

Ch. Weddigen
W. Jüngst

Elektronik

Einführung
für Naturwissenschaftler
und Ingenieure

Mit 240 Abbildungen

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York Tokyo 1986

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	15
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	22
2.1 Die komplexe Beschreibung des Wechselstromverhaltens linearer Netzwerke	22
2.2 Serienschaltungen von R und C (Hoch- und Tiefpaß)	25
2.3 Schwingkreise	26
2.4 Kettenschaltung dreier RC-Glieder	28
2.5 Der frequenzkompensierte Spannungsteiler	29
2.6 Ein Verfahren zur Messung von Impedanzen	30
2.E DO IT YOURSELF	32
3. Analyse linearer Netzwerke	36
3.1 Die Maschenanalyse	36
3.2 Die Knotenanalyse	40
3.3 Das Überlagerungstheorem	42
3.4 Der Satz von der Zweipolquelle (Das Theorem von Thévenin)	42
3.5 Der Satz von der Ersatzstromquelle (Das Theorem von Norton)	43

3.6 Analyse eines DAC-Leiternetzwerkes	44
3.E DO IT YOURSELF	45
4. Das Impulsverhalten von RCL-Schaltungen	47
4.1 Die RL-Serienschaltung	48
4.2 Die RC-Serienschaltung	50
4.2.1 Das Differenzierglied	51
4.2.2 Das Integrierglied	53
4.3 RCL-Schaltungen	54
4.3.1 Die RCL-Serienschaltung	54
4.3.2 Die RCL-Parallelschaltung	58
4.4 Zwei weitere RC-Netzwerke	59
4.4.1 Das Integrier-Differenzierglied	59
4.4.2 Das Doppeldifferenzierglied	60
4.5 Antwortfunktionen für beliebige Eingangsimpulse	62
4.E DO IT YOURSELF	63
5. Dioden und Diodenschaltungen	66
5.1 Die Flächendiode	66
5.1.1 Kennlinie und Schaltverhalten	66
5.1.2 Linearisierte Ersatzschaltungen	68
5.2 Spezialdioden	69
5.2.1 Die Zener-Diode	69
5.2.2 Die Tunnel- und die Backward-Diode	70
5.2.3 Kapazitäts- und Schottky-Dioden	72
5.2.4 Foto- und Luminiszenzdioden	72
5.3 Einige Diodenschaltungen	73
5.3.1 Die Vollweggleichrichtung	73
5.3.2 Die Kaskadenschaltung	74
5.3.3 Die Zener-Diode als Spannungsquelle	78
5.3.4 Eine Klammerschaltung mit Zener-Dioden	78
5.3.5 Kippschaltungen mit Tunnelioden	79
5.E DO IT YOURSELF	81
6. Transistoren und Eintransistorschaltungen	85
6.1 Der bipolare Transistor	85
6.1.1 Kennlinien und Kenngrößen	86
6.1.2 Linearisierte Ersatzschaltungen	88
6.1.3 Der Transistor als Schalter	90
6.2 Transistorschaltungen	91
6.2.1 Kenngrößen von Transistorschaltungen	91

6.2.2	Der Entwurf einer Transistorschaltung	92
6.2.3	Beispiel 1: Der Emitterfolger	92
6.2.4	Beispiel 2: Der stromgegekoppelte Verstärker	95
6.2.5	Serienschaltung von Verstärker und Emitterfolger	97
6.3	Die Transistorgrundschaltungen	98
6.3.1	Die formale Berechnung der Kenngrößen	98
6.3.2	Die Kollektorgrundschaltung (Emitterfolger)	99
6.3.3	Die Basisgrundschaltung	100
6.3.4	Die Emittergrundschaltung	101
6.4	Zwei weitere Eintransistorschaltungen	103
6.4.1	Der stromgegekoppelte Verstärker	103
6.4.2	Der spannungsgegekoppelte Verstärker	104
6.5	Eintransistorschaltungen (Zusammenfassung)	105
6.E	DO IT YOURSELF	106
7.	Weitere Transistorschaltungen	109
7.1	Rückkopplung	109
7.1.1	Mitkopplung: $G > 0$	109
7.1.2	Gegenkopplung: $G < 0$	110
7.2	Der Begriff der virtuellen Masse	113
7.3	Kippschaltungen mit zwei Transistoren	113
7.3.1	Das RS-Flipflop	113
7.3.2	Der Univibrator	114
7.3.3	Der Multivibrator	114
7.4	Impedanzwandler	116
7.4.1	Der Whitesche Emitterfolger	117
7.4.2	Darlington-Schaltungen und Spannungsfolger	118
7.4.3	Impedanzwandler mit Bootstrap	119
7.5	Schaltungen mit 'long-tailed pairs'	119
7.5.1	Das lineare Tor	120
7.5.2	Der Differenzverstärker	120
7.6	Schnelle Schaltungen (Miller-Effekt)	122
7.6.1	Differenzverstärker mit einem Eingang	123
7.6.2	Die Kaskodenschaltung	123
7.7	Stromspiegel	123
7.E	DO IT YOURSELF	124
8.	Feldeffekttransistoren (FETs)	128
8.1	Der JFET	129
8.2	Der MOSFET	131
8.3	Linearisierte Ersatzschaltung für FETs	133

8.4	Einige typische FET-Schaltungen	134
8.4.1	Sourcefolger	134
8.4.2	Kaskoden-Differenzverstärker	135
8.4.3	Variable Widerstände	136
8.4.4	Lineare Schalter	137
8.E	DO IT YOURSELF	138
9.	Der integrierte Operationsverstärker (IOP)	141
9.1	Der elektronische Aufbau des 741	142
9.2	Kenngößen und linearisierte Ersatzschaltung des IOP	143
9.3	Der IOP in analogen Schaltungen (Goldene Regeln)	144
9.4	Berechnung der Grundsaltungen des IOP	146
9.4.1	Die invertierende Grundsaltung (Umkehrverstärker, Drift- kompensation)	146
9.4.2	Die nichtinvertierende Grundsaltung (Elektrometerverstärker und Spannungsfolger)	148
9.5	Das dynamische Verhalten des IOP	150
9.5.1	Frequenzgang und Frequenzkompensation	150
9.5.2	Anstiegsgeschwindigkeit und interne Verzögerung	152
9.E	DO IT YOURSELF	153
10.	Weitere Schaltungen mit Operationsverstärkern	154
10.1	Analoge Rechenoperationen	155
10.1.1	Der Rechenverstärker	155
10.1.2	Die analoge Subtraktion	156
10.2	Schwellenwertdetektoren	157
10.2.1	Der Komparator	157
10.2.2	Der Schmitt-Trigger mit IOP	157
10.3	Generatoren	158
10.3.1	Der Phasenschieberoszillator	158
10.3.2	Der Rampengenerator (Spannung-Frequenz-Umsetzer)	159
10.3.3	Flipflop-Schaltungen mit IOP	160
10.4	Ideale Gleichrichter	161
10.4.1	Der ideale Halbwellengleichrichter und Spitzenwertdetektor ..	161
10.4.2	Der ideale Vollwellengleichrichter	162
10.5	NIC-Schaltungen	163
10.5.1	Die Erzeugung negativer Widerstände und Kapazitäten	163
10.5.2	Konstantstromquelle mit NIC	164
10.5.3	Der Gyrator	165
10.6	Aktive Filter	167
10.E	DO IT YOURSELF	169

11. Grundlagen der digitalen Elektronik	176
11.1 Grundlagen der Schaltalgebra	177
11.1.1 Schaltalgebraische Variable und ihre Standardverknüpfungen ..	177
11.1.2 Normalformen schaltalgebraischer Funktionen	179
11.1.3 Gesetze und Regeln der Schaltalgebra	181
11.2 Der Entwurf einer digitalen Schaltung	183
11.3 Logikfamilien	184
11.3.1 DTL-Grundsaltungen	185
11.3.2 Die TTL-Grundsaltung	185
11.3.3 Die ECL-Grundsaltung	186
11.3.4 CMOS-Grundsaltungen	187
11.3.5 Vergleich der Logikfamilien	188
11.4 Weiteres über TTL-Gatter	189
11.4.1 TTL-Baureihen	189
11.4.2 NAND- und AND-Gatter, TTL-Schaltverhalten	190
11.4.3 NOR-, OR- und EXOR-Gatter	192
11.4.4 Inverter, offene Eingänge und spezielle Ausgänge von TTL-Gattern	193
11.E DO IT YOURSELF	194
12. Digitale Kippschaltungen	196
12.1 Grundsaltungen	196
12.1.1 Das RS-Flipflop	196
12.1.2 Das D-Flipflop	197
12.1.3 Der Univibrator und der Multivibrator	198
12.2 Klassifizierung digitaler Flipflops	199
12.2.1 Klassifizierung nach Ansteuerung	199
12.2.2 Klassifizierung nach Wahrheitstabelle	200
12.3 Beispiele für Flipfloptypen	201
12.3.1 RS-Flipflops	201
12.3.2 D-Flipflops	202
12.3.3 JK-Flipflops	202
12.4 Clock-Generatoren	203
12.E DO IT YOURSELF	205
13. Weitere digitale Schaltungen	208
13.1 Statische Schaltungen	208
13.1.1 Codewandler	208
13.1.2 Multiplexer und Demultiplexer	209
13.2 Zählerschaltungen	210
13.2.1 Asynchrone Binärzähler	210

13.2.2	Synchrone Binärzähler	211
13.2.3	Untersetzer (Frequenzteiler)	212
13.3	Schieberegister	213
13.4	Halbleiterspeicher	214
13.E	DO IT YOURSELF	216
14.	Digitale Rechenschaltungen	219
14.1	Addierer	219
14.1.1	Der Halbaddierer	219
14.1.2	Der Volladdierer	220
14.1.3	Der 4-Bit-Volladdierer SN7483	220
14.2	Die Darstellung auch negativer Dualzahlen	221
14.2.1	Die Standarddarstellung $A^{(n)}$	221
14.2.2	Die n-Bit-Darstellung $A_{(n)}$	222
14.3	Digitale Parallelrechenwerke	223
14.3.1	Addierwerke	223
14.3.2	Subtrahierwerke	224
14.3.3	Die parallele Multiplikation	225
14.3.4	Die parallele Division	226
14.4	Die serielle Multiplikation	227
14.E	DO IT YOURSELF	228
15.	Signalumsetzer	231
15.1	Amplitudenumsetzer	232
15.1.1	Diskriminatoren	232
15.1.2	Amplitude-Zeit-Umsetzer (ATC)	233
15.1.3	Spannung-Frequenz-Umsetzer (VFC, VCO)	235
15.2	Umsetzung digitaler Signale	235
15.2.1	Digital-Analog-Umsetzer (DAC)	235
15.2.2	Funktionsgeneratoren	236
15.2.3	Erzeugung eines Zeitintervalls (Timer)	236
15.3	Frequenzumwandlung	237
15.3.1	Zählratenmesser ('rate meter')	237
15.3.2	Weitere Frequenzumwandler	237
15.4	Umwandlung von Zeitsignalen	238
15.4.1	Zeit-Amplitude-Umsetzer (TAC)	238
15.4.2	Koinzidenzen	238
15.4.3	Zeit-Digital-Umsetzer (TDC)	240
15.4.4	Zeitmittelwertbildner ('mean-timer')	240
15.5	Analog-Digital-Umsetzer (ADCs)	241
15.5.1	Parallelkonversion (FADCs)	241

15.5.2 Die inkrementelle Technik	242
15.5.3 Die schrittweise Näherung ('successive approximation')	243
15.5.4 Die Methode der gleitenden Schwellen	243
15.5.5 Serielle Konversion	244
15.E DO IT YOURSELF	245
16. Kernphysikalische Meßanordnungen	250
16.1 Flugzeitmessungen	250
16.2 Messung von Energiespektren mit Teilchenidentifizierung	253
17. Digitale Aufbereitung von Analogsignalen	257
17.1 Der Vielkanalanalysator (VKA)	257
17.2 Anwendungen des VKA	259
17.2.1 Der Vielfachzählerbetrieb	259
17.2.2 Messung von Mößbauer-Spektren	259
17.2.3 Messung von Signalhöhenwahrscheinlichkeiten	260
17.2.4 Zweiparametrische Vielkanalanalysatoren	261
17.3 Der Signalhöhenmittler	261
18. Messung kleiner Signale	263
18.1 Elektrometer-Multimeter	263
18.2 Störungen bei der Messung kleiner Signale	265
18.2.1 Rauschen	266
18.2.2 Äußere Störeinflüsse	269
18.3 Rauschkenngrößen	271
18.4 Techniken zur Messung kleiner Signale	272
18.E DO IT YOURSELF	274
Anhang A: Rechnen mit komplexen Zahlen	275
Anhang B: Verzeichnis der Übungsaufgaben	278
Anhang C: Zur Bearbeitung der Experimentiervorschläge	281
Quellen und Literaturhinweis	285
Sachregister	286