

# Inhalt

|                                                           |          |
|-----------------------------------------------------------|----------|
| <b>Vorwort</b> .....                                      | <b>V</b> |
| <b>1 Grundlagen der Elektrotechnik mit MicroCap</b> ..... | <b>1</b> |
| 1.1 Einführung in MC 12 .....                             | 1        |
| 1.1.1 Arbeitsoberfläche .....                             | 1        |
| 1.1.2 Zeichnen eines Stromkreises .....                   | 3        |
| 1.1.3 Anpassung der Schaltungsdarstellung .....           | 5        |
| 1.2 Analyse von Gleichstromkreisen .....                  | 7        |
| 1.2.1 Arbeitspunktanalyse .....                           | 7        |
| 1.2.2 DC-Analyse .....                                    | 11       |
| 1.2.3 Änderung der $x$ -Achsen-Variablen .....            | 16       |
| 1.2.4 DC-Analyse mit Parametervariation .....             | 17       |
| 1.3 Analyse von Wechselstromkreisen .....                 | 22       |
| 1.3.1 Transienten-Analyse .....                           | 22       |
| 1.3.2 Dynamic-AC-Analyse .....                            | 28       |
| 1.3.3 Fourier-Analyse (FFT) .....                         | 29       |
| 1.3.4 AC-Analyse (AC-Sweep) .....                         | 33       |
| 1.3.5 AC-Analyse (Stepping) .....                         | 40       |
| 1.4 Analyse von Schaltvorgängen .....                     | 45       |
| 1.4.1 Schalten von RC-Kombinationen .....                 | 45       |
| 1.4.2 Umschalten vorgeladener Kondensatoren .....         | 48       |
| 1.4.3 Simulation von Ausgleichsvorgängen .....            | 50       |
| 1.4.4 Schalten von RL-Kombinationen .....                 | 55       |
| 1.4.5 Schalten von Schwingkreisen .....                   | 58       |
| 1.4.6 Schalten einer Wechselquelle .....                  | 61       |

|          |                                                   |            |
|----------|---------------------------------------------------|------------|
| 1.5      | Simulationsbeispiele.....                         | 66         |
| 1.6      | Zusammenfassung zur Einführung in MicroCap.....   | 95         |
| <b>2</b> | <b>Passive Bauelemente .....</b>                  | <b>96</b>  |
| 2.1      | Klassifikationskriterien .....                    | 96         |
| 2.2      | Grundbauelemente .....                            | 101        |
| 2.2.1    | Widerstände .....                                 | 101        |
| 2.2.2    | Kondensatoren .....                               | 110        |
| 2.2.3    | Spulen .....                                      | 116        |
| 2.3      | Homogene Halbleiter .....                         | 129        |
| 2.3.1    | Halbleiter-Übersicht .....                        | 130        |
| 2.3.2    | Thermistoren.....                                 | 135        |
| 2.3.3    | Varistor .....                                    | 139        |
| 2.3.4    | Fotowiderstand .....                              | 142        |
| 2.3.5    | Magnetfeldabhängige Halbleiter.....               | 145        |
| 2.4      | Simulationsbeispiele.....                         | 149        |
| <b>3</b> | <b>Halbleiter-Dioden .....</b>                    | <b>174</b> |
| 3.1      | pn-Übergang .....                                 | 174        |
| 3.2      | Universaldiode.....                               | 178        |
| 3.3      | Simulation von Halbleiter-Dioden .....            | 182        |
| 3.4      | Gleichrichterdioden .....                         | 191        |
| 3.4.1    | Einweggleichrichtung.....                         | 192        |
| 3.4.2    | Zweiweggleichrichtung (Mittelpunktschaltung)..... | 194        |
| 3.4.3    | Brückengleichrichtung.....                        | 197        |
| 3.5      | Schaltdioden .....                                | 199        |
| 3.5.1    | Eigenschaften von Schaltdioden .....              | 199        |
| 3.5.2    | Logikgatter.....                                  | 202        |
| 3.6      | Z-Diode.....                                      | 207        |
| 3.6.1    | Eigenschaften einer Z-Diode .....                 | 207        |
| 3.6.2    | Spannungsstabilisierung.....                      | 210        |
| 3.7      | Varaktor-Dioden .....                             | 213        |
| 3.7.1    | Kapazitätsdiode.....                              | 213        |
| 3.7.2    | Step-Recovery-Diode.....                          | 216        |

|          |                                                |            |
|----------|------------------------------------------------|------------|
| 3.7.3    | pin-Diode als Spezialfall. ....                | 216        |
| 3.8      | Schottky-Diode. ....                           | 217        |
| 3.9      | Simulationsbeispiele. ....                     | 219        |
| <b>4</b> | <b>Unipolare Transistoren</b> .....            | <b>241</b> |
| 4.1      | Aktive Bauelemente .....                       | 241        |
| 4.2      | Feldeffekttransistoren. ....                   | 242        |
| 4.2.1    | Sperrschicht-FET. ....                         | 244        |
| 4.2.2    | MOS-FETs. ....                                 | 248        |
| 4.2.3    | Leistungs-MOS-FETs. ....                       | 250        |
| 4.3      | Kenngrößen und Modelle von FETs. ....          | 253        |
| 4.3.1    | Modelle von Sperrschicht-FETs. ....            | 254        |
| 4.3.2    | Modelle von MOS-FETs. ....                     | 258        |
| 4.3.3    | Ersatzschaltungen für FETs. ....               | 258        |
| 4.4      | Anwendungen von Feldeffekttransistoren .....   | 264        |
| 4.4.1    | Kleinsignalverstärker. ....                    | 264        |
| 4.4.2    | Schaltverstärker/Negator. ....                 | 270        |
| 4.5      | Simulationsbeispiele. ....                     | 272        |
| <b>5</b> | <b>Bipolare Transistoren</b> .....             | <b>286</b> |
| 5.1      | Aufbau und Wirkungsweise. ....                 | 286        |
| 5.2      | Kennlinien und Kenngrößen .....                | 288        |
| 5.2.1    | Kennlinienfelder. ....                         | 289        |
| 5.2.2    | Statische Kenngrößen .....                     | 290        |
| 5.2.3    | Dynamische Kenngrößen. ....                    | 293        |
| 5.3      | Arbeitspunkt eines bipolaren Transistors ..... | 301        |
| 5.3.1    | Arbeitspunkteinstellung .....                  | 301        |
| 5.3.2    | Arbeitspunktstabilisierung .....               | 302        |
| 5.4      | Modelle von bipolaren Transistoren .....       | 307        |
| 5.5      | Frequenzabhängigkeiten .....                   | 311        |
| 5.6      | Elementare Anwendungen .....                   | 318        |
| 5.6.1    | Kleinsignalverstärker. ....                    | 318        |
| 5.6.2    | Basis- und Kollektorschaltung. ....            | 321        |

|          |                                                     |            |
|----------|-----------------------------------------------------|------------|
| 5.6.3    | Differenzverstärker.....                            | 323        |
| 5.6.4    | Transistor als Schalter .....                       | 325        |
| 5.7      | Simulationsbeispiele.....                           | 331        |
| <b>6</b> | <b>Thyristoren .....</b>                            | <b>348</b> |
| 6.1      | Ausführungsformen .....                             | 348        |
| 6.1.1    | Aufbau und Wirkungsweise .....                      | 348        |
| 6.1.2    | Diac und Triac.....                                 | 350        |
| 6.1.3    | Rückwärtssperrender Thyristor (SCR).....            | 351        |
| 6.2      | Simulation von Thyristoren .....                    | 354        |
| 6.3      | Thyristor als Schalter .....                        | 357        |
| 6.3.1    | Gleichstromschalter .....                           | 358        |
| 6.3.2    | Wechselstromschalter .....                          | 359        |
| 6.4      | Simulationsbeispiele.....                           | 362        |
| <b>7</b> | <b>Optoelektronische Halbleiterbauelemente.....</b> | <b>371</b> |
| 7.1      | Einteilung optoelektronischer Bauelemente .....     | 371        |
| 7.2      | Strahlungskenngrößen.....                           | 372        |
| 7.2.1    | Radiometrische Größen .....                         | 372        |
| 7.2.2    | Fotometrische Größen .....                          | 373        |
| 7.3      | Fotodetektoren.....                                 | 374        |
| 7.3.1    | Fotowiderstand und Fotodiode.....                   | 376        |
| 7.3.2    | Fotoelement und Solarzelle .....                    | 379        |
| 7.3.3    | Fototransistor .....                                | 381        |
| 7.3.4    | Fotothyristor .....                                 | 383        |
| 7.4      | Fotoaktoren .....                                   | 385        |
| 7.4.1    | Lumineszenzdiode .....                              | 385        |
| 7.4.2    | Optokoppler.....                                    | 389        |
| 7.5      | Simulationsbeispiele.....                           | 392        |
| <b>8</b> | <b>Operationsverstärker .....</b>                   | <b>400</b> |
| 8.1      | Grundprinzip eines Operationsverstärkers .....      | 400        |
| 8.2      | Kenngrößen des Operationsverstärkers .....          | 402        |

|           |                                                            |            |
|-----------|------------------------------------------------------------|------------|
| 8.3       | Reales Verhalten eines Operationsverstärkers. ....         | 415        |
| 8.3.1     | Kompensationsmaßnahmen . . . . .                           | 415        |
| 8.3.2     | Frequenzgangkorrektur. ....                                | 417        |
| 8.4       | Grundsaltungen mit OV . . . . .                            | 418        |
| 8.4.1     | Invertierender Verstärker . . . . .                        | 418        |
| 8.4.2     | Nichtinvertierender Verstärker. ....                       | 420        |
| 8.5       | Analoge Rechenschaltungen . . . . .                        | 423        |
| 8.5.1     | Summenverstärker . . . . .                                 | 423        |
| 8.5.2     | Differenzverstärker. ....                                  | 426        |
| 8.5.3     | Differenzierer . . . . .                                   | 427        |
| 8.5.4     | Integrierer . . . . .                                      | 429        |
| 8.6       | Komparatoren . . . . .                                     | 431        |
| 8.7       | Konstantstromquellen . . . . .                             | 435        |
| 8.8       | Spitzenwertgleichrichter . . . . .                         | 436        |
| 8.9       | Aktive RC-Filter. ....                                     | 439        |
| 8.9.1     | Tief- und Hochpässe . . . . .                              | 440        |
| 8.9.2     | Bandpassschaltungen. ....                                  | 452        |
| 8.10      | Simulationsbeispiele. ....                                 | 463        |
| <b>9</b>  | <b>Anhang</b> . . . . .                                    | <b>489</b> |
| 9.1       | Waveform Sources (Voltage Source/Current Source) . . . . . | 489        |
| 9.2       | Switch (Switch/V-Switch/I-Switch) . . . . .                | 495        |
| 9.3       | Passive Bauelemente (linear). ....                         | 499        |
| <b>10</b> | <b>Formelzeichenverzeichnis</b> . . . . .                  | <b>503</b> |
| <b>11</b> | <b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .                      | <b>509</b> |
|           | <b>Index</b> . . . . .                                     | <b>510</b> |