

Inhaltsverzeichnis

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	Speicheroszillograf	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-Mittelpunktschaltung 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

3 Verstärkerschaltungen	59
3.1 Grundsaltungen des Transistors	59
3.2 Ersatzschaltung des Transistors bei Kleinsignalaussteuerung	60
3.2.1 Differentieller Eingangswiderstand r_{BE}	60
3.2.2 Differentieller Ausgangswiderstand r_{CE}	61
3.2.3 Rückwirkung	63
3.2.4 Eingangs- und Ausgangskapazität	63
3.2.5 Ersatzschaltbild nach Giacoletto	63
3.2.6 h -Parameter-Ersatzschaltbild	64
3.3 Emitterschaltung	66
3.3.1 Arbeitspunkteinstellung	66
3.3.1.1 Arbeitspunkteinstellung mit Spannungsteiler	67
3.3.1.2 Arbeitspunkteinstellung mit Vorwiderstand	68
3.3.2 Arbeitspunktstabilisierung	69
3.3.2.1 Stabilisierung durch Temperaturkompensation	69
3.3.2.2 Stabilisierung durch Gegenkopplung	70
3.3.2.2.1 Gleichstromgegenkopplung	70
3.3.2.2.2 Gleichspannungsgegenkopplung	73
3.3.3 Kleinsignalverhalten der Emitterschaltung	74
3.3.3.1 Verstärkung	74
3.3.3.2 Eingangs- und Ausgangswiderstand	77
3.3.3.3 Ankopplung des Verbraucherwiderstandes	79
3.3.3.4 Berechnung einer Emitterschaltung	80
3.3.4 Kleinsignalverhalten der Emitterschaltung mit Strom- und Spannungsgegenkopplung	84
3.3.4.1 Stromgegenkopplung	84
3.3.4.2 Spannungsgegenkopplung	87
3.3.5 Anwendung der Emitterschaltung	89
3.4 Kollektorschaltung	89
3.4.1 Arbeitspunkteinstellung	90
3.4.2 Kleinsignalverhalten der Kollektorschaltung	91
3.4.2.1 Verstärkung	91
3.4.2.2 Eingangs- und Ausgangswiderstand	93
3.4.3 Kollektorschaltung als Impedanzwandler	95
3.4.4 Bootstrap-Schaltung	96
3.4.5 Darlington-Schaltung	97
3.5 Basisschaltung	98
3.5.1 Arbeitspunkteinstellung	98
3.5.2 Kleinsignalverhalten der Basisschaltung	98
3.5.2.1 Eingangs- und Ausgangswiderstand	98
3.5.2.2 Verstärkung	100
3.6 Wechselspannungsverstärker	102
3.6.1 Kenngrößen des Wechselspannungsverstärkers	103
3.6.1.1 Verstärkung	103
3.6.1.2 Spannungsfrequenzgang	104
3.6.1.3 Phasenverschiebung	107
3.6.1.4 Signalverzerrungen-Klirrfaktor	107
3.6.1.5 Störspannungen	108
3.6.2 Mehrstufige Verstärker	109
3.6.2.1 Verstärkung und Bandbreite	109
3.6.2.2 Kopplung mehstufiger Verstärker	111
3.6.3 Breitbandverstärker	113
3.6.3.1 Untere Grenzfrequenz	113
3.6.3.2 Obere Grenzfrequenz	116
3.6.3.3 Erhöhung der Bandbreite durch Gegenkopplung	119
3.6.4 NF-Vorverstärker	120
3.6.4.1 Anforderungen	120
3.6.4.2 Schaltungsbeispiele mit bipolaren Transistoren	121
3.6.4.2.1 Zweistufiger Verstärker ohne Signalgegenkopplung	121
3.6.4.2.2 Zweistufiger Verstärker mit Signalgegenkopplung	124

3.6.4.3	Schaltungsbeispiele mit Feldeffekttransistoren	125
3.6.5	Nf-Leistungsverstärker	127
3.6.5.1	Anforderungen	127
3.6.5.2	Verstärkerarten	127
3.6.5.3	Kollektorschaltung als Leistungsverstärker	130
3.6.5.4	Kollektorschaltung im Gegentaktbetrieb	131
3.7	Gleichspannungsverstärker	136
3.7.1	Anforderungen	136
3.7.2	Differenzverstärker	138
3.8	Operationsverstärker	142
3.8.1	Betriebsarten des Operationsverstärkers	142
3.8.2	Kenngrößen des Operationsverstärkers	143
3.8.2.1	Ruhegleichstrom — Stromoffset	144
3.8.2.2	Eingangs- und Ausgangswiderstände	145
3.8.2.3	Frequenzgang der Leerlaufverstärkung	147
3.8.2.4	Spannungsoffset	150
3.8.2.5	Gleichtaktverstärkung und Gleichtaktunterdrückung	151
3.8.2.6	Zusammenfassung der Eingangsspannungen	154
3.8.2.7	Aussteuerbereich des OPV	155
3.8.2.8	Maximale Anstiegsgeschwindigkeit	156
3.8.2.9	Zusammenstellen von Datenblattwerten	156
3.8.3	Grundschaltungen der Gegenkopplung	157
3.8.3.1	Gegenkopplungsarten des OPV	157
3.8.3.2	Wirkungsweise der Gegenkopplung	159
3.8.3.3	Schleifenverstärkung — Grenzen der Gegenkopplung	162
3.8.3.4	Linearität, Bandbreite und Phasenverschiebung des gegengekoppelten Verstärkers	163
3.8.3.5	Stabilität des gegengekoppelten Verstärkers	165
3.8.4	Ausgewählte gegengekoppelte Schaltungen	166
3.8.4.1	Nichtinvertierender Verstärker (Elektrometervverstärker)	166
3.8.4.2	Invertierender Verstärker	169
3.8.4.3	Summierverstärker	172
3.8.4.4	Subtrahierverstärker — Differenzverstärker	174
3.8.4.5	Umschalten von invertierendem Betrieb auf nichtinvertierenden Betrieb	175
3.8.4.6	Einfache Filterschaltungen	176
3.8.4.7	Integrierverstärker	178
3.8.4.8	Stromquellen und Stromverstärker	181
3.8.4.9	Prinzip des Regelverstärkers	183
4	Schaltungen zur Stabilisierung von Spannungen und Strömen	185
4.1	Einführung	185
4.2	Konstantspannungsquelle	185
4.3	Konstantstromquelle	187
4.4	Stabilisierung	188
4.4.1	Spannungsstabilisierung	189
4.4.1.1	Kenngrößen der Stabilisierung	189
4.4.1.2	Parallelstabilisierung	190
4.4.1.2.1	Z-Dioden-Stabilisierung	190
4.4.1.2.2	Stabilisierung mit Z-Diode und Quertransistor	194
4.4.1.2.3	Parallelstabilisierung mit Operationsverstärker	196
4.4.1.3	Serienstabilisierung	197
4.4.1.3.1	Stabilisierung mit Z-Diode und Längstransistor	197
4.4.1.3.2	Stabilisierung mit Z-Diode und Operationsverstärker	201
4.4.1.3.3	Stabilisierung mit Regelverstärker	202
4.4.1.3.4	Stabilisierung mit Regelverstärker für veränderliche Ausgangsspannung	206
4.4.1.3.5	Stabilisierung mit Regelverstärker bei großer Ausgangsleistung	208
4.4.2	Stromstabilisierung	209
4.4.2.1	Transistor als Stromquelle	209
4.4.2.1.1	Bipolarer Transistor	209
4.4.2.1.2	Feldeffekt-Transistor	210

4.4.2.2	Stromquelle mit Operationsverstärker	211
4.4.2.3	Stromquelle für höhere Ströme	211
4.4.3	Strombegrenzung	213
4.4.3.1	Überstromsicherung	213
4.4.3.2	Strombegrenzung durch Widerstand	215
4.4.3.3	Stromregelung	217
5	Transistor-Schalterstufen	223
5.1	Allgemeines	223
5.2	Betriebsarten	224
5.2.1	Nichtübersteuertes Betrieb	224
5.2.2	Übersteuertes Betrieb	226
5.3	Schaltvorgänge und Schaltzeiten	228
5.3.1	Schalten in den Durchlaßzustand	228
5.3.2	Schalten in den Sperrzustand	230
5.3.3	Beeinflussung der Schaltzeiten	232
5.4	Schalten bei verschiedenartiger Belastung	232
5.4.1	Schalten bei ohmscher Belastung	232
5.4.2	Schalten bei kapazitiver Belastung	233
5.4.3	Schalten bei induktiver Belastung	235
5.4.4	Schalten von Heiß- und Kaltleitern	237
5.5	Belastbarkeit	239
5.5.1	Höchstzulässige Verlustleistung	239
5.5.2	Mittlere Verlustleistung	241
5.5.3	Impulsverlustleistung	244
5.6	Mehrstufiger Transistorschalter	247
6	Schaltungen mit Mehrschichtdioden, Diac und Triac	249
6.1	Vierschichtdiode als elektronischer Schalter	249
6.2	Thyristor als elektronischer Schalter	250
6.2.1	Zündschaltungen	250
6.2.1.1	Allgemeines	250
6.2.1.2	Phasenanschnittsteuerung	253
6.2.1.3	Vollwellensteuerung	258
6.2.2	Anwendungen des Thyristors	259
6.2.2.1	Vollweg-Leistungsregler	259
6.2.2.2	Einstellbarer Gleichrichter	261
6.2.2.3	Vollwellenschaltung	261
6.3	Diac und Triac als elektronische Schalter	261
6.3.1	Phasenanschnittsteuerung	262
7	Kippschaltungen	263
7.1	Bistabile Kippstufe	263
7.1.1	Arbeitsweise	263
7.1.2	Ansteuerungsarten	266
7.1.3	Bistabile Kippstufen mit besonderen Eigenschaften	269
7.1.4	Anwendungsbeispiele	271
7.1.4.1	Bistabile Kippstufe als Frequenzteiler	271
7.1.4.2	Bistabile Kippstufe als Signalspeicher	272
7.1.5	Bemessung bistabiler Kippstufen	272
7.2	Monostabile Kippstufe	275
7.2.1	Arbeitsweise	275
7.2.2	Monostabile Kippstufe mit Schutzdiode	277
7.2.3	Ansteuerungsarten	278
7.2.4	Anwendungsbeispiele	278
7.2.4.1	Schaltung zur Impulsverlängerung	278
7.2.4.2	Schaltung zur Impulsregenerierung	280
7.2.5	Schaltzeichen	280
7.2.6	Bemessung monostabiler Kippstufen	281
7.3	Astabile Kippschaltung (Multivibrator)	283

7.3.1	Arbeitsweise	283
7.3.2	Schaltungsaufbau und Impuls-Pausen-Verhältnis	286
7.3.3	Bemessung von astabilen Kippschaltungen	288
7.3.4	Anwendungsbeispiele	292
7.3.4.1	Impulsgeber	292
7.3.4.2	Rechteckgenerator	293
7.3.4.3	Einfache Blinkschaltung	293
7.3.5	Synchronisierte astabile Kippschaltung	293
7.3.6	Schaltzeichen	294
8	Generatorschaltungen	295
8.1	Prinzip einer Generatorschaltung	295
8.1.1	Allgemeine Schwingbedingungen	297
8.2	Erzeugung rechteckförmiger Spannungen	298
8.3	Erzeugung von sägezahnförmigen Spannungen	299
8.3.1	Sägezahngenerator mit Stromquelle	301
8.3.2	Miller-Integrator	302
8.3.3	Sperrschwinger	307
8.3.4	Synchronisierung eines Sägezahngenerators	308
8.4	Erzeugung sinusförmiger Spannungen	310
8.4.1	LC-Generatoren	310
8.4.1.1	Meißner-Oszillator	311
8.4.1.2	Induktive Dreipunktschaltung	312
8.4.1.3	Kapazitive Dreipunktschaltung	313
8.4.2	Quarzgeneratoren	314
8.4.3	RC-Generatoren	317
8.4.3.1	Phasenschiebegerator	318
8.4.3.2	Wien-Robinson-Generator	319
9	Impulsformerschaltungen	321
9.1	Zeitfunktionen von Strom und Spannung	321
9.2	Begrenzerschaltungen	323
9.2.1	Begrenzerschaltungen mit Dioden	323
9.2.2	Begrenzerschaltungen mit Transistoren	327
9.3	Integrierglied	328
9.3.1	Arbeitsweise des RC-Gliedes	328
9.3.2	Mathematische und elektrische Integration	330
9.4	Differenzierglied	332
9.4.1	Arbeitsweise des CR-Gliedes	332
9.4.2	Mathematische und elektrische Differentiation	334
9.5	Schmitt-Trigger	336
9.5.1	Arbeitsweise	336
9.5.2	Bemessung eines Schmitt-Triggers	339
9.5.3	Anwendungsbeispiele	341
9.5.3.1	Schwellwertschalter	342
9.5.3.2	Sinus-Rechteck-Spannungswandler	342
9.5.4	Schaltzeichen	346
10	Grundlagen der Regelungstechnik	347
10.1	Allgemeines	347
10.1.1	Begriffe der Regelungstechnik	348
10.1.2	Darstellung des Regelkreises	349
10.2	Zeitverhalten der Regelkreisglieder	352
10.2.1	Unstetige Regeleinrichtungen	352
10.2.2	Stetige Regeleinrichtungen	353
10.2.2.1	Proportionale Regeleinrichtung	355
10.2.2.2	Integrierende Regeleinrichtung	356
10.2.2.3	PI-Regeleinrichtung	358
10.2.2.4	D-Regeleinrichtung	359
10.2.2.5	PD-Regeleinrichtung	361

10.2.2.6	PID-Regelinrichtung	361
10.3	Beispiele für einfache Regelkreise	362
10.3.1	Temperaturregelung	362
10.3.2	Drehzahlregelung von Kleinmotoren	365
11	Einführung in die Digitaltechnik	367
11.1	Grundbegriffe	367
11.1.1	Analoge und digitale Signale	367
11.1.2	Logische Zustände „0“ und „1“	369
11.2	Logische Verknüpfungen	370
11.2.1	UND-Verknüpfung	370
11.2.2	ODER-Verknüpfung	373
11.2.3	Verneinung	375
11.2.4	NAND-Verknüpfung	376
11.2.5	NOR-Verknüpfung	377
11.3	Schaltungen logischer Glieder	378
11.3.1	Schaltungen in Relais-Technik	378
11.3.2	Schaltungen in DTL-Technik	380
11.3.3	Schaltungen in TTL-Technik	381
11.3.4	Schaltungen in MOS-Technik	383
11.4	Pegelangaben „Low“ und „High“	384
11.4.1	Allgemeines	384
11.4.2	Positive Logik	386
11.4.3	Negative Logik	386
11.5	Schaltungsanalyse	387
11.5.1	Allgemeines	387
11.5.2	Soll-Verknüpfung	388
11.5.3	Ist-Verknüpfung	390
11.6	Schaltalgebra	390
11.6.1	Grundlagen	390
11.6.2	Bestimmung der Funktionsgleichung einer Schaltung	391
11.6.3	Darstellung der Schaltung nach der Funktionsgleichung	393
11.6.4	Funktionsgleichung und Kontaktschema	393
11.6.5	Nutzungsmöglichkeiten der Schaltalgebra	394
11.7	Schaltungssynthese	394
12	Digitale Codes und digitale Zähl- und Speichertechnik	397
12.1	Darstellung von Ziffern und Zahlen	397
12.1.1	Duales Zahlensystem	397
12.1.2	BCD-Kode (8-4-2-1-Kode)	399
12.1.3	Weitere Binär-Kodes	400
12.2	Schaltungen zum Kodieren und Dekodieren	401
12.2.1	Umsetzen von Dezimalziffern in Dualzahlen	402
12.2.2	Umsetzen von Dualzahlen in Dezimalziffern	403
12.3	Rechnen mit Dualzahlen	404
12.3.1	Umwandlung von Zahlen	404
12.3.2	Addition von Dualzahlen	407
12.3.3	Subtraktion von Dualzahlen	409
12.4	Speichern und Verschieben digitaler Signale	410
12.4.1	Flipflop-Arten	410
12.4.2	Schieberegister	416
12.4.3	Flipflop-Speicher	421
12.4.4	Magnetkernspeicher	423
12.5	Zählerschaltungen	425
12.5.1	Frequenzteiler	425
12.5.2	Vorwärtszähler	427
12.5.3	Rückwärtszähler	430
12.5.4	Zähldekaden	432
	Stichwortverzeichnis	435