

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Das Oszilloskop als vielseitiges Messgerät	15
1.1 Kenndaten eines Oszilloskops	15
1.1.1 Empfindlichkeit – Ablenkkoeffizient	15
1.1.2 Anstiegszeit	16
1.1.3 Bandbreite	17
1.1.3.1 Y-Verstärker	18
1.1.3.2 Zeitbasis	18
1.1.3.3 X-Verstärker	18
1.1.4 Eingangswiderstand	19
1.1.5 Eingangskapazität	19
1.2 Tastköpfe	19
1.2.1 Einsatzmöglichkeiten und Vorteile von Tastköpfen	20
1.2.1.1 1 : 1-Tastkopf	20
1.2.1.2 10 : 1-Tastkopf	21
1.2.1.3 Gleichrichter-Tastkopf	22
1.2.2 Abgleich von Tastköpfen	23
1.3 Ausführungsformen von Oszilloskopen	24
1.3.1 Zweistrahloszilloskop	24
1.3.2 Zweikanaloszilloskop	24
1.3.3 Speicheroszilloskop	25
1.3.3.1 Analog-Speicheroszilloskop	26
1.3.3.2 Digitalspeicheroszilloskop	27
1.4 Einsatzmöglichkeiten des Oszilloskops	32
1.4.1 Darstellung und Messung von periodischen Spannungen ..	33
1.4.2 Darstellung und Messung von einmaligen Spannungssprüngen	33
1.4.3 Frequenzmessung und Phasenmessung	34
1.4.3.1 Verwendung der Zeitbasis	34
1.4.3.2 Auswertung der Lissajous-Figuren	35
1.4.4 Darstellung einer Kennlinie	37
1.4.5 Wobbeln eines Filters	37
2 Gleichrichterschaltungen	41
2.1 Allgemeines	41
2.2 Netzgleichrichterschaltungen	41
2.2.1 Grundsaltungen	41
2.2.2 Gleichrichterschaltungen mit ohmscher Belastung	43
2.2.2.1 Einweg-Gleichrichterschaltung (Einpuls-Mittelpunktschaltung M1)	43
2.2.2.2 Brücken-Gleichrichterschaltung (Zweipuls-Brückenschaltung B2)	45

2.2.2.3	Mittelpunkt-Zweiweg-Gleichrichterschaltung (Zweipuls-Mittelpunktschaltung M2)	47
2.2.3	Gleichrichterschaltungen mit kapazitiver Belastung	49
2.2.4	Gleichrichterschaltungen mit induktiver Belastung	52
2.3	Siebschaltungen	54
2.3.1	Ladekondensator	54
2.3.2	Siebglieder	55
2.3.2.1	RC-Siebglieder	56
2.3.2.2	LC-Siebglieder	58
2.4	Dimensionierung von Netzgleichrichterschaltungen	60
2.5	Spannungsverdopplerschaltungen	63
2.5.1	Delon-Schaltung (Zweipuls-Verdopplerschaltung D2)	63
2.5.2	Villard-Schaltung (Einpuls-Verdopplerschaltung D1)	64
2.6	Spannungsvervielfacher-Schaltungen	66
2.7	Schaltnetzteile	68
2.7.1	Schaltnetzteil-Prinzip	68
2.7.2	Primärgetaktete Schaltnetzteile	70
2.7.2.1	Durchflusswandler	70
2.7.2.2	Sperrwandler	71
2.7.3	Sekundärgetaktete Schaltnetzteile	73
2.7.4	Schaltnetzteil mit Gegentaktflusswandler	73
2.8	Kondensatornetzteile	74
3	Verstärkerschaltungen	79
3.1	Grundschtaltung des Transistors	79
3.2	Ersatzschaltung des Transistors bei Kleinsignalaussteuerung	80
3.2.1	Der differentielle Eingangswiderstand r_{BE} (Vierpolparameter h_{11e})	80
3.2.2	Differentieller Ausgangswiderstand r_{CE} (Vierpolparameter $1/h_{22e}$)	81
3.2.3	Rückwirkung	82
3.2.4	Eingangs- und Ausgangskapazität	83
3.2.5	Ersatzschaltbild nach GIACOLETTO	83
3.2.6	h -Parameter-Ersatzschaltbild	84
3.3	Emitterschaltung	85
3.3.1	Arbeitspunkteinstellung	86
3.3.1.1	Arbeitspunkteinstellung mit Spannungsteiler	87
3.3.1.2	Arbeitspunkteinstellung mit Vorwiderstand	88
3.3.2	Arbeitspunktstabilisierung	89
3.3.2.1	Stabilisierung durch Temperaturkompensation	90
3.3.2.2	Stabilisierung durch Gegenkopplung	90
3.3.3	Kleinsignalverhalten der Emitterschaltung	95
3.3.3.1	Verstärkung der Emitterschaltung	95
3.3.3.2	Eingangs- und Ausgangswiderstand	98
3.3.3.3	Ankopplung des Verbraucherwiderstandes	100
3.3.3.4	Berechnung einer Emitterschaltung	102
3.3.4	Kleinsignalverhalten der Emitterschaltung mit Strom- und Spannungsgegenkopplung	105

	3.3.4.1	Stromgegenkopplung	106
	3.3.4.2	Spannungsgegenkopplung	109
	3.3.5	Anwendung der Emitterschaltung	111
3.4		Kollektorschaltung (Emitterfolger)	111
	3.4.1	Arbeitspunkteinstellung	111
	3.4.2	Kleinsignalverhalten der Kollektorschaltung	113
		3.4.2.1 Verstärkung	113
		3.4.2.2 Eingangs- und Ausgangswiderstand	115
	3.4.3	Kollektorschaltung als Impedanzwandler	117
	3.4.4	Bootstrap-Schaltung	118
	3.4.5	Darlington-Schaltung	118
3.5		Basisschaltung	120
	3.5.1	Arbeitspunkteinstellung	120
	3.5.2	Kleinsignalverhalten der Basisschaltung	120
		3.5.2.1 Eingangs- und Ausgangswiderstand	121
		3.5.2.2 Verstärkung	122
3.6		Wechselspannungsverstärker	125
	3.6.1	Kenngrößen des Wechselspannungsverstärkers	125
		3.6.1.1 Verstärkung	125
		3.6.1.2 Spannungsfrequenzgang	126
		3.6.1.3 Phasenverschiebung	129
		3.6.1.4 Signalverzerrungen – Klirrfaktor	129
		3.6.1.5 Störspannungen	130
	3.6.2	Mehrstufige Verstärker	132
		3.6.2.1 Verstärkung und Bandbreite	132
		3.6.2.2 Kopplung mehrstufiger Verstärker	134
	3.6.3	Breitbandverstärker	136
		3.6.3.1 Untere Grenzfrequenz f_{gu}	137
		3.6.3.2 Obere Grenzfrequenz	140
		3.6.3.3 Erhöhung der Bandbreite durch Gegenkopplung	142
	3.6.4	Nf-Vorverstärker	144
		3.6.4.1 Anforderungen	144
		3.6.4.2 Schaltungsbeispiele mit bipolaren Transistoren	145
		3.6.4.3 Schaltungsbeispiele mit Feldeffekt-Transistoren	148
	3.6.5	Nf-Leistungsverstärker	150
		3.6.5.1 Anforderungen	150
		3.6.5.2 Verstärkerarten	151
		3.6.5.3 Kollektorschaltung als Leistungsverstärker im A-Betrieb	154
		3.6.5.4 Kollektorschaltung im Gegentaktbetrieb	155
3.7		Gleichspannungsverstärker	160
	3.7.1	Anforderungen	160
	3.7.2	Differenzverstärker	161
		3.7.2.1 Grundschtaltung des Differenzverstärkers	161
		3.7.2.2 Asymmetrischer Ausgang	164
		3.7.2.3 Anwendungen des Differenzverstärkers	168
3.8		Operationsverstärker	169

3.8.1	Betriebsarten des Operationsverstärkers	170
3.8.2	Kenngrößen des Operationsverstärkers	170
3.8.2.1	Ruhegleichstrom – Stromoffset	171
3.8.2.2	Eingangs- und Ausgangswiderstände	173
3.8.2.3	Frequenzgang der Leerlaufverstärkung	175
3.8.2.4	Spannungsoffset	177
3.8.2.5	Gleichtaktverstärkung und Gleichtaktunterdrückung	179
3.8.2.6	Zusammenfassung der Eingangsspannungen ..	182
3.8.2.7	Aussteuerbereich des OPV	183
3.8.2.8	Maximale Anstiegsgeschwindigkeit	184
3.8.2.9	Zusammenstellen von Datenblattwerten	184
3.8.3	Grundsaltungen der Gegenkopplung	185
3.8.3.1	Gegenkopplungsarten des OPV	185
3.8.3.2	Wirkungsweise der Gegenkopplung	187
3.8.3.3	Schleifenverstärkung – Grenzen der Gegenkopplung	190
3.8.3.4	Linearität, Bandbreite und Phasenverschiebung des gegengekoppelten Verstärkers	191
3.8.3.5	Stabilität des gegengekoppelten Verstärkers ...	194
3.8.4	Ausgewählte gegengekoppelte Schaltungen	194
3.8.4.1	Nichtinvertierender Verstärker (Elektrometerverstärker)	195
3.8.4.2	Invertierender Verstärker	198
3.8.4.3	Summierverstärker	202
3.8.4.4	Subtrahierverstärker – Differenzverstärker	203
3.8.4.5	Umschalten von invertierendem Betrieb auf nichtinvertierenden Betrieb	205
3.8.4.6	Filterschaltungen	205
3.8.4.7	Integrierverstärker	212
3.8.4.8	Stromquellen und Stromverstärker	215
3.8.4.9	Prinzip des Regelverstärkers	217
3.8.4.10	Instrumentierungsverstärker	218
3.8.4.11	Transimpedanzverstärker	219
4	Schaltungen zur Stabilisierung von Spannungen und Strömen	225
4.1	Einführung	225
4.2	Konstantspannungsquelle	225
4.3	Konstantstromquelle	228
4.4	Stabilisierung	228
4.4.1	Spannungsstabilisierung	229
4.4.1.1	Kenngrößen der Stabilisierung	229
4.4.1.2	Parallelstabilisierung	230
4.4.1.3	Serienstabilisierung	238
4.4.2	Stromstabilisierung	250
4.4.2.1	Transistoren als Stromquelle	250
4.4.2.2	Stromquelle mit Operationsverstärker	252
4.4.2.3	Stromquelle für höhere Ströme	252

4.4.3	Strombegrenzung	254
4.4.3.1	Überstromsicherung	255
4.4.3.2	Strombegrenzung durch Widerstand	256
4.4.3.3	Stromregelung	259
4.4.4	Spannungsstabilisierung mit Schaltregler	264
4.4.4.1	Prinzip eines Schaltreglers mit Speicherdrossel (Durchflusswandler)	265
4.4.4.2	Schaltregler nach dem Sperrwandlerprinzip	272
4.4.4.3	Regelung des Tastverhältnisses	277
4.4.4.4	Integrierte Festspannungsregler	282
5	Transistor-Schalterstufen	287
5.1	Allgemeines	287
5.2	Betriebsarten	288
5.2.1	Nichtübersteuerter Betrieb	288
5.2.2	Übersteuerter Betrieb	290
5.3	Schaltvorgänge und Schaltzeiten	292
5.3.1	Schalten in den Durchlasszustand	292
5.3.2	Schalten in den Sperrzustand	294
5.3.3	Beeinflussung der Schaltzeiten	296
5.4	Schalten bei verschiedenartiger Belastung	297
5.4.1	Schalten bei ohmscher Belastung	297
5.4.2	Schalten bei kapazitiver Belastung	298
5.4.3	Schalten bei induktiver Belastung	300
5.4.4	Schalten von Heiß- und Kaltleitern	302
5.5	Belastbarkeit	303
5.5.1	Höchstzulässige Verlustleistung	303
5.5.2	Mittlere Verlustleistung	305
5.5.3	Impulsverlustleistung	309
5.6	Mehrstufige Transistorschalter	312
6	Schaltungen mit Mehrschichtdioden, Diac und Triac	315
6.1	Vierschichtdiode als elektronischer Schalter	315
6.2	Thyristor als elektronischer Schalter	316
6.2.1	Zündschaltungen	316
6.2.1.1	Allgemeines	316
6.2.1.2	Phasenanschnittsteuerung	319
6.2.1.3	Vollwellensteuerung (Wellenpaketsteuerung)	324
6.2.2	Anwendungen des Thyristors	325
6.2.2.1	Vollweg-Leistungssteuerung	325
6.2.2.2	Einstellbarer Gleichrichter	326
6.2.2.3	Vollwellenschaltung	326
6.3	Diac und Triac als elektronische Schalter	327
6.3.1	Phasenanschnittsteuerung	327
7	Kippschaltungen	329
7.1	Bistabile Kippstufe	329
7.1.1	Arbeitsweise	329

7.1.2	Ansteuerungsarten	332
7.1.3	Bistabile Kippstufen mit besonderen Eigenschaften	335
7.1.4	Anwendungsbeispiele	336
7.1.4.1	Bistabile Kippstufe als Frequenzteiler	336
7.1.4.2	Bistabile Kippstufe als Signalspeicher	337
7.1.5	Bemessung bistabiler Kippstufen	338
7.2	Monostabile Kippstufe	340
7.2.1	Arbeitsweise	340
7.2.2	Monostabile Kippstufe mit Schutzdiode	343
7.2.3	Ansteuerungsarten	343
7.2.4	Anwendungsbeispiele	345
7.2.4.1	Schaltung zur Impulsverlängerung	345
7.2.4.2	Schaltung zur Impulsregenerierung	345
7.2.5	Schaltzeichen	347
7.2.6	Bemessung monostabiler Kippstufen	347
7.3	Astabile Kippschaltung (Multivibrator)	349
7.3.1	Arbeitsweise	350
7.3.2	Schaltungsaufbau und Impuls-Pausen-Verhältnis	352
7.3.3	Bemessung von astabilen Kippschaltungen	355
7.3.4	Anwendungsbeispiele	358
7.3.4.1	Impulsgeber	358
7.3.4.2	Rechteckgenerator	359
7.3.4.3	Einfache Blinkschaltung	359
7.3.5	Synchronisierte astabile Kippschaltung	359
7.3.6	Schaltzeichen	360
7.4	Kippschaltungen mit Operationsverstärker	361
7.4.1	Bistabile Kippstufe	361
7.4.2	Monostabile Kippstufe	361
7.4.3	Astabile Kippstufe	362
8	Generatorschaltungen	363
8.1	Prinzip einer Generatorschaltung	363
8.1.1	Allgemeine Schwingbedingungen	365
8.2	Erzeugung rechteckförmiger Spannungen	366
8.3	Erzeugung von sägezahnförmigen Spannungen	367
8.3.1	Sägezahngenerator mit Stromquelle	369
8.3.2	Miller-Integrator	370
8.3.3	Sägezahngenerator mit DA-Umsetzer	376
8.3.4	Synchronisierung eines Sägezahngenerators	376
8.4	Erzeugung sinusförmiger Spannungen	378
8.4.1	LC-Generatoren	379
8.4.1.1	Meißner-Oszillator	379
8.4.1.2	Induktive Dreipunktschaltung (Hartley-Oszillator)	380
8.4.1.3	Kapazitive Dreipunktschaltung (Colpitts-Oszillator)	381
8.4.2	Quarzgeneratoren	383
8.4.3	RC-Generatoren	386

	8.4.3.1	Phasenschiebergenerator	387
	8.4.3.2	Wien-Robinson-Generator	388
9		Impulsformerschaltungen	391
	9.1	Zeitfunktionen von Strom und Spannung	391
	9.2	Begrenzerschaltungen	393
	9.2.1	Begrenzerschaltungen mit Dioden	393
	9.2.2	Begrenzerschaltungen mit Transistoren	397
	9.3	Integrierglied	398
	9.3.1	Arbeitsweise des RC-Gliedes	398
	9.3.2	Mathematische und elektrische Integration	400
	9.4	Differenzierglied	401
	9.4.1	Arbeitsweise des CR-Gliedes	401
	9.4.2	Mathematische und elektrische Differentiation	404
	9.5	Schmitt-Trigger	406
	9.5.1	Arbeitsweise	406
	9.5.2	Bemessung eines Schmitt-Triggers	408
	9.5.3	Anwendungsbeispiele	411
	9.5.3.1	Schwellwertschalter	411
	9.5.3.2	Sinus-Rechteck-Spannungswandler	413
	9.5.4	Schaltzeichen	414
10		Grundlagen der Regelungstechnik	417
	10.1	Allgemeines	417
	10.1.1	Begriffe der Regelungstechnik	418
	10.1.2	Darstellung des Regelkreises	419
	10.2	Zeitverhalten der Regelkreisglieder	422
	10.2.1	Unstetige Regeleinrichtungen	422
	10.2.2	Stetige Regeleinrichtungen	424
	10.2.2.1	Proportionale Regeleinrichtung (P-Regelung)	424
	10.2.2.2	Integrierende Regeleinrichtung (I-Regelung)	427
	10.2.2.3	PI-Regeleinrichtung	429
	10.2.2.4	D-Regeleinrichtung	430
	10.2.2.5	PD-Regeleinrichtung	431
	10.2.2.6	PID-Regeleinrichtung	432
	10.3	Beispiele für einfache Regelkreise	432
	10.3.1	Temperaturregelung	432
	10.3.2	Drehzahlregelung von Kleinmotoren	435
11		Einführung in die Digitaltechnik	437
	11.1	Grundbegriffe	437
	11.1.1	Analoge und digitale Signale	437
	11.1.2	Logische Zustände «0» und «1»	439
	11.2	Logische Verknüpfungen	440
	11.2.1	UND-Verknüpfung	440
	11.2.2	ODER-Verknüpfung	443
	11.2.3	Verneinung	445
	11.2.4	NAND-Verknüpfung	446

11.2.5	NOR-Verknüpfung	447
11.3	Schaltungen logischer Glieder	449
11.3.1	Schaltungen in Relais-Technik	449
11.3.2	Schaltungen in DTL-Technik	450
11.3.3	Schaltungen in TTL-Technik	452
11.3.4	Schaltungen in MOS-Technik	453
11.4	Pegelangaben «Low» und «High»	455
11.4.1	Allgemeines	455
11.4.2	Positive Logik	456
11.4.3	Negative Logik	457
11.5	Schaltungsanalyse	458
11.5.1	Allgemeines	458
11.5.2	Soll-Verknüpfung	459
11.5.3	Ist-Verknüpfung	461
11.6	Schaltalgebra	461
11.6.1	Grundlagen	461
11.6.2	Bestimmung der Funktionsgleichung einer Schaltung	462
11.6.3	Darstellung der Schaltung nach der Funktionsgleichung	464
11.6.4	Funktionsgleichung und Kontaktschema	464
11.6.5	Nutzungsmöglichkeiten der Schaltalgebra	465
11.7	Schaltungssynthese	466
12	Digitale Codes und digitale Zähl- und Speichertechnik	469
12.1	Darstellung von Ziffern und Zahlen	469
12.1.1	Duales Zahlensystem	469
12.1.2	BCD-Code (8-4-2-1-Code)	471
12.1.3	Weitere Binär-Codes	473
12.2	Schaltungen zum Codieren und Decodieren	474
12.2.1	Umsetzen von Dezimalziffern in Dualzahlen	474
12.2.2	Umsetzen von Dualzahlen in Dezimalziffern	475
12.3	Rechnen mit Dualzahlen	476
12.3.1	Umwandlung von Zahlen	476
12.3.2	Addition von Dualzahlen	479
12.3.3	Subtraktion von Dualzahlen	481
12.4	Speichern und Verschieben digitaler Signale	482
12.4.1	Flipflop-Arten	482
12.4.2	Schieberegister	488
12.4.3	Flipflop-Speicher	494
12.5	Zählerschaltungen	496
12.5.1	Frequenzteiler	496
12.5.2	Vorwärtszähler	498
12.5.3	Rückwärtszähler	501
12.5.4	Zähldekaden	501
	Stichwortverzeichnis	504