

Elektronik 3

Klaus Beuth/Wolfgang Schmusch

Grundsaltungen

16., überarbeitete Auflage

Vogel Buchverlag

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Das Oszilloskop als vielseitiges Meßgerät	13
1.1 Kenndaten eines Oszilloskops	13
1.1.1 Empfindlichkeit – Ablenkkoeffizient	13
1.1.2 Anstiegszeit	14
1.1.3 Bandbreite	15
1.1.3.1 Y-Verstärker	15
1.1.3.2 Zeitbasis	16
1.1.3.3 X-Verstärker	16
1.1.4 Eingangswiderstand	16
1.1.5 Eingangskapazität	17
1.2 Tastköpfe	17
1.2.1 Einsatzmöglichkeiten und Vorteile von Tastköpfen	17
1.2.1.1 1 : 1-Tastkopf	18
1.2.1.2 10 : 1-Tastkopf	19
1.2.1.3 Gleichrichter-Tastkopf	19
1.2.2 Abgleich von Tastköpfen	20
1.3 Ausführungsformen von Oszilloskopen	21
1.3.1 Zweistrahloszilloskop	21
1.3.2 Zweikanaloszilloskop	21
1.3.3 Speicheroszilloskop	23
1.4 Einsatzmöglichkeiten des Oszilloskops	24
1.4.1 Darstellung und Messung von periodischen Spannungen	25
1.4.2 Darstellung und Messung von einmaligen Spannungssprüngen	26
1.4.3 Frequenzmessung und Phasenmessung	26
1.4.3.1 Verwendung der Zeitbasis	26
1.4.3.2 Auswertung der Lissajous-Figuren	27
1.4.4 Darstellung einer Kennlinie	29
1.4.5 Wobbeln eines Filters	30
2 Gleichrichterschaltungen	33
2.1 Allgemeines	33
2.2 Netzgleichrichterschaltungen	33
2.2.1 Grundsaltungen	33
2.2.2 Gleichrichterschaltungen mit ohmscher Belastung	35
2.2.2.1 Einweg-Gleichrichterschaltung (Einpuls-Mittelpunktschaltung M1)	35
2.2.2.2 Brücken-Gleichrichterschaltung (Zweipuls-Brückenschaltung B2)	37
2.2.2.3 Mittelpunkt-Zweipuls-Gleichrichterschaltung (Zweipuls-Mittelpunkt- schaltung M2)	39
2.2.3 Gleichrichterschaltungen mit kapazitiver Belastung	40
2.2.4 Gleichrichterschaltungen mit induktiver Belastung	44
2.3 Siebschaltungen	45
2.3.1 Ladekondensator	45
2.3.2 Siebglieder	47
2.3.2.1 RC-Siebglieder	47
2.3.2.2 LC-Siebglieder	49
2.4 Dimensionierung von Netzgleichrichterschaltungen	51
2.5 Spannungsverdoppler-Schaltungen	54
2.5.1 Delon-Schaltung (Zweipuls-Verdopplerschaltung D2)	54
2.5.2 Villard-Schaltung (Einpuls-Verdopplerschaltung D1)	55
2.6 Spannungsvervielfacher-Schaltungen	57

2.7	Schaltnetzteile	59
2.7.1	Schaltnetzteil-Prinzip	59
2.7.2	Primärgetaktete Schaltnetzteile	60
2.7.2.1	Durchflußwandler	61
2.7.2.2	Sperrwandler	62
2.7.3	Sekundärgetaktete Schaltnetzteile	64
2.7.4	Schaltnetzteile mit Gegentakflußwandler	64
3	Verstärkerschaltungen	67
3.1	Grundsaltungen des Transistors	67
3.2	Ersatzschaltung des Transistors bei Kleinsignalaussteuerung	68
3.2.1	Differentieller Eingangswiderstand r_{BE}	68
3.2.2	Differentieller Ausgangswiderstand r_{CE}	69
3.2.3	Rückwirkung	71
3.2.4	Eingangs- und Ausgangskapazität	71
3.2.5	Ersatzschaltbild nach Giacioletto	71
3.2.6	h -Parameter-Ersatzschaltbild	72
3.3	Emitterschaltung	74
3.3.1	Arbeitspunkteinstellung	74
3.3.1.1	Arbeitspunkteinstellung mit Spannungsteiler	75
3.3.1.2	Arbeitspunkteinstellung mit Vorwiderstand	76
3.3.2	Arbeitspunktstabilisierung	77
3.3.2.1	Stabilisierung durch Temperaturkompensation	77
3.3.2.2	Stabilisierung durch Gegenkopplung	78
3.3.2.2.1	Gleichstromgegenkopplung	78
3.3.2.2.2	Gleichspannungsgegenkopplung	81
3.3.3	Kleinsignalverhalten der Emitterschaltung	82
3.3.3.1	Verstärkung der Emitterschaltung	82
3.3.3.2	Eingangs- und Ausgangswiderstand	85
3.3.3.3	Ankopplung des Verbraucherwiderstandes	87
3.3.3.4	Berechnung einer Emitterschaltung	88
3.3.4	Kleinsignalverhalten der Emitterschaltung mit Strom- und Spannungsgegenkopplung	92
3.3.4.1	Stromgegenkopplung	92
3.3.4.2	Spannungsgegenkopplung	95
3.3.5	Anwendung der Emitterschaltung	97
3.4	Kollektorschaltung	97
3.4.1	Arbeitspunkteinstellung	98
3.4.2	Kleinsignalverhalten der Kollektorschaltung	99
3.4.2.1	Verstärkung	99
3.4.2.2	Eingangs- und Ausgangswiderstand	101
3.4.3	Kollektorschaltung als Impedanzwandler	103
3.4.4	Bootstrap-Schaltung	104
3.4.5	Darlington-Schaltung	105
3.5	Basisschaltung	106
3.5.1	Arbeitspunkteinstellung	106
3.5.2	Kleinsignalverhalten der Basisschaltung	106
3.5.2.1	Eingangs- und Ausgangswiderstand	106
3.5.2.2	Verstärkung	108
3.6	Wechselspannungsverstärker	110
3.6.1	Kenngrößen des Wechselspannungsverstärkers	111
3.6.1.1	Verstärkung	111
3.6.1.2	Spannungsfrequenzgang	112

3.6.1.3	Phasenverschiebung	115
3.6.1.4	Signalverzerrungen – Klirrfaktor	115
3.6.1.5	Störspannungen	116
3.6.2	Mehrstufige Verstärker	117
3.6.2.1	Verstärkung und Bandbreite	117
3.6.2.2	Kopplung mehrstufiger Verstärker	119
3.6.3	Breitbandverstärker	121
3.6.3.1	Untere Grenzfrequenz	121
3.6.3.2	Obere Grenzfrequenz	124
3.6.3.3	Erhöhung der Bandbreite durch Gegenkopplung	127
3.6.4	Nf-Vorverstärker	128
3.6.4.1	Anforderungen	128
3.6.4.2	Schaltungsbeispiele mit bipolaren Transistoren	129
3.6.4.2.1	Zweistufiger Verstärker ohne Signalgegenkopplung	129
3.6.4.2.2	Zweistufiger Verstärker mit Signalgegenkopplung	132
3.6.4.3	Schaltungsbeispiele mit Feldeffekt-Transistoren	133
3.6.5	Nf-Leistungsverstärker	135
3.6.5.1	Anforderungen	135
3.6.5.2	Verstärkerarten	135
3.6.5.2.1	Eintaktverstärker	135
3.6.5.2.2	Gegentaktverstärker	136
3.6.5.3	Kollektorschaltung als Leistungsverstärker im A-Betrieb	138
3.6.5.4	Kollektorschaltung im Gegentaktbetrieb	139
3.7	Gleichspannungsverstärker	144
3.7.1	Anforderungen	144
3.7.2	Differenzverstärker	146
3.7.2.1	Grundschialtung des Differenzverstärkers	146
3.7.2.2	Asymmetrischer Ausgang	149
3.7.2.3	Anwendungen des Differenzverstärkers	152
3.8	Operationsverstärker	154
3.8.1	Betriebsarten des Operationsverstärkers	154
3.8.2	Kenngößen des Operationsverstärkers	155
3.8.2.1	Ruhegleichstrom – Stromoffset	156
3.8.2.2	Eingangs- und Ausgangswiderstände	157
3.8.2.3	Frequenzgang der Leerlaufverstärkung	159
3.8.2.4	Spannungsoffset	162
3.8.2.5	Gleichtaktverstärkung und Gleichtaktunterdrückung	163
3.8.2.6	Zusammenfassung der Eingangsspannungen	166
3.8.2.7	Aussteuerbereich des OPV	167
3.8.2.8	Maximale Anstiegsgeschwindigkeit	168
3.8.2.9	Zusammenstellen von Datenblattwerten	168
3.8.3	Grundschialtungen der Gegenkopplung	169
3.8.3.1	Gegenkopplungsarten des OPV	169
3.8.3.2	Wirkungsweise der Gegenkopplung	171
3.8.3.3	Schleifenverstärkung – Grenzen der Gegenkopplung	174
3.8.3.4	Linearität, Bandbreite und Phasenverschiebung des gegengekoppelten Verstärkers	175
3.8.3.5	Stabilität des gegengekoppelten Verstärkers	177
3.8.4	Ausgewählte gegengekoppelte Schaltungen	178
3.8.4.1	Nichtinvertierender Verstärker (Elektrometerverstärker)	178
3.8.4.2	Invertierender Verstärker	181
3.8.4.3	Summierverstärker	184
3.8.4.4	Subtrahierverstärker – Differenzverstärker	186

3.8.4.5	Umschalten von invertierenden Betrieb auf nichtinvertierenden Betrieb	187
3.8.4.6	Einfache Filterschaltungen	188
3.8.4.7	Integrierverstärker	190
3.8.4.8	Stromquellen und Stromverstärker	193
3.8.4.9	Prinzip des Regelverstärkers	195
3.8.4.10	Instrumentierungsverstärker	196
3.8.4.11	Transimpedanzverstärker	197
4	Schaltungen zur Stabilisierung von Spannungen und Strömen	203
4.1	Einführung	203
4.2	Konstantspannungsquelle	203
4.3	Konstantstromquelle	205
4.4	Stabilisierung	206
4.4.1	Spannungsstabilisierung	207
4.4.1.1	Kenngrößen der Stabilisierung	207
4.4.1.2	Parallelstabilisierung	208
4.4.1.2.1	Z-Dioden-Stabilisierung	208
4.4.1.2.2	Stabilisierung mit Z-Diode und Quertransistor	212
4.4.1.2.3	Parallelstabilisierung mit Operationsverstärker	214
4.4.1.3	Serienstabilisierung	215
4.4.1.3.1	Stabilisierung mit Z-Diode und Längstransistor	215
4.4.1.3.2	Stabilisierung mit Z-Diode und Operationsverstärker	219
4.4.1.3.3	Stabilisierung mit Regelverstärker	220
4.4.1.3.4	Stabilisierung mit Regelverstärker für veränderliche Ausgangsspannung	224
4.4.1.3.5	Stabilisierung mit Regelverstärker bei großer Ausgangsleistung	226
4.4.2	Stromstabilisierung	227
4.4.2.1	Transistoren als Stromquelle	227
4.4.2.1.1	Bipolarer Transistor	227
4.4.2.1.2	Feldeffekt-Transistor	228
4.4.2.2	Stromquelle mit Operationsverstärker	229
4.4.2.3	Stromquelle für höhere Ströme	229
4.4.3	Strombegrenzung	231
4.4.3.1	Überstromsicherung	231
4.4.3.2	Strombegrenzung durch Widerstand	233
4.4.3.3	Stromregelung	235
4.4.4	Spannungsstabilisierung mit Schaltregler	241
4.4.4.1	Prinzip eines Schaltreglers mit Speicherdrossel (Durchflußwandler)	241
4.4.4.2	Schaltregler nach dem Sperrwandlerprinzip	249
4.4.4.3	Regelung des Tastverhältnisses	254
4.4.4.4	Integrierte Festspannungsregler	259
5	Transistor-Schalterstufen	263
5.1	Allgemeines	263
5.2	Betriebsarten	264
5.2.1	Nichtübersteuerter Betrieb	264
5.2.2	Übersteuerter Betrieb	266
5.3	Schaltvorgänge und Schaltzeiten	268
5.3.1	Schalten in den Durchlaßzustand	268
5.3.2	Schalten in den Sperrzustand	270
5.3.3	Beeinflussung der Schaltzeiten	272
5.4	Schalten bei verschiedenartiger Belastung	272
5.4.1	Schalten bei ohmscher Belastung	272
5.4.2	Schalten bei kapazitiver Belastung	274

5.4.3	Schalten bei induktiver Belastung	275
5.4.4	Schalten von Heiß- und Kaltleitern	277
5.5	Belastbarkeit	279
5.5.1	Höchstzulässige Verlustleistung	279
5.5.2	Mittlere Verlustleistung	281
5.5.3	Impulsverlustleistung	284
5.6	Mehrstufiger Transistorschalter	287
6	Schaltungen mit Mehrschichtdioden, Diac und Triac	289
6.1	Vierschichtdiode als elektronischer Schalter	289
6.2	Thyristor als elektronischer Schalter	290
6.2.1	Zündschaltungen	290
6.2.1.1	Allgemeines	290
6.2.1.2	Phasenanschnittsteuerung	293
6.2.1.3	Vollwellensteuerung (Wellenpaketsteuerung)	298
6.2.2	Anwendungen des Thyristors	299
6.2.2.1	Vollweg-Leistungssteuerung	299
6.2.2.2	Einstellbarer Gleichrichter	301
6.2.2.3	Vollwellenschaltung	301
6.3	Diac und Triac als elektronische Schalter	301
6.3.1	Phasenanschnittsteuerung	302
7	Kippschaltungen	303
7.1	Bistabile Kippstufe	303
7.1.1	Arbeitsweise	303
7.1.2	Ansteuerungsarten	306
7.1.3	Bistabile Kippstufen mit besonderen Eigenschaften	309
7.1.4	Anwendungsbeispiele	311
7.1.4.1	Bistabile Kippstufe als Frequenzteiler	311
7.1.4.2	Bistabile Kippstufe als Signalspeicher	312
7.1.5	Bemessung bistabiler Kippstufen	312
7.2	Monostabile Kippstufe	315
7.2.1	Arbeitsweise	315
7.2.2	Monostabile Kippstufe mit Schutzdiode	317
7.2.3	Ansteuerungsarten	318
7.2.4	Anwendungsbeispiele	318
7.2.4.1	Schaltung zur Impulsverlängerung	318
7.2.4.2	Schaltung zur Impulsregenerierung	320
7.2.5	Schaltzeichen	320
7.2.6	Bemessung monostabiler Kippstufen	321
7.3	Astabile Kippschaltung (Multivibrator)	323
7.3.1	Arbeitsweise	323
7.3.2	Schaltungsaufbau und Impuls-Pausen-Verhältnis	326
7.3.3	Bemessung von astabilen Kippschaltungen	329
7.3.4	Anwendungsbeispiele	332
7.3.4.1	Impulsgeber	332
7.3.4.2	Rechteckgenerator	333
7.3.4.3	Einfache Blinkschaltung	333
7.3.5	Synchronisierte astabile Kippschaltung	333
7.3.6	Schaltzeichen	334
8	Generatorschaltungen	335
8.1	Prinzip einer Generatorschaltung	335
8.1.1	Allgemeine Schwingbedingungen	337

8.2	Erzeugung rechteckförmiger Spannungen	338
8.3	Erzeugung von sägezahnförmigen Spannungen	339
8.3.1	Sägezahngenerator mit Stromquelle	341
8.3.2	Miller-Integrator	342
8.3.3	Sperrschwinger	347
8.3.4	Synchronisierung eines Sägezahngenerators	348
8.4	Erzeugung sinusförmiger Spannungen	350
8.4.1	LC-Generatoren	350
8.4.1.1	Meißner-Oszillator	351
8.4.1.2	Induktive Dreipunktschaltung	352
8.4.1.3	Kapazitive Dreipunktschaltung	353
8.4.2	Quarzgeneratoren	354
8.4.3	RC-Generatoren	357
8.4.3.1	Phasenschiebergenerator	358
8.4.3.2	Wien-Robinson-Generator	359
9	Impulsformerschaltungen	361
9.1	Zeitfunktionen von Strom und Spannung	361
9.2	Begrenzerschaltungen	363
9.2.1	Begrenzerschaltungen mit Dioden	363
9.2.2	Begrenzerschaltungen mit Transistoren	367
9.3	Integrierglied	368
9.3.1	Arbeitsweise des RC-Gliedes	368
9.3.2	Mathematische und elektrische Integration	370
9.4	Differenzierglied	372
9.4.1	Arbeitsweise des CR-Gliedes	372
9.4.2	Mathematische und elektrische Differentiation	374
9.5	Schmitt-Trigger	376
9.5.1	Arbeitsweise	376
9.5.2	Bemessung eines Schmitt-Triggers	379
9.5.3	Anwendungsbeispiele	381
9.5.3.1	Schwellwertschalter	382
9.5.3.2	Sinus-Rechteck-Spannungswandler	382
9.5.4	Schaltzeichen	386
10	Grundlagen der Regelungstechnik	387
10.1	Allgemeines	387
10.1.1	Begriffe der Regelungstechnik	388
10.1.2	Darstellung des Regelkreises	389
10.2	Zeitverhalten der Regelkreisglieder	392
10.2.1	Unstetige Regeleinrichtungen	392
10.2.2	Stetige Regeleinrichtungen	393
10.2.2.1	Proportionale Regeleinrichtung	395
10.2.2.2	Integrierende Regeleinrichtung	396
10.2.2.3	PI-Regeleinrichtung	398
10.2.2.4	D-Regeleinrichtung	399
10.2.2.5	PD-Regeleinrichtung	401
10.2.2.6	PID-Regeleinrichtung	401
10.3	Beispiele für einfache Regelkreise	402
10.3.1	Temperaturregelung	402
10.3.2	Drehzahlregelung von Kleinmotoren	405

11 Einführung in die Digitaltechnik	407
11.1 Grundbegriffe	407
11.1.1 Analoge und digitale Signale	407
11.1.2 Logische Zustände „0“ und „1“	409
11.2 Logische Verknüpfungen	410
11.2.1 UND-Verknüpfung	410
11.2.2 ODER-Verknüpfung	413
11.2.3 Verneinung	415
11.2.4 NAND-Verknüpfung	416
11.2.5 NOR-Verknüpfung	417
11.3 Schaltungen logischer Glieder	418
11.3.1 Schaltungen in Relais-Technik	418
11.3.2 Schaltungen in DTL-Technik	420
11.3.3 Schaltungen in TTL-Technik	421
11.3.4 Schaltungen in MOS-Technik	423
11.4 Pegelangaben „Low“ and „High“	424
11.4.1 Allgemeines	424
11.4.2 Positive Logik	426
11.4.3 Negative Logik	426
11.5 Schaltungsanalyse	427
11.5.1 Allgemeines	427
11.5.2 Soll-Verknüpfung	428
11.5.3 Ist-Verknüpfung	430
11.6 Schaltalgebra	430
11.6.1 Grundlagen	430
11.6.2 Bestimmung der Funktionsgleichung einer Schaltung	431
11.6.3 Darstellung der Schaltung nach der Funktionsgleichung	433
11.6.4 Funktionsgleichung und Kontaktschema	433
11.6.5 Nutzungsmöglichkeiten der Schaltalgebra	434
11.7 Schaltungssynthese	434
12 Digitale Codes und digitale Zähl- und Speichertechnik	437
12.1 Darstellung von Ziffern und Zahlen	437
12.1.1 Duales Zahlensystem	437
12.1.2 BCD-Kode (8-4-2-1-Kode)	439
12.1.3 Weitere Binär-Kodes	440
12.2 Schaltungen zum Kodieren und Dekodieren	441
12.2.1 Umsetzen von Dezimalziffern in Dualzahlen	442
12.2.2 Umsetzen von Dualzahlen in Dezimalziffern	443
12.3 Rechnen mit Dualzahlen	444
12.3.1 Umwandlung von Zahlen	444
12.3.2 Addition von Dualzahlen	447
12.3.3 Subtraktion von Dualzahlen	449
12.4 Speichern und Verschieben digitaler Signale	450
12.4.1 Flipflop-Arten	450
12.4.2 Schieberegister	456
12.4.3 Flipflop-Speicher	461
12.4.4 Magnetkernspeicher	463
12.5 Zählerschaltungen	465
12.5.1 Frequenzteiler	465
12.5.2 Vorwärtszähler	467
12.5.3 Rückwärtszähler	470
12.5.4 Zähldekaden	472
Stichwortverzeichnis	475