

Ch. Weddigen, W. Jüngst

Elektronik

Eine Einführung
für Naturwissenschaftler und Ingenieure
mit Beispielen zur Computer-Simulation

Zweite, neu bearbeitete und erweiterte Auflage

Mit 274 Abbildungen



Springer-Verlag

Berlin Heidelberg New York

London Paris Tokyo

Hong Kong Barcelona Budapest

Inhalt

Einleitung	1
1. Lineare Netzwerkelemente	3
1.1 Der Widerstand	4
1.2 Die Spannungsquelle	6
1.3 Die Stromquelle	8
1.4 Die Kapazität	9
1.5 Die Induktivität	11
1.6 Das Koaxialkabel	12
1.6.1 Das ideale Koaxialkabel	13
1.6.2 Abschlußwiderstand und Reflexionen	14
1.6.3 Angepaßte Signalabschwächung und -verteilung	16
1.6.4 Das reale Koaxialkabel	17
1.6.5 Das Verzögerungskabel	18
1.E DO IT YOURSELF	19
2. Das Wechselstromverhalten von RCL-Schaltungen	23
2.1 Die komplexe Beschreibung des Wechselstromverhaltens linearer Netzwerke	23
2.2 Serienschaltungen von R und C (Hoch- und Tiefpaß)	26
2.3 Schwingkreise	27
2.4 Kettenschaltung dreier RC-Glieder	29
2.5 Der frequenzkompensierte Spannungsteiler	30
2.6 Eine iterative Filterkette als Verzögerungsleitung	31
2.7 Ein Verfahren zur Messung von Impedanzen	33
2.E DO IT YOURSELF	35
3. Analyse linearer Netzwerke	40
3.1 Die Maschenanalyse	40
3.2 Die Knotenanalyse	44
3.3 Das Überlagerungstheorem	46
3.4 Der Satz von der Zweipolquelle (Das Theorem von Thévenin)	46
3.5 Der Satz von der Ersatzstromquelle (Das Theorem von Norton)	47

3.6 Analyse eines DAC-Leiternetzwerkes	48
3.E DO IT YOURSELF	49
4. Das Impulsverhalten von RCL-Schaltungen	52
4.1 Die RL-Serienschaltung	53
4.2 Die RC-Serienschaltung	55
4.2.1 Das Differenzierglied	56
4.2.2 Das Integrierglied	58
4.3 RCL-Schaltungen	59
4.3.1 Die RCL-Serienschaltung	59
4.3.2 Die RCL-Parallelschaltung	63
4.4 Zwei weitere RC-Netzwerke	64
4.4.1 Das Integrier-Differenzierglied	64
4.4.2 Das Doppeldifferenzierglied	65
4.5 Antwortfunktionen für beliebige Eingangsimpulse	67
4.E DO IT YOURSELF	68
5. Dioden und Diodenschaltungen	72
5.1 Die Flächendiode	72
5.1.1 Kennlinie und Schaltverhalten	72
5.1.2 Linearisierte Ersatzschaltungen	74
5.2 Spezialdioden	75
5.2.1 Die Zener-Diode	75
5.2.2 Die Tunnel- und die Backward-Diode	76
5.2.3 Kapazitäts- und Schottky-Dioden	78
5.2.4 Foto- und Lumineszenzdioden	78
5.3 Einige Diodenschaltungen	79
5.3.1 Die Vollweggleichrichtung	79
5.3.2 Die Kaskadenschaltung	80
5.3.3 Die Zener-Diode als Spannungsquelle	84
5.3.4 Eine Klammerschaltung mit Zener-Dioden	84
5.3.5 Kippschaltungen mit Tunnelndioden	85
5.E DO IT YOURSELF	87
6. Transistoren und Eintransistorschaltungen	91
6.1 Der bipolare Transistor	91
6.1.1 Kennlinien und Kenngrößen	92
6.1.2 Linearisierte Ersatzschaltungen	94
6.1.3 Der Transistor als Schalter	96
6.2 Transistorschaltungen	97
6.2.1 Kenngrößen von Transistorschaltungen	97

6.2.2 Der Entwurf einer Transistorschaltung	98
6.2.3 Beispiel 1: Der Emitterfolger	98
6.2.4 Beispiel 2: Der stromgegekoppelte Verstärker	101
6.2.5 Serienschaltung von Verstärker und Emitterfolger	103
6.3 Die Transistorgrundsaltungen	104
6.3.1 Die formale Berechnung der Kenngrößen	104
6.3.2 Die Kollektorgrundsaltung (Emitterfolger)	105
6.3.3 Die Basisgrundsaltung	106
6.3.4 Die Emittergrundsaltung	107
6.4 Zwei weitere Eintransistorschaltungen	109
6.4.1 Der stromgegekoppelte Verstärker	109
6.4.2 Der spannungsgegekoppelte Verstärker	110
6.5 Eintransistorschaltungen (Zusammenfassung)	111
6.E DO IT YOURSELF	112
7. Weitere Transistorschaltungen	117
7.1 Rückkopplung	117
7.1.1 Mitkopplung: $G > 0$	117
7.1.2 Gegenkopplung: $G < 0$	118
7.2 Der Begriff der virtuellen Masse	121
7.3 Kippschaltungen mit zwei Transistoren	121
7.3.1 Das RS-Flipflop	121
7.3.2 Der Univibrator	122
7.3.3 Der Multivibrator	122
7.4 Impedanzwandler	124
7.4.1 Der Whitesche Emitterfolger	125
7.4.2 Darlington-Schaltungen und Spannungsfolger	126
7.4.3 Impedanzwandler mit Bootstrap	127
7.5 Schaltungen mit 'long-tailed pairs'	127
7.5.1 Das lineare Tor	128
7.5.2 Der Differenzverstärker	128
7.6 Schnelle Schaltungen (Miller-Effekt)	130
7.6.1 Differenzverstärker mit einem Eingang	131
7.6.2 Die Kaskodenschaltung	131
7.7 Stromspiegel	131
7.E DO IT YOURSELF	132
8. Feldeffekttransistoren (FETs)	138
8.1 Der JFET	139
8.2 Der MOSFET	141
8.3 Linearisierte Ersatzschaltung für FETs	143

8.4 Einige typische FET-Schaltungen	144
8.4.1 Sourcefolger	144
8.4.2 Kaskoden-Differenzverstärker	145
8.4.3 Variable Widerstände	146
8.4.4 Lineare Schalter	147
8.E DO IT YOURSELF	148
9. Der integrierte Operationsverstärker und seine Grundsaltungen	154
9.1 Der elektronische Aufbau des 741	155
9.2 Kenngrößen und linearisierte Ersatzschaltung des IOP	156
9.3 Der IOP in analogen Schaltungen (Goldene Regeln)	157
9.4 Berechnung der Grundsaltungen des IOP	159
9.4.1 Die invertierende Grundsaltung (Umkehrverstärker, Drift- kompensation)	159
9.4.2 Die nichtinvertierende Grundsaltung (Elektrometerverstärker und Spannungsfolger)	161
9.5 Das dynamische Verhalten des IOP	163
9.5.1 Frequenzgang und Frequenzkompensation	163
9.5.2 Anstiegsgeschwindigkeit und interne Verzögerung	166
9.6 Übersicht über das Angebot an Operationsverstärkern	166
9.E DO IT YOURSELF	169
10. Weitere Schaltungen mit Operationsverstärkern	171
10.1 Analoge Rechenoperationen	172
10.1.1 Der Rechenverstärker	172
10.1.2 Die analoge Subtraktion	173
10.2 Schwellenwertdetektoren	174
10.2.1 Der Komparator	174
10.2.2 Der Schmitt-Trigger mit IOP	174
10.3 Generatoren	175
10.3.1 Der Phasenschieberszillator	175
10.3.2 Der Rampengenerator (Spannung-Frequenz-Umsetzer)	176
10.3.3 Flipflop-Schaltungen mit IOP	177
10.4 Ideale Gleichrichter	178
10.4.1 Der ideale Halbwellengleichrichter und Spitzenwertdetektor ..	178
10.4.2 Der ideale Vollwellengleichrichter	179
10.5 NIC-Schaltungen	180
10.5.1 Die Erzeugung negativer Widerstände und Kapazitäten	180
10.5.2 Konstantstromquelle mit NIC	181
10.5.3 Der Gyrator	182

10.6 Aktive Filter	184
10.E DO IT YOURSELF	186
11. Grundlagen der digitalen Elektronik	196
11.1 Grundlagen der Schaltalgebra	197
11.1.1 Schaltalgebraische Variable und ihre Standardverknüpfungen ..	197
11.1.2 Normalformen schaltalgebraischer Funktionen	199
11.1.3 Gesetze und Regeln der Schaltalgebra	201
11.2 Der Entwurf einer digitalen Schaltung	203
11.3 Logikfamilien	204
11.3.1 DTL-Grundsaltungen	205
11.3.2 Die TTL-Grundsaltung	205
11.3.3 Die ECL-Grundsaltung	206
11.3.4 CMOS-Grundsaltungen	207
11.3.5 Vergleich der Logikfamilien	208
11.4 Weiteres über TTL-Gatter	209
11.4.1 TTL-Baureihen	209
11.4.2 NAND- und AND-Gatter, TTL-Schaltverhalten	210
11.4.3 NOR-, OR- und EXOR-Gatter	212
11.4.4 Inverter, offene Eingänge und spezielle Ausgänge von TTL-Gattern	213
11.E DO IT YOURSELF	214
12. Digitale Kippschaltungen	216
12.1 Grundsaltungen	216
12.1.1 Das RS-Flipflop	216
12.1.2 Das D-Flipflop	217
12.1.3 Der Univibrator und der Multivibrator	218
12.2 Klassifizierung digitaler Flipflops	218
12.2.1 Klassifizierung nach Ansteuerung	219
12.2.2 Klassifizierung nach Wahrheitstabelle	220
12.3 Beispiele für Flipfloptypen	221
12.3.1 RS-Flipflops	221
12.3.2 D-Flipflops	222
12.3.3 JK-Flipflops	222
12.4 Clock-Generatoren	223
12.E DO IT YOURSELF	225
13. Weitere digitale Schaltungen	228
13.1 Kombinatorische Schaltungen	228
13.1.1 Codewandler	228

13.1.2 Multiplexer und Demultiplexer	229
13.2 Zäblerschaltungen	230
13.2.1 Asynchrone Binärzähler	230
13.2.2 Synchrone Binärzähler	231
13.2.3 Untersetzer (Frequenzteiler)	232
13.3 Schieberegister	233
13.4 Halbleiterspeicher	234
13.E DO IT YOURSELF	236
14. Digitale Rechenschaltungen	239
14.1 Addierer	239
14.1.1 Der Halbaddierer	239
14.1.2 Der Volladdierer	240
14.1.3 Der 4-Bit-Volladdierer SN7483	240
14.2 Darstellungen von Dualzahlen	241
14.2.1 Die natürliche Darstellung $A^{(n)}$ ganzer positiver Zahlen	241
14.2.2 Die Standarddarstellung $A^{(n)}$ ganzer Zahlen mit Vorzeichen ...	242
14.2.3 Die n-Bit-Darstellung $A_{(n)}$ ganzer Zahlen mit Vorzeichen	242
14.3 Digitale Parallelrechnetze	243
14.3.1 Addiernetze	243
14.3.2 Subtrahiernetze	244
14.3.3 Die parallele Multiplikation	245
14.3.4 Die parallele Division	246
14.4 Die serielle Multiplikation	247
14.E DO IT YOURSELF	248
15. Signalumsetzer	251
15.1 Amplitudenumsetzer	252
15.1.1 Diskriminatoren	252
15.1.2 Diskriminatoren mit verbesserter Zeitauflösung	253
15.1.3 Amplitude-Zeit-Umsetzer (ATC)	254
15.1.4 Spannung-Frequenz-Umsetzer (VFC, VCO)	256
15.2 Umsetzung digitaler Signale	256
15.2.1 Digital-Analog-Umsetzer (DAC)	256
15.2.2 Funktionsgeneratoren	257
15.2.3 Erzeugung eines Zeitintervalls (Timer)	257
15.3 Frequenzumwandlung	258
15.3.1 Zählratenmesser ('rate meter')	258
15.3.2 Weitere Frequenzumwandler	258
15.4 Umwandlung von Zeitsignalen	259
15.4.1 Zeit-Amplitude-Umsetzer (TAC)	259

15.4.2 Koinzidenzen	259
15.4.3 Zeit-Digital-Umsetzer (TDC)	261
15.4.4 Zeitmittelwertbildner ('mean-timer')	261
15.5 Analog-Digital-Umsetzer (ADCs)	262
15.5.1 Parallelkonversion (FADCs)	262
15.5.2 Die inkrementelle Technik	263
15.5.3 Die schrittweise Näherung ('successive approximation')	264
15.5.4 Die Methode der gleitenden Schwellen	264
15.5.5 Serielle Konversion	265
15.E DO IT YOURSELF	266
16. Kernphysikalische Meßanordnungen	272
16.1 Flugzeitmessungen	272
16.2 Messung von Energiespektren mit Teilchenidentifizierung	275
17. Der Vielkanalanalysator und seine Anwendungen	279
17.1 Der Vielkanalanalysator (VKA)	279
17.2 Anwendungen des VKA	280
17.2.1 Der Vielfachzählerbetrieb	281
17.2.2 Messung von Mößbauer-Spektren	281
17.2.3 Messung von Signalhöhenwahrscheinlichkeiten	282
17.2.4 Zweiparametrische Vielkanalanalysatoren	282
17.3 Der Signalhöhenmittler	283
18. Messung kleiner Signale	285
18.1 Elektrometer-Multimeter	285
18.2 Störungen bei der Messung kleiner Signale	287
18.2.1 Rauschen	288
18.2.2 Äußere Störeinflüsse	291
18.3 Rausch Kenngrößen	293
18.4 Techniken zur Messung kleiner Signale	294
18.E DO IT YOURSELF	296
Anhang A: Eigenschaften von Übertragungsleitungen	297
Anhang B: Gruppen- und Phasengeschwindigkeit	299
Anhang C: Rechnen mit komplexen Zahlen	300
Anhang D: Verzeichnis der Übungsaufgaben	303
Anhang E: Zum Analyseprogramm PSPICE	306
Anhang F: Zur Bearbeitung der Experimentiervorschläge	309
Quellen und Literaturhinweise	314
Sachregister	315