

# Inhaltsverzeichnis

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Einführung zu den theoretischen Grundlagen.....                            | 1  |
| 2     | Einleitung zur Elektrotechnik .....  | 5  |
| 2.1   | Die Ladung.....  | 6  |
| 2.2   | Die Ladung als Ausgangspunkt.....  | 7  |
| 3     | Erster Exkurs Mathematik.....  | 9  |
| 3.1   | Vektorrechnung.....  | 9  |
| 3.2   | Ableitung und Integration nach Weg, Fläche und Volumen.....                | 10 |
| 3.3   | Partielle Ableitungen* .....   | 11 |
| 4     | Vorgänge in elektrischen Leitern .....                                     | 13 |
| 4.1   | Grundbegriffe im Leiter – Strom, Spannung .....                            | 13 |
| 4.1.1 | Darstellung der Grundgrößen aus physikalischen Überlegungen .....          | 13 |
| 4.1.2 | Messung der Größen in Leitern – Ladung, Strom, Spannung.....               | 17 |
| 4.1.3 | Übungsaufgaben zur Verdeutlichung praktischer Größenordnungen .....        | 19 |
| 4.1.4 | Wichtige Formen und Kenngrößen .....                                       | 20 |
| 4.1.5 | Messung und Darstellung von Feldern in leitenden Medien – Feldlinien ..... | 21 |
| 4.2   | Strom-Spannungs-Beziehung am Widerstand .....                              | 25 |
| 4.2.1 | Driftbewegung und Ohm'sches Gesetz.....                                    | 25 |
| 4.2.2 | Bauformen und Kenngrößen .....   | 27 |
| 4.2.3 | Messung von Widerständen .....   | 28 |
| 4.2.4 | Nichtlineare Widerstände.....  | 29 |
| 4.2.5 | Übungsaufgaben zum Widerstand .....  | 30 |
| 4.3   | Kirchhoff'sche Sätze sowie Reihen- und Parallelschaltung .....             | 31 |
| 4.3.1 | Knotenpunkt und Maschensatz .....  | 31 |
| 4.3.2 | Parallel- und Reihenschaltung, Strom- und Spannungsteilung.....            | 32 |
| 4.3.3 | Übungsaufgaben zu einigen praktischen Anwendungen .....                    | 34 |
| 4.4   | Energieumwandlung und Leistung.....  | 35 |
| 4.4.1 | Energie, Leistung und Wirkungsgrad.....                                    | 35 |
| 4.4.2 | Messung von Energie und Leistung.....                                      | 36 |
| 4.4.3 | Übungsaufgaben zur Leistung.....   | 38 |
| 4.4.4 | Anwendung in der Elektrochemie (Batterien, Akkus, Elektrolyse)* .....      | 39 |
| 4.4.5 | Anwendung in der Wärmelehre* .....   | 42 |
| 4.4.6 | Anwendung in der Lichttechnik* .....                                       | 44 |
| 4.4.7 | Übungsaufgaben zu Chemie, Wärme, Licht * .....                             | 46 |
| 5     | Vorgänge in elektrischen Nichtleitern .....                                | 47 |
| 5.1   | Grundbegriffe im Nichtleiter – Verschiebungsfluss .....                    | 47 |
| 5.1.1 | Darstellung der Grundgrößen aus physikalischen Überlegungen .....          | 47 |
| 5.1.2 | Messung und Darstellung von elektrostatischen Feldern.....                 | 49 |
| 5.2   | Ladung, Strom und Spannung am Kondensator.....                             | 49 |
| 5.2.1 | Zusammenhang von Ladung und Spannung sowie Strom und Spannung.....         | 49 |
| 5.2.2 | Zeitverhalten von I und U an der Kapazität .....                           | 53 |
| 5.2.3 | Bauformen und Kenngrößen .....   | 54 |
| 5.2.4 | Messung der Kapazität .....  | 54 |
| 5.2.5 | Übungsaufgaben zur Kapazität .....   | 55 |
| 5.2.6 | Messung des Zeitverlaufes mit einem Messoszilloskop .....                  | 56 |
| 5.2.7 | Anmerkungen zu Dielektrika* .....  | 57 |
| 5.3   | Energie und Kräfte im elektrischen Feld des Nichtleiters.....              | 58 |
| 5.3.1 | Beschreibung von Energie und Kräften .....                                 | 58 |
| 5.3.2 | Anwendungsbeispiel zu Energie und Kräften.....                             | 60 |
| 5.3.3 | Übungsaufgabe zu Energie und Kräften .....                                 | 61 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 6     | Vorgänge im Magnetfeld .....  | 63  |
| 6.1   | Grundbegriffe: magnetische Ursprung, Fluss, Widerstand .....        | 63  |
| 6.1.1 | Darstellung der Grundgrößen aus physikalischen Überlegungen .....   | 63  |
| 6.1.2 | Der magnetische Kreis .....   | 64  |
| 6.1.3 | Übungsaufgaben zum magnetischen Kreis .....                         | 67  |
| 6.1.4 | Das Durchflutungsgesetz.....  | 67  |
| 6.1.5 | Messung und Darstellung von magnetischen Feldern – Feldlinien ..... | 69  |
| 6.1.6 | Lorentzkraft.....   | 70  |
| 6.1.7 | Das Induktionsgesetz.....   | 71  |
| 6.1.8 | Übungsaufgaben zur Durchflutung und Induktion.....                  | 74  |
| 6.2   | Koppelfluss, Strom und Spannung an der Induktivität (Spule) .....   | 76  |
| 6.2.1 | Zusammenhang zwischen Koppelfluss, Spannung und Strom .....         | 76  |
| 6.2.2 | Anmerkungen zu magnetischen Materialien* .....                      | 80  |
| 6.2.3 | Bauformen und Kenngrößen .....                                      | 82  |
| 6.2.4 | Messung der Induktivität.....                                       | 82  |
| 6.2.5 | Übungsaufgaben zur Induktivität.....                                | 83  |
| 6.2.6 | Messung von Zeitverläufen an der Induktivität .....                 | 85  |
| 6.3   | Energie und Kräfte im magnetischen Feld.....                        | 86  |
| 6.3.1 | Beschreibung von Energie und Kräften .....                          | 86  |
| 6.3.2 | Anwendungen zu Kräften im Magnetfeld.....                           | 88  |
| 6.3.3 | Übungsaufgaben zu Kräften im Magnetfeld .....                       | 89  |
| 7     | Zusammenfassung und Gegenüberstellung.....                          | 91  |
| 7.1   | Gegenüberstellung der Grundgrößen .....                             | 91  |
| 7.2   | Erweiterungen zu den theoretischen Grundlagen.....                  | 94  |
| 7.2.1 | Beispiele verkoppelter Felder (Skinneffekt, Wellenleitung)* .....   | 95  |
| 7.2.2 | Zusammenfassende Aspekte der Messtechnik.....                       | 97  |
| 7.2.3 | Messoszilloskop .....   | 99  |
| 8     | Zweiter Exkurs Mathematik.....                                      | 101 |
| 8.1   | Lösung linearer Gleichungssysteme.....                              | 101 |
| 8.2   | Lösung linearer Differentialgleichungen* .....                      | 102 |
| 9     | Analyse elektrischer Stromkreise und Netzwerke .....                | 105 |
| 9.1   | Grundstromkreis.....  | 105 |
| 9.1.1 | Analyse eines Grundstromkreises .....                               | 105 |
| 9.1.2 | Interpretation der Kenngrößen für verschiedene Anwendungen .....    | 110 |
| 9.1.3 | Messungen am Grundstromkreis.....                                   | 112 |
| 9.1.4 | Übungsaufgaben zu Anwendungen des Grundstromkreises.....            | 114 |
| 9.2   | Netzwerke – verzweigte und vermaschte Schaltungen .....             | 115 |
| 9.2.1 | Analyse verzweigter und vermaschter Schaltungen.....                | 115 |
| 9.2.2 | Übungsaufgaben mit Beispielen zur Schaltungsberechnung .....        | 119 |
| 9.3   | Überlagerungsprinzip .....  | 121 |
| 9.3.1 | Schaltungsanalyse mit Hilfe des Überlagerungssatzes .....           | 121 |
| 9.3.2 | Übungsaufgaben zu Anwendungen des Überlagerungssatzes .....         | 123 |
| 9.4   | Ersatzzweipole (Ersatzschaltungen).....                             | 124 |
| 9.4.1 | Schaltungsanalyse mit Hilfe von Ersatzzweipolen .....               | 124 |
| 9.4.2 | Übungsaufgaben zur Anwendung von Ersatzzweipolen.....               | 125 |
| 9.5   | Modellierung und Simulation.....                                    | 126 |
| 9.5.1 | Grundlagen der Modellierung für Simulationsprogramme.....           | 126 |
| 9.5.2 | Beispielaufgabe für eine Rechnersimulation.....                     | 127 |
| 9.6   | Ausblick auf weitere Analysemethoden.....                           | 127 |
| 10    | Dritter Exkurs Mathematik.....                                      | 129 |
| 10.1  | Komplexe Zahlen .....   | 129 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 10.2   | Rechnen mit komplexen Zahlen.....                                      | 129 |
| 10.3   | Grafische Darstellung komplexer Zahlen .....                           | 130 |
| 10.4   | Fourierreihe .....   | 131 |
| 10.5   | Unstetige Zeitfunktionen (Distributionen)* .....                       | 133 |
| 10.6   | Fouriertransformation*.....  | 133 |
| 10.7   | Diskrete Signale und diskrete Fouriertransformation* .....             | 134 |
| 10.8   | Laplace transformation* .....  | 135 |
| 10.9   | Rechnen mit logarithmischen Pegeln .....                               | 137 |
| 11     | Analyse bei zeitveränderlichen Signalen .....                          | 139 |
| 11.1   | Schaltungen und Geräte mit sinusförmigen Signalen .....                | 140 |
| 11.1.1 | Behandlung mit Hilfe der komplexen Rechnung .....                      | 140 |
| 11.1.2 | Behandlung mit grafischen Methoden .....                               | 143 |
| 11.1.3 | Analyse des Frequenzverhaltens wichtiger Schaltungen .....             | 147 |
| 11.1.4 | Parameter für elektrische Stromkreise .....                            | 150 |
| 11.1.5 | Kennwerte und Übungsaufgaben .....                                     | 152 |
| 11.1.6 | Messung des Frequenzgangs eines Schwingkreises.....                    | 154 |
| 11.2   | Nichtsinusförmige periodische Signale.....                             | 155 |
| 11.2.1 | Mehrere sinusförmige Quellen.....                                      | 155 |
| 11.2.2 | Behandlung mit Hilfe der Fourierreihe .....                            | 156 |
| 11.2.3 | Wichtige Testsignale zur Analyse von Schaltungen .....                 | 157 |
| 11.2.4 | Kennwerte und Übungsaufgaben .....                                     | 159 |
| 11.3   | Nichtperiodische Signale.....  | 159 |
| 11.3.1 | Behandlung mit der Fouriertransformation.....                          | 159 |
| 11.3.2 | Diskrete Signale und diskrete Fouriertransformation .....              | 160 |
| 11.4   | Schalt- und Übergangsvorgänge .....                                    | 161 |
| 11.4.1 | Behandlung mit Hilfe der Laplace transformation.....                   | 161 |
| 11.4.2 | Beispiel: Analyse des Ein- und Ausschaltens eines Schwingkreises ..... | 162 |
| 11.4.3 | Übertragungsfunktionen von Systemen .....                              | 168 |
| 11.4.4 | Kennwerte und Aufgaben.....  | 170 |
| 11.4.5 | Messung des Ein- und Ausschaltens eines Schwingkreises.....            | 171 |
| 12     | Halbleiterbauelemente.....   | 175 |
| 12.1   | Physikalische Grundlagen für Festkörper .....                          | 176 |
| 12.1.1 | Leitungsmechanismus in Festkörpern.....                                | 176 |
| 12.1.2 | Dotierung von Halbleitermaterial.....                                  | 180 |
| 12.1.3 | Kennwerte von Halbleitermaterialien und Übungsaufgaben .....           | 182 |
| 12.2   | PN-Übergang.....   | 183 |
| 12.2.1 | Gleichgewicht von Diffusion und Feld .....                             | 183 |
| 12.2.2 | Einfluss einer äußeren Spannung .....                                  | 185 |
| 12.2.3 | Kennlinie eines PN-Übergangs .....                                     | 187 |
| 12.2.4 | Metall-Halbleiter-Übergang .....                                       | 189 |
| 12.2.5 | Ersatzschaltungen für eine Halbleiterdiode.....                        | 191 |
| 12.2.6 | Kennwerte und Übungsaufgaben zu Halbleiterdioden.....                  | 192 |
| 12.2.7 | Messung und Auswertung der Kennlinie von Dioden .....                  | 194 |
| 12.3   | Bipolartransistor .....  | 196 |
| 12.3.1 | Steuerung durch Trägerinjektion.....                                   | 196 |
| 12.3.2 | Kennlinie des Bipolartransistors .....                                 | 198 |
| 12.3.3 | Grundsaltungen, Vierpoldarstellung und Kleinsignalverhalten .....      | 199 |
| 12.3.4 | Kennwerte und Übungsaufgaben zum Transistor .....                      | 203 |
| 12.3.5 | Messungen am Transistorverstärker.....                                 | 205 |
| 12.4   | Feldeffekttransistor.....  | 205 |
| 12.4.1 | Trägeranreicherung und -verarmung im Kanal .....                       | 205 |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 12.4.2 | Kennlinien, Ersatz- und Grundsaltungen des FET .....                | 207 |
| 12.4.3 | Kennwerte und Beispiele zum Feldeffekttransistor .....              | 208 |
| 12.5   | Weitere wichtige Halbleiterbauelemente .....                        | 209 |
| 13     | Analoge Schaltungstechnik .....                                     | 211 |
| 13.1   | Einteilung von Verstärkerschaltungen .....                          | 211 |
| 13.1.1 | Arbeitspunkt, Eigenschaften und Betriebsverhalten .....             | 211 |
| 13.1.2 | Anforderungen der Anwendung .....                                   | 213 |
| 13.2   | Operationsverstärkertechnik .....                                   | 213 |
| 13.2.1 | Differenzverstärker, Operationsverstärker und seine Parameter ..... | 213 |
| 13.2.2 | Prinzip der Gegenkopplung .....                                     | 217 |
| 13.2.3 | Dimensionierung von Operationsverstärkerschaltungen .....           | 219 |
| 13.2.4 | Messen von Parametern bei Operationsverstärkern .....               | 221 |
| 13.2.5 | Schaltungsbeispiele mit Operationsverstärkern .....                 | 222 |
| 13.3   | Übungsaufgaben zum Operationsverstärker .....                       | 225 |
| 14     | Vierter Exkurs Mathematik .....                                     | 227 |
| 14.1   | Mathematische Grundlagen – Zahlensysteme .....                      | 227 |
| 14.2   | Rechnen mit verschiedenen Zahlensystemen .....                      | 229 |
| 15     | Digitale Schaltungstechnik .....                                    | 231 |
| 15.1   | Grundlagen digitaler Signale .....                                  | 231 |
| 15.1.1 | Informationstechnische Grundlagen digitaler Signale .....           | 231 |
| 15.1.2 | Quantisierung von Signalen und Codierung .....                      | 233 |
| 15.1.3 | Grundlagen digitaler Signalverarbeitung – Schaltalgebra .....       | 236 |
| 15.1.4 | Übungsaufgaben zu Zahlen, Codierung und Schaltalgebra .....         | 238 |
| 15.2   | Kombinatorische Schaltungen (Schaltnetze) .....                     | 239 |
| 15.2.1 | Entwurf kombinatorischer Schaltungen .....                          | 239 |
| 15.2.2 | Wichtige Beispiele zu Schaltnetzen .....                            | 241 |
| 15.2.3 | Übungsaufgaben und Versuch zu Schaltnetzen .....                    | 243 |
| 15.3   | Sequentielle Schaltungen (Schaltwerke) .....                        | 243 |
| 15.3.1 | Wichtige Speicheranordnungen .....                                  | 243 |
| 15.3.2 | Beispiel für den Entwurf einer Ablaufsteuerung .....                | 247 |
| 15.3.3 | Versuch zur Schrittkette * .....                                    | 250 |
| 15.4   | Richtungen der weiteren Entwicklung .....                           | 250 |
| 16     | Analyse von Signalen und Systemen .....                             | 253 |
| 16.1   | Wichtige Signale und Systeme in der Elektronik .....                | 255 |
| 16.1.1 | Kennwerte für Audiosignale und -geräte .....                        | 255 |
| 16.1.2 | Messungen an einem analogen Mischpult .....                         | 258 |
| 16.1.3 | Kennwerte und Beispiele für Videosignale und -geräte .....          | 260 |
| 16.1.4 | Messung der Eigenschaften an RGB-Signalen .....                     | 263 |
| 16.2   | Analyse analog modulierter Signale .....                            | 263 |
| 16.2.1 | Amplitudenmodulation .....  | 263 |
| 16.2.2 | Frequenzumsetzung mit dem Überlagerungsverfahren .....              | 265 |
| 16.2.3 | Frequenzmodulation .....  | 266 |
| 16.2.4 | Phasenmodulation .....  | 268 |
| 16.2.5 | Stereo- und Videosignalmodulation .....                             | 268 |
| 16.2.6 | Kennwerte, Übungsaufgaben und Simulation modulierter Signale .....  | 270 |
| 16.3   | Diskrete Signale .....  | 272 |
| 16.3.1 | Diskrete Signale und diskrete Fouriertransformation .....           | 272 |
| 16.3.2 | Digitale Modulationsverfahren .....                                 | 275 |
| 16.3.3 | Codierung, Kompression und Fehlerkorrektur digitaler Signale .....  | 277 |
| 16.3.4 | Kennwerte und Übungsaufgaben für diskrete (digitale) Signale .....  | 280 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 17     | Zusammenfassung zur Regelungstechnik .....                     | 283 |
| 17.1   | Wichtige Regelkreisglieder und -strategien .....               | 285 |
| 17.1.1 | Regelstrecken .....  | 286 |
| 17.1.2 | Regeleinrichtungen.....  | 286 |
| 17.1.3 | Reglerstrukturen .....   | 288 |
| 17.2   | Regelungstechnische Analyse, Entwurf und Implementierung ..... | 292 |
| 17.3   | Übungsaufgaben zur Steuerung und Regelung .....                | 293 |
| 18     | Fünfter Exkurs Mathematik* .....                               | 295 |
| 18.1   | Raumzeigertransformation* .....                                | 295 |
| 18.2   | Drehstrom und -felder in der Raumzeigerdarstellung* .....      | 295 |
| 19     | Energiewandlung und Antriebe.....                              | 297 |
| 19.1   | Maschinen bei Gleichstrom.....                                 | 298 |
| 19.1.1 | Aufbau und Funktion der Gleichstrommaschine .....              | 298 |
| 19.1.2 | Schaltungen und Betrieb der Gleichstrommaschine .....          | 299 |
| 19.1.3 | Kennwerte und Übungsaufgaben .....                             | 304 |
| 19.1.4 | Messen der Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie .....                 | 304 |
| 19.2   | Maschinen für Wechselstrom.....                                | 305 |
| 19.2.1 | Transformator als ruhende Maschine .....                       | 305 |
| 19.2.2 | Universalmotor.....  | 309 |
| 19.2.3 | Kennwerte und Übungsaufgaben .....                             | 310 |
| 19.2.4 | Messen der Kennwerte eines Transformators .....                | 311 |
| 19.3   | Drehfeldmaschinen.....   | 311 |
| 19.3.1 | Dreiphasensysteme für Strom und Spannung .....                 | 311 |
| 19.3.2 | Das Drehfeld .....   | 315 |
| 19.3.3 | Asynchronmaschine .....  | 316 |
| 19.3.4 | Synchronmaschine .....   | 322 |
| 19.3.5 | Parallelbetrieb eines Synchrongenerators zum Netz.....         | 325 |
| 19.3.6 | Inselbetrieb und Betriebsverhalten der Synchronmaschine .....  | 327 |
| 19.3.7 | Kennwerte Übungs- und Messaufgaben .....                       | 328 |
| 19.4   | Auswahl eines Motors für eine Antriebsaufgabe .....            | 330 |
| 19.5   | Ausblick, weitere elektrische Maschinen.....                   | 331 |
| 20     | Leistungselektronische Energiewandler.....                     | 333 |
| 20.1   | Arbeitsweise von Stromrichtern.....                            | 333 |
| 20.1.1 | Grundprinzip und Eigenschaften.....                            | 333 |
| 20.1.2 | Steuralgorithmen für selbstgesteuerte Stromrichter .....       | 338 |
| 20.1.3 | Steuralgorithmen für fremdgesteuerte Stromrichter.....         | 340 |
| 20.1.4 | Kennwerte und Übungsaufgaben .....                             | 341 |
| 20.2   | Beispiele für Stromrichter .....                               | 342 |
| 20.2.1 | Phasenanschnittsteuerung für Wechselstromsteller .....         | 342 |
| 20.2.2 | Messungen an einem Dimmer mit Phasenanschnitt.....             | 343 |
| 20.2.3 | Mit Frequenzumrichter gesteuerter Asynchronmotor .....         | 343 |
| 20.2.4 | Netzgelöschter Wechselrichter.....                             | 344 |
| 20.2.5 | Messen an einem netzgelöschten Wechselrichter .....            | 346 |
| 20.3   | Entwicklungstrends .....                                       | 347 |
| 21     | Kurzes Fazit zur Arbeit im Beruf.....                          | 349 |
| 22     | Lösungen der Übungsaufgaben.....                               | 351 |
| 22.1   | Lösungen zu Abschnitt 4.....                                   | 351 |
| 22.2   | Lösungen zu Abschnitt 5.....                                   | 355 |
| 22.3   | Lösungen zu Abschnitt 6.....                                   | 357 |
| 22.4   | Lösungen zu Abschnitt 9.....                                   | 364 |
| 22.5   | Lösungen zu Abschnitt 11.....                                  | 370 |

|                           |                               |     |
|---------------------------|-------------------------------|-----|
| 22.6                      | Lösungen zu Abschnitt 12..... | 378 |
| 22.7                      | Lösungen zu Abschnitt 13..... | 385 |
| 22.8                      | Lösungen zu Abschnitt 15..... | 386 |
| 22.9                      | Lösungen zu Abschnitt 16..... | 390 |
| 22.10                     | Lösungen zu Abschnitt 17..... | 394 |
| 22.11                     | Lösungen zu Abschnitt 19..... | 395 |
| 22.12                     | Lösungen zu Abschnitt 20..... | 399 |
| Literaturverzeichnis..... |                               | 401 |
| Sachverzeichnis.....      |                               | 403 |