

Inhaltsverzeichnis

Über den Autor	11
Danksagung.....	11
Einleitung	23
Über dieses Buch.....	24
Konventionen in diesem Buch.....	25
Was Sie nicht lesen müssen.....	25
Törichte Annahmen über den Leser.....	25
Wie dieses Buch aufgebaut ist.....	26
Teil I: Einführung, Messmethoden und Messgeräte – Sie lernen die Grundlage.....	26
Teil II: Messabweichungen – perfekt genau messen geht nicht.....	27
Teil III: Messung zeitlich konstanter elektrischer Signale – Sie messen Strom, Spannung, Widerstand, Leistung.....	28
Teil IV: Messung zeitlich veränderlicher (sinusförmiger) Größen.....	28
Teil V: Der Top-Ten-Teil.....	29
Symbole, die in diesem Buch verwendet werden.....	29
Wie es weitergeht.....	30
TEIL I	
EINFÜHRUNG, MESSMETHODEN UND MESSGERÄTE – SIE LERNEN DIE GRUNDLAGEN	31
Kapitel 1	
Motivation und Einführung – warum hilft messen?	33
Aufgabe der Messtechnik.....	35
Das SI-Basissystem der Einheiten und einige Vorsätze vor Einheiten.....	36
Begriffsdefinitionen: Was ist denn messen?.....	39
Kapitel 2	
Messmethoden nach DIN 1319-2 – Normen helfen	41
Direkte Messmethode.....	41
Indirekte Messmethode.....	41
Ausschlags-Messmethode.....	43
Differenz-Messmethode.....	44
Nullabgleich-Messmethode (auch: Kompensations-Messmethode).....	45
Analoge Messmethode.....	46
Digitale Messmethode.....	47
Anwendungen (Beispiele) aus der Elektrotechnik.....	47
Abgleichbrücke als Nullabgleich-Messmethode.....	47
Differenz-Messmethode: Ausschlagbrücke.....	50

Kapitel 3	
Messprozess und Auswertung sowie Darstellung von Messergebnissen	53
Messen besteht aus einer Vielzahl von Aufgaben – Sie haben einen Messprozess.....	54
Auswertung von Messergebnissen.....	55
Kennlinie.....	56
Linearisierung von Messsignalen: Empfindlichkeit und Offset.....	57
Beispiel eines möglichen Sensordatenblatts.....	61
Grafische Darstellung von Messergebnissen.....	62

Kapitel 4	
Eigenschaften von Messgeräten	65
Statische Eigenschaften.....	65
Dynamische Eigenschaften.....	67
Verhalten und Empfehlung.....	72

Kapitel 5	
Grundlegende Funktionsweise von zwei Messgerätearten	73
Funktionsweise des digitalen Multimeters – (fast) ein Alleskönner.....	73
Messung von Gleichspannung.....	74
Messung des Stroms.....	75
Messung des Widerstands.....	76
Messung von Wechselspannungen.....	76
Funktionsweise des analogen Drehspulinstruments – ein Urgestein unter den Messgeräten.....	77
Temperaturabhängigkeit der Spule.....	79
Messung der Gleichspannung.....	80
Messung von Wechselgrößen.....	80

TEIL II	
MESSABWEICHUNGEN – PERFEKT GENAU MESSEN GEHT NICHT	81

Kapitel 6	
Voraussetzungen, Festlegungen, Messabweichung und Auflösung	83
Voraussetzungen für eine genaue Messung mit einem Messgerät.....	84
Definitionen – wir sollten uns einigen.....	84
Allgemeine Festlegungen der verwendeten Werte.....	85

Definition der Messabweichung	86
Definition der Auflösung des Messgeräts	88

Kapitel 7

Systematische Messabweichungen: Messgerät und Messaufbau sind nicht perfekt

89

Die systematische Messabweichung von Messgeräten	91
Messabweichung eines digitalen Messgeräts	92
Die systematische Messabweichung des Messaufbaus	96
Fortpflanzung systematischer Messabweichungen – auch Fehler vermehren sich	98
Vereinfachtes Vorgehen bei Produkten und Quotienten – man darf es sich auch leichter machen	101
Es geht noch leicht weiter: vereinfachtes Vorgehen bei Summen und Differenzen	103
Einfach geht nicht immer: der allgemeine Fall an einem Beispiel	106

Kapitel 8

Zufällige Messabweichungen: »Würfel« abschätzen

109

Zur Wiederholung: das Wichtigste aus der Wahrscheinlichkeitsrechnung	111
Wesentliche Eigenschaften der Wahrscheinlichkeit	111
Relative und absolute Häufigkeit	111
Verteilungsfunktion und Wahrscheinlichkeitsdichte	114
Die gaußsche Wahrscheinlichkeitsdichte (Normalverteilung) und der zentrale Grenzwertsatz	116
Der Erwartungswert und Momente	119
Zentrale Momente, Varianz und Standardabweichung	120
Sie messen nicht unendlich oft: Mittelwert und Standardabweichung einer Stichprobe	121
Fehlerfortpflanzung von zufälligen Messabweichungen – auch diese vermehren sich	123
Vertrauensbereich des Mittelwerts, Student-t-Verteilung und erweiterte Toleranzangabe bei Stichprobenmessungen	127
Vertrauensbereich für den Mittelwert	128
»Korrekturfaktor« auf Basis der Student-t-Verteilung	131
Vollständige Angabe eines zufälligen (statistischen) Messwerts	135
Ausreißer-Bestimmung: grobe Abweichungen, die getrost weggelassen werden können	138
Vorgehen bei systematischen und zufälligen Messabweichungen	139
Ein Beispiel mit allem drin	140

TEIL III

MESSUNG ZEITLICH KONSTANTER ELEKTRISCHER SIGNALE – SIE MESSEN STROM, SPANNUNG, WIDERSTAND, LEISTUNG 147

Kapitel 9

Messung der Gleichspannung..... 149

Eigenschaften anhand der Spannungsmessung einer Spannungsquelle – wir starten einfach.....	149
Qualitative Betrachtung und Merkregel zur Spannungsmessung.....	150
Genauigkeitsuntersuchung zur Spannungsmessung – Sie möchten präzise messen.....	152
Gleichspannungsmessung an einem Widerstand – jetzt messen Sie wirklich an einem Widerstand.....	154
Äquivalente Schaltungsumwandlung – Umwandlung macht das Leben leichter.....	155
Genauigkeitsbetrachtung der Spannungsmessung an einem Widerstand.....	157
Messbereichserweiterung der Spannungsmessung.....	158

Kapitel 10

Messung des Gleichstroms..... 163

Eigenschaften anhand der Strommessung mit einer Spannungsquelle – wir starten wieder einfach.....	163
Qualitative Betrachtung und Merkregel zur Strommessung.....	164
Genauigkeitsuntersuchung zur Strommessung – so messen Sie präzise.....	165
Messbereichserweiterung der Strommessung.....	168

Kapitel 11

Messung des elektrischen Widerstands und der elektrischen Leistung..... 175

Messung des Widerstands direkt mit einem Digitalmultimeter – und schnell.....	176
Widerstandsmessung durch gleichzeitiges Messen von Strom und Spannung – wenn's präzise sein soll.....	176
Stromrichtige Schaltung.....	176
Spannungsrichtige Schaltung.....	179
Auswahlregel für die zwei Messverfahren.....	183
Messung der elektrischen Leistung; wieder durch gleichzeitige Strom- und Spannungsmessung.....	184
Messung von Widerständen mit der Wheatstone-Brücke – genauer wird's nicht.....	186
Abgleichbrücke.....	187
Ausschlagbrücke zur Messung kleiner Widerstände ΔR	190
Genauigkeit der Wheatstone-Brücke – das Voltmeter hat doch einen kleinen Einfluss.....	197

TEIL IV
MESSUNG ZEITLICH VERÄNDERLICHER
(SINUSFÖRMIGER) GRÖßEN..... 205

Kapitel 12
Grundbegriffe, damit wir uns richtig verstehen..... 207

- Amplitude (Scheitelwert) und Periodendauer..... 208
- Arithmetischer Mittelwert..... 209
- Gleichrichtwert..... 209
- Effektivwert..... 211
- Darstellung und Zusammenfassung der wichtigen Kenngrößen..... 212

Kapitel 13
Das Oszilloskop – Sie können zeitlich veränderliche
Größen darstellen und messen..... 215

- Wesentliche Baugruppen eines modernen Oszilloskops..... 215
 - Die Vertikalbaugruppe..... 216
 - Die Horizontalbaugruppe..... 216
 - Die Triggerbaugruppe – Sie brauchen ein stehendes Bild..... 217
 - Anzeigebaugruppe – So lesen Sie richtig ab..... 218
- Verstärkungseigenschaften – auch Signale brauchen Verstärkung..... 220
 - Ersatzschaltbild der Oszilloskop-Eingangsklemme..... 220
 - Verstärkungsbandbreite und Tastkopf: Sie teilen die Signale
 frequenzunabhängig..... 221
- Genauigkeit eines Oszilloskops: nothing is perfect..... 231

Kapitel 14
Messung der Signalform, Frequenz und
Wechselspannungsleistung mit dem Oszilloskop..... 233

- Messung der Signalform, Frequenz, Amplitude und Effektivwert mit
 dem Oszilloskop..... 233
- Leistungsmessung von Wechselspannungen mit dem Oszilloskop..... 235
 - Grundbegriffe: Wirk-, Blind- und Scheinleistung – was ist das?..... 235
 - Leistungsmessung mit dem Oszilloskop..... 241

Kapitel 15
Bestimmung von Wirk- und Blindwiderstand
(Impedanz)..... 247

- Grundbegriffe von Wirk- und Blindwiderstand (Impedanz)..... 247
 - Seriensatzschaltung eines realen induktiven
 Wechselstromwiderstands..... 248
 - Seriensatzschaltung eines realen kapazitiven
 Wechselstromwiderstands..... 250

20 Inhaltsverzeichnis

Bestimmung der Impedanz aus Gleich- und Effektivwertmessung.....	251
Bestimmung der Impedanz und des Verlustwinkels mit dem Oszilloskop.....	253
Impedanzbestimmung mit der Wechselspannungsbrücke.....	261
Grundlagen der Wechselspannungsbrücke – Abwechslung in der Betrachtung.....	262
Nicht abgleichbare Wechselspannungsbrücke.....	263
Kapazitätsbestimmung mit der Wien-Brücke (kapazitive Impedanz).....	265
Induktivitätsmessbrücke nach Maxwell-Wien (induktive Impedanz).....	268
Genauigkeit der Wechselspannungsbrücke, auch hier wieder.....	271

TEIL V

DER TOP-TEN-TEIL.....	275
------------------------------	------------

Kapitel 16

Zehn Tipps zum Erlernen der Messtechnik-Theorie

und zur praktischen Umsetzung.....	277
---	------------

Nicht sofort aufgeben – nachdenken, auch Mitstreiter fragen und mit diesen diskutieren.....	277
Sorgfältig lesen – wenn das so einfach wäre.....	278
Schreiben Sie sich das Wesentliche raus.....	279
Übung macht den Meister.....	280
Vergessen Sie nicht abzuschalten – auch Feiern gehört dazu.....	280
Nach viel Theorie gehört auch praktisches Messen dazu.....	281
Messergebnisse zu Beginn direkt auf Plausibilität prüfen.....	282
Eine plausible Messung hat mehr als einen Messwert.....	282
Messaufbau und Versuchsinstrumente kontrollieren – viel hilft hier viel.....	283
Im Zweifelsfall Zeit nehmen und sorgfältig arbeiten.....	283

Kapitel 17

Meine zehn Lieblingsbücher zur Messtechnik.....	285
--	------------

DIN 1319-1: Grundlagen der Messtechnik, Teil 1: Grundbegriffe und DIN 1319-2: Grundlagen der Messtechnik, Teil 2: Begriffe für Messmittel. Beide sind erschienen im Beuth Verlag, Berlin.....	285
Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement, Working Group 1 of the Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM/WG 1).....	286
Elmar Schrüfer, Leonhard Reindl und Bernhard Zagar. Elektrische Messtechnik, Carl Hanser Verlag, 2018.....	286
Reinhard Lerch: Elektrische Messtechnik, Springer Vieweg, 2016.....	286
Lerch, Kaltenbacher, Lindinger, Sutor: Elektrische Messtechnik Übungsbuch, Springer, 2005.....	286
Thomas Mühl: Elektrische Messtechnik. Grundlagen, Messverfahren, Anwendungen. Springer Vieweg, 2017.....	287
Hans-Rolf Tränkler und Leonhard M. Reindl (Hrsg.): Sensortechnik. Handbuch für Praxis und Wissenschaft. Springer Vieweg, 2018.....	287

Lothar Litz: Wahrscheinlichkeitstheorie für Ingenieure –
 Grundlagen, Übungen, Anwendungen. Bookboon, 2015. Lothar Litz:
 Zufallsvariablen für Ingenieure. Bookboon, 2015..... 287
 Gert Hagmann: Grundlagen der Elektrotechnik. Aula-Verlag, 2013..... 288
 Michael Felleisen: Elektrotechnik für Dummies. WILEY-VCH, 2019..... 288

Anhang A: Lösungen der Übungsaufgaben..... 289

Übungsaufgabe 1..... 289
 Übungsaufgabe 2..... 290
 Übungsaufgabe 3..... 291
 Übungsaufgabe 4..... 291

Abbildungsverzeichnis..... 293

Stichwortverzeichnis..... 301