

# Inhaltsverzeichnis

## Mathematik

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| <b>I</b>  | <b>Arithmetik</b>   | 1  |
| <b>1</b>  | <b>Mengen</b>   | 1  |
| <b>2</b>  | <b>Aussageformen und logische Zeichen</b>                 | 1  |
| 2.1       | Aussageformen   | 1  |
| 2.2       | Logische Zeichen  | 1  |
| 2.3       | Vollständige Induktion                                    | 2  |
| <b>3</b>  | <b>Einteilung der Zahlen</b>                              | 2  |
| <b>4</b>  | <b>Grundrechenarten</b>                                   | 3  |
| <b>5</b>  | <b>Grundlegende Rechenregeln</b>                          | 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  |
| <b>6</b>  | <b>Bruchrechnung</b>                                      | 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 |
| <b>7</b>  | <b>Potenz- und Wurzelrechnung</b>                         | 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 |
| <b>8</b>  | <b>Dezimalzahlen und Dualzahlen</b>                       | 14 |
| 8.1       | Dezimalsystem   | 14 |
| 8.2       | Dualsystem  | 14 |
| 8.3       | Runden  | 15 |
| <b>9</b>  | <b>Logarithmen</b>  | 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 |
| <b>10</b> | <b>Mittelwerte</b>  | 17 |
| 10.1      | Arithmetisches Mittel                                     | 17 |
| 10.2      | Geometrisches Mittel                                      | 17 |
| 10.3      | Harmonisches Mittel                                       | 17 |
| 10.4      | Quadratisches Mittel                                      | 18 |
| <b>11</b> | <b>Ungleichungen</b>                                      | 18 |
| 11.1      | Definitionen und Rechenregeln                             | 18 |
| 11.2      | Absolutbetrag   | 18 |
| 11.3      | Intervalle  | 19 |

|  |    |
|--|----|
| <b>12 Komplexe Zahlen</b> . . . . .  | 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 Gleichungen</b> . . . . .  | 24 |
| <b>1 Gleichungsarten</b> . . . . .   | 24 |
| <b>2 Äquivalente Umformungen</b> . . . . .                                 | 25 |
| <b>3 Lineare Gleichungen</b> . . . . .                                     | 26 |
| <b>4 Proportionen</b> . . . . .  | 26 |
| <b>5 Quadratische Gleichungen</b> . . . . .                                | 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 Viëta für quadratische Gleichungen . . . . .                  | 29 |
| <b>6 Algebraische Gleichungen höheren Grades</b> . . . . .                 | 30 |
| 6.1 Kubische Gleichungen . . . . .   | 30 |
| 6.2 Polynomdivision . . . . .  | 31 |
| 6.3 Gleichungen vierten Grades . . . . .                                   | 32 |
| 6.4 Gleichungen $n$ -ten Grades . . . . .                                  | 33 |
| 6.5 Satz von Viëta für Gleichungen $n$ -ten Grades . . . . .               | 33 |
| <b>7 Auf algebraische Gleichungen zurückföhrbare Gleichungen</b> . . . . . | 34 |
| 7.1 Bruchgleichungen . . . . .   | 34 |
| 7.2 Wurzelgleichungen . . . . .  | 35 |
| <b>8 Transzendente Gleichungen</b> . . . . .                               | 35 |
| 8.1 Exponentialgleichungen . . . . .                                       | 35 |
| 8.2 Logarithmische Gleichungen . . . . .                                   | 36 |
| 8.3 Trigonometrische Gleichungen . . . . .                                 | 36 |
| <b>9 Lineare Gleichungssysteme</b> . . . . .                               | 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 |
| <b>10 Lineare Ungleichungen</b> . . . . .                                  | 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 Planimetrie</b> . . . . .   | 46 |
| <b>1 Geraden und Strecken</b> . . . . .                                    | 46 |
| <b>2 Winkel</b> . . . . .  | 47 |
| <b>3 Grundkonstruktionen mit Zirkel und Lineal</b> . . . . .               | 48 |
| <b>4 Projektion</b> . . . . .  | 49 |
| <b>5 Geometrische Örter</b> . . . . .                                      | 50 |
| <b>6 Dreiecke</b> . . . . .  | 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 <math>n</math>-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       | Parallelepiped und Würfel . . . . .                | 68        |
| <b>2</b>  | <b>Zylinder</b> . . . . .                          | <b>69</b> |
| 2.1       | Allgemeine Zylinder . . . . .                      | 69        |
| 2.2       | Gerade Kreiszylinder . . . . .                     | 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        |

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| <b>V</b>   | <b>Funktionen</b> . . . . .   | 76  |
|            | <b>1 Definition und Darstellungen von Funktionen</b> . . . . .        | 76  |
|            | 1.1 Definitionen . . . . .  | 76  |
|            | 1.2 Funktionsgleichung . . . . .                                      | 76  |
|            | 1.3 Graph einer Funktion. . . . .                                     | 77  |
|            | 1.4 Wertetabelle einer Funktion . . . . .                             | 77  |
|            | <b>2 Verhalten von Funktionen</b> . . . . .                           | 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  |
|            | <b>3 Einteilung der elementaren Funktionen</b> . . . . .              | 80  |
|            | <b>4 Ganze rationale Funktionen</b> . . . . .                         | 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  |
|            | <b>5 Gebrochene rationale Funktionen</b> . . . . .                    | 89  |
|            | 5.1 Nullstellen, Pole, Asymptoten . . . . .                           | 89  |
|            | 5.2 Partialbruchzerlegung . . . . .                                   | 92  |
|            | <b>6 Irrationale Funktionen</b> . . . . .                             | 93  |
|            | <b>7 Transzendente Funktionen</b> . . . . .                           | 95  |
|            | 7.1 Exponentialfunktionen . . . . .                                   | 95  |
|            | 7.2 Logarithmusfunktionen . . . . .                                   | 96  |
| <b>VI</b>  | <b>Trigonometrie</b> . . . . .  | 97  |
|            | <b>1 Definition der trigonometrischen Funktionen</b> . . . . .        | 97  |
|            | <b>2 Trigonometrische Funktionen für beliebige Winkel</b> . . . . .   | 98  |
|            | <b>3 Beziehungen für den gleichen Winkel</b> . . . . .                | 99  |
|            | <b>4 Graphen der trigonometrischen Funktionen</b> . . . . .           | 99  |
|            | <b>5 Reduktionsformeln</b> . . . . .                                  | 100 |
|            | <b>6 Additionstheoreme</b> . . . . .                                  | 101 |
|            | <b>7 Sinussatz und Kosinussatz</b> . . . . .                          | 102 |
|            | <b>8 Grundaufgaben der Dreiecksberechnung</b> . . . . .               | 103 |
|            | <b>9 Arkusfunktionen</b> . . . . .                                    | 104 |
| <b>VII</b> | <b>Analytische Geometrie</b> . . . . .                                | 106 |
|            | <b>1 Koordinatensysteme</b> . . . . .                                 | 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 |
|            | <b>2 Geraden</b> . . . . .  | 108 |
|            | 2.1 Geradengleichungen . . . . .                                      | 108 |
|            | 2.2 Abstände . . . . .  | 110 |
|            | <b>3 Kreise</b> . . . . .   | 111 |
|            | 3.1 Kreisgleichungen . . . . .  | 111 |
|            | 3.2 Berechnung von Kreisen . . . . .                                  | 112 |
|            | 3.3 Kreis und Gerade . . . . .  | 113 |
|            | <b>4 Kugeln</b> . . . . .   | 115 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>5 Kegelschnitte</b>                                      | 115 |
| 5.1 Ellipsen  | 116 |
| 5.2 Hyperbeln   | 118 |
| 5.3 Parabeln  | 120 |
| 5.4 Anwendungen   | 122 |
| <b>6 Graphisches Lösen von Gleichungen</b>                  | 124 |
| <b>7 Vektoren</b>   | 126 |
| 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 Differential- und Integralrechnung</b>              | 131 |
| <b>1 Folgen</b>   | 131 |
| 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 Reihen</b>   | 133 |
| 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 Grenzwerte von Funktionen</b>                          | 136 |
| 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 Ableitung einer Funktion</b>                           | 138 |
| 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 Integralrechnung</b>                                   | 148 |
| 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        |
| <b>6</b>      | <b>Funktionenreihen</b> . . . . .                          | <b>155</b> |
| 6.1           | Definitionen . . . . .                                     | 155        |
| 6.2           | Potenzreihen . . . . .                                     | 156        |
| 6.3           | Fourier-Reihen. . . . .                                    | 157        |
| <b>Anhang</b> |  |            |
| <b>A</b>      | <b>Symbole und Bezeichnungen</b> . . . . .                 | <b>161</b> |
| <b>B</b>      | <b>Mathematische Konstanten</b> . . . . .                  | <b>163</b> |
| <b>C</b>      | <b>Das griechische Alphabet</b> . . . . .                  | <b>163</b> |

## Physik

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| <b>I</b>   | <b>Einführung</b> . . . . .                                   | <b>165</b> |
| <b>1</b>   | <b>Physikalische Größen</b> . . . . .                         | <b>165</b> |
| 1.1        | Skalare . . . . .   | 165        |
| 1.2        | Vektoren. . . . .   | 165        |
| <b>2</b>   | <b>SI-System</b> . . . . .                                    | <b>165</b> |
| <b>II</b>  | <b>Mechanik</b> . . . . .                                     | <b>166</b> |
| <b>1</b>   | <b>Kinematik des Massenpunktes</b> . . . . .                  | <b>166</b> |
| 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        |
| <b>2</b>   | <b>Dynamik</b> . . . . .                                      | <b>171</b> |
| 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        |
| <b>3</b>   | <b>Elastische Verformung fester Körper</b> . . . . .          | <b>180</b> |
| <b>4</b>   | <b>Mechanik der ruhenden Flüssigkeiten und Gase</b> . . . . . | <b>181</b> |
| 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        |
| <b>5</b>   | <b>Hydrodynamik</b> . . . . .                                 | <b>182</b> |
| 5.1        | Kontinuitätsgleichung . . . . .                               | 182        |
| 5.2        | Bernoulli-Gleichung . . . . .                                 | 182        |
| 5.3        | Innere Reibung . . . . .                                      | 183        |
| <b>III</b> | <b>Thermodynamik</b> . . . . .                                | <b>183</b> |
| <b>1</b>   | <b>Grundbegriffe</b> . . . . .                                | <b>183</b> |

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

## Werkstoffkunde

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

## Grundlagen der Elektrotechnik

|          |                                     |     |
|----------|-------------------------------------|-----|
| <b>I</b> | <b>Grundbegriffe</b> . . . . .      | 253 |
|          | 1 <b>Aufbau der Atome</b> . . . . . | 253 |
|          | 2 <b>Ladungsträger</b> . . . . .    | 253 |
|          | 3 <b>Spannung</b> . . . . .         | 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 |

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| <b>IV</b> | <b>Das Magnetische Feld</b>                              | 274 |
| 1         | <b>Feldlinien</b>  | 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         | <b>Magnetische Kreise</b>                                | 286 |
| 6.1       | Magnetische Spannung                                     | 286 |
| 6.2       | Magnetischer Widerstand                                  | 287 |
| 6.3       | Unverzweigte Kreise                                      | 287 |
| 6.4       | Verzweigte Kreise  | 288 |
| <b>V</b>  | <b>Induktion</b>   | 289 |
| 1         | <b>Induktion bei Änderung der Fläche</b>                 | 289 |
| 2         | <b>Induktion bei Änderung des Magnetfeldes</b>           | 291 |
| 3         | <b>Die Induktivität einer Spule</b>                      | 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 |
| <b>VI</b> | <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       | Darstellungsarten  | 296 |
| 1.4.1     | Zeigerdarstellung von Sinusgrößen                        | 296 |
| 1.4.2     | Darstellung von Sinusgrößen in der komplexen Zahlenebene | 296 |
| 2         | <b>Grundschaltelemente im Wechselstromkreis</b>          | 297 |
| 2.1       | Ohmscher Widerstand                                      | 297 |
| 2.2       | Kapazität  | 297 |
| 2.3       | Spule  | 297 |
| 3         | <b>Schaltungen von Wechselstromwiderständen</b>          | 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 $RL$ -Glieder . . . . .                    | 307        |
| 4.2        | Tiefpassschaltung mit $RC$ - und $RL$ -Glieder . . . . .                    | 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        | Schaltdioden . . . . .  | 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           | <b>Diac</b> . . . . .                                       | 345 |
| 4           | <b>Triac</b> . . . . .                                      | 346 |
| 5           | <b>Schutz der Dioden und Trioden</b> . . . . .              | 346 |
| 6           | <b>Zündmethoden</b> . . . . .                               | 347 |
| <b>IV</b>   | <b>Transistoren</b> . . . . .                               | 349 |
| 1           | <b>Bipolare Transistoren</b> . . . . .                      | 349 |
| 1.1         | Transistoreffekt . . . . .                                  | 349 |
| 1.2         | Transistorkennlinien . . . . .                              | 350 |
| 1.3         | Kenn- und Grenzwerte des Transistors . . . . .              | 352 |
| 2           | <b>Feldeffekttransistoren (FET)</b> . . . . .               | 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 |
| <b>V</b>    | <b>Besondere Halbleiter-Bauelemente</b> . . . . .           | 365 |
| 1           | <b>Unijunction-Transistor (Doppelbasisdiode)</b> . . . . .  | 365 |
| 2           | <b>Darlington-Transistor</b> . . . . .                      | 366 |
| 3           | <b>VMOS-Transistoren</b> . . . . .                          | 367 |
| 4           | <b>SIPMOS-Transistoren</b> . . . . .                        | 368 |
| 5           | <b>IGBT</b> . . . . .                                       | 369 |
| <b>VI</b>   | <b>Analoge Verstärker</b> . . . . .                         | 371 |
| 1           | <b>Bipolarer Transistor als Verstärker</b> . . . . .        | 371 |
| 1.1         | Grundsaltungen . . . . .                                    | 373 |
| 1.2         | Arbeitspunktstabilisierung . . . . .                        | 375 |
| 1.3         | Emitterschaltungen . . . . .                                | 379 |
| 1.4         | Kollektorschaltungen . . . . .                              | 381 |
| 1.5         | Basischaltung . . . . .                                     | 382 |
| 2           | <b>Feldeffekt-Transistor als Verstärker</b> . . . . .       | 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           | <b>Mehrstufige Verstärker</b> . . . . .                     | 392 |
| <b>VII</b>  | <b>Endstufen</b> . . . . .                                  | 397 |
| 1           | <b>Betriebsarten</b> . . . . .                              | 397 |
| 2           | <b>Schaltungen</b> . . . . .                                | 397 |
| <b>VIII</b> | <b>Operationsverstärker</b> . . . . .                       | 402 |
| 1           | <b>Einführung</b> . . . . .                                 | 402 |
| 2           | <b>Differenzverstärker</b> . . . . .                        | 402 |
| 3           | <b>Grundlagen des OP</b> . . . . .                          | 403 |
| 4           | <b>Operationsverstärker als Verstärker</b> . . . . .        | 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 |
| <b>IX</b>   | <b>Elektronische Schalter, Kippstufen</b> . . . . .         | 413 |
| 1           | <b>Transistor als Schalter</b> . . . . .                    | 413 |
| 2           | <b>Kippschaltungen mit Transistoren</b> . . . . .           | 417 |
| 2.1         | Bistabile Kippstufe . . . . .                               | 417 |
| 2.2         | Monostabile Kippstufe . . . . .                             | 418 |
| 2.3         | Astabile Kippstufe . . . . .                                | 419 |
| 2.4         | Triggerschaltungen . . . . .                                | 419 |

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| 3           | <b>Operationsverstärker als Schalter</b> . . . . .        | 420 |
| 4           | <b>Kippschaltungen mit Operationsverstärker</b> . . . . . | 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           | <b>Zeitgeber 555</b> . . . . .                            | 424 |
| 6           | <b>Trigger TCA 345 A</b> . . . . .                        | 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/Stromversorgung . . . . .        | 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 und -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>I</b> | <b>Digitaltechnik . . . . .</b>                                  | <b>521</b> |
| 1        | Grundbegriffe der Digitaltechnik . . . . .                       | 521        |
| 2        | Logische Grundsaltungen. . . . .                                 | 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        |
| <b>II</b> | <b>Integrierte Schaltkreise der Digitaltechnik . . . . .</b> | <b>562</b> |
| <b>1</b>  | <b>Allgemeines . . . . .</b>                                 | <b>562</b> |
| <b>2</b>  | <b>Umgang mit integrierten Schaltungen . . . . .</b>         | <b>563</b> |
| <b>3</b>  | <b>Daten und Begriffe der Logikschaltungen . . . . .</b>     | <b>563</b> |
| 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        |
| <b>4</b>   | <b>TTL-Familie . . . . .</b>                                   | <b>566</b> |
| 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        |
| <b>5</b>   | <b>Emittergekoppelte Logik . . . . .</b>                       | <b>570</b> |
| <b>6</b>   | <b>Integrierte MOS-Schaltungen . . . . .</b>                   | <b>570</b> |
| 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        |
| <b>7</b>   | <b>Interfaceschaltungen . . . . .</b>                          | <b>575</b> |
| <b>8</b>   | <b>Anwendungsspezifische integrierte Schaltungen . . . . .</b> | <b>575</b> |
| 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        |
| <b>9</b>   | <b>Gehäuse . . . . .</b>                                       | <b>587</b> |
| <b>III</b> | <b>Mikrocomputertechnik . . . . .</b>                          | <b>588</b> |
| <b>1</b>   | <b>Komponenten eines Mikrocomputers . . . . .</b>              | <b>588</b> |
| <b>2</b>   | <b>Mikroprozessoren . . . . .</b>                              | <b>588</b> |
| 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        |
| <b>3</b>   | <b>Halbleiterspeicher . . . . .</b>                            | <b>604</b> |
| 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     | Tintenstrahlrucker                                       | 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> |
| <b>1</b>  | <b>Einführung . . . . .</b>                    | <b>674</b> |
| <b>2</b>  | <b>Grundlagen . . . . .</b>                    | <b>675</b> |
| 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        |
| <b>3</b>  | <b>Lokale Netze. . . . .</b>                   | <b>680</b> |
| 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

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| <b>1</b> | <b>Einführung . . . . .</b>                         | <b>689</b> |
| <b>2</b> | <b>Automatisierungsgeräte . . . . .</b>             | <b>689</b> |
| <b>3</b> | <b>Grundzüge der SPS-Norm IEC 61131-3 . . . . .</b> | <b>690</b> |
| 3.1      | Programmorganisationskonzept. . . . .               | 690        |
| 3.2      | Deklaration von FB- und FC-Bausteinen . . . . .     | 691        |
| 3.3      | Variablen . . . . .                                 | 692        |
| 3.4      | Programmiersprachen . . . . .                       | 695        |
| <b>4</b> | <b>Programmstrukturen. . . . .</b>                  | <b>696</b> |
| 4.1      | Lineares Programm . . . . .                         | 696        |
| 4.2      | Gegliedertes Programm. . . . .                      | 696        |
| 4.3      | Parametrierbares Programm . . . . .                 | 696        |
| <b>5</b> | <b>Eingabe- und Ausgabesignale . . . . .</b>        | <b>697</b> |
| 5.1      | Binäre Signale . . . . .                            | 697        |
| 5.2      | Digitale Signale . . . . .                          | 697        |
| 5.3      | Analoge Signale . . . . .                           | 697        |

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| <b>6</b>  | <b>Eingabe-/Ausgabebaugruppen</b>                                     | 697 |
| <b>7</b>  | <b>Verknüpfungssteuerungen</b>  | 698 |
| 7.1       | Logische Grundverknüpfungen in verschiedenen Darstellungen            | 698 |
| 7.2       | Zusammengesetzte logische Grundverknüpfungen                          | 698 |
| 7.3       | Schließer- und Öffnerkontakte, Drahtbruchsicherheit, Erdschlussgefahr | 700 |
| 7.4       | Speicherfunktionen  | 700 |
| 7.5       | Flankenauswertung   | 701 |
| 7.6       | Darstellung und Eigenschaften elektropneumatischer Stellglieder       | 701 |
| 7.7       | Regeln für das Umsetzen von Schützsicherungen in SPS-Programme        | 702 |
| 7.8       | Zeitfunktionen  | 703 |
| 7.9       | Zählerfunktionen  | 703 |
| 7.10      | Vergleichsfunktionen  | 704 |
| 7.11      | MOVE-Funktion   | 705 |
| 7.12      | EN/ENO-Mechanismus  | 706 |
| <b>8</b>  | <b>Aufruf und Wertübergaben zwischen Bausteinen</b>                   | 706 |
| 8.1       | Aufrufhierarchie der Bausteine P, FB und FC                           | 706 |
| 8.2       | Aufruf von Funktionsbausteinen in FBS                                 | 706 |
| 8.3       | Aufruf von Funktionsbausteinen in AWL                                 | 706 |
| 8.4       | Aufruf von Funktionen in AWL  | 707 |
| <b>9</b>  | <b>Ablaufsteuerung</b>  | 707 |
| 9.1       | Ablauf-Funktionsplan  | 707 |
| 9.2       | Grafische Darstellung von Ablaufsteuerungsfunktionen                  | 708 |
| 9.3       | Betriebsartenteil und Bedienfeld                                      | 711 |
| <b>10</b> | <b>Kommunikation in Automatisierungssystemen</b>                      | 713 |
| 10.1      | Bussysteme  | 713 |
| 10.2      | PROFINET – Offener Industrial Ethernet Standard                       | 713 |
| 10.3      | OPC-Technologie   | 715 |
| <b>11</b> | <b>Steuerungssicherheit</b>   | 716 |
| 11.1      | Europäische Richtlinien und Sicherheitsnormen                         | 717 |
| 11.2      | Sicherheitsbegriff  | 717 |
| <b>12</b> | <b>Regelungstechnische Grundbegriffe der Automatisierungstechnik</b>  | 719 |
| 12.1      | Unterschied zwischen Steuern und Regeln, regelungstechnische Größen   | 719 |
| 12.2      | Regler-Technologien   | 721 |
| <b>13</b> | <b>Regelstrecken</b>  | 721 |
| 13.1      | Beispiele für Regelstrecken   | 721 |
| 13.2      | Beschreibungsmittel zur Darstellung von Regelstreckeneigenschaften    | 722 |
| <b>14</b> | <b>Regler</b>   | 725 |
| 14.1      | P-Regler, P-Regelfunktion   | 726 |
| 14.2      | I-Regler, I-Regelfunktion   | 727 |
| 14.3      | PI-Regler, PI-Regelfunktion   | 727 |
| 14.4      | PID-Regler, PID-Regelfunktion   | 729 |
| 14.5      | Vergleich der verschiedenen Reglertypen                               | 729 |
| 14.6      | PID-Reglerbaustein für digitale Abtastregelung                        | 729 |
| 14.7      | SPS als kontinuierlicher PID-Abtastregler                             | 731 |
| 14.8      | Digitaler Schrittregler mit PI-Verhalten                              | 732 |
| 14.9      | Zweipunktregler, Zweipunkt-Regelfunktion                              | 732 |
| 14.10     | Regelgüte   | 733 |
|           | <b>Literaturverzeichnis</b>   | 733 |

# Messtechnik

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| <b>I</b>   | <b>Grundlagen und Grundbegriffe der Messtechnik</b> . . . . .                   | 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 Abweichungfortpflanzung, 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 |
| <b>II</b>  | <b>Analog anzeigende Messgeräte</b> . . . . .                                   | 741 |
|            | <b>1 Grundlagen</b> . . . . .   | 741 |
|            | <b>2 Drehspul-Messwerk</b> . . . . .  | 741 |
|            | <b>3 Dreheisen-Messwerk</b> . . . . .   | 742 |
|            | <b>4 Elektrodynamisches Messwerk</b> . . . . .                                  | 743 |
|            | <b>5 Symbole und Instrumentenbeschriftungen</b> . . . . .                       | 744 |
| <b>III</b> | <b>Oszilloskop</b> . . . . .  | 744 |
|            | <b>1 Aufbau eines Standard-Oszilloskopes</b> . . . . .                          | 744 |
|            | 1.1 Oszilloskopröhre . . . . .  | 744 |
|            | 1.2 Y-Ablenkung . . . . .   | 745 |
|            | 1.3 X-Ablenkung . . . . .   | 746 |
|            | 1.4 Netzteil . . . . .  | 746 |
|            | <b>2 Oszilloskope mit speziellen Eigenschaften</b> . . . . .                    | 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 |
| <b>IV</b>  | <b>Schreibende Messgeräte</b> . . . . .   | 750 |
|            | <b>1 Y-t-Schreiber</b> . . . . .  | 750 |
|            | <b>2 X-Y-Schreiber</b> . . . . .  | 751 |
|            | <b>3 Auslenkung des Schreibstiftes</b> . . . . .                                | 751 |

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| <b>V</b>  | <b>Digital anzeigende Messgeräte</b> . . . . .   | 751 |
| 1         | <b>Digitalvoltmeter</b> . . . . .  | 751 |
| 2         | <b>Digitalmultimeter</b> . . . . .   | 752 |
| 3         | <b>Messung von Kapazitäten, Frequenzen und Stromverstärkungen</b> . . . . .                        | 753 |
| 4         | <b>Messung von Temperaturen</b> . . . . .  | 753 |
| <b>VI</b> | <b>Messverfahren zur Messung elektrischer Größen</b> . . . . .                                     | 754 |
| 1         | <b>Messung von Gleichspannungen</b> . . . . .  | 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         | <b>Messung von Gleichströmen</b> . . . . .   | 755 |
| 2.1       | Analog anzeigende Strommessgeräte . . . . .  | 755 |
| 2.2       | Digital anzeigende Strommessgeräte . . . . .   | 755 |
| 2.3       | Messabweichung durch den Innenwiderstand des Strommessers . . . . .                                | 756 |
| 3         | <b>Messbereicherweiterung</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 Thermoumförmersmesswerk . . . . .  | 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 Brücken-<br>diagonalen . . . . . | 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 |
| 7         | <b>Leistungsmessung</b> . . . . .  | 764 |
| 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 $ Z_L $ oder $ Z_C $ . . . . .  | 770        |
| 9.2         | Messung von $Z_L$ , $Z_C$ , 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>   | <b>797</b> |
| <b>1</b>    | <b>Grundbegriffe . . . . .</b>  | <b>797</b> |
| <b>2</b>    | <b>IEC-Bus . . . . .</b>  | <b>798</b> |
| <b>3</b>    | <b>DIN-Messbus . . . . .</b>  | <b>800</b> |
| <b>4</b>    | <b>Aktuator-Sensor-Interface (ASI) . . . . .</b>  | <b>800</b> |
| <b>X</b>    | <b>Probleme bei der Digitalisierung analoger Messwerte . . . . .</b>                      | <b>802</b> |
| <b>1</b>    | <b>Fehler bei der Digitalisierung . . . . .</b>   | <b>802</b> |
| <b>2</b>    | <b>Signal-Quantisierungs-Geräuschabstand . . . . .</b>                                    | <b>803</b> |
| <b>3</b>    | <b>Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses . . . . .</b>                             | <b>804</b> |
| <b>4</b>    | <b>Abtast-Halte-Glied . . . . .</b>   | <b>804</b> |
| <b>5</b>    | <b>Aliasing . . . . .</b>   | <b>804</b> |
| <b>6</b>    | <b>Erfassung von Momentanwerten . . . . .</b>   | <b>804</b> |

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| <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

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| <b>I</b> | <b>Elektrische Maschinen</b>                       | 809 |
| 1        | <b>Transformatoren</b>                             | 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    | Drosselspulen                                      | 818 |
| 1.9.3    | Strefeldtransformatoren                            | 819 |
| 1.10     | Messwandler  | 819 |
| 1.10.1   | Spannungswandler                                   | 819 |
| 1.10.2   | Stromwandler                                       | 820 |
| 2        | <b>Drehstrommaschinen</b>                          | 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        |
| <b>3</b>  | <b>Einphasen-Asynchronmotoren . . . . .</b>                  | <b>833</b> |
| 3.1       | Einsträngiger Motor . . . . .                                | 833        |
| 3.2       | Zweisträngiger Motor . . . . .                               | 833        |
| 3.3       | Kondensatormotor . . . . .                                   | 833        |
| 3.4       | Spaltpolmotor . . . . .                                      | 834        |
| <b>4</b>  | <b>Drehstrommotor im Einphasenbetrieb . . . . .</b>          | <b>834</b> |
| <b>5</b>  | <b>Sonderbauformen . . . . .</b>                             | <b>835</b> |
| 5.1       | Schrittmotor . . . . .                                       | 835        |
| 5.2       | Servomotor . . . . .   | 835        |
| 5.2.1     | Scheibenläufermotor . . . . .                                | 836        |
| 5.2.2     | Stabankermotoren . . . . .                                   | 836        |
| <b>6</b>  | <b>Gleichstrommaschinen . . . . .</b>                        | <b>836</b> |
| 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        |
| <b>7</b>  | <b>Auswahl von Motoren . . . . .</b>                         | <b>847</b> |
| 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> |
| <b>1</b>  | <b>Struktur der Elektrizitätswirtschaft . . . . .</b>        | <b>857</b> |
| <b>2</b>  | <b>Elektrische Energieerzeugung . . . . .</b>                | <b>857</b> |
| 2.1       | Energiebedarf . . . . .                                      | 858        |
| 2.2       | Energiereserven . . . . .                                    | 859        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 2.3      | Wärme­kraftwerke . . . . .                          | 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 Energietechnik . . . . .</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        |
| <b>5</b> | <b>Schutzmaßnahmen . . . . .</b>                    | <b>898</b> |
| 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        |
| <b>6</b>   | <b>Arbeiten an elektrischen Anlagen</b> . . . . . | <b>905</b> |
| <b>7</b>   | <b>Überprüfung der Schutzmaßnahme</b> . . . . .   | <b>906</b> |
| <b>8</b>   | <b>Kurzschlussberechnung (VDE 0102)</b> . . . . . | <b>907</b> |
| <b>III</b> | <b>Elektrische Energieanwendung</b> . . . . .     | <b>909</b> |
| <b>1</b>   | <b>Kompensationsanlagen</b> . . . . .             | <b>909</b> |
| <b>2</b>   | <b>Beleuchtungsanlagen</b> . . . . .              | <b>911</b> |
| 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

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| <b>I</b> | <b>Grundlagen der Nachrichtenübertragung</b> . . . . .                     | <b>917</b> |
| <b>1</b> | <b>Prinzip der elektrischen Nachrichtenübertragung</b> . . . . .           | <b>917</b> |
| <b>2</b> | <b>Aufgaben der Nachrichtentechnik</b> . . . . .                           | <b>919</b> |
| <b>3</b> | <b>Grundbegriffe</b> . . . . .   | <b>919</b> |
| <b>4</b> | <b>Nachricht, Information und Signal</b> . . . . .                         | <b>919</b> |
| 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> . . . . .                        | <b>931</b> |
| 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>   | <b>934</b> |
| <b>1</b>   | <b>Vierpol allgemein . . . . .</b>  | <b>934</b> |
| 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>   | <b>945</b> |
| 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>  | <b>946</b> |
| 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>  | <b>950</b> |
| <b>1</b>   | <b>Leitungsbeläge und Leitungsgleichungen . . . . .</b>   | <b>950</b> |
| <b>2</b>   | <b>Leitung mit sinusförmigen Spannungen und Strömen . . . . .</b>   | <b>952</b> |
| 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 <math>Z_L</math> . . . . .</b> | <b>954</b> |
| 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>  | <b>957</b> |
| 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>  | <b>961</b> |
| <b>6</b>   | <b>Hochfrequenzleitungen . . . . .</b>  | <b>961</b> |
| 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>Kenngößen</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       | $\lambda/2$ -Dipol, $\lambda/4$ -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     | Kenngößen 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     | Kenngößen . . . . .  | 997  |
| 2.4.3     | Zeigerdarstellung . . . . .  | 997  |
| 2.4.4     | Spektrum und Bandbreitenbedarf . . . . .                                 | 997  |
| 2.4.5     | Störungen bei winkelmodulierten Signalen . . . . .                       | 998  |
| 2.4.6     | Preemphasis, Deemphasis . . . . .  | 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>                                | 1007 |
| 4.1         | Pulsamplitudenmodulation (PAM)                             | 1007 |
| 4.2         | Pulsfrequenz- und Pulsphasenmodulation (PFM, PPM)          | 1007 |
| 4.3         | Pulsdauermodulation (PDM)                                  | 1009 |
| 4.4         | Pulsmodulation (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       | Kompondierung  | 1012 |
| 4.4.7       | Kodierung  | 1013 |
| 4.4.8       | Deltamodulation (DM) und Differenz-Pulsmodulation (DPCM)   | 1014 |
| <b>VI</b>   | <b>Filter</b>  | 1015 |
| 1           | Allgemeines  | 1015 |
| 2           | Passive R-C-Filter   | 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>VII</b>  | <b>Empfängerschaltungstechnik</b>                          | 1025 |
| 1           | Geradeusempfänger  | 1025 |
| 2           | Überlagerungsempfänger                                     | 1026 |
| 3           | Automatische Verstärkungsregelung (AVR)                    | 1026 |
| 4           | Weitere Schaltungskonzepte                                 | 1026 |
| <b>VIII</b> | <b>Ton- und Bildübertragung</b>                            | 1027 |
| 1           | Rundfunk-Stereoübertragung                                 | 1027 |
| 2           | Fernseh-Bildübertragung                                    | 1028 |
| 2.1         | Grundlagen, Schwarz-Weiß-Empfänger                         | 1028 |
| 2.2         | Farbfernsehtechnik   | 1031 |
| <b>IX</b>   | <b>Mehrfachübertragung – Multiplexverfahren</b>            | 1034 |
| 1           | Zeitmultiplexverfahren                                     | 1035 |
| 1.1         | Analoge Signalübertragung                                  | 1035 |
| 1.2         | Digital kodierte Signalübertragung                         | 1036 |
| 2           | Frequenzmultiplexverfahren                                 | 1036 |
| <b>X</b>    | <b>Richtfunktechnik</b>                                    | 1037 |
| <b>XI</b>   | <b>Nachrichtenübertragung über Satellit</b>                | 1038 |
| <b>XII</b>  | <b>Nachrichtenübertragung über Lichtwellenleiter (LWL)</b> | 1042 |
| 1           | Physikalische Grundlagen                                   | 1042 |
| 2           | Grundmodelle von Lichtwellenleitern                        | 1044 |
| 2.1         | Mehrmoden-Stufenindex mit Totalreflexion                   | 1044 |
| 2.2         | Mehrmoden-Gradientenindex                                  | 1044 |
| 2.3         | Einmoden-Stufenindex                                       | 1044 |

|             |  |      |
|-------------|--|------|
| <b>3</b>    | <b>Technische Ausführung von Lichtwellenleitern.</b>                 | 1046 |
| <b>4</b>    | <b>Lichtsender</b>   | 1047 |
| <b>5</b>    | <b>Lichtempfänger</b>  | 1047 |
| <b>6</b>    | <b>Verbinden von Lichtleitern</b>                                    | 1048 |
| <b>XIII</b> | <b>Funkmesstechnik – Radar</b>                                       | 1048 |
| <b>1</b>    | <b>Grundlagen, Kenngrößen</b>  | 1048 |
| <b>2</b>    | <b>Daten von Radaranlagen.</b>                                       | 1050 |
| <b>3</b>    | <b>Funkortungssystem OMEGA</b>                                       | 1051 |
| <b>4</b>    | <b>Satellitengestütztes Ortungssystem GPS</b>                        | 1051 |
| <b>XIV</b>  | <b>Elektroakustische Wandler</b>                                     | 1051 |
| <b>1</b>    | <b>Definitionen, Kenngrößen</b>                                      | 1051 |
| <b>2</b>    | <b>Schallempfänger</b>   | 1053 |
| 2.1         | Kenngrößen für Mikrofone   | 1053 |
| 2.2         | Mikrofonsysteme  | 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 |
| <b>3</b>    | <b>Schallsender</b>  | 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       | Elektrostatistisches System  | 1058 |
| 3.1.5       | Piezoelektrisches System   | 1059 |
| 3.2         | Kenngrößen, Daten  | 1059 |
| <b>XV</b>   | <b>Vermittlungstechnik</b>   | 1060 |
| <b>1</b>    | <b>Grundbegriffe</b>   | 1060 |
| <b>2</b>    | <b>Vermittlung</b>   | 1061 |
| <b>3</b>    | <b>Verkehrstheorie</b>   | 1061 |
| <b>4</b>    | <b>Ortsvermittlungstechnik</b>                                       | 1062 |
| 4.1         | Endgerät.  | 1062 |
| 4.2         | Ortsnetz   | 1063 |
| <b>5</b>    | <b>Nationales Fernnetz</b>   | 1064 |
| <b>6</b>    | <b>Internationales Fernnetz</b>                                      | 1065 |
| <b>XVI</b>  | <b>Kommunikations- und Datennetze</b>                                | 1066 |
| <b>1</b>    | <b>Lokale Kommunikations- und Datennetze</b>                         | 1066 |
| <b>2</b>    | <b>Öffentliche Kommunikations- und Datennetze</b>                    | 1068 |
| 2.1         | Fernsprechnetz.  | 1068 |
| 2.1.1       | Kommunikationsdienste  | 1068 |
| 2.1.2       | Telefax  | 1068 |
| 2.1.3       | Temex  | 1069 |
| 2.1.4       | Telebox  | 1069 |
| 2.1.5       | Modem  | 1069 |
| 2.2         | Integriertes Digitalnetz 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       | Funktelefonsysteme   | 1071 |
| 2.5         | Internet   | 1072 |

|   |      |
|---|------|
| <b>XVII Optimierte Nachrichten- und Datenübertragung</b> . . . . .  | 1073 |
| <b>1 Kodierung</b> . . . . .  | 1073 |
| 1.1 Quellenkodierung . . . . .                                      | 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 |
| <b>2 Optimalfilter</b> . . . . .                                    | 1079 |
| <b>3 Anwendung der Korrelation bei gestörten Signalen</b> . . . . . | 1082 |
| <b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .                               | 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 XVII: . . . . .              | 1083 |

## Signal- und Systemtheorie

|   |      |
|---|------|
| <b>Häufig verwendete Formelzeichen</b> . . . . .                                      | 1085 |
| <b>I Einführung</b> . . . . .   | 1086 |
| <b>1 Darstellung in der Zeit- und in der Frequenzebene</b> . . . . .                  | 1086 |
| <b>2 Hinweise zur Anwendung</b> . . . . .   | 1087 |
| <b>II Grundbegriffe</b> . . . . .   | 1088 |
| <b>III Periodische nichtsinusförmige zeitkontinuierliche Signale</b> . . . . .        | 1089 |
| <b>1 Reelle und komplexe Fourierreihe</b> . . . . .                                   | 1089 |
| <b>2 Beispiele und Anwendungen</b> . . . . .  | 1090 |
| <b>IV Nichtperiodische zeitkontinuierliche Signale</b> . . . . .                      | 1093 |
| <b>1 Fouriertransformation</b> . . . . .  | 1093 |
| 1.1 Transformationsregeln . . . . .   | 1093 |
| 1.2 Eigenschaften . . . . .   | 1093 |
| 1.3 Korrespondenztabelle . . . . .  | 1095 |
| 1.4 Beispiele . . . . .   | 1096 |
| <b>2 Laplacetransformation</b> . . . . .  | 1096 |
| 2.1 Einführung . . . . .  | 1096 |
| 2.2 Transformation . . . . .  | 1096 |
| 2.3 Sätze zur Laplacetransformation . . . . .   | 1099 |
| 2.4 Anwendung der Laplacetransformation 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 |
| <b>V Spezielle Signale</b> . . . . .  | 1107 |
| <b>1 Stoßfunktion, <math>\delta</math>-Funktion, Dirac-Impuls</b> . . . . .           | 1107 |
| <b>2 Sprungfunktion <math>s(t)</math></b> . . . . .                                   | 1107 |
| <b>3 Verknüpfung von <math>s</math>- und <math>\delta</math>-Funktion</b> . . . . .   | 1108 |
| <b>4 Harmonische Schwingungen</b> . . . . .   | 1108 |

|             |  |      |
|-------------|--|------|
| <b>VI</b>   | <b>Leistung</b> . . . . .                                    | 1109 |
| <b>VII</b>  | <b>Faltungsintegral</b> . . . . .                            | 1110 |
| <b>VIII</b> | <b>Abtasttheorem</b> . . . . .                               | 1111 |
| <b>IX</b>   | <b>Nichtkontinuierliche (zeitdiskrete) Signale</b> . . . . . | 1112 |
| <b>1</b>    | <b>Diskrete Fouriertransformation (DFT)</b> . . . . .        | 1113 |
| <b>2</b>    | <b>Schnelle Fouriertransformation (FFT)</b> . . . . .        | 1114 |
| <b>3</b>    | <b><math>z</math>-Transformation</b> . . . . .               | 1114 |
| <b>X</b>    | <b>Zufällige Signale</b> . . . . .                           | 1118 |
| <b>1</b>    | <b>Grundbegriffe und Kenngrößen</b> . . . . .                | 1118 |
| <b>2</b>    | <b>Verteilungen</b> . . . . .                                | 1121 |
| 2.1         | Binomialverteilung . . . . .                                 | 1121 |
| 2.2         | Poissonverteilung . . . . .                                  | 1121 |
| 2.3         | Normalverteilung, Gaußverteilung . . . . .                   | 1121 |
| <b>3</b>    | <b>Rauschen</b> . . . . .                                    | 1122 |
| <b>4</b>    | <b>Signalerkennung bei gestörter Übertragung</b> . . . . .   | 1123 |
| 4.1         | Erkennen versteckter Periodizitäten . . . . .                | 1123 |
| 4.2         | Signalerkennung allgemein . . . . .                          | 1123 |
| 4.3         | Signalangepasste Filter (matched filter) . . . . .           | 1123 |
|             | <b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .                        | 1124 |
|             | Literatur allgemein: . . . . .                               | 1124 |
|             | Literatur zu Kapitel IX: . . . . .                           | 1124 |
|             | Literatur zu Kapitel X: . . . . .                            | 1124 |

## Sachwortverzeichnis