

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	1
1.1 Motivation für die analoge Schaltungstechnik	1
1.2 Wichtige Grundbegriffe	3
2. Entwicklungs- und Analysemethodik	9
2.1 Methodik zur Elektroniksystementwicklung	9
2.1.1 Prozessablauf bei der Elektroniksystementwicklung	9
2.1.2 Beispiele für Anwendungen der analogen Schaltungstechnik	15
2.1.3 Technologien zur Realisierung von Schaltungen	20
2.1.4 Strukturierung der Schaltungstechnik	21
2.1.5 Prozessablauf bei der Schaltungsentwicklung	27
2.2 Schaltungsanalyse mit PSpice	31
2.2.1 Prozessablauf bei der Schaltkreissimulation	31
2.2.2 Beschreibung und Analyse einer Testanordnung	37
2.2.3 DC/AC/TR-Analyse dargestellt an einer Beispielschaltung	48
2.2.4 Analyse einer nichtlinearen Schaltung im Arbeitspunkt	60
2.2.5 Detektorschaltung mit Arbeitspunkteinstellung	63
2.3 Abschätzanalyse	66
2.3.1 Zur Systematik bei der Abschätzanalyse	66
2.3.2 Frequenzbereichsanalyse – Bodediagramm	70
2.4 Wärmeflussanalyse	83
2.5 Die Hardwarebeschreibungssprache VHDL-AMS	89
3. Modelle von Halbleiterbauelementen	105
3.1 Modellbeschreibungen von Dioden	105
3.1.1 Modellbeschreibungen einer Diode für die Schaltkreissimulation	105
3.1.2 Vereinfachte Modelle für die Abschätzanalyse	115
3.1.3 Modellbeschreibung einer Diode in VHDL-AMS	116
3.2 Grundlagen des Rauschens	117
3.2.1 Zur Beschreibung von Rauschgrößen	118
3.2.2 Modellierung von Rauschquellen	121
3.3 Modellbeschreibungen für Bipolartransistoren	127
3.3.1 Wichtige Kennlinien eines Bipolartransistors	127

3.3.2	Physikalischer Aufbau und Grundmodell	132
3.3.3	DC-Modellvarianten für die Abschätzung	139
3.3.4	AC-Modellvarianten für die Abschätzung	142
3.3.5	Rauschen eines BJT-Verstärkers	144
3.3.6	Gummel-Poon Modell	147
3.3.7	Verhaltensmodell in VHDL-AMS	152
3.4	Modellbeschreibungen von Feldeffekttransistoren	155
3.4.1	Aufbau, Eigenschaften und Kennlinien von Sperrsicht-FETs	155
3.4.2	AC-Modell und Rauschen von Sperrsicht-FETs	162
3.4.3	Aufbau, Eigenschaften und Kennlinien von Isoliersicht-FETs	163
3.4.4	Grundmodell eines Isoliersicht-FETs	167
3.4.5	AC-Modell und Rauschen von Isoliersicht-FETs	169
3.4.6	MOSFET-Level-i Modelle	170
3.4.7	Verhaltensmodell in VHDL-AMS	172
4.	Grundlegende Funktionsprimitive	175
4.1	Passive Funktionsgrundschaltungen	175
4.1.1	Passiver Integrator und Differenziator	175
4.1.2	Kapazitiver Spannungsteiler	177
4.1.3	Frequenzkompensierter Spannungsteiler	178
4.1.4	Übertrager	181
4.1.5	RC-Resonator	182
4.1.6	LC-Resonatoren	184
4.1.7	Angepasster Tiefpass/Hochpass	190
4.2	Funktionsgrundschaltungen mit Dioden	192
4.2.1	Gleichrichterschaltungen und Spannungsvervielfacher	192
4.2.2	Anwendungen der Diode als Spannungsquelle	200
4.2.3	Signaldetektorschaltungen	201
4.2.4	Begrenzer-, Klemm- und Schutzschaltungen	210
4.2.5	Wirkprinzip von Schaltnetzteilen	214
5.	Linearverstärker	217
5.1	Eigenschaften von Linearverstärkern und Makromodelle	217
5.1.1	Grundmodell eines Linearverstärkers	217
5.1.2	Schnittstellenverhalten	224
5.1.3	Aussteuergrenzen eines Linearverstärkers	226
5.1.4	Rauschen von Verstärkern	230
5.2	Rückgekoppelte Linearverstärker	235
5.2.1	Rückkopplung allgemein und Schwingbedingung	236
5.2.2	Frequenzgang des rückgekoppelten Systems	242
5.2.3	Seriengegengekoppelte LV mit gesteuerter Spannungsquelle	245

5.2.4 Seriengegengekoppelte LV mit gesteuerter Stromquelle	247
5.2.5 Parallelgegengekoppelte LV mit gesteuerter Spannungsquelle	250
5.2.6 Parallelgegengekoppelte LV mit gesteuerter Stromquelle	254
5.3 Stabilität und Frequenzgangkorrektur von LV	256
5.3.1 Analyse der Schleifenverstärkung	257
5.3.2 Frequenzgangkorrektur des Geradeausverstärkers	258
5.3.3 Frequenzgangkorrektur am Rückkopplungsnetzwerk	264
5.4 Operationsverstärker	271
5.4.1 Erweiterung des Makromodells	271
5.4.2 Gleichtaktunterdrückung und Aussteuergrenzen von OPs	278
5.4.3 Einflüsse der DC-Parameter auf die Ausgangsoffsetspannung	282
5.4.4 Rauschen von OP-Verstärkern	285
5.4.5 Slew-Rate Verhalten eines OP-Verstärkers	287
5.5 OP-Verstärkeranwendungen	291
5.5.1 Instrumentenverstärker	291
5.5.2 Sensorverstärker	292
5.5.3 Treppengenerator	293
5.5.4 Kompressor/Expander-Verstärker	295
5.5.5 Aktive Signaldetektoren	296
5.5.6 Tachometerschaltung zur analogen Frequenzbestimmung	297
5.5.7 Analoge Filterschaltungen	298
5.5.8 Virtuelle Induktivität	303
5.5.9 Schmitt-Trigger	304
5.5.10 Astabiler Multivibrator	306
5.5.11 Negative-Impedance-Converter	307
6. Funktionsschaltungen mit Bipolartransistoren	309
6.1 Vorgehensweise bei der Abschätzanalyse	309
6.1.1 Vorgehensweise bei der DC-Analyse	309
6.1.2 Vorgehensweise bei der AC-Analyse	310
6.1.3 Seriengegengekoppelter Transistor	311
6.1.4 Parallelgegengekoppelter Transistor	314
6.2 Arbeitspunkteinstellung und Stabilität	316
6.2.1 Schaltungsvarianten zur Arbeitspunkteinstellung	317
6.2.2 Arbeitspunktbestimmung und Arbeitspunktstabilität	322
6.3 Wichtige Funktionsprimitive mit BJTs	331
6.3.1 RC-Verstärker in Emittergrundschaltung	331
6.3.2 RC-Verstärker in Basisgrundschaltung	340
6.3.3 Emitterfolger	346
6.3.4 Der Bipolartransistor als Spannungsquelle	350

6.3.5	Der Bipolartransistor als Stromquelle	352
6.3.6	Darlingtonstufen	355
6.3.7	Kaskode-Schaltung	360
6.3.8	Verstärker mit Stromquelle als Last	363
6.4	Schalteranwendungen des Bipolartransistors.	366
6.4.1	Spannungsgesteuerter Schalter	366
6.4.2	Gegentaktschalter	372
6.5	Beispiele von Funktionsschaltungen	375
6.5.1	Logarithmischer Verstärker.	375
6.5.2	Optischer Empfänger.	376
6.5.3	AM/FM-modulierbarer Oszillator.	379
7.	Funktionsschaltungen mit FETs	387
7.1	Vorgehensweise bei der Abschätzanalyse	387
7.1.1	Vorgehensweise bei der DC-Analyse	388
7.1.2	Vorgehensweise bei der AC-Analyse	388
7.2	Arbeitspunkteinstellung und Arbeitspunktstabilität	389
7.3	Anwendungsschaltungen mit Feldeffekttransistoren.	397
7.3.1	Verstärkerschaltungen mit Feldeffekttransistoren.	398
7.3.2	Anwendung des Linearbetriebs von Feldeffekttransistoren	410
7.4	Digitale Anwendungsschaltungen mit MOSFETs	415
7.4.1	NMOS-Inverter	415
7.4.2	CMOS-Inverter	424
7.4.3	Schalter-Kondensator-Technik	434
7.5	Beispiele von Funktionsschaltungen	439
7.5.1	Spannungsgesteuerter Oszillator.	439
7.5.2	Phasenvergleicher	441
7.5.3	Induktiver Abstandssensor	444
7.5.4	Sekundär getaktetes Schaltnetzteil	448
8.	Gemischte Funktionsprimitive und Funktionsschaltungen	451
8.1	Differenzstufen.	451
8.1.1	Emittergekoppelte Differenzstufen	451
8.1.2	Basisgekoppelte Differenzstufen.	465
8.1.3	Differenzstufen in Kaskodeschaltung	476
8.1.4	Differenzstufen mit Feldeffekttransistoren	480
8.2	Konstantstrom- und Konstantspannungsquellen.	485
8.2.1	Konstantstromquellen	485
8.2.2	Konstantspannungsquellen	492
8.3	Schaltungsbeispiele zur Potenzialverschiebung	495

8.4 Schaltungsbeispiele für Treiberstufen	498
8.4.1 Treiberstufen im A-Betrieb.....	499
8.4.2 Komplementäre Emitterfolger im AB-Betrieb	508
8.4.3 Klasse D Verstärker.....	514
8.5 Beispiele von Funktionsschaltungen	516
8.5.1 OP-Verstärker uA741 – Abschätzanalyse.....	516
8.5.2 Zweistufiger Linearverstärker mit BJTs	519
8.5.3 Regelverstärker mit BJTs	527
8.5.4 Doppelgegentakt-Mischer.....	529
8.6 PLL-Schaltkreise	532
8.6.1 Aufbau und Wirkungsprinzip	532
8.6.2 Funktionsbausteine einer PLL.....	535
8.6.3 Systemverhalten	548
8.6.4 Anwendungen	556
8.7 Funktionsmodule von Funkempfängern	558
8.7.1 Modulationsverfahren	559
8.7.2 Bestandteile eines Funkempfängers	568
9. Analog/Digitale Schnittstelle	575
9.1 Zur Charakterisierung einer Logikfunktion	575
9.1.1 Modellbeschreibung einer Logikfunktion	576
9.1.2 Ereignissesteuerung	583
9.1.3 Entsprechungen zwischen Schematic- und VHDL-Beschreibung	587
9.2 Digital/Analog Wandlung	587
9.3 Abtastung analoger Signale	592
9.3.1 Abtasttheorem	592
9.3.2 Quantisierungsrauschen.....	593
9.3.3 Abtasthalteschaltungen	594
9.4 Analog/Digital Wandlung	597
9.4.1 Zählverfahren	597
9.4.2 Sukzessive Approximationsverfahren.....	600
9.4.3 Parallelverfahren	604
9.5 Delta-Sigma Wandler	609
9.5.1 Zum Aufbau von Delta-Sigma Wandlern	609
9.5.2 Rauschverhalten und Rauschformung.....	615
Formelzeichen	619
Empfohlene Literatur	624
Stichwortverzeichnis	626