

Erwin Böhmer

Elemente der angewandten Elektronik

Kompendium für Ausbildung und Beruf

Mit 600 Abbildungen
und einem umfangreichen Bauteile-Katalog

12., verbesserte und erweiterte Auflage



Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme
Ein Titeldatensatz für diese Publikation ist bei
Der Deutschen Bibliothek erhältlich.

1. Auflage 1979
- 2., neubearbeitete und erweiterte Auflage 1983
- 3., überarbeitete und erweiterte Auflage 1984
- 4., überarbeitete und erweiterte Auflage 1986
- 5., überarbeitete und erweiterte Auflage 1987
- 6., überarbeitete Auflage 1989
- 7., überarbeitete Auflage 1990
- 8., überarbeitete Auflage 1992
- 9., überarbeitete und erweiterte Auflage 1994
- 10., überarbeitete Auflage 1996
- 11., verbesserte Auflage 1998
- 12., verbesserte und erweiterte Auflage 2000

Alle Rechte vorbehalten

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2000

Ursprünglich erschienen bei Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH,
Braunschweig/Wiesbaden, 2000



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

<http://www.vieweg.de>

Technische Redaktion: Hartmut Kühn von Burgsdorff

Konzeption und Layout des Umschlags: Ulrike Weigel, www.CorporateDesignGroup.de

Gedruckt auf säurefreiem Papier

ISBN 978-3-528-14090-8 ISBN 978-3-322-92833-7 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-92833-7

Vorwort zur neunten Auflage

Es war das erklärte Ziel dieses Buches bei seinem ersten Erscheinen vor nunmehr 15 Jahren, das Basiswissen zur Elektronik umfassend, kompakt und übersichtlich darzustellen. In den zwischenzeitlich erschienenen acht Auflagen habe ich mich bemüht, durch Verbesserungen und Ergänzungen – manchmal auch durch Streichungen –, diesem Anspruch zunehmend gerecht zu werden. Die jetzt vorliegende neunte Auflage erscheint nach vollständiger Neubearbeitung auch mit einem vollständig neuen Satz und einer veränderten Gliederung. Dem wichtigen Gebiet der Spannungs- und Stromversorgung wurde darin ein eigenständiges Kapitel gewidmet. Dabei wurde die bisherige Unterteilung in abgeschlossene Sachthemen auf jeweils einer Text- und einer Bildseite weitergeführt, da diese ein Größtmaß an Übersichtlichkeit ergibt. Viele Zusammenhänge, die in dem knapp gehaltenen Text nicht zur Sprache kommen, erscheinen in den Bildern.

Die vielen Zuschriften zu dem Buch zeigen, daß es als Begleittext zu sehr unterschiedlichen Lehrveranstaltungen verwendet wird. Offenbar eignet es sich besonders, um Lücken zu schließen, die ein noch so guter Lehrplan schon aus Zeitgründen da und dort läßt. Mit seinen zahlreichen Beispielen dient es als Mittler zwischen Theorie und Praxis. In diesem Sinne ebnet es den Studierenden auch den Weg durch das Elektronik-Praktikum und gibt ihnen eine Arbeitsgrundlage zur eigenen Schaltungsentwicklung. Im Hinblick auf diese Funktion wurde der im Anhang zusammengestellte Bauteilekatalog (blaue Seiten) nochmals erweitert und aktualisiert. In der Hand der Studierenden ersetzt dieser eine Datenbuchsammlung, über die jeder Ingenieur als notwendiges Werkzeug verfügt. Ein umfangreiches Sachwortverzeichnis ermöglicht es ferner, Fragen nachzugehen und das Buch als kleines Fachlexikon zu nutzen.

Während der Entwicklung des Buches an der Universität-Gesamthochschule Siegen ist mir mancherlei Hilfe zuteil geworden, für die ich Dank schulde. Auf die namentliche Erwähnung aller Mitwirkenden an früheren Auflagen will ich hier verzichten. Besonders danke ich Herrn Dipl.-Ing. H. Otto, der viele Schaltungen als Übungsbeispiele für Studenten im Labor erprobt hat und auch die nötigen Rechenhilfsmittel zur Verfügung stellte. Die Kollegen Prof. Dr. M. Böhm und Prof. Dr. F. Wittgruber von der Fachgruppe Technische Elektronik und Bauelemente haben mir durch zahlreiche Diskussionen geholfen. In dieser Weise hat mich auch mein Freund, Herr Dr.-Ing. H. K. Köthe vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme in Freiburg, bei der Abfassung des neuen Kapitels über Spannungs- und Stromversorgung unterstützt. Frau Petra Schöppner schrieb die neuen Texte und fertigte die Zeichnungen an, wofür ich ihr danke.

Für den vollständigen Neusatz und eine weitgehende Neugestaltung der Bildseiten war ein ungewöhnlicher Kraftakt seitens des Verlages Vieweg erforderlich. Der zuständige Lektor, Herr Dipl.-Ing. E. Klementz hat mit seinen Lesungen und konstruktiven, zum Teil auch kritischen Anmerkungen dazu wesentliche Beiträge geleistet. Herr W. Nieger hat als technischer Redakteur die Probleme meisterhaft gelöst, die sich aus der neuen Satztechnik ergaben und dem Buch so zu einer besseren Gestaltung insgesamt verholfen.

Zum Schluß sei mir noch ein Wort in eigener Sache gestattet. Die Entwicklung des Buches über die Jahre hinweg war nicht ohne Freizeitopfer möglich. Ich danke meiner lieben Frau Gertrud für ihr Verständnis.

Siegen, im Juni 1994

Vorwort zur zwölften Auflage

In der zwölften Auflage wurde das Buch durch den Anhang C auf den Seiten 425 und 426 ergänzt. Dieser steht unter dem Thema „Fortschritte in der Elektronik“ und berichtet über die Arbeit am Institut für Halbleiterelektronik an der Universität-Gesamthochschule Siegen.

Siegen, im Februar 2000

Inhaltsverzeichnis

1 Elektrische Leitung und Widerstände

| | | |
|-----|---|----|
| 1.1 | Elektrische Leitung, Grundbegriffe | 2 |
| 1.2 | Leitungen und Sicherungen | 4 |
| 1.3 | Elektrische Widerstände | 6 |
| 1.4 | Übliche Bauformen der Widerstände | 8 |
| 1.5 | Stellwiderstände mit Schleifkontakt | 10 |
| 1.6 | Widerstandsnetzwerke, passive und aktive Zweipole | 12 |

2 Homogene Halbleiterbauelemente

| | | |
|-----|--|----|
| 2.1 | Grundbegriffe der Halbleiter | 14 |
| 2.2 | Meß- und Kompensationsheißleiter | 16 |
| 2.3 | Anlaßheißleiter | 18 |
| 2.4 | Kaltleiter | 20 |
| 2.5 | Varistoren | 22 |
| 2.6 | Feldplatten | 24 |
| 2.7 | Fotowiderstände | 26 |
| 2.8 | Hallgeneratoren | 28 |

3 Halbleiterdioden

| | | |
|-----|---|----|
| 3.1 | Grundlagen der Halbleiterdiode | 30 |
| 3.2 | Silizium-Leistungsdioden | 32 |
| 3.3 | Dioden im Ladegleichrichter | 34 |
| 3.4 | Z-Dioden (Zenerdioden) | 36 |
| 3.5 | Fotodioden und Fotoelemente | 38 |
| 3.6 | Lumineszenz-Dioden (Leuchtdioden) | 40 |

4 Kondensatoren

| | | |
|-----|---|----|
| 4.1 | Kondensatoren, Grundbegriffe | 42 |
| 4.2 | Laden und Entladen eines Kondensators | 44 |
| 4.3 | Bauformen und Eigenschaften | 46 |
| 4.4 | Elektrolytkondensatoren | 48 |
| 4.5 | RC-Übertragungsglieder | 50 |
| 4.6 | Impulsübertragung durch RC-Glieder | 52 |
| 4.7 | Spannungsglättung mit Kondensatoren | 54 |

5 Spulen und Schwingkreise

| | | |
|------|---|----|
| 5.1 | Spulen, Grundbegriffe | 56 |
| 5.2 | Spulenkenngrößen und Schaltvorgänge | 58 |
| 5.3 | Drosselspulen mit Eisenkernen oder Eisenpulver-Kern | 60 |
| 5.4 | Ferritkernspulen | 62 |
| 5.5 | Spulen bei höheren Frequenzen | 64 |
| 5.6 | Schwingkreise, Grundbegriffe | 66 |
| 5.7 | Schwingkreise mit Tiefpaßfunktion | 68 |
| 5.8 | Resonanzschaltungen | 70 |
| 5.9 | Schwingkreise mit Anzapfungen | 72 |
| 5.10 | Schwingquarze | 74 |

6 Transformatoren und Übertrager

| | | |
|-----|--|----|
| 6.1 | Verlustfreie Spulensysteme | 76 |
| 6.2 | Transformatoren als Übertrager | 78 |
| 6.3 | Aufbau und Berechnung von Übertragern | 80 |
| 6.4 | Impulsübertrager (Impulstransformatoren) | 82 |
| 6.5 | Netztransformatoren | 84 |

7 Relais

| | | |
|-----|---|----|
| 7.1 | Elektromagnetische Relais, Arten und Wirkungsweise | 86 |
| 7.2 | Betriebseigenschaften von Relais | 88 |
| 7.3 | Kontaktmaterial, Kontaktbeanspruchung und Kontaktschutz | 90 |
| 7.4 | Relais-Kondensator-Schaltungen | 92 |

8 Röhren und Displays

| | | |
|-----|--|-----|
| 8.1 | Gasentladungsröhren | 94 |
| 8.2 | Vakuumdioden und -trioden | 96 |
| 8.3 | Tetroden und Pentoden | 98 |
| 8.4 | Fotozellen und Fotovervielfacher | 100 |
| 8.5 | Bildverstärker, Bildwandler und Bildaufnahmeröhren | 102 |
| 8.6 | Vakuum-Lumineszenzröhren (Fluoreszenzröhren) | 104 |
| 8.7 | Flüssigkristall-Anzeigen (LC-Displays) | 106 |

9 Feldeffekt-Transistoren

| | | |
|------|--|-----|
| 9.1 | Aufbau und Wirkungsweise des Sperrschicht-Feldeffekt-Transistors | 108 |
| 9.2 | Feldeffekttransistoren, Groß- und Kleinsignalbetrieb | 110 |
| 9.3 | Feldeffekttransistoren in Konstantstromschaltungen | 112 |
| 9.4 | Sourceschaltung im Kleinsignalbetrieb | 114 |
| 9.5 | Analyse eines Kleinsignalverstärkers in Sourceschaltung | 116 |
| 9.6 | Drainschaltung (Sourcefolger) | 118 |
| 9.7 | Gateschaltung | 120 |
| 9.8 | Feldeffekttransistoren mit isolierter Gate-Elektrode | 122 |
| 9.9 | Integrierte MOS-Schaltungen | 124 |
| 9.10 | Analogschalter und -multiplexer | 126 |
| 9.11 | Kenngrößen und ihre Anwendung | 128 |

10 Bipolare Transistoren

| | | |
|-------|---|-----|
| 10.1 | Aufbau und Wirkungsweise | 130 |
| 10.2 | Emitterschaltung als Großsignalverstärker | 132 |
| 10.3 | Temperaturabhängigkeit und innere Stromverteilung | 134 |
| 10.4 | Schaltbetrieb des Bipolar-Transistors | 136 |
| 10.5 | Gleichstrombetrieb im aktiven Bereich | 138 |
| 10.6 | Emitterschaltung als Kleinsignalverstärker | 140 |
| 10.7 | Hochfrequenzverhalten der Emitterschaltung | 142 |
| 10.8 | h-Parameter und y-Parameter | 144 |
| 10.9 | Kleinsignalverstärker mit Parallelgegenkopplung | 146 |
| 10.10 | Emitterschaltung mit Reihengegenkopplung | 148 |
| 10.11 | Kollektorschaltung (Emitterfolger) | 150 |
| 10.12 | Basisschaltung | 152 |
| 10.13 | Differenzverstärker | 154 |
| 10.14 | Transistorverbundschaltungen | 156 |

11 Operationsverstärker

| | | |
|-------|--|-----|
| 11.1 | Grundbegriffe des Operationsverstärkers | 158 |
| 11.2 | Linearer invertierender Verstärker | 160 |
| 11.3 | Linearer nichtinvertierender Verstärker | 162 |
| 11.4 | Eingangsverhalten des realen Verstärkers | 164 |
| 11.5 | Ausgangsverhalten des realen Verstärkers | 166 |
| 11.6 | Frequenzgang und Stabilität | 168 |
| 11.7 | Differenzierschaltungen | 170 |
| 11.8 | Integrierschaltungen | 172 |
| 11.9 | Aktive RC-Filter zweiter und höherer Ordnung | 174 |
| 11.10 | State-Variable-Filter (SVF) | 176 |
| 11.11 | Meßgleichrichter | 178 |
| 11.12 | Begrenzer, Amplitudenfilter und Funktionsgeber | 180 |
| 11.13 | Spannungsquellen | 182 |
| 11.14 | Stromquellen | 184 |
| 11.15 | Transformationsschaltungen | 186 |

12 Ausgewählte Analogbausteine

| | | |
|------|--|-----|
| 12.1 | Standard-Operationsverstärker TAA 765 und LM 741 | 188 |
| 12.2 | Mehrfachverstärker und ihre Anwendung | 190 |
| 12.3 | Präzisions-Operationsverstärker | 192 |
| 12.4 | Steilheits-Operationsverstärker CA 3080 und LM 13600 | 194 |
| 12.5 | Logarithmierschaltungen | 196 |
| 12.6 | Multiplizierbaustein AD 534 | 198 |
| 12.7 | Filterbaustein HY 3105 als Universalfilter | 200 |
| 12.8 | Schalter-Kondensator-Filter (Switched Capacitor Filter, SC-Filter) | 202 |
| 12.9 | Abtast-Halte-Glieder | 204 |

13 Sinusoszillatoren

| | | |
|------|--|-----|
| 13.1 | Einfache RC-Oszillatoren | 206 |
| 13.2 | RC-Oszillatoren mit Amplitudenregelung | 208 |
| 13.3 | LC-Oszillatoren mit der Basisschaltung | 210 |
| 13.4 | LC-Oszillatoren mit der Emitterschaltung | 212 |

14 Kippschaltungen

| | | |
|-------|--|-----|
| 14.1 | Triggerschaltungen mit Transistoren | 214 |
| 14.2 | Symmetrische bistabile Kippschaltungen | 216 |
| 14.3 | Monostabile und astabile Multivibratoren | 218 |
| 14.4 | Trigger mit Operationsverstärkern | 220 |
| 14.5 | Fensterkomparatoren | 222 |
| 14.6 | Multivibratoren mit Operationsverstärkern | 224 |
| 14.7 | Multivibratoren mit dem Timer-IC 555 | 226 |
| 14.8 | Funktionsgenerator 8038 | 228 |
| 14.9 | Spannungs-Frequenz-Umsetzer | 230 |
| 14.10 | Kippschaltungen mit Unijunction-Transistoren | 232 |
| 14.11 | Vierschichtelemente (Thyristoren) | 234 |

15 Digitale Verknüpfungs- und Speicherschaltungen

| | | |
|------|-------------------------------------|-----|
| 15.1 | Diodengatterschaltungen | 236 |
| 15.2 | Emitterschaltung als Inverter | 238 |
| 15.3 | NOR- und NAND-Gatter in DTL-Technik | 240 |
| 15.4 | Grundsaltungen der TTL-Technik | 242 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 15.5 | Schottky- und ECL-Schaltungen | 244 |
| 15.6 | CMOS-Logikschaltungen | 246 |
| 15.7 | Kippschaltungen mit NOR- und NAND-Gattern | 248 |
| 15.8 | Einfache Flip-Flops mit Taktsteuerung | 250 |
| 15.9 | Master-Slave-Flip-Flops (MS-Flip-Flops) | 252 |
| 15.10 | Register | 254 |
| 15.11 | Frequenzteiler (Untersetzer) und Zählschaltungen | 256 |
| 15.12 | Zeitähler (Timer-Counter) 2240 | 258 |
| 15.13 | Impulszähler | 260 |
| 15.14 | Vergleicher (Komparatoren) | 262 |
| 15.15 | Multiplexer und Demultiplexer | 264 |
| 15.16 | Schreib-Lese-Speicher (RAMs) | 266 |
| 15.17 | ROMs, PROMs und PLDs | 268 |

16 DA- und AD-Umsetzer

| | | |
|------|--|-----|
| 16.1 | DA-Umsetzer (DAU) | 270 |
| 16.2 | Drei Konzepte für die Analog-Digital-Umsetzung | 272 |
| 16.3 | Indirekte Verfahren zur Analog-Digital-Umsetzung | 274 |

17 Optoelektronik

| | | |
|------|--------------------------------------|-----|
| 17.1 | Fototransistoren und Fotothyristoren | 276 |
| 17.2 | Optokoppler | 278 |
| 17.3 | Lichtschranken und Lichtleiter | 280 |
| 17.4 | Optische Nachrichtentechnik | 282 |

18 Leistungstransistoren und Anwendungen

| | | |
|------|---|-----|
| 18.1 | Verlustleistung und Wärmeableitung | 284 |
| 18.2 | Transistor als Leistungsschalter | 286 |
| 18.3 | Schnelles Schalten induktiver Lasten | 288 |
| 18.4 | Darlington-Leistungstransistoren als Schalter und Steller | 290 |
| 18.5 | Leistungs-MOSFETs und IGBTs | 292 |
| 18.6 | Schaltungsdesign zu MOSFETs und IGBTs | 294 |
| 18.7 | Gleichspannungsquellen mit Leistungstransistoren | 296 |
| 18.8 | Wechselspannungsquellen für hohe Strombelastung | 298 |
| 18.9 | Niederfrequenz-Leistungsverstärker | 300 |

19 Thyristoren und Triacs

| | | |
|------|--|-----|
| 19.1 | Leistungsthyristoren, Grundbegriffe und Funktionsweise | 302 |
| 19.2 | Ansteuerschaltungen für Thyristoren | 304 |
| 19.3 | Wechselstromsteller mit Thyristoren | 306 |
| 19.4 | Dynamische Vorgänge und Schutzbeschaltung | 308 |
| 19.5 | Triac, Grundbegriffe und Anwendungsbeispiel | 310 |
| 19.6 | Wechselstromschalter mit Triacs und Thyristoren | 312 |
| 19.7 | Ansteuerbausteine für Triacs | 314 |
| 19.8 | Zeitsteuerungen mit Triacs | 316 |

20 Spannungs- und Stromversorgung

| | | |
|------|--|-----|
| 20.1 | Netzgeräte mit Spannungsregler | 318 |
| 20.2 | Erzeugung von mehreren Betriebsspannungen | 320 |
| 20.3 | Primärzellen und Primärbatterien | 322 |
| 20.4 | Sekundärzellen und Sekundärbatterien (Akkumulatoren) | 324 |
| 20.5 | Ladeverfahren und Ladetechniken für Akkumulatoren | 326 |

| | |
|---|------------|
| 20.6 Solargeneratoren | 328 |
| 20.7 Gleichspannungswandler (DC/DC-Wandler) | 330 |
| 20.8 Drossel-Aufwärtswandler mit PFM-Schaltregler..... | 332 |
| 20.9 Drossel-Inverswandler mit PFM-Schaltregler | 334 |
| 20.10 Drossel-Abwärtswandler mit PFM-Schaltregler | 336 |
| 20.11 Drossel-Abwärtswandler mit PWM-Schaltregler..... | 338 |
| 20.12 Sperrwandler mit Speichertransformator | 340 |
| 20.13 Netzgeräte ohne Netztransformator | 342 |
| Formelzeichen | 344 |
| Anhang A (Tabellen, Diagramme, Formeln) | 345 |
| Anhang B – Bauteile-Katalog | 361 |
| Anhang C – Fortschritte in der Elektronik | 425 |
| Literaturverzeichnis | 427 |
| Quellenverzeichnis | 433 |
| Sachwortverzeichnis | 434 |