

---

# Inhaltsverzeichnis

## Teil A Grundlagen der Elektrotechnik

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Das elektrische Feld</b>                                    | <b>3</b>  |
| 1.1      | Feldbegriff. Darstellung von Feldern                           | 3         |
| 1.2      | Das stationäre elektrische Strömungsfeld                       | 4         |
| 1.2.1    | Ladung. Strom. Stromdichte                                     | 4         |
| 1.2.2    | Potenzial. Spannung. Feldstärke                                | 11        |
| 1.2.3    | Elektrischer Widerstand. Ohmsches Gesetz                       | 17        |
| 1.2.4    | Der elektrische Stromkreis                                     | 19        |
| 1.2.5    | Die Gesetze von Kirchhoff                                      | 22        |
| 1.3      | Das elektrostatische Feld                                      | 24        |
| 1.3.1    | Entwicklung aus dem Strömungsfeld                              | 24        |
| 1.3.2    | Kenngößen des elektrostatischen Feldes                         | 26        |
| 1.3.3    | Kapazität. Kondensatoren                                       | 28        |
| 1.3.4    | Kondensatorstrom   | 30        |
| 1.3.5    | Energie und Kräfte im elektrostatischen Feld                   | 31        |
| 1.4      | Übungsaufgaben   | 33        |
| <b>2</b> | <b>Das magnetische Feld</b>                                    | <b>37</b> |
| 2.1      | Magnetische Erscheinungen                                      | 37        |
| 2.2      | Magnetische Kenngrößen   | 40        |
| 2.2.1    | Magnetischer Fluss und magnetische Flussdichte                 | 40        |
| 2.2.2    | Durchflutung. Magnetische Spannung.<br>Magnetischer Widerstand | 42        |
| 2.2.3    | Die magnetische Feldstärke                                     | 44        |
| 2.3      | Das Durchflutungsgesetz  | 45        |
| 2.4      | Materie im Magnetfeld  | 50        |
| 2.4.1    | Die Permeabilität. Einteilung der Stoffe                       | 50        |
| 2.4.2    | Hystereseschleife und Magnetisierungskurve                     | 51        |
| 2.5      | Das Induktionsgesetz   | 57        |
| 2.5.1    | Grundlagen. Der Versuch von Faraday                            | 57        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 2.5.2    | Anwendungen des Induktionsgesetzes . . . . .                                      | 63         |
| 2.6      | Selbst- und Gegeninduktion . . . . .  | 66         |
| 2.6.1    | Selbstinduktion . . . . .   | 66         |
| 2.6.2    | Gegeninduktion . . . . .  | 69         |
| 2.7      | Energie und Kräfte im magnetischen Feld . . . . .                                 | 71         |
| 2.7.1    | Energieinhalt des Magnetfeldes . . . . .  | 71         |
| 2.7.2    | Kraftwirkungen im magnetischen Feld . . . . .                                     | 72         |
| 2.8      | Übungsaufgaben . . . . .  | 75         |
| <b>3</b> | <b>Berechnung von Stromkreisen bei Gleichstrom . . . . .</b>                      | <b>81</b>  |
| 3.1      | Der unverzweigte Gleichstromkreis . . . . .                                       | 81         |
| 3.1.1    | Der elektrische Widerstand . . . . .  | 81         |
| 3.1.2    | Lineare und nichtlineare Widerstände . . . . .                                    | 83         |
| 3.1.3    | Energie und Leistung im Gleichstromkreis . . . . .                                | 84         |
| 3.1.4    | Der Grundstromkreis . . . . .   | 85         |
| 3.1.5    | Leistungsumsatz im Stromkreis . . . . .   | 90         |
| 3.2      | Der verzweigte Gleichstromkreis . . . . .   | 92         |
| 3.2.1    | Vereinfachung von Widerstandsnetzwerken . . . . .                                 | 92         |
| 3.2.2    | Teilerregeln . . . . .  | 97         |
| 3.2.3    | Berechnung verzweigter Stromkreise mittels der Gesetze<br>von Kirchhoff . . . . . | 101        |
| 3.2.4    | Spannungsquellen und Stromquellen. Zweipoltheorie . . . . .                       | 104        |
| 3.3      | Übungsaufgaben . . . . .  | 106        |
| <b>4</b> | <b>Berechnung von Stromkreisen bei Wechselstrom . . . . .</b>                     | <b>111</b> |
| 4.1      | Erzeugung von Wechselstrom. Bestimmungsgrößen . . . . .                           | 111        |
| 4.2      | Kenngrößen . . . . .  | 113        |
| 4.2.1    | Zeitliche Mittelwerte . . . . .   | 113        |
| 4.2.2    | Zählpfeile . . . . .  | 116        |
| 4.3      | Darstellung sinusförmiger elektrischer Größen im Zeigerdiagramm . . . . .         | 117        |
| 4.4      | Spannungs- und Stromzeiger bei den Grundschaltelementen . . . . .                 | 118        |
| 4.5      | Zeigerdiagramme bei gemischten Wechselstromschaltungen . . . . .                  | 120        |
| 4.5.1    | Reihenschaltung von Kondensator und Widerstand . . . . .                          | 120        |
| 4.5.2    | Parallelschaltung von Spule und Widerstand . . . . .                              | 121        |
| 4.5.3    | Gemischte Schaltung . . . . .   | 122        |
| 4.6      | Die komplexe Darstellung von Zeigern . . . . .                                    | 124        |
| 4.7      | Komplexe Zeiger der Grundschaltelemente . . . . .                                 | 126        |
| 4.8      | Komplexer Widerstand und komplexer Leitwert . . . . .                             | 129        |
| 4.8.1    | Komplexer Widerstand . . . . .  | 129        |
| 4.8.2    | Komplexer Leitwert . . . . .  | 135        |
| 4.8.3    | Spannung und Strom im Zeit- und Frequenzbereich . . . . .                         | 137        |
| 4.9      | Wirk- und Blindkomponenten von Spannung und Strom . . . . .                       | 137        |

|                  |  |            |
|------------------|--|------------|
| 4.10             | Wechselstromleistung . . . . .                                   | 138        |
| 4.11             | Drehstrom (Dreiphasenwechselstrom) . . . . .                     | 144        |
| 4.11.1           | Erzeugung von Drehstrom . . . . .                                | 144        |
| 4.11.2           | Die Verkettung des Drehstromsystems . . . . .                    | 146        |
| 4.11.3           | Spannungen und Ströme im symmetrischen Drehstromsystem . . . . . | 149        |
| 4.11.4           | Drehstromleistung . . . . .                                      | 152        |
| 4.12             | Übungsaufgaben . . . . .   | 154        |
| <b>5</b>         | <b>Ausgleichsvorgänge in Stromkreisen . . . . .</b>              | <b>161</b> |
| 5.1              | Die Schaltgesetze . . . . .                                      | 162        |
| 5.2              | Aufladung eines Kondensators . . . . .                           | 163        |
| 5.3              | Kurzschluss einer stromdurchflossenen Spule . . . . .            | 166        |
| 5.4              | Schlussbemerkungen . . . . .                                     | 167        |
| 5.5              | Übungsaufgaben . . . . .   | 168        |
| <b>6</b>         | <b>Mechanismen der Stromleitung . . . . .</b>                    | <b>169</b> |
| 6.1              | Stromleitung im Vakuum . . . . .                                 | 169        |
| 6.2              | Stromleitung in Gasen . . . . .                                  | 172        |
| 6.3              | Stromleitung in Flüssigkeiten . . . . .                          | 175        |
| 6.4              | Stromleitung in Festkörpern . . . . .                            | 183        |
| 6.4.1            | Allgemeines . . . . .  | 183        |
| 6.4.2            | Stromleitung in Metallen . . . . .                               | 186        |
| 6.4.3            | Stromleitung in Halbleitern und Isolatoren . . . . .             | 187        |
| 6.5              | Übungsaufgaben . . . . .   | 196        |
| <b>Literatur</b> | . . . . .  | <b>199</b> |

## **Teil B Anwendungen der Elektrotechnik**

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| <b>7</b> | <b>Elektronik . . . . .</b>                                     | <b>203</b> |
| 7.1      | Einleitende Bemerkungen . . . . .                               | 203        |
| 7.2      | Elektronische Bauelemente . . . . .                             | 204        |
| 7.2.1    | Halbleiterwiderstände . . . . .                                 | 204        |
| 7.2.2    | Halbleiterdioden . . . . .                                      | 206        |
| 7.2.3    | Transistoren . . . . .  | 212        |
| 7.2.4    | Thyristoren . . . . .   | 230        |
| 7.2.5    | Optoelektronische Bauelemente . . . . .                         | 237        |
| 7.3      | Leistungselektronik . . . . .                                   | 242        |
| 7.3.1    | Einführung, Arten und Wirkungsweise von Stromrichtern . . . . . | 242        |
| 7.3.2    | Gleichrichter . . . . .   | 246        |
| 7.3.3    | Wechselrichter . . . . .  | 256        |
| 7.3.4    | Gleichstromumrichter . . . . .                                  | 258        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 7.3.5    | Wechselstromumrichter. Frequenzumrichter . . . . .    | 259        |
| 7.4      | Informationselektronik . . . . .                      | 262        |
| 7.4.1    | Einführung . . . . .                                  | 262        |
| 7.4.2    | Analoge und digitale Größen und Signale . . . . .     | 263        |
| 7.4.3    | Analogschaltungen . . . . .                           | 266        |
| 7.4.4    | Digitalschaltungen . . . . .                          | 270        |
| 7.5      | Mikroelektronik . . . . .                             | 281        |
| 7.5.1    | Schaltungsintegration . . . . .                       | 281        |
| 7.5.2    | Schaltkreisfamilien . . . . .                         | 283        |
| 7.5.3    | Mikroprozessoren und Mikrorechner . . . . .           | 284        |
| 7.6      | Übungsaufgaben . . . . .                              | 302        |
|          | Literatur . . . . .                                   | 307        |
| <b>8</b> | <b>Elektrische Maschinen und Antriebe . . . . .</b>   | <b>309</b> |
| 8.1      | Einleitung . . . . .                                  | 309        |
| 8.2      | Die Gleichstrommaschine . . . . .                     | 310        |
| 8.2.1    | Aufbau und Funktionsprinzip . . . . .                 | 310        |
| 8.2.2    | Erregung der Gleichstrommaschine . . . . .            | 313        |
| 8.2.3    | Der Gleichstromnebenschlussmotor . . . . .            | 314        |
| 8.2.4    | Der Gleichstromreihenschlussmotor . . . . .           | 322        |
| 8.2.5    | Spezielle Typen . . . . .                             | 323        |
| 8.3      | Der Transformator . . . . .                           | 324        |
| 8.3.1    | Grundsätzlicher Aufbau und Funktionsprinzip . . . . . | 324        |
| 8.3.2    | Der ideale Transformator . . . . .                    | 325        |
| 8.3.3    | Der technische Transformator . . . . .                | 332        |
| 8.3.4    | Drehstromtransformatoren . . . . .                    | 340        |
| 8.3.5    | Spezielle Transformatortypen . . . . .                | 343        |
| 8.4      | Rotierende Drehstrommaschinen . . . . .               | 344        |
| 8.4.1    | Das Drehfeld . . . . .                                | 344        |
| 8.4.2    | Arten von Drehfeldmaschinen . . . . .                 | 347        |
| 8.4.3    | Der Drehstromasynchronmotor . . . . .                 | 350        |
| 8.4.4    | Die Synchronmaschine . . . . .                        | 361        |
| 8.5      | Elektrische Antriebstechnik . . . . .                 | 372        |
| 8.5.1    | Mechanische Struktur elektrischer Antriebe . . . . .  | 372        |
| 8.5.2    | Grundgesetze elektrischer Antriebe . . . . .          | 373        |
| 8.5.3    | Betriebsarten elektrischer Maschinen . . . . .        | 378        |
| 8.5.4    | Ein- und Mehrquadrantenantriebe . . . . .             | 383        |
| 8.5.5    | Regelung elektrischer Antriebe . . . . .              | 386        |
| 8.5.6    | Ergänzende Bemerkungen . . . . .                      | 389        |
| 8.6      | Übungsaufgaben . . . . .                              | 389        |
|          | Literatur . . . . .                                   | 393        |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| <b>9</b>  | <b>Elektrische Energieversorgung</b>               | <b>395</b> |
| 9.1       | Einleitung   | 395        |
| 9.2       | Überblick zu Kraftwerken                           | 396        |
| 9.3       | Einsatzstrategien von Kraftwerken                  | 399        |
| 9.4       | Elektrotechnische Komponenten eines Kraftwerkes    | 400        |
| 9.5       | Übertragungssysteme für elektrische Energie        | 405        |
| 9.6       | Drehstromnetze                                     | 406        |
| 9.6.1     | Spannungsebenen                                    | 406        |
| 9.6.2     | Drehstromleitungen                                 | 408        |
| 9.6.3     | Netzgestaltung                                     | 423        |
| 9.7       | Schaltanlagen                                      | 426        |
| 9.7.1     | Arten von Schaltanlagen                            | 426        |
| 9.7.2     | Schaltgeräte der elektrischen Energietechnik       | 427        |
| 9.7.3     | Praktische Ausführung von Schaltanlagen            | 434        |
| 9.8       | Personenschutz in Niederspannungsnetzen            | 436        |
| 9.8.1     | Gefährdung des Menschen                            | 436        |
| 9.8.2     | Schutzmaßnahmen                                    | 438        |
| 9.9       | Übungsaufgaben                                     | 441        |
|           | Literatur  | 443        |
| <b>10</b> | <b>Elektrische Messtechnik</b>                     | <b>445</b> |
| 10.1      | Einleitung   | 445        |
| 10.2      | Grundlegende Begriffe der elektrischen Messtechnik | 445        |
| 10.3      | Elektrische Messwerke                              | 449        |
| 10.3.1    | Drehspulmesswerk                                   | 449        |
| 10.3.2    | Dreheisenmesswerk                                  | 450        |
| 10.3.3    | Elektrodynamisches Messwerk                        | 451        |
| 10.3.4    | Induktionsmesswerk                                 | 452        |
| 10.4      | Messgeräte   | 453        |
| 10.4.1    | Vielfachmesser                                     | 453        |
| 10.4.2    | Oszilloskope                                       | 455        |
| 10.4.3    | Registriergeräte                                   | 460        |
| 10.4.4    | Zählmessgeräte                                     | 463        |
| 10.5      | Messverfahren für elektrische Größen               | 464        |
| 10.5.1    | Messung von Strom und Spannung                     | 464        |
| 10.5.2    | Messung von Widerständen und Impedanzen            | 466        |
| 10.5.3    | Messung der elektrischen Leistung                  | 467        |
| 10.5.4    | Zeit- und Frequenzmessung                          | 469        |
| 10.6      | Elektrische Messung nichtelektrischer Größen       | 470        |
| 10.6.1    | Allgemeines  | 470        |
| 10.6.2    | Messung von Wegen und Winkeln                      | 471        |
| 10.6.3    | Messung von Kräften und Momenten                   | 473        |

---

|        |   |            |
|--------|---|------------|
| 10.6.4 | Drehzahlmessung . . . . .                                 | 475        |
| 10.6.5 | Temperaturmessung . . . . .                               | 476        |
| 10.7   | Messtechnik mit dem PC . . . . .                          | 478        |
| 10.7.1 | Einleitende Bemerkungen . . . . .                         | 478        |
| 10.7.2 | Geräte mit integrierter digitaler Schnittstelle . . . . . | 480        |
| 10.7.3 | Messkarten . . . . .                                      | 483        |
| 10.8   | Störbeeinflussung von Messkreisen . . . . .               | 490        |
| 10.9   | Elektromagnetische Verträglichkeit . . . . .              | 492        |
| 10.10  | Übungsaufgaben . . . . .                                  | 493        |
|        | Literatur . . . . .                                       | 496        |
|        | <b>Lösungen der Übungsaufgaben . . . . .</b>              | <b>497</b> |
|        | <b>Sachverzeichnis . . . . .</b>                          | <b>525</b> |