

# Übersicht

<b>Teil I. Grundlagen</b>	<b>1</b>
1. Diode	3
2. Bipolartransistor	35
3. Feldeffekttransistor	171
4. Verstärker	271
5. Operationsverstärker	491
6. Kippschaltungen	597
7. Digitaltechnik Grundlagen	621
8. Schaltnetze (Kombinatorische Logik)	649
9. Schaltwerke (Sequentielle Logik)	675
10. Halbleiterspeicher	711
<b>Teil II. Anwendungen</b>	<b>749</b>
11. Lineare und nichtlineare Analogrechenschaltungen	751
12. Gesteuerte Quellen und Impedanzkonverter	793
13. Aktive Filter	815
14. Signalgeneratoren	873
15. Leistungsverstärker	899
16. Stromversorgung	919
17. Analogschalter und Abtast-Halte-Glieder	965
18. DA- und AD-Umsetzer	983
19. Digitale Filter	1019
20. Messschaltungen	1069
21. Sensorik	1097
22. Elektronische Regler	1143
23. Optoelektronische Bauelemente	1167
<b>Teil III. Schaltungen der Nachrichtentechnik</b>	<b>1187</b>
24. Grundlagen	1189
25. Sender und Empfänger	1279
26. Passive Komponenten	1325
27. Hochfrequenz-Verstärker	1363
28. Mischer	1407
29. Anhang	1477
Literaturverzeichnis	1591
Sachverzeichnis	1599

# Inhaltsverzeichnis

<b>Teil I. Grundlagen</b>	<b>1</b>
<b>1. Diode</b>	<b>3</b>
1.1 Verhalten einer Diode	4
1.1.1 Kennlinie	4
1.1.2 Beschreibung durch Gleichungen	5
1.1.3 Schaltverhalten	8
1.1.4 Kleinsignalverhalten	10
1.1.5 Grenzdaten und Sperrströme	11
1.1.6 Thermisches Verhalten	12
1.1.7 Temperaturabhängigkeit der Diodenparameter	12
1.2 Aufbau einer Diode	13
1.2.1 Einzeldiode	14
1.2.2 Integrierte Diode	15
1.3 Modell für eine Diode	16
1.3.1 Statisches Verhalten	16
1.3.2 Dynamisches Verhalten	19
1.3.3 Kleinsignalmodell	23
1.4 Spezielle Dioden und ihre Anwendung	25
1.4.1 Z-Diode	25
1.4.2 pin-Diode	28
1.4.3 Kapazitätsdiode	29
1.4.4 Brückengleichrichter	31
1.4.5 Mischer	32
<b>2. Bipolartransistor</b>	<b>35</b>
2.1 Verhalten eines Bipolartransistors	36
2.1.1 Kennlinien	36
2.1.2 Beschreibung durch Gleichungen	38
2.1.3 Verlauf der Stromverstärkung	39
2.1.4 Arbeitspunkt und Kleinsignalverhalten	41
2.1.5 Grenzdaten und Sperrströme	47
2.1.6 Thermisches Verhalten	51
2.1.7 Temperaturabhängigkeit der Transistorparameter	55
2.2 Aufbau eines Bipolartransistors	56
2.2.1 Einzeltransistoren	57
2.2.2 Integrierte Transistoren	58

2.3	Modelle für den Bipolartransistor . . . . .	60
2.3.1	Statisches Verhalten . . . . .	60
2.3.2	Dynamisches Verhalten . . . . .	70
2.3.3	Kleinsignalmodell . . . . .	77
2.3.4	Rauschen . . . . .	84
2.4	Grundsaltungen . . . . .	97
2.4.1	Emitterschaltung . . . . .	99
2.4.2	Kollektorschaltung . . . . .	134
2.4.3	Basisschaltung . . . . .	151
2.4.4	Darlington-Schaltung . . . . .	162
<b>3.</b>	<b>Feldeffekttransistor</b>	<b>171</b>
3.1	Verhalten eines Feldeffekttransistors . . . . .	172
3.1.1	Kennlinien . . . . .	174
3.1.2	Beschreibung durch Gleichungen . . . . .	177
3.1.3	Feldeffekttransistor als steuerbarer Widerstand . . . . .	181
3.1.4	Arbeitspunkt und Kleinsignalverhalten . . . . .	183
3.1.5	Grenzdaten und Sperrströme . . . . .	187
3.1.6	Thermisches Verhalten . . . . .	191
3.1.7	Temperaturabhängigkeit der Fet-Parameter . . . . .	191
3.2	Aufbau eines Feldeffekttransistors . . . . .	194
3.2.1	Integrierte Mosfets . . . . .	194
3.2.2	Einzel-Mosfets . . . . .	196
3.2.3	Sperrschicht-Fets . . . . .	199
3.2.4	Gehäuse . . . . .	199
3.3	Modelle für den Feldeffekttransistor . . . . .	199
3.3.1	Statisches Verhalten . . . . .	200
3.3.2	Dynamisches Verhalten . . . . .	208
3.3.3	Kleinsignalmodell . . . . .	217
3.3.4	Rauschen . . . . .	225
3.4	Grundsaltungen . . . . .	232
3.4.1	Sourceschaltung . . . . .	233
3.4.2	Drainschaltung . . . . .	254
3.4.3	Gateschaltung . . . . .	264
<b>4.</b>	<b>Verstärker</b>	<b>271</b>
4.1	Schaltungen . . . . .	273
4.1.1	Stromquellen und Stromspiegel . . . . .	279
4.1.2	Kaskodeschaltung . . . . .	316
4.1.3	Differenzverstärker . . . . .	330
4.1.4	Impedanzwandler . . . . .	389
4.1.5	Schaltungen zur Arbeitspunkteinstellung . . . . .	400
4.2	Eigenschaften und Kenngrößen . . . . .	414
4.2.1	Kennlinien . . . . .	414
4.2.2	Kleinsignal-Kenngrößen . . . . .	417

4.2.3	Nichtlineare Kenngrößen .....	431
4.2.4	Rauschen .....	448
<b>5.</b>	<b>Operationsverstärker .....</b>	<b>491</b>
5.1	Übersicht .....	491
5.1.1	Operationsverstärker-Typen .....	493
5.1.2	Prinzip der Gegenkopplung .....	495
5.2	Der normale Operationsverstärker (VV-OPV) .....	500
5.2.1	Das Prinzip .....	501
5.2.2	Universalverstärker .....	503
5.2.3	Betriebsspannungen .....	506
5.2.4	Single-Supply-Verstärker .....	507
5.2.5	Rail-to-Rail-Verstärker .....	509
5.2.6	Breitband-Operationsverstärker .....	513
5.2.7	Frequenzgang-Korrektur .....	518
5.2.8	Parameter von Operationsverstärkern .....	533
5.3	Der Transkonduktanz-Verstärker (VC-OPV) .....	551
5.3.1	Innerer Aufbau .....	551
5.3.2	Typische Anwendung .....	554
5.4	Der Transimpedanz-Verstärker (CV-OPV) .....	555
5.4.1	Innerer Aufbau .....	555
5.4.2	Frequenzverhalten .....	559
5.4.3	Typische Anwendungen .....	562
5.5	Der Strom-Verstärker (CC-OPV) .....	563
5.5.1	Innerer Aufbau .....	563
5.5.2	Typische Anwendung .....	565
5.6	Vergleich .....	575
5.6.1	Praktischer Einsatz .....	581
5.6.2	Typen .....	583
<b>6.</b>	<b>Kippschaltungen .....</b>	<b>597</b>
6.1	Der Transistor als digitales Bauelement .....	597
6.2	Kippschaltungen mit gesättigten Transistoren .....	600
6.2.1	Bistabile Kippschaltung .....	601
6.2.2	Monostabile Kippschaltungen .....	603
6.2.3	Astable Kippschaltung .....	604
6.3	Kippschaltungen mit emittergekoppelten Transistoren .....	605
6.3.1	Emittergekoppelter Schmitt-Trigger .....	605
6.3.2	Emittergekoppelter Multivibrator .....	606
6.4	Kippschaltungen mit Gattern .....	607
6.4.1	Flip-Flop .....	608
6.4.2	Univibrator .....	608
6.4.3	Multivibrator .....	609

6.5	Kippschaltungen mit Komparatoren .....	611
6.5.1	Komparatoren .....	611
6.5.2	Schmitt-Trigger .....	612
6.5.3	Multivibratoren .....	615
6.5.4	Univibratoren .....	618
<b>7.</b>	<b>Digitaltechnik Grundlagen</b> .....	<b>621</b>
7.1	Die logischen Grundfunktionen .....	621
7.2	Aufstellung logischer Funktionen .....	624
7.2.1	Das Karnaugh-Diagramm .....	625
7.3	Abgeleitete Grundfunktionen .....	627
7.4	Schaltungstechnische Realisierung der Grundfunktionen .....	629
7.4.1	Widerstands-Transistor-Logik (RTL) .....	630
7.4.2	Dioden-Transistor-Logik (DTL) .....	630
7.4.3	Langsame Störsichere Logik (LSL) .....	631
7.4.4	Transistor-Transistor-Logik (TTL) .....	632
7.4.5	Emittergekoppelte Logik (ECL) .....	636
7.4.6	Komplementäre MOS-Logik (CMOS) .....	639
7.4.7	NMOS-Logik .....	642
7.4.8	Übersicht .....	643
7.5	Verbindungsleitungen .....	646
<b>8.</b>	<b>Schaltnetze (Kombinatorische Logik)</b> .....	<b>649</b>
8.1	Zahlendarstellung .....	650
8.1.1	Positive ganze Zahlen im Dualcode .....	651
8.1.2	Positive ganze Zahlen im BCD-Code .....	651
8.1.3	Ganze Dualzahlen mit beliebigem Vorzeichen .....	652
8.1.4	Festkomma-Dualzahlen .....	655
8.1.5	Gleitkomma-Dualzahlen .....	655
8.2	Multiplexer .....	658
8.2.1	1-aus-n-Decoder .....	658
8.2.2	Demultiplexer .....	659
8.2.3	Multiplexer .....	659
8.3	Prioritäts-Decoder .....	661
8.4	Schiebelogik (Barrel Shifter) .....	661
8.5	Komparatoren .....	663
8.6	Addierer .....	665
8.6.1	Halbaddierer .....	665
8.6.2	Volladdierer .....	666
8.6.3	Parallele Übertragslogik .....	667
8.6.4	Subtraktion .....	669
8.6.5	Zweierkomplement-Überlauf .....	670
8.6.6	Addition und Subtraktion von Gleitkomma-Zahlen .....	670

8.7	Multiplizierer .....	671
8.7.1	Multiplikation von Festkomma-Zahlen .....	671
8.7.2	Multiplikation von Gleitkomma-Zahlen .....	673
<b>9.</b>	<b>Schaltwerke (Sequentielle Logik)</b> .....	<b>675</b>
9.1	Integrierte Flip-Flops .....	675
9.1.1	Transparente Flip-Flops .....	675
9.1.2	Flip-Flops mit Zwischenspeicherung .....	677
9.2	Dualzähler .....	682
9.2.1	Asynchroner Dualzähler .....	683
9.2.2	Synchrone Dualzähler .....	684
9.2.3	Vorwärts-Rückwärtszähler .....	686
9.3	BCD-Zähler im 8421-Code .....	689
9.3.1	Asynchroner BCD-Zähler .....	689
9.3.2	Synchrone BCD-Zähler .....	691
9.4	Vorwahlzähler .....	692
9.5	Schieberegister .....	693
9.5.1	Grundschialtung .....	693
9.5.2	Schieberegister mit Paralleleingabe .....	694
9.6	Aufbereitung asynchroner Signale .....	694
9.6.1	Entprellung mechanischer Kontakte .....	695
9.6.2	Flankengetriggertes RS-Flip-Flop .....	695
9.6.3	Synchronisation von Impulsen .....	696
9.6.4	Synchrone Monoflop .....	697
9.6.5	Synchrone Änderungsdetektor .....	698
9.6.6	Synchrone Taktschalter .....	699
9.7	Systematischer Entwurf von Schaltwerken .....	699
9.7.1	Zustandsdiagramm .....	699
9.7.2	Entwurfsbeispiel für einen umschaltbaren Zähler .....	701
9.7.3	Reduzierung des Speicherplatzbedarfs .....	703
9.8	Abhängigkeitsnotation .....	707
<b>10.</b>	<b>Halbleiterspeicher</b> .....	<b>711</b>
10.1	Schreib-Lese-Speicher (RAM) .....	713
10.1.1	Statische RAMs .....	713
10.1.2	Dynamische RAMs .....	716
10.2	RAM-Erweiterungen .....	720
10.2.1	Zweitortspeicher .....	720
10.2.2	RAM als Schieberegister .....	722
10.2.3	First-In-First-Out Memories (FIFO) .....	723
10.2.4	Fehler-Erkennung und -Korrektur .....	725
10.3	Festwertspeicher (ROM) .....	730
10.3.1	Masken-ROMs .....	730
10.3.2	Programmierbare Festwertspeicher (PROM) .....	730
10.3.3	UV-löschbare Festwertspeicher (EPROM) .....	732
10.3.4	Elektrisch löschbare Festwertspeicher (EEPROMs) .....	733

10.4	Programmierbare logische Bauelemente (PLD) .....	736
10.4.1	Programmable Array Logic (PAL) .....	738
10.4.2	Computer-gestützter PLD-Entwurf .....	741
10.4.3	Typenübersicht .....	743
10.4.4	Anwender-programmierbare Gate-Arrays .....	746

**Teil II. Anwendungen** **749**

**11. Lineare und nichtlineare Analogrechsaltungen** **751**

11.1	Addierer .....	751
11.2	Subtrahierer .....	752
11.2.1	Rückführung auf die Addition .....	752
11.2.2	Subtrahierer mit einem Operationsverstärker .....	753
11.3	Bipolares Koeffizientenglied .....	755
11.4	Integratoren .....	756
11.4.1	Umkehrintegrator .....	756
11.4.2	Anfangsbedingung .....	759
11.4.3	Summationsintegrator .....	760
11.4.4	Nicht invertierender Integrator .....	760
11.5	Differentiatoren .....	761
11.5.1	Prinzipschaltung .....	761
11.5.2	Praktische Realisierung .....	762
11.5.3	Differentiator mit hohem Eingangswiderstand .....	763
11.6	Lösung von Differentialgleichungen .....	764
11.7	Funktionsnetzwerke .....	765
11.7.1	Logarithmus .....	766
11.7.2	Exponentialfunktion .....	769
11.7.3	Bildung von Potenzfunktionen über Logarithmen .....	771
11.7.4	Sinus- und Cosinusfunktion .....	771
11.7.5	Einstellbares Funktionsnetzwerk .....	777
11.8	Analog-Multiplizierer .....	780
11.8.1	Multiplizierer mit logarithmierenden Funktionsgeneratoren ...	780
11.8.2	Steilheits-Multiplizierer .....	781
11.8.3	Multiplizierer mit elektrisch isolierten Kopplern .....	786
11.8.4	Abgleich von Multiplizierern .....	787
11.8.5	Erweiterung von Ein- und Zweiquadrantenmultiplizierern zu Vierquadrantenmultiplizierern .....	788
11.8.6	Multiplizierer als Dividierer und Radizierer .....	789
11.9	Koordinatentransformation .....	790
11.9.1	Transformation von Polarkoordinaten in kartesische Koordinaten	790
11.9.2	Transformation von kartesischen Koordinaten in Polarkoordinaten .....	791

<b>12. Gesteuerte Quellen und Impedanzkonverter</b>	<b>793</b>
12.1 Spannungsgesteuerte Spannungsquellen	793
12.2 Stromgesteuerte Spannungsquellen	794
12.3 Spannungsgesteuerte Stromquellen	795
12.3.1 Stromquellen für erdfreie Verbraucher	795
12.3.2 Stromquellen für geerdete Verbraucher	797
12.3.3 Transistor-Präzisionsstromquellen	799
12.3.4 Schwimmende Stromquellen	804
12.4 Stromgesteuerte Stromquellen	805
12.5 Der NIC (Negative Impedance Converter)	806
12.6 Der Gyrator	808
12.7 Der Zirkulator	811
<b>13. Aktive Filter</b>	<b>815</b>
13.1 Theoretische Grundlagen von Tiefpassfiltern	815
13.1.1 Butterworth-Tiefpässe	819
13.1.2 Tschebyscheff-Tiefpässe	821
13.1.3 Bessel-Tiefpässe	824
13.1.4 Zusammenfassung der Theorie	827
13.2 Tiefpass-Hochpass-Transformation	835
13.3 Realisierung von Tief- und Hochpassfiltern 1. Ordnung	835
13.4 Realisierung von Tief- und Hochpassfiltern 2. Ordnung	837
13.4.1 LRC-Filter	838
13.4.2 Filter mit Mehrfachgegenkopplung	838
13.4.3 Filter mit Einfachmitkopplung	839
13.5 Realisierung von Tief- und Hochpassfiltern höherer Ordnung	842
13.6 Tiefpass-Bandpass-Transformation	844
13.6.1 Bandpassfilter 2. Ordnung	845
13.6.2 Bandpassfilter 4. Ordnung	846
13.7 Realisierung von Bandpassfiltern 2. Ordnung	848
13.7.1 LRC-Filter	849
13.7.2 Bandpass mit Mehrfachgegenkopplung	849
13.7.3 Bandpass mit Einfachmitkopplung	851
13.8 Tiefpass-Bandsperren-Transformation	852
13.9 Realisierung von Sperrfiltern 2. Ordnung	853
13.9.1 LRC-Sperrfilter	853
13.9.2 Aktive Doppel-T-Bandsperre	854
13.9.3 Aktive Wien–Robinson-Bandsperre	855
13.10 Allpässe	856
13.10.1 Grundlagen	856
13.10.2 Realisierung von Allpässen 1. Ordnung	858
13.10.3 Realisierung von Allpässen 2. Ordnung	859
13.11 Einstellbare Universalfilter	860



13.12	Switched-Capacitor-Filter .....	866
13.12.1	Grundprinzip .....	866
13.12.2	Der SC-Integrator .....	867
13.12.3	SC-Filter 1. Ordnung .....	867
13.12.4	SC-Filter 2. Ordnung .....	868
13.12.5	Integrierte Realisierung von SC-Filtern .....	870
13.12.6	Allgemeine Gesichtspunkte beim Einsatz von SC-Filtern .....	870
13.12.7	Typenübersicht .....	870
<b>14.</b>	<b>Signalgeneratoren</b> .....	<b>873</b>
14.1	LC-Oszillatoren .....	873
14.1.1	Schwingbedingung .....	873
14.1.2	Meißner-Schaltung .....	875
14.1.3	Hartley-Schaltung (induktive Dreipunktschaltung) .....	876
14.1.4	Colpitts-Oszillator (kapazitive Dreipunktschaltung) .....	877
14.1.5	Emittergekoppelter LC-Oszillator .....	878
14.1.6	Gegentaktoszillatoren .....	878
14.2	Quarzoszillatoren .....	879
14.2.1	Elektrische Eigenschaften eines Schwingquarzes .....	880
14.2.2	Grundwellen-Oszillatoren .....	881
14.2.3	Oberwellen-Oszillatoren .....	883
14.3	Wien-Brücken-Oszillatoren .....	884
14.4	Analogrechner-Oszillatoren .....	888
14.5	Funktionsgeneratoren .....	891
14.5.1	Prinzipielle Anordnung .....	891
14.5.2	Praktische Realisierung .....	892
14.5.3	Funktionsgeneratoren mit steuerbarer Frequenz .....	893
14.5.4	Funktionsgeneratoren zur gleichzeitigen Erzeugung von Sinus- und Cosinus-Schwingungen .....	896
<b>15.</b>	<b>Leistungsverstärker</b> .....	<b>899</b>
15.1	Emitterfolger als Leistungsverstärker .....	899
15.2	Komplementäre Emitterfolger .....	901
15.2.1	Komplementäre Emitterfolger in B-Betrieb .....	901
15.2.2	Komplementäre Emitterfolger in AB-Betrieb .....	903
15.2.3	Erzeugung der Vorspannung .....	904
15.3	Komplementäre Darlington-Schaltungen .....	906
15.4	Komplementäre Sourcefolger .....	907
15.5	Elektronische Strombegrenzung .....	909
15.6	Vier-Quadranten-Betrieb .....	911
15.7	Dimensionierung einer Leistungsendstufe .....	912
15.8	Ansteuerschaltungen mit Spannungsverstärkung .....	914
15.9	Erhöhung des Ausgangsstromes integrierter Operationsverstärker .....	916

<b>16. Stromversorgung</b>	<b>919</b>
16.1	Eigenschaften von Netztransformatoren . . . . . 919
16.2	Netzgleichrichter . . . . . 920
16.2.1	Einweggleichrichter . . . . . 920
16.2.2	Brückengleichrichter . . . . . 921
16.2.3	Mittelpunkt-Schaltung . . . . . 925
16.3	Lineare Spannungsregler . . . . . 926
16.3.1	Einfachste Ausführung . . . . . 926
16.3.2	Spannungsregler mit fester Ausgangsspannung . . . . . 927
16.3.3	Spannungsregler mit einstellbarer Ausgangsspannung . . . . . 929
16.3.4	Spannungsregler mit geringem Spannungsverlust . . . . . 930
16.3.5	Spannungsregler für negative Spannungen . . . . . 932
16.3.6	Symmetrische Aufteilung einer erdfreien Spannung . . . . . 933
16.3.7	Spannungsregler mit Sensor-Anschlüssen . . . . . 934
16.3.8	Labornetzgeräte . . . . . 934
16.3.9	Übersicht über integrierte Spannungsregler . . . . . 936
16.4	Erzeugung der Referenzspannung . . . . . 936
16.4.1	Referenzspannungsquellen mit Z-Dioden . . . . . 936
16.4.2	Bandabstands-Referenz . . . . . 939
16.4.3	Typenübersicht . . . . . 941
16.5	Schaltnetzteile . . . . . 942
16.6	Sekundärgetaktete Schaltregler . . . . . 943
16.6.1	Der Abwärts-Wandler . . . . . 944
16.6.2	Erzeugung des Schaltsignals . . . . . 946
16.6.3	Der Aufwärts-Wandler . . . . . 948
16.6.4	Der invertierende Wandler . . . . . 949
16.6.5	Spannungs-Wandler mit Ladungspumpe . . . . . 949
16.6.6	Typenübersicht . . . . . 951
16.7	Primärgetaktete Schaltregler . . . . . 952
16.7.1	Eintakt-Wandler . . . . . 952
16.7.2	Gegentakt-Wandler . . . . . 954
16.7.3	Hochfrequenztransformatoren . . . . . 956
16.7.4	Leistungsschalter . . . . . 957
16.7.5	Erzeugung der Schaltsignale . . . . . 960
16.7.6	Verlustanalyse . . . . . 962
16.7.7	Integrierte Ansteuerschaltungen . . . . . 963
<b>17. Analogschalter und Abtast-Halte-Glieder</b>	<b>965</b>
17.1	Anordnung der Schalter . . . . . 965
17.2	Elektronische Schalter . . . . . 966
17.2.1	Fet als Schalter . . . . . 966
17.2.2	Dioden als Schalter . . . . . 969
17.2.3	Bipolartransistor als Schalter . . . . . 971
17.2.4	Differenzverstärker als Schalter . . . . . 974

17.3	Analogschalter mit Verstärkern . . . . .	976
17.3.1	Analogschalter für hohe Spannungen . . . . .	976
17.3.2	Verstärker mit umschaltbarer Verstärkung . . . . .	977
17.4	Abtast-Halte-Glieder . . . . .	977
17.4.1	Grundlagen . . . . .	977
17.4.2	Praktische Ausführung . . . . .	980
<b>18.</b>	<b>DA- und AD-Umsetzer</b>	<b>983</b>
18.1	Grundprinzipien der DA-Umsetzung . . . . .	983
18.2	DA-Umsetzer in CMOS-Technologie . . . . .	984
18.2.1	Summation gewichteter Ströme . . . . .	984
18.2.2	DA-Umsetzer mit Wechselschaltern . . . . .	985
18.2.3	Leiternetzwerk . . . . .	986
18.2.4	Inversbetrieb eines Leiternetzwerks . . . . .	987
18.3	Leiternetzwerk zur Dekadenkopplung . . . . .	988
18.4	DA-Umsetzer in Bipolartechnologie . . . . .	989
18.5	DA-Umsetzer für spezielle Anwendungen . . . . .	991
18.5.1	Verarbeitung vorzeichenbehafteter Zahlen . . . . .	991
18.5.2	Multiplizierende DA-Umsetzer . . . . .	992
18.5.3	Dividierende DA-Umsetzer . . . . .	993
18.5.4	DA-Umsetzer als Funktionsgenerator . . . . .	993
18.6	Genauigkeit von DA-Umsetzern . . . . .	996
18.6.1	Statische Kenngrößen . . . . .	996
18.6.2	Dynamische Kenngrößen . . . . .	997
18.7	Grundprinzipien der AD-Umsetzung . . . . .	999
18.8	Genauigkeit von AD-Umsetzern . . . . .	1000
18.8.1	Statische Fehler . . . . .	1000
18.8.2	Dynamische Fehler . . . . .	1002
18.9	Ausführung von AD-Umsetzern . . . . .	1003
18.9.1	Parallelverfahren . . . . .	1003
18.9.2	Kaskadenumsetzer . . . . .	1006
18.9.3	Wägeverfahren . . . . .	1009
18.9.4	Zählverfahren . . . . .	1011
<b>19.</b>	<b>Digitale Filter</b>	<b>1019</b>
19.1	Abtasttheorem . . . . .	1020
19.1.1	Praktische Gesichtspunkte . . . . .	1022
19.2	Digitale Übertragungsfunktion . . . . .	1025
19.2.1	Beschreibung im Zeitbereich . . . . .	1025
19.2.2	Beschreibung im Frequenzbereich . . . . .	1025
19.3	Grundstrukturen . . . . .	1028
19.4	Berechnung von FIR-Filtern . . . . .	1031
19.4.1	Grundgleichungen . . . . .	1032
19.4.2	Einfache Beispiele . . . . .	1033
19.4.3	Berechnung der Filterkoeffizienten . . . . .	1036

---

19.5	Realisierung von FIR-Filtern . . . . .	1050
19.5.1	Parallele Realisierung von FIR-Filtern . . . . .	1051
19.5.2	Serielle Realisierung von FIR-Filtern . . . . .	1052
19.6	Berechnung von IIR-Filtern . . . . .	1053
19.6.1	Berechnung der Filterkoeffizienten . . . . .	1053
19.6.2	IIR-Filter in Kaskadenstruktur . . . . .	1056
19.7	Realisierung von IIR-Filtern . . . . .	1059
19.7.1	Aufbau aus einfachen Bausteinen . . . . .	1059
19.7.2	Aufbau aus hochintegrierten Bausteinen . . . . .	1063
19.8	Vergleich von FIR- und IIR-Filtern . . . . .	1066
<b>20.</b>	<b>Messschaltungen</b>	<b>1069</b>
20.1	Spannungsmessung . . . . .	1069
20.1.1	Impedanzwandler . . . . .	1069
20.1.2	Messung von Potentialdifferenzen . . . . .	1070
20.1.3	Trennverstärker (Isolation Amplifier) . . . . .	1076
20.2	Strommessung . . . . .	1079
20.2.1	Erdfreies Amperemeter mit niedrigem Spannungsabfall . . . . .	1079
20.2.2	Strommessung auf hohem Potential . . . . .	1080
20.3	Messgleichrichter (AC/DC-Converter) . . . . .	1081
20.3.1	Messung des Betragsmittelwertes . . . . .	1081
20.3.2	Messung des Effektivwertes . . . . .	1085
20.3.3	Messung des Scheitelwertes . . . . .	1089
20.3.4	Synchrone Gleichrichter . . . . .	1093
<b>21.</b>	<b>Sensorik</b>	<b>1097</b>
21.1	Temperaturmessung . . . . .	1097
21.1.1	Metalle als Kaltleiter . . . . .	1100
21.1.2	Kaltleiter auf Siliziumbasis, PTC . . . . .	1100
21.1.3	Heißeleiter, NTC . . . . .	1101
21.1.4	Betrieb von Widerstandstemperaturfühlern . . . . .	1101
21.1.5	Transistor als Temperatursensor . . . . .	1106
21.1.6	Das Thermoelement . . . . .	1109
21.1.7	Typenübersicht . . . . .	1115
21.2	Druckmessung . . . . .	1115
21.2.1	Aufbau von Drucksensoren . . . . .	1116
21.2.2	Betrieb temperaturkompensierter Drucksensoren . . . . .	1118
21.2.3	Temperaturkompensation von Drucksensoren . . . . .	1121
21.2.4	Handelsübliche Drucksensoren . . . . .	1124
21.3	Feuchtemessung . . . . .	1125
21.3.1	Feuchtesensoren . . . . .	1126
21.3.2	Betriebsschaltungen für kapazitive Feuchtesensoren . . . . .	1127

21.4	Übertragung von Sensorsignalen . . . . .	1129
21.4.1	Galvanisch gekoppelte Signalübertragung . . . . .	1130
21.4.2	Galvanisch getrennte Signalübertragung . . . . .	1133
21.5	Kalibrierung von Sensorsignalen . . . . .	1134
21.5.1	Kalibrierung des Analogsignals . . . . .	1134
21.5.2	Computer-gestützte Kalibrierung . . . . .	1138
<b>22.</b>	<b>Elektronische Regler</b> . . . . .	<b>1143</b>
22.1	Grundlagen . . . . .	1143
22.2	Regler-Typen . . . . .	1144
22.2.1	P-Regler . . . . .	1144
22.2.2	PI-Regler . . . . .	1146
22.2.3	PID-Regler . . . . .	1148
22.2.4	Einstellbarer PID-Regler . . . . .	1150
22.3	Regelung nichtlinearer Strecken . . . . .	1152
22.3.1	Statische Nichtlinearität . . . . .	1152
22.3.2	Dynamische Nichtlinearität . . . . .	1153
22.4	Nachlaufsynchrosation (PLL) . . . . .	1155
22.4.1	Abtast-Halte-Glied als Phasendetektor . . . . .	1156
22.4.2	Synchronegleichrichter als Phasendetektor . . . . .	1159
22.4.3	Frequenzempfindlicher Phasendetektor . . . . .	1161
22.4.4	Phasendetektor mit beliebig erweiterbarem Messbereich . . . . .	1163
22.4.5	PLL als Frequenzvervielfacher . . . . .	1164
<b>23.</b>	<b>Optoelektronische Bauelemente</b> . . . . .	<b>1167</b>
23.1	Photometrische Grundbegriffe . . . . .	1167
23.2	Photowiderstand . . . . .	1169
23.3	Photodiode . . . . .	1170
23.4	Phototransistor . . . . .	1172
23.5	Leuchtdioden . . . . .	1173
23.6	Optokoppler . . . . .	1174
23.7	Optische Anzeige . . . . .	1174
23.7.1	Binär-Anzeige . . . . .	1175
23.7.2	Analog-Anzeige . . . . .	1176
23.7.3	Numerische Anzeige . . . . .	1178
23.7.4	Multiplex Anzeige . . . . .	1180
23.7.5	Alpha-Numerische Anzeige . . . . .	1182
<b>Teil III.</b>	<b>Schaltungen der Nachrichtentechnik</b> . . . . .	<b>1187</b>
<b>24.</b>	<b>Grundlagen</b> . . . . .	<b>1189</b>
24.1	Nachrichtentechnische Systeme . . . . .	1189
24.2	Übertragungskanäle . . . . .	1192
24.2.1	Leitung . . . . .	1192
24.2.2	Drahtlose Verbindung . . . . .	1203
24.2.3	Faseroptische Verbindung . . . . .	1209
24.2.4	Vergleich der Übertragungskanäle . . . . .	1213

---

24.3	Reflexionsfaktor und S-Parameter .....	1214
24.3.1	Wellengrößen .....	1215
24.3.2	Reflexionsfaktor .....	1216
24.3.3	Wellenquelle .....	1222
24.3.4	S-Parameter .....	1224
24.4	Modulationsverfahren .....	1232
24.4.1	Amplitudenmodulation .....	1236
24.4.2	Frequenzmodulation .....	1243
24.4.3	Digitale Modulationsverfahren .....	1252
24.5	Mehrfachnutzung und Gruppierung .....	1269
24.5.1	Multiplex-Verfahren .....	1269
24.5.2	Duplex-Verfahren .....	1277
<b>25.</b>	<b>Sender und Empfänger</b> .....	<b>1279</b>
25.1	Sender .....	1279
25.1.1	Sender mit analoger Modulation .....	1279
25.1.2	Sender mit digitaler Modulation .....	1285
25.1.3	Erzeugung der Lokaloszillatorfrequenzen .....	1286
25.2	Empfänger .....	1287
25.2.1	Geradeusempfänger .....	1288
25.2.2	Überlagerungsempfänger .....	1289
25.2.3	Verstärkungsregelung .....	1295
25.2.4	Dynamikbereich eines Empfängers .....	1301
25.2.5	Empfänger für digitale Modulationsverfahren .....	1308
<b>26.</b>	<b>Passive Komponenten</b> .....	<b>1325</b>
26.1	Hochfrequenz-Ersatzschaltbilder .....	1325
26.1.1	Widerstand .....	1326
26.1.2	Spule .....	1327
26.1.3	Kondensator .....	1330
26.2	Filter .....	1332
26.2.1	LC-Filter .....	1332
26.2.2	Dielektrische Filter .....	1338
26.2.3	SAW-Filter .....	1340
26.3	Schaltungen zur Impedanztransformation .....	1343
26.3.1	Anpassung .....	1344
26.3.2	Ankopplung .....	1354
26.4	Leistungsteiler und Hybride .....	1356
26.4.1	Leistungsteiler .....	1357
26.4.2	Hybride .....	1359
<b>27.</b>	<b>Hochfrequenz-Verstärker</b> .....	<b>1363</b>
27.1	Integrierte Hochfrequenz-Verstärker .....	1363
27.1.1	Anpassung .....	1364
27.1.2	Rauschzahl .....	1367

27.2	HF-Verstärker mit Einzeltransistoren . . . . .	1369
27.2.1	Verallgemeinerter Einzeltransistor . . . . .	1370
27.2.2	Arbeitspunkteinstellung . . . . .	1371
27.2.3	Anpassung einstufiger Verstärker . . . . .	1374
27.2.4	Anpassung mehrstufiger Verstärker . . . . .	1382
27.2.5	Neutralisation . . . . .	1383
27.2.6	Besondere Schaltungen zur Verbesserung der Anpassung . . . . .	1386
27.2.7	Rauschen . . . . .	1389
27.3	Breitband-Verstärker . . . . .	1392
27.3.1	Prinzip eines Breitband-Verstärkers . . . . .	1393
27.3.2	Ausführung eines Breitband-Verstärkers . . . . .	1394
27.4	Leistungsverstärkung . . . . .	1398
27.4.1	Klemmenleistungsgewinn . . . . .	1399
27.4.2	Einfügungsgewinn . . . . .	1400
27.4.3	Übertragungsgewinn . . . . .	1401
27.4.4	Verfügbare Leistungsgewinn . . . . .	1401
27.4.5	Vergleich der Gewinn-Definitionen . . . . .	1402
27.4.6	Gewinn bei beidseitiger Anpassung . . . . .	1403
27.4.7	Maximaler Leistungsgewinn bei Transistoren . . . . .	1404
<b>28.</b>	<b>Mischer</b>	<b>1407</b>
28.1	Funktionsprinzip eines idealen Mixers . . . . .	1407
28.1.1	Aufwärtsmischer . . . . .	1408
28.1.2	Abwärtsmischer . . . . .	1409
28.2	Funktionsprinzipien bei praktischen Mixern . . . . .	1411
28.2.1	Additive Mischung . . . . .	1411
28.2.2	Multiplikative Mischung . . . . .	1420
28.3	Mischer mit Dioden . . . . .	1425
28.3.1	Eintaktmischer . . . . .	1426
28.3.2	Gegentaktmischer . . . . .	1436
28.3.3	Ringmischer . . . . .	1440
28.3.4	Praktische Diodenmischer . . . . .	1447
28.4	Mischer mit Transistoren . . . . .	1449
28.4.1	Gegentaktmischer . . . . .	1449
28.4.2	Doppel-Gegentaktmischer (Gilbert-Mischer) . . . . .	1463
<b>29.</b>	<b>Anhang</b>	<b>1477</b>
29.1	PSpice-Kurzanleitung . . . . .	1477
29.1.1	Grundsätzliches . . . . .	1477
29.1.2	Programme und Dateien . . . . .	1477
29.1.3	Ein einfaches Beispiel . . . . .	1480
29.1.4	Weitere Simulationsbeispiele . . . . .	1496
29.1.5	Einbinden weiterer Bibliotheken . . . . .	1501
29.1.6	Einige typische Fehler . . . . .	1502

---

29.2	DesignExpert-Kurzanleitung .....	1504
29.2.1	Übersicht .....	1504
29.2.2	Schaltungseingabe .....	1506
29.2.3	Pinzuweisung .....	1519
29.2.4	Simulation .....	1523
29.2.5	Optimierung .....	1528
29.2.6	Programmierung .....	1529
29.2.7	Ausblick .....	1530
29.3	Passive RC- und LRC-Netzwerke .....	1533
29.3.1	Der Tiefpass .....	1533
29.3.2	Der Hochpass .....	1537
29.3.3	Kompensierter Spannungsteiler .....	1539
29.3.4	Passiver RC-Bandpass .....	1540
29.3.5	Wien–Robinson-Brücke .....	1541
29.3.6	Doppel-T-Filter .....	1542
29.3.7	Schwingkreis .....	1544
29.4	Erklärung der verwendeten Größen .....	1545
29.5	Typen der 7400-Logik-Familien .....	1553
29.6	Normwert-Reihen .....	1568
29.7	Farbcode .....	1569
29.8	Hersteller und Distributoren .....	1571
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>1591</b>
	<b>Sachverzeichnis</b> .....	<b>1599</b>