

1. Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| 1. Inhaltsverzeichnis | 1 |
| 2. Vereinfachte Ersatzmodelle nicht linearer Bauelemente | 4 |
| 2.1. Dioden | 4 |
| 2.1.1. pn-Dioden | 4 |
| 2.1.1.1. Kennlinie und Großsignal-Ersatzschaltung | 4 |
| 2.1.1.2. Anwendung als Begrenzer | 7 |
| 2.1.1.3. Anwendung als Gleichrichter und Frequenzverhalten | 11 |
| 2.1.2. Dioden für spezielle Anwendungen | 12 |
| 2.1.2.1. Schottky-Dioden | 12 |
| 2.1.2.2. Zenerdioden | 12 |
| 2.1.2.3. Kapazitätsdioden | 14 |
| 2.1.2.4. Lumineszenz- und Photodiode | 14 |
| 2.2. Bipolar-Transistoren | 14 |
| 2.2.1. Ersatzbild nach Ebers und Moll | 15 |
| 2.2.2. Wechselspannungsersatzbild | 19 |
| 2.2.3. Großsignal-Ersatzbilder | 22 |
| 2.2.4. Ersatzbild des Darlington-Transistor | 24 |
| 2.3. Feldeffekt-Transistoren (FET) | 25 |
| 2.3.1. Isolierschicht-FET (MOSFET) | 26 |
| 2.3.2. Sperrschicht-FET (JFET) | 28 |
| 2.3.3. Mathematische Simulation der Kennlinien | 29 |
| 2.3.4. Wechselspannungsersatzbild | 30 |
| 2.3.5. Großsignal-Ersatzbilder | 31 |
| 3. Grundschaltungen von Transistoren | 34 |
| 3.1. Emitterschaltung | 34 |
| 3.2. Sourceschaltung | 35 |
| 3.3. Kollektorschaltung (Emitterfolger) | 37 |
| 3.4. Drainschaltung (Sourcefolger) | 38 |
| 3.5. Basisschaltung | 39 |
| 3.6. Gateschaltung | 40 |
| 4. Verstärker mit einem Transistor | 42 |
| 4.1. Arbeitspunkteinstellung | 42 |
| 4.1.1. Bipolar-Transistoren | 42 |
| 4.1.2. Feldeffekt-Transistoren | 44 |
| 4.2. Verstärkung und Arbeitspunkt | 46 |
| 4.2.1. Bipolar-Transistoren | 47 |
| 4.2.2. Feldeffekt-Transistoren | 49 |
| 4.2.3. Stufung von passiven Bauelementen | 51 |
| 4.3. Gleichspannungsentkopplung und Grenzfrequenz | 52 |
| 4.4. Verstärkungsbandbreite-Produkt | 57 |
| 4.5. Linearisierung durch Gegenkopplung | 57 |
| 4.5.1. Emitterschaltung mit Gegenkopplung | 57 |
| 4.5.1.1. Gegenkopplung mittels Widerstand | 57 |
| 4.5.1.2. Gegenkopplung mittels Diode beim Bipolar-Transistor | 59 |
| 4.5.2. Sourceschaltung mit Gegenkopplung | 61 |
| 4.6. Leistungsbetrachtung in praktischen Anwendungen | 62 |
| 4.6.1. Verlustleistung von Transistoren | 62 |
| 4.6.2. Kühlung von Transistoren | 63 |
| 5. Lineare Schaltungen mit mehreren Transistoren | 66 |
| 5.1. Verstärkerschaltungen | 66 |
| 5.1.1. Gegenkopplung zur Arbeitspunktstabilisierung | 66 |
| 5.1.2. Gegenkopplung zur Verstärkungs- und Arbeitspunktstabilisierung | 69 |

1. Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----|
| 5.2. | Endstufen | 74 |
| 5.2.1. | A-Betrieb | 74 |
| 5.2.2. | B-Betrieb | 75 |
| 5.2.3. | C-Betrieb | 77 |
| 5.2.4. | D-Betrieb | 77 |
| 5.3. | Differenzverstärker | 78 |
| 5.3.1. | Funktionsweise | 78 |
| 5.3.2. | Gleich- und Gegentaktverstärkung | 80 |
| 5.4. | Operationsverstärker | 81 |
| 5.4.1. | Spannungsgegengekoppelter Operationsverstärker (VF-OP) | 81 |
| 5.4.1.1. | Schaltungsstruktur eines typischen VF-OP | 85 |
| 5.4.1.2. | Analyse eines typischen VF-OP | 87 |
| 5.4.1.3. | Anstiegsgeschwindigkeit (Slew Rate) | 90 |
| 5.4.1.4. | Anstiegsverzerrung (Transiente Intermodulation, TIM) | 92 |
| 5.4.1.5. | Offsetspannung und Eingangsruhestrome | 93 |
| 5.4.1.6. | Stabilität und Anpassung der Verstärkungsbandbreite | 95 |
| 5.4.2. | Stromgegengekoppelter Operationsverstärker (CF-OP) | 103 |
| 5.4.2.1. | Prinzip des VF-OP | 103 |
| 5.4.2.2. | Prinzip des CF-OP | 105 |
| 5.4.3. | Miller-Effekt | 106 |
| 6. | Lineare Standardschaltungen mit OP | 109 |
| 6.1. | Nicht invertierender Leistungsverstärker | 109 |
| 6.2. | Invertierender Verstärker | 112 |
| 6.3. | Invertierender Differenzierer (Hochpass) und Integrierer (Tiefpass) | 113 |
| 6.4. | Invertierender Addierer und Subtrahierer | 115 |
| 6.5. | Invertierender Logarithmierer und Delogarithmierer | 116 |
| 6.6. | Spannungsregler | 117 |
| 6.7. | Aktive Filter 1. Ordnung | 119 |
| 6.7.1. | Nicht invertierender Tiefpass und Hochpass | 119 |
| 6.7.2. | Lead-Filter | 121 |
| 6.7.3. | Lag-Filter | 123 |
| 6.7.4. | Allpass-Filter | 125 |
| 6.8. | Aktive Filter 2. Ordnung | 126 |
| 6.8.1. | Tiefpass | 126 |
| 6.8.2. | Hochpass | 127 |
| 6.8.3. | Bandpass | 129 |
| 6.8.4. | Bandspurere | 130 |
| 7. | Nicht lineare Analogschaltungen | 133 |
| 7.1. | Schaltanwendungen | 133 |
| 7.1.1. | Transistoren als Schalter | 133 |
| 7.1.2. | Schaltanwendungen mit großer kapazitiver oder induktiver Last | 136 |
| 7.2. | Kippschaltungen | 137 |
| 7.2.1. | Prinzip der Mitkopplung mit Schalthysterese | 137 |
| 7.2.1.1. | Nicht invertierende Mitkopplung | 137 |
| 7.2.1.2. | Invertierende Mitkopplung | 139 |
| 7.2.2. | Komparator | 140 |
| 7.2.3. | Bistabile Kippschaltungen | 141 |
| 7.2.3.1. | Schaltungsprinzip | 141 |
| 7.2.3.2. | RS-Flipflop mit Transistoren | 142 |
| 7.2.3.3. | Schmitt-Trigger mit Komparator | 143 |
| 7.2.4. | Monostabile Kippschaltungen | 147 |
| 7.2.4.1. | Schaltungsprinzip | 147 |
| 7.2.4.2. | Monoflop mit Transistoren | 148 |
| 7.2.4.3. | Timer mit Komparator | 149 |
| 7.2.5. | Astabile Kippschaltungen | 151 |

1. Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----|
| 7.2.5.1. | Schaltungsprinzip | 151 |
| 7.2.5.2. | Rechteck-Oszillator mit Transistoren..... | 152 |
| 7.2.5.3. | Quarz-Oszillator mit Komplementär- MOSFET-Inverter..... | 153 |
| 7.2.5.4. | Collpitts-Sinus-Oszillator | 155 |
| 8. | Digitale Schaltungsfamilien..... | 159 |
| 8.1. | Transistor-Transistor-Logik (TTL)..... | 160 |
| 8.1.1. | Standard-TTL-Schaltungen | 160 |
| 8.1.1.1. | TTL-Schaltungen mit niedrigem Leistungsverbrauch..... | 164 |
| 8.1.1.2. | TTL-Schaltungen mit verschaltbaren Ausgängen | 165 |
| 8.1.2. | Komplementär-MOS (CMOS)..... | 168 |
| 8.1.3. | Emittergekoppelte Logik (ECL)..... | 170 |
| 8.1.4. | Gallium Arsenid (Ga As)-Baugruppen | 172 |
| 8.1.5. | Parameter digitaler Schaltungsfamilien | 172 |
| 9. | Entwurfsverfahren für Digitalschaltungen | 175 |
| 9.1. | Grundgesetze der Bool'schen Schaltalgebra | 176 |
| 9.1.1. | Grundfunktionen und Symbole | 176 |
| 9.1.2. | Normalformen..... | 179 |
| 9.1.3. | Minimierung von Schaltnetzen | 180 |
| 9.2. | Hazards in Schaltnetzen | 187 |
| 9.3. | Flipflops und ihre charakteristische Gleichung..... | 190 |
| 9.3.1. | RS-Flipflops | 191 |
| 9.3.2. | D-Flipflops | 192 |
| 9.3.3. | Flankengesteuerte JK-Flipflops..... | 194 |
| 9.3.4. | Puls- und Zweiflankengesteuertes JK-Flipflops..... | 195 |
| 9.4. | Sequentielle Schaltalgebra..... | 196 |
| 9.4.1. | Automaten | 197 |
| 9.4.2. | Zustandsdiagramm..... | 198 |
| 9.4.3. | Reduzierung durch Zusammenfassung äquivalenter Zustände | 201 |
| 9.5. | Asynchrone Schaltwerke | 207 |
| 9.5.1. | Fehlerquellen durch Laufzeitunterschiede | 207 |
| 9.5.1.1. | Kritischer und unkritischer Race | 207 |
| 9.5.1.2. | Rückkopplungshazard | 211 |
| 9.5.2. | Schaltungsbeispiele | 213 |
| 9.5.2.1. | Vorderflankengesteuertes D-Flipflop | 213 |
| 9.5.2.2. | Modulo-M-Zähler | 215 |
| 9.5.2.3. | BCD-Zähler..... | 217 |
| 9.6. | Synchrone Schaltwerke | 222 |
| 9.6.1. | Schaltungsbeispiele | 222 |
| 9.6.1.1. | Vorwärts- Rückwärtzzähler..... | 223 |
| 9.6.1.2. | BCD-Zähler..... | 225 |
| 9.6.2. | Operations- und Steuerwerk | 228 |
| 10. | Realisierung komplexer Digitalschaltungen | 234 |
| 10.1. | Aufbau synchroner Schaltwerke mit adressierbaren Speichern..... | 234 |
| 10.2. | Programmierbare Logik (FPGA, CPLD) | 236 |
| 10.2.1. | Funktionsweise programmierbarer Logik | 237 |
| 10.2.2. | Der Serien-Multiplizierer als Ausführungsbeispiel | 237 |
| 11. | Übungsaufgaben | 244 |
| 12. | Weiterführende Literatur | 266 |
| 13. | Sachwortverzeichnis | 267 |
| 14. | Abkürzungsverzeichnis | 270 |