

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeine Grundlagen	1
1.1	Aufgaben der Messtechnik	1
1.2	Normen und Begriffe	2
1.2.1	Normen und Vorschriften	2
1.2.2	Begriffsdefinitionen	4
1.2.3	Messtechnische Tätigkeiten	5
1.2.4	Messmethoden	6
1.3	Einheiten und Normale	7
1.3.1	Maßsysteme	8
1.3.2	Das Einheitensystem SI	9
1.3.3	Darstellung der Einheiten	11
1.3.4	Normale und Kalibrierkette	15
2	Messabweichung und Messunsicherheit	19
2.1	Arten von Messabweichungen	19
2.2	Systematische Messabweichungen	21
2.2.1	Bekannte und unbekannte systematische Abweichungen	22
2.2.2	Fortpflanzung systematischer Messabweichungen	22
2.3	Zufällige Messabweichungen	24
2.3.1	Beschreibung statistischer Größen	24
2.3.2	Stichprobe einer Messgröße	28
2.3.3	Fortpflanzung zufälliger Abweichungen	30
2.4	Messunsicherheit und vollständiges Messergebnis	33
2.5	Aufgaben zur Toleranz, Messunsicherheit und Fehlerfortpflanzung	36
3	Eigenschaften elektrischer Messgeräte	39
3.1	Statisches Verhalten	40
3.2	Dynamisches Verhalten	42
3.2.1	Beschreibung dynamischer Systeme	43
3.2.2	Messsystem 1. Ordnung	46
3.2.3	Messsystem 2. Ordnung	50
3.2.4	Mehrgliedrige, lineare Systeme	53

3.3	Angaben zur Genauigkeit elektrischer Messgeräte	56
3.3.1	Fehlergrenze und Grenzwerte der Messabweichungen	57
3.3.2	Angabe der Fehlergrenzen	59
3.4	Aufgaben zu statischen und dynamischen Eigenschaften von Messgeräten	60
4	Elektromechanische und digitale Messgeräte	63
4.1	Elektromechanische Messgeräte	63
4.1.1	Drehspulmesswerk	64
4.1.2	Dreheisenmesswerk	67
4.1.3	Elektrodynamisches Messwerk	69
4.1.4	Weitere elektromechanische Messwerke	71
4.1.5	Symbole für direkt wirkende, elektrische Messgeräte	72
4.2	Digitale Messgeräte	73
4.2.1	Abtastung und Quantisierung	73
4.2.2	Digitalvoltmeter und allgemeines digitales Messgerät	75
5	Messung von Strom und Spannung	79
5.1	Gleichstrom- und Gleichspannungsmessung	79
5.1.1	Grundsaltungen	79
5.1.2	Messbereichserweiterung	82
5.1.3	Überlastschutz	87
5.2	Wechselstrom- und Wechselspannungsmessung	92
5.2.1	Beschreibung periodisch zeitabhängiger Größen	92
5.2.2	Messgleichrichter	94
5.2.3	Effektivwertmessung	98
5.2.4	Messwandler	103
5.3	Stromzangen	108
5.3.1	Übertragerstromzangen	108
5.3.2	Hallelement-Stromzangen	110
5.4	Multimeter	112
5.5	Aufgaben zu Strom- und Spannungsmessung	115
6	Messung von ohmschen Widerständen und Impedanzmessung	119
6.1	Ohmsche Widerstandsmessung	119
6.1.1	Strom- und Spannungsmessung	120
6.1.2	Verwendung einer Konstantstromquelle	123
6.1.3	Abgleich-Widerstandsmessbrücken	126
6.1.4	Ausschlag-Widerstandsmessbrücken	129
6.2	Impedanzmessung	136
6.2.1	Beschreibung realer passiver Bauelemente	136
6.2.2	Strom- und Spannungsmessung	139
6.2.3	Messung von Strom, Spannung und Phasenwinkel	141

6.2.4	Wechselspannungs-Messbrücken	146
6.2.5	Resonanzverfahren	151
6.2.6	Messungen an Verbrauchern im Wechselstromnetz	154
6.3	Aufgaben zur Widerstands- und Impedanzmessung	155
7	Leistungs- und Energiemessung	159
7.1	Leistungsbegriffe und Dreiphasensystem	159
7.1.1	Leistung im Gleichstromkreis	159
7.1.2	Leistungen im allgemeinen Wechselstromkreis	160
7.1.3	Leistungen bei sinusförmiger Spannung und sinusförmigem Strom	161
7.1.4	Leistungen bei sinusförmiger Spannung und nichtsinusförmigem Strom	162
7.1.5	Symmetrisches Dreiphasensystem	166
7.2	Elektrodynamischer Leistungsmesser	169
7.2.1	Leistungsmessung im Gleichstromkreis	170
7.2.2	Leistungsmessung im Wechselstromkreis	171
7.2.3	Leistungsmessung im Drehstromsystem	174
7.3	Digitale Leistungsmesser	179
7.3.1	Aufbau eines digitalen Leistungsmessers	179
7.3.2	Messungen in Wechselstrom- und Drehstromsystemen	180
7.4	Elektronische Leistungsmesser	183
7.4.1	Analogmultiplizierende Leistungsmesser und TDM	183
7.4.2	Leistungsmesser mit Hall-Sensoren	185
7.5	Leistungsanalysatoren	186
7.6	Messung der elektrischen Energie	188
7.6.1	Induktionszähler	189
7.6.2	Elektronische Elektrizitätszähler	190
7.6.3	Smart Meter	193
7.7	Aufgaben zur Leistungsmessung	194
8	Oszilloskope	199
8.1	Analoges Elektronenstrahloszilloskop	199
8.1.1	Elektronenstrahlröhre	200
8.1.2	Baugruppen des Elektronenstrahloszilloskops	202
8.1.3	Analoges Speicheroszilloskop und Sampling-Oszilloskop	207
8.2	Digitaloszilloskop	208
8.2.1	Aufbau und Funktion	209
8.2.2	Spezielle Betriebsarten von Digitaloszilloskopen	213
8.3	Messanwendungen	215
8.4	Tastköpfe	218
8.4.1	Passiver Spannungs-Tastkopf	220
8.4.2	Weitere Tastköpfe	225

9	Zeit- und Frequenzmessung	227
9.1	Gatter, Speicher und Zähler	228
9.1.1	Logische Verknüpfungen und Gatter	229
9.1.2	Speicherelemente	231
9.1.3	Zähler	235
9.2	Digitale Zeitmessung	238
9.2.1	Messung eines Zeitintervalls	238
9.2.2	Messung der Periodendauer	240
9.2.3	Der Zeitsignalsender DCF 77	241
9.3	Digitale Frequenzmessung	243
9.3.1	Direkte Zählung	243
9.3.2	Umkehrverfahren	246
9.3.3	Verhältniszählverfahren	247
9.4	Universalzähler	249
9.5	Analoge Zeit- und Frequenzmessung	250
9.6	Aufgaben zur Zeit- und Frequenzmessung	252
10	Spektrumanalyse	255
10.1	Grundlagen der Spektrumanalyse	255
10.1.1	Fourier-Reihe	255
10.1.2	Fourier-Transformation	258
10.1.3	Darstellung des Spektrums	260
10.2	Selektive Signalmessung	262
10.2.1	Festfrequenz-Analysatoren	262
10.2.2	Analysatoren mit abstimmbarem Filter	264
10.3	Eigenschaften von Spektrumanalysatoren	268
10.4	Netzwerkanalyse	272
10.5	FFT-Analysatoren	274
10.6	Aufgaben zur Spektrumanalyse	281
11	Lösungen zu den Aufgaben	283
11.1	Aufgaben zur Toleranz, Messunsicherheit und Fehlerfortpflanzung	283
11.2	Aufgaben zu statischen und dynamischen Eigenschaften von Messgeräten	284
11.3	Aufgaben zu Strom- und Spannungsmessung	286
11.4	Aufgaben zur Widerstands- und Impedanzmessung	288
11.5	Aufgaben zur Leistungsmessung	291
11.6	Aufgaben zur Zeit- und Frequenzmessung	293
11.7	Aufgaben zur Spektrumanalyse	295
	Literatur	299
	Sachverzeichnis	301