

# Inhaltsverzeichnis

|          |                                                            |           |
|----------|------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Grundbegriffe</b>                                       | <b>1</b>  |
| 1.1      | Grundaufgaben der Elektrotechnik                           | 1         |
| 1.2      | Teilchen- und Feldmodell                                   | 6         |
| 1.3      | Elektrische Ladung                                         | 8         |
| 1.3.1    | Eigenschaften der elektrischen Ladung                      | 8         |
| 1.3.2    | Erhaltungssatz der Ladung                                  | 13        |
| 1.3.3    | Elektrische Feldstärke                                     | 14        |
| 1.4      | Bewegte Ladung, elektrische Stromstärke                    | 19        |
| 1.4.1    | Strombegriff                                               | 19        |
| 1.4.2    | Elektrische Stromstärke                                    | 22        |
| 1.4.3    | Erstes Kirchhoff'sches Gesetz, Knotensatz                  | 26        |
| 1.4.4    | Zusammenhang Strom-Ladung                                  | 29        |
| 1.5      | Elektrische Spannung, elektrisches Potenzial               | 31        |
| 1.5.1    | Elektrische Spannung                                       | 31        |
| 1.5.2    | Zweites Kirchhoff'sches Gesetz, Maschensatz                | 38        |
| 1.5.3    | Spannung, Potenzial und elektrische Feldstärke             | 40        |
| 1.6      | Elektrische Energie, elektrische Leistung                  | 42        |
| 1.6.1    | Energie                                                    | 42        |
| 1.6.2    | Elektrische Energie                                        | 44        |
| 1.6.3    | Elektrische Leistung, Wirkungsgrad                         | 47        |
| 1.7      | Zusammenfassung                                            | 53        |
| <b>2</b> | <b>Einfache resistive Stromkreise und Netzwerkelemente</b> | <b>55</b> |
| 2.1      | Modelle elektrischer Stromkreise                           | 55        |
| 2.2      | Unabhängige Spannungs- und Stromquellen                    | 58        |
| 2.2.1    | Ideale Spannungs- und Stromquellen                         | 60        |
| 2.2.2    | Reale Spannungs- und Stromquellen                          | 64        |
| 2.3      | Widerstand, resistiver Zweipol                             | 74        |
| 2.3.1    | Lineare resistive Zweipole                                 | 75        |
| 2.3.2    | Zusammenschaltungen linearer resistiver Zweipole           | 81        |

|         |                                                                                           |     |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.3.3   | Nichtlineare resistive Zweipole . . . . .                                                 | 88  |
| 2.3.4   | Temperaturverhalten resistiver Zweipole. . . . .                                          | 92  |
| 2.3.5   | Allgemeine resistive Zweipole. . . . .                                                    | 96  |
| 2.3.5.1 | Zeitunabhängige resistive Zweipole . . . . .                                              | 96  |
| 2.3.5.2 | Zeitvariante resistive Zweipole . . . . .                                                 | 99  |
| 2.3.6   | Widerstand als Bauelement . . . . .                                                       | 100 |
| 2.4     | Der Grundstromkreis . . . . .                                                             | 104 |
| 2.4.1   | Der lineare Grundstromkreis . . . . .                                                     | 104 |
| 2.4.2   | Leistungsumsatz im Grundstromkreis . . . . .                                              | 109 |
| 2.4.3   | Einfache verzweigte Stromkreise. . . . .                                                  | 114 |
| 2.4.4   | Zweipoltheorie . . . . .                                                                  | 120 |
| 2.4.5   | Überlagerungssatz . . . . .                                                               | 127 |
| 2.5     | Nichtlinearer resistiver Grundstromkreis. . . . .                                         | 129 |
| 2.5.1   | Zusammenschaltung nichtlinearer und linearer<br>Schaltelemente, Ersatzkennlinie . . . . . | 130 |
| 2.5.2   | Kennlinienapproximationen. . . . .                                                        | 134 |
| 2.5.3   | Arbeitspunkteinstellung . . . . .                                                         | 137 |
| 2.5.4   | Leistungsumsatz im nichtlinearen Grundstromkreis . . . . .                                | 138 |
| 2.5.5   | Kleinsignalverhalten . . . . .                                                            | 144 |
| 2.6     | Zweitore . . . . .                                                                        | 148 |
| 2.6.1   | Zweitorbegriff . . . . .                                                                  | 148 |
| 2.6.2   | Strom-Spannungs-Beziehungen linearer Zweitore . . . . .                                   | 155 |
| 2.6.3   | Zweitortypen . . . . .                                                                    | 170 |
| 2.6.4   | Zweitoreersatzschaltungen, gesteuerte Quellen . . . . .                                   | 173 |
| 2.6.5   | Elementarzweitore . . . . .                                                               | 188 |
| 2.6.6   | Zweitorzusammenschaltungen. . . . .                                                       | 191 |
| 2.6.7   | Zweitore in der Schaltung, Betriebsverhalten . . . . .                                    | 198 |
| 2.6.8   | Zweitore mit unabhängigen Quellen . . . . .                                               | 206 |
| 2.6.9   | Überlagerungssatz und Zweipoltheorie in Netzwerken mit<br>gesteuerten Quellen . . . . .   | 207 |
| 2.7     | Gesteuerte Bauelemente und ihre Modellierung* . . . . .                                   | 210 |
| 2.7.1   | Nichtlineares Zweitore. . . . .                                                           | 212 |
| 2.7.2   | Bipolartransistormodell . . . . .                                                         | 215 |
| 2.7.3   | Kleinsignalverhalten nichtlinearer Zweitore . . . . .                                     | 222 |
| 2.7.4   | Kleinsignalverhalten des Bipolartransistors. . . . .                                      | 226 |
| 2.7.5   | Allgemeines lineares Verstärkermodell . . . . .                                           | 235 |
| 2.7.6   | Operational-Transkonduktanz-Verstärker, Operationsverstärker. . . . .                     | 238 |
| 2.7.7   | Grundsaltungen mit Operationsverstärkern . . . . .                                        | 247 |
| 2.8     | Zusammenfassung . . . . .                                                                 | 256 |

|          |                                                         |     |
|----------|---------------------------------------------------------|-----|
| <b>3</b> | <b>Netzwerkanalyseverfahren, resistive Schaltungen</b>  | 265 |
| 3.1      | Netzwerkbeschreibung                                    | 265 |
| 3.1.1    | Netzwerkgleichungen und Grundlagen der Analyseverfahren | 266 |
| 3.1.2    | Zweigstromanalyse, Zweigspannungsanalyse                | 276 |
| 3.2      | Maschenstromanalyse                                     | 284 |
| 3.2.1    | Maschenströme                                           | 285 |
| 3.2.2    | Maschenwiderstandsmatrix, Ordnung der Maschenströme     | 290 |
| 3.2.3    | Erweiterte Maschenstromanalyse*                         | 297 |
| 3.2.4    | Maschenstromanalyse in Matrixform                       | 303 |
| 3.2.5    | Maschenstromanalyse in nichtlinearen Netzwerken         | 305 |
| 3.3      | Knotenspannungsanalyse                                  | 305 |
| 3.3.1    | Knotenspannungen                                        | 306 |
| 3.3.2    | Knotenleitwertmatrix, Ordnung der Knotenspannungen      | 311 |
| 3.3.3    | Erweiterte Knotenspannungsanalyse*                      | 317 |
| 3.3.4    | Modifizierte Knotenspannungsanalyse*                    | 326 |
| 3.3.5    | Knotenspannungsanalyse in Matrixform                    | 328 |
| 3.3.6    | Unbestimmte Knotenleitwertgleichungen                   | 329 |
| 3.3.7    | Knotenspannungsanalyse und Zweipolparameter*            | 332 |
| 3.3.8    | Netzwerkanalyse mit Operationsverstärkern               | 334 |
| 3.3.9    | Knotenspannungsanalyse von nichtlinearen Netzwerken*    | 339 |
| 3.4      | Netzwerkanalyse in Matrixdarstellung                    | 340 |
| 3.4.1    | Netzwerke, Graph und Inzidenzmatrizen                   | 342 |
| 3.4.2    | Schleifenanalyse                                        | 351 |
| 3.4.3    | Schnittmengenanalyse                                    | 353 |
| 3.4.4    | Zusammenhänge, Vergleiche                               | 359 |
| 3.5      | Computerunterstützte Netzwerkanalyse                    | 364 |
| 3.5.1    | Numerische Auswertung                                   | 365 |
| 3.5.2    | Schaltungssimulation                                    | 371 |
| 3.6      | Mehrpole Netzwerke*                                     | 379 |
| 3.6.1    | Ströme und Spannungen an Mehrpolen                      | 380 |
| 3.6.2    | Zusammenschaltung von Mehrpolen                         | 384 |
| 3.6.3    | Mehrtore                                                | 393 |
| 3.6.4    | Torgruppierung                                          | 398 |
| 3.6.5    | Klemmenmanipulationen                                   | 401 |
| 3.7      | Zusammenfassung                                         | 407 |
| <b>4</b> | <b>Netzwerktheoreme</b>                                 | 413 |
| 4.1      | Ähnlichkeitssatz                                        | 413 |
| 4.2      | Versatzungs- und Teilungssatz idealer Quellen           | 414 |
| 4.3      | Reziprozitäts-Theorem, Umkehrsatz                       | 417 |

---

|                                       |                                                                  |     |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.4                                   | Ersatz gesteuerter Quellen, Miller-Theorem . . . . .             | 418 |
| 4.5                                   | Äquivalente Netzwerke* . . . . .                                 | 427 |
| 4.6                                   | Duale Netzwerke* . . . . .                                       | 430 |
| 4.7                                   | Leistung in elektrischen Netzwerken, Tellegen-Theorem* . . . . . | 434 |
| 4.8                                   | Zusammenfassung . . . . .                                        | 438 |
| <b>Anhang</b> . . . . .               |                                                                  | 441 |
| <b>Literatur</b> . . . . .            |                                                                  | 467 |
| <b>Stichwortverzeichnis</b> . . . . . |                                                                  | 469 |