

Inhaltsverzeichnis

Schreibweise und Formelzeichen der wichtigsten Größen	15
1. Einführung und allgemeine Hilfsmittel	19
1.1. Aufgaben, Anwendungen und Funktionsprinzipien analoger Schaltungen	19
1.2. Transistormodelle	21
1.2.1. Bipolartansistoren	22
1.2.1.1. Statisches Verhalten	22
1.2.1.2. Lineares Kleinsignalverhalten	24
1.2.2. Feldeffekttransistoren	29
1.2.2.1. Statisches Verhalten	29
1.2.2.2. Lineares Kleinsignalverhalten	29
1.2.2.3. Der Feldeffekttransistor als steuerbarer Widerstand	31
1.3. Vereinfachte Berechnung linearer Netzwerke	31
1.4. Dynamische Widerstandsveränderung (Miller- und Bootstrap-Effekt)	35
1.5. Analyse nichtlinearer Systeme	38
1.5.1. Taylorreihenentwicklung	38
1.5.2. Fourierreihenentwicklung	39
1.5.3. Klirrfaktor	39
2. Arbeitspunktprobleme bei einfachen Transistorstufen	40
2.1. Bipolartransistor	40
2.1.1. Arbeitspunkteinstellung und -stabilisierung	40
2.1.2. Drift	43
2.1.3. Lineare Schaltungen zur Arbeitspunktstabilisierung	45
2.1.4. Nichtlineare Kompensationsschaltungen	48
2.1.5. Arbeitspunktstabilisierung bei analogen integrierten Schaltungen	49
2.1.6. Thermische Probleme	50
2.2. Feldeffekttransistoren	55
2.2.1. Arbeitspunkt	55
2.2.2. Arbeitspunkteinstellung und -stabilisierung	55
3. Einfache Transistorstufen (Grundsaltungen)	59
3.1. Analyseverfahren	59
3.1.1. Grafische Analyse (statische und dynamische Arbeitsgerade)	60
3.1.2. Lineare Kleinsignalanalyse	60
3.1.2.1. Vierpolanalyse	61
3.1.2.2. Analyse mit π -Ersatzschaltbild (physikalisches Ersatzschaltbild)	64
3.2. Überblick über die drei Bipolar- und FET-Grundsaltungen. Gesteuerte Quellen in den drei Grundsaltungen	65
3.2.1. Aktive Bauelemente und gesteuerte Quellen	65

3.2.2.	Ideale gesteuerte Quellen in den drei Grundschaltungen mit Stromgegenkopplung	65
3.2.3.	Vergleich zwischen den Grundschaltungen	66
3.3.	Emitterschaltung	68
3.3.1.	Statisches Verhalten	68
3.3.2.	Signalverstärkung bei niedrigen Frequenzen	71
3.3.2.1.	Konstantes Emitterpotential	71
3.3.2.2.	Stromgegenkopplung	73
3.3.2.3.	Spannungsgegenkopplung	76
3.3.3.	Signalverstärkung bei hohen Frequenzen	77
3.4.	Sourceschaltung	80
3.4.1.	Statisches Verhalten	81
3.4.2.	Signalverstärkung bei niedrigen Frequenzen	81
3.4.3.	Signalverstärkung bei hohen Frequenzen	83
3.5.	Emitterfolger (Kollektorschaltung)	85
3.5.1.	Statisches Verhalten. Aussteuerbereich	86
3.5.2.	Signalverstärkung bei niedrigen Frequenzen	88
3.5.3.	Signalverstärkung bei hohen Frequenzen	91
3.6.	Sourcefolger (Drainschaltung)	93
3.6.1.	Statisches Verhalten. Bootstrap-Prinzip	93
3.6.2.	Signalverstärkung bei niedrigen und hohen Frequenzen	94
3.7.	Basisschaltung	96
3.7.1.	Statisches Verhalten. Aussteuerbereich	97
3.7.2.	Kleinsignalverhalten bei niedrigen und hohen Frequenzen	97
3.8.	Darlington-Schaltung	98
3.9.	Spezielle Schaltungen	101
3.9.1.	Kaskodeschaltung	101
3.9.2.	Kombination FET – Bipolartransistor	103
4.	Differenzverstärker	107
4.1.	Unterschied zwischen Gleich- und Wechselspannungsverstärkern	107
4.2.	Signalverarbeitung in Differenzverstärkern	108
4.3.	Gleichtaktaussteuerbereich und Arbeitspunkteinstellung	115
4.4.	Drift	117
4.5.	Schaltungsvarianten	119
5.	Kopplung zwischen den Stufen	123
5.1.	Direkte Kopplung	123
5.2.	Widerstandskopplung	123
5.3.	Z-Dioden-Kopplung	125
5.4.	RC-Kopplung	125
5.5.	Transformatorkopplung	125
5.6.	Komplementärtransistorkopplung	125
5.7.	Optoelektronische Kopplung	126

6. Bauelemente und Grundschaltungen in integrierten Analogschaltungen	127
6.1. Vergleich zwischen Bipolar- und MOS-Technik	127
6.2. Bipolartechnik	129
6.2.1. Aktive Bauelemente	129
6.2.2. Grundschaltungen	133
6.2.2.1. Widerstands- und Kapazitätstransformation	134
6.2.2.2. Konstantstromquellen, Stromspiegel	134
6.2.2.2.1. Konstantstromquellen und Stromspiegelschaltungen mit Bipolartransistoren	134
6.2.2.2.2. Konstantstromquellen und Stromspiegelschaltungen mit Feldeffekttransistoren	137
6.2.2.3. Referenzspannungsquellen, Bandgap-Referenz	139
6.2.2.4. Differenzverstärker	143
6.2.2.5. Koppelschaltungen	144
6.3. CMOS-Technik	146
6.3.1. Aktive Bauelemente	146
6.3.2. Grundschaltungen	146
6.3.2.1. Zeitkontinuierliche Schaltungen	147
6.3.2.2. SC-Schaltungen	148
7. Endstufen (Leistungsstufen)	150
7.1. Quasilineare Leistungsstufen	151
7.1.1. Betriebsarten, Arbeitspunkteinstellung, Schaltungsstruktur	151
7.1.2. Eintaktstufen (A-Verstärker)	153
7.1.2.1. Emitterschaltung mit ohmscher Last	153
7.1.2.2. Emitterfolger mit ohmschem Lastwiderstand	155
7.1.3. Gegentakt-B- und AB-Verstärker	157
7.1.3.1. Transformatorkopplung	158
7.1.3.2. Serienspeisung der Endtransistoren (Komplementärendstufen)	160
7.1.4. AB-Verstärker	167
7.1.5. Arbeitspunkteinstellung bei integrierten Schaltungen	168
7.1.6. Ausgangsstrombegrenzung	169
7.1.7. Höhere Spannungen, Ströme und Frequenzen	169
7.1.8. Dimensionierungsbeispiel	171
7.1.9. Monolithisch integrierte Leistungsverstärker	176
7.2. Unstetige Leistungsverstärker für analoge Signale, D-Verstärker	180
7.2.1. Grundlagen	180
7.2.2. D-Verstärker	182
7.3. Leistungs-MOSFET	184
7.3.1. Eigenschaften	185
7.3.2. Schalteranwendungen	187
7.3.3. Lineare Anwendungen	188
7.3.4. „Smart Power“-Elemente	189
7.4. Praktische Hinweise	190
7.5. Trendbetrachtung	190
8. Allgemeines zu mehrstufigen Verstärkern	191
8.1. Einteilung der Verstärker, Forderungen	191
8.2. Grenzen	191

14.5. SC-Filter	363
14.6. Digitale Filter	368
14.7. Signalprozessor 2920	372
15. Stetig nichtlineare Verstärker- und Rechenschaltungen	376
15.1. Erzeugung von nichtlinearen Funktionen und Umkehrfunktionen	377
15.2. Logarithmierschaltungen	377
15.3. Delogarithmierschaltung	380
15.4. Multiplizierer und Quadrierschaltungen	381
15.4.1. Multiplizierer mit variabler Steilheit	382
15.4.2. Logarithmier- und Delogarithmiermultiplizierer	386
15.4.3. Pulsmodulationsmultiplizierer	387
15.4.4. Weitere Varianten von Multiplizierern	388
15.5. Dividierer und Radizierer	388
15.5.1. Inverser Multiplizierer	389
15.5.2. Dividierer mit variabler Steilheit	389
15.5.3. Logarithmier- und Delogarithmierdividierer	389
15.5.4. Radizierer	390
16. Unstetig nichtlineare und rheoliner Schaltungen	391
16.1. „Ideale Diode“	391
16.2. Begrenzer	393
16.2.1. Serien- und Parallelbegrenzer. Totzone	393
16.2.2. Präzisionsbegrenzer	394
16.3. Gleichrichterschaltungen	396
16.3.1. Klassifizierung	396
16.3.2. Gleichrichterschaltungen für kleine Signale	397
16.4. Abtast- und Halteschaltung (Sample and hold)	402
16.5. Diodenfunktionsgeneratoren	405
16.6. Analogkomparatoren (Spannungskomparatoren)	406
16.6.1. Statisches Verhalten	407
16.6.2. Dynamisches Verhalten	408
16.6.3. Komparatoranwendungen ohne Kippverhalten	409
16.6.4. Komparatoranwendungen mit Kippverhalten	411
17. Analogschalter. Analogmultiplexer	415
17.1. Analogschalter	415
17.1.1. Wirkungsprinzip	415
17.1.2. FET als Analogschalter	416
17.1.3. Schaltungsbeispiele	416
17.1.4. Nichtideales Verhalten	418
17.2. Analogmultiplexer	420
18. Signalgeneratoren	423
18.1. Prinzip des rückgekoppelten Oszillators	424
18.2. Rechteckgenerator	425
18.3. Dreieckgenerator	426

18.4. Univibrator	429
18.5. Sinusgeneratoren	430
18.5.1. RC-Oszillatoren	432
18.5.1.1. Phasenschieberoszillator	433
18.5.1.2. Wienbrückenoszillator	434
18.5.2. LC-Oszillatoren	438
18.5.2.1. Induktive Kopplung.....	438
18.5.2.2. Allgemeine Form einer rückgekoppelten Oszillatorschaltung	439
18.5.2.3. Dreipunktschaltungen	440
18.5.3. Quarzoszillatoren	442
18.5.4. Synthetische Schwingungserzeugung	446
18.6. Gesteuerte Oszillatoren	446
19. Frequenzumsetzung	448
19.1. Modulatoren und Demodulatoren	448
19.1.1. Amplitudenmodulatoren und -demodulatoren	448
19.1.2. Frequenzmodulatoren und -demodulatoren	453
19.1.3. Pulsdauermodulator	455
19.2. Mischstufen	455
19.2.1. Additive Mischung	456
19.2.2. Multiplikative Mischung	457
19.3. Frequenzverdopplung	458
19.4. Phasenregelkreis (PLL)	459
19.4.1. Wirkungsweise	459
19.4.2. Elemente des Phasenregelkreises	463
19.4.3. Anwendungen	464
20. Analoge Schaltungen mit Optokopplern	467
20.1. Optokoppler	467
20.2. Grundsaltungen mit Optokopplern	471
20.3. Servo-Optokoppler-Schaltung	472
20.4. Differenz-Optokoppler-Schaltung	473
20.5. Modulationsverstärker mit Optokopplern	474
21. Analog-Digital- und Digital-Analog-Umsetzer	476
21.1. Digital-Analog-Umsetzer	476
21.1.1. Einführung	476
21.1.2. Parallele DA-Umsetzer	480
21.1.3. Indirekte DA-Umsetzer (serielle DAU)	485
21.1.4. Mikroprozessorkompatibilität	486
21.1.5. Anwendungen von DA-Umsetzern	489
21.1.6. Auswahl industrieller DA-Umsetzer	490
21.2. Analog-Digital-Umsetzer	493
21.2.1. Einführung	493
21.2.2. Klassifizierung.....	496
21.2.3. Parallelverfahren.....	499
21.2.4. Wägeverfahren (Sukzessive Approximation)	500
21.2.5. Zählverfahren (Serielle ADU)	505
21.2.5.1. Nachlauf- und Stufenrampen-AD-Umsetzer	506

21.2.5.2. Einflanken-AD-Umsetzer (Single-Slope)	508
21.2.5.3. Zweiflanken-AD-Umsetzer (Dual-Slope)	509
21.2.5.4. AD-Umsetzer mit Ladungsmengenkompensation (Ladungsausgleichsverfahren)	515
21.2.5.5. Delta-Sigma-AD-Umsetzer. Oversampling	520
21.2.6. AD-Umsetzer mit direkter Mitwirkung eines Mikrorechners	524
21.2.7. Mikroprozessorkompatibilität	525
21.2.8. Anwendungsgesichtspunkte	526
21.2.9. Auswahl industrieller AD-Umsetzer	529
22. Stromversorgung	536
22.1. Netztransformator und Gleichrichter	537
22.1.1. Einweggleichrichter (Halbwelligleichrichter)	539
22.1.2. Zweiweggleichrichter (Vollweggleichrichter)	541
22.1.3. Glättung der gleichgerichteten Spannung	543
22.1.4. Spannungsverdoppler- und Spannungsvervielfacherschaltungen	544
22.1.5. Siebglieder	545
22.2. Stabilisierungsschaltungen (stetig wirkend)	546
22.2.1. Schaltungen ohne Regelung	546
22.2.2. Schaltungen mit stetiger Regelung	547
22.2.2.1. Allgemeines	547
22.2.2.2. Praktisches Beispiel: Elektronisch stabilisierte Spannungsquelle für zwei Ausgangsspannungen unterschiedlicher Polarität	549
22.2.2.3. Überlastungsschutz	549
22.2.2.4. Umwandlung einer unipolaren in eine bipolare Spannung	552
22.2.2.5. Integrierte Spannungsstabilisatoren	552
22.3. Schaltregler als Gleichspannungswandler (dc/dc-Konverter)	554
22.3.1. Abwärtsregler (Buck-converter)	555
22.3.2. Aufwärtsregler (Boost-converter)	560
22.3.3. Spannungsinverter (Flyback-converter)	561
22.3.4. „Eisenloser“ Spannungswandler	561
22.4. Schaltnetzteile	563
22.4.1. Wirkprinzip, Eigenschaften	563
22.4.2. Gleichspannungswandler	565
22.4.2.1. Sperrwandler	567
22.4.2.1.1. Wirkungsweise	567
22.4.2.1.2. Schalttransistor	568
22.4.2.1.3. Transformator	570
22.4.2.1.4. Dimensionierung	573
22.4.2.1.5. Varianten beim Sperrwandler	573
22.4.2.2. Durchfußwandler	574
22.4.2.3. Gegentaktwandler	575
22.4.3. Regelschaltung, Schaltnetzteil-Ansteuerschaltkreis B 260	575
22.4.4. Beispiel eines Schaltnetzteils	578
22.4.5. Weiterer Trend	580
22.5. Pufferbetrieb, Funkentstörung	580
22.6. Zukünftige Entwicklung	581
Literaturverzeichnis	582
Register	589