

Rainer Felderhoff † • Ulrich Freyer

# Elektrische und elektronische Messtechnik

Grundlagen, Verfahren, Geräte und Systeme

8., aktualisierte Auflage

mit 436 Bildern sowie zahlreichen Beispielen,  
Übungen und Testaufgaben

HANSER

# Inhalt

## 1 Messtechnische Grundlagen

1.1 Aufgabenstellung der Messtechnik	15
1.1.0 Kompetenzen	15
1.1.1 Grundbegriffe	15
1.1.2 Funktionsweise	16
Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 1.1	18
1.2 Messgrößenerfassung	18
1.2.0 Kompetenzen	18
1.2.1 Erfassung elektrischer Messgrößen	19
1.2.2 Erfassung nichtelektrischer Messgrößen	21
Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 1.2	21
1.3 Messwertarten	21
1.3.0 Kompetenzen	21
1.3.1 Zeitfunktionen und Frequenzfunktionen	21
1.3.2 Gleichgrößen und Wechselgrößen	26
Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 1.3	31
1.4 Messwertdarstellung	31
1.4.0 Kompetenzen	31
1.4.1 Analoge Darstellung	31
1.4.2 Digitale Darstellung	33
1.4.3 Anzeige und Speicherung	34
Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 1.4	36
1.5 Messaufbau	36
1.5.0 Kompetenzen	36
1.5.1 Strukturen	36
1.5.2 Schnittstellen und Anpassung	38
1.5.3 Messwertübertragung	42
Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 1.5	43
1.6 Empfindlichkeit	44
1.6.0 Kompetenzen	44
1.6.1 Begriffsbestimmungen	44
1.6.2 Empfindlichkeit analoger Messeinrichtungen	45
1.6.3 Empfindlichkeit digitaler Messeinrichtungen	46
Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 1.6	47
1.7 Messfehler und Messunsicherheit	47
1.7.0 Kompetenzen	47
1.7.1 Begriffsbestimmungen	47
1.7.2 Fehlerquellen	48
1.7.3 Fehlerarten	50
1.7.4 Fehlerfortpflanzung	54
1.7.5 Messunsicherheit	55
Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 1.7	58
1.8 Pegel	59

1.8.0 Kompetenzen	59
1.8.1 Begriffsbestimmungen	59
1.8.2 Pegelarten	68
1.8.3 Pegelrechnung	72
Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 1.8	74
1.9 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	76
1.9.0 Kompetenzen	76
1.9.1 Begriffsbestimmungen	76
1.9.2 Effekte durch galvanische Kopplung	78
1.9.3 Effekte durch kapazitive Kopplung	78
1.9.4 Effekte durch induktive Kopplung	79
1.9.5 Effekte durch Strahlungskopplung	80
Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 1.9	83
<b>2 Messung elektrischer Größen</b>	
2.1 Spannungsmessung	84
2.1.0 Kompetenzen	84
2.1.1 Aufgabenstellung	84
2.1.2 Gleichspannungsmessung	87
2.1.3 Wechselspannungsmessung bei Netzfrequenz	96
2.1.4 Wechselspannungsmessung bei Niederfrequenz	99
2.1.5 Wechselspannungsmessung bei Hochfrequenz	102
Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 2.1	105
2.2 Strommessung	106
2.2.0 Kompetenzen	106
2.2.1 Aufgabenstellung	106
2.2.2 Gleichstrommessung	108
2.2.3 Wechselstrommessung	109
Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 2.2	111
2.3 Leistungsmessung	111
2.3.0 Kompetenzen	111
2.3.1 Aufgabenstellung	111
2.3.2 Leistungsmessung bei Gleichspannung	113
2.3.3 Leistungsmessung bei Wechselspannung mit Netzfrequenz	118
2.3.3.1 Wirkleistungsmessung im Einphasennetz	118
2.3.3.2 Wirkleistungsmessung im Drehstromnetz	120
2.3.3.3 Blindleistungsmessung im Einphasennetz	124
2.3.3.4 Blindleistungsmessung im Drehstromnetz	125
2.3.4 Leistungsmessung bei Wechselspannung im Niederfrequenzbereich	126
2.3.5 Leistungsmessung bei Wechselspannung im Hochfrequenzbereich	128
Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 2.3	131
2.4 Arbeitsmessung	132
2.4.0 Kompetenzen	132
2.4.1 Aufgabenstellung	132
2.4.2 Arbeitsmessung bei Gleichspannung	133
2.4.3 Arbeitsmessung bei Wechselspannung	133
2.4.3.1 Messung der Wirkarbeit	133
2.4.3.2 Messung der Blindarbeit	137
Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 2.4	137
2.5 Leistungsfaktor- und Phasenwinkelmessung	138
2.5.0 Kompetenzen	138

2.5.1	Aufgabenstellung	138
2.5.2	Leistungsfaktormessung bei Netzfrequenz	139
2.5.3	Phasenwinkelmessung bei Niederfrequenz	141
2.5.4	Phasenwinkelmessung bei Hochfrequenz	143
	Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 2.5	144
2.6	Frequenz- und Zeitmessung	144
2.6.0	Kompetenzen	144
2.6.1	Aufgabenstellung	144
2.6.2	Frequenz- und Zeitmessung bei Netzfrequenz	147
2.6.3	Frequenz- und Zeitmessung bei Niederfrequenz	148
2.6.4	Frequenz- und Zeitmessung bei Hochfrequenz	149
	Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 2.6	150
2.7	Wirkwiderstandsmessung	150
2.7.0	Kompetenzen	150
2.7.1	Messkonzepte	150
2.7.2	Messung sehr kleiner Wirkwiderstände	157
2.7.3	Messung sehr großer Wirkwiderstände	159
	Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 2.7	160
2.8	Schein- und Blindwiderstandsmessung	160
2.8.0	Kompetenzen	160
2.8.1	Aufgabenstellung	160
2.8.2	Messung kapazitiver Blindwiderstände	166
2.8.3	Messung induktiver Blindwiderstände	170
	Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 2.8	171
2.9	Verstärkungs- und Dämpfungsmessung	172
2.9.0	Kompetenzen	172
2.9.1	Aufgabenstellung	172
2.9.2	Verstärkungsmessung	174
2.9.3	Dämpfungsmessung	175
	Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 2.9	176
2.10	Rauschsignalmessung	177
2.10.0	Kompetenzen	177
2.10.1	Aufgabenstellung	177
2.10.2	Messkonzepte	181
	Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 2.10	183
2.11	Bitfehlerraten- und Jittermessung	183
2.11.0	Kompetenzen	183
2.11.1	Aufgabenstellung	183
2.11.2	Bitfehlerratenmessung	185
2.11.3	Jittermessung	186
	Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 2.11	187
2.12	Feldstärkemessung	187
2.12.0	Kompetenzen	187
2.12.1	Aufgabenstellung	187
2.12.2	Messung der elektrischen Feldstärke	191
2.12.3	Messung der magnetischen Feldstärke	193
	Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 2.12	194
<b>3</b>	<b>Multimeter</b>	
3.0	Kompetenzen	195
3.1	Aufgabenstellung	195

3.2 Funktionskonzept . . . . .	196
3.3 Arten und Kenngrößen . . . . .	199
3.3.1 Analoge Multimeter . . . . .	199
3.3.2 Digitale Multimeter . . . . .	201
Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 3 . . . . .	205
<b>4 Oszilloskope</b>	
4.0 Kompetenzen . . . . .	206
4.1 Aufgabenstellung . . . . .	206
4.2 Funktionskonzept . . . . .	207
4.3 Arten und Kenngrößen . . . . .	217
4.3.1 Einstrahl-Einkanalszilloskop . . . . .	217
4.3.2 Einstrahl-Zweikanalszilloskop . . . . .	217
4.3.3 Zweistrahloszilloskop . . . . .	219
4.3.4 Analog-Speicheroszilloskop . . . . .	220
4.3.5 Digital-Speicheroszilloskop . . . . .	221
Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 4 . . . . .	223
<b>5 Analysatoren</b>	
5.0 Kompetenzen . . . . .	224
5.1 Aufgabenstellung . . . . .	224
5.2 Funktionskonzept . . . . .	224
5.3 Arten und Kenngrößen . . . . .	227
5.3.1 Spektrumanalysator . . . . .	227
5.3.2 Logikanalysator . . . . .	233
Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 5 . . . . .	236
<b>6 Signalgeneratoren</b>	
6.0 Kompetenzen . . . . .	238
6.1 Aufgabenstellung . . . . .	238
6.2 Funktionskonzept . . . . .	239
6.3 Arten und Kenngrößen . . . . .	243
6.3.1 Sinusgenerator . . . . .	243
6.3.2 Funktionsgenerator . . . . .	249
Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 6 . . . . .	250
<b>7 Zähler</b>	
7.0 Kompetenzen . . . . .	252
7.1 Aufgabenstellung . . . . .	252
7.2 Funktionskonzept . . . . .	252
7.3 Arten und Kenngrößen . . . . .	254
Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 7 . . . . .	258
<b>8 Messverstärker</b>	
8.0 Kompetenzen . . . . .	259
8.1 Aufgabenstellung . . . . .	259
8.2 Funktionskonzept . . . . .	260
8.3 Arten und Kenngrößen . . . . .	260
Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 8 . . . . .	262
<b>9 Stromversorgungseinheiten</b>	
9.0 Kompetenzen . . . . .	263

9.1 Aufgabenstellung . . . . .	263
9.2 Funktionskonzept . . . . .	263
9.3 Arten und Kenngrößen . . . . .	265
Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 9 . . . . .	267
<b>10 Umsetzer und Wandler</b>	
10.0 Kompetenzen . . . . .	268
10.1 Aufgabenstellung . . . . .	268
10.2 Analog-Digital-Umsetzer (ADU) . . . . .	269
10.3 Digital-Analog-Umsetzer (DAU) . . . . .	273
10.4 Spannungs-Frequenz-Wandler . . . . .	275
10.5 Frequenz-Spannungs-Wandler . . . . .	276
10.6 Spannungswandler . . . . .	277
10.7 Stromwandler . . . . .	278
Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 10 . . . . .	278
<b>11 Messungen an Komponenten und Bauelementen</b>	
11.0 Kompetenzen . . . . .	279
11.1 Aufgabenstellung . . . . .	279
11.2 Messungen an Widerständen, Kondensatoren und Spulen . . . . .	280
11.3 Messungen an Dioden . . . . .	281
11.4 Messungen an aktiven Bauelementen . . . . .	282
11.5 Messungen an Leitungen/Kabeln . . . . .	284
11.6 Messungen an Werkstoffen . . . . .	286
Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 11 . . . . .	287
<b>12 Messungen an Geräten und Baugruppen</b>	
12.0 Kompetenzen . . . . .	288
12.1 Aufgabenstellung . . . . .	288
12.2 Messungen an Zweipolen . . . . .	288
12.3 Messungen an Vierpolen . . . . .	289
12.4 Messungen an Verstärkern . . . . .	293
12.5 Messungen an Signalquellen . . . . .	295
12.6 Messungen an Sendern . . . . .	297
12.7 Messungen an Empfängern . . . . .	300
Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 12 . . . . .	306
<b>13 Messungen an Übertragungsstrecken</b>	
13.0 Kompetenzen . . . . .	307
13.1 Aufgabenstellung . . . . .	307
13.2 Messungen an Kabelstrecken . . . . .	308
13.2.1 Messung des Wellenwiderstandes . . . . .	308
13.2.2 Messung des Dämpfungsfaktors . . . . .	308
13.2.3 Messung der Übertragungsbandbreite . . . . .	309
13.2.4 Messung des Reflexionsfaktors . . . . .	310
13.3 Messungen an Funkstrecken . . . . .	312
13.3.1 Messung der Strahlungsleistung . . . . .	312
13.3.2 Messung des Strahlungsdiagramms . . . . .	313
13.3.3 Messung der Empfangsfeldstärke . . . . .	314
Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 13 . . . . .	314

**14 Messung nichtelektrischer Größen**

14.0 Kompetenzen	315
14.1 Aufgabenstellung	315
14.2 Drehzahlmessung	315
14.3 Wegmessung	318
14.4 Geschwindigkeitsmessung	323
14.5 Temperaturmessung	324
Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 14	327

**15 Rechnergestützte Mess-Systeme**

15.0 Kompetenzen	328
15.1 Aufgabenstellung	328
15.2 OSI-Schichtenmodell	331
15.3 Konzept	337
15.4 Hardware für Mess-Systeme	346
15.4.1 Messgrößenaufnehmer	346
15.4.2 Rechner	352
15.4.3 Schnittstellen	354
15.5 Software für Mess-Systeme	356
15.5.1 Betriebssystem	356
15.5.2 Treiber	357
15.5.3 Anwendungen	357
15.5.4 Virtuelle Messgeräte	359
15.6 Bus-Systeme	359
15.6.0 Einführung	359
15.6.1 IEC-Bus	360
15.6.2 Feldbus	368
15.7 Anwendungen	370
15.7.1 Laboreinsätze	370
15.7.2 Fertigungsprozesse	372
Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 15	374

<b>Lösungen</b>	375
-----------------	-----

<b>Literaturverzeichnis</b>	404
-----------------------------	-----

<b>Sachwortverzeichnis</b>	405
----------------------------	-----