

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 Messwertearten | 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 Messwertendarstellung | 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 |
| 2 Messung elektrischer Größen | 84 |
| 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 |
| 3 Multimeter | |
| 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 |
| 4 Oszilloskope | |
| 4.0 Kompetenzen | 206 |
| 4.1 Aufgabenstellung | 206 |
| 4.2 Funktionskonzept | 207 |
| 4.3 Arten und Kenngrößen | 217 |
| 4.3.1 Einstrahl-Einkanaloszilloskop | 217 |
| 4.3.2 Einstrahl-Zweikanaloszilloskop | 217 |
| 4.3.3 Zweistrahloszilloskop | 219 |
| 4.3.4 Analog-Speicheroszilloskop | 220 |
| 4.3.5 Digital-Speicheroszilloskop | 221 |
| Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 4 | 223 |
| 5 Analysatoren | |
| 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 |
| 6 Signalgeneratoren | |
| 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 |
| 7 Zähler | |
| 7.0 Kompetenzen | 252 |
| 7.1 Aufgabenstellung | 252 |
| 7.2 Funktionskonzept | 252 |
| 7.3 Arten und Kenngrößen | 254 |
| Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 7 | 258 |
| 8 Messverstärker | |
| 8.0 Kompetenzen | 259 |
| 8.1 Aufgabenstellung | 259 |
| 8.2 Funktionskonzept | 260 |
| 8.3 Arten und Kenngrößen | 260 |
| Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 8 | 262 |
| 9 Stromversorgungseinheiten | |
| 9.0 Kompetenzen | 263 |

| | |
|--|-----|
| 9.1 Aufgabenstellung | 263 |
| 9.2 Funktionskonzept | 263 |
| 9.3 Arten und Kenngrößen | 265 |
| Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 9 | 267 |
| 10 Umsetzer und Wandler | |
| 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 |
| 11 Messungen an Komponenten und Bauelementen | |
| 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 |
| 12 Messungen an Geräten und Baugruppen | |
| 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 |
| 13 Messungen an Übertragungsstrecken | |
| 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 |
| Lösungen | 375 |
| Literaturverzeichnis | 404 |
| Sachwortverzeichnis | 405 |