

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Allgemeine Bestimmungen und Grundbegriffe	13
1.1 Größen und Einheiten	13
1.2 Messen und Messabweichungen	15
1.3 Unterteilung von Messgeräten	17
1.4 Empfindlichkeit und Auflösung von Messgeräten	18
1.5 Eigenabweichung und Genauigkeitsklasse	19
1.6 Einstellzeit	22
1.7 Skalen und Gehäuse von Analoganzeigern	23
1.8 Kenngrößen von Spannungen und Strömen	28
1.8.1 Arithmetischer oder linearer Mittelwert	29
1.8.2 Effektivwert	31
1.8.3 Gleichrichtwert und Formfaktor	35
2 Messung elektrischer Größen	37
2.1 Analoganzeiger für elektrische Größen	37
2.1.1 Dreheisen-Messinstrument	38
2.1.2 Drehspul-Messinstrument	40
2.1.3 Bimetall-Messinstrument	49
2.1.4 Elektrodynamisches Messinstrument	50
<i>Leistungsmessung im Drehstromnetz</i>	53
<i>Blindleistungsmessung</i>	55
2.1.5 Leistungsfaktor-Messinstrument	56
2.1.6 Frequenz-Messinstrument	58
2.1.7 Kontaktinstrumente	59
2.2 Elektronische Anzeiger	60
2.2.1 Digitale Anzeigeeinheiten	61
2.2.2 A/D-Wandler in digitalen Messinstrumenten	62
2.2.3 Elektronische Vielfachmessinstrumente	65
2.2.4 Elektronische Leistungsmessung	68
<i>Multiplizierer mit Hallgenerator</i>	68
<i>Time-Divisions-Multiplizierer</i>	69
2.2.5 Digitale Frequenzmessung	72
2.3 Messumformer für Starkstromgrößen	74
2.3.1 Ausgänge und Kennlinien von Messumformern	74
2.3.2 Messumformer für Wechselstrom und Spannung	76
2.3.3 Messumformer für Wirk- und Blindleistung	77
2.3.4 Messumformer für Leistungsfaktor	79
2.3.5 Messumformer für Netzfrequenz	79

3	Elektrizitätszähler	81
3.1	Einphasiger Induktionszähler	81
3.1.1	Aufbau und Wirkungsweise	81
3.2	Drehstromzähler	83
3.3	Messwandlerzähler	83
3.4	Gesetzliche Bestimmungen und Zählerschild	83
3.5	Blindverbrauchszähler	86
3.6	Schaltungen	86
3.6.1	Wirkverbrauchszähler	86
3.6.2	Blindverbrauchszähler	88
3.7	Sonderzähler	89
3.7.1	Mehrtarifzähler	89
3.7.2	Maximumzähler	90
	<i>Wirkungsweise</i>	90
	<i>Ablesen von Maximumzählern</i>	92
3.7.3	Überverbrauch- oder Subtraktionszähler	94
	<i>96-Stunden-Zähler</i>	94
3.7.4	Fernzähleinrichtungen	96
	<i>Impulsgeber</i>	96
	<i>Impulsempfängerzähler</i>	97
3.7.5	Lastüberwachungsanlagen	97
	<i>Wirkungsweise</i>	98
	<i>Wirtschaftlichkeitsbetrachtung</i>	99
4	Messwandler	101
4.1	Spannungswandler	101
4.1.1	Aufbau	101
4.1.2	Wirkungsweise	102
	<i>Induktive Spannungswandler</i>	102
	<i>Kapazitive Spannungswandler</i>	103
4.1.3	Hinweise für die Anwendung	103
	<i>Kurzschlussicherung</i>	103
	<i>Erdung</i>	104
	<i>Schaltungen und Auswahl der Wandler</i>	104
	<i>Auswahl der Wandler nach der Belastung der Sekundärseite</i>	104
	<i>Genauigkeitsklasse</i>	105
	<i>Auswahl nach der Genauigkeitsklasse</i>	106
	<i>Sekundärspannungen</i>	106
	<i>Leistungsschild</i>	106
4.2	Stromwandler	107
4.2.1	Aufbau	107
4.2.2	Wirkungsweise	108
4.2.3	Anwenderhinweise	108
	<i>Austausch von Messinstrumenten</i>	108
	<i>Erdung</i>	108
	<i>Schaltungen</i>	108
	<i>Auswahl aus der Sicht verschiedener Bauarten</i>	110
	<i>Niederspannungsstromwandler</i>	110
	<i>Hochspannungsstromwandler</i>	110
	<i>Auswahl nach Gesichtspunkten der Anwendung für Mess- bzw. Schutzzwecke</i>	110
	<i>Genauigkeitsklasse</i>	114
	<i>Primär- und Sekundärnennströme</i>	115
	<i>Auswahl unter dem Gesichtspunkt der Belastung</i>	115
	<i>Leistungsschild</i>	116

4.2.4	Summenstromwandler	117
	Anwendungshinweise	117
5	Elektrische Messung nichtelektrischer Größen.....	119
5.1	Einleitung.....	119
5.2	Elektrische Temperaturmessung	120
5.2.1	Widerstandstemperaturfühler	120
	Metall-Widerstandstemperaturfühler	120
	Messumformer für Widerstands-Temperaturfühler.....	122
	NTC-Temperatur-Messwiderstände	124
	PTC-Temperatur-Messwiderstände	124
	Silizium-Temperatur Sensoren	126
5.2.2	Temperaturfühler-IC.....	126
5.2.3	Thermoelektrische Temperaturfühler	127
	Thermoelemente für Temperaturmessung	128
	Messschaltungen für Thermoelemente.....	128
5.2.4	Infrarot-Temperaturmessung.....	130
	IR-Thermometer und IR-Kameras	131
	Einsatzgebiete und Einsatzgrenzen	133
5.3	Messung mechanischer Größen	133
5.3.1	Kraft-, Druck- und Drehmomentaufnehmer mit Dehnungsmessstreifen.....	134
	Prinzip und Aufbau	134
	Anwendung von Dehnungsmessstreifen	136
	Messschaltungen für Dehnungsmessstreifen.....	136
5.3.2	Piezoelektrische Kraft- und Schwingungsaufnehmer	137
5.3.3	Wegmessung	138
	Analoge Wegmessung.....	138
	Digitale Wegmessung	141
5.3.4	Druck- und Differenzdruck-Messwertaufnehmer	143
	Druckmessaufnehmer mit Rohrfedermesswerk.....	144
	Druckmessaufnehmer mit Membrankörpermesswerk.....	144
	Druckaufnehmer mit Tauchglockenmesswerk.....	145
	Silizium-Drucksensoren	146
5.3.5	Durchflussmessung und Strömungswächter	146
	Durchflussmessung nach dem Wirkdruckverfahren	147
	Kalorimetrische Strömungsmessung und Überwachung	147
	Strömungsmessung mit Schwebekörper	148
	Strömungsmessung mit Paddel oder Windfahne	149
	Strömungsmessung mit Turbinenrad.....	150
	Durchflussmessung nach dem Induktionsprinzip	151
5.3.6	Drehzahlaufnehmer und Messumformer.....	151
	Analoge Drehzahl aufnehmer.....	152
	Digitale Drehzahl aufnehmer	152
	Drehzahlmessumformer	154
	Drehzahlwächter	154
5.4	Füllstandsmessung	155
5.4.1	Niveaumesswertaufnehmer über Kraft, Druck oder Druckdifferenz.....	156
5.4.2	Niveaumesswertaufnehmer mit Verdrängungskörper	156
5.4.3	Niveaumesswertaufnehmer mit Tauchrohr	156
5.4.4	Nachlauf-Niveaumesswertgeber	157
5.4.5	Kapazitive Niveaumesswertgeber.....	157
5.4.6	Vibrations-Niveaugrenzwertgeber	158
5.4.7	Leitfähigkeits-Niveaugrenzwertgeber.....	158
5.4.8	Niveaugrenzwertgeber mit NTC- oder PTC-Widerständen.....	158

5.4.9	Berührungslose Niveaumesswert- und -grenzwertgeber	159
5.5	Näherungsinitiatoren	160
5.6	Gas- und Feuchtesensoren	162
5.7	Digitalisierung von Messwerten	163
5.7.1	Digitale Datenübertragung	163
5.7.2	Digitalisierung	164
5.7.3	Abtasttheorie	167
6	Messung des Zeitverlaufs elektrischer Größen	169
6.1	Oszilloskop	169
6.2	Elektronenstrahlröhre	170
6.3	Bedienung eines Oszilloskops im Einkanalbetrieb	173
6.3.1	Inbetriebnahme und Grundeinstellung	173
6.3.2	Vertikalablenkteil	174
6.3.3	Tast- und Teilerkopf	175
6.3.4	Horizontalablenkteil und Zeitbasis	177
6.3.5	Triggerung	178
6.4	Signalanalysen im Einkanalbetrieb	180
6.4.1	Gleichspannungsmessung	180
6.4.2	Effektivwertbestimmung	182
6.4.3	Frequenzbestimmung	183
6.4.4	Bestimmung eines Stromflusswinkels	183
6.4.5	Messungen an impulsförmigen Signalen	185
6.5	Zweikanalbetrieb	188
6.5.1	Bedienung im Zweikanalbetrieb	188
6.5.2	Messung eines Phasenwinkels	189
6.6	Differenzmessung	190
6.7	X-Y-Darstellung	191
6.8	Spezielle Zusatzfunktionen im Oszilloskop	194
6.9	Netzanalyse und EMV	195
7	Regelungstechnik	201
7.1	Steuerung und Regelung	201
7.2	Regelungstechnische Begriffe	203
7.2.1	Beispiel für eine Steuerung	204
7.2.2	Beispiel für eine Regelung	205
7.3	Regelstrecke	206
7.3.1	Das Bügeleisen als Regelstrecke	206
7.3.2	Der beheizte Raum als Regelstrecke	208
7.3.3	Der Wasserbehälter als Regelstrecke	209
7.3.4	Verzögerungsarme Regelstrecke	210
7.4	Regelung mit «schaltenden Reglern»	211
7.4.1	Zweipunktregler	211
	<i>Regelkreis mit Bimetall-Zweipunktregler</i>	<i>212</i>
	<i>Regelkreis mit thermischer Rückführung</i>	<i>213</i>
7.4.2	Regelkreis mit elektronischem Zweipunktregler	215
	<i>Wirkungsweise</i>	<i>215</i>
	<i>Operationsverstärker mit elektrischer Rückführung</i>	<i>216</i>
7.4.3	Mehrpunktregler	216
7.5	Regelung mit stetigen Reglern	218
7.5.1	Proportionalregler (P-Regler)	218
	<i>Der P-Regler als Wasserstandsregler</i>	<i>218</i>
	<i>Regelbedingungen</i>	<i>219</i>
	<i>Regelgenauigkeit</i>	<i>219</i>

	<i>Reglerkennlinie</i>	220
	<i>Sprungantwort</i>	221
	<i>Blockbild, Blockschaltbild</i>	221
	<i>Der P-Regler als Spannungsregler mit OP</i>	222
7.5.2	<i>Integralregler (I-Regler)</i>	223
	<i>Sprungantwort</i>	223
	<i>Aufbau und Wirkungsweise als Wasserstandsregler</i>	224
	<i>Regelung mit Pendelvorgang</i>	225
	<i>Der I-Regler als Spannungsregler mit OP</i>	226
7.5.3	<i>PI-Regler</i>	226
	<i>Aufbau des PI-Reglers als Wasserstandsregler</i>	226
	<i>Sprungantwort</i>	227
	<i>Regelvorgang</i>	227
	<i>Der PI-Regler als Spannungsregler mit OP</i>	228
7.5.4	<i>Differentialregler (D-Regler)</i>	228
	<i>Aufbau und Wirkungsweise als Wasserstandsregler</i>	229
	<i>Sprungantwort</i>	229
	<i>Der D-Regler als Spannungsregler mit OP</i>	230
7.5.5	<i>PD-Regler</i>	230
	<i>Aufbau und Wirkungsweise als Wasserstandsregler</i>	230
	<i>Sprungantwort</i>	230
	<i>Der PD-Regler als Spannungsregler mit OP</i>	231
7.5.6	<i>PID-Regler</i>	232
	<i>Aufbau als Wasserstandsregler</i>	232
	<i>Sprungantwort</i>	232
	<i>Der PID-Regler als Spannungsregler mit OP</i>	232
7.5.7	<i>Übersicht über Regleranwendungen</i>	233
7.5.8	<i>Übersicht über Reglersprungantworten und Blockbilder</i>	234
7.6	<i>Stellglieder</i>	234
7.6.1	<i>Auswahl</i>	234
7.6.2	<i>Zuordnung von Stellgliedern und Reglern</i>	235
7.6.3	<i>Zweipunktregler und Motorstellantrieb</i>	237
7.6.4	<i>Dreipunkt-Schrittregler</i>	238
7.7	<i>Ergänzende Regelungsbeispiele</i>	238
7.7.1	<i>Spannungsregelung eines Gleichstromgenerators</i>	238
	<i>Aufgabe</i>	238
	<i>Blockschaltbild</i>	239
	<i>Regelbedingungen</i>	239
	<i>Wirkungsweise</i>	239
7.7.2	<i>Gasdruckregelung mit pneumatischem Regler</i>	241
	<i>Aufgabe</i>	241
	<i>Blockschaltbild</i>	241
	<i>Regelbedingungen</i>	241
7.7.3	<i>Spannungsregelung mit Stelltransformator</i>	242
	<i>Aufgabe</i>	242
	<i>Blockschaltbild</i>	243
	<i>Regelbedingungen</i>	243
	<i>Wirkungsweise</i>	244
7.7.4	<i>Flüssigkeitsdurchflussregelung</i>	244
	<i>Aufgabe</i>	244
	<i>Blockschaltbild</i>	244
	<i>Regelbedingungen</i>	244
	<i>Wirkungsweise</i>	245

7.7.5	Gleichspannungsregelung mit Transistoren	246
	<i>Aufgabe</i>	246
	<i>Blockschaltbild</i>	246
	<i>Regelbedingungen</i>	246
	<i>Wirkungsweise</i>	247
7.7.6	Regelungsbeispiele	247
7.8	Reglerblockdarstellung	249
7.8.1	Reglerrückführung	249
	<i>P-Reglerrückführung</i>	249
	<i>I-Reglerrückführung</i>	249
	<i>PI-Reglerrückführung</i>	249
	<i>PD-Reglerrückführung</i>	249
	<i>PID-Reglerrückführung</i>	249
7.8.2	Regelkennlinien der stetigen Regler mit Störgrößensprung	250
7.9	Reglereinstellung	251
7.9.1	Der bezogene Proportionalbereich x_p	252
7.9.2	Nachstellzeit T_n	252
7.9.3	Vorhaltzeit T_v	253
7.9.4	Der PID-Regler mit T_n und T_v	254
7.9.5	Reglereinstellung am Wasserstandsregelmodell	254
7.9.6	Praktische Reglereinstellung	255
7.10	Digitale Regelung	256
Stichwortverzeichnis		259