

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
	Wirkungsweise	90
	Ablesen von Maximumzählern	92
3.7.3	Überverbrauch- oder Subtraktionszähler	94
	96-Stunden-Zähler	94
3.7.4	Fernzählleinrichtungen	96
	Impulsgeber	96
	Impulsempfängerzähler	97
3.7.5	Lastüberwachungsanlagen	97
	Wirkungsweise	98
	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	99
4	Messwandler	101
4.1	Spannungswandler	101
4.1.1	Aufbau	101
4.1.2	Wirkungsweise	102
	Induktive Spannungswandler	102
	Kapazitive Spannungswandler	103
4.1.3	Hinweise für die Anwendung	103
	Kurzschlussicherung	103
	Erdung	104
	Schaltungen und Auswahl der Wandler	104
	Auswahl der Wandler nach der Belastung der Sekundärseite	104
	Genauigkeitsklasse	105
	Auswahl nach der Genauigkeitsklasse	106
	Sekundärspannungen	106
	Leistungsschild	106
4.2	Stromwandler	107
4.2.1	Aufbau	107
4.2.2	Wirkungsweise	108
4.2.3	Anwenderhinweise	108
	Austausch von Messinstrumenten	108
	Erdung	108
	Schaltungen	108
	Auswahl aus der Sicht verschiedener Bauarten	110
	Niederspannungsstromwandler	110
	Hochspannungsstromwandler	110
	Auswahl nach Gesichtspunkten der Anwendung für Mess- bzw. Schutzzwecke	110
	Genauigkeitsklasse	114
	Primär- und Sekundärnennströme	115
	Auswahl unter dem Gesichtspunkt der Belastung	115
	Leistungsschild	116

4.2.4	Summenstromwandler	117
	<i>Anwendungshinweise</i>	117
5	Elektrische Messung nichtelektrischer Größen.....	119
5.1	Einleitung	119
5.2	Elektrische Temperaturmessung	120
5.2.1	Widerstandstemperaturfühler	120
	<i>Metall-Widerstandstemperaturfühler.....</i>	120
	<i>Messumformer für Widerstands-Temperaturfühler.....</i>	122
	<i>NTC-Temperatur-Messwiderstände</i>	124
	<i>PTC-Temperatur-Messwiderstände</i>	124
	<i>Silizium-Temperatursensoren</i>	126
5.2.2	Temperaturfühler-IC.....	126
5.2.3	Thermoelektrische Temperaturfühler.....	127
	<i>Thermoelemente für Temperaturmessung</i>	128
	<i>Messschaltungen für Thermoelemente</i>	128
5.2.4	Infrarot-Temperaturmessung.....	130
	<i>IR-Thermometer und IR-Kameras</i>	131
	<i>Einsatzgebiete und Einsatzgrenzen</i>	133
5.3	Messung mechanischer Größen	133
5.3.1	Kraft-, Druck- und Drehmomentaufnehmer mit Dehnungsmessstreifen.....	134
	<i>Prinzip und Aufbau</i>	134
	<i>Anwendung von Dehnungsmessstreifen</i>	136
	<i>Messschaltungen für Dehnungsmessstreifen</i>	136
5.3.2	Piezoelektrische Kraft- und Schwingungsaufnehmer	137
5.3.3	Wegmessung	138
	<i>Analoge Wegmessung</i>	138
	<i>Digitale Wegmessung</i>	141
5.3.4	Druck- und Differenzdruck-Messwertaufnehmer	143
	<i>Druckmessaufnehmer mit Rohrfedermesswerk</i>	144
	<i>Druckmessaufnehmer mit Membrankörpermesswerk</i>	144
	<i>Druckaufnehmer mit Tauchglockenmesswerk</i>	145
	<i>Silizium-Drucksensoren</i>	146
5.3.5	Durchflussmessung und Strömungswächter	146
	<i>Durchflussmessung nach dem Wirkdruckverfahren</i>	147
	<i>Kalorimetrische Strömungsmessung und Überwachung</i>	147
	<i>Strömungsmessung mit Schwebekörper</i>	148
	<i>Strömungsmessung mit Paddel oder Windfahne</i>	149
	<i>Strömungsmessung mit Turbinenrad</i>	150
	<i>Durchflussmessung nach dem Induktionsprinzip</i>	151
5.3.6	Drehzahlaufnehmer und Messumformer	151
	<i>Analoge Drehzahllaufnehmer</i>	152
	<i>Digitale Drehzahllaufnehmer</i>	152
	<i>Drehzahlmessumformer</i>	154
	<i>Drehzahlwächter</i>	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
	Regelkreis mit Bimetall-Zweipunktregler	212
	Regelkreis mit thermischer Rückführung	213
7.4.2	Regelkreis mit elektronischem Zweipunktregler	215
	Wirkungsweise	215
	Operationsverstärker mit elektrischer Rückführung	216
7.4.3	Mehrpunktregler	216
7.5	Regelung mit stetigen Reglern	218
7.5.1	Proportionalregler (P-Regler)	218
	Der P-Regler als Wasserstandsregler	218
	Regelbedingungen	219
	Regelgenauigkeit	219

<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 Übersicht über Regleranwendungen	233
7.5.8 Übersicht über Reglersprungantworten und Blockbilder	234
7.6 Stellglieder	234
7.6.1 Auswahl	234
7.6.2 Zuordnung von Stellgliedern und Reglern	235
7.6.3 Zweipunktregler und Motorstellantrieb	237
7.6.4 Dreipunkt-Schrittregler	238
7.7 Ergänzende Regelungsbeispiele	238
7.7.1 Spannungsregelung eines Gleichstromgenerators	238
<i>Aufgabe</i>	238
<i>Blockschaltbild</i>	239
<i>Regelbedingungen</i>	239
<i>Wirkungsweise</i>	239
7.7.2 Gasdruckregelung mit pneumatischem Regler	241
<i>Aufgabe</i>	241
<i>Blockschaltbild</i>	241
<i>Regelbedingungen</i>	241
7.7.3 Spannungsregelung mit Stelltransformator	242
<i>Aufgabe</i>	242
<i>Blockschaltbild</i>	243
<i>Regelbedingungen</i>	243
<i>Wirkungsweise</i>	244
7.7.4 Flüssigkeitsdurchflussregelung	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