

Wolfgang Böge (Hrsg.)

# **Vieweg Handbuch Elektrotechnik**

2., verbesserte Auflage

Mit 1805 Abbildungen und 273 Tabellen



# Inhaltsverzeichnis

## Mathematik

|  |    |
|--|----|
| Arithmetik   | 1  |
| 1 Mengen   | 1  |
| 2 Aussageformen und logische Zeichen                           | 1  |
| 2.1 Aussageformen  | 1  |
| 2.2 Logische Zeichen   | 1  |
| 2.3 Vollständige Induktion                                     | 2  |
| 3 Einteilung der Zahlen  | 2  |
| 4 Grundrechenarten   | 3  |
| 5 Grundlegende Rechenregeln                                    | 4  |
| 5.1 Buchstabenrechnen  | 4  |
| 5.2 Kehrwert, Quersumme  | 4  |
| 5.3 Teilbarkeitsregeln   | 4  |
| 5.4 Punktrechnung vor Strichrechnung                           | 4  |
| 5.5 Potenzrechnung vor Punktrechnung                           | 4  |
| 5.6 Grundgesetze der Addition und Multiplikation               | 5  |
| 5.7 Grundregeln der Klammerrechnung                            | 5  |
| 5.8 Multiplikation mit Klammern                                | 5  |
| 5.9 Indizes, Summenzeichen, Produktzeichen                     | 6  |
| 5.10 Binomische Formeln  | 6  |
| 5.11 Fakultäten, Binomialkoeffizienten und Pascalsches Dreieck | 6  |
| 5.12 Binomischer Lehrsatz                                      | 7  |
| 5.13 Division mit Klammern                                     | 8  |
| 6 Bruchrechnung  | 8  |
| 6.1 Definitionen   | 8  |
| 6.2 Erweitern und Kürzen                                       | 8  |
| 6.3 Addieren und Subtrahieren gleichnamiger Brüche             | 9  |
| 6.4 Addieren und Subtrahieren ungleichnamiger Brüche           | 9  |
| 6.5 Multiplizieren von Brüchen                                 | 9  |
| 6.6 Dividieren von Brüchen                                     | 10 |
| 7 Potenz- und Wurzelrechnung                                   | 10 |
| 7.1 Definition der Potenz                                      | 10 |
| 7.2 Regeln der Potenzrechnung                                  | 10 |
| 7.3 Definition der Wurzel                                      | 11 |
| 7.4 Regeln der Wurzelrechnung                                  | 12 |
| 8 Dezimalzahlen und Dualzahlen                                 | 14 |
| 8.1 Dezimalsystem  | 14 |
| 8.2 Dualsystem   | 14 |
| 8.3 Runden   | 15 |
| 9 Logarithmen  | 15 |
| 9.1 Definition des Logarithmus                                 | 15 |
| 9.2 Spezielle Basen  | 15 |
| 9.3 Regeln der Logarithmenrechnung                             | 16 |
| 9.4 Zusammenhang von Logarithmen mit verschiedenen Basen       | 16 |
| 9.5 Dekadische Logarithmen                                     | 17 |
| 10 Mittelwerte   | 17 |
| 10.1 Arithmetisches Mittel                                     | 17 |
| 10.2 Geometrisches Mittel                                      | 17 |
| 10.3 Harmonisches Mittel                                       | 17 |
| 10.4 Quadratisches Mittel                                      | 18 |
| 11 Ungleichungen   | 18 |
| 11.1 Definitionen und Rechenregeln                             | 18 |
| 11.2 Absolutbetrag   | 18 |
| 11.3 Intervalle  | 19 |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| 12         | Komplexe Zahlen . . . . .   | 19        |
| 12.1       | Algebraische Form . . . . .                                       | 19        |
| 12.2       | Trigonometrische Form . . . . .                                   | 20        |
| 12.3       | Addieren und Subtrahieren komplexer Zahlen. . . . .               | 21        |
| 12.4       | Multiplizieren komplexer Zahlen. . . . .                          | 21        |
| 12.5       | Dividieren komplexer Zahlen. . . . .                              | 22        |
| 12.6       | Potenzieren komplexer Zahlen. . . . .                             | 22        |
| 12.7       | Radizieren komplexer Zahlen. . . . .                              | 23        |
| 12.8       | Eulersche Formel. . . . .   | 23        |
| <b>II</b>  | <b>Gleichungen . . . . .</b>                                      | <b>24</b> |
| 1          | Gleichungsarten . . . . .   | 24        |
| 2          | Äquivalente Umformungen . . . . .                                 | 25        |
| 3          | Lineare Gleichungen . . . . .                                     | 26        |
| 4          | Proportionen . . . . .  | 26        |
| 5          | Quadratische Gleichungen . . . . .                                | 27        |
| 5.1        | Definitionen . . . . .  | 27        |
| 5.2        | Lösungsverfahren . . . . .  | 27        |
| 5.2.1      | Sonderfälle. . . . .  | 27        |
| 5.2.2      | Normalform . . . . .  | 28        |
| 5.2.3      | Allgemeine Formen. . . . .  | 29        |
| 5.2.4      | Zerlegung in Linearfaktoren. . . . .                              | 29        |
| 5.3        | Satz von Vieta für quadratische Gleichungen. . . . .              | 29        |
| 6          | Algebraische Gleichungen höheren Grades . . . . .                 | 30        |
| 6.1        | Kubische Gleichungen . . . . .                                    | 30        |
| 6.2        | Polynomdivision . . . . .   | 31        |
| 6.3        | Gleichungen vierten Grades. . . . .                               | 32        |
| 6.4        | Gleichungen M-ten Grades . . . . .                                | 33        |
| 6.5        | Satz von Vieta für Gleichungen n-ten Grades . . . . .             | 33        |
| 7          | Auf algebraische Gleichungen zurückführbare Gleichungen . . . . . | 34        |
| 7.1        | Bruchgleichungen. . . . .   | 34        |
| 7.2        | Wurzelgleichungen. . . . .  | 35        |
| 8          | Transzendente Gleichungen . . . . .                               | 35        |
| 8.1        | Exponentialgleichungen. . . . .                                   | 35        |
| 8.2        | Logarithmische Gleichungen. . . . .                               | 36        |
| 8.3        | Trigonometrische Gleichungen. . . . .                             | 36        |
| 9          | Lineare Gleichungssysteme . . . . .                               | 37        |
| 9.1        | Definitionen . . . . .  | 37        |
| 9.2        | Zwei lineare Gleichungen mit zwei Variablen. . . . .              | 37        |
| 9.3        | Drei lineare Gleichungen mit drei Variablen. . . . .              | 39        |
| 9.4        | Matrizen und Determinanten. . . . .                               | 39        |
| 10         | Lineare Ungleichungen. . . . .                                    | 44        |
| 10.1       | Definitionen . . . . .  | 44        |
| 10.2       | Lineare Ungleichungen mit einer Variablen. . . . .                | 44        |
| 10.3       | Lineare Ungleichungen mit zwei Variablen. . . . .                 | 45        |
| 10.4       | Lineare Ungleichungssysteme mit zwei Variablen. . . . .           | 45        |
| <b>III</b> | <b>Planimetrie . . . . .</b>                                      | <b>46</b> |
| 1          | Geraden und Strecken . . . . .                                    | 46        |
| 2          | Winkel . . . . .  | 47        |
| 3          | Grundkonstruktionen mit Zirkel und Lineal . . . . .               | 48        |
| 4          | Projektion . . . . .  | 49        |
| 5          | Geometrische Örter . . . . .                                      | 50        |
| 6          | Dreiecke . . . . .  | 50        |
| 6.1        | Allgemeine Dreiecke. . . . .                                      | 50        |
| 6.2        | Gleichschenklige Dreiecke. . . . .                                | 51        |
| 6.3        | Gleichseitige Dreiecke. . . . .                                   | 51        |
| 6.4        | Rechtwinklige Dreiecke. . . . .                                   | 51        |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 6.5       | Besondere Geraden, Strecken und Kreise   | 51        |
| 6.6       | Flächensätze im rechtwinkligen Dreieck   | 53        |
| 6.7       | Kongruenz von Dreiecken                  | 54        |
| 6.8       | Grundkonstruktionen des Dreiecks         | 55        |
| <b>7</b>  | <b>Vierecke</b>                          | <b>56</b> |
| 7.1       | Allgemeine Vierecke                      | 56        |
| 7.2       | Trapeze                                  | 57        |
| 7.3       | Parallelogramme                          | 57        |
| 7.4       | Rhomben                                  | 57        |
| 7.5       | Rechtecke                                | 58        |
| 7.6       | Quadrate                                 | 58        |
| 7.7       | Drachen                                  | 58        |
| 7.8       | Sehnenvierecke                           | 58        |
| 7.9       | Tangentenvierecke                        | 59        |
| <b>8</b>  | <b>Reguläre n-Ecke</b>                   | <b>59</b> |
| <b>9</b>  | <b>Polygone</b>                          | <b>60</b> |
| <b>10</b> | <b>Kreise</b>                            | <b>61</b> |
| 10.1      | Definitionen                             | 61        |
| 10.2      | Kreissectoren                            | 61        |
| 10.3      | Kreissegmente                            | 62        |
| 10.4      | Kreise und Geraden                       | 62        |
| 10.5      | Winkelsätze am Kreis                     | 62        |
| 10.6      | Eigenschaften von Sekanten und Sehnen    | 63        |
| 10.7      | Tangentenkonstruktionen                  | 63        |
| 10.8      | Sätze über Sehnen, Sekanten, Tangenten   | 63        |
| 10.9      | Bogenmaß                                 | 64        |
| <b>11</b> | <b>Symmetrie</b>                         | <b>64</b> |
| 11.1      | Punktsymmetrie                           | 64        |
| 11.2      | Achsensymmetrie                          | 65        |
| <b>12</b> | <b>Ähnlichkeit</b>                       | <b>65</b> |
| 12.1      | Zentrische Streckung                     | 65        |
| 12.2      | Strahlensätze                            | 65        |
| 12.3      | Ähnliche Figuren                         | 66        |
| 12.4      | Streckenteilungen                        | 66        |
| <b>IV</b> | <b>Stereometrie</b>                      | <b>68</b> |
| <b>1</b>  | <b>Prismen</b>                           | <b>68</b> |
| 1.1       | Allgemeine Prismen                       | 68        |
| 1.2       | Parallelepipid und Würfel                | 68        |
| <b>2</b>  | <b>Zylinder</b>                          | <b>69</b> |
| 2.1       | Allgemeine Zylinder                      | 69        |
| 2.2       | Gerade Kreiszyylinder                    | 69        |
| 2.3       | Hohlzylinder                             | 69        |
| <b>3</b>  | <b>Pyramiden</b>                         | <b>70</b> |
| 3.1       | Allgemeine Pyramiden                     | 70        |
| 3.2       | Gerade quadratische Pyramiden            | 70        |
| <b>4</b>  | <b>Kegel</b>                             | <b>71</b> |
| 4.1       | Allgemeine Kegel                         | 71        |
| 4.2       | Gerade Kreiskegel                        | 71        |
| <b>5</b>  | <b>Cavalierisches Prinzip</b>            | <b>72</b> |
| <b>6</b>  | <b>Pyramidenstümpfe und Kegelstümpfe</b> | <b>72</b> |
| 6.1       | Pyramidenstümpfe                         | 72        |
| 6.2       | Kegelstümpfe                             | 72        |
| <b>7</b>  | <b>Platonische Körper</b>                | <b>73</b> |
| <b>8</b>  | <b>Kugeln</b>                            | <b>74</b> |
| 8.1       | Definitionen                             | 74        |
| 8.2       | Kugelsegmente                            | 74        |
| 8.3       | Kugelsektoren                            | 75        |
| 8.4       | Kugelschichten                           | 75        |

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| V   | Funktionen  | 76  |
| 1   | Definition und Darstellungen von Funktionen             | 76  |
| 1.1 | Definitionen  | 76  |
| 1.2 | Funktionsgleichung                                      | 76  |
| 1.3 | Graph einer Funktion                                    | 77  |
| 1.4 | Wertetabelle einer Funktion                             | 77  |
| 2   | Verhalten von Funktionen                                | 77  |
| 2.1 | Monotone Funktionen                                     | 77  |
| 2.2 | Symmetrische Funktionen                                 | 78  |
| 2.3 | Beschränkte Funktionen                                  | 79  |
| 2.4 | Injektive Funktionen                                    | 79  |
| 2.5 | Surjektive Funktionen                                   | 79  |
| 2.6 | Bijektive Funktionen                                    | 79  |
| 2.7 | Periodische Funktionen                                  | 79  |
| 2.8 | Umkehrfunktionen  | 79  |
| 2.9 | Reelle und komplexe Funktionen                          | 80  |
| 3   | Einteilung der elementaren Funktionen                   | 80  |
| 4   | Ganze rationale Funktionen                              | 82  |
| 4.1 | Konstante Funktionen                                    | 82  |
| 4.2 | Lineare Funktionen                                      | 82  |
| 4.3 | Quadratische Funktionen                                 | 84  |
| 4.4 | Kubische Funktionen                                     | 87  |
| 4.5 | Ganze rationale Funktionen n-ten Grades                 | 88  |
| 4.6 | Horner-Schema   | 89  |
| 5   | <b>Gebrochene rationale Funktionen</b>                  | 89  |
| 5.1 | Nullstellen, Pole, Asymptoten                           | 89  |
| 5.2 | Partialbruchzerlegung                                   | 92  |
| 6   | <b>Irrationale Funktionen</b>                           | 93  |
| 7   | <b>Transzendente Funktionen</b>                         | 95  |
| 7.1 | Exponentialfunktionen                                   | 95  |
| 7.2 | Logarithmusfunktionen                                   | 96  |
| VI  | Trigonometrie   | 97  |
| 1   | Definition der trigonometrischen Funktionen             | 97  |
| 2   | Trigonometrische Funktionen für beliebige Winkel        | 98  |
| 3   | Beziehungen für den gleichen Winkel                     | 99  |
| 4   | Graphen der trigonometrischen Funktionen                | 99  |
| 5   | Reduktionsformeln                                       | 100 |
| 6   | Additionstheoreme                                       | 101 |
| 7   | Sinussatz und Kosinussatz                               | 102 |
| 8   | Grundaufgaben der Dreiecksberechnung                    | 103 |
| 9   | Arkusfunktionen   | 104 |
| VII | Analytische Geometrie                                   | 106 |
| 1   | Koordinatensysteme                                      | 106 |
| 1.1 | Kartesisches Koordinatensystem der Ebene                | 106 |
| 1.2 | Polarkoordinatensystem der Ebene                        | 106 |
| 1.3 | Zusammenhang zwischen kartesischen und Polarkoordinaten | 107 |
| 1.4 | Kartesisches Koordinatensystem des Raums                | 108 |
| 2   | <b>Geraden</b>  | 108 |
| 2.1 | Geradengleichungen                                      | 108 |
| 2.2 | Abstände  | 110 |
| 3   | <b>Kreise</b>   | 111 |
| 3.1 | Kreisgleichungen  | 111 |
| 3.2 | Berechnung von Kreisen                                  | 112 |
| 3.3 | Kreis und Gerade  | 113 |
| 4   | <b>Kugeln</b>   | 115 |

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| <b>5</b>    | <b>Kegelschnitte</b> . . . . .                                   | <b>115</b> |
| 5.1         | Ellipsen. . . . .  | 116        |
| 5.2         | Hyperbeln. . . . .   | 118        |
| 5.3         | Parabeln. . . . .  | 120        |
| 5.4         | Anwendungen. . . . .   | 122        |
| <b>6</b>    | <b>Graphisches Lösen von Gleichungen</b> . . . . .               | <b>124</b> |
| <b>7</b>    | <b>Vektoren</b> . . . . .  | <b>126</b> |
| 7.1         | Definitionen. . . . .  | 126        |
| 7.2         | Multiplikation eines Vektors mit einem Skalar. . . . .           | 127        |
| 7.3         | Addition und Subtraktion zweier Vektoren. . . . .                | 127        |
| 7.4         | Komponentendarstellung von Vektoren in der Ebene. . . . .        | 127        |
| 7.5         | Komponentendarstellung von Vektoren im Raum. . . . .             | 128        |
| 7.6         | Skalarprodukt. . . . .   | 129        |
| 7.7         | Vektorprodukt . . . . .  | 129        |
| 7.8         | Spatprodukt . . . . .  | 130        |
| <b>VIII</b> | <b>Differential- und Integralrechnung</b> . . . . .              | <b>131</b> |
| <b>1</b>    | <b>Folgen</b> . . . . .  | <b>131</b> |
| 1.1         | Grundbegriffe. . . . .   | 131        |
| 1.2         | Arithmetische Folgen. . . . .                                    | 131        |
| 1.3         | Geometrische Folgen. . . . .                                     | 132        |
| 1.4         | Grenzwert einer Folge. . . . .                                   | 132        |
| 1.5         | Tabelle einiger Grenzwerte. . . . .                              | 132        |
| 1.6         | Divergente Folgen . . . . .                                      | 133        |
| <b>2</b>    | <b>Reihen</b> . . . . .  | <b>133</b> |
| 2.1         | Definitionen. . . . .  | 133        |
| 2.2         | Arithmetische Reihen. . . . .                                    | 134        |
| 2.3         | Geometrische Reihen. . . . .                                     | 134        |
| 2.4         | Harmonische Reihen. . . . .                                      | 135        |
| 2.5         | Alternierende Reihen. . . . .                                    | 135        |
| <b>3</b>    | <b>Grenzwerte von Funktionen</b> . . . . .                       | <b>136</b> |
| 3.1         | Grenzwert an einer endlichen Stelle. . . . .                     | 136        |
| 3.2         | Einseitige Grenzwerte. . . . .                                   | 136        |
| 3.3         | Grenzwert im Unendlichen. . . . .                                | 137        |
| 3.4         | Rechenregeln für Grenzwerte. . . . .                             | 137        |
| 3.5         | Unbestimmte Ausdrücke. . . . .                                   | 137        |
| 3.6         | Stetigkeit einer Funktion. . . . .                               | 137        |
| 3.7         | Unstetigkeitsstellen. . . . .                                    | 138        |
| <b>4</b>    | <b>Ableitung einer Funktion</b> . . . . .                        | <b>138</b> |
| 4.1         | Definitionen. . . . .  | 138        |
| 4.2         | Differentiationsregeln. . . . .                                  | 139        |
| 4.3         | Höhere Ableitungen. . . . .                                      | 141        |
| 4.4         | Ableitungen einiger algebraischer Funktionen. . . . .            | 141        |
| 4.5         | Ableitungen einiger transzendenter Funktionen. . . . .           | 142        |
| 4.5.1       | Trigonometrische Funktionen. . . . .                             | 142        |
| 4.5.2       | Logarithmusfunktionen. . . . .                                   | 143        |
| 4.5.3       | Exponentialfunktionen. . . . .                                   | 143        |
| 4.5.4       | Zusammenfassende Übersicht. . . . .                              | 143        |
| 4.6         | Sekanten und Tangenten. . . . .                                  | 143        |
| 4.7         | Extremwerte von Funktionen. . . . .                              | 144        |
| 4.8         | Krümmungsverhalten von Funktionen. . . . .                       | 144        |
| 4.9         | Wendepunkte von Funktionen. . . . .                              | 145        |
| 4.10        | Kurvendiskussion. . . . .  | 146        |
| 4.11        | Anwendungsbeispiele. . . . .                                     | 146        |
| 4.12        | Näherungsverfahren zur Nullstellenbestimmung. . . . .            | 147        |
| 4.12.1      | Regula falsi. . . . .  | 147        |
| 4.12.2      | Newtonsches Verfahren. . . . .                                   | 147        |
| <b>5</b>    | <b>Integralrechnung</b> . . . . .                                | <b>148</b> |
| 5.1         | Unbestimmtes Integral. . . . .                                   | 148        |
| 5.2         | Integrationsregeln. . . . .                                      | 148        |
| 5.3         | Unbestimmte Integrale einiger algebraischer Funktionen. . . . .  | 150        |
| 5.4         | Unbestimmte Integrale einiger transzendenter Funktionen. . . . . | 150        |
| 5.5         | Bestimmtes Integral. . . . .                                     | 151        |

- 5.6 Hauptsatz der Differential- und Integralrechnung . . . . .152
- 5.7 Eigenschaften des bestimmten Integrals . . . . .152
- 5.8 Einige Anwendungen der Integralrechnung . . . . .153
- 6 Funktionenreihen . . . . .155
  - 6.1 Definitionen . . . . .155
  - 6.2 Potenzreihen . . . . .156
  - 6.3 Fourier-Reihen . . . . .157
- Anhang
  - A Symbole und Bezeichnungen . . . . .161
  - B Mathematische Konstanten . . . . .163
  - C Das griechische Alphabet . . . . .163

# Physik

- I Einführung . . . . .165
  - 1 Physikalische Größen . . . . .165
    - 1.1 Skalare . . . . .165
    - 1.2 Vektoren . . . . .165
  - 2 SI-System . . . . .165
- II Mechanik . . . . .166
  - 1 Kinematik des Massenpunktes . . . . .166
    - 1.1 Eindimensionale Bewegungen . . . . .166
      - 1.1.1 Geschwindigkeit . . . . .166
      - 1.1.2 Beschleunigung . . . . .167
      - 1.1.3 Freier Fall . . . . .167
      - 1.1.4 Senkrechter Wurf . . . . .168
    - 1.2 Zusammengesetzte Bewegungen . . . . .168
      - 1.2.1 Schiefer Wurf . . . . .169
    - 1.3 Kreisbewegung . . . . .170
      - 1.3.1 Bahngeschwindigkeit . . . . .170
      - 1.3.2 Winkelgeschwindigkeit . . . . .170
      - 1.3.3 Kreisfrequenz . . . . .170
      - 1.3.4 Winkelbeschleunigung . . . . .170
  - 2 Dynamik . . . . .171
    - 2.1 Newtonsche Axiome . . . . .171
    - 2.2 Kraft . . . . .171
    - 2.3 Impuls . . . . .174
    - 2.4 Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad und Energie . . . . .174
    - 2.5 Stoßprozesse . . . . .176
    - 2.6 Rotation . . . . .177
    - 2.7 Gravitation . . . . .180
  - 3 Elastische Verformung fester Körper . . . . .180
  - 4 Mechanik der ruhenden Flüssigkeiten und Gase . . . . .181
    - 4.1 Druck . . . . .181
    - 4.2 Kompressibilität . . . . .181
    - 4.3 Volumenausdehnung . . . . .181
    - 4.4 Hydrostatischer Druck in Flüssigkeiten . . . . .181
    - 4.5 Schweredruck in Gasen . . . . .182
    - 4.6 Auftrieb . . . . .182
  - 5 Hydrodynamik . . . . .182
    - 5.1 Kontinuitätsgleichung . . . . .182
    - 5.2 Bernoulli-Gleichung . . . . .182
    - 5.3 Innere Reibung . . . . .183
- III Thermodynamik . . . . .183
  - 1 Grundbegriffe . . . . .183

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| 2          | <b>Temperatur</b>                                 | 183 |
| 2.1        | Einheiten   | 183 |
| 2.2        | Temperaturmessung                                 | 184 |
| 3          | <b>Thermische Ausdehnung</b>                      | 184 |
| 3.1        | Feste Stoffe                                      | 184 |
| 3.2        | Flüssigkeiten                                     | 184 |
| 3.3        | Gase  | 185 |
| 4          | <b>Ideale Gase</b>                                | 185 |
| 4.1        | Allgemeine Zustandsgleichung idealer Gase         | 185 |
| 4.2        | Kinetische Gastheorie                             | 186 |
| 4.3        | Wärmeenergie                                      | 186 |
| 4.4        | Zustandsänderungen idealer Gase                   | 187 |
| 4.5        | Kreisprozesse                                     | 188 |
| 5          | <b>Wärmeübertragung</b>                           | 188 |
| 5.1        | Wärmeleitung                                      | 188 |
| 5.2        | Wärmeströmung                                     | 189 |
| 5.3        | Wärmestrahlung                                    | 189 |
| <b>IV</b>  | <b>Schwingungen</b>                               | 189 |
| 1          | <b>Freie ungedämpfte harmonische Schwingungen</b> | 189 |
| 2          | <b>Gedämpfte Schwingungen</b>                     | 190 |
| 3          | <b>Erzwungene Schwingungen</b>                    | 190 |
| 4          | <b>Überlagerung harmonischer Schwingungen</b>     | 191 |
| 4.1        | Schwingungsrichtung parallel zueinander           | 191 |
| 4.2        | Schwingungsrichtung senkrecht zueinander          | 192 |
| <b>V</b>   | <b>Wellen</b>                                     | 193 |
| 1          | <b>Harmonische Wellen</b>                         | 193 |
| 1.1        | Ausbreitung                                       | 193 |
| 1.2        | Interferenz                                       | 194 |
| 2          | <b>Huygensches Prinzip</b>                        | 195 |
| 2.1        | Reflexion   | 196 |
| 2.2        | Brechung  | 196 |
| 2.3        | Beugung   | 196 |
| 3          | <b>Dopplereffekt</b>                              | 197 |
| <b>VI</b>  | <b>Akustik</b>                                    | 198 |
| 1          | Schallausbreitung                                 | 199 |
| 2          | Reflexion, Transmission, Absorption               | 199 |
| 3          | Ultraschall                                       | 199 |
| <b>VII</b> | <b>Optik</b>                                      | 200 |
| 1          | Eigenschaften des Lichtes                         | 200 |
| 2          | <b>Geometrische Optik</b>                         | 200 |
| 2.1        | Reflexion des Lichtes                             | 200 |
| 2.2        | Brechungsgesetz                                   | 202 |
| 2.3        | Optische Geräte                                   | 206 |
| 3          | <b>Wellenoptik</b>                                | 208 |
| 3.1        | Interferenz                                       | 208 |
| 3.2        | Beugung   | 209 |
| 4          | <b>Photometrie</b>                                | 210 |
| 4.1        | Strahlungsphysikalische Größen                    | 211 |
| 4.2        | Lichttechnische Größen                            | 212 |
| 5          | <b>Licht als Korpuskel</b>                        | 213 |
| <b>VHI</b> | <b>Anhang</b>                                     | 215 |
| A          | Physikalische Größen und Einheiten                | 215 |
| B          | Zahlenwerte physikalischer Größen                 | 216 |



## Werkstoffkunde

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| I   | Stoffe . . . . .  | 217 |
|     | 1 Eigenschaften der Stoffe . . . . .                            | 217 |
|     | 2 Atombau und Periodensystem . . . . .                          | 217 |
|     | 3 Aufbau der festen Körper . . . . .                            | 220 |
|     | 4 Chemische Grundzusammenhänge . . . . .                        | 222 |
|     | 5 Elektrochemie . . . . .                                       | 224 |
| II  | Elektrische Leitfähigkeit . . . . .                             | 225 |
|     | 1 Leitungsmechanismus . . . . .                                 | 225 |
|     | 2 Isolator . . . . .  | 226 |
|     | 3 Halbleiter . . . . .  | 227 |
|     | 4 Normalleiter . . . . .  | 227 |
|     | 5 Supraleiter . . . . .   | 227 |
|     | 6 Halleffekt . . . . .  | 228 |
| III | Elektrische Leiter . . . . .                                    | 230 |
|     | 1 Normalleiter . . . . .  | 230 |
|     | 2 Halbleiter . . . . .  | 230 |
|     | 3 Supraleiter . . . . .   | 233 |
| IV  | Magnetische Leitfähigkeit . . . . .                             | 233 |
|     | 1 Modellvorstellung . . . . .                                   | 233 |
|     | 2 Verhalten von Materie im Magnetfeld . . . . .                 | 233 |
|     | 3 Magnetisierung . . . . .                                      | 235 |
|     | 4 Magnetisierungskurve . . . . .                                | 235 |
|     | 5 Permeabilität . . . . .                                       | 236 |
| V   | Magnetika . . . . .   | 230 |
|     | 1 Metalloxide (Ferrite) . . . . .                               | 238 |
|     | 2 Weichmagnetika . . . . .                                      | 238 |
|     | 3 Hartmagnetika (Dauermagnete) (DIN 17410) . . . . .            | 242 |
| VI  | Dielektrische Eigenschaften . . . . .                           | 230 |
|     | 1 Modellvorstellungen zur dielektrischen Polarisation . . . . . | 245 |
|     | 2 Dielektrische Materialeinteilung . . . . .                    | 246 |
|     | 3 Elektrische Materialeinteilung . . . . .                      | 246 |
| VII | Dielektrika . . . . .   | 248 |
|     | 1 Natürliche anorganische Dielektrika . . . . .                 | 248 |
|     | 2 Natürliche organische Dielektrika . . . . .                   | 249 |
|     | 3 Künstliche anorganische Dielektrika . . . . .                 | 249 |
|     | 4 Künstliche organische Dielektrika . . . . .                   | 249 |
|     | 5 Silikone . . . . .  | 250 |
|     | Literaturhinweise . . . . .                                     | 250 |

## Grundlagen der Elektrotechnik

|   |                              |     |
|---|------------------------------|-----|
| I | Grundbegriffe . . . . .      | 253 |
|   | 1 Aufbau der Atome . . . . . | 253 |
|   | 2 Ladungsträger . . . . .    | 253 |
|   | 3 Spannung . . . . .         | 253 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| <b>4</b>   | <b>Strom</b>   | 253 |
| 4.1        | Bewegung von Ladungsträgern  | 253 |
| 4.2        | Stromstärke  | 254 |
| 4.3        | Stromdichte  | 254 |
| <b>5</b>   | <b>Das Ohmsche Gesetz</b>  | 254 |
| <b>6</b>   | <b>Spezifischer Widerstand, Leitfähigkeit</b>                            | 254 |
| <b>7</b>   | <b>Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes von Metallen</b> | 255 |
| <b>II</b>  | <b>Der Gleichstromkreis</b>  | 256 |
| <b>1</b>   | <b>Zählpeilsysteme</b>   | 256 |
| <b>2</b>   | <b>Kirchhoffsche Gesetze</b>   | 256 |
| 2.1        | Knotenregel  | 256 |
| 2.2        | Maschenregel   | 256 |
| <b>3</b>   | <b>Schaltung von Widerständen</b>  | 257 |
| 3.1        | Reihenschaltung  | 257 |
| 3.2        | Parallelschaltung  | 257 |
| 3.3        | Stern-Dreieck-Umwandlung   | 257 |
| 3.4        | Meßbereichserweiterung   | 258 |
| 3.4.1      | Voltmeter  | 258 |
| 3.4.2      | Amperemeter  | 259 |
| <b>4</b>   | <b>Ersatzspannungsquelle</b>   | 259 |
| 4.1        | Kombination von Spannungsquellen   | 259 |
| 4.1.1      | Reihenschaltung  | 260 |
| 4.1.2      | Parallelschaltung  | 260 |
| <b>5</b>   | <b>Ersatzstromquelle</b>   | 260 |
| <b>6</b>   | <b>Netzwerkberechnung</b>  | 260 |
| 6.1        | Gemischte Schaltungen  | 261 |
| 6.2        | Überlagerungsverfahren   | 261 |
| 6.3        | Ersatzspannungsquelle  | 262 |
| 6.4        | Nichtlineare Gleichstromkreise   | 262 |
| <b>7</b>   | <b>Energie, Leistung, Wirkungsgrad</b>                                   | 263 |
| 7.1        | Leistungsanpassung   | 263 |
| 7.2        | Leistungsverlust auf Leitungen   | 264 |
| 7.3        | Wirkungsgrad   | 264 |
| 7.4        | Umwandlung elektrischer Energie  | 264 |
| 7.4.1      | Wärme  | 264 |
| 7.4.2      | Mechanische Energie  | 264 |
| <b>III</b> | <b>Das Elektrische Feld</b>  | 265 |
| <b>1</b>   | <b>Grundgrößen</b>   | 265 |
| 1.1        | Kräfte zwischen Ladungen   | 265 |
| 1.2        | Feldstärke   | 266 |
| 1.3        | Feldlinien   | 266 |
| 1.4        | Potential, Spannung  | 266 |
| 1.5        | Äquipotentiallinien  | 267 |
| 1.6        | Elektrischer Fluß  | 267 |
| 1.7        | Energie geladener Teilchen im elektrischen Feld                          | 267 |
| <b>2</b>   | <b>Materie im elektrischen Feld</b>                                      | 268 |
| 2.1        | Leiter   | 268 |
| 2.2        | Nichtleiter  | 268 |
| <b>3</b>   | <b>Kondensatoren</b>   | 268 |
| 3.1        | Kapazität  | 269 |
| 3.1.1      | Plattenkondensator   | 269 |
| 3.1.2      | Spezielle Kondensatoren  | 269 |
| 3.2        | Schaltungen mit Kondensatoren  | 270 |
| 3.2.1      | Reihenschaltung  | 270 |
| 3.2.2      | Parallelschaltung  | 270 |
| 3.2.3      | Gemischte Schaltungen  | 271 |
| 3.3        | Energie des elektrostatischen Feldes                                     | 271 |
| 3.4        | Laden und Entladen eines Kondensators                                    | 272 |
| 3.5        | RC-Reihenschaltung   | 273 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| IV    | Das Magnetische Feld . . . . .                                    | 274 |
| 1     | Feldlinien . . . . .  | 274 |
| 1.1   | Dauermagnet . . . . .   | 274 |
| 1.2   | Stromdurchflossene Leiter. . . . .                                | 274 |
| 1.3   | Stromdurchflossene Spule. . . . .                                 | 274 |
| 1.4   | Magnetfeld der Erde. . . . .                                      | 275 |
| 2     | <b>Magnetische Grundgrößen</b> . . . . .                          | 275 |
| 2.1   | Feldstärke. . . . .   | 275 |
| 2.2   | Fluß, Flußdichte. . . . .   | 278 |
| 3     | <b>Kräfte im Magnetfeld</b> . . . . .                             | 279 |
| 3.1   | Kräfte auf bewegliche Ladungsträger. . . . .                      | 279 |
| 3.2   | Stromdurchflossener Leiter. . . . .                               | 279 |
| 3.3   | Magnetisches Moment . . . . .                                     | 280 |
| 3.4   | Kräfte zwischen zwei parallelen Leitern . . . . .                 | 280 |
| 3.5   | Hall-Effekt . . . . .   | 281 |
| 4     | <b>Energie des Magnetfeldes</b> . . . . .                         | 282 |
| 5     | <b>Materie im Magnetfeld</b> . . . . .                            | 282 |
| 5.1   | Diamagnetismus. . . . .   | 283 |
| 5.2   | Paramagnetismus. . . . .  | 283 |
| 5.3   | Ferromagnetismus . . . . .  | 284 |
| 5.3.1 | Magnetisierungskurve. . . . .                                     | 284 |
| 5.3.2 | Verlauf der Permeabilität . . . . .                               | 285 |
| 5.3.3 | Temperaturabhängigkeit . . . . .                                  | 285 |
| 5.3.4 | Magnetostriktion. . . . .   | 286 |
| 5.4   | Antiferromagnetismus. . . . .                                     | 286 |
| 5.5   | Ferrimagnetismus. . . . .   | 286 |
| 6     | Magnetische Kreise. . . . .                                       | 286 |
| 6.1   | Magnetische Spannung . . . . .                                    | 286 |
| 6.2   | Magnetischer Widerstand . . . . .                                 | 287 |
| 6.3   | Unverzweigte Kreise. . . . .                                      | 287 |
| 6.4   | Verzweigte Kreise. . . . .  | 288 |
| IV    | Das Magnetische Feld . . . . .                                    | 289 |
| 1     | Induktion bei Änderung der Fläche . . . . .                       | 289 |
| 2     | Induktion bei Änderung des Magnetfeldes. . . . .                  | 291 |
| 3     | Die Induktivität einer Spule. . . . .                             | 291 |
| 3.1   | Selbstinduktion. . . . .  | 291 |
| 3.2   | Gegeninduktion. . . . .   | 292 |
| 3.3   | Energie im Magnetfeld einer Spule. . . . .                        | 293 |
| 3.4   | Ein- und Ausschaltvorgänge. . . . .                               | 293 |
| 3.5   | Zusammenschalten von Induktivitäten. . . . .                      | 294 |
| VI    | <b>Wechselstrom</b> . . . . .                                     | 294 |
| 1     | <b>Grundbegriffe des Wechselstroms</b> . . . . .                  | 294 |
| 1.1   | Erzeugung einer sinusförmigen Wechselspannung . . . . .           | 294 |
| 1.2   | Phasenverschiebung. . . . .                                       | 295 |
| 1.3   | Effektivwert . . . . .  | 295 |
| 1.4   | Darstellungsalten. . . . .  | 296 |
| 1.4.1 | Zeigerdarstellung von Sinusgrößen. . . . .                        | 296 |
| 1.4.2 | Darstellung von Sinusgrößen in der komplexen Zahlenebene. . . . . | 296 |
| 2     | Grundschaltelemente im Wechselstromkreis . . . . .                | 297 |
| 2.1   | Ohmscher Widerstand. . . . .                                      | 297 |
| 2.2   | Kapazität . . . . .   | 297 |
| 2.3   | Spule. . . . .  | 297 |
| 3     | Schaltungen von Wechselstromwiderständen . . . . .                | 299 |
| 3.1   | Reihenschaltung von Wechselstromwiderständen. . . . .             | 299 |
| 3.1.1 | Wirkwiderstand und Induktivität. . . . .                          | 299 |
| 3.1.2 | Wirkwiderstand und Kapazität . . . . .                            | 300 |
| 3.1.3 | Wirkwiderstand, Induktivität und Kapazität. . . . .               | 301 |

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| 3.2        | Parallelschaltung von Wechselstromwiderständen . . . . .                    | 303        |
| 3.2.1      | Wirkwiderstand und Induktivität . . . . .                                   | 303        |
| 3.2.2      | Wirkwiderstand und Kapazität . . . . .                                      | 304        |
| 3.2.3      | Wirkwiderstand, Induktivität und Kapazität . . . . .                        | 305        |
| 3.3        | Gemischte Schaltungen . . . . .   | 306        |
| <b>4</b>   | <b>Passive Filter</b> . . . . .   | <b>307</b> |
| 4.1        | Hochpaßschaltung mit $RC$ - und $\bar{A}L$ -Glied . . . . .                 | 307        |
| 4.2        | Tiefpaßschaltung mit $RC$ - und $RL$ -G $\bar{L}ied$ . . . . .              | 308        |
| 4.3        | Bandpaßschaltung . . . . .  | 309        |
| <b>5</b>   | <b>Schwingkreise</b> . . . . .  | <b>309</b> |
| 5.1        | Reihenresonanz . . . . .  | 310        |
| 5.2        | Parallelresonanz . . . . .  | 310        |
| <b>6</b>   | <b>Leistung und Arbeit im Wechselstromkreis</b> . . . . .                   | <b>310</b> |
| 6.1        | Leistung und Arbeit bei Phasengleichheit von Spannung und Strom . . . . .   | 310        |
| 6.2        | Leistung und Arbeit bei Phasenverschiebung von Spannung und Strom . . . . . | 311        |
| 6.3        | Leistung in komplexer Schreibweise . . . . .                                | 312        |
| 6.4        | Leistungsfaktor . . . . .   | 312        |
| <b>VII</b> | <b>Drehstrom</b> . . . . .  | <b>313</b> |
| <b>1</b>   | <b>Erzeugung von mehrphasigem Wechselstrom</b> . . . . .                    | <b>313</b> |
| <b>2</b>   | <b>Phasenverkettung</b> . . . . .   | <b>313</b> |
| 2.1        | Sternschaltung . . . . .  | 313        |
| 2.2        | Dreieckschaltung . . . . .  | 314        |
| <b>3</b>   | <b>Leistung des Dreiphasenstroms</b> . . . . .                              | <b>315</b> |
| <b>4</b>   | <b>Das unsymmetrische Dreiphasensystem</b> . . . . .                        | <b>315</b> |
| 4.1        | Das unsymmetrische Dreileiternetz . . . . .                                 | 315        |
| 4.2        | Das unsymmetrische Vierleiternetz . . . . .                                 | 316        |

# Elektronik

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| <b>I</b>   | <b>Leitungsmechanismen bei Halbleitern, pn-Übergang</b> . . . . . | <b>319</b> |
| <b>1</b>   | <b>Einführung in die Halbleiterphysik</b> . . . . .               | <b>319</b> |
| <b>2</b>   | <b>Der pn-Übergang</b> . . . . .                                  | <b>321</b> |
| <b>II</b>  | <b>Dioden</b> . . . . .   | <b>322</b> |
| <b>1</b>   | <b>Kennlinien</b> . . . . .                                       | <b>322</b> |
| <b>2</b>   | <b>Kenndaten und Grenzwerte</b> . . . . .                         | <b>323</b> |
| <b>3</b>   | <b>Kennzeichnung von Halbleiter-Bauelementen</b> . . . . .        | <b>326</b> |
| <b>4</b>   | <b>Diodenarten</b> . . . . .                                      | <b>327</b> |
| 4.1        | Kapazitätsdioden . . . . .  | 328        |
| 4.2        | Schalterdioden . . . . .  | 329        |
| 4.3        | Schottky-Dioden . . . . .   | 330        |
| 4.4        | Gleichrichter-Dioden . . . . .                                    | 330        |
| 4.5        | Z-Dioden . . . . .  | 331        |
| <b>5</b>   | <b>Anwendungsschaltungen</b> . . . . .                            | <b>332</b> |
| 5.1        | Begrenzerschaltungen . . . . .                                    | 332        |
| 5.2        | Gleichrichter . . . . .   | 333        |
| 5.2.1      | Einweggleichrichter (M1). . . . .                                 | 333        |
| 5.2.2      | Mittelpunktschaltung (M2). . . . .                                | 335        |
| 5.2.3      | Brückengleichrichterschaltung (B2). . . . .                       | 336        |
| 5.3        | Spannungsvervielfacher . . . . .                                  | 338        |
| 5.4        | Diode als Konstantspannungsquelle (Z-Diode). . . . .              | 339        |
| <b>III</b> | <b>Mehrschichtdioden und -trioden</b> . . . . .                   | <b>341</b> |
| <b>1</b>   | <b>Vierschichtdioden</b> . . . . .                                | <b>341</b> |
| <b>2</b>   | <b>Thyristoren</b> . . . . .                                      | <b>342</b> |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 3     | Diac . . . . .  | 345 |
| 4     | Triac . . . . .   | 346 |
| 5     | Schutz der Dioden und Trioden . . . . .                     | 346 |
| 6     | Zündmethoden . . . . .                                      | 347 |
| IV    | Transistoren . . . . .                                      | 349 |
| 1     | Bipolare Transistoren . . . . .                             | 349 |
| 1.1   | Transistoreffekt . . . . .                                  | 349 |
| 1.2   | Transistorkennlinien . . . . .                              | 350 |
| 1.3   | Kenn- und Grenzwerte des Transistors . . . . .              | 352 |
| 2     | Feldeffekttransistoren (FET) . . . . .                      | 356 |
| 2.1   | Aufbau und Wirkungsweise des Sperrschicht-FET . . . . .     | 356 |
| 2.2   | Aufbau und Wirkungsweise des MOSFET . . . . .               | 358 |
| 2.3   | Kennlinien von FET . . . . .                                | 359 |
| 2.4   | Kennwerte von FET . . . . .                                 | 360 |
| V     | Besondere Halbleiter-Bauelemente . . . . .                  | 365 |
| 1     | Unijunction-Transistor (Doppelbasisdiode) . . . . .         | 365 |
| 2     | Darlington-Transistor . . . . .                             | 366 |
| 3     | VMOS-Transistoren . . . . .                                 | 367 |
| 4     | SIPMOS-Transistoren . . . . .                               | 368 |
| 5     | IGBT . . . . .  | 369 |
| VI    | Analoge Verstärker . . . . .                                | 371 |
| 1     | Bipolarer Transistor als Verstärker . . . . .               | 371 |
| 1.1   | Grundsaltungen . . . . .                                    | 373 |
| 1.2   | Arbeitspunktstabilisierung . . . . .                        | 375 |
| 1.3   | Emitterschaltungen . . . . .                                | 379 |
| 1.4   | Kollektorschaltungen . . . . .                              | 381 |
| 1.5   | Basisschaltung . . . . .                                    | 382 |
| 2     | Feldeffekt-Transistor als Verstärker . . . . .              | 383 |
| 2.1   | Arbeitspunkteinstellung und -Stabilisierung . . . . .       | 383 |
| 2.2   | Grundsaltungen von FET . . . . .                            | 385 |
| 2.2.1 | Sourceschaltung . . . . .                                   | 386 |
| 2.2.2 | Drainschaltung . . . . .                                    | 388 |
| 2.2.3 | Gateschaltung . . . . .                                     | 389 |
| 2.3   | Weitere Anwendungen . . . . .                               | 390 |
| 3     | Mehrstufige Verstärker . . . . .                            | 392 |
| VII   | Endstufen . . . . .   | 397 |
| 1     | Betriebsarten . . . . .                                     | 397 |
| 2     | Schaltungen . . . . .                                       | 397 |
| VIII  | Operationsverstärker . . . . .                              | 402 |
| 1     | Einführung . . . . .  | 402 |
| 2     | Differenzverstärker . . . . .                               | 402 |
| 3     | Grundlagen des OP . . . . .                                 | 403 |
| 4     | Operationsverstärker als Verstärker . . . . .               | 406 |
| 4.1   | Verstärker mit frequenzunabhängiger Gegenkopplung . . . . . | 406 |
| 4.2   | Verstärker mit frequenzabhängiger Gegenkopplung . . . . .   | 409 |
| 4.3   | OP als Leistungsverstärker . . . . .                        | 411 |
| 4.4   | Aktive Filterschaltungen . . . . .                          | 412 |
| IX    | Elektronische Schalter, Kippstufen . . . . .                | 413 |
| 1     | Transistor als Schalter . . . . .                           | 413 |
| 2     | Kippschaltungen mit Transistoren . . . . .                  | 417 |
| 2.1   | Bistabile Kippstufe . . . . .                               | 417 |
| 2.2   | Monostabile Kippstufe . . . . .                             | 418 |
| 2.3   | Astabile Kippstufe . . . . .                                | 419 |
| 2.4   | Triggerschaltungen . . . . .                                | 419 |

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| 3           | Operationsverstärker als Schalter               | 420 |
| 4           | Kippschaltungen mit Operationsverstärker        | 421 |
| 4.1         | Triggerschaltungen mit Operationsverstärker     | 421 |
| 4.2         | Astabile Kippstufe mit Operationsverstärker     | 422 |
| 4.3         | Monostabile Kippstufe mit Operationsverstärker  | 423 |
| 4.4         | Bistabile Kippstufe mit Operationsverstärker    | 423 |
| 5           | Zeitgeber 555                                   | 424 |
| 6           | Trigger TCA 345 A                               | 425 |
| <b>X</b>    | <b>Oszillatoren</b>                             | 425 |
| 1           | Allgemeines                                     | 425 |
| 2           | Sinusgeneratoren (RC-Oszillatoren)              | 426 |
| 3           | Funktionsgeneratoren                            | 428 |
| <b>XI</b>   | <b>Schaltungstechniken</b>                      | 429 |
| 1           | Integrierte Schaltungen                         | 429 |
| 2           | SMD-Technik                                     | 431 |
| <b>XII</b>  | <b>Optoelektronik</b>                           | 433 |
| 1           | Grundsätzliche Überlegungen                     | 433 |
| 2           | Optoelektronische Bauelemente                   | 433 |
| 2.1         | Fotowiderstand (LDR - light dependent resistor) | 433 |
| 2.2         | Fotodiode und Fotoelement                       | 434 |
| 2.3         | Fototransistoren                                | 436 |
| 2.4         | Lumineszenzdioden und Flüssigkristalle          | 437 |
| 3           | Anzeigeeinheiten                                | 439 |
| 4           | Signalübertragung mit Optokoppler               | 440 |
| 5           | Faseroptische Übertragungsmittel                | 441 |
| <b>XIII</b> | <b>Analog-Digital-Wandler</b>                   | 441 |
| 1           | Grundlagen                                      | 441 |
| 2           | Spannungs-Frequenz-Wandler                      | 442 |
| 3           | Sägezahnverfahren                               | 442 |
| 4           | Dual-Slope-Verfahren                            | 442 |
| 5           | Flash-Wandler                                   | 443 |
| 6           | Wandler nach dem Wägeverfahren                  | 443 |
| 7           | Integrierte Wandler                             | 444 |
| <b>XIV</b>  | <b>Digital-Analog-Wandler</b>                   | 444 |
| 1           | Grundlagen                                      | 444 |
| 2           | D/A-Wandler-Varianten                           | 444 |
| 3           | Integrierte Wandler                             | 445 |
| <b>XV</b>   | <b>Leistungselektronik</b>                      | 447 |
| 1           | Gleichrichterschaltungen/Strom Versorgung       | 447 |
| 2           | Anwendungsschaltungen                           | 453 |
| 3           | Schaltnetzteile                                 | 455 |
| 4           | Elektronische Schalter                          | 457 |
| 5           | Elektronische Steller                           | 458 |

## Technische Kommunikation

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| <b>I</b> | <b>Grundlagen der zeichnerischen Darstellung</b> | 461 |
| 1        | Zeichengeräte                                    | 461 |
| 2        | Normen für Technische Zeichnungen                | 462 |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 3          | Darstellung und Bemaßung von Körpern . . . . .                 | 462        |
| 4          | Normteile und Konstruktionselemente . . . . .                  | 476        |
| 5          | Wichtige Normteile des Maschinenbaues . . . . .                | 489        |
| 6          | Nutzen der Normung . . . . .                                   | 493        |
| <b>II</b>  | <b>Schaltungsunterlagen . . . . .</b>                          | <b>447</b> |
| 1          | Schaltzeichen nach DIN . . . . .                               | 496        |
| 2          | Elektrische Betriebsmittel . . . . .                           | 499        |
| 3          | Schaltungsunterlagen der Energietechnik . . . . .              | 502        |
| 4          | Schaltungsunterlagen der Elektronik . . . . .                  | 506        |
| 4.1        | Allgemeines . . . . .  | 506        |
| 4.2        | Schaltzeichen nach DIN 40900 Teil 12 Binäre Elemente . . . . . | 506        |
| 4.3        | Entwurf von Schaltungen . . . . .                              | 509        |
| 4.3.1      | Verdrahtungsplan mit Universalplatinen . . . . .               | 509        |
| 4.3.2      | Entwurf und Herstellung gedruckter Schaltungen . . . . .       | 509        |
| 5          | Projektierung . . . . .  | 510        |
| <b>III</b> | <b>Schaltungssynthese <b>und</b> -analyse . . . . .</b>        | <b>511</b> |
| 1          | Beispiele aus der Elektrotechnik . . . . .                     | 511        |
| 2          | Beispiele aus der Elektronik . . . . .                         | 511        |
| <b>IV</b>  | <b>CAD-Technik . . . . .</b>                                   | <b>514</b> |
| 1          | Allgemeines . . . . .  | 514        |
| 2          | Hardware und Software . . . . .                                | 514        |
| 3          | Erstellen von Schaltplänen . . . . .                           | 514        |
| 4          | Erstellen von Layouts . . . . .                                | 514        |
| 5          | Anwendungen in der Elektronik . . . . .                        | 517        |
| 6          | Auswahl von CAD-Systemen . . . . .                             | 517        |

## Datentechnik

|                                 |  |     |
|---------------------------------|--|-----|
| <b>Digitaltechnik . . . . .</b> | <b>521</b>   |     |
| 1                               | Grundbegriffe der Digitaltechnik . . . . .                       | 521 |
| 2                               | Logische Grundschaltungen . . . . .                              | 522 |
| 2.1                             | Grundverknüpfungen . . . . .                                     | 522 |
| 2.1.1                           | NICHT-Verknüpfung . . . . .                                      | 522 |
| 2.1.2                           | UND-Verknüpfung . . . . .  | 522 |
| 2.1.3                           | ODER-Verknüpfung . . . . .                                       | 523 |
| 2.2                             | Realisierungsmöglichkeiten logischer Verknüpfungen . . . . .     | 523 |
| 3                               | Schaltalgebra . . . . .  | 525 |
| 3.1                             | Allgemeines . . . . .  | 525 |
| 3.2                             | Normalform einer binären Funktion . . . . .                      | 525 |
| 3.2.1                           | Disjunktive Normalform . . . . .                                 | 525 |
| 3.2.2                           | Konjunktive Normalform . . . . .                                 | 526 |
| 3.2.3                           | Umwandeln der Gleichung in Schaltzeichen . . . . .               | 526 |
| 3.2.4                           | Schaltungsminimierung mit Hilfe der Schaltalgebra . . . . .      | 526 |
| 3.2.5                           | Umsetzung in NAND-oder NOR-Technik . . . . .                     | 526 |
| 3.2.6                           | KV-Tabelle . . . . .   | 529 |
| 3.2.7                           | Analyse logischer Schaltungen . . . . .                          | 529 |
| 3.2.8                           | Synthese logischer Schaltungen . . . . .                         | 530 |
| 4                               | Zahlensysteme in der Digital- und Datenverarbeitung . . . . .    | 532 |
| 4.1                             | Dualsystem . . . . .   | 532 |
| 4.1.1                           | Bildung der Dualzahlen und Umwandlung in Dezimalzahlen . . . . . | 532 |
| 4.1.2                           | Umwandlung dezimal nach dual . . . . .                           | 532 |
| 4.2                             | Hexadezimalsystem . . . . .                                      | 534 |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 4.3       | Rechnen mit Dualzahlen                       | 534        |
| 4.4       | Zahlen in Rechenanlagen                      | 534        |
| 4.4.1     | Darstellung von Zahlen                       | 534        |
| 4.4.2     | Einer- und Zweierkomplement                  | 536        |
| 4.4.3     | Subtraktion mit Hilfe des Komplements        | 536        |
| <b>5</b>  | <b>Codes</b>                                 | <b>537</b> |
| 5.1       | Allgemeines                                  | 537        |
| 5.2       | Binär-Code                                   | 537        |
| 5.3       | BCD-Code                                     | 537        |
| 5.3.1     | BCD-Dual-Code                                | 537        |
| 5.3.2     | 3-Excess-Code                                | 537        |
| 5.3.3     | Aiken-Code                                   | 538        |
| 5.4       | Gray-Code                                    | 538        |
| 5.5       | Codierung alphanumerischer Zeichen           | 539        |
| 5.6       | Fehlererkennung und Redundanz                | 540        |
| 5.6.1     | Einfache Prüfung auf Parität                 | 540        |
| 5.6.2     | Kreuzsicherungsprüfung                       | 541        |
| 5.6.3     | Hamming-Code                                 | 541        |
| <b>6</b>  | <b>Digitale Grundschaltungen</b>             | <b>542</b> |
| 6.1       | Allgemeines                                  | 542        |
| 6.2       | Schaltnetze                                  | 542        |
| 6.2.1     | Rechenetze                                   | 542        |
| 6.2.1.1   | Halbaddierer                                 | 542        |
| 6.2.1.2   | Volladdierer                                 | 542        |
| 6.2.1.3   | Serieller n-Bit-Addierer                     | 543        |
| 6.2.1.4   | Paralleler n-Bit-Addierer                    | 544        |
| 6.2.1.5   | Subtrahierer                                 | 544        |
| 6.2.1.6   | Addierer für BCD-Dualzahlen                  | 545        |
| 6.2.2     | Komparatoren                                 | 545        |
| 6.2.2.1   | Einfacher Komparator                         | 545        |
| 6.2.2.2   | Komparator mit Größer- und Kleiner-Vergleich | 546        |
| 6.2.3     | Codewandler und Decoder                      | 547        |
| 6.2.3.1   | Codewandler                                  | 547        |
| 6.2.3.2   | 1-aus-n-Decoder                              | 548        |
| 6.2.4     | Multiplexer und Demultiplexer                | 548        |
| 6.2.4.1   | Multiplexer                                  | 549        |
| 6.2.4.2   | Demultiplexer                                | 550        |
| 6.3       | Schaltwerke                                  | 550        |
| 6.3.1     | Speicherbausteine                            | 550        |
| 6.3.1.1   | Allgemeines Flipflop                         | 550        |
| 6.3.1.2   | RS-Flipflop                                  | 551        |
| 6.3.1.3   | Flipflops mit dominierenden Eingängen        | 551        |
| 6.3.1.4   | D-Flipflop                                   | 551        |
| 6.3.1.5   | JK-Flipflop                                  | 552        |
| 6.3.1.6   | Master-Slave-JK-Flipflop                     | 552        |
| 6.3.1.7   | T-Flipflop                                   | 553        |
| 6.3.2     | Grundschaltungen aus Speicherbausteinen      | 553        |
| 6.3.2.1   | Register                                     | 553        |
| 6.3.2.2   | Schieberegister                              | 554        |
| 6.3.2.3   | Frequenzteiler                               | 555        |
| 6.3.2.4   | Zähler                                       | 556        |
| 6.3.2.4.1 | Asynchroner Zähler                           | 556        |
| 6.3.2.4.2 | Asynchroner BCD-Vorwärtszähler               | 558        |
| 6.3.2.4.3 | Synchroner Dual-Vorwärts-1-Zähler            | 559        |
| 6.3.2.4.4 | Zähler für mehrere Decaden                   | 559        |
| 6.4       | Sonderschaltungen                            | 560        |
| 6.4.1     | Monoflops                                    | 560        |
| 6.4.2     | Astabile Kippstufen                          | 561        |

**II Integrierte Schaltkreise der Digitaltechnik** . . . . . 562

**1 Allgemeines** . . . . . 562

**2 Umgang mit integrierten Schaltungen** . . . . . 563

**3 Daten und Begriffe der Logikschaltungen** . . . . . 563

3.1 Grenz-und Kenndaten . . . . . 563

3.2 Pegel . . . . . 563



|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 3.3     | Störsicherheit                                  | 564 |
| 3.4     | Lasteinheit                                     | 564 |
| 3.5     | Temperaturbereich                               | 564 |
| 3.6     | Gatterlaufzeit                                  | 565 |
| 3.7     | Verlustleistung                                 | 565 |
| 4       | TTL-Familie                                     | 566 |
| 4.1     | Eigenschaften und Kenndaten                     | 566 |
| 4.2     | Standard-TTL                                    | 566 |
| 4.3     | Schaltungen mit 3-state                         | 569 |
| 4.4     | Schottky-TTL und Low-Power-Schotky              | 570 |
| 5       | Emittergekoppelte Logik                         | 570 |
| 6       | Integrierte MOS-Schaltungen                     | 570 |
| 6.1     | NMOS- und PMOS-Technik                          | 571 |
| 6.2     | CMOS  | 571 |
| 6.2.1   | 14000-Serie                                     | 571 |
| 6.2.2   | CMOS-Schalter                                   | 573 |
| 6.2.3   | High-Speed-CMOS                                 | 574 |
| 6.2.4   | BICMOS  | 574 |
| 7       | Interfaceschaltungen                            | 575 |
| 8       | Anwendungsspezifische integrierte Schaltungen   | 575 |
| 8.1     | Allgemeines                                     | 575 |
| 8.2     | Kundenspezifische IC's                          | 576 |
| 8.3     | Programmierbare Logikbausteine                  | 577 |
| 8.3.1   | PROM  | 577 |
| 8.3.2   | PAL   | 577 |
| 8.3.3   | GAL   | 581 |
| 8.3.4   | pLSI, ispLSI                                    | 584 |
| 9       | Gehäuse   | 587 |
| III     | Mikrocomputertechnik                            | 588 |
| 1       | Komponenten eines Mikrocomputers                | 588 |
| 2       | Mikroprozessoren                                | 588 |
| 2.1     | Allgemeines                                     | 588 |
| 2.2     | Architektur                                     | 588 |
| 2.3     | Übersicht gängiger Mikroprozessoren             | 590 |
| 2.4     | 8-Bit-Mikroprozessoren                          | 590 |
| 2.4.1   | 8085-CPU  | 590 |
| 2.4.2   | Beispiel Z80 CPU                                | 598 |
| 2.5     | 16-Bit-Prozessoren                              | 601 |
| 2.5.1   | 8086/80286                                      | 601 |
| 2.5.2   | Adressenbildung                                 | 603 |
| 3       | Halbleiterspeicher                              | 604 |
| 3.1     | Allgemeines                                     | 604 |
| 3.2     | Kenndaten und Technologie                       | 604 |
| 3.3     | Bedeutung der Anschlüsse                        | 605 |
| 3.4     | Organisation und Aufbau                         | 605 |
| 3.4.1   | Bitorganisierter und wortorganisierter Speicher | 606 |
| 3.4.2   | Speicher mit Adressenzwischenspeicher           | 606 |
| 3.5     | Zeitverhalten                                   | 607 |
| 3.6     | Speichertypen                                   | 608 |
| 3.6.1   | Festwertspeicher                                | 608 |
| 3.6.1.1 | Masken-ROM                                      | 609 |
| 3.6.1.2 | PROM  | 609 |
| 3.6.1.3 | EPROM   | 609 |
| 3.6.1.4 | EEPROM  | 611 |
| 3.6.1.5 | Flash-EPROM                                     | 612 |
| 3.6.2   | Schreib-Lesespeicher                            | 613 |
| 3.6.2.1 | SRAM  | 613 |
| 3.6.2.2 | NVRAM   | 614 |
| 3.6.2.3 | DRAM  | 615 |
| 3.6.2.4 | PSRAM   | 616 |
| 3.7     | Speichererweiterung                             | 616 |
| 3.8     | Zentralspeicher                                 | 617 |

|           |   |           |      |
|-----------|---|-----------|------|
| <b>4</b>  | <b>Peripheriebausteine</b>                                | . . . . . | .618 |
| 4.1       | Allgemeines.  | . . . . . | .618 |
| 4.2       | BUS-Treiber.  | . . . . . | .618 |
| 4.3       | Einfache E-/A-Bausteine für den parallelen Betrieb.       | . . . . . | .618 |
| 4.4       | Programmierbare Schnittstellen- bausteine.                | . . . . . | .620 |
| 4.5       | Zeitgeberbausteine.                                       | . . . . . | .625 |
| 4.6       | Programmierbarer E/A-Baustein mit Speicher und Zeitgeber. | . . . . . | .627 |
| 4.7       | Eingabe-Ausgabe-Bausteine für den seriellen Betrieb       | . . . . . | .629 |
|           | 4.7.1 Allgemeines.  | . . . . . | .629 |
|           | 4.7.2 USART.  | . . . . . | .632 |
| 4.8       | Bausteine mit Sonderfunktionen.                           | . . . . . | .635 |
| <b>5</b>  | <b>Mikrocontroller.</b>                                   | . . . . . | .636 |
| 5.1       | Allgemeines.  | . . . . . | .636 |
| 5.2       | 8-Bit-Mikrocontroller.                                    | . . . . . | .637 |
|           | 5.2.1 Funktionsbeschreibung des MC 8051.                  | . . . . . | .637 |
|           | 5.2.2 Ein-/Ausgabeeinheit                                 | . . . . . | .640 |
|           | 5.2.3 RESET-Schaltung                                     | . . . . . | .640 |
|           | 5.2.4 Taktgenerator.                                      | . . . . . | .640 |
|           | 5.2.5 Stromaufnahme.                                      | . . . . . | .640 |
|           | 5.2.6 TIMER.  | . . . . . | .641 |
|           | 5.2.7 Unterbrechungssystem.                               | . . . . . | .642 |
|           | 5.2.8 Speicher.   | . . . . . | .643 |
|           | 5.2.9 Serielle Schnittstelle.                             | . . . . . | .644 |
| 5.3       | 16-Bit-Mikrocontroller.                                   | . . . . . | .645 |
| <b>6</b>  | <b>Maschinensprache</b>                                   | . . . . . | .647 |
| 6.1       | Allgemeines.  | . . . . . | .647 |
| 6.2       | Maschinencode.  | . . . . . | .647 |
| 6.3       | Befehlsaufbau.  | . . . . . | .648 |
| 6.4       | Befehlsdarstellung.                                       | . . . . . | .648 |
| 6.5       | Befehle.  | . . . . . | .648 |
|           | 6.5.1 Befehlsfunktionen.                                  | . . . . . | .648 |
|           | 6.5.2 Adressierungsarten.                                 | . . . . . | .652 |
| 6.6       | Befehlszyklus und Befehlszeiten.                          | . . . . . | .653 |
|           | 6.6.1 Befehlszyklus.                                      | . . . . . | .653 |
|           | 6.6.2 Befehlszeiten.                                      | . . . . . | .655 |
| <b>7</b>  | <b>Befehlsvorrat</b>                                      | . . . . . | .655 |
| <b>8</b>  | <b>Hinweise zur Programmierung und Programmbeispiele</b>  | . . . . . | .658 |
| <b>IV</b> | <b>Computertechnik</b>                                    | . . . . . | .659 |
| <b>1</b>  | <b>Komponenten eines Computers</b>                        | . . . . . | .659 |
| <b>2</b>  | <b>Massenspeicher.</b>                                    | . . . . . | .659 |
|           | 2.1 Magnetplatten.  | . . . . . | .659 |
|           | 2.1.1 Diskette und Diskettenlaufwerk.                     | . . . . . | .659 |
|           | 2.1.2 Festplatte und Festplattenlaufwerk.                 | . . . . . | .663 |
|           | 2.1.3 Magnetbandgeräte.                                   | . . . . . | .664 |
|           | 2.2 CD-ROM-und CD-Laufwerk.                               | . . . . . | .664 |
| <b>3</b>  | <b>Eingabegeräte.</b>                                     | . . . . . | .665 |
|           | 3.1 Tastatur.   | . . . . . | .665 |
|           | 3.2 Maus.   | . . . . . | .666 |
| <b>4</b>  | <b>Ausgabegeräte</b>                                      | . . . . . | .666 |
|           | 4.1 Datensichtgeräte.                                     | . . . . . | .666 |
|           | 4.1.1 Monitor.  | . . . . . | .666 |
|           | 4.1.2 LCD-Bildschirm.                                     | . . . . . | .669 |
|           | 4.2 Drucker.  | . . . . . | .669 |
|           | 4.2.1 Typenraddrucker.                                    | . . . . . | .669 |
|           | 4.2.2 Matrixdrucker.                                      | . . . . . | .669 |
|           | 4.2.3 Tintenstrahldrucker.                                | . . . . . | .669 |
|           | 4.2.4 Laserdrucker.                                       | . . . . . | .669 |
| <b>V</b>  | <b>Programmiertechnik</b>                                 | . . . . . | .670 |
| <b>1</b>  | <b>Programmiersprachen</b>                                | . . . . . | .670 |
|           | 1.1 Assembler.  | . . . . . | .670 |
|           | 1.2 ADA.  | . . . . . | .670 |

|           |                                      |           |            |
|-----------|--------------------------------------|-----------|------------|
| 1.3       | ALGOL                                | . . . . . | 671        |
| 1.4       | BASIC                                | . . . . . | 671        |
| 1.5       | C                                    | . . . . . | 671        |
| 1.6       | FORTRAN                              | . . . . . | 671        |
| 1.7       | PASCAL                               | . . . . . | 671        |
| 1.8       | PL/M                                 | . . . . . | 671        |
| <b>2</b>  | <b>Grundlagen der Programmierung</b> | . . . . . | <b>672</b> |
| 2.1       | Interpreter                          | . . . . . | 672        |
| 2.2       | Compiler                             | . . . . . | 672        |
| 2.3       | Editor                               | . . . . . | 672        |
| 2.4       | Integrierte Entwicklungsumgebung     | . . . . . | 672        |
| 2.5       | Methoden der Programmentwicklung     | . . . . . | 673        |
| 2.6       | Problembeschreibung                  | . . . . . | 673        |
| 2.7       | Top-Down-Methode                     | . . . . . | 673        |
| 2.8       | Bottom-Up-Methode                    | . . . . . | 673        |
| 2.9       | Bewertung der Methoden               | . . . . . | 673        |
| 2.10      | Programm-Test                        | . . . . . | 674        |
| <b>VI</b> | <b>Datenkommunikation</b>            | . . . . . | <b>674</b> |
| 1         | Einführung                           | . . . . . | 674        |
| 2         | Grundlagen                           | . . . . . | 675        |
| 2.1       | Verkehrsarten                        | . . . . . | 675        |
| 2.2       | Vermittlungsprinzipien               | . . . . . | 676        |
| 2.3       | Vermittlungseinrichtungen            | . . . . . | 676        |
| 2.4       | Klassifizierung von Netzen           | . . . . . | 677        |
| 2.5       | Standardisierung                     | . . . . . | 677        |
| 2.5.1     | Standardisierungsgremien             | . . . . . | 678        |
| 3         | Lokale Netze                         | . . . . . | 680        |
| 3.1       | Ethernet (CSMA/CD)                   | . . . . . | 680        |
| 3.2       | Token-Ring                           | . . . . . | 682        |
| 3.3       | ISDN                                 | . . . . . | 684        |
| 3.4       | Breitband-ISDN (ATM-Technik)         | . . . . . | 685        |
|           | Literatur                            | . . . . . | 688        |

## Automatisierungstechnik

|     |  |           |     |
|-----|--|-----------|-----|
|     | Steuerungstechnik  | . . . . . | 689 |
| 1   | Aufbau einer Steuerung   | . . . . . | 689 |
| 1.1 | Steuerungsarten  | . . . . . | 689 |
| 1.2 | Verbindungsprogrammierte Steuerungen (VPS)   | . . . . . | 689 |
| 1.3 | Speicherprogrammierte Steuerungen (SPS)  | . . . . . | 689 |
| 2   | Aufbau einer speicher-programmierbaren Steuerung   | . . . . . | 689 |
| 2.1 | Eingabeeinheit einer SPS   | . . . . . | 689 |
| 2.2 | Verarbeitungseinheit einer SPS   | . . . . . | 689 |
| 2.3 | Ausgabeeinheit einer SPS   | . . . . . | 690 |
| 2.4 | Programmspeicher   | . . . . . | 690 |
| 2.5 | Arten von Programmspeichern  | . . . . . | 690 |
| 3   | Programmierung   | . . . . . | 690 |
| 3.1 | Lineare Programmierung   | . . . . . | 690 |
| 3.2 | Strukturierte Programmierung   | . . . . . | 691 |
| 4   | Begriffe aus der Informationsverarbeitung  | . . . . . | 691 |
| 5   | Zuverlässigkeit/Verfügbarkeit von SPS  | . . . . . | 691 |
| 6   | Sicherheitsbetrachtungen für SPS (DIN VDE 0113/DIN VDE 0160)   | . . . . . | 692 |
| 6.1 | Allgemeine Sicherheitsregeln in der Steuerungstechnik  | . . . . . | 692 |
| 6.2 | Besondere Sicherheitsanforderungen an die Steuerung einer elektrischen Anlage und an die speicherprogrammierte Steuerung | . . . . . | 692 |
| 6.3 | NOT-AUS-Einrichtung  | . . . . . | 692 |
| 6.4 | Verhalten der elektronischen Anlage bei Erdschluß  | . . . . . | 693 |
| 6.5 | Verriegelung der elektrischen Anlage zu Schutzzwecken  | . . . . . | 693 |
| 6.6 | Schutzmaßnahmen gegen selbsttätigen Wiederanlauf von Steuerungen   | . . . . . | 693 |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 7         | Genereller Aufbau eines Bedienfeldes  | 693        |
| 8         | Programmierungsarten DIN 19239  | 694        |
| 8.1       | Funktionsplan   | 694        |
| 8.2       | Anweisungsliste (AWL)   | 694        |
| 8.3       | Kontaktplan (KOP)   | 694        |
| 9         | Realisierung der logischen Grund Verknüpfungen mit SPS  | 694        |
| 9.1       | UND-Verknüpfung   | 695        |
| 9.2       | ODER-Verknüpfung  | 695        |
| 9.3       | NICHT-Verknüpfung   | 695        |
| 9.4       | NAND-Verknüpfung  | 696        |
| 9.5       | NOR-Verknüpfung   | 696        |
| 10        | Behandlung von Schließern und Öffnern   | 696        |
| 10.1      | Programmieren von Schließern und Öffnern  | 696        |
| 10.2      | Meldung von Betriebszuständen und programmtechnische Auswertung                               | 697        |
| 10.3      | Drahtbruch- und Erdschlußerkennung  | 697        |
| 11        | Komplexe Verknüpfungen  | 697        |
| 11.1      | UND-vor ODER-Schaltung  | 697        |
| 11.2      | ODER-vor UND-Schaltung  | 697        |
| 11.3      | Merker  | 698        |
| 12        | Speicherfunktionen  | 699        |
| 12.1      | RS-Speicherschaltung mit dominanter Rücksetzfunktion  | 699        |
| 12.2      | RS-Speicherschaltung mit dominanter Setzfunktion  | 700        |
| 12.3      | Wischimpulse  | 700        |
| 13        | Zeitfunktionen  | 701        |
| 13.1      | Zeiteinstellung allgemein   | 701        |
| 13.2      | Impuls SI   | 701        |
| 13.3      | Verlängerter Impuls SV  | 702        |
| 13.4      | Einschaltverzögerung SE   | 702        |
| 13.5      | Speichernde Einschaltverzögerung SS   | 702        |
| 13.6      | Ausschaltverzögerung SA   | 703        |
| 14        | Zähler  | 703        |
| 14.1      | Zähler im Automatisierungsprozeß  | 703        |
| 14.2      | Erläuterungen zu den Zählereingängen  | 703        |
| 14.3      | Erläuterungen zu den Zählerausgängen  | 704        |
| 14.4      | Realisierung eines Zählers mit einer SPS  | 704        |
| 15        | Vergleicher   | 704        |
| 15.1      | Allgemeine Funktion von Vergleichern  | 704        |
| 16        | Ablaufsteuerungen   | 705        |
| 16.1      | Vorteile von Ablaufsteuerungen  | 705        |
| 16.2      | Unterscheidung der Arten von Steuerungen  | 705        |
| 16.3      | Wirkungsweise und Struktur der Schrittkette einer Ablaufsteuerung                             | 705        |
| 16.4      | Verzweigte Ablaufsteuerungen  | 708        |
| 16.5      | Umgestaltung verbindungs- programmierter Steuerungen in speicherprogrammierte Steuerungen SPS | 708        |
| <b>II</b> | <b>Regelungstechnik</b>   | <b>710</b> |
| 1         | Regelungsarten  | 711        |
| 1.1       | Folgeregelung   | 711        |
| 1.2       | Zeitplanregelung  | 711        |
| 1.3       | Festwertregelung  | 711        |
| 1.4       | Kaskadenregelung  | 711        |
| 1.5       | Verhältnisregelung  | 711        |
| 2         | Regelstrecken   | 711        |
| 2.1       | Regelstrecken mit Ausgleich   | 712        |
| 2.2       | Regelstrecken 1. Ordnung  | 712        |
| 2.3       | Frequenzgang des PTi-Gliedes  | 712        |
| 2.4       | Regelstrecken 2. Ordnung  | 713        |
| 2.5       | Frequenzgang des PT2-Gliedes  | 714        |
| 2.6       | Regelstrecken mit Totzeiten (Ti-Glied)  | 714        |
| 2.7       | Regelstrecken ohne Ausgleich  | 715        |

|  |     |
|--|-----|
| <b>3 Reglerarten</b>   | 715 |
| <b>4 P-Regler</b>  | 715 |
| 4.1 Proportionalbereich des P-Reglers  | 716 |
| 4.2 Bode-Diagramm eines P-Reglers  | 716 |
| <b>5 P-Regler in invertierender Schaltung mit Strom Vergleichsstelle</b>                     | 716 |
| 5.1 Beispiel zum Addierer  | 717 |
| <b>6 I-Regler</b>  | 717 |
| 6.1 Bode-Diagramm des I-Reglers  | 718 |
| 6.2 Beispiele zum I-Regler   | 719 |
| <b>7 PI-Regler</b>   | 720 |
| 7.1 Bode-Diagramm des PI-Reglers   | 721 |
| 7.2 Beispiel zum PI-Regler   | 722 |
| <b>8 D-Regler oder D-Glied</b>   | 723 |
| 8.1 Bode-Diagramm des D-Gliedes  | 724 |
| 8.2 Beispiele zum D-Glied  | 724 |
| <b>9 PD-Regler</b>   | 725 |
| 9.1 Bode-Diagramm des PD-Reglers   | 726 |
| 9.2 Beispiel zum PD-Regler   | 728 |
| <b>10 PID-Regler</b>   | 728 |
| 10.1 Bode-Diagramm des PID-Reglers   | 729 |
| 10.2 Beispiel zum PIDT-Regler  | 730 |
| <b>11 Zweipunktregler</b>  | 730 |
| 11.1 Mechanischer Zweipunktregler  | 730 |
| 11.2 Elektronische Zweipunktregler   | 730 |
| <b>12 Dreipunkt-Regler</b>   | 730 |
| <b>13 Auswahl von Reglern für vorgegebene Strecken</b>                                       | 731 |
| <b>14 Optimale Einstellung eines Reglers nach Ziegler/Nichols</b>                            | 732 |
| <b>15 Optimale Einstellung eines Reglers aus den dynamischen Kenngrößen der Regelstrecke</b> | 732 |
| <b>16 Einstellgrößen von Reglern</b>   | 733 |
| <b>17 Kombination von Steuern und Regeln</b>   | 733 |
| 17.1 Störgrößenaufschaltung  | 733 |
| <b>18 Momentaufnahme der modernen Regelungstechnik</b>                                       | 733 |
| 18.1 Digitale Regelungstechnik   | 733 |
| 18.2 Prozeßregelung  | 733 |

## Meßtechnik

|   |     |
|---|-----|
| Grundlagen und Grundbegriffe der Meßtechnik | 735 |
|---|-----|

|   |     |
|---|-----|
| <b>1 Begriffe</b>   | 735 |
| <b>2 Einheiten</b>  | 735 |
| <b>3 Meßabweichung, Meßfehler</b>                                     | 736 |
| 3.1 Systematische Abweichungen  | 736 |
| 3.2 Zufällige Abweichungen  | 736 |
| 3.3 Arithmetischer Mittelwert, Erwartungswert                         | 737 |
| 3.4 Standardabweichung  | 737 |
| <b>4 Abweichungsfortpflanzung, Fehlerfortpflanzung</b>                | 738 |
| <b>5 Fehlerangaben von Meßgeräten</b>                                 | 739 |
| 5.1 Analog anzeigende Meßgeräte                                       | 739 |
| 5.2 Digital anzeigende Meßgeräte                                      | 739 |
| <b>6 Arithmetischer Mittelwert und Effektivwert von Wechselgrößen</b> | 739 |
| <b>7 Häufigkeitsverteilung, Vertrauensbereich</b>                     | 739 |
| <b>8 Bearbeitung und Auswertung von Meßwerten</b>                     | 740 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| II    | Analog anzeigende Meßgeräte . . . . .                                  | 741 |
| 1     | Grundlagen . . . . .   | 741 |
| 2     | Drehspul-Meßwerk . . . . .   | 741 |
| 3     | Dreheisen-Meßwerk . . . . .  | 742 |
| 4     | Elektrodynamisches Meßwerk . . . . .                                   | 743 |
| 5     | Symbole und Instrumenten- beschriftungen . . . . .                     | 744 |
| III   | Oszilloskop . . . . .  | 744 |
| 1     | Aufbau eines Standard-Oszilloskopes . . . . .                          | 744 |
| 1.1   | Oszilloskopröhre . . . . .   | 744 |
| 1.2   | Y-Ablenkung . . . . .  | 745 |
| 1.3   | X-Ablenkung . . . . .  | 746 |
| 1.4   | Netzteil . . . . .   | 746 |
| 2     | Oszilloskope mit speziellen Eigenschaften . . . . .                    | 747 |
| 2.1   | Zwei- oder Mehrkanal-Oszilloskope . . . . .                            | 747 |
| 2.2   | Speicheroszilloskope . . . . .   | 747 |
| 2.3   | Oszilloskope mit Differenzverstärker- Eingang . . . . .                | 748 |
| 2.4   | Sampling-Oszilloskope . . . . .  | 748 |
| 2.5   | Zusatzeinrichtungen bei Oszilloskopen . . . . .                        | 748 |
| IV    | Schreibende Meßgeräte . . . . .  | 750 |
| 1     | Y-t-Schreiber . . . . .  | 750 |
| 2     | X-Y-Schreiber . . . . .  | 751 |
| 3     | Auslenkung des Schreibstiftes . . . . .                                | 751 |
| V     | Digital anzeigende Meßgeräte . . . . .                                 | 751 |
| 1     | Digitalvoltmeter . . . . .   | 751 |
| 2     | Digitalmultimeter . . . . .  | 752 |
| 3     | Messung von Kapazitäten, Frequenzen und Stromverstärkungen . . . . .   | 753 |
| 4     | Messung von Temperaturen . . . . .                                     | 753 |
| VI    | Meßverfahren zur Messung elektrischer Größen . . . . .                 | 754 |
| 1     | Messung von Gleichspannungen . . . . .                                 | 754 |
| 1.1   | Analog anzeigende Spannungsmessgeräte . . . . .                        | 754 |
| 1.2   | Digital anzeigende Spannungsmessgeräte . . . . .                       | 754 |
| 1.3   | Meßabweichung durch den Innenwiderstand des Spannungsmessers . . . . . | 754 |
| 1.4   | Spannungsmessung mit dem Kompensator . . . . .                         | 755 |
| 2     | Messung von Gleichströmen . . . . .                                    | 755 |
| 2.1   | Analog anzeigende Strommeßgeräte . . . . .                             | 755 |
| 2.2   | Digital anzeigende Strommeßgeräte . . . . .                            | 755 |
| 2.3   | Meßabweichung durch den Innenwiderstand des Strommessers . . . . .     | 756 |
| 3     | <b>Meßbereichserweiterung</b> . . . . .                                | 756 |
| 3.1   | Spannungsmessung . . . . .   | 756 |
| 3.2   | Strommessung . . . . .   | 756 |
| 4     | <b>Messung von Wechselspannungen</b> . . . . .                         | 756 |
| 4.1   | Analog anzeigende Wechselspannungsmessgeräte . . . . .                 | 756 |
| 4.1.1 | Spannungsmesser mit Dreheisenmeßwerk . . . . .                         | 756 |
| 4.1.2 | Spannungsmesser mit Drehspulmeßwerk . . . . .                          | 757 |
| 4.1.3 | Spannungsmesser mit Thermoumformermeßwerk . . . . .                    | 757 |
| 4.2   | Digital anzeigende Wechselspannungsmessgeräte . . . . .                | 757 |
| 5     | <b>Messung von Wechselströmen</b> . . . . .                            | 758 |
| 5.1   | Analog anzeigende Wechselstrommeßgeräte . . . . .                      | 758 |
| 5.2   | Digital anzeigende Wechselstrommeßgeräte . . . . .                     | 758 |
| 6     | <b>Widerstands- und Impedanzmessung</b> . . . . .                      | 758 |
| 6.1   | Gleichstrom-Meßbrücken zur Widerstandsmessung . . . . .                | 758 |
| 6.1.1 | Grundlagen . . . . .   | 758 |
| 6.1.2 | Wheatstone-Meßbrücke im Abgleichverfahren . . . . .                    | 759 |

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| 6.1.3       | Thomson-Meßbrücke im Abgleichverfahren   | 759        |
| 6.1.4       | Wheatstone-Meßbrücke im Ausschlagverfahren   | 760        |
| 6.1.5       | Wheatstone-Meßbrücke im Ausschlagverfahren mit Widerstand in der Brückendiagonalen | 761        |
| 6.2         | Wechselstrom-Meßbrücken zur Widerstands- und Impedanzmessung                       | 761        |
| 6.2.1       | Messung von ohmschen Widerständen  | 761        |
| 6.2.2       | Messung von Impedanzen   | 762        |
| 6.3         | Vergleich mit bekanntem Widerstand - Spannungsvergleich                            | 762        |
| 6.4         | Messung von Strom und Spannung   | 763        |
| 6.5         | Widerstandsmessung mit analogen Multimetern  | 763        |
| <b>7</b>    | <b>Leistungsmessung</b>  | <b>764</b> |
| 7.1         | Wirkleistungsmessung   | 764        |
| 7.1.1       | Wirkleistungsmessung bei Wechselstrom  | 764        |
| 7.1.2       | Wirkleistungsmessung in Drehstromsystemen  | 765        |
| 7.1.3       | Symmetrisch belastetes Drehstromsystem   | 765        |
| 7.1.4       | Beliebig belastetes Dreileiter-Drehstromsystem                                     | 765        |
| 7.1.5       | Beliebig belastetes Vierleiter-Drehstromsystem                                     | 766        |
| 7.2         | Blindleistungsmessung  | 767        |
| 7.2.1       | Blindleistungsmessung bei Wechselstrom   | 767        |
| 7.2.2       | Blindleistungsmessung in symmetrisch belasteten Dreileiter-Drehstromsystemen       | 767        |
| 7.2.3       | Blindleistungsmessung in beliebig belasteten Vierleiter-Drehstromsystemen          | 767        |
| 7.3         | Scheinleistungsmessung   | 768        |
| 7.4         | Meßbereichserweiterung bei der Leistungsmessung                                    | 768        |
| 7.5         | Leistungsfaktormessung   | 768        |
| <b>8</b>    | <b>Messung der Arbeit</b>  | <b>768</b> |
| <b>9</b>    | <b>Messung von <math>L</math>, <math>C</math>, Gütefaktor und Verlustfaktor</b>    | <b>769</b> |
| 9.1         | Messung von $I_z$ oder $ z_c $   | 770        |
| 9.2         | Messung von $Z_L$ , $Z^A$ , Gütefaktor und Verlustfaktor                           | 770        |
| <b>10</b>   | <b>Messung magnetischer Größen</b>   | <b>771</b> |
| 10.1        | Magnetischer Fluß  | 771        |
| 10.2        | Magnetische Flußdichte   | 772        |
| 10.3        | Magnetische Feldstärke   | 772        |
| 10.4        | Permeabilität  | 772        |
| <b>VII</b>  | <b>Meßverfahren zur Messung nichtelektrischer Größen</b>                           | <b>773</b> |
| <b>1</b>    | <b>Meßaufnehmer</b>  | <b>774</b> |
| 1.1         | Ohmsche Aufnehmer  | 775        |
| 1.2         | Kapazitive Aufnehmer   | 775        |
| 1.3         | Induktive Aufnehmer  | 776        |
| 1.4         | Optische Aufnehmer   | 777        |
| 1.4.1       | Fotodiode  | 777        |
| 1.4.2       | Fotovervielfacher  | 777        |
| 1.5         | Ladungsliefernde Aufnehmer   | 778        |
| 1.6         | Thermische Aufnehmer   | 779        |
| 1.6.1       | Thermoelemente   | 779        |
| 1.7         | Chemische Aufnehmer  | 780        |
| 1.7.1       | pH-Wert-Meßeinrichtung mit Glaselektrode   | 780        |
| 1.7.2       | Aufnehmer zur Messung der Sauerstoffkonzentration                                  | 781        |
| 1.8         | Aufnehmer zur Messung von Gaskonzentrationen allgemein                             | 781        |
| <b>2</b>    | <b>Meßverfahren</b>  | <b>782</b> |
| 2.1         | Kraftmessung mit Dehnungsmeßstreifen (DMS)   | 783        |
| 2.2         | Füllstandsmessung und Messung der Foliendicke                                      | 786        |
| 2.3         | Drehzahlmessung  | 786        |
| 2.4         | Durchflußmessung   | 787        |
| 2.5         | Zeit- und Frequenzmessung  | 789        |
| 2.6         | Weg- und Winkelmessung   | 790        |
| 2.7         | Beschleunigungsmessung   | 791        |
| <b>VIII</b> | <b>Meßdatenaufbereitung</b>  | <b>794</b> |
| <b>1</b>    | <b>Verringerung der Störeinflüsse von außen</b>                                    | <b>794</b> |
| <b>2</b>    | <b>Meßverstärker</b>   | <b>795</b> |

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| <b>IX</b> | <b>Bussysteme für die Meßtechnik</b> . . . . .                      | 797 |
| 1         | Grundbegriffe . . . . .   | 797 |
| 2         | <b>IEC-Bus</b> . . . . .  | 798 |
| 3         | <b>DIN-Meßbus</b> . . . . .   | 800 |
| 4         | Aktuator-Sensor-Interface ( <b>ASI</b> ) . . . . .                  | 800 |
| <b>X</b>  | <b>Probleme bei der Digitalisierung analoger Meßwerte</b> . . . . . | 802 |
| 1         | Fehler bei der Digitalisierung . . . . .                            | 802 |
| 2         | Signal-Quantisierungs-Geräuschabstand . . . . .                     | 803 |
| 3         | Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses . . . . .              | 804 |
| 4         | Abtast-Halte-Glied . . . . .  | 804 |
| 5         | Aliasing . . . . .  | 804 |
| 6         | Erfassung von Momentanwerten . . . . .                              | 804 |
| <b>XI</b> | <b>PC-gestützte Meßverfahren und Meßsignalanalyse</b> . . . . .     | 805 |
| 1         | Statistische Verfahren zur Meßsignalauswertung . . . . .            | 805 |
| 2         | Graphische Darstellung . . . . .                                    | 805 |
| 3         | Ermittlung von Kenngrößen, Klassierung . . . . .                    | 806 |
| 4         | Meßsignalanalyse . . . . .  | 806 |
| 4.1       | Verfahren . . . . .   | 807 |
| 4.2       | Anwendungen . . . . .   | 807 |
| 4.2.1     | Messung des Klirrfaktors . . . . .                                  | 807 |
| 4.2.2     | Geräuschmessung zur Schadenfrüherkennung . . . . .                  | 807 |
| 4.2.3     | Abstandsmessung . . . . .   | 807 |
| 4.2.4     | Erkennung periodischer Signalanteile . . . . .                      | 807 |
| 5         | Automatisierung von Meßabläufen . . . . .                           | 807 |
|           | Literaturverzeichnis . . . . .                                      | 808 |
|           | Literatur allgemein: . . . . .                                      | 808 |
|           | Spezielle Literatur: . . . . .                                      | 808 |

## Energietechnik

|       |  |     |
|-------|--|-----|
|       | Elektrische Maschinen . . . . .                              | 809 |
| 1     | Transformatoren . . . . .                                    | 809 |
| 1.1   | Aufgaben eines Transformators . . . . .                      | 809 |
| 1.2   | Bauteile eines Transformators . . . . .                      | 809 |
| 1.2.1 | Eisenkerne . . . . .   | 809 |
| 1.2.2 | Wicklungen . . . . .   | 809 |
| 1.2.3 | Kühlung . . . . .  | 810 |
| 1.3   | Wirkungsweise eines Einphasen-Transformators . . . . .       | 810 |
| 1.3.1 | Leerlauf . . . . .   | 810 |
| 1.3.2 | Belastung . . . . .  | 811 |
| 1.3.3 | Leerlaufversuch . . . . .                                    | 812 |
| 1.3.4 | Kurzschlußversuch . . . . .                                  | 813 |
| 1.3.5 | Wirkungsgrad . . . . .                                       | 814 |
| 1.4   | Aufbau und Schaltung von Drehstrom-Transformatoren . . . . . | 815 |
| 1.4.1 | Wirkungsweise . . . . .                                      | 815 |
| 1.4.2 | Schaltgruppen . . . . .                                      | 816 |
| 1.4.3 | Unsymmetrische Belastungen . . . . .                         | 816 |
| 1.5   | Parallelschalten von Transformatoren . . . . .               | 816 |
| 1.6   | Transformatorschutz . . . . .                                | 817 |
| 1.7   | Überlastung von Transformatoren . . . . .                    | 817 |
| 1.8   | Aufstellen von Transformatoren . . . . .                     | 817 |
| 1.9   | Sondertransformatoren . . . . .                              | 818 |
| 1.9.1 | Spartransformatoren . . . . .                                | 818 |
| 1.9.2 | Drosselpulen . . . . .                                       | 818 |
| 1.9.3 | Strefeldtransformatoren . . . . .                            | 819 |



|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 1.10    | Meßwandler   | 819 |
| 1.10.1  | Spannungswandler                                   | 819 |
| 1.10.2  | Stromwandler                                       | 820 |
| 2       | Drehstrommaschinen                                 | 820 |
| 2.1     | Die Drehstromasynchronmaschine                     | 821 |
| 2.1.1   | Wirkungsweise der Asynchronmaschine                | 821 |
| 2.1.2   | Betriebsverhalten der Asynchronmaschine            | 821 |
| 2.1.2.1 | Spannungsgleichung, Ersatzschaltbild               | 822 |
| 2.1.2.2 | Leistungsfluß                                      | 822 |
| 2.1.2.3 | Betriebskennlinien                                 | 823 |
| 2.1.3   | Kurzschlußläufer                                   | 823 |
| 2.1.3.1 | Anlaßverfahren                                     | 824 |
| 2.1.3.2 | Bremsverfahren                                     | 825 |
| 2.1.3.3 | Drehzahlsteuerung                                  | 826 |
| 2.1.3.4 | Ständerspannungsänderung                           | 826 |
| 2.1.3.5 | Frequenzänderung                                   | 826 |
| 2.1.3.6 | Polumschaltung                                     | 828 |
| 2.1.4   | Der Schleifringläufer                              | 828 |
| 2.1.4.1 | Anlaßverfahren                                     | 828 |
| 2.1.4.2 | Bremsverfahren                                     | 829 |
| 2.1.4.3 | Drehzahlsteuerung                                  | 829 |
| 2.2     | Linearmotor  | 830 |
| 2.2.1   | Aufbau des Linearmotors                            | 830 |
| 2.3     | Drehstromsynchronmaschinen                         | 830 |
| 2.3.1   | Wirkungsweise der Synchronmaschine                 | 831 |
| 2.3.2   | Spannungsgleichung der Synchronmaschine            | 832 |
| 2.3.3   | Anlauf und Synchronisation                         | 832 |
| 3       | Einphasen-Asynchronmotoren                         | 833 |
| 3.1     | Einsträngiger Motor                                | 833 |
| 3.2     | Zweisträngiger Motor                               | 833 |
| 3.3     | Kondensatormotor                                   | 833 |
| 3.4     | Spaltpolmotor                                      | 834 |
| 4       | Drehstrommotor im Einphasenbetrieb                 | 834 |
| 5       | Sonderbauformen                                    | 835 |
| 5.1     | Schrittmotor                                       | 835 |
| 5.2     | Servomotor   | 835 |
| 5.2.1   | Scheibenläufermotor                                | 836 |
| 5.2.2   | Stabankermotoren                                   | 836 |
| 6       | Gleichstrommaschinen                               | 836 |
| 6.1     | Aufbau und Wirkungsweise                           | 837 |
| 6.1.1   | Ankerrückwirkungen                                 | 837 |
| 6.2     | Betriebsverhalten von Gleichstrommaschinen         | 838 |
| 6.2.1   | Nebenschlußmotor                                   | 838 |
| 6.2.2   | Reihenschlußmotor                                  | 840 |
| 6.2.3   | Doppelschlußmotor                                  | 842 |
| 6.3     | Betriebsverhalten von Gleichstromgeneratoren       | 842 |
| 6.3.1   | Fremderregter Generator                            | 843 |
| 6.3.2   | Nebenschlußgenerator                               | 843 |
| 6.3.3   | Reihenschlußgenerator                              | 843 |
| 6.3.4   | Doppelschlußgenerator                              | 844 |
| 6.4     | Gleichstrommaschine am Wechsel- oder Drehstromnetz | 844 |
| 6.4.1   | Wechselstrombrücken                                | 844 |
| 6.4.1.1 | Einquadrantenantrieb (1-Q-Betrieb)                 | 844 |
| 6.4.1.2 | Zweiquadrantenantrieb (2-Q-Betrieb)                | 845 |
| 6.4.1.3 | Vierquadrantenantrieb (4-Q-Betrieb)                | 845 |
| 6.4.2   | Drehstrombrücken                                   | 846 |
| 6.4.2.1 | Zweiquadrantenbetrieb (2-Q-Betrieb)                | 846 |
| 6.4.2.2 | Vierquadrantenbetrieb (4-Q-Betrieb)                | 846 |
| 6.5     | Universalmotor                                     | 846 |
| 7       | Auswahl von Motoren                                | 847 |
| 7.1     | Auswahl unter Berücksichtigung der Normen          | 847 |
| 7.1.1   | Bauform und Baugrößen                              | 847 |
| 7.1.2   | Schutzart  | 847 |
| 7.1.3   | Kühlart  | 850 |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 7.1.4     | Isolierstoffklassen . . . . .                              | 850        |
| 7.1.5     | Motorschutz . . . . .                                      | 850        |
|           | 7.1.5.1 Thermischer Auslöser . . . . .                     | 851        |
|           | 7.1.5.2 Thermistor-Motorvollschutz . . . . .               | 852        |
| 7.1.6     | Abstimmung des Motors auf die Arbeitsmaschine . . . . .    | 852        |
|           | 7.1.6.1 Wartung von Maschinen . . . . .                    | 853        |
| 7.1.7     | Störungsbeseitigung . . . . .                              | 854        |
| 7.1.8     | Anschlußkennzeichnungen von Maschinen . . . . .            | 856        |
| <b>II</b> | <b>Elektrische Anlagen . . . . .</b>                       | <b>857</b> |
| 1         | Struktur der Elektrizitätswirtschaft . . . . .             | 857        |
| 2         | Elektrische Energieerzeugung . . . . .                     | 857        |
| 2.1       | Energiebedarf . . . . .                                    | 858        |
| 2.2       | Energiereserven . . . . .                                  | 859        |
| 2.3       | Wärme kraftwerke . . . . .                                 | 859        |
|           | 2.3.1 Konventionelle Dampfkraftwerke . . . . .             | 860        |
|           | 2.3.2 Kombikraftwerke . . . . .                            | 860        |
|           | 2.3.3 Kernkraftwerke . . . . .                             | 860        |
|           | 2.3.3.1 Druckwasserreaktor . . . . .                       | 861        |
|           | 2.3.3.2 Siedewasserreaktor . . . . .                       | 861        |
|           | 2.3.3.3 Hochtemperaturreaktor . . . . .                    | 861        |
|           | 2.3.4 Umweltschutz . . . . .                               | 862        |
| 2.4       | Wasserkraftwerke . . . . .                                 | 863        |
| 2.5       | Windkraftwerke . . . . .                                   | 864        |
| 2.6       | Solkraftwerke . . . . .                                    | 864        |
|           | 2.6.1 Sonnenwärmekraftwerke . . . . .                      | 864        |
|           | 2.6.2 Photovoltaische Kraftwerke . . . . .                 | 865        |
|           | 2.6.3 Solar-Wasserstoff-Anlage . . . . .                   | 865        |
| 2.7       | Sonstige Kraftwerke . . . . .                              | 865        |
|           | 2.7.1 Biomasse . . . . .                                   | 865        |
|           | 2.7.2 Brennstoffzellen . . . . .                           | 865        |
|           | 2.7.3 Fusionsreaktor . . . . .                             | 866        |
| <b>3</b>  | <b>Elektrische Energieverteilung . . . . .</b>             | <b>866</b> |
|           | 3.1.1 Gleichstromnetz . . . . .                            | 867        |
|           | 3.1.2 Wechselstromnetz . . . . .                           | 867        |
|           | 3.1.3 Drehstromnetz . . . . .                              | 867        |
| 3.2       | Netzstrukturen . . . . .                                   | 868        |
|           | 3.2.1 Strahlennetz . . . . .                               | 868        |
|           | 3.2.2 Ringnetz . . . . .                                   | 869        |
|           | 3.2.3 Maschennetz . . . . .                                | 869        |
|           | 3.2.4 Verbundnetz . . . . .                                | 869        |
| <b>4</b>  | <b>Betriebsmittel der Elektrotechnik . . . . .</b>         | <b>870</b> |
| 4.1       | Bemessung und Auswahl . . . . .                            | 870        |
| 4.2       | Kabel, Leitungen und Schienen . . . . .                    | 870        |
|           | 4.2.1 Freileitungen . . . . .                              | 870        |
|           | 4.2.2 Kabel . . . . .                                      | 871        |
|           | 4.2.2.1 Leiterwerkstoffe . . . . .                         | 871        |
|           | 4.2.2.2 Leiterisolierung . . . . .                         | 872        |
|           | 4.2.2.3 Aufbau . . . . .                                   | 872        |
|           | 4.2.2.4 Erwärmung . . . . .                                | 872        |
|           | 4.2.2.5 Verlegung . . . . .                                | 874        |
|           | 4.2.2.6 Verlegung in Erde . . . . .                        | 874        |
|           | 4.2.2.7 Verlegung in Luft . . . . .                        | 874        |
|           | 4.2.2.8 Überstromschutz . . . . .                          | 878        |
|           | 4.2.3 Leitungen . . . . .                                  | 880        |
|           | 4.2.3.1 Spannungsfall auf Kabeln und Leitungen . . . . .   | 883        |
|           | 4.2.3.2 Verlegung von Kabeln und Leitungen . . . . .       | 884        |
|           | 4.2.3.3 Ersatzschaltung von Kabeln und Leitungen . . . . . | 884        |
|           | 4.2.4 Sammelschienen . . . . .                             | 884        |
|           | 4.2.4.1 Längenausdehnung von Stromschienen . . . . .       | 886        |
|           | 4.2.4.2 Kurzschlußfestigkeit . . . . .                     | 887        |
|           | 4.2.4.3 Mechanische Kurzschlußfestigkeit . . . . .         | 887        |
|           | 4.2.4.4 Thermische Kurzschlußfestigkeit . . . . .          | 888        |
| 4.3       | Schaltanlagen . . . . .                                    | 888        |
|           | 4.3.1 Hochspannungsschaltanlagen . . . . .                 | 889        |
|           | 4.3.2 Mittelspannungsanlagen . . . . .                     | 889        |
|           | 4.3.2.1 Bauart von Mittelspannungsschaltanlagen . . . . .  | 889        |

|     |         |   |     |
|-----|---------|---|-----|
|     | 4.3.2.2 | Störlichtbogenfestigkeit                  | 890 |
|     | 4.3.2.3 | Schaltgeräte                              | 891 |
|     | 4.3.2.4 | Schutzgeräte                              | 894 |
|     | 4.3.3   | Anlagenräume                              | 894 |
|     | 4.3.4   | Niederspannungsschaltanlagen              | 895 |
|     | 4.3.4.1 | Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen | 896 |
| 5   |         | Schutzmaßnahmen                           | 898 |
|     | 5.1     | Wirkung des Stroms                        | 899 |
|     | 5.2     | Schutz gegen direktes Berühren            | 899 |
|     | 5.3     | Schutz gegen indirektes Berühren          | 899 |
|     | 5.3.1   | Schutzisolierung                          | 900 |
|     | 5.3.2   | Schutztrennung                            | 900 |
|     | 5.3.3   | Schutz durch nichtleitende Räume          | 901 |
|     | 5.3.4   | Schutzkleinspannung                       | 901 |
|     | 5.3.5   | Funktionskleinspannung                    | 902 |
|     | 5.3.6   | Schutz durch Abschalten und Melden        | 902 |
|     | 5.3.6.1 | Überstromschutzeinrichtung                | 903 |
|     | 5.3.6.2 | FI-Schutzeinrichtung                      | 904 |
|     | 5.3.6.3 | Isolationsüberwachung                     | 904 |
|     | 5.3.6.4 | Zusätzlicher Potentialausgleich           | 904 |
| 6   |         | Arbeiten an elektrischen Anlagen          | 905 |
| 7   |         | Überprüfung der Schutzmaßnahme            | 906 |
| 8   |         | Kurzschlußberechnung (VDE 0102)           | 907 |
| III |         | Elektrische Energieanwendung              | 909 |
|     | 1       | Kompensationsanlagen                      | 909 |
|     | 2       | Beleuchtungsanlagen                       | 911 |
|     | 2.1     | Grundgrößen der Lichttechnik              | 911 |
|     | 2.2     | Lichtquellen                              | 912 |
|     | 2.3     | Glühlampen                                | 913 |
|     | 2.4     | Leuchtstofflampen                         | 913 |
|     | 2.5     | Entladungslampen                          | 913 |
|     | 2.6     | Leuchten                                  | 913 |
|     | 2.7     | Berechnung von Beleuchtungsanlagen        | 914 |

## Nachrichtentechnik

|  |        |  |     |
|--|--------|--|-----|
|  |        | Grundlagen der Nachrichtenübertragung                            | 917 |
|  | 1      | Prinzip der elektrischen Nachrichtenübertragung                  | 917 |
|  | 2      | Aufgaben der Nachrichtentechnik                                  | 919 |
|  | 3      | Grundbegriffe  | 919 |
|  | 4      | Nachricht, Information und Signal                                | 919 |
|  | 4.1    | Informationsgehalt   | 919 |
|  | 4.2    | Signale in der Nachrichtentechnik                                | 919 |
|  | 4.3    | Entropie   | 920 |
|  | 4.4    | Redundanz  | 920 |
|  | 4.5    | Informationsfluß   | 921 |
|  | 4.6    | Kanalkapazität, Dynamik  | 921 |
|  | 4.7    | Nachrichtenquader  | 921 |
|  | 4.8    | Signale im Zeitbereich: Analog, digital, kontinuierlich, diskret | 922 |
|  | 4.9    | Signale im Frequenzbereich                                       | 922 |
|  | 4.9.1  | Periodische sinusförmige Signale                                 | 923 |
|  | 4.9.2  | Periodische nichtsinusförmige Signale                            | 923 |
|  | 4.9.3  | Nichtperiodische Signale   | 923 |
|  | 4.10   | Abtasttheorem von Shannon  | 926 |
|  | 4.11   | Zufällige (stochastische) Signale                                | 927 |
|  | 4.11.1 | Rauschen   | 927 |
|  | 4.11.2 | Kenngrößen von stochastischen Signalen                           | 928 |
|  | 4.11.3 | Anwendungen der Kenngrößen von stochastischen Signalen           | 929 |
|  | 4.12   | Verzerrungen   | 929 |
|  | 4.12.1 | Lineare Verzerrungen   | 930 |
|  | 4.12.2 | Nichtlineare Verzerrungen  | 930 |
|  | 4.12.3 | Klirrfaktor  | 931 |

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| <b>5</b>   | <b>Kenngrößen der Übertragungsstrecke</b>   | 931 |
| 5.1        | Dämpfungsfaktor   | 931 |
| 5.2        | Übertragungsfaktor  | 931 |
| 5.3        | Dämpfungsmaß  | 932 |
| 5.4        | Übertragungsmaß, Verstärkungsmaß  | 932 |
| 5.5        | Pegel   | 932 |
| 5.5.1      | Absoluter Pegel   | 932 |
| 5.5.2      | Relativer Pegel   | 932 |
| 5.5.3      | Dämpfungsmaß, Übertragungsmaß   | 933 |
| 5.5.4      | Pegeldiagramm   | 933 |
| <b>II</b>  | <b>Vierpole, Zweitore</b>   | 934 |
| <b>1</b>   | <b>Vierpol allgemein</b>  | 934 |
| 1.1        | Grundlagen  | 934 |
| 1.2        | Vierpolgleichungen, Zusammenschaltung von Vierpolen                                     | 934 |
| 1.3        | Bestimmung der Vierpolparameter   | 936 |
| 1.4        | Elementarvierpole   | 937 |
| 1.5        | Betriebskenngrößen  | 937 |
| <b>2</b>   | <b>Spezielle Vierpole</b>   | 945 |
| 2.1        | Übertragungssymmetrische (reziproke) Vierpole   | 945 |
| 2.2        | Widerstandssymmetrische Vierpole  | 946 |
| 2.3        | Längssymmetrische Vierpole  | 946 |
| 2.4        | Rückwirkungsfreie Vierpole  | 946 |
| <b>3</b>   | <b>Wellenparameter passiver Vierpole</b>  | 946 |
| 3.1        | Allgemeine passive Vierpole   | 946 |
| 3.2        | Längssymmetrische passive Vierpole  | 947 |
| 3.3        | Wellenwiderstand bei passiven längssymmetrischen Vierpolen                              | 947 |
| 3.4        | Übertragungsmaß bei passiven längssymmetrischen Vierpolen                               | 948 |
| 3.5        | Spezielle Vierpole  | 948 |
| 3.5.1      | Doppel-T-Filter   | 948 |
| 3.5.2      | Kreuzschaltung  | 949 |
| 3.5.3      | Frequenzkompensierter Spannungsteiler   | 949 |
| <b>III</b> | <b>Leitungen</b>  | 950 |
| <b>1</b>   | <b>Leitungsbeläge und Leitungsgleichungen</b>   | 950 |
| <b>2</b>   | <b>Leitung mit sinusförmigen Spannungen und Strömen</b>                                 | 952 |
| 2.1        | Allgemeine Lösung   | 952 |
| 2.2        | Wellenwiderstand  | 952 |
| 2.3        | Ausbreitungskoeffizient   | 953 |
| 2.4        | Verlustlose Leitung   | 953 |
| 2.5        | Lösung mit Zeigerdarstellung  | 953 |
| 2.6        | Unendlich lange Leitung   | 954 |
| 2.7        | Anpassung   | 954 |
| 2.8        | Phasengeschwindigkeit, Gruppengeschwindigkeit   | 954 |
| <b>3</b>   | <b>Leitung mit sinusförmigen Spannungen und Strömen und beliebiger Abschlußimpedanz</b> | 954 |
| 3.1        | Reflexionsfaktor, Übertragungsfaktor  | 954 |
| 3.2        | Eingangsimpedanz  | 955 |
| 3.3        | Verzerrungsfreie Leitung  | 956 |
| 3.4        | Leitung als Vierpol   | 956 |
| 3.4.1      | Allgemeine Ersatzschaltung  | 956 |
| 3.4.2      | Elektrisch kurze Leitung  | 957 |
| <b>4</b>   | <b>Verlustlose Leitung</b>  | 957 |
| 4.1        | Eigenschaften   | 957 |
| 4.2        | Wanderwellen bei Reflexion am Leitungsein- und -ausgang                                 | 957 |
| 4.3        | Elektrisch lange Leitung  | 958 |
| 4.4        | Leitung als Transformator   | 959 |
| 4.5        | Stehende Wellen   | 959 |
| 4.6        | Kettenleiter  | 959 |
| 4.7        | Wellenfilter  | 960 |
| <b>5</b>   | <b>Daten von Leitungen</b>  | 961 |

|           |  |      |
|-----------|--|------|
| <b>6</b>  | <b>Hochfrequenzleitungen</b>                                   | 961  |
| 6.1       | Hochfrequenz-Koaxialkabel                                      | 961  |
| 6.2       | Hohlleiter   | 963  |
| 6.3       | Streifenleitungen  | 966  |
| <b>7</b>  | <b>s-Parameter</b>   | 970  |
| 7.1       | Signalflußdiagramme  | 970  |
| 7.2       | Leistungsverstärkung   | 972  |
| <b>8</b>  | <b>Kreisdiagramm</b>   | 972  |
| 8.1       | Doppel-Kreisdiagramm   | 975  |
| 8.2       | s-Parameter im Kreisdiagramm                                   | 976  |
| <b>IV</b> | <b>Antennen</b>  | 978  |
| <b>1</b>  | <b>Grundlagen</b>  | 978  |
| <b>2</b>  | <b>Kenngrößen</b>  | 980  |
| <b>3</b>  | <b>Ausführungsformen von Antennen</b>                          | 982  |
| 3.1       | Vertikalantenne  | 982  |
| 3.2       | Rahmenantenne  | 982  |
| 3.3       | Ferritantenne  | 982  |
| 3.4       | //2-Dipol, //2-Faltdipol                                       | 983  |
| 3.5       | Breitbanddipol   | 983  |
| 3.6       | Gruppenstrahler  | 983  |
| 3.7       | Yagi-Antenne   | 983  |
| 3.8       | Langdrahtantenne   | 984  |
| 3.9       | Rohrschlitzstrahler  | 984  |
| 3.10      | Parabolantenne   | 984  |
| <b>4</b>  | <b>Wellenausbreitung</b>                                       | 984  |
| 4.1       | Boden-und Raumwelle  | 984  |
| 4.2       | Erdatmosphäre  | 985  |
| 4.3       | Wellenausbreitung im Plasma                                    | 985  |
| 4.4       | Wellenausbreitung im Bereich 30 kHz bis 30 GHz                 | 986  |
| <b>V</b>  | <b>Modulation</b>  | 988  |
| <b>1</b>  | <b>Übersicht</b>   | 988  |
| <b>2</b>  | <b>Sinusträger - mit Analogsignal moduliert</b>                | 988  |
| 2.1       | Amplitudenmodulation (AM)                                      | 989  |
| 2.1.1     | Modulation durch Multiplikation                                | 989  |
| 2.1.2     | Kenngrößen der Amplitudenmodulation                            | 989  |
| 2.1.3     | Modulation an einer quadratischen Kennlinie                    | 990  |
| 2.1.4     | Modulation an einer nichtlinearen nichtquadratischen Kennlinie | 991  |
| 2.1.5     | Zeigerdiagramm   | 991  |
| 2.1.6     | Modulationstrapez  | 991  |
| 2.1.7     | Demodulation von AM  | 992  |
| 2.1.8     | Leistung von Träger und Seitenbändern                          | 992  |
| 2.1.9     | Störungen bei amplitudenmodulierten Signalen                   | 992  |
| 2.1.10    | Kreuzmodulation  | 993  |
| 2.2       | Sonderformen der Amplitudenmodulation                          | 993  |
| 2.2.1     | Einseitenbandmodulation (ESB, SSB)                             | 993  |
| 2.2.2     | Restseitenbandmodulation (RM, VSB)                             | 994  |
| 2.2.3     | Quadraturmodulation  | 995  |
| 2.3       | Technische Ausführung der Amplitudenmodulation                 | 995  |
| 2.4       | Winkelmodulation   | 996  |
| 2.4.1     | Grundlagen   | 996  |
| 2.4.2     | Kenngrößen   | 997  |
| 2.4.3     | Zeigerdarstellung  | 997  |
| 2.4.4     | Spektrum und Bandbreitenbedarf                                 | 997  |
| 2.4.5     | Störungen bei winkelmodulierten Signalen                       | 998  |
| 2.4.6     | Preemphase, Deemphase  | 999  |
| 2.4.7     | Erzeugung von Frequenz- und Phasenmodulation                   | 999  |
| 2.4.8     | Demodulation von Frequenz- und Phasenmodulation                | 1001 |
| <b>3</b>  | <b>Sinusträger - mit Digitalsignal moduliert</b>               | 1002 |
| 3.1       | Amplitudenumtastung (ASK)                                      | 1002 |
| 3.2       | Frequenzumtastung (FSK)  | 1003 |

|             |  |             |
|-------------|--|-------------|
| 3.3         | Phasenumtastung (PSK) . . . . .  | 1003        |
| 3.3.1       | Zweiphasenumtastung (2-PSK) . . . . .                                  | 1004        |
| 3.3.2       | Vierphasenumtastung (4-PSK) . . . . .                                  | 1005        |
| 3.3.3       | n-Phasen-Umtastung . . . . .   | 1006        |
| <b>4</b>    | <b>Pulsträger uncodiert</b> . . . . .                                  | <b>1007</b> |
| 4.1         | Pulsamplitudenmodulation (PAM) . . . . .                               | 1007        |
| 4.2         | Pulsfrequenz- und Pulsphasenmodulation (PFM, PPM) . . . . .            | 1007        |
| 4.3         | Pulsdauermodulation (PDM) . . . . .                                    | 1009        |
| 4.4         | Pulsmodemodulation (PCM) . . . . .                                     | 1009        |
| 4.4.1       | Prinzip . . . . .  | 1009        |
| 4.4.2       | Aliasing-Effekt . . . . .  | 1010        |
| 4.4.3       | Abtast-Halte-Glied . . . . .   | 1010        |
| 4.4.4       | Quantisierung . . . . .  | 1012        |
| 4.4.5       | Quantisierungsgeräusch . . . . .                                       | 1012        |
| 4.4.6       | Kompanidierung . . . . .   | 1012        |
| 4.4.7       | Kodierung . . . . .  | 1013        |
| 4.4.8       | Deltamodulation (DM) und Differenz-Pulsmodemodulation (DPCM) . . . . . | 1014        |
| <b>VI</b>   | <b>Filter</b> . . . . .  | <b>1015</b> |
| <b>1</b>    | <b>Allgemeines</b> . . . . .   | 1015        |
| <b>2</b>    | <b>Passive R-C-Filter</b> . . . . .                                    | 1016        |
| 2.1         | Passive R-C-Tiefpaßfilter . . . . .                                    | 1016        |
| 2.2         | Passive R-C-Hochpaßfilter . . . . .                                    | 1017        |
| 2.3         | Bandpaß aus R-C-Hoch- und Tiefpaßfilter . . . . .                      | 1017        |
| 2.4         | R-L-C-Bandpaß und-Bandsperr . . . . .                                  | 1019        |
| 2.5         | Bandfilter . . . . .   | 1021        |
| 2.6         | Quarzfilter, keramische Filter . . . . .                               | 1022        |
| 2.7         | Digitale Filter . . . . .  | 1023        |
| 2.8         | Filter mit geschalteten Kondensatoren, SC-Filter . . . . .             | 1024        |
| <b>VH</b>   | <b>Empfängerschaltungstechnik</b> . . . . .                            | <b>1025</b> |
| <b>1</b>    | <b>Geradeempfänger</b> . . . . .                                       | 1025        |
| <b>2</b>    | <b>Überlagerungsempfänger</b> . . . . .                                | 1026        |
| <b>3</b>    | <b>Automatische Verstärkungsregelung (AVR)</b> . . . . .               | 1026        |
| <b>4</b>    | <b>Weitere Schaltungskonzepte</b> . . . . .                            | 1026        |
| <b>VIII</b> | <b>Ton- und Bildübertragung</b> . . . . .                              | <b>1027</b> |
| <b>1</b>    | <b>Rundfunk-Stereoübertragung</b> . . . . .                            | 1027        |
| <b>2</b>    | <b>Fernseh-Bildübertragung</b> . . . . .                               | 1028        |
| 2.1         | Grundlagen, Schwarz-Weiß-Empfänger . . . . .                           | 1028        |
| 2.2         | Farbfemsehtechnik . . . . .  | 1031        |
|             | <b>Mehrfachübertragung - Multiplexverfahren</b> . . . . .              | <b>1034</b> |
| <b>1</b>    | <b>Zeitmultiplexverfahren</b> . . . . .                                | 1035        |
| 1.1         | Analoge Signalübertragung . . . . .                                    | 1035        |
| 1.2         | Digital kodierte Signalübertragung . . . . .                           | 1036        |
| <b>2</b>    | <b>Frequenzmultiplexverfahren</b> . . . . .                            | 1036        |
|             | <b>Richtfunktechnik</b> . . . . .                                      | <b>1037</b> |
|             | <b>Nachrichtenübertragung über Satellit</b> . . . . .                  | <b>1038</b> |
|             | <b>Nachrichtenübertragung über Lichtwellenleiter (LWL)</b> . . . . .   | <b>1042</b> |
|             | <b>Physikalische Grundlagen</b> . . . . .                              | 1042        |
|             | Grundmodelle von Lichtwellenleitern . . . . .                          | 1044        |
| i>          | "2.1 Mehrmoden-Stufenindex mit Totalreflexion . . . . .                | 1044        |
|             | Mehrmomen-Gradientenindex . . . . .                                    | 1044        |
| i.%         | Einmoden-Stufenindex . . . . .   | 1044        |
|             | <b>ie Ausführung von Lichtwellenleitern</b> . . . . .                  | <b>1046</b> |

|             |   |       |
|-------------|---|-------|
| 4           | Lichtsender . . . . .   | .1047 |
| 5           | Lichtempfänger . . . . .  | .1047 |
| 6           | Verbinden von Lichtleitern . . . . .  | .1048 |
| <b>XIII</b> | <b>Funkmeßtechnik - Radar</b> . . . . .                                       | .1048 |
| 1           | Grundlagen, Kenngrößen . . . . .  | .1048 |
| 2           | Daten von Radaranlagen . . . . .  | .1050 |
| 3           | Funkortungssystem OMEGA . . . . .   | .1051 |
| 4           | Satellitengestütztes Ortungssystem GPS . . . . .                              | .1051 |
| <b>XIV</b>  | <b>Elektroakustische Wandler</b> . . . . .                                    | .1051 |
| 1           | Definitionen, Kenngrößen . . . . .  | .1051 |
| 2           | Schallempfänger . . . . .   | .1053 |
| 2.1         | Kenngrößen für Mikrofone . . . . .  | .1053 |
| 2.2         | Mikrofonssysteme . . . . .  | .1054 |
| 2.2.1       | Kohlemikrofon . . . . .   | .1054 |
| 2.2.2       | Kristallmikrofon . . . . .  | .1055 |
| 2.2.3       | (Elektro-)Magnetisches Mikrofon . . . . .                                     | .1055 |
| 2.2.4       | (Elektro-)Dynamisches Mikrofon als Tauchspul- oder Bändchenmikrofon . . . . . | .1055 |
| 2.2.5       | Kondensatormikrofon . . . . .   | .1056 |
| 2.2.6       | Elektret-Kondensatormikrofon . . . . .  | .1057 |
| 2.3         | Daten und Eigenschaften verschiedener Mikrofonssysteme . . . . .              | .1057 |
| 3           | Schallsender . . . . .  | .1058 |
| 3.1         | Lautsprecher-und Hörer-Systeme . . . . .                                      | .1058 |
| 3.1.1       | Elektrodynamisches System . . . . .   | .1058 |
| 3.1.2       | (Elektro-)Magnetisches System . . . . .                                       | .1058 |
| 3.1.3       | Dynamisches System . . . . .  | .1058 |
| 3.1.4       | Elektrostatisches System . . . . .  | .1058 |
| 3.1.5       | Piezoelektrisches System . . . . .  | .1059 |
| 3.2         | Kenngrößen, Daten . . . . .   | .1059 |
| <b>XV</b>   | <b>Vermittlungstechnik</b> . . . . .  | .1060 |
| 1           | Grundbegriffe . . . . .   | .1060 |
| 2           | Vermittlung . . . . .   | .1061 |
| 3           | Verkehrstheorie . . . . .   | .1061 |
| 4           | Ortsvermittlungstechnik . . . . .   | .1062 |
| 4.1         | Endgerät . . . . .  | .1062 |
| 4.2         | Ortsnetz . . . . .  | .1063 |
| 5           | Nationales Fernnetz . . . . .   | .1064 |
| 6           | Internationales Fernnetz . . . . .  | .1065 |
| <b>XVI</b>  | <b>Kommunikations- und Datennetze</b> . . . . .                               | .1066 |
| 1           | Lokale Kommunikations-und Datennetze . . . . .                                | .1066 |
| 2           | Öffentliche Kommunikations- und Datennetze . . . . .                          | .1068 |
| 2.1         | Fernsprechnetz . . . . .  | .1068 |
| 2.1.1       | T-Online . . . . .  | .1068 |
| 2.1.2       | Telefax . . . . .   | .1068 |
| 2.1.3       | Temex . . . . .   | .1069 |
| 2.1.4       | Telebox . . . . .   | .1069 |
| 2.1.5       | Modem . . . . .   | .1069 |
| 2.2         | Integriertes Text-und Datennetz IDN . . . . .                                 | .1069 |
| 2.2.1       | Teletex, Telex . . . . .  | .1069 |
| 2.2.2       | Datex . . . . .   | .1069 |
| 2.3         | ISDN . . . . .  | .1069 |
| 2.4         | Mobilfunknetze . . . . .  | .1070 |
| 2.4.1       | Einweg-Funknetz: Funkrufdienst . . . . .                                      | .1070 |
| 2.4.2       | Funktelefonysteme . . . . .   | .1071 |
| 2.5         | Internet . . . . .  | .1072 |
| <b>XVII</b> | <b>Optimierte Nachrichten- und Datenübertragung</b> . . . . .                 | .1073 |
| 1           | Kodierung . . . . .   | .1073 |

- 1.1 Querkodierung . . . . .1073
  - 1.1.1 Grundlagen . . . . .1073
  - 1.1.2 Optimalcodes . . . . .1075
  - 1.1.3 Datenreduktion . . . . .1076
- 1.2 Kanalkodierung . . . . .1076
  - 1.2.1 Grundlagen . . . . .1076
  - 1.2.2 Maximum-Likelihood-Verfahren . . . . .1077
  - 1.2.3 Faltungskodierer mit Likelihood-Viterbi-Dekodierer . . . . .1077
- 2 Optimalster** . . . . .1079
- 3 Anwendung der Korrelation bei gestörten Signalen** . . . . .1082
- Literaturverzeichnis** . . . . .1083
  - Literatur allgemein: . . . . .1083
  - Literatur zu Kapitel II: . . . . .1083
  - Literatur zu Kapitel III: . . . . .1083
  - Literatur zu Kapitel IV: . . . . .1083
  - Literatur zu Kapitel V: . . . . .1083
  - Literatur zu den Kapiteln XII, XIV und XVU: . . . . .1083

# Signal- und Systemtheorie

- Häufig verwendete Formelzeichen** . . . . .1085
- I Einführung** . . . . .1086
  - 1 Darstellung in der Zeit- und in der Frequenzebene** . . . . .1086
  - 2 Hinweise zur Anwendung** . . . . .1087
- II Grundbegriffe** . . . . .1088
- III Periodische nichtsinusförmige zeitkontinuierliche Signale** . . . . .1089
  - 1 Reelle und komplexe Fourierreihe** . . . . .1089
  - 2 Beispiele und Anwendungen** . . . . .1090
- IV Nichtperiodische zeitkontinuierliche Signale** . . . . .1093
  - 1 Fouriertransformation** . . . . .1093
    - 1.1 Transformationsregeln . . . . .1093
    - 1.2 Eigenschaften . . . . .1093
    - 1.3 Korrespondenztabelle . . . . .1095
    - 1.4 Beispiele . . . . .1096
  - 2 Laplacetransformation** . . . . .1096
    - 2.1 Einführung . . . . .1096
    - 2.2 Transformation . . . . .1096
    - 2.3 Sätze zur Laplacetransformation . . . . .1099
    - 2.4 Anwendung der Laplace- transformation bei bekanntem  $H(s)$  . . . . .1100
    - 2.5 Bestimmung von  $H(s)$  . . . . .1100
      - 2.5.1 Bestimmung von  $H(s)$  mit Differentialgleichung . . . . .1100
      - 2.5.2 Bestimmung von  $H(s)$  durch direkte Transformation der Einzelelemente . . . . .1100
    - 2.6 Beispiele . . . . .1102
- Spezielle Signale** . . . . .1107
  - 1 Stoßfunktion, «/-Funktion, Dirac-Impuls** . . . . .1107
  - 2 Sprungfunktion  $s(t)$**  . . . . .1107
  - 3 Verknüpfung von  $s$ - und  $\wedge$ -Funktion** . . . . .1108
  - 4 Harmonische Schwingungen** . . . . .1108
- Leistung** . . . . .1109
- Faltungintegral** . . . . .nio
- Abtasttheorem** . . . . .im



|           |  |       |
|-----------|--|-------|
| <b>IX</b> | <b>Nichtkontinuierliche (zeitdiskrete) Signale</b> . . . . . | .1112 |
| 1         | Diskrete Fouriertransformation (DFT) . . . . .               | .1113 |
| 2         | Schnelle Fouriertransformation (FFT). . . . .                | .1114 |
| 3         | $\wedge$ -Transformation . . . . .                           | .1114 |
| <b>X</b>  | <b>Zufällige Signale</b> . . . . .                           | ins   |
| 1         | Grundbegriffe <b>und</b> Kenngrößen . . . . .                | .1118 |
| 2         | Verteilungen . . . . .                                       | .1121 |
| 2.1       | Binomialverteilung . . . . .                                 | .1121 |
| 2.2       | Poissonverteilung . . . . .                                  | .1121 |
| 2.3       | Normalverteilung, Gaußverteilung . . . . .                   | .1121 |
| 3         | <b>Rauschen</b> . . . . .                                    | .1122 |
| 4         | Signalerkennung bei gestörter Übertragung . . . . .          | .1123 |
| 4.1       | Erkennen versteckter Periodizitäten . . . . .                | .1123 |
| 4.2       | Signalerkennung allgemein . . . . .                          | .1123 |
| 4.3       | Signalangepaßte Filter (matched filter). . . . .             | .1123 |
|           | Literaturverzeichnis. . . . .                                | .1124 |
|           | Literatur allgemein. . . . .                                 | .1124 |
|           | Literatur zu Kapitel IX: . . . . .                           | .1124 |
|           | Literatur zu Kapitel X: . . . . .                            | .1124 |

## Sachwortverzeichnis