot \frac{1}{\frac{I}{I_i} - 1}, \quad n = \frac{I}{I_i} \text{ Meßbereicherweiterung}$$

$$\boxed{R_N = \frac{R_i}{n - 1}.}$$

Beispiel:

Ein Drehspulmeßwerk hat einen Innenwiderstand von 15 Ω und benötigt bei Zeigervollausschlag 60 mV.

Wie groß muß der Nebenwiderstand R_N für einen Meßbereich von 6 A werden?

Lösung: $I_i = \dfrac{U_i}{R_i} = \dfrac{60\text{ mV}}{15\ \Omega} = 4\text{ mA},$

$$n = \frac{I}{I_i} = \frac{6\text{ A}}{0{,}004\text{ A}} = 1500,$$

$$R_N = \frac{R_i}{n - 1} = \frac{15\ \Omega}{1500 - 1} = 0{,}01\ \Omega.$$

Der Einbau des Nebenwiderstandes erfolgt bei kleinen Strömen (etwa 6 A) im Gehäuse und bei größeren aus Gründen der Wärmeentwicklung auf der Rückseite des Gehäuses. Für große Stromstärken werden getrennte Nebenwiderstände verwendet, die z. B. bei Starkstromanlagen im Starkstromleitungssystem eingebaut werden, während das Meßinstrument an einem anderen Ort, wie z. B. der Schalttafel, angebracht sein kann.
Weil diese Nebenwiderstände miteinander ausgetauscht werden können, müssen sie auch auf einen gleichen Spannungsabfall abgestimmt sein, der dann auch für das Meßinstrument gilt. Als normale Spannungswerte gelten 30, 60 und 150 mV. Die Güteklasse der Nebenwiderstände muß um einen Wert besser als das Instrument sein.

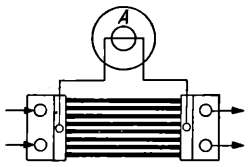


Bild 4.21

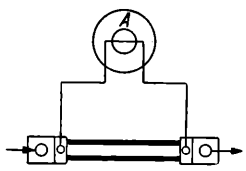
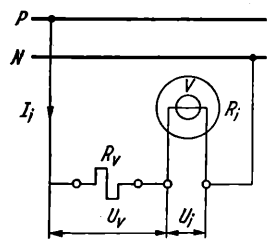


Bild 4.22

Sie beträgt bei Schalttafelinstrumenten 0,5. Der Widerstand der Zuleitung (Hin- und Rückleitung) ist meist für 0,035 Ω festgelegt, so daß für verschiedene Leitungslängen auch verschiedene Drahtquerschnitte bestehen. Der geeichte Leitungswiderstand wird wie der Spannungsabfall des Meßwerkes auf der Skale vermerkt. Der Anschluß des Instruments muß an der „Instrumentenschraube" des Nebenwiderstandes erfolgen (Bilder 4.21 und 4.22).

Spannungsmesser

Die Meßbereicherweiterung beim Spannungsmesser wird durch einen Vorwiderstand erreicht (Bild 4.23). Seine Größe findet man mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes:



$$R_v = \frac{U_v}{I_i} = \frac{U - U_i}{U_i} = R_i \cdot \frac{U - U_i}{U_i} = R_i \cdot \left(\frac{U}{U_i} - 1\right).$$

$$\boxed{n = \frac{U}{U_i}} \qquad \boxed{R_v = R \cdot (n - 1)}$$

Bild 4.23

Beispiel:

Das Drehspulmeßwerk des vorhergehenden Beispiels ($R_i = 15$, $U_i = 60$ mV) soll als Spannungsmesser für einen Meßbereich von 300 V eingesetzt werden.

a) Wie groß muß der Vorwiderstand gewählt werden?

b) Welchen Leistungsverbrauch hat das Instrument bei Vollausschlag?

Lösung:

a) $$n = \frac{U}{U_i} = \frac{300\ \text{V}}{0{,}06\ \text{V}} = 5000,$$

$$R_v = R_i(n - 1) = 15\,\Omega \cdot (5000 - 1) = 74\,985\,\Omega.$$

Die Berechnung kann auch folgendermaßen sein:

$$I_i = \frac{U_i}{R_i} = \frac{0{,}06\ \text{V}}{15\,\Omega} = 4\ \text{mA},$$

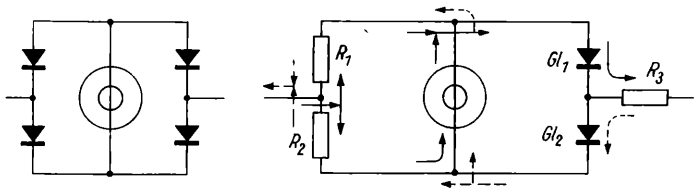
$$R_{\text{ges}} = \frac{U}{I_i} = \frac{300\ \text{V}}{0{,}004\ \text{A}} = 75\,000\,\Omega,$$

$$R_v = R_{\text{ges}} - R_i = 75\,000\,\Omega - 15\,\Omega = 74\,985\,\Omega.$$

b) $$P = \frac{U^2}{R_{\text{ges}}} = \frac{(300\ \text{V})^2}{75\,000\,\Omega} = 1{,}2\ \text{W}.$$

4.2.5. *Messen von Wechselströmen*

Die große Empfindlichkeit des Drehspulmeßwerkes führte dazu, es für Universalinstrumente zu erweitern und es auch für Wechselstrommessungen geeignet zu machen. Zum Umformen des Wechselstromes in Gleichstrom werden hauptsächlich Kupferoxidulgleichrichter, Germanium- und Thermoumformer verwendet.



Graetzschaltung *Brückenschaltung mit zwei Gleichrichtern*

Bild 4.24

Der Kupferoxidulgleichrichter besitzt einen temperaturabhängigen Eigenwiderstand mit negativem Temperaturkoeffizienten. Er wird für die Gleichrichtung von nieder- bzw. mittelfrequenten Strömen bis etwa 500 Hz verwendet. Bei höheren Frequenzen nimmt der Anzeigefehler derart zu, daß eine neue Skalenzeichnung bzw. Fehlerkompensationsschaltung vorgenommen werden muß. Als Gleichrichterschaltung gibt es die bekannte Graetzschaltung mit vier Gleichrichterventilen. Sie hat jedoch den Nachteil, daß bei einer Halbwelle des Wechselstroms das Meßwerk durch die temperaturabhängigen Widerstände der beiden Gleichrichterventile belastet wird. Dies erfolgt dagegen nicht bei der Brückenschaltung, weil bei ihr anstelle von zwei Gleichrichterventilen belastungsunabhängige Widerstände R_1 und R_2 eingesetzt sind. Der Einfluß von nunmehr einem Gleichrichter bei einer Halbwelle wird durch einen

vorgeschalteten Kupferwiderstand R_3 mit seinem positiven Temperaturkoeffizienten ausgeglichen (Bild 4.24). In manchen Vielfachmessern verzichtet man auch auf die Zusatzwiderstände und transformiert mit einem eingebauten kleinen Transformator die Wechselspannung vor der Gleichrichtung hoch.

Drehspulmeßwerke mit Thermoumformer eignen sich für Messungen in Mittel- und Hochfrequenzanlagen. Der Thermoumformer (Bild 4.25) besteht aus einem vom

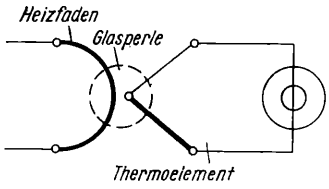


Bild 4.25

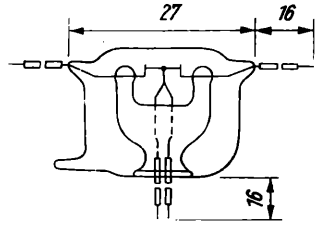


Bild 4.26

Meßstrom durchflossenen Heizwiderstand, der mit einem Thermoelement verbunden ist. Die von dem Heizwiderstand erzeugte Wärmeleistung ist dem Quadrat des Stromes proportional, so daß die Temperatur des Heizdrahtes ein Maß für den

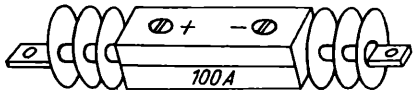


Bild 4.27

Meßstrom ist. Diese Wärme wird von dem Thermoelement in eine Gleichspannung umgeformt und dem Meßwerk zugeführt. Da der Wirkungsgrad von Thermoumformern recht klein ist, muß zum Ausgleich das verwendete Drehspulmeßwerk eine hohe Empfindlichkeit besitzen. Diese Thermoumformer werden für kleine Ströme (0,6···250 mA) als Vakuum- und für größere Ströme (ab 400 mA) als Luftumformer gefertigt (Bilder 4.26 und 4.27).

4.2.6. *Vielfachmeßinstrumente*

Von den Meßgerätewerken werden eine Vielzahl von Universalmessern gefertigt, die durch ihre Vorzüge, wie hoher Innenwiderstand, große Empfindlichkeit und mehrere Meßbereiche, in der Labor- und Betriebsmeßtechnik eine breite Anwendung gefunden haben. Im Bild 4.28 wird als Beispiel für Vielfachmeßinstrumente die Schaltung des Multizet II des VEB Gerätewerk Karl-Marx-Stadt dargestellt. In der Tafel 4.1 sind die Daten des Multizet I und II angegeben.

Die Skale solcher wie im Bild 4.28 gezeigten Vielfachmesser ist dimensionslos. Sie ist in eine Gleichstrom- und Wechselstromskale mit 30,75 oder 100 Skalenstrichen unterteilt. Jeder Meßwert muß bei diesen Instrumenten nach der Ablesung erst errechnet werden (siehe Abschn. 4.4.2.)

Tafel 4.1. Meßwerksdaten von Vielfachmessern

Instrument	Stromart		Strommessung				Spannungsmessung			
			Bereich in A	R_i in Ω	C_i in mA/s	U_f bei Vollausschlag	Bereich in V	R_i in Ω	Cu in V/s	Stromvollausschlag in mA
Multizet I	Gleich- und Wechselstrom		0,009	200	0,1	0,6	1,5	500	0,05	3
			0,015	56	0,5	0,838	6	2 000	0,2	3
			0,06	14,77	2	0,885	30	10 000	1	3
			0,3	3	10	0,9	150	60 000	5	3
			1,5	0,6	50	0,9	300	100 000	10	3
			6	0,15	200	0,9	600	200 000	20	3
	Gleichstrom		0,001	100	0,033	0,1	0,1	100	0,0033	1
Multizet II	Gleichstrom		0,001	100	0,033	0,1	0,1	100	0,0033	1
			0,003	33,3	0,1	0,1	1,5	1 500	0,05	1
			0,015	9,35	0,5	0,14	6	6 000	0,2	1
			0,06	2,46	2	0,147	30	30 000	1	1
			0,3	0,5	10	0,15	150	150 000	5	1
			1,5	0,1	50	0,15	300	300 000	10	1
			9	0,025	200	0,15	600	600 000	20	1
	Wechselstrom		0,003	200	0,1	0,6	1,5	500	0,05	3
			0,015	5,5	0,5	0,838	6	2 000	0,2	3
			0,06	14,77	2	0,885	30	10 000	1	3
			0,3	3	10	0,4	150	50 000	5	3
			1,5	0,6	50	0,9	300	100 000	10	3
			6	0,15	200	0,9	600	200 000	20	3
Universalmesser AT	Gleich- und Wechselstrom	=		167		0,250		30 000		0,05
		~	0,0015	667	0,05	1,000	1,5	1 500	0,05	1
		=		41,7		0,250		120 000		0,05
		~	0,006	167	0,2	1,000	6	6 000	0,2	1
		=		8,33		0,250		300 000		0,05
		~	0,03	33,3	1	1,000	15	15 000	0,5	1
		=		1,67		0,250		600 000		0,05
		~	0,15	6,67	5	1,000	30	30 000	1	1
		=		0,417		0,250		3 000 000		0,05
		~	0,6	1,67	20	1,000	150	150 000	5	1
		=		0,167		0,250		6 000 000		0,05
		~	1,5	0,667	50	1,000	300	300 000	10	1
		=		0,0417		0,250		12 000 000		0,05
		~	6	0,167	200	1,000	600	600 000	20	1

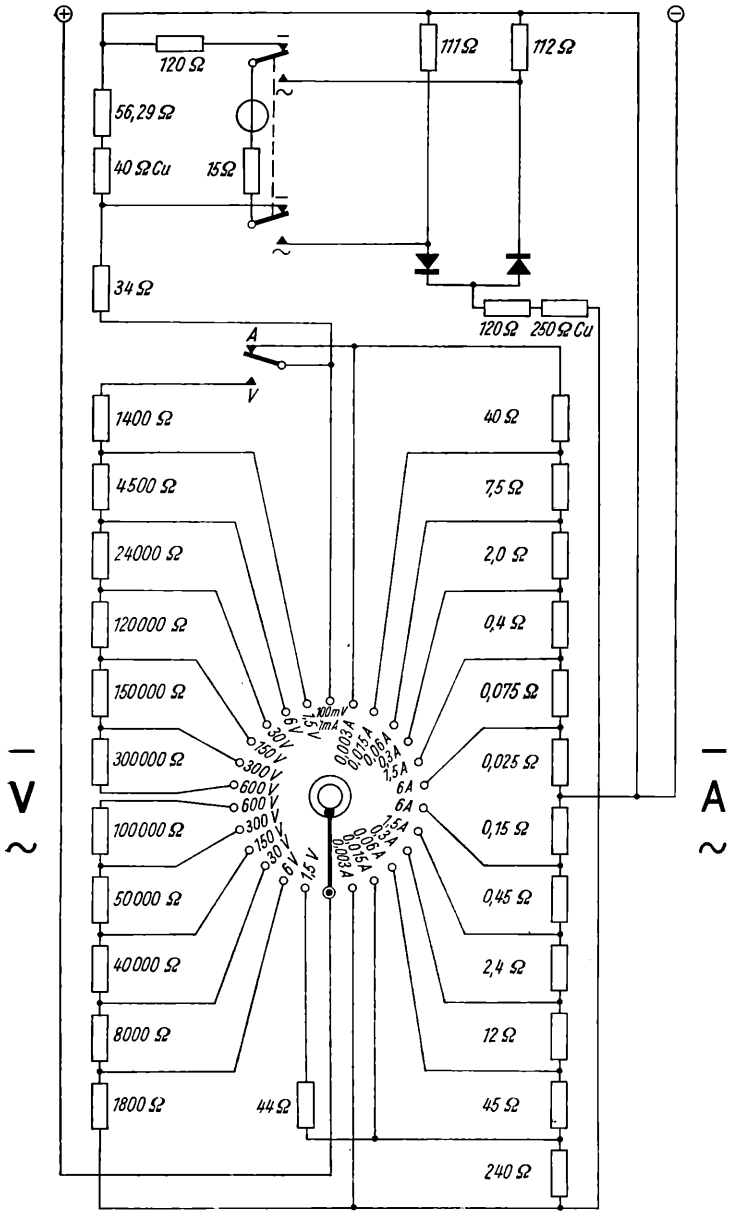

120 Ω
111 Ω
112 Ω
56,29 Ω
40 Ω Cu
15 Ω
34 Ω
120 Ω
250 Ω Cu
A
V
1400 Ω
4500 Ω
24000 Ω
120000 Ω
150000 Ω
300000 Ω
100000 Ω
50000 Ω
40000 Ω
8000 Ω
1800 Ω
44 Ω
40 Ω
7,5 Ω
2,0 Ω
0,4 Ω
0,075 Ω
0,025 Ω
0,15 Ω
0,45 Ω
2,4 Ω
12 Ω
45 Ω
240 Ω
100mV
1,2 1mA
6V
30V
150V
300V
600V
600V
300V
150V
30V
6V
1,5 V
0,003A
0,015A
0,06A
0,3A
1,5A
6A
6A
1,5A
0,3A
0,06A
0,015A
0,003A
V ~
A ~

Bild 4.28

4.3. Meßschaltungen

4.3.1. *Meßschaltungen mit Strom- und Spannungsmesser*

Grundsätzliches zum Messen mit dem Strom- und Spannungsmesser wurde im Abschn. 4.1.4. angegeben. In den Bildern 4.29 bis 4.34 werden als Ergänzung dieses Abschnitts einige Schaltungsbeispiele gezeigt.

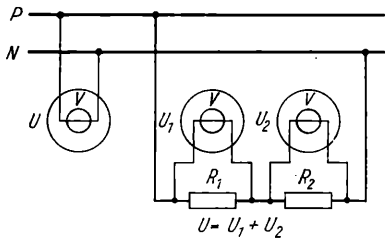


Bild 4.29

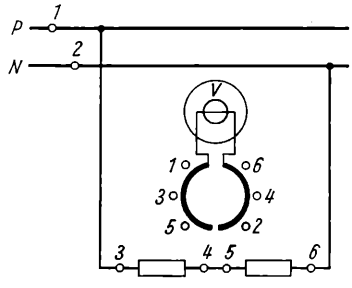


Bild 4.30

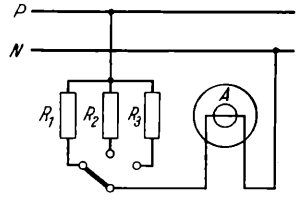


Bild 4.31

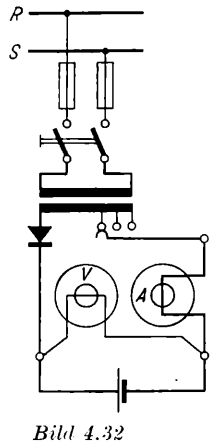


Bild 4.32

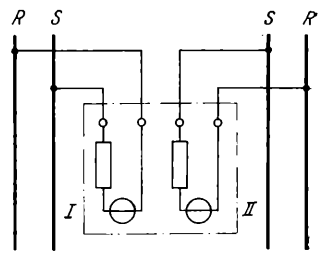


Bild 4.33

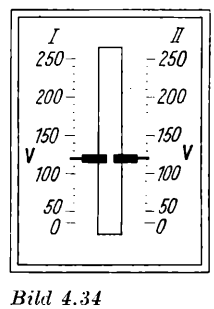


Bild 4.34

4.3.2. *Aufnahme der Strom-Spannungs-Kennlinie*

Die einwandfreie Funktion einer elektrischen Anlage oder eines Gerätes wird nicht nur aus der Überprüfung der Strom-Spannungs- und Widerstandswerte sowie anderer elektrischer Größen ersichtlich, wichtig ist gleichzeitig die Kenntnis über das elektrische Verhalten der in der Anlage vorhandenen Betriebsmittel bzw. Bauelemente. Eine Möglichkeit des Erkennens der Zusammenhänge zwischen elek-

trischen Größen bietet die Strom-Spannungs-Kennlinie für Spannungsquellen, Widerstände, Elektronenröhren sowie weitere aktive und passive Bauelemente.
Im folgenden sollen Grundlagen zur Ermittlung der *I-U*-Kennlinien vom aktiven und passiven Zweipol gegeben werden. Der Name dieser Kennlinie besagt, daß die Größen *I* und *U* miteinander in Beziehung gebracht und funktional betrachtet werden.
Aus der Darstellung von Funktionen in der Mathematik ist bekannt:

Die unabhängige Veränderliche wird an der Abszisse (x-Achse) und die abhängige Veränderliche an der Ordinate (y-Achse) aufgetragen. Diese Festlegung gilt auch für die *I-U*-Kennlinie.

4.3.2.1. *I-U-Kennlinie eines galvanischen Elements*

Das galvanische Element ist ein aktiver Zweipol und dient zur Energieversorgung eines passiven Zweipols. Wird die Spannungsquelle belastet, so entstehen die Spannungsabfälle U_i und Ua, die durch den inneren Widerstand R_i und den äußeren Widerstand R_a hervorgerufen werden (Bild 4.35). Folgende Beziehungen bestehen zwischen den Größen:

$$E = U_i + U_a,$$
$$U_i = I \cdot R_i,$$
$$U_a = E - U_i,$$
$$U_a = E - I \cdot R_i.$$

Hieraus wird ersichtlich, daß die abhängige Größe der Spannung und die unabhängige Größe die Stromstärke ist. *Bei aktiven Zweipolen wird im Diagramm U auf der y-Achse und I auf der x-Achse aufgetragen.*
Die Ermittlung der Kennlinie erfolgt durch Strom- und Spannungsmessung bei unterschiedlicher Belastung. Im Bild 4.36 ist die Meßschaltung dargestellt.

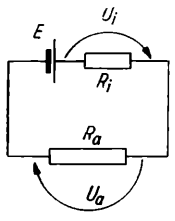


Bild 4.35

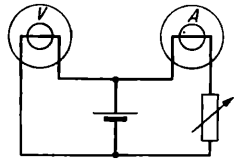


Bild 4.36

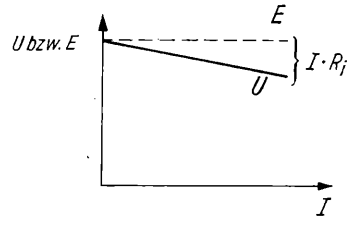


Bild 4.37

Die Meßinstrumente müssen mit Rücksicht auf die Genauigkeit der Messung Feinmeßgeräte sein, wobei der Spannungsmesser einen sehr hohen Innenwiderstand und der Strommesser einen sehr kleinen Innenwiderstand haben muß. Zunächst wird die Spannungsquelle im Leerlauf gemessen und dann durch einen Stellwiderstand unterschiedlich bis zum Nennstrom belastet. Ist also z. B. für die Spannungsquelle von 4,5 V nur ein Nennstrom von 0,1 A zulässig, dann darf der Widerstand auch nicht für längere Zeit unter dem Wert von 45 Ω verstellt werden. Die einzelnen gemessenen Werte werden im Diagramm nach Bild 4.37 dargestellt.

Aus Bild 4.37 und den mathematischen Zusammenhängen der einzelnen Größen wird erkennbar:

1. Die Urspannung einer Spannungsquelle wird im Leerlauf gemessen (hoher Meßwerkwiderstand erforderlich!).
2. Die abgegebene Spannung (Klemmenspannung) ist von der Belastung, also von der entnommenen Stromstärke, abhängig.
3. Die abgegebene Spannung wird um so weniger veränderlich, je kleiner der innere Widerstand der Spannungsquelle ist.
4. Der innere Widerstand kann (außer durch Messung) rechnerisch aus den durch Messung gewonnenen Größen E, I und U_a ermittelt werden.

4.3.2.2. *I-U-Kennlinie eines temperaturunabhängigen Drahtwiderstandes*

Beim Widerstand sind die Zusammenhänge von U und I gegenüber denen der Spannungsquelle umgekehrt, und es ist hier die Stromaufnahme von der Höhe der angelegten Spannung abhängig.
Bei passiven Zweipolen wird im Diagramm I auf der y-Achse und U auf der x-Achse aufgetragen.

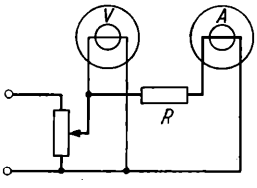


Bild 4.38

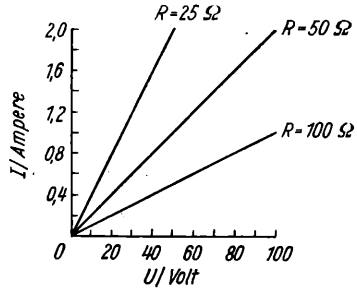


Bild 4.39

Die Meßschaltung wird im Bild 4.38 gezeigt. Zur Spannungseinstellung ist ein Spannungsteiler geeignet. Als Verbrauch wird ein temperaturunabhängiger Widerstand von 50 Ω gewählt. Bei einer Steigerung der Spannung von 0...100 V entsteht das Diagramm von Bild 4.39.

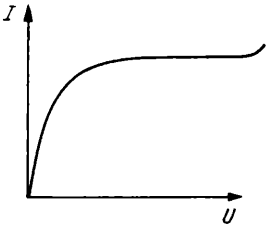


Bild 4.40

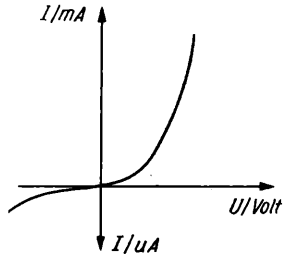


Bild 4.41

Ähnliche Kennlinien, jedoch mit verschiedenen Widerstandswerten, sind im Bild 4.39 dargestellt. Bei diesen Kennlinien ist der Verlauf ebenfalls linear, weil diese Widerstände durch ihre Temperaturunabhängigkeit konstant sind. Bei den meisten passiven Zweipolen ist dies aber nicht immer der Fall, so daß ihre Kennlinien gekrümmt verlaufen (Bilder 4.40 und 4.41).

4.3.3. *Einstellen von Strömen und Spannungen*

In der Meß- und Schaltungstechnik ist es vielfach notwendig, die Größen von Strom und Spannung veränderlich zu gestalten und den jeweiligen Anforderungen anzupassen. Für die Einstellung dieser Größen wird meist der Stellwiderstand verwendet, von dem drei Eigenschaften angestrebt werden:

1. großer Stellbereich,
2. lineare Stellkurve,
3. geringe Stellverluste.

Da die Gesetzmäßigkeiten beim Vorwiderstand und beim Spannungsteiler schon aus den „Grundlagen der Elektrotechnik" bekannt sind, sollen sie im folgenden nur zusammenfassend behandelt werden.

4.3.3.1. *Einstellen der Stromstärke mit dem Vorwiderstand*

Der Vorwiderstand dient zur Einstellung der Stromstärke (Bild 4.42). Schaltet man einen Verbraucherwiderstand R mit einem stellbaren Vorwiderstand R_v in Reihe, so errechnet sich die Stromstärke des Kreises

$$I = \frac{U}{r + R_a}$$

(r = wirksamer Teil von R_v).

Mit Verändern des Vorwiderstandes, und zwar von r, wird der Gesamtwiderstand des Kreises vergrößert bzw. verkleinert und die Stromstärke geändert. Die Einstellung der Stromstärke kann dabei nur in einem begrenzten Bereich erfolgen, der der

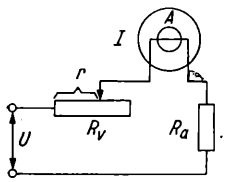


Bild 4.42

Größe von R_v analog ist. In jedem Fall, ob $r = 0$ oder $r = R_v$ ist, bleibt der Verbraucherwiderstand konstant im Stromkreis bestehen, und ein Herunterstellen der Stromstärke auf 0 A ist somit nicht gegeben. Die Einstellung der Stromstärke erfolgt in den Grenzen

$$I = \frac{U}{R_a} \rightarrow I = \frac{U}{r + R_a}$$

(wobei $r = R_v$ ist).

Je nach Umfang, Feinstufigkeit und Belastbarkeit des Stellbereiches werden verschiedene Schaltungen, wie sie als einige Beispiele in den Bildern 4.43 bis 4.45 dargestellt sind, angewandt.

Die Linearität der Stellkurve ist dagegen nicht von verschiedenen Schaltungsmöglichkeiten der Stelleinrichtung abhängig, sondern wird in erster Linie von dem Verhältnis der Größe des Vorwiderstandes zu der Größe des Verbraucherwiderstandes bestimmt. An zwei Beispielen soll diese Tatsache deutlich werden: Einmal

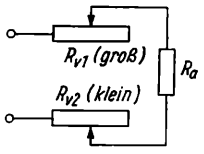
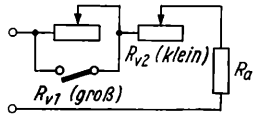


Bild 4.43



R_{v1} für kleine Stromstärken
R_{v2} für große Stromstärken (Schalter geschlossen)

Bild 4.44

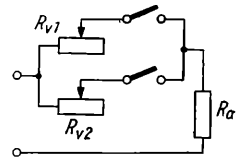


Bild 4.45

wird R_v gegenüber R_a groß gehalten, und zum anderen Male wird R_v gegenüber R_a klein gehalten. In jedem Fall soll der Verlauf der Stellkurve deutlich werden.

1. *Beispiel*:

Gegeben: $R_v = 500\ \Omega$,
$R_a = 50\ \Omega$ konst.,
$U = 100$ V.

Lösung:

r in Ω	$\frac{I}{I \text{ in A}} = \left(\frac{U}{r+R_a}\right)$
0	2
50	1
150	0,5
250	0,33
500	0,18

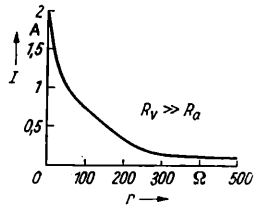


Bild 4.46

2. *Beispiel*:

Gegeben: $R_v = 10\ \Omega$,
$R_a = 50\ \Omega$ konst.,
$U = 100$ V.

Lösung:

r in Ω	$\frac{I}{I \text{ in A}} = \left(\frac{U}{r+R_a}\right)$
0	2
2	1,9
5	1,8
10	1,7

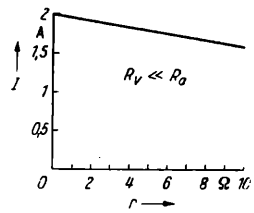


Bild 4.47

Aus beiden Kurven wird ersichtlich:

1. Ist der Vorwiderstand größer als der Verbraucherwiderstand, so ist sein Stellbereich groß. Die Stellkurve verläuft nicht linear.

2. Ist der Vorwiderstand kleiner als der Verbraucherwiderstand, so ist sein Stellbereich klein. Die Stellkurve verläuft fast linear.
3. Eine Einstellung der Stromstärke auf 0 A ist nicht möglich.
4. Will man ein Optimum der Einstellung hinsichtlich Umfang und Linearität erzielen, so ist es günstig, den Vorwiderstand R_v 5- bis 8mal größer als den Verbraucherwiderstand R_a zu wählen.

4.3.3.2. *Einstellen der Spannung mit dem Spannungsteiler*

Der Spannungsteiler dient zum Einstellen der Verbraucherspannung. Er besteht mindestens aus zwei in Reihe geschalteten Widerständen R_1 und R_2 (Bild 4.48), die die anliegende Klemmenspannung U bei dem Stromzufluß I in die Teilspannungen U_1 und U_2 aufteilen.

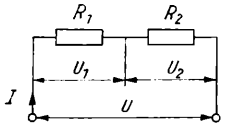


Bild 4.48

Die Größen I, U_1 und U_2 können nach dem Ohmschen Gesetz berechnet werden:

$$U_1 = I \cdot R_1, \quad U_2 = I \cdot R_2, \quad I = \frac{U}{R_{ges}}.$$

Setzt man die Stromstärke in die Spannungsgleichungen ein, so kann man, ohne erst I errechnen zu müssen, die Teilspannungen aus der anliegenden Klemmenspannung, dem Gesamtwiderstand des Spannungsteilers und den Teilwiderständen ermitteln:

$$U_1 = \frac{U}{R_{ges}} \cdot R_1, \quad U_2 = \frac{U}{R_{ges}} \cdot R_2 \quad \text{bzw.} \quad U_2 = U - U_1.$$

Beispiel:

Im folgenden sollen die Teilspannungen U_1 bis U_5 des fünfstufigen *unbelasteten Spannungsteilers* (R_1 bis R_5 je 200 Ω) im Bild 4.49 errechnet und in einem Diagramm grafisch dargestellt werden (U = 50 V).

Lösung:

Die Teilspannungen werden entsprechend der obigen Ableitung errechnet:

$$U_1 = \frac{U}{R_{ges}} \cdot R_1 = \frac{50\ \text{V}}{1000\ \Omega} \cdot 200\ \Omega \qquad = 10\ \text{V bei } R_1 \ . \ = 200\ \Omega,$$

$$U_2 = \frac{U}{R_{ges}} \cdot R_1 + R_2 = \frac{50\ \text{V}}{1000\ \Omega} \cdot 400\ \Omega \qquad = 20\ \text{V bei } R_{1\ldots2} = 400\ \Omega,$$

$$U_3 = \frac{U}{R_{ges}} \cdot R_1 + R_2 + R_3$$

$$= \frac{50\ \text{V}}{1000\ \Omega} \cdot 600\ \Omega \qquad = 30\ \text{V bei } R_{1\ldots3} = 600\ \Omega,$$

$$U_4 = \frac{U}{R_{ges}} \cdot R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$= \frac{50\ \text{V}}{1000\,\Omega} \cdot 800\,\Omega \qquad = 40\ \text{V bei } R_{1\ldots4} = 8000\,\Omega,$$

$$U_5 = U \qquad = 50\ \text{V bei } R_{ges} = 1000\,\Omega.$$

Die Teilspannungen werden in Abhängigkeit ihrer Teilwiderstände, also $U_{1\ldots5} = f(R_{1\ldots5})$ im Bild 4.50 dargestellt.

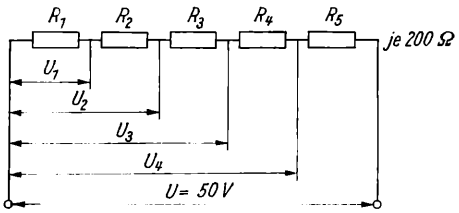


Bild 4.49

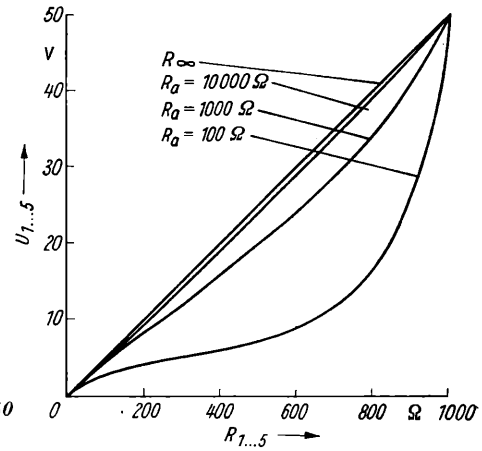


Bild 4.50

Der Spannungsverlauf eines Spannungsteilers ändert sich aber sofort, sobald dieser durch den Widerstand R_a belastet wird. Die Parallelschaltung von R_a zu den Teilwiderständen R_1 bis R_5 bewirkt eine Verringerung dieser Widerstände, und somit entstehen andere Teilspannungen, als dies beim unbelasteten Spannungsteiler der Fall ist. Dies wird aus dem folgenden einfachen Rechenbeispiel ersichtlich.

Beispiel:

Der fünfstufige Spannungsteiler (Bild 4.51) wird mit einem Widerstand $R_a = 100\ \Omega$ belastet. Welche Teilspannungen entstehen an den einzelnen Teilwiderstandsstufen?

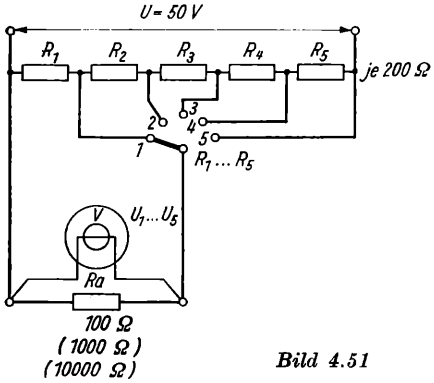


Bild 4.51

Lösung:

Der Teilwiderstand ist mit dem Lastwiderstand parallelgeschaltet. Folglich errechnet sich der Gesamtwiderstand der Schaltung

$$R_{ges} = \frac{R_1 \cdot R_a}{R_1 + R_a} + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

$$= \frac{200\,\Omega \cdot 100\,\Omega}{200\,\Omega + 100\,\Omega} + 800\,\Omega = 867\,\Omega,$$

$$I = \frac{U}{R_{ges}} = \frac{50\ \text{V}}{867\,\Omega} = 0{,}058\ \text{A},$$

$$U_1 = I \cdot R_{1/a} = 0{,}058\ \text{A} \cdot 67\,\Omega = 3{,}9\ \text{V}.$$

Bei U_2:

$$R_{ges} = \frac{R_{1/2} \cdot R_a}{R_{1/2} + R_a} + R_3 + R_4 + R_5$$

$$= \frac{400\,\Omega \cdot 100\,\Omega}{400\,\Omega + 100\,\Omega} + 600\,\Omega = 680\,\Omega,$$

$$I = \frac{U}{R_{ges}} = \frac{50\ \text{V}}{680\,\Omega} = 0{,}073\ \text{A},$$

$$U_2 = I \cdot R_{1/2/a} = 0{,}073\ \text{A} \cdot 80\,\Omega = 5{,}8\ \text{V}$$

usw.

Vergleicht man die Teilspannungen des belasteten Spannungsteilers mit denen des unbelasteten, so zeigt sich, daß die Teilspannungen bei Belastung nicht mehr gleichmäßig ansteigen und einen nichtlinearen Verlauf haben. Die Spannungskurve des fünfstufigen Spannungsteilers mit dem Lastwiderstand von 100 Ω ist im Diagramm Bild 4.50 dargestellt.

Erhöht man den Lastwiderstand auf 1000 oder 10000 Ω usw., so verändert sich auch der Gesamtwiderstand des Parallelzweiges. Man kann sagen:

> **Je größer der Lastwiderstand ist, um so geringer wird die Abweichung des Teilwiderstandes von seinem unbelasteten Wert, und die Teilspannungskurve nimmt immer mehr einen linearen Verlauf an.**

Die Spannungskurven der Lastwiderstände von 1000 und 10000 Ω sind darum zum Vergleich im Bild 4.50 angegeben.

In der Meßtechnik sowie Funk- und Fernmeldetechnik treten meist hohe Lastwiderstände auf, so daß diese bei Berechnungen vernachlässigt werden können. Es kann dann wie folgt gerechnet werden:

$$R_{ges} = \frac{R_1 \cdot R_a}{R_1 + R_a} + R_2 + \cdots + R_n.$$

Wenn $R_a \gg R_{1 \ldots n}$ ist, kann man für $R_a + R_{1 \ldots n} \approx R_a$ setzen.

$$R_{ges} \approx \frac{R_1 \cdot R_a}{R_a} + R_2 + \cdots + R_n \approx R_1 + R_2 + \cdots + R_n.$$

Somit wird in Anlehnung der obigen Ableitung

$$U_{1\ldots n} \approx \frac{U}{R_{\text{ges}}} \cdot R_1 + \cdots + R_n \qquad \text{bei } R_a \gg R_1.$$

Die vielseitigen Anwendungsgebiete des Spannungsteilers in der Meßtechnik sowie in der gesamten Elektrotechnik stellen nicht nur bestimmte Forderungen an die Linearität der Spannungskurve, sondern auch an den Regelumfang und an die Feinstufigkeit der Reglung. In den Bildern 4.52 bis 4.55 werden einige Schaltungen von Spannungsteilern angegeben, die auf die genannten Forderungen Bezug nehmen.

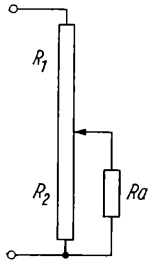


Bild 4.52

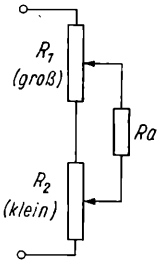


Bild 4.53

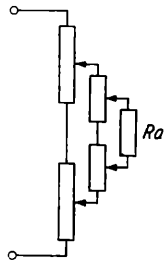


Bild 4.54

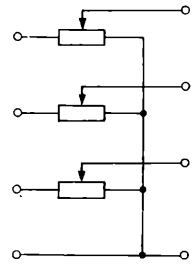


Bild 4.55

Aus dem bisher Gesagten ergeben sich folgende Schlußfolgerungen:

1. Beim unbelasteten Spannungsteiler, $R_a = \infty$, sind die Teilspannungen den Teilwiderständen proportional, und der Verlauf der Spannungskurve ist linear.
2. Der Verlauf der Spannungskurve bleibt fast linear, wenn $R_a \gg R_1$ ist (hochohmiger Spannungsmesser).
3. Die Spannungskurve verläuft nur leicht gekrümmt, solange $R_a \approx R_1$ bleibt, und nimmt in ihrer Krümmung zu, sobald $R_a \ll R_1$ wird.
4. Als Faustregel gilt, wenn $R_a \approx 10 \cdot R_1$ ist, dann können zur Berechnung des unbelasteten und belasteten Spannungsteilers dieselben Formeln benutzt werden.

4.3.4. *Eichen von Strom- und Spannungsmessern*

Meßinstrumente, die längere Zeit in Betrieb sind, müssen von Zeit zu Zeit auf ihre einwandfreie mechanische Beschaffenheit und auf ihre Meßgenauigkeit überprüft werden.

Das Überprüfen der Meßgenauigkeit wird als Eichen bezeichnet.

Eichen ist ein Vergleichen des Meßinstruments mit einem gleichartigen zuverlässigen Meßinstrument, das als Eichnormal bezeichnet wird.

Der Aufbau der Eichschaltungen für beide Meßinstrumente ist aus den Bildern 4.56 und 4.57 ersichtlich. Bei der Eichung von Strommessern wird der Prüfling I_x mit dem Eichnormal I_n *hintereinandergeschaltet*, und die einzelnen Stromstärken werden mit dem *Vorwiderstand* eingestellt.

Bei der Eichung von Spannungsmessern wird der Prüfling U_x mit dem Eichnormal U_n *parallelgeschaltet*, und die verschiedenen Spannungen werden mit dem *Spannungsteiler* eingestellt.

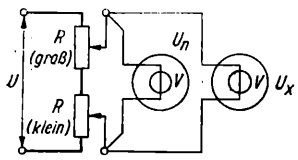


Bild 4.56

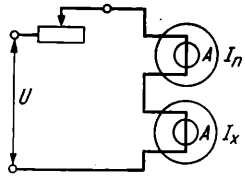


Bild 4.57

Als Eichnormal kommen Feinmeßinstrumente zur Anwendung. Zur grundsätzlichen Überprüfung von Betriebsmeßinstrumenten der Klasse 2,5 genügt auch schon der überall vorhandene Vielfachmesser der Klasse 1,0. Das Instrument müßte aber in diesem Fall als zuverlässig und seiner Klasse genau entsprechend bekannt sein.

Die Spannungsquelle wird hinsichtlich der Stromart und der Strombelastung ausgewählt. Meist benutzt man bei Gleichstrom wegen der erforderlichen Spannungskonstanz Akkumulatorenbatterien oder Maschinensätze. Die letzteren werden auch bei Wechselstrom angewendet. Wird das Lichtnetz als Spannungsquelle genommen, so muß eine konstante Spannung gewährleistet sein, die notfalls mit einer Konstanthaltung stabilisiert werden kann.

Die Stellwiderstände richten sich in ihrer Größe nach dem Stellumfang und der auftretenden Belastung. Der Vorwiderstand wird entsprechend Abschn. 4.3.3.1. errechnet. Als Spannungsteiler genügt bei einem Stellbereich von 0···250 V ein Grobsteller von etwa 1000 Ω, 0,3 A und ein Feinsteller von etwa 50 Ω.

Die Durchführung der Eichung erfolgt zunächst mit der Einstellung der verschiedenen Spannungen bzw. Ströme. Diese beginnen mit dem Nullwert und werden stufenweise bis auf den Skalenendwert geregelt. Als Einzelwerte sind runde Meßwerte des Eichnormals anzustreben, z. B. 10, 20, 30, 40, 50 V. Die verschiedenen Anzeigen des Prüflings werden dann mit dem Eichnormal verglichen und in der entsprechenden Maßeinheit notiert. Die Meßabweichung des Prüflings vom Eichnormal ist ein relativer Fehler, weil auch das Eichnormal keinen absoluten Wert mißt. Der relative Fehler ist

$$\varepsilon = \frac{U_x - U_n}{U_n}.$$

Der auf den Endwert des Meßbereichs U_e bezogene Anzeigefehler in Prozent ist

$$p_e = \frac{U_x - U_n}{U_e} \cdot 100.$$

Die von beiden Instrumenten abgelesenen Werte können abschließend tabellarisch ausgewertet werden, und es kann auch weiterhin der Kurvenverlauf von ε und p_e als Funktion von U_x grafisch dargestellt werden.

Beispiel einer Eichtabelle:

Messung	U_x in V	U_n in V	F in V	ε	P_e in %
1.					
2.					
usw.					

4.4. Meßregeln

Mit den Kenntnissen über die ersten Meßinstrumente und deren Meßschaltungen können nunmehr Messungen durchgeführt werden. Beim Aufbau der Meßschaltungen und beim Umgang mit Meßinstrumenten sind folgende Regeln zu beachten:

4.4.1. *Allgemeine Regeln*

1. Enthält die Meßaufgabe kein Schaltbild, so ist dieses nach dem Aufgabentext zu skizzieren.
2. Beim Aufbau der Meßschaltung ist auf deren Übersichtlichkeit zu achten. Hierbei ist zu überlegen,

   was will man messen,
   wo will man messen,
   wie will man messen?

3. Die Auswahl der Meßinstrumente in bezug auf ihre Genauigkeit, Empfindlichkeit und ihren Meßbereichsumfang hängt vom Meßzweck ab. Es kommt nicht darauf an, so genau wie möglich, sondern so genau wie notwendig zu messen.
4. Jede Messung enthält Fehler und ist nicht absolut genau. Wichtig ist es, die Fehler zu kennen und sie in die Auswertung einzubeziehen.
5. Beim Aufstellen der Meßinstrumente ist deren Gebrauchslage sowie der eventuelle Einfluß von magnetischen Störfeldern (Feinmeßwerke) zu berücksichtigen. Die Skalen müssen blendungsfrei und parallaxenfrei abgelesen werden können.
6. Der Umgang mit Meßinstrumenten erfordert pfleglichen Handhaben. Staub, Feuchtigkeit, Hitze, mechanische Erschütterungen und elektrische Überbelastung vermindern die Meßgenauigkeit oder wirken zerstörend.
   Das Putzen der Glasscheibe darf bei empfindlichen Meßinstrumenten nicht während der Messung erfolgen, weil die dabei entstehende Reibungselektrizität den Zeigerausschlag beeinflussen kann.
   Pfleglichen Handhaben bedeutet nicht, daß ein Eingriff in das Instrument getan werden darf.
   Ein entstandener Meßfehler wird auch nicht durch die Verstellung der Nullpunktkorrektur verbessert, sondern ist nur durch eine Nacheichung auszugleichen.
7. Spannungsteiler sind anfangs so einzustellen, daß am Verbraucher (Widerstand oder Spannungsmesser) die Spannung Null ist. Erst dann wird die Spannung nach oben geregelt.

8. Vorwiderstände sind anfangs voll in den Stromkreis zu schalten und dann herunterzuregeln. Sie sind auf notwendige Belastung auszuwählen.
9. Während des Versuches ist es zweckmäßig, schätzend mitzurechnen, um in groben Zügen das Versuchsergebnis zu erkennen.

4.4.2. *Regeln für das Messen mit dem Vielfachmesser*

Beim Messen mit dem Vielfachmesser muß auf die richtige Wahl des Meßbereiches geachtet werden, weil schon eine falsche Meßbehandlung die Beschädigung des Instruments zur Folge haben kann. Folgende Meßregeln gelten für diese Meßinstrumente:

1. Stromart (Gleich- oder Wechselstrom) wählen,
2. Meßgröße (Strom oder Spannung) wählen,
3. größten Meßbereich einstellen,
4. Meßinstrument anschließen und Stromkreis einschalten,
5. vom größten Meßbereich auf jenen langsam herunterschalten, der eine Ablesung des Meßwertes im letzten Drittel der Skale gestattet,
6. Skalenstrich ablesen und den Meßwert schätzen,
7. Meßwert errechnen:

$$\text{Meßwert} = \frac{\text{Meßbereich} \cdot \text{Skalenstrich}}{\text{Skalenteile (30, 75, 100 usw.)}}.$$

8. Bei Wiederholungsmessungen ist der Meßbereich nicht zu verändern, weil der Innenwiderstand des Instruments damit verändert wird und eine Verfälschung des Meßergebnisses hervorruft.

Beispiel:

Der Zeiger des Multizet II gibt im Meßbereich 1,5 A den 25. Skalenstrich an. Welche Stromstärke wird gemessen?

Lösung:

$$\text{Meßwert} = \frac{\text{Meßbereich} \cdot \text{Skalenstrich}}{\text{Skalenteile}} = \frac{1{,}5 \cdot 2{,}5}{30} = 1{,}25 \text{ A}.$$

4.5. Praktische Übungsaufgaben

1. Es sind Parallel- und Reihenschaltungen mit Verbrauchern (Glühlampen o. ä.) durchzuführen und die Ströme und Spannungen zu messen.
2. Messen und berechnen Sie die Stromaufnahme einer Glühlampe!
3. Schalten Sie zwei oder mehrere Glühlampen parallel! Berechnen Sie die Stromaufnahme, und überprüfen Sie diese durch Messung! Begründen Sie die Stromaufnahme!
4. Schalten Sie zwei Glühlampen in Reihe! Messen Sie die Teilspannungen und vergleichen Sie diese mit der Gesamtspannung! Messen Sie die Stromaufnahme! Begründen Sie die Meßergebnisse!
   Zur Übung der Handhabung und Ermittlung der Meßwerte ist ein Teil der Messungen mit einem Vielfachmesser durchzuführen!

5. Schließen Sie einen Verbraucher über eine Zuleitung mit veränderlichem Leitungswiderstand an! Messen Sie die Stromstärke und die Spannung an der Spannungsquelle und am Verbraucher! Tragen Sie für jede Verstellung des Leitungswiderstandes R_L den Spannungsabfall U_v bzw. die Verbraucherspannung U_a in eine Tabelle ein, und werten Sie diese grafisch aus!

   Messen Sie die Spannung an einem fest eingestellten Spannungsteiler mit mehreren Spannungsmessern verschiedener Innenwiderstände!
   Vergleichen Sie die Meßergebnisse! Messen Sie diese Spannung mit mehreren Meßbereichen des Vielfachmessers! Ziehen Sie Schlußfolgerungen aus diesen Messungen!

7. Ermitteln Sie die I-U-Kennlinie eines aktiven Zweipols (Batterie), und bestimmen Sie dessen inneren Widerstand durch Rechnung!

8. Ermitteln Sie die I-U-Kennlinie eines passiven Zweipols, z. B.
   einer Metalldrahtglühlampe,
   einer Kohlefadenlampe,
   eines Selengleichrichters (in Durchlaß- und in Sperrichtung),
   eines Thermistors,
   eines Eisen-Wasserstoff-Widerstandes u. ä. Bauelemente!
   Begründen Sie den Verlauf der Kennlinie!

9. Bestimmen Sie die Kennlinie eines Vorwiderstandes mit unterschiedlichen Belastungswiderständen entsprechend Abschn. 3.3.1.!

10. Bestimmen Sie die Kenlninien eines Spannungsteilers mit unterschiedlichen Belastungswiderständen entsprechend Abschn. 3.3.2.!

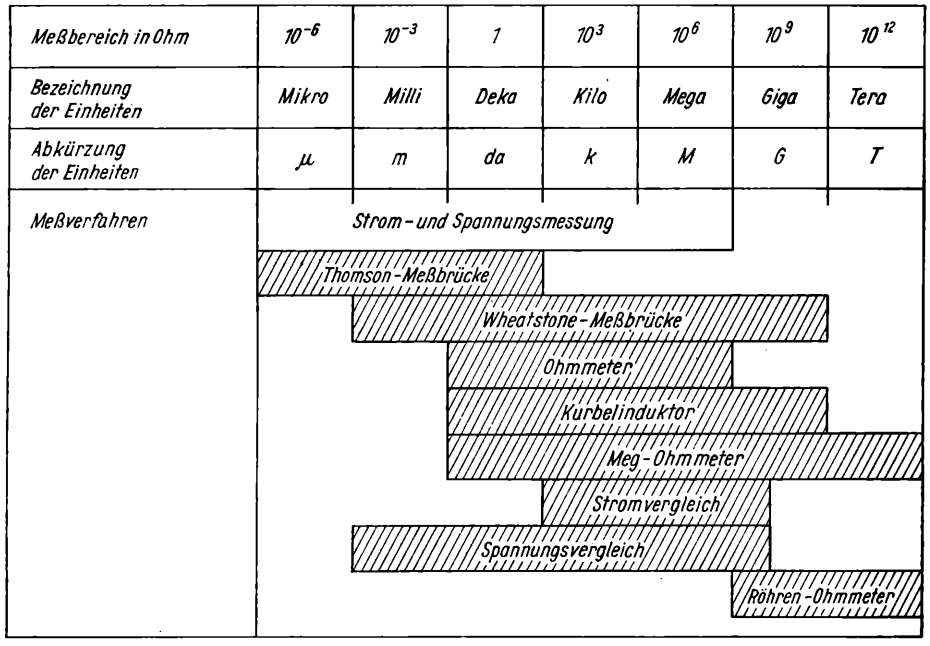
11. Führen Sie die Nacheichung eines Betriebsspannungsmessers durch!
    Werten Sie diese Meßwerte entsprechend Abschn. 4.3.4. aus!

5. ERMITTELN OHMSCHER WIDERSTÄNDE

Die Ermittlung von ohmschen Widerständen umfaßt heute eine Vielzahl von Meßverfahren und Meßgeräten, die je nach notwendiger Anforderung in Anwendung gelangen. Ein vollkommenes und universelles Meßverfahren bzw. Meßgerät, das die Messungen kleinster und größter Widerstände bei sehr großer Genauigkeit ermöglicht, gibt es nicht (Tafel 5.1). Für die jeweiligen Verwendungszwecke sind passende Spezialgeräte, wie zum Beispiel RLC-Meßbrücken, Erdungswiderstand-Meßgeräte, entwickelt worden.

Der Facharbeiter wird im Laufe seiner vieljährigen Berufspraxis mit vielem Neuen auf diesem Gebiet der Meßtechnik in Berührung kommen und sich vor die Tatsache gestellt sehen, diese unbekannten Probleme zu lösen. Im folgenden sollen daher die wichtigsten Meßmethoden und -geräte der Widerstandsermittlung, die eine breite Grundlage für die Werkstatt- und Prüffeldpraxis sind, erläutert werden (Tafel 5.1).

Tafel 5.1



5.1. Strom- und Spannungsmessung

5.1.1. *Grundlagen*

Eine einfache Methode, die Größe eines Widerstandes zu bestimmen, ist die Anwendung des Ohmschen Gesetzes. Mißt man den Strom, der durch den Widerstand R_x fließt, und die Spannung, die am unbekannten Widerstand anliegt, so errechnet sich der Widerstand R_x:

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

Voraussetzung für die Anwendung des im Bild 5.1 dargestellten Meßverfahrens ist, daß der Eigenwiderstand R_{iV} des Spannungsmessers gegenüber dem zu ermittelnden Widerstand R_x sehr groß ist. Ist dies der Fall, so kann der Instrumentenstrom des Spannungsmessers vernachlässigt werden.
Die Meßschaltung kann aber auch so abgewandelt werden, wie sie im Bild 5.2 dargestellt ist. In dieser Schaltung gibt der Strommesser genau die Stromstärke an, die

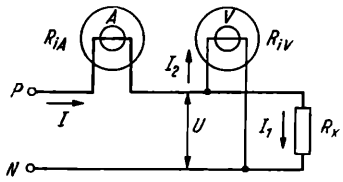


Bild 5.1

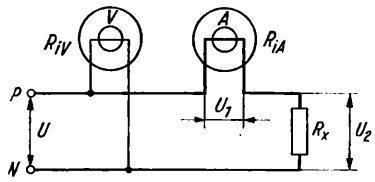


Bild 5.2

durch den unbekannten Widerstand fließt, und der Spannungsmesser zeigt die gesamte Spannung des Meßstromkreises an. Damit der Spannungsabfall am Strommesser sehr gering bleibt, muß der Eigenwiderstand R_{iA} sehr klein gegenüber dem unbekannten Widerstand R_x sein.

Eine für die Praxis genügende Meßgenauigkeit von $\pm 1\%$ ist dann gegeben, wenn der Eigenwiderstand des Spannungsmessers 100mal größer und der Eigenwiderstand des Strommessers 100mal kleiner als der Widerstand R_x ist.

Sind diese Bedingungen nicht vorhanden oder sind genaue Messungen durchzuführen, so sind die Eigenwiderstände der Meßinstrumente beim Ermitteln des unbekannten Widerstandes zu berücksichtigen.

Bei der spannungsrichtigen Schaltung (Bild 5.1) wird

$$R_x = \frac{U}{I_1}.$$

Da

$$I_1 = I - I_2$$

ist, wird

$$R_x = \frac{U}{I - I_2}$$

oder

$$R_x = \frac{U}{I - \frac{U}{R_{iV}}}.$$

Bei der stromrichtigen Schaltung (Bild 5.2) wird

$$R_x = \frac{U_2}{I}.$$

Da

$$U_2 = U - U_1 \quad \text{und} \quad U_1 = I \cdot R_{iA}$$

ist, wird

$$R_x = \frac{U - U_1}{I} \quad \text{oder} \quad R_x \frac{U - I \cdot R_{iV}}{I}.$$

5.1.2. *Messen von Widerständen nach beiden Meßschaltungen*

In den folgenden Messungen sollen ein kleiner Widerstand und ein großer Widerstand nach beiden Meßschaltungen ermittelt werden. Die Versuchsschaltung wird zweckmäßig so aufgebaut, daß der Spannungsmesser nach Bild 5.3 an einen Um-

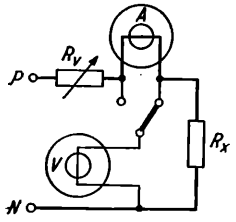


Bild 5.3

schalter gelegt wird; somit kann man die Messungen nach beiden Seiten sofort durchführen und eventuelle Nachmessungen nochmals wiederholen. Ebenfalls ist es günstig, einen Vorschaltwiderstand in den Meßstromkreis zu legen. Mit diesem stellt man verschiedene und gut ablesbare Stromstärken und Spannungen ein, und zwar in solchen Größen, die nicht zu einer merklichen Erwärmung von R_x führen.

Beispiel:

a) Messen eines kleinen Widerstandes

Gegeben:

$U = 12\ \text{V},$

$I = 1\ \text{A},$

$R_{iV} = 12\,000\ \Omega,$

$R_{iA} = 1\ \Omega.$

Lösung:

Spannungsrichtige Schaltung:

$$R_x = \frac{U}{I - \frac{U}{R_{iV}}} = \frac{12\ \text{V}}{1\ \text{A} - \frac{12\ \text{V}}{12\,000\ \Omega}} \approx \underline{\underline{12\ \Omega.}}$$

Stromrichtige Schaltung:

$$R_x = \frac{U - I \cdot R_{iA}}{I} = \frac{12\ \text{V} - 1\ \text{A} \cdot 1\ \Omega}{1\ \text{A}} = \underline{\underline{11\ \Omega.}}$$

Ohne Berücksichtigung der Innenwiderstände

$$R_x \approx \frac{U}{I} = \frac{12\ \text{V}}{1\ \text{A}} = \underline{\underline{12\ \Omega.}}$$

b) Messen eines großen Widerstandes

Gegeben:

$$U = 12\ \text{V},$$
$$I = 0{,}01\ \text{A},$$
$$R_{iV} = 12\,000\ \Omega,$$
$$R_{iA} = 3\ \Omega.$$

Lösung:

Spannungsrichtige Schaltung:

$$R_x = \frac{U}{I - \frac{U}{R_{iV}}} = \frac{12\ \text{V}}{0{,}01\ \text{A} - \frac{12\ \text{V}}{12\,000\ \Omega}} \approx \underline{\underline{1333\ \Omega.}}$$

Stromrichtige Schaltung:

$$R_x = \frac{U - I \cdot R_{iA}}{I} = \frac{12\ \text{V} - 0{,}01\ \text{A} \cdot 3\ \Omega}{0{,}01\ \text{A}} \approx \underline{\underline{1200\ \Omega.}}$$

Ohne Berücksichtigung der Innenwiderstände

$$R_x \approx \frac{U}{I} = \frac{12\ \text{V}}{0{,}01\ \text{A}} = \underline{\underline{1200\ \Omega.}}$$

Der Vergleich der Meßergebnisse zeigt:

Bei kleinen Widerständen ist die spannungsrichtige Schaltung, bei großen Widerständen ist die stromrichtige Schaltung zu verwenden.

5.1.3. *Messungsbeispiel*

Das Strom- und Spannungsmesserverfahren hat in der Praxis große Bedeutung. Es wird vor allem immer dann angewandt, wenn die Messung eines unbekannten Widerstandes unter betrieblichen Bedingungen erforderlich ist und die Höhe der Meßspannung gleich der Betriebsspannung sein soll.

5.1.3.1. *Prüfung von elektrischen Maschinen*

Eine vielfache Anwendung findet das Meßverfahren im *Elektromaschinenbau* beim *Messen des Isolationszustandes* der spannungführenden Wicklungsteile gegeneinander (Kurzschluß) und gegen den Ständer (Körperschluß). Die Höhe der Meßspannung entspricht hierbei der Betriebsspannung.

Beim *Prüfen von Gleichstromankern* kommt es in der Regel darauf an, festzustellen, ob die Widerstände zwischen je zwei benachbarten Lamellen gleich groß sind (Bild 5.4). Man geht dabei so vor, daß mit den Kontaktfingern von Lamelle zu Lamelle geprüft wird. Zeigt bei einer Messung der Strommesser einen bedeutend größeren Ausschlag als bei vorhergehenden Messungen an, dann ist der Widerstand

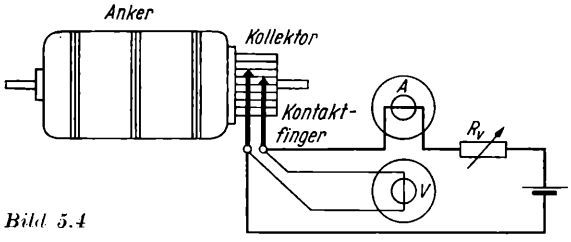


Bild 5.4

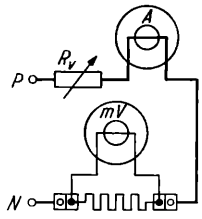


Bild 5.5

kleiner, und es kann Kurzschluß vermutet werden. Ist der Ausschlag dagegen kleiner oder zeigt er noch größere Abweichungen als bei den übrigen Windungen an, dann kann eine schlechte Lötstelle bzw. ein Drahtbruch vorhanden sein. Der Spannungsmesser dient dabei zur Kontrolle der Messung bzw. zur Vermeidung von Meßfehlern, die durch Übergangswiderstände hervorgerufen sein können.

5.1.3.2. *Abgleichen von kleinen Meßwiderständen*

Die elektrische Abgleichung von Nebenwiderständen wird, wenn keine geeigneteren speziellen Meßgeräte zur Verfügung stehen, mit dem Strommesser und dem Millivoltmeter nach der Schaltung im Bild 5.5 durchgeführt. Der Strom kann entsprechend der vorhandenen Regelmöglichkeit und der Spannungsquelle willkürlich gewählt werden und braucht nicht unbedingt dem Betriebsstrom des Meßwiderstandes entsprechen. Um eine möglichst hohe Meßgenauigkeit zu erreichen, muß darauf geachtet werden, daß die Erwärmung des Widerstands gering bleibt und die Meßleitungen des Spannungsmessers kurz und dick zu wählen sind sowie guten Kontakt zum Prüfling bekommen. Das Abgleichen des Shunts auf den erforderlichen Widerstand erfolgt so, daß der Querschnitt zum Beispiel durch Abfeilen so lange vermindert wird, bis der gewünschte Wert gemessen wird.

5.1.3.3. *Ermitteln von Kontaktwiderständen*

Die Lösung dieser Aufgabe erfordert besonders empfindliche und präzise Meßinstrumente, die sogar bei sehr kleinen Kontaktwiderständen (Klemmkontakte) Geräte mit Bändchenaufhängung oder Lichtzeiger erfordern. Bei Steckkontakten oder Schleifkontakten, die außerdem mit einer schlecht leitenden Oxidhaut behaftet sind, treten Widerstände von etwa 0,1 Ω und weniger auf. Diese sind schon mit einem guten Multizet-Instrument ermittelbar. Der Kontaktwiderstand ist jedoch nicht nur vom Übergangswiderstand abhängig, sondern auch vom Engewiderstand, der durch das Einschnüren der Stromfäden beim Kontaktübergang entsteht. Beide Widerstände bilden also den Kontaktwiderstand, der im allgemeinen von der Größe des Stromes abhängig ist.

Die Widerstandsermittlung muß, da nur kleine Widerstände auftreten, nach der spannungsrichtigen Schaltung (Bild 5.6a) erfolgen. Zunächst werden die Meßleitungen, die geringen Leitungswiderstand haben müssen, sehr fest (anschrauben oder anlöten) und ganz nahe an die Kontaktstelle gelegt. (Für den Versuch ist eine

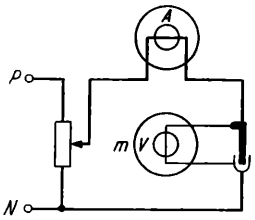


Bild 5.6a

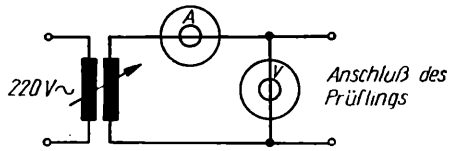


Bild 5.6b

Steckdose mit Stecker zu wählen.) Danach ist zu überprüfen, ob der Kontakt festsitzt und sich nicht selbsttätig öffnen kann, weil der empfindliche Spannungsmesser beim Öffnen des Kontaktes unter Strom gefährdet werden kann. Die Spannung kann nach dieser Vorbereitung angelegt werden. Sie braucht wegen des Millivoltmeters nicht hoch gewählt zu werden, zumal sie mit dem Spannungsteiler noch weiter einreguliert wird. Da Kontaktwiderstände in ihren Werten sehr streuen, ist es notwendig, mehrere Messungen bei steigender Stromstärke durchzuführen. Die Auswertung erfolgt zum Schluß durch Ermitteln des Mittelwertes.

Strom-Spannungsmessungen können auch beim Ermitteln der Übergangswiderstände von metallenen Scharnieren bzw. Einhängevorrichtungen durchgeführt werden. Diese Scharniere dienen oft als Erdungsleitungen und Schutzleiterverbindungen zwischen blechverkleideten Türen und geerdeten Schaltschränken.

Für solche Untersuchungen wird, um praxisnahe Verhältnisse zu schaffen, die Messung nach Bild 5.6b vorgenommen. Dabei wird der 3,5fache Nennstrom einer 10-A-Sicherung gewählt. Die Übergangswiderstände betragen etwa 2 · · · 17 mΩ.

5.1.3.4. *Messen des Erdungswiderstandes bei Anwendung der Schutzerdung*

In Netzen mit geerdetem Sternpunkt wird mittels Strom- und Spannungsmesser die Schutzerde gemessen. Die zu prüfende Erdleitung wird mit einem nichtgeerdeten Außenleiter über einen stellbaren Widerstand von 1000 Ω bis 20 Ω hinter der Sicherung über einen Strommesser verbunden. Hinter dem Vorschaltwiderstand ist dann

mit einem Spannungsmesser mit einem Widerstand R_i von etwa 40 kΩ die Spannung zwischen dem Erder und einer von diesem etwa 20 m entfernten Sonde zu messen. Der Erdungswiderstand der Schutzerdung ergibt sich dann als Quotient aus der gemessenen Spannung und dem Strom. Die Meßschaltung ist im Bild 5.7 dargestellt.

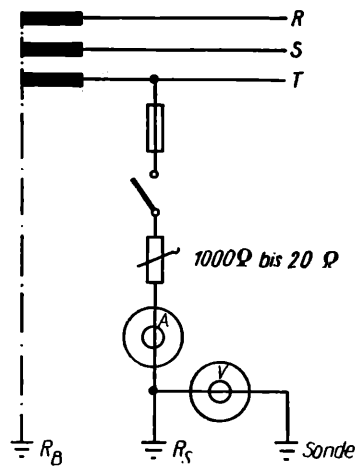


Bild 5.7

5.1.4. *Praktische Übungsaufgaben*

Ein unbekannter Widerstand soll ermittelt werden.

a) Ermitteln Sie die günstigste Meßschaltung durch eine Vergleichsmessung!

b) Wenden Sie die zweckmäßigste Meßschaltung sowie mehrere Meßspannungen an, und ermitteln Sie den Mittelwert der Messungen!

Überprüfen Sie den Isolationszustand eines Elektromotors! Hierbei sind die spannungführenden Wicklungsteile (Phasen), Schaltleitungen, Schleifringe und Bürstenbolzen auf Körperschluß zu überprüfen.

Entfernen Sie aus einem nicht mehr verwendungsfähigen Elektrogerät Kontakte, die jahrelang nicht mehr gewartet wurden und durch äußere Einflüsse (Staub, Feuchtigkeit, Hitze) in ihrer Funktionstüchtigkeit nachgelassen haben!

Messen Sie von diesen Kontakten und von gleichen, aber gewarteten Kontakten den Kontaktwiderstand, und vergleichen Sie beide!

Errechnen Sie von schlechten Kontakten den Spannungsabfall bzw. Leistungsverlust, den sie bei Betrieb verursachen würden, und den in einem Jahr anfallenden Kostenaufwand der verlorengegangenen elektrischen Energie!

5.2. Vergleichsverfahren

5.2.1. *Grundlagen*

Bei diesem Widerstandmeßverfahren geht man in der Weise vor, daß man einen bekannten Meßwiderstand R_M gegen einen unbekannten Widerstand R_x in einem Meßstromkreis einsetzt und die gemessenen elektrischen Größen miteinander vergleicht.

5.2.1.1. *Stromvergleichsverfahren*

Bild 5.8 zeigt eine Widerstandsmessung nach dem Stromvergleichsverfahren, das sich besonders für größere Widerstände ab etwa 100 Ω aufwärts eignet. Bei der Messung geht man so vor, daß der Schalter auf Kontakt *1* gestellt wird. Der Strom fließt dann durch den unbekannten Widerstand R_x. Mit dem Vorschaltwiderstand R_v wird eine solche Stromstärke eingestellt, die einen großen Zeigerausschlag im Strommesser hervorruft. Mit dem größeren Zeigerausschlag erreicht man, daß bei Instrumenten

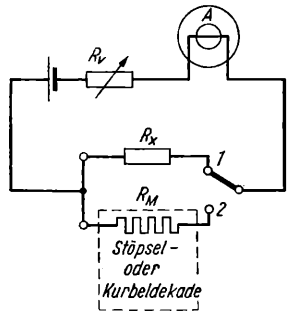


Bild 5.8

mit nichtlinearer Skalenteilung eine bessere Ablesbarkeit erzielt wird, und erhöht weiterhin mit steigendem Zeigerausschlag die relative Meßgenauigkeit. Danach wird der Schalter auf Kontakt *2* umgestellt. In den meisten Fällen wird der Zeigerausschlag nunmehr anders sein, weil der Widerstand des Meßwiderstandes im allgemeinen nicht mit dem Widerstand des Prüflings übereinstimmt. Der Versuch wird durch ständiges Austauschen des Meßwiderstandes so lange wiederholt, bis die Stromstärken beider Widerstände übereinstimmen. Da die Größe des Meßwiderstandes bekannt ist, kennt man damit den Wert des bisher unbekannten Widerstandes R_x.

Der unbekannte Widerstnad R_x kann auch rechnerisch ermittelt werden. Vergleicht man die Widerstände R_x und R_M mit ihren Stromstärken I_x und I_M, so bestehen die Beziehungen

$$\frac{R_x}{R_M} = \frac{I_M}{I_x}.$$

Hieraus ergibt sich der gesuchte Widerstand

$$\boxed{R_x = R_M \cdot \frac{I_M}{I_x}.}$$

Durch den Eigenwiderstand des Strommessers R_{iA} wird jedoch die Messung beeinflußt. Der Meßfehler kann klein gehalten werden, wenn R_x und R_M sehr viel größer als der Eigenwiderstand R_{iA} sind und je mehr R_x den Wert von R_M hat. Der Meßfehler ist dann Null, wenn $R_x = R_M$ ist. In diesem Fall wird der Anzeige- und Ablesefehler des Strommessers bedeutungslos, und das Meßergebnis ist nur noch von der Toleranz und Einstellgenauigkeit des Meßwiderstandes R_M abhängig.

5.2.1.2. *Spannungsvergleichsverfahren*

Dieses Vergleichsverfahren eignet sich im Gegensatz zum vorigen für die Bestimmung sowohl von großen als auch von kleinen Widerständen. An beiden im Meßstromkreis liegenden Widerständen R_x und R_M (Bild 5.9a) entstehen die Spannungsabfälle U_x und U_M, die sich genauso verhalten wie ihre Widerstände. Daraus folgt:

$$\frac{R_x}{R_M} = \frac{U_x}{U_M}.$$

Durch Auflösen der Gleichung nach R_x ergibt sich:

$$\boxed{R_x = R_M \cdot \frac{U_x}{U_M}.}$$

Durch den einfachen Schaltungsaufbau sind beide Verfahren gut für Messungen mit nieder- und hochfrequentem Wechselstrom geeignet. Die Meßgenauigkeit erhöht sich dabei bis 10 MHz auf etwa $\pm 2\%$ und bis 30 MHz auf etwa $\pm 5\%$. In diesen

Frequenzbereichen können außer dem Wirkwiderstand auch der HF-Widerstand von Schwingkreisspulen und anderes vermittelt werden. Allerdings müssen bei Verwendung von Wechselmeßspannungen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

a) Das Meßinstrument muß für Wechselstrom geeignet sein.

b) Die Meßwiderstände müssen induktivitäts- und kapazitätsfrei sein.

c) Die Meßanordnung darf bei Hochfrequenz nur geringe Leitungsinduktivitäten und Erdkapazitäten besitzen (Abschirmung und ähnliches).

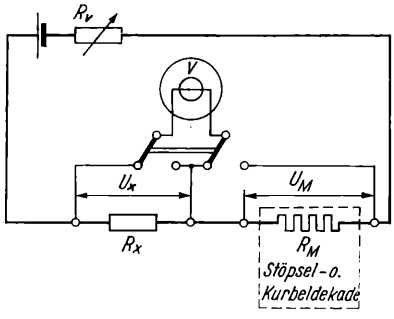


Bild 5.9a

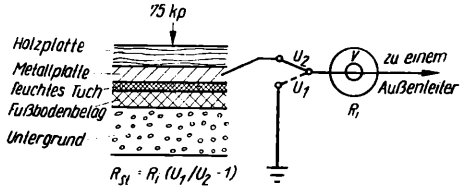


Bild 5.9b

Ein praktisches Anwendungsbeispiel des Spannungsvergleichsverfahrens ist die Bestimmung der elektrischen Isolierfähigkeit von Fußböden. In Netzen mit geerdetem Nullpunkt ist zunächst die Spannung des Netzes gegen Erde U_1 mit einem Spannungsmesser zu messen. In Netzen mit nichtgeerdetem Nullpunkt ist für die Messung ein Außenleiter hilfsweise zu erden.

Der Fußboden ist an der Stelle, an der gemessen werden soll, mit einem feuchten Tuch von 270 mm × 270 mm zu bedecken. Auf das feuchte Tuch ist eine Metallplatte von etwa 250 mm × 250 mm × 2 mm zu legen und mit einem Gewicht von etwa 75 kp zu belasten. Zwischen der belasteten Metallplatte und einem gegen Erde unter Spannung stehenden Außenleiter des Netzes ist die Spannung U_2 gemäß Bild 5.9b mit einem Spannungsmesser, dessen innerer Widerstand R_i bekannt ist, zu messen. Die Messung ist an mindestens drei beliebig gewählten Stellen des Fußbodens anzuführen.

Der Standortübergangswiderstand R_{ST} darf an keiner der Meßstellen 50 kΩ unterschreiten.

5.2.1.3. *Spannungsteiler-Vergleichsverfahren*

Für dieses Vergleichsverfahren sind die Meßschaltungen in den Bildern 5.10a und 5.10b dargestellt; sie sollen nur zur Vervollständigung angegeben werden. Das Span-

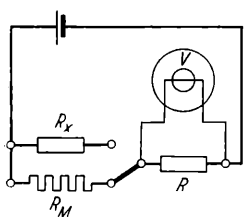


Bild 5.10a

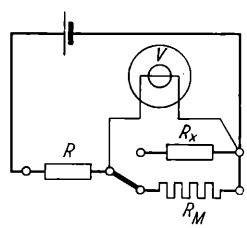


Bild 5.10b

nungsteiler-Verfahren eignet sich für sehr genaue Messungen. Deshalb erfordert die Spannungsmessung auch ein hochohmsches Voltmeter (Röhrenvoltmeter, elektrostatisches Voltmeter, Voltmeter mit hohem Eigenwiderstand). Aus beiden Schaltungen ist ersichtlich, daß entsprechend der unterschiedlichen Spannungsteilung die gemessenen Spannungen verglichen werden. Bei diesem Verfahren kann entsprechend dem im Bild 5.8 dargestellten Verfahren gearbeitet werden, d. h., der Meßwiderstand wird so lange ausgetauscht, bis er mit dem unbekannten Widerstand übereinstimmt und somit gleiche Spannungsteilungen vorherrschen.

5.2.1.4. *Meßwiderstände*

Die für die Messungen erforderlichen ohmschen Meßwiderstände müssen hinsichtlich des Werkstoffs wie auch der technischen Ausführung hohen Anforderungen genügen. Der Widerstand soll Temperaturabhängigkeit (wie zum Beispiel Manganin, Konstanten) besitzen, keine Thermospannung gegen Kupfer haben und für Anwendung in Wechselstromkreisen sehr geringe Eigenkapazität, Kapazität gegen Erde sowie Selbstinduktivität besitzen.

Als technische Ausführung der Meßwiderstände gibt es Widerstandsnormale und veränderliche Präzisionswiderstände. Widerstandsnormale sind einzelne Widerstände mit dekadischen Nennwerten (0,0001; 0,001; 0,01 usw. bis 1 000 000 Ω) und haben eine Fehlergrenze von etwa $\pm$ 0,001%.



Bild 5.11

Die veränderlichen Präzisionswiderstände bestehen aus Einzelwiderständen, die zu einem Widerstandssatz in einen Kasten eingebaut sind. Die Meßwiderstände haben runde Ohmwerte, und ihre Einzelwerte sind bei Dekaden stets zehnfach vorhanden.

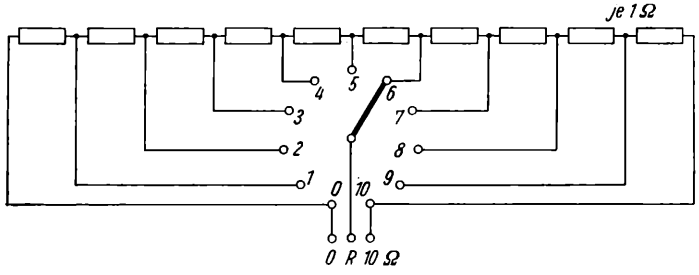


Bild 5.12

Daneben gibt es auch solche mit unterschiedlichen Abstufungen. Das Zusammenstellen der verschiedenen Widerstandswerte wird mit Kurbelschalter oder Stöpsel herbeigeführt.

In den Bildern 5.11 und 5.12 sind verschiedene Meßwiderstände dargestellt.

Bei der Messung nach dem Vergleichsverfahren können nach dem geforderten Genauigkeitsgrad folgende Meßwiderstände Verwendung finden:

a) geringe Ansprüche: geeichtes Potentiometer mit linearer Widerstandskurve, Toleranz etwa $\pm$ 1,5···3%,

b) höhere Ansprüche: Widerstandsdekade mit normalen Meßwiderständen, Toleranz etwa $\pm$ 0,5···1%,

c) hohe Ansprüche: Widerstandsdekade mit normalen Meßwiderständen, Toleranz etwa $\pm$ 0,2%,

d) höchste Ansprüche: Widerstandsdekade mit Präzisionswiderständen, Toleranz etwa $\pm$ 0,03%.

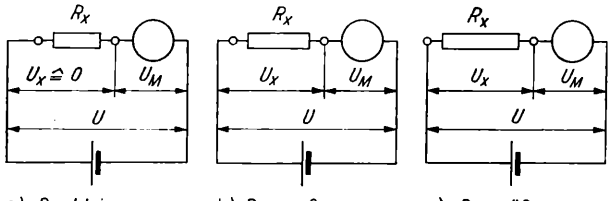
5.2.2. *Praktische Übungsaufgaben*

1. Mit den im Labor befindlichen Stöpsel- oder Kurbeldekadenwiderständen sind verschiedene Widerstandswerte, wie 0,1, 112, 232, 1030 Ω, zusammenzustellen!
2. Stellen Sie eine Versuchsanordnung nach den Schaltungen in den Bildern 5.7 und 5.8 zusammen, und ermitteln Sie verschiedene unbekannte Widerstände!
3. Erläutern Sie im Prinzip, warum im Bild 5.9 $R_x \geqq R_M$ und im Bild 5.10 $R_x \leqq R_M$ ist!
4. Ermitteln Sie den Standortübergangswiderstand im Elektrolabor!

5.3. Spannungsmessserverfahren (Ohmmeter)

5.3.1. *Grundlagen*

Das Spannungsmesserverfahren ist heute als Labor- bzw. Werkstattverfahren sehr begrenzt, weil präzisere Widerstandsmeßgeräte und Meßverfahren eine genauere Widerstandsermittlung gestatten.
Besondere Bedeutung hat das Spannungsmesserverfahren jedoch bei den einfachen Ohmmetern erlangt, die vielfach als Leitungsprüfer bekannt sind. Die einfache Handhabung und direkte Ablesung der Widerstandswerte auf der Skale des Ohmmeters lassen es zu einem gern verwendeten Meßinstrument bei der Montage und Fehlersuche in der Starkstrom-, Fernmelde- und Funktechnik werden. Auch in der Sprengtechnik wird es als Minenprüfer eingesetzt.



a) R_x klein b) R_x groß c) R_x größer *Bild 5.13*

Im Bild 5.13 ist das Prinzip dieses Verfahrens gekennzeichnet. In den Stromkreis eines Voltmeters werden nacheinander verschieden große Widerstände R_x gelegt. Aus dem Beispiel a) wird ersichtlich, daß der Widerstand R_x sehr klein ist, so daß die volle Batteriespannung U am Voltmeter anliegt.
In den folgenden Beispielen b) und c) ist der Widerstand R_x größer; jetzt teilt sich die Batteriespannung U in die Teilspannungen U_x und U_M. Es wird also ersichtlich, daß die Meßwerkspannung U_M vom jeweilig eingeschalteten Widerstand R_x abhängig ist. Durch die bestehende Abhängigkeit der beiden Größen R_x und U_M ist es möglich, die ursprüngliche Voltskale in eine Ohmskale umzueichen. Beide Skalen stehen jedoch umgekehrt zueinander. Zeigt das Meßwerk bei Vollausschlag den höchsten Spannungswert an, so beträgt der Widerstand R_x 0 Ω, ist dagegen kein

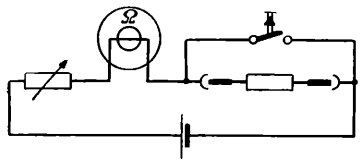


Bild 5.14

Zeigerausschlag vorhanden, also 0 V, dann wird der höchste Widerstandswert, und zwar „unendlich" (∞), angezeigt. Aus diesem Grunde wird es verständlich, warum Ohmmeterskalen mit dem Höchstwert beginnen und mit dem Nullwert enden. Es gibt aber in der Praxis auch Ohmmeter, deren Ohmskale mit Null beginnt. Bei diesen Meßinstrumenten wurde das Meßwerksystem lediglich umgekehrt in das Gehäuse eingebaut.

Die Schaltung eines einfachen Voltmeters zeigt Bild 5.14. Das Ohmmeter enthält ein Drehspulmeßwerk, einen Drehwiderstand, ein 1,5-V-Stabelement als Spannungsquelle (es gibt auch Ohmmeter mit 4,5-V-Taschenlampen- oder 100-V-Anodenbatterie) und eine Prüftaste.

Vor Beginn der Messung ist es notwendig, den Batteriezustand zu überprüfen. Durch Betätigen der Prüftaste und des Drehwiderstandes wird der Vollausschlag des Zeigers eingestellt. (Die Zeigereinstellung ist bei anderen Instrumenten auch mit einem eingebauten magnetischen Nebenschluß möglich.) Beim Öffnen der Prüftaste fließt dann der Strom durch den unbekannten Widerstand R_x, dessen Wert das Ohmmeter anzeigt.

Der einfache Aufbau des Ohmmeters ist günstig für eine Erweiterung zu einem Mehrzweckgerät. Dies ist zum Beispiel bei dem vom VEB Gerätewerk Karl-Marx-Stadt zum „Multiprüfer" erweiterten Ohmmeter der Fall.

Der Multiprüfer besitzt ein Kernmagnetmeßwerk, das von einem 1,5-V-Stabelement betrieben und dessen Zeigerausschlag mit einem Schichtdrehwiderstand reguliert wird. Germaniumdioden richten die zu messenden Wechselspannungen bzw. -ströme gleich. Für die einzelnen Meßbereiche sind Steckbuchsen vorhanden. Dieses Taschenprüfgerät ist auf Grund seiner vielseitigen Verwendbarkeit als Montage- und Fehlersuchgerät gut geeignet.

Beim praktischen Umgang mit dem Leitungsprüfer ist zu beachten, daß sich der Widerstand oder die Leitung im spannungslosen Betriebszustand befindet.

5.3.2. *Eichung der Skale eines Drehspulinstruments in Ohm*

Es soll ein Drehsspulinstrument als Ohmmeter verwendet werden. Während der Aufbau der Meßschaltung einfach ist, bereitet die Umeichung der Skale einige Schwierigkeiten. Deshalb soll im folgenden die Eichung einer Skale in Kiloohm und in Milliampere dargelegt werden. Das Drehspulinstrument soll einen Meßbereich von 4,5 V und einen Meßwerkwiderstand von 450 Ω haben.

Die Eichung der Skale kann einmal so durchgeführt werden, daß bekannte Widerstandsnormale in den Meßstromkreis entsprechend Bild 5.13 gelegt werden, um dann die jeweiligen Zeigerausschläge auf der Skale zu markieren. Anschließend wird die Skale mit Tusche sauber gezeichnet.

Eine andere Art der Skalenbestimmung ist durch Rechnung möglich. Rechnungsbeispiele:

a) Ist $R_x = 0$, dann liegt die volle Batteriespannung am Meßwerk.
Der Meßwerkstrom ist dann

$$I = \frac{U_M}{R_M} = \frac{4{,}5\ \text{V}}{450\ \Omega} = 0{,}01\ \text{A} = 10\ \text{mA}.$$

b) Ist $R_x = 50\ \Omega$,
dann beträgt der Gesamtwiderstand

$$R_{ges} = R_x + R_M = 50\ \Omega + 450\ \Omega = 500\ \Omega,$$

$$I = \frac{U}{R_{ges}} = \frac{4{,}5\ \text{V}}{500\ \Omega} = 0{,}009\ \text{A} = 9\ \text{mA}.$$

In dieser Weise kann man alle gewünschten Skalenwerte bestimmen. In Tafel 5.2 sind die zweckmäßigsten Skalenwerte des zu eichenden Drehspulinstruments aufgeführt.

Tafel 5.2

R_x in Ω	R_{ges} in Ω	I in mA
0	450	10,0
10	460	9,8
20	470	9,6
30	480	9,4
40	490	9,2
50	500	9,0
80	530	8,5
100	550	8,2
150	600	7,5
200	650	6,9
300	750	6,0
400	850	5,3
500	950	4,7
800	1 250	3,6
1 000	1 450	3,1
2 000	2 450	1,8
5 000	5 450	0,8
10 000	10 450	0,4

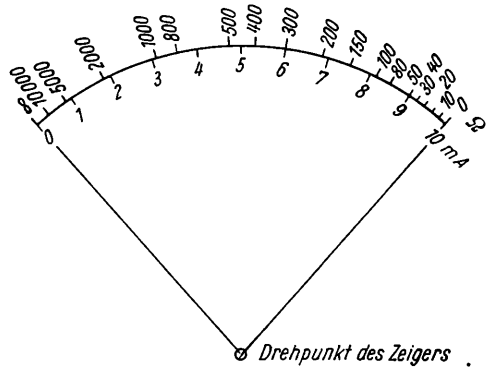


Bild 5.15

Diese Werte werden nunmehr auf das Skalenblatt übertragen. Zunächst werden der Drehpunkt des Zeigers und der Skalenanfang sowie das Skalenende festgelegt. Mit dem Zirkel werden dann die Werte 0···10 mA gleichmäßig abgesteckt. Danach werden die Ohmwerte im Vergleich zu der Milliampereskale eingetragen (Bild 5.15).

5.3.3. *Praktische Übungsaufgaben*

1. Überprüfen Sie mit dem Ohmmeter den Stromdurchgang bei Verbrauchern! Messen Sie dabei den Widerstand der Verbraucher, und überprüfen Sie ihn mit der auf dem Leistungsschild angegebenen Leistung!
2. In der Fernsprechwähltechnik ist es für die einwandfreie Funktion einer Anlage wichtig, daß der zulässige Schleifenwiderstand eines Teilnehmeranschlusses unter 2 · 500 Ω bleibt. Man mißt diesen, indem die beiden Adern an einem Ende kurzgeschlossen werden, um dann am anderen Ende mit dem Ohmmeter den gesamten Leitungswiderstand zu messen. Zeigt das Ohmmeter zum Beispiel 800 Ω an, dann beträgt der Schleifenwiderstand 2 · 400 Ω. Überprüfen Sie eine Fernsprechleitung auf ihren richtigen Schleifenwiderstand!
3. Ein Spannungsmesser mit 333 Ω/V und einem Meßbereich von 1,5 V soll als Ohmmeter verwendet werden. Berechnen und zeichnen Sie die Ohmskale!

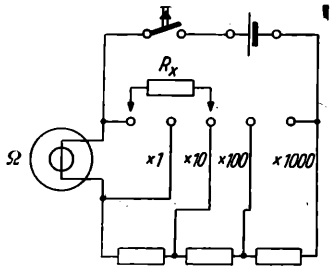


Bild 5.16

4. Ein Ohmmeter ist nach der im Bild 5.16 dargestellten Schaltung aufgebaut. Erläutern Sie die Schaltung!

5.4. Isolationsmessung mit dem Kurbelinduktor

5.4.1. *Grundlagen*

Der störungsfreie Betrieb von elektrischen Anlagen und deren Betriebsmittel erfordert eine regelmäßige Überwachung aller Anlagenteile. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die laufende Überprüfung des Isolationszustandes der elektrischen Anlage. Sie hilft Unfälle verhüten und den kontinuierlichen Produktionsablauf sichern. Es ist festgelegt, daß der Isolationszustand als angemessen gilt, wenn der Stromverlust auf jeder Teilstrecke zwischen zwei Sicherungen oder hinter der letzten Sicherung bei der Betriebsspannung 1 mA nicht überschreitet, d. h.,

der Isolationszustand einer elektrischen Anlage ist ausreichend, wenn er das 100fache der Betriebsspannung in Ohm beträgt.

So zum Beispiel muß bei einer Betriebsspannung von 220 V mindestens ein Isolationswiderstand von 220 000 Ω vorhanden sein. Diese Festlegung gilt gleichfalls für elektrische Maschinen, Transformatoren, Akkumulatoren sowie elektrische Aggregate und Geräte. Die Meßspannung soll möglichst der Betriebsspannung, mindestens aber 100 V entsprechen.
Die bisher kennengelernten Widerstandsmeßverfahren bzw. -meßgeräte sind auf Grund ihres Aufbaues und ihrer Unhandlichkeit für ortsveränderliche Arbeiten weniger geeignet. Deshalb gibt es eigens für diese Isolationsprüfungen einen Isolationsmesser, der besonders durch einen eingebauten Kurbelinduktor als Spannungsquelle gekennzeichnet ist. Das Gerät unterscheidet sich vom Ohmmeter nur in der anderen Art der Spannungsquelle; das Meßverfahren ist also ein Spannungsmesserverfahren. Wegen seiner Spannungsquelle wird der Isolationsmesser in der Fachsprache allgemein als „Kurbelinduktor" bezeichnet. Von den Meßgerätewerken sind eine Vielzahl von „Kurbelinduktoren" hergestellt worden, die im Prinzip alle gleich sind und sich nur hinsichtlich der Größe der Meßspannung, des Meßbereiches und der zusätzlichen Verwendbarkeit, zum Beispiel als Spannungsmesser, unterscheiden.

5.4.2. *Technische Ausführung*

In den Bildern 5.17 bis 5.19 ist ein Isolationsmesser des VEB Elektro-Apparate-Werke Berlin-Treptow dargestellt, der in der Praxis sehr verbreitet ist und sich gut bewährt hat. Die Meßspannung von 550 V wird von einem Kurbelinduktor erzeugt,

dessen Wechselspannung mittels eines Kommutators gleichgerichtet, durch einen Kondensator geglättet und durch eine Glimmlampenschaltung stabilisiert wird. Eine dieser Glimmlampen ist von oben im Fenster sichtbar und zeigt durch ihr beständiges Aufleuchten an, ob die zur Meßspannung notwendige Drehzahl erreicht ist.



Bild 5.17

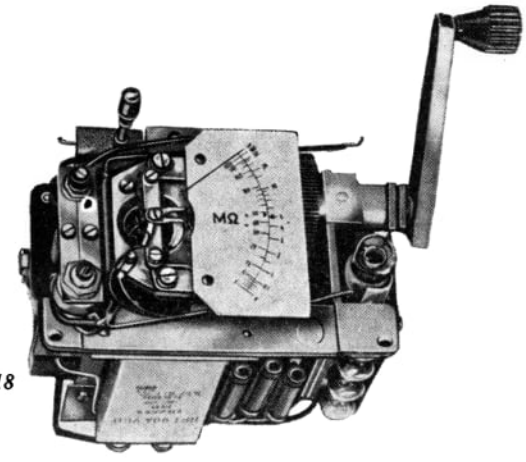


Bild 5.18

Aus Bild 5.19 ist ersichtlich, daß das Gerät zwei gut ablesbare Meßbereiche enthält. Diese werden mittels eines Drehschalters eingestellt. Gleichzeitig ist dieser Drehschalter als Prüftaste ausgebildet, mit der ein eventuelles Nachlassen der Glimmlampen-Brennspannung festgestellt werden kann. Drückt man bei gleichzeitigem Drehen der Handkurbel die Prüftaste, so stellt sich der Zeiger des Drehspulmeß-

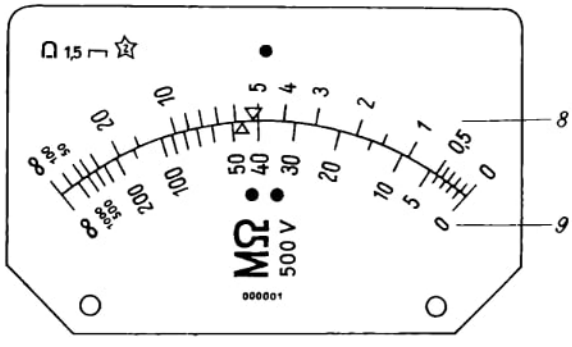


Bild 5.19

werkes auf den entsprechenden Spannungswert ein. Die erforderliche Meßspannung ist dann erreicht (bzw. Drehzahl), wenn der Zeiger sich auf die rote Skalenmarke einstellt. Zur Überprüfung der Meßspannung ist für jeden Meßbereich je ein Nachstellpotentiometer im Gerät eingebaut.

5.4.3. *Messen des Isolationszustandes einer elektrischen Anlage*

Die Bedienung dieses Kurbelinduktors entspricht ähnlichen Isolationsmessern. Aus der vom VEB EAW herausgegebenen Bedienungsanweisung geht folgendes hervor:

„a) Vorbereiten zum Messen
Zeiger muß in Ruhelage auf Teilstrich ∞ stehen! Korrektur der Zeigerstellung durch Drehen des Knopfes ‚a' (Nullstellknopf, d. Verf.).
Zur Überprüfung des Abgleichs ist in längeren Zeitabständen bei laufendem Kurbelinduktor Taste ‚b' (Prüftaste, d. Verf.) zu drücken (Kurbel so drehen, daß Glimmlampe beständig aufleuchtet). Dabei muß sich der Zeiger auf die rote Skalenmarke des eingeschalteten Meßbereiches einstellen. Korrektur der Zeigerstellung durch Drehen der Knöpfe ‚e' oder ‚d' (Nachstellpotentiometer, d. Verf.), je nach eingestelltem Meßbereich.

b) Messen
Der zu prüfende Leiter ist vom übrigen Netzteil elektrisch zu trennen und an die Außenklemmen anzuschließen. Bei Erdwiderstandsmessungen ist die Plusklemme zu erden. Unduktorkurbel so drehen, daß Glimmlampe beständig aufleuchtet (etwa 2,5 bis 3 Umdrehungen je Sekunde). Zeigerausschlag ablesen."

Mit einem „Kurbelinduktor" sollen die erforderlichen Isolationsmessungen einer elektrischen Anlage durchgeführt werden.
Grundsätzlich ist nochmals zu erwähnen, daß Isolationsmessungen mit dem Kurbelinduktor nur an spannungsfreien Anlagen erfolgen dürfen!

a) Messen der gesamten Anlage gegen Erde (Erdschlußprüfung).
Bei dieser Messung werden, wie aus Bild 5.20 hervorgeht, alle Verbraucher angeklemmt bzw. eingeschraubt, die Schalter eingelegt, die Plusklemme mit der Erde und die andere Klemme mit einem Leiter der Anlage verbunden. Zeigt das

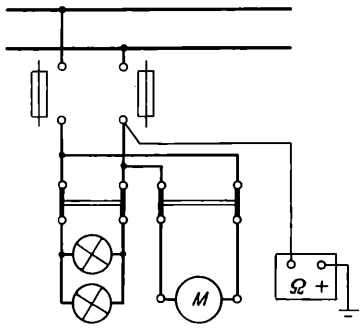


Bild 5.20

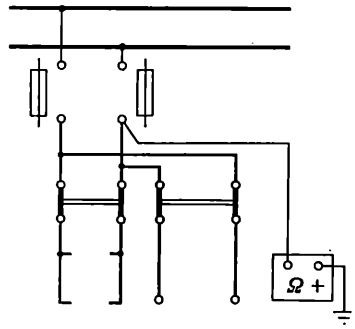


Bild 5.21

Meßinstrument nicht den geforderten Mindestisolationswert an, so braucht nicht die gesamte Anlage unzureichend isoliert zu sein. Der Fehler kann in einzelnen Anlagenteilen liegen und kann durch systematisches Einkreisen schnell gefunden werden (s. Abschn. „Störungssuche in Stromkreisen").

b) Messen eines Leiters gegen Erde (Erdschlußprüfung).
Diese Messung unterscheidet sich von der vorhergehenden dadurch, daß die Verbraucher abgeklemmt bzw. herausgeschraubt sind und nun jeder Leiter einzeln gegen Erde geprüft wird (Bild 5.21).

c) Messen Leiter gegen Leiter (Kurzschlußprüfung).
Die Anlage muß gleichfalls auf ihre Kurzschlußfestigkeit überprüft werden. Alle Verbraucher bleiben weiterhin entfernt und die Schalter geschlossen. Dann erfolgt die Isolationsmessung Leiter gegen Leiter (Bild 5.22).

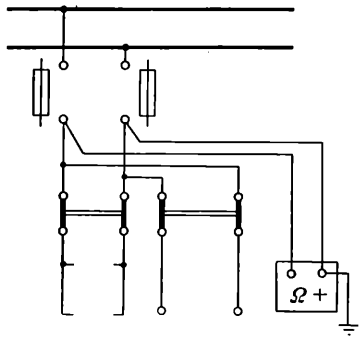


Bild 5.22

Werden Isolationsmessungen an stark kapazitiv belasteten Anlagen vorgenommen, dann ist Vorsicht geboten. Obwohl die Anlage von der Netzspannung getrennt worden ist, halten kapazitive Verbraucher ihre Ladung noch eine Zeitlang aufrecht und können den Messenden beim Berühren der Leiter durch Entladungsstöße gefährden. Darum muß vor dem Messen die Anlage durch Kurzschließen und Erden entladen werden.

5.4.4. *Praktische Übungsaufgaben*

1. Überprüfen Sie mit Hilfe des Kurbelinduktors den Isolationszustand der elektrischen Anlage des Unterrichtskabinetts!
2. Überprüfen Sie mit dem Kurbelinduktor den Isolationszustand und den Stromdurchgang von einigen Verbrauchern!

5.5. Kreuzspulmeßwerk (Quotientenmesser)

5.5.1. *Grundlagen*

Das Kreuzspulmeßwerk wird ebenfalls wie das Spannungsmesserverfahren für direkt ablesbare Widerstandsmessungen verwendet. Aus Bild 5.23 erkennt man, daß es im Aufbau dem des Drehspulmeßwerkes ähnelt. Zwei Drehspulen sind auf Aluminium-Dämpferrahmen zueinander entgegengesetzt gewickelt, auf einer gemeinsamen Achse befestigt und drehen sich um einen Weicheisenkern zwischen exzentrisch ausgedrehten Polen eines Dauermagneten. Der Winkel, den die Spulen miteinander bilden, wird durch die Konstruktion des Meßwerkzeuges bedingt und kann 5···90° betragen. Die Stromzuführung zu den beiden Kreuzspulzweigen erfolgt im Gegensatz zum Drehspulmeßwerk nicht über Richtfedern, sondern über sehr dünne Gold-, Silber- oder Bronzebändchen, deren Richtkraft nur etwa 1% der Einstellkraft des

Meßwerkes beträgt und deshalb unbeachtet bleiben kann. Infolgedessen hat die Kreuzspule und der daran befestigte Zeiger im stromlosen Zustand keine feste Ruhelage.

Die Wirkungsweise des Kreuzspulmeßwerkes wird in den Bildern 5.24 bis 5.26 verdeutlicht. Die Spule *1* — auch als Meßspule bezeichnet, sie entspricht in gewisser Hinsicht der Drehspule des Drehspulmeßwerkes — wird von dem unbekannten

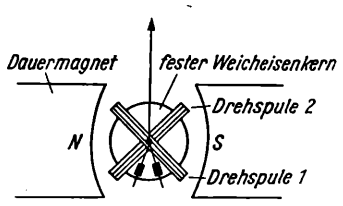


Bild 5.23

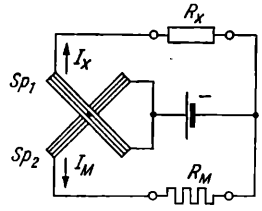


Bild 5.24

Strom I_x durchflossen, dessen Größe von dem zu messenden unbekannten Widerstand R_x abhängig ist. Die Spule *2* — auch Richtspule genannt — besitzt dagegen einen Stromzufluß I_M, der von dem im Instrument fest eingebauten Meßwiderstand R_M bestimmt wird und bei allen Messungen gleichbleibt. Fließen durch beide Spulen die Ströme I_x und I_M, so rufen sie Drehmomente der Spulen hervor. Diese Drehmomente werden durch

die Induktion des Feldes B,
die Stromstärke I und durch
die Windungszahl w der Drehspule bestimmt:

$$M_D \sim B \cdot I \cdot w.$$

Durch den gegenläufigen Wicklungssinn beider Spulen wirken beide Drehmomente entgegengesetzt. Während die Spule *1* analog der Drehspule des Drehspulinstruments bei Stromfluß einen Ausschlag bewirken will, arbeitet das Drehmoment der Spule *2* dem entgegen (Bild 5.25). Hierbei können bei einem homogenen Feld nur

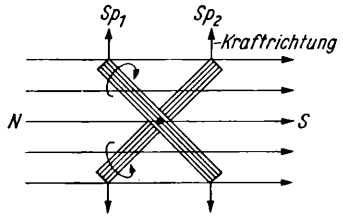


Bild 5.25

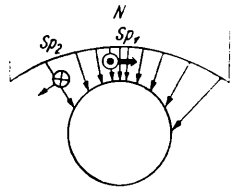


Bild 5.26

zwei Zeigerstellungen auftreten, und zwar Vollausschlag oder gar kein Ausschlag. Wird das Drehmoment der Spule *1* größer als das Gegenmoment der Spule *2*, so entsteht, weil keine Richtkraft den Zeiger zurückhält, Zeigervollausschlag. Sind dagegen beide Drehmomente umgekehrt groß, so hält das Gegendrehmoment die Drehspule zurück, und der Zeiger bleibt in Ruhestellung.

Eine Abhilfe wird deshalb durch ein inhomogenes Feld im Luftspalt getroffen (Bilder 5.26 und 5.23), für das die Polschuhe exzentrisch ausgedreht sind, also ellipsenförmig verlaufen. Aus Bild 5.26 ist ersichtlich, daß die Induktion an beiden Polschuhkanten gering ist und zur Mitte des Polschuhes hin gleichermaßen zunimmt. Werden beide Spulen an eine gleiche Spannung gelegt, so kommt durch beide Spulen ein den Widerständen R_x und R_M entsprechender Stromzufluß zustande. Da sich die Spule *1* im Bereich der größeren Induktion befindet, entwickelt sie auch ein stärkeres Drehmoment als das der Spule *2*. Beide Spulen beginnen nunmehr sich nach rechts zu drehen. Diese Bewegung dauert aber nur so lange an, bis die Spule *1* die größere Felddichte passiert hat und in den Bereich der kleiner werdenden Induktion gelangt; das Drehmoment beginnt abzunehmen. Dementsprechend nimmt aber das Gegenmoment der Spule *2* zu und erreicht einen Wert, der gleich der Spule *1* ist. In diesem Fall entsteht ein Gleichgewicht der Drehmomente, und der Zeiger bekommt eine stabile Lage. Hieraus geht hervor, daß die Spule *2* die Aufgabe hat, bei einer Rechtsbewegung ein wachsendes Gegenmoment so lange zu entwickeln, bis ein Gleichgewichtszustand der Drehmomente eingetreten ist. Betrachtet man die Spule *2* analog zu den Richtfedern des Drehspulmeßwerkes, so kann man sie auch als „elektrische Richtfeder" bezeichnen.

Das Gleichgewicht beider Drehmomente ist dann erreicht, wenn

$$B_1 \cdot I_1 \cdot w_1 = B_2 \cdot I_2 \cdot w_2$$

ist.

Die Schlußfolgerung hieraus ist, daß die Größe des Zeigerausschlages von dem Verhältnis (Quotient) der beiden Spulenströme abhängig ist. Deshalb wird das Kreuzspulmeßwerk auch als *Quotientenmesser* bezeichnet.

Das Verhältnis der Spulenströme wird — vorausgesetzt bei gleicher Batteriespannung — von dem Strom I_x und dieser wiederum von dem Widerstand R_x beeinflußt. Somit stehen Zeigerausschlag und der Widerstand R_x in unmittelbarem Zusammenhang, und eine Eichung der Skale in Widerstandseinheiten wird möglich.

Solche Ohmmeter lassen sich bei Veränderung der Meßwiderstände und der Meßspannung für mehrere Meßbereiche verwenden, und es können insgesamt Widerstände von 0,00 Ω···10 MΩ gemessen werden. Da die Kreuzspulmeßwerke grundsätzlich ebenso wie die Drehspulmeßwerke aufgebaut sind, haben sie praktisch auch die gleiche Genauigkeit (auf das reine Meßwerk bezogen).

Der besondere Vorteil des Kreuzspulmeßwerkes ist, daß theoretisch eine Spannungsunabhängigkeit der Anzeige besteht. Man kann mit einer zulässigen Spannungsschwankung von etwa ± 20% und bei sehr guten Ausführungen von etwa ± 50% rechnen.

5.5.2. *Technische Anwendung*

Durch diesen Vorteil findet das Kreuzspulmeßwerk, außer als *Ohmmeter*, weiterhin vielseitige Verwendung in betrieblichen *Fernmeßeinrichtungen*. Wählt man für R_x einen temperaturabhängigen Widerstand, wie es beim *Widerstandsthermometer* der

Fall ist, dann ist eine Eichung der Skale anstelle von Ohm auch in Celsiusgraden möglich (Bild 5.27).

Ein weiteres Anwendungsbeispiel ist im Bild 5.28 dargestellt. Ein ohmscher Geber (Spannungsteiler) ist mit der Einrichtung einer zu messenden physikalischen Größe verbunden (z. B. Winkel, Weg) und wird mit Änderung der physikalischen Größe ebenfalls in seinem Widerstandswert verändert. Diese Größen können dann vom Kreuzspulmeßwerk angezeigt werden.

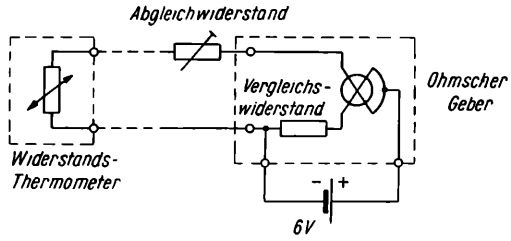


Bild 5.27

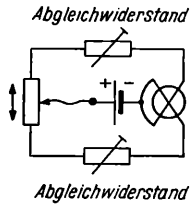


Bild 5.28

5.5.3. *Praktische Übungsaufgaben*

1. Führen Sie mit dem Kreuzspulinstrument Widerstandsmessungen bei abweichenden Batteriespannungen durch, und vergleichen Sie dann die Meßergebnisse auf ihre Genauigkeit!
2. Verbinden Sie ein Widerstansdthermometer mit einem Kreuzspulinstrument entsprechend Bild 5.27! Messen Sie die verschiedenen Temperaturen (Wasserbad), und vergleichen Sie diese mit dem Zeigerausschlag des Instruments!
   Fertigen Sie eine Vergleichstabelle an!
3. Besichtigen Sie anstelle der vorhergehenden Übung eine betriebliche Fernmeßeinrichtung, die als Anzeigeinstrument ein Kreuzspulmeßwerk enthält!
   Skizzieren Sie die Schaltung!
4. Begründen Sie, warum die Anzeige des Kreuzspulmeßwerkes keinen Spannungsschwankungen unterliegt!
5. Warum haben Kreuzspulmeßwerke einen ellipsenförmigen Luftspalt?

5.6. Wheatstone-Meßbrücke

5.6.1. *Grundlagen*

Die Bilder 5.29 und 5.30 zeigen das Prinzip einer Brückenschaltung nach *Wheatstone*. Vier Widerstände sind zu einem geschlossenen Viereck geschaltet, zu dessen beiden Seiten (Brückeneingänge) die Meßspannung und in der Mitte (Brückenausgang) ein Galvanometer angelegt sind.

Wird die Meßspannung an die Brücke gelegt, so beginnt ein Strom zu fließen, der sich entsprechend dem Kirchhoffschen Gesetz im Punkt A in zwei Teilströme aufgliedert, die sich im Punkt B wieder vereinigen. Wenn alle Widerstände unterschiedlich groß sind, dann tritt zwischen den Punkten C—D nochmals eine Stromverzweigung auf, und es entstehen in diesem Leitungsstück Teilströme, die entweder

von C nach D oder von D nach C fließen. Die Richtung dieser Teilströme wird von der Größe der Teilspannungen U_1 und U_3 bzw. U_2 und U_4 bestimmt. Wenn die Widerstände in ihrer Größe miteinander so abgestimmt sind, daß Teilströme in dem Leitungsstück C—D fließen, so ist die Brücke nicht abgestimmt, was am Zeigerausschlag des Meßinstruments zu erkennen ist.

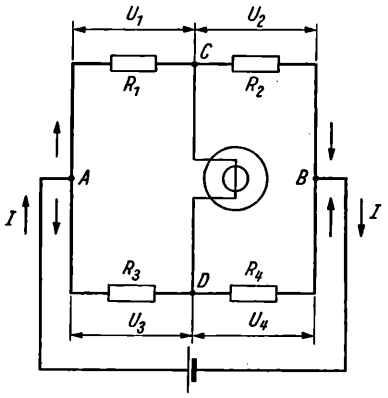


Bild 5.29

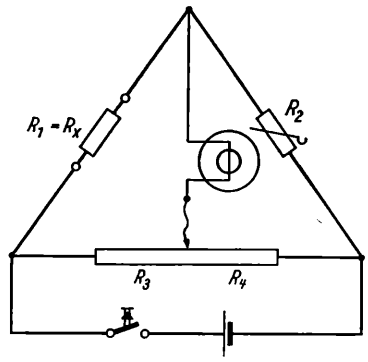


Bild 5.30

Um die Widerstände R_2, R_3 und R_4 mit dem Widerstand R_1 in Einklang zu bringen, werden R_2 durch Stöpselwiderstände und R_3 sowie R_4 durch einen stetig regulierbaren Schleifwiderstand ersetzt (Bild 5.26). Wenn mittels dieser Steller die Widerstände R_2 ,R_3 und R_4 so verändert werden, daß sie mit R_1 alle zueinander in einem gleichen Verhältnis stehen, dann wird der Brückendraht C—D stromlos, und das Meßinstrument zeigt keinen Stromfluß mehr an. Folglich sind

$$I_1 = I_2 \quad \text{und} \quad I_3 = I_4 .$$

Sobald im Brückendraht kein Strom mehr fließt, besteht auch kein Spannungsunterschied zwischen C und D mehr, und die Stromverteilung geht ganz unabhängig vom Brückendraht vor sich. In diesem Fall könnte der Brückendraht mit dem Meßinstrument entfernt werden. Besonders hervorzuheben ist, daß das Galvanometer bei dieser Meßmethode — im Gegensatz zu den anderen — die Aufgabe hat, den stromlosen Zustand anzuzeigen. Man nennt deshalb diese Meßmethode *Nullpunktmethode*. Wird dieser Zustand durch Verändern und Abstimmen der drei Widerstände R_2, R_3 und R_4 erreicht, dann ist die Brücke abgeglichen. In diesem Zustand gelten dann folgende Beziehungen:

$$U_1 = U_3 ,$$

$$U_2 = U_4$$

oder

$$I_1 \cdot R_1 = I_3 \cdot R_3 ,$$

$$I_2 \cdot R_2 = I_4 \cdot R_4 .$$

Weil die Stromzweige im abgeglichenen Zustand im gleichen Verhältnis zueinander stehen, sind

$$\frac{I_1 \cdot R_1}{I_2 \cdot R_2} = \frac{I_3 \cdot R_3}{I_4 \cdot R_4}.$$

Da $I_1 = I_2$ und $I_3 = I_4$ ist und demzufolge gekürzt werden können, gilt die Brückengleichung

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

oder

$$\boxed{R_1 = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4}.}$$

Die Brückenschaltung hat gegenüber allen anderen Widerstandsmeßschaltungen den Vorteil, daß die Meßgenauigkeit nur allein von der Toleranz der Meßwiderstände abhängig ist. Ein Anzeigefehler durch das Meßinstrument ist praktisch ausgeschlossen, weil dieses bei abgeglichener Brücke stromlos ist. Da die Meßwiderstände mit großer Genauigkeit hergestellt werden, stellt das Brückenverfahren die genaueste Meßmethode dar.

Im unabgeglichenen Zustand der Brücke haben jedoch die Höhe der Meßspannung und ein dem Brückenwiderstand angepaßtes Meßinstrument wesentlichen Einfluß auf die Empfindlichkeit der gesamten Meßbrücke. Für ein genaues Abstimmen der Brücke ist es erforderlich, daß größere Widerstände, etwa ab 1000 Ω, mit einer höheren Spannung als der bei kleineren Widerständen gemessen werden. Die Meßspannungen werden bei kleinen Widerständen meist einer 4,5-V-Taschenlampenbatterie und bei großen Widerständen einer Anodenbatterie entnommen. Eine weitere Erhöhung der Meßspannung über 100 V ist aber nicht ratsam, weil sonst die Meßwiderstände überbelastet werden. Als Meßinstrument wird bei einfachen Betriebsmeßgeräten ein Nullgalvanometer mit einer Stromempfindlichkeit von 10^{-6} Ampere/Skalenteil und bei Präzisionsgeräten ein Lichtmarkengalvanometer oder ein Spiegelgalvanometer verwendet.

5.6.2. *Technische Ausführung*

Eine in der Praxis sehr oft verwendete Wheatstone-Meßbrücke des VEB Gerätewerk Karl-Marx-Stadt ist in den Bildern 5.31 und 5.32 abgebildet. Sie ist so aufgebaut, daß die Abgleichung des Widerstandes R_2 durch Stöpselwiderstände und der Widerstände R_3 und R_4 durch einen Schleifdrahtwiderstand herbeigeführt wird. Die Ermittlung des unbekannten Widerstandes erfolgt nach der Brückengleichung und ist bei diesem Gerät und ähnlichen Typen denkbar vereinfacht. Auf dem Deckel dieser Meßbrücke ist die erforderliche Rechnung eingraviert (Bild 5.33). Der Stöpselwiderstand R_2 ist dekadisch unterteilt, dagegen gibt die drehbare Skalenscheibe der Schleifdrahtwiderstände R_3 und R_4 gleich deren Verhältnis zueiander an. Sobald der Zeiger des Meßinstruments die Nullstellung einnimmt, kann der Widerstand R_3 leicht ermittelt werden.

Diese Meßbrücke ist auf Grund der einfachen Handhabung für betriebliche Meßzwecke gut geeignet. Der Meßbereich erstreckt sich von etwa $5 \cdot 10^{-2} \ldots 5 \cdot 10^{4}\ \Omega$. Die Meßgenauigkeit liegt hierbei von $10 \ldots 1000\ \Omega$ etwas unter $\pm$ 1%, und bei kleineren Widerständen bis $5 \cdot 10^{-2}\ \Omega$ verschlechtert sie sich bis $\pm$ 5%, weil bei diesen niedrigen Bereichen der Widerstand der Meßleitungen und der inneren Leitungsverbindungen sich stärker prozentual auf den gesamten Brückenwiderstand aus-

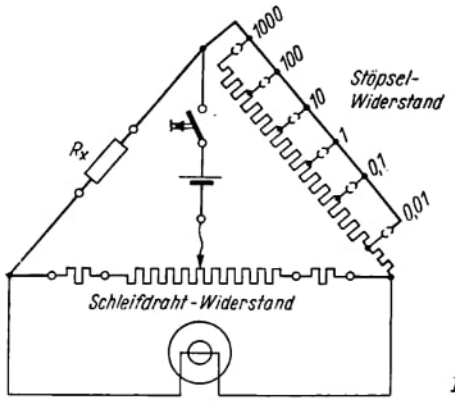


Bild 5.31

wirkt. Auch bei sehr großen Widerständen steigt der Meßfehler auf etwa $\pm$ 5% an. Die Meßgenauigkeit kann aber durch Erhöhen der Meßspannung wieder verbessert und auf $\pm$ 2% gesenkt werden.

Für Präzisionsmessungen werden besonders hochwertige Meßbrücken gebaut. Bei diesen bildet die Brücke mit dem Galvanometer und der Spannungsquelle keine Einheit mehr. Je nach Bedarf können entsprechende Batterien und Meßinstrumente,

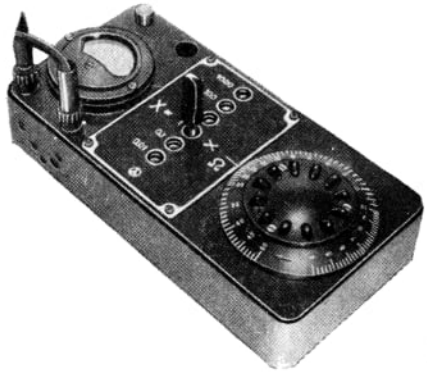


Bild 5.32

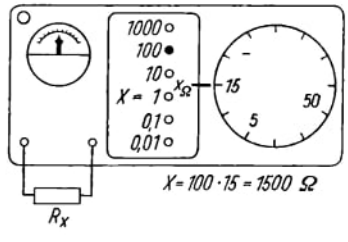


Bild 5.33

wie zum Beispiel ein Lichtmarkengalvanometer, an die vorgesehenen Klemmen angeschlossen werden. Solche Präzisionsmeßbrücken haben bei einer Meßgenauigkeit von $\pm$ 0,06% einen Meßbereich von $1 - 10^{-9}\ \Omega$.

Die Wheatstone-Meßbrücken haben den Nachteil, daß die Meßunsicherheit beim Messen kleinster Widerstände zunimmt. Ihnen ist auf Grund des störenden Ein-

flusses des Widerstandes der inneren Leitungsverbindung eine Grenze gegeben. Für die Messung kleinster Widerstände gibt es deshalb Meßbrücken, deren Schaltung einen Ausgleich des inneren Leitungswiderstandes herstellt; es sind die Thomsonschen Meßbrücken.

5.6.3. *Messungsbeispiele*

5.6.3.1. *Messen eines ohmschen Festwiderstandes*

Die Handhabung der Wheatstone-Meßbrücke von Bild 5.31 zum Messen eines ohmschen Festwiderstandes ist einfach. Der unbekannte Widerstand wird zunächst an die Meßklemme angeschlossen und der mittlere Meßbereichsfaktor 10 gestöpselt. Nach Drücken der Taste erfolgt ein Zeigerausschlag. Geht dieser nach links, so wird die Skalenscheibe nach rechts und im entgegengesetzten Fall nach links gedreht. Wird die Nullstellung des Zeigers dann noch nicht erreicht, muß ein anderer Meßbereich gewählt werden. Am Ende der Messung wird dann der Widerstandswert entsprechend Bild 5.33 ermittelt.

5.6.3.2. *Messen eines Erdungswiderstandes*

Die Messung von Elektrolytwiderständen, wie zum Beispiel Erdreich und Flüssigkeiten, können nicht mit gleichstromgespeisten Wheatstone-Meßbrücken durchgeführt werden, weil Polarisationserscheinungen das Meßergebnis verfälschen würden. Die Messung kann darum nur mit Wechselstrom vorgenommen werden, und das Nullgalvanometer muß dann durch einen Kopfhörer ersetzt werden. Die Brücke ist dann abgeglichen, sobald im Kopfhörer ein Tonminimum erreicht wird. (Der Ton kann nicht vollständig verschwinden, weil noch Oberwellen vorhanden sind.) Verschiedene Kleinmeßbrücken sind zur Erzeugung der Wechselspannung mit einem Zerhacker (800···1000 Hz) ausgerüstet, der an der Geräteseite angeschlossen wird. Ebenfalls sind Steckbuchsen für den Kopfhörer vorgesehen.

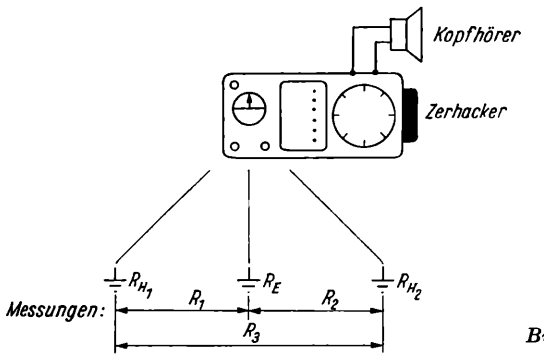


Bild 5.34

Zur Erdungsmessung mit der Wheatstone-Meßbrücke — sie wird aber meistens mit speziellen Erdungsmeßgeräten durchgeführt — werden zwei Hilfserder R_{H_1} und R_{H_2} benötigt, deren Widerstände zur genauen Messung in der gleichen Größenordnung wie R_E liegen und voneinander in 20 m Abstand stehen sollten. Im Bild 5.34 ist das Meßverfahren dargestellt.

Die Ermittlung des Erdungswiderstandes R_E geschieht mit drei Messungen. Diese sind

$$R_1 = R_E + R_{H1},$$
$$R_2 = R_E + R_{H2},$$
$$R_3 = R_{H1} + R_{H2}.$$

Die Messungen R_1 und R_2 enthalten jedesmal den unbekannten Erdungswiderstand R_E, der noch mit den Widerständen R_{H1} bzw. R_{H2} behaftet ist. Darum müssen die Widerstände R_{H1} bzw. R_{H2} vom gesamten Meßergebnis abgezogen werden. Damit die Größen beider Hilfserder bekannt werden, wird die Messung R_3 durchgeführt. Diese werden nun von den ersten beiden Messungen abgezogen. Durch Errechnen des Mittelwertes wird R_E bekannt:

$$R_E = \frac{R_1 + R_2 - R_3}{2}.$$

5.6.4. *Praktische Übungsaufgaben*

1. Ermitteln Sie mit der Wheatstone-Meßbrücke verschiedene unbekannte Widerstände, und üben Sie sich dabei im Gebrauch der Meßbrücke!
2. Führen Sie Messungen mit zwei unterschiedlich großen Meßspannungen durch, und vergleichen Sie die Empfindlichkeit der Brücke bei beiden Meßspannungen!
3. Messen Sie den Erdungswiderstand der Blitzschutzerde, des Nulleiters, des Schutzleiters oder des Hilfserders der elektrischen Anlagen der Ausbildungsstätte, und schätzen Sie ihre Funktionstüchtigkeit ein! Die gesetzlich vorgeschriebenen Erdungswiderstände sind in folgender Literatur angegeben: „Blitzschutz", VEB Verlag Technik Berlin, VDE 0100/11.58 §§ 10 N, 11 N, 12 N. (Messung nicht im stromverseuchten Erdreich durchführen!)
4. Üben Sie bei diesen Messungen mittels Kopfhörers das Hörvermögen zur Unterscheidung des Tonminimums!
5. Es ist die Widerstands-Temperatur-Kennlinie eines Widerstandsthermometers bzw. eines Thermistors (Typ TNM des VEB Keramische Werke Hermsdorf) zu ermitteln, tabellarisch und grafisch auszuwerten. Die Auswertung soll weiterhin eine physikalische Begründung zum Verlauf der Kennlinie beinhalten.
6. Zur Temperatureinstellung ist ein Flüssigkeitsbad, das die Meßkörper auf verschiedene Temperaturgrade erwärmt, zu verwenden. Mit der Wheatstone-Meßbrücke sind dann entsprechend der gewählten Meßpunkte die Widerstände der Meßkörper zu messen. Als Flüssigkeitsbad nimmt man bei dem TNM-Meßkörper Isolieröl; bei Verwendung von Wasser muß der Thermistor in ein Schutzrohr eingelegt werden, um Meßfehler zu vermeiden.

6. MESSEN DER ELEKTRISCHEN LEISTUNG IM GLEICH- UND WECHSELSTROMKREIS

6.1. Grundlagen

Die allgemeine Grundlage der elektrischen Leistungsmessung bildet die Leistungsformel $P = U \cdot I$, die erkennen läßt, daß zur Ermittlung der Leistung die beiden Größen Spannung und Stromstärke des Verbrauchers gemessen werden müssen. Hierbei kann man nach zwei Verfahren vorgehen: Entweder wird die Leistung nach Messung von U und I *berechnet*, oder beide Meßwerke werden baulich so vereinigt, daß sie gleichzeitig auf ein bewegliches Organ wirken und ein *unmittelbares Ablesen* der Leistung gestatten.

6.2. Ermitteln der Leistung durch Strom- und Spannungsmessung

Dieses Verfahren findet geringe Anwendung und wird nur überall dort angewendet, wo in größeren Zeitabständen die Leistungen ermittelt werden müssen. Nachteil dieses Verfahrens ist, daß bei schnellen Belastungsschwankungen eine ständige und sofortige Leistungskontrolle unmöglich wird, weil bei jeder Messung die Leistung erst errechnet werden muß.

Beim Einschalten der Meßinstrumente in den Stromkreis bestehen zwei Möglichkeiten, die in den Bildern 6.1 und 6.2 dargestellt sind und auch schon bei der Widerstandsermittlung in Anwendung gelangten.

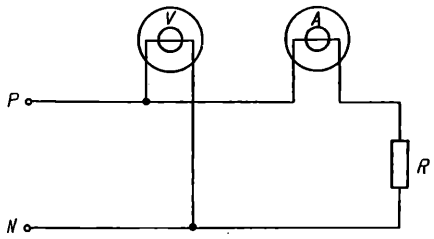


Bild 6.1

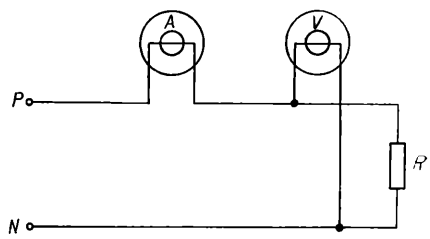


Bild 6.2

Aus der Schaltung im Bild 6.1 wird ersichtlich, daß der Spannungsmesser eine um den Spannungsabfall des Strommessers größere Spannung als die des Verbrauchers anzeigt, während bei der Schaltung im Bild 6.2 der Strommesser einen größeren Strom als den des Verbrauchers mißt. Aus beiden Schaltungen wird erkennbar, daß

die errechnete Leistung in jedem Fall größer als die Verbraucherleistung wird. Dieser Fehler muß, wenn es sich um eine genaue Leistungsermittlung handeln soll, in die Leistungsberechnung einbezogen werden.
In der betrieblichen Praxis ist eine Korrekturrechnung umständlich und auch bei zu ermittelnden runden Werten nicht notwendig. Um jedoch die Meßfehler auf ein Minimum zu halten, darf bei Wahl der stromrichtigen Schaltung der Strommesser nur mit einem kleinen Eigenwiderstand behaftet sein, und zwar so, daß $R_{iA} \ll R$ ist. Ähnlich verhält es sich bei der Anwendung der spannungsrichtigen Schaltung, jedoch mit dem Unterschied, daß der Eigenwiderstand des Spannungsmessers sehr groß sein muß, und zwar $R_{iV} \gg R$. Als Faustregel kann man sich merken, daß bei Stromstärken über 1 A die spannungsrichtige Schaltung vorzuziehen ist.

6.3. Messen der Leistung mit dem Leistungsmesser

Die vorteilhafteste Methode und vor allen Dingen für Messungen im induktiv belasteten Wechselstromkreis ist die Anwendung des Leistungsmessers, der unmittelbar ein Ablesen der Werte gestattet. Für dieses Instrument hat sich besonders das elektrodynamische Meßwerk bewährt; es hat nach VDE 0410 stromdurchflossene feststehende und elektrodynamisch abgelenkte Spulen und unterscheidet sich in zwei Ausführungen, und zwar die eisenlose und die eisengeschlossene Ausführung.

6.3.1. *Die eisenlose Ausführung*

Ersetzt man den Dauermagneten eines Drehspulmeßwerkes durch eine feststehende Spule, so entsteht im Prinzip das elektrodynamische Meßwerk. Aus Bild 6.3 ist zu ersehen, daß sich im eisenlosen magnetischen Feld der feststehenden, aus dicken

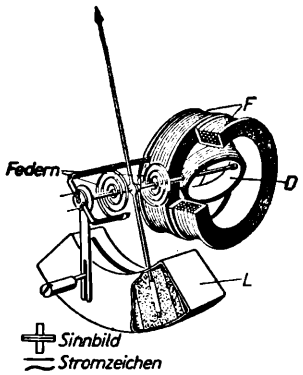


Bild 6.3

Drähten gewickelten Stromspule eine dünndrähtige Spannungsspule dreht. Diese ist frei tragend oder auf einen Isolierstoffrahmen gewickelt. Das Aluminium-Dämpferrähmchen des Drehspulmeßwerkes muß bei diesem Meßwerk entfallen, weil bei Anschluß an eine Wechselspannung ein Wechselfeld entsteht, das in den

Rahmen einen Kurzschlußstrom induziert. Das Pendeln des Zeigers muß deshalb durch eine Luftdämpfung verhindert werden. Die Stromzuführung der Drehspule erfolgt über zwei Spielfedern, die gleichzeitig das Gegenmoment zur Drehspule bewirken.

Die Wirkungsweise des elektrodynamischen Meßwerkes ist der des Drehspulmeßwerkes ähnlich. Fließt ein Strom durch beide Spulen, so entstehen zwei Magnetfelder, die das Bestreben haben, sich in eine Richtung zu bringen (Bild 6.4). Die

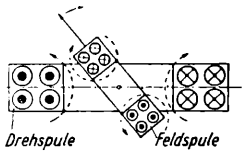


Bild 6.4

Drehspule entwickelt ein Drehmoment, das eine Drehbewegung so weit hervorrufen will, bis sich die Windungsebenen beider Spulen decken. Diesem wirkt aber das wachsende Gegenmoment der Spiralfedern so lange entgegen, bis ein Gleichgewichtszustand beider Drehmomente erreicht ist. Ob nun beide Spulen an eine Gleich- oder Wechselspannung angeschlossen sind, ist bedeutungslos, weil ständig die Polarität beider Magnetfelder zueinander gleichbleibt und deshalb immer eine Abstoßung der Drehspule hervorruft.

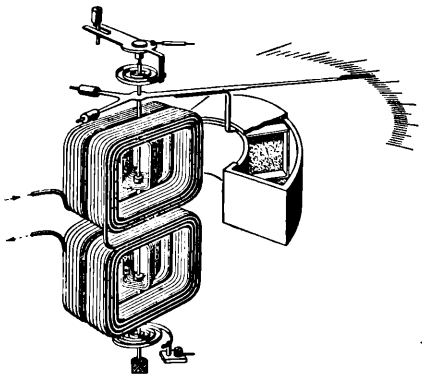


Bild 6.5

Der Vorteil des eisenlosen Meßwerkes ist, daß durch das Fehlen von Eisen eine frequenzunabhängige Anzeige und hohe Meßgenauigkeit erreicht werden. Bei guter mechanischer Ausführung kann eine Güteklasse 0,2 erreicht werden, wodurch es als Laborinstrument gut geeignet ist. Durch das Fehlen des kraftlinienbündelnden Eisens entwickelt das Meßwerk aber nur ein geringes Drehmoment und hat dadurch einen hohen Eigenverbrauch. Auch kann das eisenlose Meßfeld durch die Einstreuung von Fremdfeldern, wie Erdmagnetismus, Starkstromfelder, stark beeinflußt werden. Eisenteile und stromführende Leitungen sind darum bei Messungen fernzuhalten; Präzisionsinstrumente müssen sogar in magnetische Nord-Süd-Richtung ausgerichtet werden. Um die Einwirkung auf ein Mindestmaß zu senken, können diese Meßwerke eisenabgestimmt werden.

Eine Kompensierung der einwirkenden Fremdfelder kann aber auch durch eine Astasierung erzielt werden. Ein solches astatisches Meßwerk ist im Bild 6.5 dargestellt. Das Meßwerk besteht aus zwei übereinander angeordneten Systemen, die beide auf die Achse wirken, jedoch einander entgegengesetzt geschaltet sind. Wirkt ein Fremdfeld auf das Meßwerk ein, so verstärkt es das Magnetfeld des einen Systems, schwächt aber in gleicher Stärke das andere. Somit wird das Fremdfeld auf die Anzeige wirkungslos.

6.3.2. *Die eisengeschlossene Ausführung*

Diese Konstruktion unterscheidet sich von der oben beschriebenen dadurch, daß die feststehende Stromspule in einem Ring von lamellierten Eisenblechen gebettet ist, während die Spannungsspule sich um einen zylindrischen lamelliert Eisenkern dreht. Die magnetischen Kraftlinien verlaufen größtenteils durch Eisen, wodurch der magnetische Widerstand stark verringert wird. Als einziger Luftweg besteht für die Feldlinien nur der kleine Luftspalt zwischen beiden Eisenkörpern (Bild 6.6). Durch die größere Dichte des Nutzflusses im Luftspalt wird das Drehmoment beträchtlich verstärkt, und mit dem gleichen Strom gegenüber der eisenlosen Ausführung kann ein höheres Drehmoment erreicht werden. Der Eigenverbrauch des eisengeschlossenen Meßwerkes sinkt demzufolge bedeutend, und die Einstellsicherheit verbessert sich. Auch der Einfluß von Fremdfeldern auf das Meßergebnis wird gering. Die Genauigkeit der Anzeige leidet allerdings durch das Eisen im Kraftfeld der Spulen. Aus dem gleichen Grunde ist die Abhängigkeit von der Frequenz des zu messenden Wechselstromes erheblich. Die Skalenteilung ist bei diesem Meßwerk trotz dieser Einflüsse immer noch fast linear.

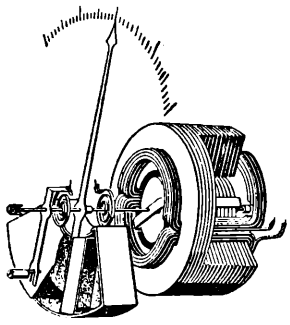


Bild 6.6

Die Vorteile und Nachteile des eisengeschlossenen Leistungsmessers bestimmen auch seine Einsetzbarkeit. Hauptsächlich findet er seine Anwendung als Betriebsgerät für Gleichstrom- und Wechselstromanlagen und wird in diesen als anzeigendes oder auf Grund des kräftigen Drehmoments als schreibendes Gerät verwendet. Entsprechend diesem Verwendungszweck kann der etwas größere Meßfehler in Kauf genommen werden. Trotzdem gibt es auch präzise Ausführungen mit der Güteklasse 0,5 bei einer Grenzfrequenz von 5000 Hz.

6.4. Messen der Leistung im Gleich- und Wechselstromkreis

Beide Spulen werden entsprechend ihrer Aufgabe in den jeweiligen Pfad gelegt (Bild 6.7). Während die Stromspule ein Magnetfeld entwickelt, das dem Stromfluß proportional ist, entwickelt die Spannungsspule ebenfalls ein Magnetfeld, das von der Größe der Spannung und dem dadurch bedingten Spulenstrom abhängig ist. Ändern sich die Strom- und Spannungswerte, so ändert sich das Drehmoment der Drehspule und damit die Anzeige des Zeigers. Durch das Zusammenwirken von

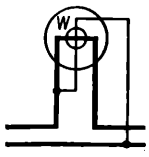


Bild 6.7

Strom und Spannung im Meßwerk wird dieses befähigt, die Multiplikation Spannung mal Strom auszuführen, und gestattet somit eine unmittelbare Leistungsanzeige.

Diese Betrachtungen gelten für Gleichstromkreise und induktionsfreie Wechselstromkreise, in denen der Leistungsmesser $P = U \cdot I$ mißt. Anders verhält sich der Leistungsmesser bei Messungen in induktiv bzw. kapazitiv belasteten Wechselstromkreisen. In diesen eilt der Strom I der Spannung U zeitlich vor oder nach. Es wirkt jetzt nicht mehr der gesamte Strom I auf das Drehmoment, sondern nur noch die Komponente $I \cdot \cos\varphi$, die mit der Spannung U in Phase liegt. Diese zeitlich zusammenfallenden Größen U und $I \cdot \cos\varphi$ bestimmen somit die Leistungsanzeige.

Der Leistungsmesser mißt immer nur die Wirkleistung $P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$.

Wächst die induktive Belastung so hoch an, daß z. B. der Phasenverschiebungswinkel $\varphi = 90°$ wird, dann schlägt der Zeiger durch die vorhandene reine Blindleistung nicht mehr aus.

Die Anschaltung beider Spulen in Gleichstromkreisen kann nach den Schaltungen der Bilder 6.8 und 6.9 erfolgen.

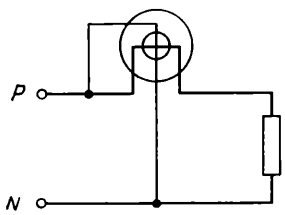


Bild 6.8

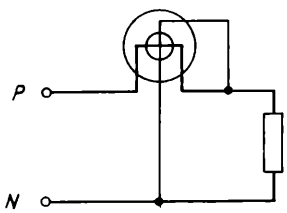


Bild 6.9

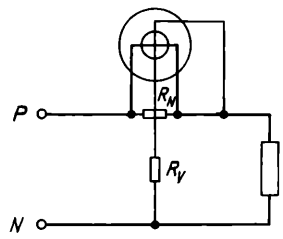


Bild 6.10

Für diese Zwecke sind die Anschlüsse beider Spulen getrennt und außen auf dem Klemmbrett vorhanden, und die Spulen können entsprechend dem Widerstand der Verbraucher geschaltet werden.

Bei Wechselstrommessungen ist die Anschaltung des Spannungspfades unproblematisch, weil mit jedem Stromwechsel der Strom sich einmal vor bzw. hinter der Spannungsspule verzweigt.

Sollen Meßbereicherweiterungen für Gleichstrommessungen vorgenommen werden, so gelten die in der bekannten Weise bestehenden Schaltungen, wie sie im Bild 6.10 dargestellt sind. Zu beachten ist dabei, daß der Vorwiderstand stets zwischen Spule und dem nicht vom Strommeßpfad erfaßten Leiter geschaltet wird, um noch größere Spannungsunterschiede zwischen beiden Spulen zu vermeiden.

Die Meßbereicherweiterung für Wechselstrom wird 1. durch Umschaltungen der Spule in zwei oder drei Stufen durch Parallel- und Reihenschaltung und 2. durch Einschalten von Strom- und Spannungswandler vorgenommen (Bild 6.11).

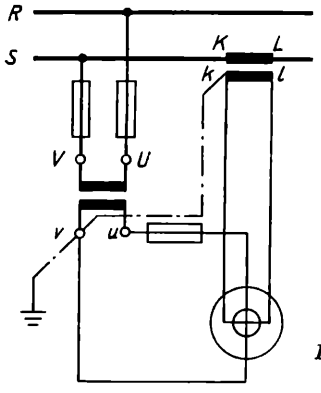
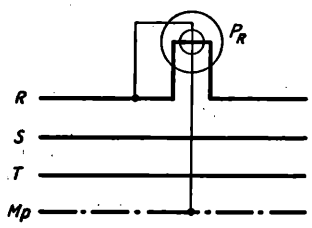
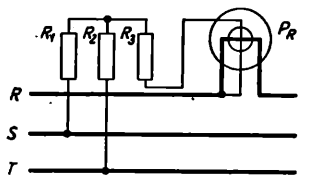
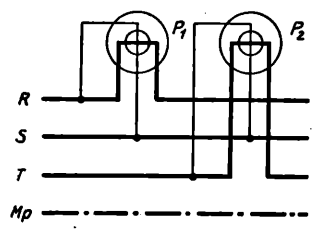


Bild 6.11

Beim praktischen Umgang mit dem Leistungsmesser muß besonders beachtet werden, daß keine Überlastung des Meßwerkes eintritt. Es sind deshalb vorher der Meßstrom und die Meßspannung des Verbrauchers (Leistungsschild) mit den für das Meßinstrument festgelegten Werten zu vergleichen. Auch ist bei stark induktiv belasteten Netzen Vorsicht geboten. Hier darf auf keinen Fall der Zeigerausschlag als ein Maß der fließenden Stromstärke betrachtet werden. Wird z. B. mit einem Betriebsmeßgerät bei einer Spannung von 220 V eine Leistungsaufnahme eines induktionsfreien Verbrauchers, z. B. eines Heizofens, eine Stromstärke von 5 A gemessen, so zeigt der Zeiger 1100 W an. Würde jetzt statt des Heizofens ein induktiver Verbraucher mit gleichen Daten gemessen werden, der aber einen Leistungsfaktor von $\cos \varphi = 0{,}5$ hat, so zeigte der Zeiger nur noch $P = 220 \cdot 5 \cdot 0{,}5 = 550$ W an. Auch bei diesem Verbraucher ist das Instrument voll belastet, obwohl es einen geringeren Ausschlag anzeigt.

Die Leistungsmessungen in Drehstromnetzen ist ein beruflich spezielles Gebiet der Berufe des Starkstromleitungs- und Anlagenmonteurs sowie des Elektromaschinenbauers. Darum werden diese Messungen in der speziellen Facharbeiterausbildung in ausführlicher Art behandelt. Für alle anderen Elektroberufe, die in der speziellen Ausbildung kaum mit diesen Problemen in Berührung kommen, seien zur Vervollständigung der Leistungsmessung die Verfahren bei Drehstromnetzen in Tafel 6.1 dargeboten.

Tafel 6.1. Leistungsmesserschaltungen in Drehstromanlagen

Schaltung	Anwendung
	Sie wird in Vierleiternetzen angewandt. Bei symmetrischer Belastung genügt die Messung eines Stranges. $P = P_T \cdot 3$ Bei unsymmetrischer Belastung muß jeder Strang einzeln gemessen werden. $P = P_R + P_S + P_T$
	Sie wird im Dreileiternetz angewandt. Der Sternpunkt wird künstlich mit Nullpunktwiderständen geschaffen. Der Widerstand R_3 muß kleiner als R_1 bzw. R_2 sein, und zwar um den Betrag des Widerstandes der Spannungsspule. $R_3 + R_l = R_1 = R_2$ Bei symmetrischer Belastung genügt die Messung eines Stranges, bei unsymmetrischer Belastung müssen alle drei Stränge gemessen werden. $P = P_R + P_S + P_T$
	Gebräuchlichste Methode der Leistungsmessung in symmetrisch und unsymmetrisch belasteten Dreileiternetzen. $P = P_1 + P_2$

6.5. Praktische Übungsaufgaben

1. Messen Sie mit dem Leistungsmesser verschiedene Verbraucher bei induktiver und induktionsfreier Belastung, und überprüfen Sie die Werte durch eine Strom- und Spannungsmessung!
2. Studieren Sie die VDE-Vorschrift 0410 in bezug auf ihre Aussage über Leistungsmesser!

7. MESSEN DER ELEKTRISCHEN ARBEIT

7.1. Grundlagen

Elektrizitätszähler sind Meßeinrichtungen, die den Verbrauch von elektrischer Energie messen. Hauptsächlichste Anwendung finden sie in öffentlichen Einrichtungen für die entgeltliche Abgabe von Elektrizität. Bedingt durch den Verwendungszweck werden an die meßtechnischen Eigenschaften der Zähler, wie Meßgenauigkeit, zulässige Eichfehler und Betriebssicherheit, besondere Anforderungen gestellt. Große Meßfehler bedeuten Gelder, die der Käufer zuviel oder zuwenig bezahlt. Um dieses zu vermeiden, ist eine amtliche Kontrolle notwendig, die auch festlegt, daß nur beglaubigte und amtlich geprüfte Zähler in elektrischen Anlagen einzusetzen sind. Eingriffe in den Zähler (Reparatur, Eichung) dürfen deshalb nur von befugten Fachkräften vorgenommen werden. Zur Verhütung der unrechtmäßigen Entnahme von Elektroenergie an den Klemmen des Zählers werden diese nach Einbau in die elektrische Anlage plombiert.
Entsprechend den bestehenden Netzspannungen und Netzsystemen, gibt es Zähler mit verschiedenen Meßwerken. Nach der Art der zu zählenden Größe unterscheidet man:

Wattstundenzähler mit kWh-Zählwerk,
Amperestundenzähler mit kWh-Zählwerk
(die unter Voraussetzung einer bestimmten Meßspannung zählen) und
Elektrizitätsmengenzähler als Amperestundenzähler mit Ah-Zählwerk.

Für diese Größen sind die Meßwerke unterschiedlich ausgebildet, und zwar als

Motorzähler — Magnetmotorzähler, elektrodynamische Zähler, Induktionszähler und
Elektrolytzähler.

Weiterhin gibt es Sonderbauarten, wie Zähler mit Rücklaufhemmung, Maximumzähler, Münzzähler und Pendelzähler.
Wegen der großen Verbreitung der Wechselstromnetze soll im folgenden nur der Einphasen-Induktionszähler behandelt werden.

7.2. Einphasen-Induktionszähler

Der Induktionszähler besteht aus einem Induktionsmotor, dessen Anker als Aluminiumscheibe ausgebildet ist, einem Bremsmagneten und einem Zählwerk (Bild 7.1).
Ein Aluminiumscheibenanker dreht sich zwischen den Polen von zwei Elektromagneten, die das Triebsystem des Zählers bilden. Der Elektromagnet E_1 enthält die Spannungsspule, die aus vielen Windungen dünnen Drahtes gewickelt ist.

Auf dem Elektromagneten E_2 ist die Stromspule untergebracht, die in den Hauptstromkreis geschaltet ist und darum nur wenige Windungen starken Drahtes besitzt. Beide Elektromagneten werden entsprechend ihrer Funktion als *Spannungseisen* bzw. als *Stromeisen* bezeichnet.

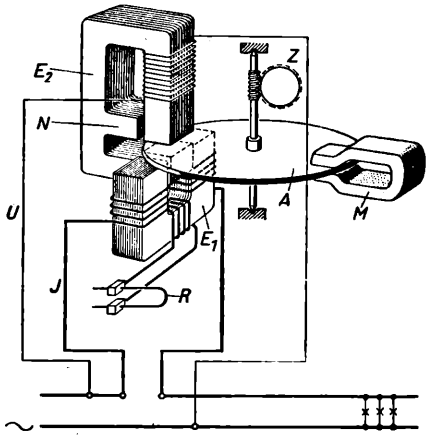


Bild 7.1

Werden die Spulen der beiden Elektromagneten von einem Wechselstrom durchflossen, so treten infolge des wechselnden Feldes der Ankerscheibe Induktionsströme auf. Durch die Form und Anordnung der beiden Magneten sowie durch den Einbau eines magnetischen Nebenschlusses läßt sich eine Phasenverschiebung des Triebflusses Φ_2 des Spannungseisens und des Triebflusses Φ_1 des Stromeisens herbeiführen. Beide verschobenen Felder können dann ein Drehmoment auf die Ankerscheibe ausüben. Der Triebfluß Φ_1 muß aber, da er ein Wirkleistungszähler ist, bei $\cos \varphi = 1$ genau um 90° hinter Φ_2 zurückbleiben. Die Einstellung der Phasenverschiebung wird, wie im Bild 7.1 zu erkennen ist, durch eine Sekundärwicklung des Stromeisens bewirkt. Der Sekundärwirkstrom kann mit der Widerstandsschleife (Nutzlast) sehr fein geregelt werden, so daß er den Primärstromfluß belastet und ihn zur Spannung genau 90° verschiebt. Eine weitere Methode des Phasenabgleiches ist das Einschieben eines Kupferbleches in den Luftspalt des magnetischen Nebenschlusses.

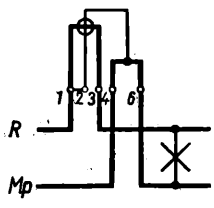


Bild 7.2

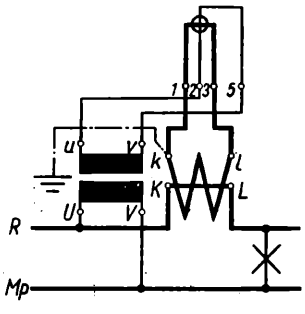


Bild 7.3

Induktionszähler haben den Vorteil, daß sie sich mit großer Meßgenauigkeit (Fehler unter 1%) billig herstellen lassen, und zwar deshalb, weil der Anker sehr leicht ausgebildet werden kann und keine belastenden Teile, wie Kollektor und Spulen, enthält. Auch der Eigenverbrauch ist gering.
Die Einschaltung des Zählers erfolgt entsprechend den Bildern 7.2 und 7.3.

7.3. Leistungsschild

Jeder Zähler muß ein Leistungsschild tragen, anderenfalls können die Aufschriften auch auf einem Teil des Zählwerkdeckblattes angebracht sein.

Folgende Angaben müssen enthalten sein:

Ableseeinheit (Kilowattstunde),
Zählerart: Gleichstromzähler, Wechselstromzähler oder Drehstromzähler,
Hersteller- oder Firmenzeichen,
Zulassungsbezeichnung,
Bauformbezeichnung,
Fabriknummer,
Nennspannung,
Nennstrom,
Nennfrequenz,
Zählerkonstante,
Schaltungsnummer,
Herstellungsjahr.

7.4. Überprüfung der Zählerfehler

Manchmal steht der Praktiker vor der Aufgabe, eine Überprüfung der Zählerfehler durchzuführen. Der Fehler F des Zählers wird in % der Sollangabe S ausgedrückt und ergibt sich aus:

$$F = \frac{A - S}{S} \cdot 100\%.$$

Hierbei ist A die Ist-Angabe des Zählers.
Die zulässigen Fehlergrenzen der Zähler zeigen die Tafeln 7.1 und 7.2.

Tafel 7.1. Fehlergrenzen für Einphasenwechselstrom- und Drehstromzähler bei gleichseitiger Belastung

Belastung in % des Nennstroms	Zulässiger Angabefehler in % des Soll-Wertes der Angabe bei	
	$\cos\varphi = 1$	$\cos\varphi = 0{,}5$
5	±2,5	—
10	±2,0	—
20	±2,0	±2,0
100	±2,0	±2,0
Grenzstrom	±2,5	±3,0

Tafel 7.2. Fehlergrenzen für Zweileiter-Gleichstromzähler und Dreileiter-Gleichstromzähler bei gleichseitiger Belastung

Belastung in % des Nennstroms	Zulässiger Angabefehler in % des Soll-Wertes der Angabe bei
5	±5,0
20	±3,5
50	±2,5
100	±2,5
Grenzstrom	±3,0

Bei der Überprüfung geht man zweckmäßig wie folgt vor: Der Zähler wird verschieden belastet, und Strom und Spannung werden bei der jeweiligen Belastung gemessen. Zur genauen Ermittlung ist ein Präzisionsinstrument mit der Klasse 0,2 zu verwenden. Um die Meßfehler weiterhin zu verringern, ist die Spannung vor dem Zähler zu messen. Die vollen Ankerumdrehungen werden einige Minuten lang gezählt und die Zeit mit der Stoppuhr in Sekunden gemessen. Gleichzeitig werden in gleichmäßigen Zeitabständen (etwa 10···20 s) die Spannung und die Stromstärke abgelesen (2. Beobachter), der arithmetische Mittelwert der Ablesungen bestimmt und daraus die Leistung in kW berechnet.
Der Soll-Wert S ist auf dem Leistungsschild als Zahl der Ankerumdrehungen je kWh angegeben. Weiterhin sind die gezählten Ankerumdrehungen z in der Zeit t bei der Leistung P bekannt. Es beträgt der

$$\text{Ist-Wert } A = \frac{z}{t \cdot P} \qquad \text{und der} \qquad \text{Fehler } F = \frac{A - S}{S} \cdot 100\%.$$

Beispiel:

Gegeben:

$$z = 102 \text{ Umdrehungen},$$
$$t = 136 \text{ s},$$
$$U = 118 \text{ V},$$
$$T = 6{,}3 \text{ A},$$
$$S = 3750 \frac{1}{\text{kWh}}.$$

Lösung:

$$A = \frac{z}{t \cdot P} = \frac{102}{136 \text{ s} \cdot 118 \text{ V} \cdot 6{,}3 \text{ A}} = 3630 \frac{1}{\text{kWh}},$$

$$F = \frac{A - S}{S} \cdot 100\% = \frac{3630 \frac{1}{\text{kWh}} - 3750 \frac{1}{\text{kWh}}}{3750 \frac{1}{\text{kWh}}} \cdot 100\% = -3\%.$$

Ein Vergleich mit der Tafel 7.1 zeigt, daß die Fehlergrenze überschritten wird.

7.5. Leistungsermittlung durch Zähler

Mit dem Zähler ist auch eine Leistungsermittlung der angeschlossenen Verbraucher möglich, weil die Zählerkonstante bekannt ist und angibt, wiviel Ankerumdrehungen einer Kilowattstunde entsprechen (Leistungsschild).

Bei der Messung wird folgendermaßen vorgegangen:

Der zu messende Verbraucher wird zunächst eingeschaltet, und man zählt dann die Ankerumdrehungen in einer bestimmten Zeit in Sekunden. Je mehr Ankerumdrehungen gezählt werden, um so genauer wird die Messung. Als Zeitmesser kann eine Stoppuhr oder eine übliche Taschenuhr mit Sekundenzeiger verwendet werden. Danach wird die Leistung errechnet:

$$P = \frac{n \cdot 3600}{t \cdot c_z} \text{ in kW};$$

P Leistung in kW,

n Zahl der abgelesenen Ankerumdrehungen,

t Zeit in Sekunden bei n Umdrehungen,

c_z Zählerkonstante in Umdrehungen je kWh $\left(\frac{1}{\text{kWh}}\right)$.

Beispiel:

Gegeben:

$$c_z = 1200 \text{ U } \frac{1}{\text{kWh}},$$
$$n = 120 \text{ U},$$
$$t = 180 \text{ s}.$$

Lösung:

$$P = \frac{n \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{t \cdot c_z} = \frac{120 \text{ U} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{180 \text{ s} \cdot 1200 \frac{1}{\text{kWh}}} = \underline{\underline{2 \text{ kWh}}}.$$

7.6. Praktische Übungsaufgaben

1. Schalten Sie einen Einphasen-Induktionszähler mit Sicherungselementen in einen Stromkreis!
2. Ermitteln Sie mit einem Zähler die Leistung eines Verbrauchers, und überprüfen Sie diese Ermittlung mit einer Leistungsmessung!
3. Überprüfen Sie einen Einphasen-Induktionszähler auf seine zulässige Fehlergrenze!

8. SCHALTEN; PRÜFEN UND MESSEN VON WECHSELSTROMWIDERSTÄNDEN

8.1. Grundlagen

Wechselstromwiderstände sind Spulen und Kondensatoren. Ihr Widerstandswert wird als Blindwiderstand bezeichnet. Ursache der Wechselstromwiderstände sind die Induktivität und die Kapazität. Dementsprechend gibt es induktive und kapazitive Blindwiderstände.

8.1.1. *Unterschied der Wechselstromwiderstände zu den ohmschen Widerständen*

Legt man einen rein ohmschen Widerstand an eine Spannung U, so fließt ein Strom I, der, abgesehen von der Temperaturabhängigkeit des Widerstandes, nur von der Höhe der Spannung und der Größe des Widerstandes bestimmt wird. Dabei ist es gleichgültig, ob es sich um eine Gleich- oder Wechselspannungsquelle handelt. Die Stromstärke wird stets nach dem Ohmschen Gesetz $I = \frac{U}{R}$ berechnet.

Demgegenüber sind Blindwiderstände frequenzabhängig. Ein Kondensator mit einer bestimmten Kapazität C hat einen um so geringeren Blindwiderstand, je höher die Frequenz der anliegenden Spannung ist. Bei sehr hohen Frequenzen ist der Blindwiderstand fast Null.

Eine Spule mit der Induktivität L hat einen um so höheren Blindwiderstand, je höher die Frequenz der anliegenden Spannung ist. Bei sehr geringen Frequenzen ist der Blindwiderstand fast Null.

Induktive und kapazitive Blindwiderstände ergeben gemeinsam mit dem ohmschen Widerstand in einem Stromkreis den Scheinwiderstand.

Weil der induktive bzw. kapazitive Blindwiderstand + 90° bzw. — 90° gegenüber dem Wirkwiderstand verschoben ist, werden die Widerstände geometrisch addiert. Mathematisch bestehen folgende Beziehungen:

Induktiver Widerstand:

$$X_L = 2\pi f L \qquad \omega = 2\pi f$$

$$X_L = \omega L$$

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

Kapazitiver Widerstand:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

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

$$I = \frac{U}{X_C} = U \cdot \omega C$$

Scheinwiderstand:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

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

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} \quad \tan\varphi = \frac{X_L - X_C}{R}.$$

8.2. Messen von Wechselstromwiderständen

Das grundsätzliche Messen bzw. die rechnerische Ermittlung von Wechselstromwiderständen erfolgt im allgemeinen mit den Meßverfahren des Abschn. 5. bzw. nach den nachfolgenden Formeln des Abschn. 8.3. Zum besseren Verständnis sollen als typisches Beispiel die Widerstände einer Drossel und eines Kondensators ermittelt werden:

1. Beispiel: Von einer Netzdrosselspule für 220 V, 50 Hz sollen die Widerstände Z, R, X_L, die Induktivität L und der Phasenverschiebungswinkel φ ermittelt werden.

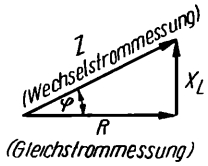


Bild 8.1

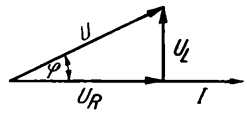


Bild 8.2

Lösung: Die Beziehungen der Widerstände zueinander sind stets vorher zeichnerisch darzustellen (Bild 8.2).

a) Der Scheinwiderstand Z wird durch das indirekte Meßverfahren (Abschnitt 5.1.2.) ermittelt.

Die Messung mit Wechselspannung ergibt:

$U \sim = 220\ \text{V} \quad I = 0{,}34\ \text{A}.$

Der Scheinwiderstand

$$Z = \frac{U \sim}{I} = \frac{220\ \text{V}}{0{,}34\ \text{A}} = \underline{\underline{640\ \Omega}}.$$

b) Der ohmsche Widerstand R kann

1. durch ein direktes Meßverfahren, z. B. mit der Meßbrücke, gemessen oder
2. durch das indirekte Meßverfahren mittels Strom- und Spannungsmessung ermittelt werden.

Meßregel: Zur Messung wird Gleichspannung verwendet.

Wird eine gleich große Gleichspannung wie die der Wechselspannung verwendet, so darf die Messung nur kurzfristig erfolgen, weil die größere

Stromstärke zur Zerstörung der Spule führen kann. Andernfalls ist die Größe der Gleichspannung zu reduzieren.

Die Messungen mit Gleichspannung ergeben: $U = 24\,\text{V}$ $I = 0{,}21\,\text{A}$.

Der ohmsche Widerstand

$$R = \frac{U}{I} = \frac{24\,\text{V}}{0{,}21\,\text{A}} = \underline{\underline{114\,\Omega}}.$$

c) Der Blindwiderstand X_L wird rechnerisch ermittelt:

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{(640\,\Omega)^2 - (114\,\Omega)^2} = \underline{\underline{628\,\Omega}}.$$

d) Die Induktivität L kann

1. direkt mit einer Induktivitäts-Meßbrücke gemessen oder
2. rechnerisch ermittelt werden.

Die Induktivität L errechnet sich

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{628\,\Omega}{314\,\text{s}^{-1}} = \underline{\underline{2\,\text{H}}}.$$

e) Der Phasenverschiebungswinkel φ errechnet sich

$$\tan\varphi = \frac{X_L}{R} = \frac{628\,\Omega}{114\,\Omega} = 5{,}5 \triangleq \text{lt. Tab } 79°40'.$$

bzw.

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{114\,\Omega}{640\,\Omega} = 0{,}178 \triangleq \text{lt. Tab. } 79°40'.$$

2. Beispiel:

Von einem unbekannten Kondensatorblock, der zur Phasenkompensation dient, sollen der kapazitive Blindwiderstand und die Kapazität ermittelt werden.

Anmerkung: In der Starkstromtechnik ist bei Kondensatoren eine Ermittlung des ohmschen Widerstandes nicht erforderlich, weil dieser vernachlässigbar klein ist. Folglich wird $Z \approx X_C$.

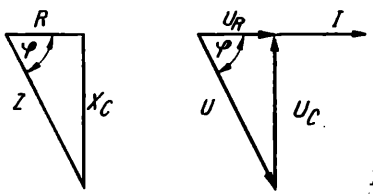


Bild 8.3

Lösung: Es werden zuerst die Beziehung der Widerstände zeichnerisch dargestellt (Bild 8.3).

a) Der Kondensator wird an eine niedrige Wechselspannung von 50 Hz gelegt, Spannung und Stromstärke werden gemessen.

In diesem Beispiel wurde gemessen:

$U = 100\,\text{V} \quad I = 1{,}1\,\text{A}.$

Der Scheinwiderstand Z wird rechnerisch ermittelt:

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{100\,\text{V}}{1{,}1\,\text{A}} = \underline{\underline{91\,\Omega}}.$$

Da der ohmsche Widerstand vernachlässigbar klein ist, ist $Z \approx X_L$

$\underline{\underline{X_C \approx 91\,\Omega}}.$

b) Die Kapazität C errechnet sich

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi f \cdot X_C} = \frac{1}{314\,\text{s}^{-1} \cdot 91\,\Omega} = 3{,}49 \cdot 10^{-5} = 34{,}9\,\mu F \approx \underline{\underline{35\,\mu F}}.$$

Da der Kondensator nach der Messung seine Ladung noch behält, muß diese über einen Widerstand entladen werden!

8.3. Schaltungen von Wechselstromwiderständen

Die Einzelermittlung von R, X, Z, L, C, φ bei Drossel und Kondensatoren, wie sie im vorangegangenen Abschnitt erläutert wurde, ist die Grundlage zur Ermittlung elektrischer Größen bei Reihen-, Parallel- oder Gemischtschaltung. Die Schaltungen dieser Bauelemente sind aus den „Grundlagen der Elektrotechnik" als bekannt vorauszusetzen. Infolgedessen werden darum diese Schaltungen und ihre mathematischen Beziehungen nur als Übersicht dargestellt.

Reihenschaltung von L

$$L_{\text{ges}} = L_1 + L_2 + L_3 + \ldots$$

$$X_{L\,\text{ges}} = X_{L1} + X_{L2} + X_{L3} + \ldots$$

Reihenschaltung von C

$$\frac{1}{C_{\text{ges}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots$$

$$\frac{1}{X_{C\,\text{ges}}} = \frac{1}{X_{C1}} + \frac{1}{X_{C2}} + \frac{1}{X_{C3}} + \ldots$$

Reihenschaltung von R und L

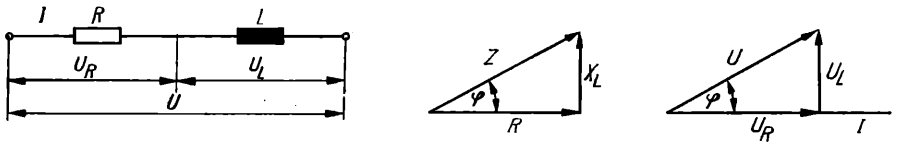


Bild 8.4

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \qquad R = Z \cdot \cos\varphi \quad X_L = Z \cdot \sin\varphi$$

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} \qquad U_R \neq U \cdot \cos\varphi \; U_L \neq U \cdot \sin\varphi$$

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

$$\tan\varphi = \frac{X_L}{R} = \frac{\omega_L}{R}.$$

Reihenschaltung von R und C

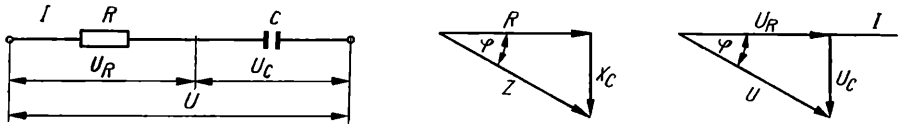


Bild 8.5

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \qquad R = Z \cdot \cos\varphi \quad X_C = R \cdot \sin\varphi$$

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2} \qquad U_C = U \cdot \cos\varphi \; U_L = U \cdot \sin\varphi$$

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

$$\tan\varphi = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{R\omega C}.$$

Reihenschaltung von L und C

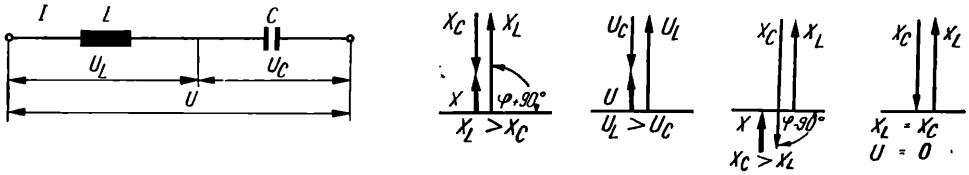


Bild 8.6

$$X = X_L - X_C.$$

Resonanzfall:

$$X_L = X_C \quad U_L = U_C \rightarrow U = 0$$

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

$$f_0 = \frac{1}{\sqrt{2\pi L \cdot C}}.$$

Reihenschaltung von R, L und C

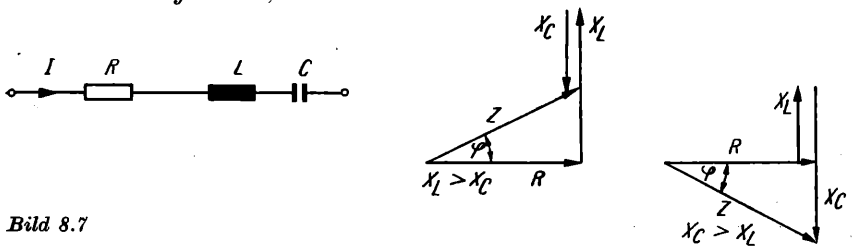


Bild 8.7

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$$

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

$$U_R = IR \quad U_L = IX_L \quad U_C = IX_C$$

$$\tan\varphi = \frac{X_L - X_C}{R}.$$

Parallelschaltung von L

$$\frac{1}{L_{ges}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots$$

$$\frac{1}{X_{ges}} = \frac{1}{X_{L1}} + \frac{1}{X_{L2}} + \frac{1}{X_{L3}} + \dots$$

Parallelschaltung von C

$$C_{ges} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

$$X_{C\,ges} = X_{C1} + X_{C2} + X_{C3} + \dots$$

Parallelschaltung von R und L

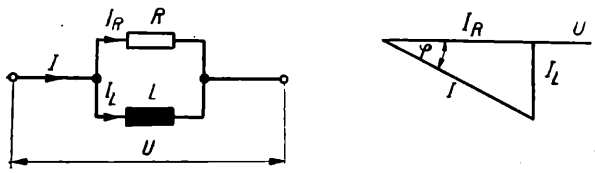


Bild 8.8

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$$

$$I_R = \frac{U}{R} \quad I_L = \frac{U}{X_L}$$

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

$$\tan\varphi = \frac{I_L}{I_R} = \frac{R}{X_L}.$$

Parallelschaltung von R und C

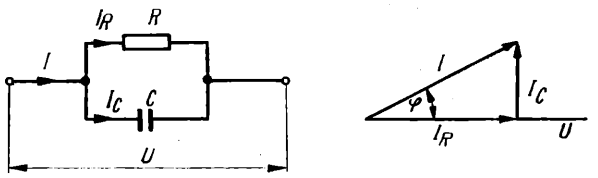


Bild 8.9

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} \qquad I_R = \frac{U}{R}\, I_C = \frac{U}{X_C}$$

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

$$\tan \varphi = \frac{I_C}{I_R} = R \cdot X_C .$$

Parallelschaltung von L und C

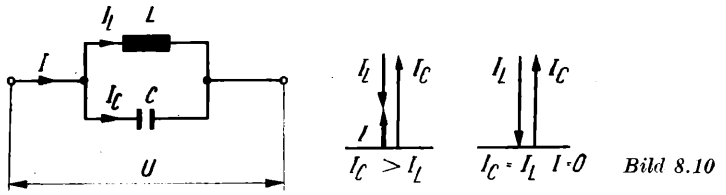


Bild 8.10

$$I = I_L - I_C$$

Resonanz:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi f \sqrt{L \cdot C}}$$

$$I_C = I_L \quad I = 0 .$$

Parallelschaltung von R, L und C

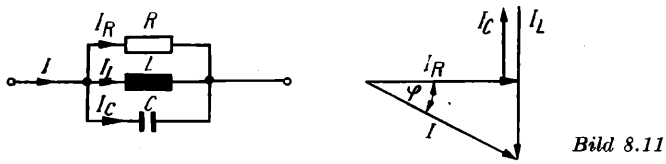


Bild 8.11

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2}$$

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

$$\tan \varphi = \frac{I_C - I_L}{I} = R(X_C - X_L).$$

Größen	Maßeinheit
Induktivität L	H
Induktiver Widerstand X_L	Ω
Kapazität C	F
Kapazitiver Widerstand X_C	Ω
Frequenz f	S^{-1}, Hz
Kreisfrequenz ω	S^{-1}
Resonanzfrequenz f_0	S^{-1}, Hz
Scheinwiderstand z	
Phasenwinkel φ	Grad
Teilströme I_R, I_L, I_C	A
Gesamtstrom I	A
Teilspannungen U_R, U_L, U_C	V
Klemmenspannungen U	V

8.4. Prüfung von Spulen und Kondensatoren

Umfang und Genauigkeit bei der Prüfung von Spulen und Kondensatoren sind abhängig von ihrem Einsatz. In diesem Abschnitt sollen einfache Prüfmethoden der Funktionstüchtigkeit, wie sie in allen Gebieten der Elektrotechnik vorkommen, erläutert werden.

8.4.1. *Prüfen von Spulen*

Spulenprüfungen werden an Drosseln, Elektromagneten und Trafos kleinerer Ausführung vorgenommen. Sie beinhalten

a) Prüfen auf Durchgang bzw. Wicklungsschluß,

b) Prüfen auf Erwärmung.

Die Durchgangsprüfung wurde im Abschn. 3. behandelt. Die dort geschilderten Methoden und Geräte werden auch bei Spulen angewendet und bedürfen daher keiner weiteren Erklärung. Beim Abklemmen der Spulen von der Prüfeinrichtung ist jedoch Vorsicht geboten, weil bei funktionstüchtigen, hochinduktiven Spulen eine hohe Selbstinduktionsspannung entstehen kann.
Die Durchgangsprüfung allein läßt aber noch nicht erkennen, ob die Spule Windungsschluß hat. Diese Prüfung wird folgendermaßen vorgenommen (Bild 8.12):

1. Ablesen des Erregerstromes ohne Prüfling.
2. Prüfling P auf den Trafokern aufsetzen und wieder den Erregerstrom ablesen.
3. Meßergebnisse vergleichen.

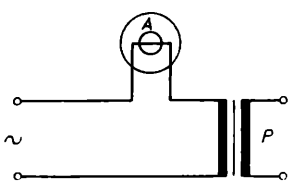


Bild 8.12

Sind die Meßergebnisse gleich, so ist die Spule funktionstüchtig; sind sie jedoch unterschiedlich, so ist der Prüfling schadhaft, denn der durch den Windungsschluß entstehende Kurzschlußstrom stellt eine Belastung des Transformators dar und bewirkt eine erhöhte Stromaufnahme der Erregerspule.
Prüfungen auf Erwärmung können wegen ihrer Fachbesonderheiten hier nicht verallgemeinert werden (vgl. VDE 0530 „Regeln für elektrische Maschinen" und VDE 0532 „Regeln für Transformatoren").

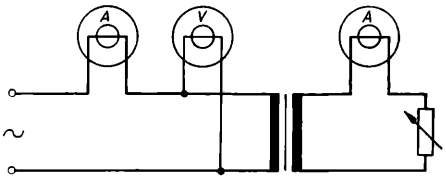


Bild 8.13

Zusammenfassend soll hier erwähnt werden, daß diese Bestimmungen die höchstzulässige Dauertemperatur, die zulässige Übertemperatur entsprechend den Isolierstoffklassen sowie die Temperaturermittlung, wie sie im Bild 8.13 dargestellt ist, erfassen.
Wicklungstemperatur für Betriebsart KB und DKB

$$\Theta = \frac{R_{warm} - R_{kalt}}{R_{kalt}} (235 + \vartheta_{kalt}) - (\vartheta_{Kühlmittel} - \vartheta_{kalt}).$$

Wicklungstemperatur für Betriebsart KB und DKB

$$\Theta = \frac{{}'R_{warm} - R_{kalt}}{R_{kalt}} (235 + \vartheta_{kalt}).$$

Für die betriebliche Überwachung von Maschinenwicklungen und anderen Spulen gilt als Faustregel: Wicklungen dürfen sich nur so weit erwärmen, daß sie noch mit der Hand berührt werden können. Diese Temperatur liegt bei rund 60 bis 70 °C.

8.4.2. *Prüfen von Kondensatoren*

Bei der Prüfung von Kondensatoren kommt es darauf an, festzustellen, ob

a) der Isolationszustand des Dielektrikums und
b) die Kapazität

den betrieblichen Anforderungen entsprechen.
Bei Papierkondensatoren treten besonders bei längerem Betrieb folgende Fehler auf:

a) Kurzschlüsse und Feinschlüsse, bedingt durch Feuchtigkeit,
b) Kontaktunterbrechungen infolge mechanischer Beanspruchung.

Für Elektrolytkondensatoren kommt hinzu:

c) Kapazitätsverluste durch Alterungserscheinungen.

Die grundsätzliche Prüfung an Kondensatoren ist das Vergleichsverfahren, das vorgenommen werden kann, ohne daß der Kondensator ausgebaut wird. Dabei wird der zu untersuchende Kondensator durch einen gleichen, einwandfreien überbrückt.

Die auftretende Kapazitätserhöhung wird als Maßstab für den Kapazitätswert des zu prüfenden Kondensators genommen. Für diese Prüfmethode gibt es Schnellprüfgeräte, bei denen Kondensatoren verschiedener Größe wahlweise eingeschaltet werden können (Bild 8.14).

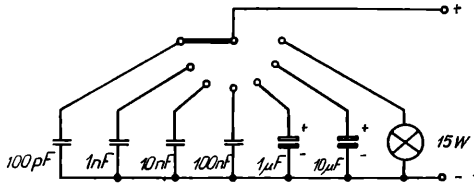


Bild 8.14

Die Isolationsprüfung kann ebenfalls mit einem solchen Schnellprüfgerät, und zwar durch Einschalten einer Glühlampe, durchgeführt werden. Bei Papierkondensatoren und bei polrichtigem Anschluß von Elektrolytkondensatoren darf die Lampe nicht leuchten. Zu beachten ist, daß beim Einschalten der Spannung bei Elektrolytkondensatoren die Lampe wegen der Ladung kurz aufleuchtet. Ein dauerndes schwaches Leuchten zeigt allerdings einen zu großen Reststrom an. Flackert die Lampe, so sind Kontaktstörungen vorhanden.
Der Einsatz der Lampe hat den Nachteil, daß die Größe des Reststromes nicht bestimmt werden kann. Willl man ihn messen, so wird der Kondensator mit einem Milliamperemeter gemeinsam an eine Spannung gelegt, die der Betriebsspannung des Kondensators entspricht.

8.5. Praktische Übungsaufgaben

1. Ermitteln Sie von einer Drossel, die mit und ohne Eisenkern versehen werden kann, den Scheinwiderstand, den ohmschen und induktiven Widerstand sowie die Induktivität! Vergleichen und begründen Sie die ermittelten Werte!
2. Ermitteln Sie den kapazitiven Widerstand und die Kapazität eines unbekannten Kondensators!
3. Eine Glühlampe von 110 V/25 W soll wahlweise mit einer Drosselspule, einem Kondensator bzw. einem Vorschaltwiderstand an ein 220-V-Netz angeschlossen werden.
   a) Welche Induktivität, Kapazität bzw. welchen ohmschen Widerstand müssen die vorgeschalteten Bauelemente haben, wenn die Glühlampe normale Stromstärke erhalten soll?
   b) Führen Sie die Schaltung aus und überprüfen Sie die Richtigkeit der Rechnung durch entsprechende Messungen!
   c) Geben Sie Vor- und Nachteile der Bauelemente bei dieser Schaltung an!
4. Ermitteln Sie von der Netzdrossel einer Leuchtstofflampe oder eines anderen induktiven Verbrauchers die Größen R, X_L, Z, $\cos\varphi$ und φ!
   Mit welcher Kapazität ist die vorhandene Phasenverschiebung auf einen Leistungsfaktor $\cos\varphi = 1$ zu kompensieren?
   Stellen Sie die Schaltung her und überprüfen Sie die Phasenkompensation durch entsprechende Messungen!

9. STÖRUNGSSUCHE IN STROMKREISEN

Der reibungslose Produktionsablauf in Industriebetrieben ist in starkem Maße von der Funktionstüchtigkeit der elektrischen Anlagen abhängig. Jede langanhaltende Störung kann erhebliche Produktionsverluste verursachen und die Planerfüllung des Betriebes gefährden. Daher obliegt dem Elektrofacharbeiter eine große Verantwortung bei der sachkundigen und schnellen Beseitigung dieser Störungen.

9.1. Grundlagen der Fehlersuche

Der Beseitigung einer Störung geht die Fehlersuche voraus. Da es keine „typischen Fehler" in der Elektrotechnik gibt, ist es nicht möglich, ein einheitliches Schema für die Fehlersuche aufzustellen.
In der Funkmechanik werden beispielsweise andere Fehler auftreten als im Elektromaschinenbau oder im Starkstromanlagenbau. Deshalb sind Grundlage jeder Fehlersuche die berufstheoretischen Kenntnisse über Aufbau und Wirkungsweise der zu entstörenden Einrichtungen. Darüber hinaus sind die von den Herstellern für ihre seriengefertigten Geräte veröffentlichten Bedienungs- und Reparaturanleitungen eine unentbehrliche Unterlage für die Fehlersuche. Es muß noch darauf hingewiesen werden, daß zweckentsprechende Prüf- und Meßgeräte ständig einsatzbereit sein müssen und die notwendigen Werkzeuge zur Verfügung zu stehen haben.

9.2. Störungsmeldebuch

Das Störungsmeldebuch dient zur Registrierung aller anfallenden Betriebsstörungen. Dieses Buch läßt bei ordnungsgemäßer Führung, indem Art, Ursache und Beseitigung der Störung eingetragen werden, typische Fehler einer elektrischen Einrichtung erkennen, so daß beim wiederholten Auftreten gleicher Störungen entsprechende Schlußfolgerungen gezogen und vorbeugende Maßnahmen eingeleitet werden können.
Obgleich die Eintragungen in dem Störungsmeldebuch den betrieblichen Verhältnissen angepaßt werden müssen, soll hier ein Beispiel gebracht werden:

Datum: 27.3.	Art der Störung:
Zeit der Meldung: 11.30 Uhr	Sicherung des Bandmotors I durchgebrannt
Störungsbeginn: 10.40 Uhr	Ursache: Überlastung durch Bandverstopfung
Melder: Müller	Abhilfe: Sicherung ausgewechselt
Ort der Störung: Kohlebunker	Betriebsbereit: 12.30 Uhr
	Störungssucher: Schmidt.

9.3. Methoden der Fehlersuche

Jede Fehlersuche wird immer dann schnell zum Ziel führen, wenn systematisch, planmäßig und überlegend an die Arbeit herangegangen wird. Es gilt deshalb: Das systemlose Berühren, Umklemmen und Probieren von Verbindungen ist zu unterlassen.

Folgendes Prinzip ist anzuwenden:

a) Befragung. Sie wendet sich an den Bedienenden der Einrichtung bzw. an denjenigen, der die Störung feststellte. In Verbindung mit dem Störungsmeldebuch wird bei der Befragung meistens der Ort und die Art des Fehlers sofort deutlich.

b) Führt die Befragung zu keinem Ziel, kann der Eingriff in die Einrichtung unter Beachtung der Sicherheitsbestimmungen und Arbeitsschutzanordnungen vorgenommen werden. Hierbei sollen die in Frage kommenden Geräte nur geöffnet, aber an ihnen noch nichts verändert werden. Zunächst muß versucht werden, durch Sehen, Hören, Riechen oder Fühlen die Fehlerquelle zu erkennen.

c) Darauf folgt die Prüfung oder Messung. Diese Arbeit beginnt bei fast allen elektrischen Anlagen, Geräten und Aggregaten mit der allgemeinen Prüfung der leicht auswechselbaren Bauelemente und Betriebsmittel, wie Sicherungen, Glühlampen, Röhren usw. Sind die Geräte in Ordnung, wird der Fehler systematisch eingekreist.

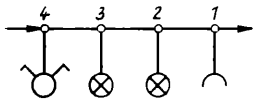


Bild 9.1

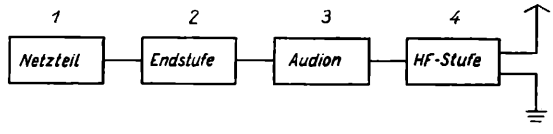


Bild 9.2

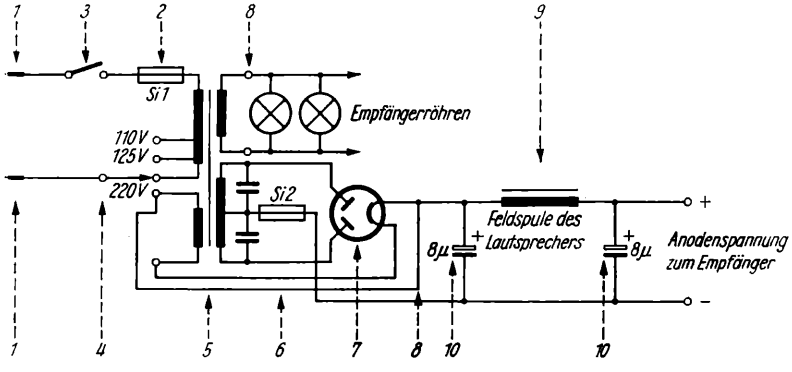


Bild 9.3

Die Bilder 9.1 und 9.2 zeigen Beispiele des systematischen Einkreisens des Fehlers, die Ziffern zeigen die Reihenfolge der Prüfungen. Für die Schaltung des Bildes 9.3[1]) würde sich folgende Reihenfolge der Prüfungen bei Berücksichtigung der möglichen Fehler ergeben:

Prüfgeräte:
Spannungsmesser, Prüfblock 8···16 µF 500/550 V, Leitungsprüfer, Leistungs- oder Strommesser für das Netz.

[1]) Aus *Pabst*, Anleitung zur Fehlersuche für Rundfunkmechaniker.

Prüfpunkte und Fehler:

1. Netzschnur oder Stecker defekt,
2. Sicherung *1* durchgebrannt,
3. Netzschalter defekt,
4. Spannungswähler defekt oder zu hoch eingestellt (Netzspannung zu niedrig),
5. Primär- oder Sekundärwicklung unterbrochen,
6. Sicherung *2* durchgebrannt,
7. Gleichrichterröhre verbraucht,
8. Heizwicklung unterbrochen,
9. Feldspule unterbrochen,
10. Kondensator ohne Kapazität.

Im Bild 9.4 ist ein weiteres Prüfgerät zur Durchgangsprüfung von Kondensatoren, Spulen und Widerständen dargestellt.

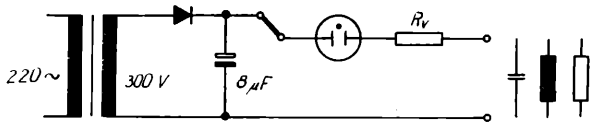


Bild 9.4

9.4. Praktische Übungsaufgaben

1. Es sind berufstypische Übungen zur Störungsbeseitigung durchzuführen!
2. Ermitteln Sie anhand des betrieblichen Störungsmeldebuches den durch eine Störung hervorgerufenen Produktionsausfall, und überlegen Sie, welche Maßnahmen zur schnelleren Behebung solcher Störungen einzuleiten sind!
3. Legen Sie sich ein Nachschlageheft über Fehler und deren Beseitigung an elektrischen Einrichtungen ihres Berufsgebiets an, und vervollständigen Sie es laufend!

SACHWÖRTERVERZEICHNIS

Anzeigefehler 29
Arbeitsstromkreis 23

Bandaufhängung 33

Dämpfung 36f.
Dreheisenmeßinstrument 40
Dreheisenmeßwerk 31
Drehspulinstrument 46
Drehspulmeßwerk 31, 46

Eichen 64, 80
Eigenverbrauch 30
Elektrodynamisches Meßwerk 31, 96
Empfindlichkeit 30
Erdschlußprüfung 84
Erdungswiderstand 92

Fehlerermittlung 29
Flachspulmeßwerk 40
Flüssigkeitsdämpfung 37

Geräteschalter 16

Hilfserder 92

Induktionszähler 101
Innerer Widerstand 30
Installationsschalter 17
Isolationsmessung 82
Isolationszustand 82

Kennlinie 57
Kontaktwiderstände 74
Kreuzspulmeßwerk 85
Kurbelinduktor 85

Lagerung 33
Leistungsmesser 95
Leistungsmesserschaltungen 100
Leistungsmessung 94
Lichtmarkengalvanometer 48
Lichtrufanlage 37
Luftdämpfung 37

Magnetische Dämpfung 37
Meßbereichserweiterung 45
Messen 26
Meßfehler 29
Meßgenauigkeit 29
Meßgerät 31
  Beschriftung 38
Meßinstument 31
Meßregeln 66
Meßschaltungen 56
Meßwerk 32
Meßwerkfedern 34
Meßwiderstände 78
Multiprüfer 80
Multizet 53

Nebenwiderstand 32
Nullpunktmethode 89

Öffner 20
Ohmmeter 79

Paketschalter 19
Protokoll 13
Prüfen 26
Prüfmittel
  akustische 27
  optische 27
Prüfverfahren 26

Quotientenmesser 85, 87

Relais 22
Ruhestromkreis 24
Rundspulmeßwerk 41

Schalter 16
Schaltungstechnik 15
Schauzeichen 28
Schließer 20

Schütze 19
  mit Dauerkontakt 20
  mit Impulskontakt 20
Schutzleitungsprüfgerät 28
Schützverriegelungsanlage 21
Skalen 36
Sollwert 29
Spannbandaufhängung 34
Spannungsmesserverfahren 79
Spannungsmessung 43, 70
Spannungspfad 32
Spannungsrichtige Schaltung 70
Spannungssucher 27
Spannungsteiler 61
Spannungsvergleichsverfahren 76
Spannungswandler 99
Spiegelgalvanometer 31, 48
Spitzenlagerung 33 f.
Spulenprüfung 113
Starkstrom-Schwachstrom-Relais 23
Störungsmeldebuch 116
Stoßstromrelais 23
Stromdämmung 31
Strommessung 43, 70
Strompfad 32
Stromrichtige Schaltung 71
Strom-Spannungs-Kennlinie 56
Stromvergleichsverfahren 75
Stromwandler 99

Toleranzen 29

Universalmesser 53
Unterrichtskabinett 11 f.

Vergleichsverfahren 75
Verriegelungsanlage 21
Vibrationsmeßwerk 31
Vielfachmeßinstrument 53
  Meßwerkdaten 54
Vorwiderstand 32

Wechselstromwiderstände 106 ff.
Wendeschützschaltung 21
Wheatstonesche Meßbrücke 88
Widerstandsnormale 78

Zählerfehler 103
Zapfenlagerung 33
Zeiger 35