

# **Albrecht Rost**

# **Grundlagen der Elektronik**

Ein Einstieg für  
Naturwissenschaftler  
und Techniker

3., vollständig überarbeitete  
und ergänzte Auflage



Akademie Verlag

# Inhalt

|          |                                                                   |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Darstellung von Signalen im Frequenz- und Zeitbereich</b>      | <b>1</b>  |
| 1.1      | Grundgesetze des elektrischen Stromkreises                        | 1         |
| 1.1.1    | Elektrischer Strom – Ohmsches Gesetz                              | 1         |
| 1.1.2    | Quellen                                                           | 3         |
| 1.1.3    | Kirchhoffsche Regeln                                              | 4         |
| 1.1.4    | Zweipole                                                          | 7         |
| 1.1.5    | Anpassung                                                         | 8         |
| 1.2      | Komplexe Darstellung elektrischer Größen                          | 10        |
| 1.2.1    | Die Zeitfunktion harmonischer Wechselspannungen und Wechselströme | 10        |
| 1.2.2    | Symbolische (komplexe) Schreibweise                               | 11        |
| 1.2.3    | Komplexer Widerstand                                              | 12        |
| 1.2.4    | Zeigerdiagramm                                                    | 14        |
| 1.2.5    | Ortskurve                                                         | 17        |
| 1.2.6    | Übertragungsfunktion                                              | 21        |
| 1.3      | Signale und Spektren                                              | 22        |
| 1.3.1    | Fourier-Transformation                                            | 22        |
| 1.3.2    | Entstehung höherer Harmonischer                                   | 30        |
| 1.3.3    | Modulation                                                        | 32        |
| 1.3.4    | Das Einschaltproblem                                              | 35        |
| 1.3.4.1  | Sprungantwort und Stoßantwort                                     | 35        |
| 1.3.4.2  | Lösung des Einschaltproblems bei bekannter Übergangsfunktion      | 38        |
| 1.3.4.3  | Laplace-Transformation                                            | 41        |
| 1.3.5    | Abtasttheoreme und Pulsmodulation                                 | 48        |
| 1.3.5.1  | Abtasttheorem der Spektralfunktion                                | 48        |
| 1.3.5.2  | Verschiebungssatz                                                 | 51        |
| 1.3.5.3  | Abtasttheorem der Zeitfunktion                                    | 52        |
| 1.3.5.4  | Pulsmodulation                                                    | 54        |
| <b>2</b> | <b>Schaltungen mit passiven Bauelementen</b>                      | <b>56</b> |
| 2.1      | Passive Bauelemente                                               | 56        |
| 2.1.1    | Widerstände                                                       | 58        |
| 2.1.1.1  | Festwiderstände                                                   | 59        |

|         |                                                         |     |
|---------|---------------------------------------------------------|-----|
| 2.1.1.2 | Veränderbare Widerstände . . . . .                      | 61  |
| 2.1.1.3 | Thermische Belastbarkeit . . . . .                      | 61  |
| 2.1.1.4 | Rauschen . . . . .                                      | 62  |
| 2.1.1.5 | Temperaturabhängige Widerstände . . . . .               | 64  |
| 2.1.1.6 | Spannungsabhängige Widerstände . . . . .                | 66  |
| 2.1.2   | Kondensatoren . . . . .                                 | 67  |
| 2.1.2.1 | Kapazität und Dielektrizitätskonstante . . . . .        | 67  |
| 2.1.2.2 | Ersatzschaltung des realen Kondensators . . . . .       | 69  |
| 2.1.2.3 | Festkondensatoren . . . . .                             | 70  |
| 2.1.2.4 | Veränderbare Kondensatoren . . . . .                    | 72  |
| 2.1.3   | Induktivitäten . . . . .                                | 72  |
| 2.1.3.1 | Selbstinduktion und Gegeninduktion . . . . .            | 73  |
| 2.1.3.2 | Aufbau und Eigenschaften von Induktivitäten . . . . .   | 74  |
| 2.1.3.3 | Induktivität mit Luftspalt . . . . .                    | 76  |
| 2.1.3.4 | Transformator . . . . .                                 | 77  |
| 2.2     | Lineare passive Netzwerke . . . . .                     | 80  |
| 2.2.1   | Siebschaltungen . . . . .                               | 81  |
| 2.2.1.1 | Hochpaß . . . . .                                       | 82  |
| 2.2.1.2 | Tiefpaß . . . . .                                       | 83  |
| 2.2.1.3 | Bode-Diagramm . . . . .                                 | 83  |
| 2.2.1.4 | Übertragung von Rechteckspannungen . . . . .            | 86  |
| 2.2.1.5 | Bandpaß und Bandsperre . . . . .                        | 91  |
| 2.2.2   | Phasenschieber . . . . .                                | 94  |
| 2.2.3   | Schwingkreise . . . . .                                 | 95  |
| 2.2.3.1 | Serienschwingkreis . . . . .                            | 95  |
| 2.2.3.2 | Parallelschwingkreis . . . . .                          | 97  |
| 2.2.3.3 | Parallelschwingkreis mit Spulenverlusten . . . . .      | 99  |
| 2.2.3.4 | Der nichtstationäre Zustand . . . . .                   | 100 |
| 2.2.3.5 | Gekoppelte Schwingkreise . . . . .                      | 102 |
| 2.3     | Vierpole . . . . .                                      | 105 |
| 2.3.1   | Vierpolgleichungen und ihre Matrixdarstellung . . . . . | 105 |
| 2.3.2   | Zusammenschalten von Vierpolen . . . . .                | 108 |
| 2.3.3   | Übertragungsfunktionen und Wellenwiderstand . . . . .   | 110 |
| 2.3.4   | Vierpolersatzstrukturen . . . . .                       | 112 |
| 3       | <b>Leitungen</b> . . . . .                              | 116 |
| 3.1     | Vorgänge auf Leitungen . . . . .                        | 116 |
| 3.1.1   | Leitungsgleichungen und Wellenparameter . . . . .       | 117 |
| 3.1.2   | Ausbreitungsgeschwindigkeit . . . . .                   | 119 |
| 3.1.3   | Reflexionsfaktor und Stehwellenverhältnis . . . . .     | 121 |
| 3.1.4   | Impedanztransformation . . . . .                        | 123 |
| 3.2     | Anwendungen von Leitungen . . . . .                     | 128 |
| 3.2.1   | Anpassung . . . . .                                     | 128 |

|          |                                                                       |            |
|----------|-----------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.2.2    | Leitungen als Resonatoren . . . . .                                   | 130        |
| 3.2.3    | Schaltverhalten von Leitungen . . . . .                               | 131        |
| 3.3      | Spezielle Leitungen . . . . .                                         | 133        |
| 3.3.1    | TEM-Leitungen . . . . .                                               | 134        |
| 3.3.1.1  | Paralleldrahtleitung . . . . .                                        | 134        |
| 3.3.1.2  | Koaxialleiter . . . . .                                               | 135        |
| 3.3.1.3  | Streifenleiter . . . . .                                              | 135        |
| 3.3.2    | Hohlleiter . . . . .                                                  | 136        |
| 3.3.3    | Lichtleiter . . . . .                                                 | 138        |
| <b>4</b> | <b>Halbleiterbauelemente . . . . .</b>                                | <b>141</b> |
| 4.1      | Grundlagen . . . . .                                                  | 141        |
| 4.1.1    | Bändermodell und Besetzungswahrscheinlichkeit . . . . .               | 141        |
| 4.1.2    | Eigenleitung . . . . .                                                | 144        |
| 4.1.3    | Störstellenleitung . . . . .                                          | 147        |
| 4.2      | Bauelemente mit homogenem Halbleiter . . . . .                        | 151        |
| 4.2.1    | Halbleiterthermoelement . . . . .                                     | 151        |
| 4.2.2    | Fotowiderstand . . . . .                                              | 152        |
| 4.2.3    | Hall-Generator . . . . .                                              | 153        |
| 4.2.4    | Gunn-Diode . . . . .                                                  | 155        |
| 4.3      | <i>pn</i> -Übergang . . . . .                                         | 155        |
| 4.3.1    | Verhältnisse am stromlosen <i>pn</i> -Übergang . . . . .              | 155        |
| 4.3.2    | Berechnung der Diffusionsspannung . . . . .                           | 157        |
| 4.3.3    | Sperrschichtweite . . . . .                                           | 159        |
| 4.3.4    | Stromdurchflossener <i>pn</i> -Übergang . . . . .                     | 162        |
| 4.3.5    | Berechnung der Strom-Spannungs-Kennlinie . . . . .                    | 165        |
| 4.3.6    | Reale Diodenkennlinie . . . . .                                       | 169        |
| 4.3.7    | Ersatzschaltung einer Diode . . . . .                                 | 172        |
| 4.3.8    | Übergangsverhalten . . . . .                                          | 174        |
| 4.4      | Halbleiterdioden . . . . .                                            | 175        |
| 4.4.1    | Gleichrichtung . . . . .                                              | 176        |
| 4.4.1.1  | Gleichrichtergrundsaltungen . . . . .                                 | 176        |
| 4.4.1.2  | Gleichrichter mit Ladekondensator . . . . .                           | 178        |
| 4.4.1.3  | Spannungsvervielfacher . . . . .                                      | 180        |
| 4.4.1.4  | Gleichrichtung bei hohen Frequenzen und Schalteranwendungen . . . . . | 181        |
| 4.4.1.5  | Technische Ausführungsformen von Gleichrichterdioden . . . . .        | 182        |
| 4.4.2    | Z-Dioden . . . . .                                                    | 183        |
| 4.4.3    | Kapazitätsdioden . . . . .                                            | 185        |
| 4.4.4    | Tunneldioden . . . . .                                                | 187        |
| 4.4.5    | Fotodioden . . . . .                                                  | 189        |
| 4.4.6    | Lumineszenzdioden . . . . .                                           | 191        |

|         |                                                                                                     |     |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.4.7   | Metall-Halbleiter-Übergang . . . . .                                                                | 192 |
| 4.4.8   | Spezialdioden . . . . .                                                                             | 194 |
| 4.4.8.1 | Speicherschaltodiode . . . . .                                                                      | 194 |
| 4.4.8.2 | Lawinenlaufzeitdiode . . . . .                                                                      | 195 |
| 4.4.8.3 | <i>pin</i> -Diode . . . . .                                                                         | 195 |
| 4.5     | Bipolartransistor . . . . .                                                                         | 196 |
| 4.5.1   | Wirkungsweise des Transistors . . . . .                                                             | 197 |
| 4.5.2   | Transistorgrundsaltungen und ihre Gleichstromkenngrößen . . . . .                                   | 198 |
| 4.5.3   | Beschreibung der Kleinsignaleigenschaften . . . . .                                                 | 199 |
| 4.5.3.1 | Beschreibung des Transistors durch Vierpolparameter . . . . .                                       | 200 |
| 4.5.3.2 | Transistorkennlinien . . . . .                                                                      | 202 |
| 4.5.3.3 | Physikalische Ersatzschaltung des Transistors in Emitterschaltung<br>für tiefe Frequenzen . . . . . | 204 |
| 4.5.3.4 | Transistorkapazitäten — die vollständige Ersatzschaltung . . . . .                                  | 205 |
| 4.5.3.5 | Frequenzabhängigkeit der Stromverstärkung . . . . .                                                 | 206 |
| 4.5.4   | Der Transistor als Verstärker — die allgemeinen Kleinsignalbetriebs-eigen-<br>schaften . . . . .    | 208 |
| 4.5.4.1 | Betriebsstromverstärkung . . . . .                                                                  | 209 |
| 4.5.4.2 | Betriebsspannungsverstärkung . . . . .                                                              | 209 |
| 4.5.4.3 | Betriebseingangswiderstand . . . . .                                                                | 210 |
| 4.5.4.4 | Betriebsausgangswiderstand . . . . .                                                                | 210 |
| 4.5.5   | Übergangsverhalten . . . . .                                                                        | 211 |
| 4.5.6   | Temperaturabhängigkeit des Transistors . . . . .                                                    | 213 |
| 4.5.7   | Grenzwerte . . . . .                                                                                | 214 |
| 4.6     | Feldeffekttransistoren (FET) . . . . .                                                              | 215 |
| 4.6.1   | Übersicht über die FET-Typen . . . . .                                                              | 215 |
| 4.6.2   | Sperrschicht-FET . . . . .                                                                          | 216 |
| 4.6.2.1 | Aufbau und Wirkungsweise . . . . .                                                                  | 216 |
| 4.6.2.2 | Kennlinien . . . . .                                                                                | 217 |
| 4.6.3   | Isolierschicht-FET . . . . .                                                                        | 218 |
| 4.6.3.1 | Aufbau und Wirkungsweise . . . . .                                                                  | 219 |
| 4.6.3.2 | Kennlinien . . . . .                                                                                | 220 |
| 4.6.4   | Ersatzschaltung und Vierpoldarstellung der FET . . . . .                                            | 221 |
| 4.6.5   | MISFET-Tetrode . . . . .                                                                            | 222 |
| 4.7     | Bipolare Stromschalter . . . . .                                                                    | 222 |
| 4.7.1   | Vierschichtdiode und Thyristor . . . . .                                                            | 223 |
| 4.7.2   | Dynamische Eigenschaften . . . . .                                                                  | 226 |
| 4.7.3   | Thyristoranwendungen . . . . .                                                                      | 227 |
| 4.7.4   | Triggerdiode . . . . .                                                                              | 229 |
| 4.7.5   | Zweiwegthyristor . . . . .                                                                          | 229 |
| 5       | <b>Analogschaltungen</b> . . . . .                                                                  | 232 |
| 5.1     | Transistor-Kleinsignalverstärker . . . . .                                                          | 232 |
| 5.1.1   | Emitterschaltung . . . . .                                                                          | 232 |

|           |                                                                                |     |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.1.1.1   | Ausgangskennlinien und Arbeitsgerade                                           | 233 |
| 5.1.1.2   | Einstellung des Arbeitspunktes                                                 | 234 |
| 5.1.1.3   | Vollständige Emitterschaltung und ihre Ersatzschaltung für niedrige Frequenzen | 237 |
| 5.1.1.4   | Die Betriebsgrößen der Emitterschaltung                                        | 238 |
| 5.1.1.5   | Emitterschaltung bei sehr tiefen Frequenzen                                    | 240 |
| 5.1.1.5.1 | Einfluß des Emitterkondensators                                                | 241 |
| 5.1.1.5.2 | Einfluß der Koppelkondensatoren                                                | 242 |
| 5.1.1.5.3 | Dimensionierung der vollständigen Emitterschaltung                             | 243 |
| 5.1.1.6   | Emitterschaltung bei hohen Frequenzen                                          | 244 |
| 5.1.2     | Basisschaltung                                                                 | 245 |
| 5.1.2.1   | Vollständige Basisschaltung und ihre Ersatzschaltung                           | 245 |
| 5.1.2.2   | Die Betriebsgrößen der Basisschaltung                                          | 246 |
| 5.1.3     | Kollektorschaltung                                                             | 247 |
| 5.1.3.1   | Vollständige Kollektorschaltung und ihre Ersatzschaltung                       | 247 |
| 5.1.3.2   | Die Betriebsgrößen der Kollektorschaltung                                      | 247 |
| 5.1.3.3   | Bootstrapschaltung                                                             | 249 |
| 5.1.4     | Transistor als Konstantstromquelle                                             | 250 |
| 5.1.5     | Mehrstufige Verstärkerschaltungen                                              | 251 |
| 5.1.5.1   | RC-Verstärker in Kettenschaltung                                               | 252 |
| 5.1.5.2   | Darlington-Schaltung                                                           | 253 |
| 5.1.6     | Differenzverstärker                                                            | 254 |
| 5.1.6.1   | Ersatzschaltung und Betriebseigenschaften                                      | 255 |
| 5.1.6.2   | Differenzverstärker mit Konstantstromquelle im Emitterkreis                    | 256 |
| 5.1.6.3   | Offsetverhalten                                                                | 257 |
| 5.2       | Transistor-Großsignalverstärker                                                | 258 |
| 5.2.1     | Leistungsverstärker                                                            | 259 |
| 5.2.2     | Transistor als Schalter                                                        | 262 |
| 5.3       | Rückkopplung                                                                   | 264 |
| 5.3.1     | Gegenkopplung                                                                  | 266 |
| 5.3.1.1   | Stabilisierung der Betriebsgrößen                                              | 266 |
| 5.3.1.2   | Vergrößerung der Bandbreite                                                    | 267 |
| 5.3.1.3   | Die gegengekoppelte Emitterschaltung                                           | 268 |
| 5.3.1.4   | Die Kollektorschaltung als gegengekoppelte Schaltung                           | 273 |
| 5.3.2     | Mitkopplung                                                                    | 274 |
| 5.3.2.1   | Die Selbsterregungsbedingung                                                   | 274 |
| 5.3.2.2   | Harmonische Oszillatoren                                                       | 275 |
| 5.3.2.3   | Kippgeneratoren                                                                | 277 |
| 5.4       | Schaltungen mit Feldeffekttransistoren                                         | 278 |
| 5.4.1     | Einstellung des Arbeitspunktes                                                 | 279 |
| 5.4.2     | FET-Grundsaltungen                                                             | 281 |
| 5.4.2.1   | Sourceschaltung                                                                | 281 |
| 5.4.2.2   | Drainschaltung                                                                 | 282 |

|           |                                                          |     |
|-----------|----------------------------------------------------------|-----|
| 5.5       | Integrierte Analogschaltungen . . . . .                  | 283 |
| 5.5.1     | Operationsverstärker (OV) . . . . .                      | 285 |
| 5.5.1.1   | Eigenschaften des idealen OV . . . . .                   | 285 |
| 5.5.1.2   | Der ideale OV als Spannungsverstärker . . . . .          | 286 |
| 5.5.1.3   | Kenngrößen und Grenzwerte realer OV . . . . .            | 288 |
| 5.5.1.4   | Einfluß der Eigenschaften eines realen OV . . . . .      | 292 |
| 5.5.1.4.1 | Einfluß der endlichen Leerlaufverstärkung . . . . .      | 292 |
| 5.5.1.4.2 | Einfluß des endlichen Eingangswiderstandes . . . . .     | 293 |
| 5.5.1.4.3 | Einfluß des Ausgangswiderstandes . . . . .               | 293 |
| 5.5.1.4.4 | Eingangs- und Ausgangswiderstand der Schaltung . . . . . | 294 |
| 5.5.1.4.5 | Der reale nichtinvertierende Verstärker . . . . .        | 295 |
| 5.5.1.4.6 | Kompensation der Offsetgrößen . . . . .                  | 296 |
| 5.5.1.5   | Anwendungsbeispiele . . . . .                            | 298 |
| 5.5.1.5.1 | Analoge Rechenschaltungen . . . . .                      | 298 |
| 5.5.1.5.2 | Mittelwertbildner . . . . .                              | 302 |
| 5.5.1.5.3 | Impedanzwandler . . . . .                                | 303 |
| 5.5.1.5.4 | Gleichrichter . . . . .                                  | 305 |
| 5.5.1.5.5 | Komparator . . . . .                                     | 307 |
| 5.5.1.5.6 | Signalgeneratoren . . . . .                              | 310 |
| 5.5.1.5.7 | Abtast-Halte-Schaltung . . . . .                         | 311 |
| 5.5.1.5.8 | Gesteuerte Quellen . . . . .                             | 313 |
| 5.5.2     | Multiplizierer . . . . .                                 | 315 |
| 5.5.2.1   | Logarithmier-Delogarithmier-Multiplizierer . . . . .     | 315 |
| 5.5.2.2   | Multiplizierer mit veränderlicher Steilheit . . . . .    | 316 |
| 5.5.2.3   | Anwendungsbeispiele . . . . .                            | 317 |
| 5.5.2.3.1 | Analoge Rechenschaltungen . . . . .                      | 317 |
| 5.5.2.3.2 | Regelbarer Verstärker . . . . .                          | 318 |
| 5.5.2.3.3 | Effektivwertmesser . . . . .                             | 318 |
| 5.5.3     | Elektronische Regler . . . . .                           | 319 |
| 5.5.3.1   | Steuern und Regeln . . . . .                             | 319 |
| 5.5.3.2   | Lineare elektronische Regler . . . . .                   | 320 |
| 5.5.3.3   | Nichtlineare Regler . . . . .                            | 324 |
| 5.5.3.4   | Spannungsstabilisation . . . . .                         | 324 |
| 6         | <b>Digitalschaltungen</b> . . . . .                      | 328 |
| 6.1       | Grundlagen und logische Grundgesetze . . . . .           | 328 |
| 6.1.1     | Digitale und analoge Signale . . . . .                   | 328 |
| 6.1.2     | Zahlensysteme . . . . .                                  | 330 |
| 6.1.3     | Codierung . . . . .                                      | 330 |
| 6.1.4     | Boolesche Algebra . . . . .                              | 333 |
| 6.1.4.1   | Logische Operationen . . . . .                           | 334 |
| 6.1.4.2   | Rechenregeln . . . . .                                   | 337 |
| 6.1.4.3   | Schaltalgebra . . . . .                                  | 340 |
| 6.1.4.4   | Minimierung . . . . .                                    | 341 |
| 6.1.5     | Logische Grundfunktionen . . . . .                       | 344 |
| 6.1.5.1   | Einstellige Grundfunktionen . . . . .                    | 346 |
| 6.1.5.2   | Zweistellige Grundfunktionen . . . . .                   | 346 |

|           |                                                            |     |
|-----------|------------------------------------------------------------|-----|
| 6.2       | Schaltkreissysteme . . . . .                               | 350 |
| 6.2.1     | Charakteristische Kenngrößen . . . . .                     | 350 |
| 6.2.2     | Dioden-Transistor-Logik (DTL) . . . . .                    | 354 |
| 6.2.3     | Transistor-Transistor-Logik (TTL) . . . . .                | 355 |
| 6.2.4     | Emittergekoppelte Logik (ECL) . . . . .                    | 358 |
| 6.2.5     | Integrierte Injektionslogik (I <sup>2</sup> L) . . . . .   | 359 |
| 6.2.6     | MOS-Logikschaltungen . . . . .                             | 360 |
| 6.2.7     | Vergleich der Schaltkreissysteme . . . . .                 | 364 |
| 6.3       | Grundelemente und Schaltungen der Digitaltechnik . . . . . | 364 |
| 6.3.1     | Kombinatorische Schaltungen . . . . .                      | 365 |
| 6.3.1.1   | Komparator . . . . .                                       | 365 |
| 6.3.1.2   | Rechenschaltungen . . . . .                                | 368 |
| 6.3.1.2.1 | Binäraddition . . . . .                                    | 369 |
| 6.3.1.2.2 | Binärsubtraktion . . . . .                                 | 372 |
| 6.3.1.2.3 | Binärmultiplikation und Binärdivision . . . . .            | 374 |
| 6.3.1.2.4 | Gleitkommazahlen . . . . .                                 | 376 |
| 6.3.1.2.5 | BCD-Arithmetik . . . . .                                   | 377 |
| 6.3.1.3   | Codeumsetzer . . . . .                                     | 378 |
| 6.3.1.4   | Multiplexer . . . . .                                      | 381 |
| 6.3.2     | Sequentielle Schaltungen . . . . .                         | 382 |
| 6.3.2.1   | Grundsaltungen mit zwei Zuständen . . . . .                | 383 |
| 6.3.2.1.1 | Astabiler Multivibrator . . . . .                          | 383 |
| 6.3.2.1.2 | Monostabiler Multivibrator . . . . .                       | 385 |
| 6.3.2.1.3 | Bistabiler Multivibrator . . . . .                         | 386 |
| 6.3.2.1.4 | Impulsverkürzer . . . . .                                  | 387 |
| 6.3.2.1.5 | Schmitt-Trigger . . . . .                                  | 388 |
| 6.3.2.2   | Flipflops . . . . .                                        | 389 |
| 6.3.2.2.1 | Taktzustandgesteuerte Flipflops . . . . .                  | 390 |
| 6.3.2.2.2 | Flipflops mit Zwischenspeicher . . . . .                   | 391 |
| 6.3.2.3   | Schieberegister . . . . .                                  | 393 |
| 6.3.2.4   | Zähler und Frequenzteiler . . . . .                        | 394 |
| 6.3.3     | Halbleiterspeicher . . . . .                               | 397 |
| 6.3.3.1   | ROM's und PROM's . . . . .                                 | 399 |
| 6.3.3.2   | EPROM's . . . . .                                          | 400 |
| 6.3.3.3   | RAM's . . . . .                                            | 401 |
| 6.3.3.3.1 | Statische RAM's . . . . .                                  | 402 |
| 6.3.3.3.2 | Dynamische RAM's . . . . .                                 | 403 |
| 6.3.3.4   | SAM's . . . . .                                            | 404 |
| 6.3.4     | Signalumsetzer . . . . .                                   | 406 |
| 6.3.4.1   | D/A-Umsetzer . . . . .                                     | 406 |
| 6.3.4.2   | A/D-Umsetzer . . . . .                                     | 408 |
| 6.3.5     | Datenübertragung . . . . .                                 | 414 |
| 6.3.5.1   | Verbindungsleitungen . . . . .                             | 414 |
| 6.3.5.2   | Parallele und serielle Datenübertragung . . . . .          | 415 |
| 6.3.5.3   | Das Buskonzept . . . . .                                   | 416 |
| 6.3.5.4   | Interfaces . . . . .                                       | 417 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| Inhalt                          | XV  |
| 6.3.5.4.1 V.24-Interface        | 417 |
| 6.3.5.4.2 IEC-625-Interface     | 418 |
| 6.4 Mikrorechner                | 420 |
| 6.4.1 Mikroprozessor            | 421 |
| 6.4.2 Unterbrechungsbearbeitung | 425 |
| 6.4.3 Periphere Schaltkreise    | 426 |
| Literaturverzeichnis            | 430 |
| Sachverzeichnis                 | 434 |