

Paul Skritek

Handbuch der Audio- Schaltungstechnik

Berechnungsmethoden, Meßverfahren, Schaltungsentwicklung,
digitale Tonverarbeitung

Mit 303 Abbildungen

Franzis'

Inhalt

| | | |
|----------|---|----|
| 1 | Einleitung | 17 |
| 2 | Lineare Systeme | 19 |
| 2.1 | Frequenzdarstellung | 19 |
| 2.2 | Amplituden- und Phasenfrequenzgang | 23 |
| 2.3 | Übertragungsmaß | 25 |
| 2.4 | Phasen- und Gruppenlaufzeit | 25 |
| 2.5 | Verzerrungsfreiheit | 28 |
| 2.6 | Minimal-Phasen-Netzwerke | 30 |
| 2.7 | Allpässe | 31 |
| 2.8 | Zusammenhang Frequenzbereich und Zeitbereich | 33 |
| 2.8.1 | Fourier-Analyse | 33 |
| 2.8.2 | Nichtperiodische Signale | 33 |
| 2.8.3 | Impulsantwort, Sprungantwort | 34 |
| 2.9 | Rückkopplung | 35 |
| 2.10 | Stabilität | 37 |
| 2.11 | Übertragungsmatrix | 39 |
| 3 | Nichtlineare Verzerrungen | 40 |
| 3.1 | Stationäre Kennlinie | 40 |
| 3.1.1 | Klirrfaktor | 42 |
| 3.1.2 | Intermodulationsfaktor | 42 |
| 3.2 | Gegenkopplung bei stationärer Kennlinie | 42 |
| 3.2.1 | Verringerung der nichtlinearen Verzerrungen | 42 |
| 3.2.2 | Messung nichtlinearer Verzerrungen | 43 |
| 3.3 | Verzerrungen in Grundsaltungen | 44 |
| 3.3.1 | Emitterschaltung | 44 |
| 3.3.2 | Emitterfolger | 45 |
| 3.3.3 | Weitere Grundsaltungen | 46 |
| 3.4 | Dynamische Intermodulationsverzerrungen | 46 |
| 3.4.1 | Slew-Rate und Großsignalbandbreite | 46 |
| 3.4.2 | Gegengekoppelte Verstärker | 49 |
| 3.5 | Verhinderung dynamischer nichtlinearer Verzerrungen | 51 |
| 3.5.1 | Bandbegrenzung des Eingangssignals | 51 |
| 3.5.2 | Schaltungstechnik | 52 |
| 3.6 | Meßverfahren für dynamische nichtlineare Verzerrungen | 52 |

Inhalt

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.7 | Verzerrungen in passiven Bauelementen | 53 |
| 3.7.1 | Widerstände | 53 |
| 3.7.2 | Kondensatoren | 53 |
| 4 | Rauschen | 54 |
| 4.1 | Grundlagen | 54 |
| 4.1.1 | RauschkenngroÙe | 54 |
| 4.1.2 | Addition mehrerer RauschgroÙen | 55 |
| 4.1.3 | Verstärkung von Rauschen | 56 |
| 4.2 | Thermisches Rauschen | 57 |
| 4.2.1 | Widerstände | 57 |
| 4.2.2 | Komplexe Impedanzen | 58 |
| 4.3 | Halbleiterdioden | 58 |
| 4.4 | Bipolartransistoren | 59 |
| 4.5 | Feldeffekttransistoren | 61 |
| 4.6 | Operationsverstärker | 61 |
| 4.7 | Rauschzahl | 62 |
| 4.7.1 | Bipolar-Transistor in Emitterschaltung | 62 |
| 4.7.2 | FET in Sourceschaltung | 63 |
| 4.7.3 | Operationsverstärker | 63 |
| 4.7.4 | Maximaler Signal-Störabstand | 64 |
| 4.8 | Mehrstufiger Verstärker | 64 |
| 4.8.1 | Zusätzliche Rauschbeiträge | 65 |
| 4.9 | Parallelgeschaltete Verstärker | 66 |
| 4.10 | Differenzverstärker, Instrumentationsverstärker | 66 |
| 4.11 | Transformatoranpassung | 67 |
| 4.12 | Invertierender und nichtinvertierender Verstärker | 68 |
| 4.13 | Induktive und kapazitive Signalquellen | 69 |
| 4.14 | Weitere Rauschquellen | 70 |
| 5 | Bipolartransistor | 72 |
| 5.1 | GroÙsignalverhalten | 72 |
| 5.2 | Arbeitspunkteinstellung | 74 |
| 5.3 | Kleinsignalverhalten bei niedrigen Frequenzen | 74 |
| 5.4 | Vierpolbeschreibung | 75 |
| 5.5 | Grundsaltungen | 76 |
| 5.5.1 | Emitterschaltung | 76 |
| 5.5.2 | Kollektorschaltung | 77 |
| 5.5.3 | Basisschaltung | 78 |
| 5.6 | Verhalten bei höheren Frequenzen | 78 |
| 5.7 | Spezielle Schaltungsrealisierungen | 79 |
| 5.7.1 | Emitterschaltung mit spannungsgesteuerter Stromgegenkopplung | 80 |
| 5.7.2 | Emitterschaltung mit stromgesteuerter Spannungsgegenkopplung | 80 |
| 5.7.3 | Kaskodeschaltung | 81 |
| 5.7.4 | Darlingtonschaltung | 81 |
| 5.7.5 | Komplementär-Darlingtonschaltung (Verbundschaltung) | 82 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5.8 | Differenzverstärker | 82 |
| 5.8.1 | Differenzverstärker-Grundschialtung | 82 |
| 5.8.2 | Differenzverstärker mit stromgesteuerter Spannungsgegenkopplung | 84 |
| 5.8.3 | Symmetrische Signalauskopplung | 84 |
| 5.8.4 | Kaskodeschaltung | 85 |
| 5.8.5 | Gegentakt-Differenzverstärker | 85 |
| 5.9 | Konstantstromquelle | 86 |
| 5.9.1 | Konstantstromquelle in Emitterschaltung | 86 |
| 5.9.2 | Stromspiegel | 87 |
| 5.9.3 | Wilson-Stromspiegel | 87 |
| 6 | Feldeffekttransistor | 88 |
| 6.1 | Großsignalverhalten | 89 |
| 6.2 | Arbeitspunkteinstellung | 90 |
| 6.3 | Kleinsignalverhalten | 91 |
| 6.4 | Grundschialtungen | 92 |
| 6.4.1 | Sourceschaltung | 92 |
| 6.4.2 | Drainschaltung (Sourcefolger) | 93 |
| 6.5 | Verhalten bei höheren Frequenzen | 94 |
| 6.6 | Spezielle Schaltungsrealisierungen | 94 |
| 6.6.1 | Differenzverstärker | 94 |
| 6.6.2 | Kaskodeschaltung | 95 |
| 6.6.3 | Darlingtonschaltung | 96 |
| 6.6.4 | Verbundschaltung | 96 |
| 7 | Operationsverstärker | 97 |
| 7.1 | Kleinsignalverhalten | 97 |
| 7.1.1 | Idealer Operationsverstärker | 98 |
| 7.1.2 | Realer Operationsverstärker | 99 |
| 7.1.3 | Grundschialtungen | 99 |
| 7.1.4 | Reale Leerlaufverstärkung | 100 |
| 7.1.5 | Grundschialtungen mit ohmscher Gegenkopplung | 102 |
| 7.1.6 | Eingangs- und Ausgangsimpedanz | 104 |
| 7.2 | Großsignalverhalten | 104 |
| 7.2.1 | Ausgangsstufe | 104 |
| 7.2.2 | Eingangsstufe, Gleichtaktsignale | 105 |
| 7.2.3 | Eingangsstufe, Differenzsignale | 105 |
| 7.3 | Arbeitspunkteinstellung | 106 |
| 7.3.1 | Offsetgrößen | 107 |
| 7.4 | Gleichtaktverstärkung | 107 |
| 7.5 | OV-Typen | 108 |
| 8 | Operations-Transkonduktanzverstärker | 109 |
| 8.1 | Idealer OTA | 109 |
| 8.2 | Linearisierungsdioden | 110 |
| 8.3 | OTA-Typen | 111 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 8.4 | Grundsaltungen | 111 |
| 8.4.1 | Spannungsverstärkung | 112 |
| 8.4.2 | Klangsteller | 112 |
| 8.4.3 | Applikationsschaltungen | 114 |
| 9 | Vorverstärker | 115 |
| 9.1 | Einstufige Verstärker | 115 |
| 9.1.1 | BJT-Emitterschaltung | 115 |
| 9.1.2 | BJT-Kollektorschaltung | 118 |
| 9.1.3 | Arbeitspunkteinstellung bei FET-Schaltungen | 118 |
| 9.1.4 | FET-Sourceschaltung | 119 |
| 9.1.5 | FET-Source-Folger | 120 |
| 9.2 | Zweistufige Verstärker | 120 |
| 9.2.1 | Grundsaltung mit komplementären Transistoren | 121 |
| 9.2.2 | Grundsaltung mit gleichartigen Transistoren | 124 |
| 9.2.3 | Schaltungsvarianten | 125 |
| 9.2.4 | Schaltungsbeispiel | 127 |
| 9.3 | Inverterverstärker | 128 |
| 9.4 | Vor-Vorverstärker für MC-Tonabnehmer | 130 |
| 9.4.1 | Schaltung mit Einzeltransistoren | 130 |
| 9.4.2 | Parallelgeschaltete Transistoren | 131 |
| 9.5 | Schaltungen mit Operationsverstärkern | 132 |
| 9.6 | Vorverstärker für dynamische Mikrofone | 134 |
| 9.6.1 | Erd-unsymmetrische Grundsaltung | 134 |
| 9.6.2 | Mikrofonverstärker mit Eingangsübertrager | 135 |
| 9.6.3 | Erdsymmetrischer Vorverstärker mit Elektrometersubtrahierer | 135 |
| 10 | Entzerrer-Verstärker | 137 |
| 10.1 | Frequenzgangdimensionierung und Netzwerkentwurf | 138 |
| 10.1.1 | Bode-Diagramm | 138 |
| 10.1.2 | Realisierbarkeit von RC-Netzwerken | 140 |
| 10.1.3 | Struktur des Gegenkopplungsnetzwerks | 140 |
| 10.1.4 | Bauteildimensionierung | 141 |
| 10.2 | Elektrometer-Entzerrerschaltungen | 142 |
| 10.2.1 | Tiefpaß mit begrenzter Höhenabsenkung | 143 |
| 10.2.2 | Entzerrer mit 3 Eckfrequenzen | 144 |
| 10.3 | Inverter-Entzerrerschaltungen | 145 |
| 10.3.1 | Tiefpaß mit begrenzter Höhenabsenkung | 146 |
| 10.3.2 | Entzerrer mit 3 Eckfrequenzen | 146 |
| 10.4 | Magnetaufzeichnungsgeräte | 147 |
| 10.4.1 | Wiedergabe-Entzerrung | 150 |
| 10.4.2 | Aufnahme-Entzerrung | 151 |
| 10.5 | Schallplatten-Wiedergabeentzerrer | 154 |
| 10.5.1 | Schneidefrequenzgang | 154 |
| 10.5.2 | Entzerrerfrequenzgang | 154 |
| 10.5.3 | Magnetdynamische Wandler | 156 |
| 10.5.4 | Unterdrückung tieffrequenter Störsignale | 157 |
| 10.5.5 | Entzerrer für magnetodynamische Tonabnehmer | 157 |
| 10.5.6 | RIAA-Elektrometerentzerrer | 159 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 11 | Klangeinsteller | 165 |
| 11.1 | Gehörrichtige Lautstärkeinsteller | 165 |
| 11.2 | Fächer-Einsteller | 166 |
| 11.2.1 | Passive Fächer-Einsteller | 167 |
| 11.2.2 | Aktive Fächer-Einsteller | 170 |
| 11.3 | Equalizer | 172 |
| 11.3.1 | Equalizer mit konstanter Bandbreite | 173 |
| 11.3.2 | Equalizer mit einstellbarer Bandbreite | 176 |
| 11.3.3 | Equalizer mit R-L-C-Bandsperre | 178 |
| 11.4 | Rumpel-, Rauschfilter | 180 |
| 11.5 | Veränderung des Räumlichkeitseindrucks | 182 |
| 11.5.1 | Stereo-Basisverbreiterung | 182 |
| 11.5.2 | Pseudo-Stereophonie | 184 |
| 12 | Elektronisch steuerbare Schalter und Einsteller | 185 |
| 12.1 | Bipolartransistor-Schalter | 185 |
| 12.1.1 | Kontinuierlicher Abschwächer | 186 |
| 12.2 | FET-Schalter | 186 |
| 12.3 | Passive Spannungsteiler | 187 |
| 12.4 | Verstärkungseinstellung | 190 |
| 12.5 | Gleichspannungsgesteuerte Verstärker (VCA) | 191 |
| 12.5.1 | Zwei/Vier-Quadranten-Multiplizierer | 191 |
| 12.5.2 | Emittergesteuerte Differenzverstärker | 191 |
| 12.5.3 | Kreuzgekoppelte Differenzverstärker | 193 |
| 12.6 | OTAs | 198 |
| 12.7 | Logarithmierverstärker | 198 |
| 12.8 | Digital ansteuerbare Einsteller | 200 |
| 12.8.1 | Lautstärkeinsteller | 200 |
| 12.8.2 | Klangeinsteller | 201 |
| 12.9 | Multiplizierende D/A-Wandler | 202 |
| 12.9.1 | D/A-Wandler für Audioabschwächer | 204 |
| 12.10 | Pulsbreiten-Modulation | 205 |
| 13 | Leistungsverstärker | 207 |
| 13.1 | Verstärker-Grundschtaltung | 207 |
| 13.1.1 | Eingangsstufe | 208 |
| 13.1.2 | Ansteuerstufe | 208 |
| 13.1.3 | Ausgangsstufe | 208 |
| 13.1.4 | Maximale Ausgangsleistung | 208 |
| 13.2 | Arbeitspunkt und Ausgangskennlinienfeld | 210 |
| 13.2.1 | Verlustleistung am Transistor | 213 |
| 13.3 | Komplexe Lastimpedanzen | 214 |
| 13.3.1 | Sinusförmige Signale | 214 |
| 13.3.2 | Sprungsignale | 215 |
| 13.3.3 | Lautsprecher als Lastimpedanz | 216 |
| 13.3.4 | Erforderlicher Ausgangsstrom | 217 |

Inhalt

| | | |
|-----------|--|------------|
| 13.4 | Komplementärer Emitter- und Sourcefolger | 218 |
| 13.4.1 | B-Betrieb | 219 |
| 13.4.2 | AB-Betrieb | 221 |
| 13.4.3 | A-Betrieb | 221 |
| 13.4.4 | Quasikomplementärer Emitterfolger | 224 |
| 13.4.5 | Komplementärer Sourcefolger | 224 |
| 13.4.6 | Vergleich BJT-FET-Schaltungen | 226 |
| 13.5 | Negativer Eingangswiderstand | 227 |
| 13.6 | Übernahmeverzerrungen | 227 |
| 13.6.1 | Übernahmeverzerrungen 1. Art | 227 |
| 13.6.2 | Übernahmeverzerrungen 2. Art | 228 |
| 13.6.3 | Gesteuerte Vorspannungsquellen | 229 |
| 13.7 | Elektronische Schutzschaltungen | 230 |
| 13.7.1 | Begrenzung des Ausgangsstroms | 230 |
| 13.7.2 | SOAR-Schutzschaltung | 231 |
| 13.7.3 | Verluste bei hohen Frequenzen | 232 |
| 13.7.4 | Gleichspannungsschutz bei Brückenschaltungen | 232 |
| 13.8 | Ausgangsstufen-Schaltungen für höhere Ströme | 232 |
| 13.9 | Brückenschaltung | 235 |
| 13.10 | Stromentlastungsschaltungen | 237 |
| 13.10.1 | Grundschialtung | 238 |
| 13.10.2 | Schaltungsvariante | 239 |
| 13.10.3 | Vereinfachte Schaltungslösungen | 239 |
| 13.11 | Verstärker mit gesteuerter Versorgungsspannung | 242 |
| 13.11.1 | A ⁺ -Betrieb | 242 |
| 13.11.2 | Mitgekoppelte Spannungsversorgung | 243 |
| 13.11.3 | G-Betrieb | 244 |
| 13.11.4 | Kontinuierlich gesteuerte Versorgungsspannung | 245 |
| 13.11.5 | DLD-Schaltung | 246 |
| 13.12 | Verringerung von Störeinflüssen | 247 |
| 13.12.1 | Störungen des Bezugspotentials | 247 |
| 13.12.2 | Kreuzsymmetrische Brückenschaltung | 248 |
| 13.13 | Pulsdauer-Modulation (D-Betrieb) | 250 |
| 13.13.1 | Verfahrenseinteilung | 251 |
| 13.13.2 | Realisierungskriterien | 252 |
| 13.13.3 | Gegenkopplung | 254 |
| 13.13.4 | Schaltungsbeispiel | 255 |
| 13.14 | Verlustleistung, Kühlung | 256 |
| 13.15 | Schaltungsauswahl | 258 |
| 13.15.1 | Erforderliche Betriebswerte | 258 |
| 13.15.2 | Schaltungskonzepte | 259 |
| 13.15.3 | Dimensionierungsbeispiel | 265 |
| 14 | Verfahren zur Störungsverminderung | 270 |
| 14.1 | Grundlagen | 271 |
| 14.2 | Einteilung der Verfahren | 271 |
| 14.2.1 | Allgemeine Kompanderbeschreibung | 272 |
| 14.2.2 | Einteilungsparameter | 273 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 14.3 | Übertragungseigenschaften | 275 |
| 14.3.1 | Ruhe-Geräuschspannungsabstand | 275 |
| 14.3.2 | Störungsminderung bei Nutzsignalen | 275 |
| 14.3.3 | Pegelfehler | 276 |
| 14.3.4 | Dynamisches Verhalten | 277 |
| 14.4 | Nichtkomplementäre Verfahren | 280 |
| 14.4.1 | Dynamic Noise Limiter DNL | 281 |
| 14.4.2 | Dynamic Noise Reduction DNR | 281 |
| 14.5 | Komplementäre Gleitbandkompander | 281 |
| 14.5.1 | Dolby-B | 281 |
| 14.5.2 | Dolby-C | 283 |
| 14.5.3 | Dolby-A | 284 |
| 14.5.4 | Dolby-SR | 285 |
| 14.6 | Komplementäre Breitbandkompander | 285 |
| 14.6.1 | dbx | 285 |
| 14.6.2 | CX-Schallplatten-Kompander | 287 |
| 14.7 | Kombinierte Breitband/Gleitband-Kompander | 287 |
| 14.7.1 | Kaskadierte gesteuerte Verstärker | 287 |
| 14.7.2 | Highcom | 288 |
| 14.8 | Variable Dynamik | 291 |
| 14.9 | Weitere Anwendungen | 293 |
| 14.9.1 | Kompandierte Tonsysteme | 293 |
| 14.9.2 | Individuelle Kompanderschaltungen | 293 |
| 15 | Digitale Steuerungs- und Signal-Bus-Systeme | 294 |
| 15.1 | Spezifikationskriterien | 294 |
| 15.2 | I ² C-Bus-System | 295 |
| 15.2.1 | C-Bus | 295 |
| 15.2.2 | I ² C-Bus | 295 |
| 15.2.3 | D ² -Bus | 299 |
| 15.2.4 | IC-Typen | 301 |
| 15.3 | Übertragung digitalisierter Audiosignale | 302 |
| 15.3.1 | Digitale Tonschnittstelle für Heimgeräte | 302 |
| 15.3.2 | AES-Studiobus | 303 |
| 15.3.3 | I ² S-Bus | 303 |
| 16 | Digitale Tonübertragung | 308 |
| 16.1 | Einleitung | 308 |
| 16.2 | Frequenzbandbegrenzung | 308 |
| 16.2.1 | Abtast-Theorem | 308 |
| 16.2.2 | Signaldispersion, Überschwingen | 309 |
| 16.2.3 | Erforderliche Filterparameter | 310 |
| 16.3 | Abtastung | 311 |
| 16.3.1 | Abtast-Halte-Schaltung | 311 |
| 16.4 | Analog/Digitalwandlung | 312 |
| 16.4.1 | Auflösung, Datenrate und Speicherkapazität | 312 |
| 16.4.2 | Quantisierung | 313 |

Inhalt

| | | |
|-----------|---|------------|
| 16.4.3 | Signal-Störabstand bei PCM | 314 |
| 16.4.4 | Erhöhung des Signal-Störabstandes | 315 |
| 16.4.5 | Analog/Digital-Wandler | 316 |
| 16.4.6 | A/D-Wandler-Konversionscodes | 317 |
| 16.5 | Fehlerschutzcodierung | 317 |
| 16.5.1 | Übertragungsfehler | 317 |
| 16.5.2 | Fehlerprüfcodes | 318 |
| 16.5.3 | Fehlerprüfcodes in Audio-Aufzeichnungsgeräten | 319 |
| 16.6 | Kanalcodierung | 320 |
| 16.7 | Übertragungskanal, Speicher | 320 |
| 16.8 | Wiedergabe-Decoder | 321 |
| 16.9 | Demodulation von Digitalsignalen | 321 |
| 16.9.1 | Reale D/A-Wandler | 322 |
| 16.9.2 | Schaltungsrealisierungen | 323 |
| 16.10 | Digitale Signalverarbeitung | 324 |
| 16.10.1 | Signalдарstellung und Grundelemente | 324 |
| 16.10.2 | Filterstrukturen | 326 |
| 16.10.3 | Schaltungsrealisierungen | 328 |
| 17 | Compact-Disc-Technik | 329 |
| 17.1 | Übersicht | 329 |
| 17.2 | Signalformat | 329 |
| 17.2.1 | Rahmenaufbau | 329 |
| 17.2.2 | CIRC-Fehlerschutz-Code | 333 |
| 17.2.3 | Steuerungs-/Anzeige-Bits (Subcoding) | 334 |
| 17.2.4 | Programm-Kennzeichnung | 336 |
| 17.2.5 | EFM-Aufzeichnungscode | 337 |
| 17.3 | CD-Wiedergabegeräte | 338 |
| 17.3.1 | Optisches System | 338 |
| 17.3.2 | Fokussierung, Spurnachführung und Signalgewinnung | 340 |
| 17.3.3 | Signalverarbeitung | 342 |
| 17.3.4 | Gleichlaufkorrektur | 342 |
| 17.3.5 | Fehlerkorrektur | 342 |
| 17.3.6 | Überabtastung | 345 |
| 17.3.7 | Error-Spektrum-Shaping | 346 |
| 17.3.8 | D/A-Wandler | 350 |
| 17.3.9 | Analoge Nachfilter | 354 |
| 17.4 | Schaltungsbeispiele | 356 |
| 17.5 | Vergleich verschiedener Fehlerkorrekturverfahren | 360 |
| 17.6 | Vergleich verschiedener D/A-Verfahren | 362 |
| 17.6.1 | Erforderlicher Analogfilteraufwand | 362 |
| 17.6.2 | Erreichbarer Signal-Störabstand | 363 |
| 17.7 | Grundlegende Systemanforderungen bei der D/A-Wandlung | 365 |
| 17.7.1 | D/A-Wandler im Multiplexbetrieb | 365 |
| 17.7.2 | Takt-Jitter | 365 |
| 17.7.3 | Slew-Rate-Verzerrungen | 367 |
| 17.8 | CD-ROM | 367 |
| 17.9 | CD-Interaktiv | 369 |
| 17.10 | CD-Video | 372 |

| | | |
|------------------------------------|--|-----|
| 18 | PCM-Aufzeichnungs- und Übertragungssysteme | 374 |
| 18.1 | PCM-Adapter für Videorekorder | 374 |
| 18.2 | PCM-Kassettenrekorder | 376 |
| 18.2.1 | Longitudinal-Aufzeichnung S-DAT | 376 |
| 18.2.2 | Schrägspur-Aufzeichnung R-DAT | 376 |
| 18.2.3 | 8-mm-Video | 380 |
| 18.3 | Digitaler Satelliten-Rundfunk | 382 |
| 18.4 | Digitale Vorverstärker | 386 |
| 18.4.1 | Vorverstärker mit Standard-Signalprozessoren | 386 |
| 18.4.2 | Digitaler Signalprozessor für TV-Tonkanal | 386 |
| 18.4.3 | Volldigitaler HiFi-Steuerverstärker | 386 |
| Anhang A | | 394 |
| Anhang A1: | Bezeichnungen und Symbole | 394 |
| Anhang A2: | Dimensionierungsformeln | 397 |
| Anhang A3: | Rechenregeln für komplexe Zahlen (Vektoren) | 398 |
| Anhang A4: | Internationales Einheitensystem (SI-Einheiten) | 400 |
| Anhang A5: | Schaltzeichensammlung | 401 |
| Anhang A6: | Eigenschaften typischer Signalquellen und Verstärkeranschlüsse | 402 |
| Anhang A7: | Steckverbindungen | 403 |
| Anhang A8: | Mindestanforderungen an HiFi-Geräte nach DIN 45 500 | 405 |
| Anhang A9: | Zusammenfassung von Gegenkopplungsschaltungen | 406 |
| Anhang A10: | Näherungen der nichtlinearen Kennlinien von Grundsaltungen bei geringer Aussteuerung | 410 |
| Anhang A11: | Übersicht über Operationsverstärker für Audioanwendungen | 411 |
| Anhang A12: | Grenzfrequenzen (Zeitkonstanten) des genormten magnetischen Bandflusses | 412 |
| Anhang A13: | Integrierte elektronisch steuerbare Schalter und Einsteller | 413 |
| Anhang A14: | Monolithisch integrierte Leistungsverstärker | 414 |
| Anhang A15: | I ² C-Bus-fähige Schaltungen für Audioanwendungen | 415 |
| Anhang B: Computerprogramme | | 416 |
| Anhang B1: | Programm NETZ | 416 |
| Anhang B2: | Programm RAUSCH | 422 |
| Anhang B3: | Programm KLIRR | 429 |
| Anhang B4: | Programm TRAFO | 431 |
| Literaturverzeichnis | | 436 |
| Sachverzeichnis | | 449 |