

Inhaltsverzeichnis

Erster Teil

Die Meßgeräte

	Seite
1. Die elektrischen Meßprinzipien	1
2. Allgemeines über konstruktiven Aufbau	1
3. Begriffserklärung des VDE	1
I. Drehspulinstrumente	2
A. Das Grundsätzliche	2
1. Meßprinzip	2
2. Aufbau des Meßwerks	4
3. Die Lagerung des beweglichen Organs	6
3.1 Anforderungen an die Lagerung	6
3.11 Kleine Reibung	6
3.12 Kleiner Kippfehler	6
3.13 Geringe mechanische Hysteresis und elastische Nachwirkung	7
3.14 Kleiner Schütteleinfluß	7
3.15 Wartungsfreies Arbeiten	8
3.2 Ausführung und Kennzeichen der einzelnen Lagerungsarten	8
3.21 Die Spitzenlagerung	8
3.22 Die Spannbandlagerung	12
3.23 Die Bandlagerung	14
3.24 Entlastete Spitzenlagerung	15
3.25 Zapfenlagerung	15
3.26 Kugellagerung	16
4. Der magnetische Kreis des Drehspulinstruments	16
4.1 Aufbau des magnetischen Kreises	16
4.2 Entmagnetisierungskurve	17
4.3 Berechnung des magnetischen Kreises	17
4.31 Magnetische Spannung	17
4.32 Magnetvolumen	18
4.33 Arbeitspunkt	19
4.34 Entmagnetisierungsfaktor und Scherung	19
4.4 Technologie des magnetischen Kreises	20
4.41 Dauermagnet	20
4.42 Weicheisenpolschuhe und -rückschlüsse	20
4.43 Aufmagnetisierung	20

Inhaltsverzeichnis

VII

	Seite
4.5 Beispiele ausgeführter Drehspulmeßwerke	21
4.51 Einfach symmetrisches Außenmagnetmeßwerk	21
4.52 Kernmagnetmeßwerk	21
4.53 Unipolares Meßwerk	22
4.54 Doppelt symmetrisches Außenmagnetmeßwerk	22
4.6 Weitere Eigenschaften des magnetischen Kreises	23
4.61 Temperaturgang	23
4.62 Alterung	23
4.63 Induktion im Luftspalt	24
5. Das bewegliche Organ	24
5.1 Schwingungsgleichung	24
5.2 Dämpfung	26
6. Skale und Zeiger	27
6.1 Skale	27
6.2 Zeiger	28
6.3 Lichtmarke	29
6.4 Skalenausführung	30
6.5 Skale mit unterdrücktem Nullpunkt	30
6.6 Skalenaufschrift	31
7. Gehäuse	32
7.1 Schalttafelinstrumente	32
7.2 Tragbare Instrumente	34
8. Schaltung	37
8.1 Schaltung bei Gleichstrom	37
8.11 Strommesserschaltung	37
8.12 Spannungsmesserschaltung	37
8.13 Mehrbereichschaltung	38
8.2 Schaltung bei Wechselstrom	38
8.21 Mechanische Gleichrichter	38
8.22 Trockengleichrichter	39
B. Spezialausführungen	40
1. Universalinstrumente	40
2. Galvanometer	42
2.1 Auswahl	42
2.2 Ausführung	43
2.3 Messung	44
2.4 Optik	44
2.5 Anwendung	45
3. Ballistisches Galvanometer	46
4. Kriechgalvanometer	47
5. Meßwerke für Projektoren	47
6. Besondere Bauarten	48
6.1 Besonders geschützte Ausführungen	48
6.2 Rüttel- und stoßsichere Ausführung	48
6.3 Klimafeste Ausführungen	49
6.4 Schlagwetter- und explosionsgeschützte Instrumente	49
7. Koordinateninstrument	49

	Seite
C. Allgemeine Eigenschaften	50
1. Genauigkeit	50
2. Eigenverbrauch	52
3. Überlastbarkeit	52
4. Empfindlichkeit	52
II. Kreuzspulinstrumente mit Dauermagnet	53
A. Meßprinzip	53
B. Aufbau des Meßwerks	57
III. Drehmagnetinstrumente	57
A. Das Nadelgalvanometer	57
B. Drehmagnetinstrument mit drei Spulen	58
C. Drehmagnetinstrument zur Fernanzeige	59
IV. Dreheiseninstrumente	60
A. Meßprinzip	61
B. Meßwerke	62
1. Mantelkernmeßwerk	62
2. Streifenkernmeßwerk mit Rundspule	64
2.1 Für Schalttafelinstrumente	64
2.2 Für Präzisionsinstrumente	64
3. Streifenkernmeßwerk mit Doppelspule	65
4. Nadelmeßwerk	66
5. Quotientenmeßwerk	67
C. Skalenverlauf	68
D. Schaltweise	69
1. Strommesser	69
2. Spannungsmesser	70
E. Fehler	70
1. Gleichstromfehler	70
1.1 Der Hysteresefehler	71
1.2 Der Remanenzfehler	73
2. Frequenzfehler	73
3. Kurvenformfehler	75
4. Fremdfeldfehler	76
5. Elektrostatischer Fehler	77
6. Temperaturfehler	77
7. Anwärmfehler	78
F. Diverses	79
1. Überlastbarkeit	79
2. Prüfspannung	80
3. Eigenverbrauch	80

	Seite
V. Elektrodynamische Instrumente	81
A. Elektrodynamische Produktmesser	81
1. Wirkungsweise	81
2. Drehmoment	82
2.1 Leistungsmesser	84
2.2 Strommesser	85
2.3 Spannungsmesser	85
2.4 Blindleistungsmesser	86
2.5 Scheinleistungsmesser	87
3. Anwendung	87
4. Der Aufbau elektrodynamischer Leistungsmesser	88
4.1 Präzisionsleistungsmesser	88
4.11 Astatisches Zeigermeßwerk	88
4.12 Geschirmtes Lichtzeigermeßwerk	89
4.13 Astatisches Lichtzeigermeßwerk mit Schirmung	91
4.2 Eisengeschlossene elektrodynamische Meßwerke	92
4.21 Konzentrisches Einfachmeßwerk	92
4.22 Doppelmeßwerk	94
4.23 Dreifachmeßwerk	97
4.24 Kreisskalenmeßwerk	98
5. Fehler	98
5.1 Frequenzeinfluß	98
5.2 Wechselinduktionseinfluß	99
5.3 Elektrostatischer Einfluß	100
5.4 Krümmungseinfluß	100
5.5 Eiseneffekt	101
5.6 Leistungsfaktoreinfluß	101
5.7 Gleich-Wechselstromfehler	102
5.8 Temperaturfehler	103
5.9 Fremdfeldeinfluß	104
5.10 Kurvenformeinfluß	104
5.11 Unsymmetrieeinfluß	104
5.12 Kopplungseinfluß	105
6. Eigenverbrauch und Meßbereiche	105
7. Korrektur des Eigenverbrauchs	105
B. Elektrodynamische Quotientenmesser	107
1. Wirkungsweise	107
2. Drehmoment und Ausschlag	108
3. Anwendung	109
4. Aufbau elektrodynamischer Quotientenmeßwerke	110
4.1 Kreuzspulmeßwerk	110
4.2 Kreuzfeldmeßwerk	111
5. Vierquadrantleistungsfaktormesser und Synchronoskop	112
C. Induktionselektrodynamometer	114
1. Meßprinzip	114
2. Meßwerkaufbau	115
3. Der Ausschlag	115

	Seite
VI. Induktionsinstrumente	116
A. Anwendung	116
B. Meßprinzip	117
C. Drehmoment	117
1. Blindleistungsmesser	118
2. Wirkleistungsmesser	118
3. Spannungsmesser	119
4. Strommesser	119
5. Frequenzmesser	119
D. Meßwerke	120
1. Trommelmeßwerk	120
2. Scheibenmeßwerke	121
2.1 Einfachmeßwerk	121
2.2 Doppelmeßwerk	122
E. Meßbereiche und Eigenverbrauch	122
F. Fehler	123
1. Frequenzfehler	123
2. Temperaturfehler	124
3. Anwärmfehler	124
VII. Thermische Meßinstrumente	125
A. Hitzdrahtinstrumente	125
1. Meßprinzip	125
2. Aufbau des Meßwerks	126
3. Anwendung	127
B. Das Thermoumformerinstrument	127
1. Meßprinzip	127
2. Aufbau	128
3. Meßbereiche und Anwendung	129
4. Thermische Leistungsmesser	130
C. Bimetallinstrumente	131
1. Meßprinzip und Drehmoment	131
2. Aufbau der Bimetallmeßwerke	132
3. Meßbereiche, Genauigkeit, Eigenverbrauch	133
4. Anwendung	134
VIII. Elektrostatische Meßinstrumente	134
A. Meßprinzip	135
1. Beziehung zwischen Spannung und Kraft	135
2. Das Dielektrikum	137

Inhaltsverzeichnis	XI
	Seite
B. Aufbau der Meßwerke	137
1. Schutzringelektrometer von THOMSON	137
2. Elektrostatisches Plattenvoltmeter	138
3. Lichtmarkenpräzisionsspannungsmesser	139
4. Multizellularvoltmeter	139
5. Quadrantelektrometer	140
C. Allgemeine Eigenschaften	142
1. Anwendung	142
2. Eigenverbrauch	142
3. Überlastbarkeit	143
4. Fehler	143
D. Elektrostatische Quotientenmesser	144
IX. Vibrationsinstrumente	146
A. Zungenfrequenzmesser	146
1. Wirkungsweise	146
2. Aufbau	148
2.1 Elektromagnetische Zungenfrequenzmesser	148
2.2 Elektrostatischer Frequenzmesser	150
3. Anzeige, Abstimmung, Genauigkeit	150
4. Meßbereiche, Eigenverbrauch, Fehler, Dämpfung	151
B. Vibrationsgalvanometer	153
1. Anwendung	153
2. Aufbau	153
3. Wirkungsweise	154
4. Schaltung und Empfindlichkeit	155
5. Sonstige Eigenschaften	156
X. Kontakt- und Signalgeräte	157
A. Geräte mit unmittelbarer Kontaktgabe	157
B. Geräte mit mittelbarer Kontaktgabe	158
1. Fallbügelabtastung	159
2. Photoelektrischer Abgriff	160
3. Schwingkreisabgriff	162
XI. Registrierinstrumente	163
A. Linien- und Punktschreiber	163
1. Allgemeines	163
1.1 Frontrahmenabmessungen und Schreibbreiten	163
1.2 Papiervorschub	164
1.3 Papierantrieb	164
1.4 Papier	166

	Seite
2. Linienschreiber mit unmittelbarer Aufzeichnung	167
2.1 Meßwerke	167
2.2 Führung der Schreibfeder	167
2.21 Direkte Führungen	167
2.22 Geradföhrungen	169
2.3 Schreibfedern	170
2.4 Tinte	170
2.5 Andere Registrierverfahren	170
2.6 Zeitschreiber	171
3. Punktschreiber	172
3.1 Aufzeichnung	172
3.2 Meßwerk	173
3.3 Schaltweise	173
B. Lichtschreiber	174
1. Lichtpunktlinienschreiber	174
1.1 Registrierpapier	175
1.2 Papiervorschub	176
1.3 Meßwerk	176
2. Andere Lichtschreiber	177
C. Oszillographen	177
1. Allgemeines und Anwendung	177
2. Eingebaute Einheiten	179
2.1 Elektronenstrahlröhre	179
2.2 Verstärker	181
2.3 Zeitablenkung	182
3. Mehrfachoszillographie	182
4. Registrierung	182
XII. Elektrizitätszähler	182
A. Zählerarten	183
B. Induktionszähler	184
1. Der Aufbau des Induktionszählers	184
2. Die Wirkungsweise des Induktionszählers	186
3. Einflußgrößen	189
4. Anwendung, Meßbereiche und Anforderungen	191
XIII. Vor- und Nebenwiderstände	192
A. Vorwiderstände	193
1. Schichtwiderstände	193
2. Drahtwiderstände	193
2.1 Widerstandsmaterial	193
2.2 Spulenkörper	194
2.3 Isolation	195
2.4 Wickelart	195
2.5 Alterung	196
3. Aufschriften	196

Inhaltsverzeichnis	XIII
	Seite
B. Nebenwiderstände	196
1. Abgleich der Nebenwiderstände	196
2. Zuleitungs- und Übergangswiderstand	197
3. Besondere Meßklemmen	198
4. Magnetische Felder	198
5. Aufschriften	198
XIV. Meßwandler	199
A. Stromwandler	200
1. Schaltung und Wirkungsweise	200
2. Ausführungsformen	203
3. Anforderungen	205
3.1 Kurzschlußfestigkeit	205
3.2 Fehlergrenze und Bürde	206
3.3 Aufschriften	206
4. Normalstromwandler	207
5. Zangenwandler	208
6. Gleichstromwandler	208
B. Spannungswandler	210
1. Schaltung und Wirkungsweise	210
2. Ausführungsformen	211
3. Fehlergrenze und Bürde	212
4. Aufschriften	212
5. Kapazitiver Spannungswandler	213
XV. Zusammenstellung von Angaben über elektrische Meßgeräte..	213
1. Verwendungsmöglichkeit (Tab. I, S. 215)	213
2. Anwendungsbereiche (Tab. II, S. 216)	213
3. Bau- und Sicherheitsbestimmungen (Tab. III, S. 216)	213
4. Sinnbilder für Meßgeräte (Tab. IV, S. 219)	214
5. Fehlergrenzen für die verschiedenen Klassen (Tab. V, S. 222) ..	214
6. Eigenverbrauch der Strom- und Spannungsmesser (Tab. VI und VII, S. 227 u. 228)	214
Dauermagnetwerkstoffe (Tab. VIII, S. 229)	
Einheitenliste (Tab. IX, S. 230)	

Zweiter Teil

Die elektrischen Meßeinrichtungen

XVI. Präzisions-Meßwiderstände	232
A. Der Werkstoff	233
B. Normalwiderstände	234
C. Hochohmige Widerstände für kleine Ströme	235
1. Zeitkonstante	235
2. Wicklungsarten	237

	Seite
D. Hochspannungswiderstände	238
E. Einstellbare Widerstände	238
1. Schleifdrahtwiderstände	239
2. Stöpselwiderstände	240
3. Drehschalterwiderstände	241
XVII. Induktivitäten und Kapazitäten	243
A. Induktivitäten	243
1. Allgemeines	243
2. Meßinduktivitäten	244
B. Kapazitäten	245
1. Allgemeines	245
2. Meßkondensatoren	246
XVIII. Meßbrücken	249
A. Meßbrücken für Gleichstrom	250
1. WHEATSTONE-Brücke	250
2. THOMSON-Brücke zum Messen kleiner Widerstände	254
3. Fehlerortsmeßbrücken	256
4. Unvollständig abgegliche Meßbrücken	259
B. Meßbrücken für Wechselstrom	261
1. Allgemeines	261
2. Abgleichbedingungen	262
3. Wechselstrom-Nullindikatoren	262
4. Schaltungen und Anwendungen	264
XIX. Kompensatoren	268
A. Das Normalelement	269
B. Gleichspannungskompensatoren	270
1. Das Potentiometerverfahren	270
2. Das Strommesserverfahren	271
3. Schaltungen von Präzisionskompensatoren	272
4. Ausführung und Anwendung von Präzisionskompensatoren ...	275
5. Technische Kompensatoren	280
C. Selbstabgleichende Gleichspannungskompensatoren	281
1. Selbstabgleichende Kompensatoren nach dem Potentiometer- verfahren	282
2. Selbstabgleichende Kompensatoren nach dem Strommesser- verfahren	287
D. Kompensatoren für Wechselstrom	291
1. Komplexer Wechselstromkompensator	291
2. Trafo-Übersetzungsmesser	292

XX. Elektrische Meßverstärker	294
A. Gegenkopplung	295
B. Wechselstrommeßverstärker	297
C. Gleichstrommeßverstärker	299
1. Fehlerspannung	299
2. Zerahckerverstärker	299
3. Magnetverstärker	301
D. Röhrenvoltmeter	302
XXI. Hochspannungsmeßeinrichtungen	303
A. Funkenstrecken	303
1. Nadelfunkenstrecke	304
2. Die Kugelfunkenstrecke	304
B. Hochspannungsmesser mit Ventilröhren	305
C. Die Kondensator-Durchführung als Hochspannungsteiler	306
D. Das rotierende Hochspannungsvoltmeter	306
XXII. Anzeigende Widerstandsmeßeinrichtungen	308
A. Drehspul-Widerstandsmesser	308
1. Strommesser mit Ohm-Skale	308
2. Spannungsmesser mit Ohm-Skale	310
B. Kreuzspul-Widerstandsmesser	311
C. Isolationsmesser	311
1. Isolationsmesser mit Kurbelinduktor	312
2. Isolationsmesser mit Batterieumspanner	313
3. Teraohmmeter	314
4. Isolationsmessung durch Kondensatorentladung	315
5. Messung von Oberflächenwiderständen	316
XXIII. Elektrische Meßfühler	317
A. Widerstandsthermometer	317
1. Werkstoffe	318
2. Aufbau von Widerstandsthermometern	319
3. Fehlergrenze von Meßwiderständen	319
4. Besonderheiten der Widerstandsmessung	320
5. Die abgegliche WHEATSTONE-Brücke	321
6. Der Kompensator	322
7. Die unvollständig abgegliche WHEATSTONE-Brücke	323
8. Das Quotienteninstrument	324

	Seite
B. Thermoelemente	326
1. Werkstoffe	327
2. Fehlergrenze von Thermopaaren	328
3. Aufbau von Thermoelementen	328
4. Ausgleichsleitungen	330
5. Vergleichstemperatur	331
6. Messung der Thermospannung	332
C. Meßfühler für Luftfeuchtigkeit	334
1. Psychrometerfühler	334
2. Lithiumchloridfühler	335
D. Weitere Meßfühler	336
1. Dehnungsmeßstreifen	336
2. Piezoelektrische Druckmeßfühler	338
3. Photoelektrische Meßfühler	338
XXIV. Meßumformer	339
A. Meßumformer für elektrische Eingangsgrößen	339
1. Thermospannungs- und Widerstandsmeßumformer	339
2. Leistungsmeßumformer	342
B. Meßumformer für mechanische Eingangsgrößen	342
1. Durchflußmeßumformer	342
2. Druckmeßumformer	345
3. Niveau-Meßumformer	346
XXV. Gasanalysegeräte	347
A. Wärmeleitgeräte	348
B. Thermomagnetische Sauerstoffanalysatoren	350
C. Ultrarot-Analysatoren	352
D. Geräte mit chemischer Hilfsreaktion	354
XXVI. Digital anzeigende Meßgeräte	356
A. Allgemeines	356
B. Elektronische Zähler	358
C. Analog-Digital-Umsetzer	359
1. Zeitverschlüsselung	359
2. Stufenverschlüsselung	361
XXVII. Netzgespeiste Konstantspannungs- und -stromquellen	362
A. Magnetische Spannungskonstanthalter	362
B. Konstantspannungsquellen mit Zenerdioden	364
C. Konstantstromquellen	366
Namen- und Sachverzeichnis	368