

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 Photodioden	14
2.2. Bipolar-Transistoren	14
2.2.1. Ersatzbild nach Ebers und Moll	15
2.2.2. Wechsellspannungsersatzbild	19
2.2.3. Großsignal-Ersatzbilder	22
2.2.4. Ersatzbild des Darlington-Transistors	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. Wechsellspannungsersatzbild	30
2.3.5. Großsignal-Ersatzbilder	31
3. Grundsaltungen 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.	Spannungsgegekoppelter 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.	Stromgegekoppelter 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.	Bandsperr	130
7.	Nicht lineare Anlogschaltungen	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- Rückwärtszähler.....	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