

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Einführung in die Oszillographenmesstechnik	17
1.1 Allgemeines	17
1.2 Aufbau und Arbeitsweise eines Oszilloskops	18
1.3 Bedienung eines Oszilloskops	23
1.4 Lernziel-Test	25
2 Lineare und nichtlineare Widerstände	27
2.1 Allgemeine Eigenschaften	27
2.2 Festwiderstände	29
2.2.1 Eigenschaften von Festwiderständen	29
2.2.2 Bauarten von Festwiderständen	33
2.2.2.1 Schichtwiderstände	33
2.2.2.2 Widerstände in der Mikromodultechnik	35
2.2.2.3 Drahtwiderstände	35
2.3 Einstellbare Widerstände	37
2.3.1 Einstellbare Schichtwiderstände	39
2.3.2 Einstellbare Drahtwiderstände	40
2.3.3 Widerstandskaskaden	40
2.3.4 Elektronische Potentiometer	41
2.4 Temperaturabhängigkeit von Widerständen	43
2.5 Halbleiterwiderstände und Kaltleiterwiderstände	44
2.5.1 Halbleiterwiderstände	44
2.5.1.1 Aufbau und Arbeitsweise	44
2.5.1.2 Kennwerte und Grenzwerte	45
2.5.1.3 Anwendungen	46
2.5.2 Kaltleiterwiderstände	46
2.5.2.1 Aufbau und Arbeitsweise	46
2.5.2.2 Kennwerte und Grenzwerte	47
2.5.2.3 Anwendungen	47
2.6 Spannungsabhängige Widerstände	49
2.6.1 Aufbau und Arbeitsweise	49
2.6.2 Kennwerte und Grenzwerte	50
2.6.3 Anwendungen	52
2.7 Lernziel-Test	53
3 Kondensatoren und Spulen	57
3.1 Kapazität	57
3.2 Kondensatoren	59
3.2.2 Bauarten von Kondensatoren	62
3.2.2.1 Papierkondensatoren, Kunststoffkondensatoren (Folienkondensatoren)	62
3.2.2.2 Metall-Papier-Kondensatoren (MP-Kondensatoren)	63

3.2.2.3	Metall-Kunststoff-Kondensatoren (MK-Kondensatoren)	64
3.2.2.4	Keramikkondensatoren	65
3.2.2.5	Elektrolytkondensatoren	65
3.2.2.6	Einstellbare Kondensatoren	68
3.2.2.7	Superkondensatoren (Supercaps, Powercaps)	69
3.3	Kondensator im Gleichstromkreis	71
3.3.1	Kondensatorladung	71
3.3.2	Kondensatorenergie	73
3.3.3	Kondensatorentladung	73
3.4	Kondensator im Wechselstromkreis	74
3.4.1	Durchlass von Wechselstromschwingungen	74
3.4.2	Kapazitiver Blindwiderstand	75
3.4.3	Phasenverschiebung und Zeigerdiagramm	76
3.4.4	Verlustfaktor und Verlustwinkel	76
3.5	Reihen- und Parallelschaltung von Kondensatoren	77
3.5.1	Reihenschaltung	77
3.5.2	Parallelschaltung	78
3.6	Spulen	79
3.6.1	Induktivität	79
3.6.2	Bauarten von Spulen	81
3.6.2.1	Luftspulen	81
3.6.2.2	Eisenkernspulen	82
3.7	Spule im Gleichstromkreis	83
3.7.1	Magnetfeldaufbau (Einschaltvorgang)	83
3.7.2	Spulenenergie	85
3.7.3	Magnetfeldabbau (Ausschaltvorgang)	85
3.8	Spule im Wechselstromkreis	86
3.8.1	Auf- und Abbau des Magnetfeldes	86
3.8.2	Phasenverschiebung und Zeigerdiagramm	87
3.8.3	Induktiver Blindwiderstand	87
3.8.4	Verlustfaktor und Güte	88
3.8.5	Wickeln von Spulen	89
3.9	Reihen- und Parallelschaltung von Spulen	91
3.9.1	Reihenschaltung	91
3.9.2	Parallelschaltung	92
3.10	Lernziel-Test	94
4	Frequenzabhängige Zwei- und Vierpole	97
4.1	Allgemeines	97
4.1.1	Zweipole	97
4.1.2	Vierpole	97
4.2	Reihenschaltung von R und C	97
4.3	Reihenschaltung von R und L	98
4.4	RC-Glied	99
4.5	CR-Glied	101
4.6	RL-Glied	103
4.7	LR-Glied	105

4.8	Schwingkreise	106
4.8.1	Reihenschaltung von R , L und C	106
4.8.2	Reihenschwingkreise	108
4.8.3	Parallelschaltung von R , L und C	112
4.8.4	Parallelschwingkreise	114
4.9	RC-Glied als Integrierglied	118
4.9.1	Arbeitsweise	118
4.9.2	Integrationsvorgang	119
4.9.3	Einfluss des speisenden Generators	120
4.10	CR-Glied als Differenzierglied	120
4.10.1	Arbeitsweise	120
4.10.2	Differentiationsvorgang	122
4.10.3	Einfluss des speisenden Generators	123
4.11	Lernziel-Test	123
5	Halbleiterdioden	125
5.1	Halbleiterwerkstoffe	125
5.2	Aufbau eines Halbleiterkristalls	126
5.3	Eigenleitfähigkeit	128
5.4	n-Silizium	128
5.5	p-Silizium	130
5.6	pn-Übergang	132
5.6.2	pn-Übergang mit äußerer Spannung	135
5.7	Arbeitsweise von Halbleiterdioden	138
5.7.1	Einkristall-Halbleiterdioden	138
5.7.2	Vielkristall-Halbleiterdioden	143
5.8	Schaltverhalten von Halbleiterdioden	144
5.9	Temperaturverhalten von Halbleiterdioden	146
5.10	Halbleiterdioden als Gleichrichter	147
5.10.1	Einweg-Gleichrichterschaltung (Einpuls-Mittelpunktschaltung M 1)	147
5.10.2	Mittelpunkts-Zweiweg-Gleichrichterschaltung (Zweipuls-Mittelpunktschaltung M 2)	150
5.10.3	Brücken-Zweiweg-Gleichrichterschaltung (Zweipuls-Brückenschaltung B 2)	150
5.11	Halbleiterdioden als Schalter	152
5.12	Bauarten von Halbleiterdioden	153
5.12.1	Flächendioden	153
5.12.2	Spitzendioden	154
5.12.3	Leistungsdioden (Gleichrichter)	155
5.13	Prüfen von Halbleiterdioden	156
5.14	Kennwerte und Grenzwerte	157
5.15	Lernziel-Test	159
6	Halbleiterdioden mit speziellen Eigenschaften	161
6.1	Z-Dioden	161
6.1.1	Allgemeines	161
6.1.2	Zenereffekt	161

6.1.3	Lawineneffekt	162
6.1.4	Durchbruchverhalten	162
6.1.5	Regeneration der Sperrschicht	163
6.1.6	Kennlinien, Kennwerte, Grenzwerte	163
6.1.7	Anwendungen	168
6.1.8	Temperaturkompensation	169
6.2	Kapazitätsdioden	170
6.2.1	Aufbau und Arbeitsweise	170
6.2.2	Kennlinien, Kennwerte, Grenzwerte	172
6.2.3	Anwendungen	174
6.3	Tunneldioden (Esakidioden)	175
6.3.1	Aufbau und Arbeitsweise	175
6.3.2	Kennwerte und Grenzwerte	177
6.3.3	Anwendungen	177
6.4	Backwarddioden	178
6.5	PIN-Dioden	179
6.5.1	Aufbau und Arbeitsweise	179
6.5.2	Kennwerte und Grenzwerte	181
6.5.3	Anwendungen	182
6.6	Schottky-Dioden (Hot-Carrier-Dioden)	182
6.6.1	Aufbau und Arbeitsweise	182
6.6.2	Kennwerte und Grenzwerte	183
6.6.3	Anwendungen	184
6.7	Lernziel-Test	184
7	Bipolare Transistoren	187
7.1	Allgemeines	187
7.2	Arbeitsweise von pnp-Transistoren	187
7.3	Arbeitsweise von npn-Transistoren	192
7.4	Spannungen und Ströme beim Transistor	194
7.5	Kennlinienfelder und Kennwerte (Emittergrundsaltung)	197
7.5.1	Eingangskennlinienfeld	197
7.5.2	Ausgangskennlinienfeld	199
7.5.3	Stromsteuerungskennlinienfeld	200
7.5.4	Rückwirkungskennlinienfeld	202
7.5.5	Vierquadrantenkennlinienfeld	203
7.6	Wahl des Transistorarbeitspunktes	203
7.7	Steuerung des Transistors	207
7.8	Restströme, Sperrspannungen und Durchbruchspannungen	211
7.8.1	Restströme	211
7.8.2	Sperrspannungen	214
7.8.3	Durchbruchspannungen	214
7.9	Übersteuerungszustand und Sättigungsspannungen	214
7.10	Transistorverlustleistung	216
7.10.1	Verlustleistung und Verlusthyperbel	216
7.10.2	Kühlung von Transistoren	218
7.11	Temperatureinfluss und Arbeitspunktstabilisierung	220
7.12	Transistorrauschen	221

7.12.1	Ursachen des Rauschens	221
7.12.2	Widerstandsrauschen	222
7.12.3	Rauschzahl und Rauschmaß	223
7.13	Transistordaten	225
7.13.1	Kennwerte	226
7.13.1.1	Signalkennwerte	226
7.13.1.2	Gleichstromverhältnis	226
7.13.1.3	Restströme und Durchbruchspannungen	226
7.13.1.4	Sperrschichtkapazitäten	227
7.13.1.5	Grenzfrequenzen	227
7.13.1.6	Wärmewiderstände	227
7.13.1.7	Rauschmaß	228
7.13.1.8	Transistor-Schaltzeiten	228
7.13.2	Grenzwerte	228
7.13.2.1	Höchstzulässige Sperrspannungen	228
7.13.2.2	Höchstzulässige Ströme	228
7.13.2.3	Höchstzulässige Verlustleistungen	229
7.13.2.4	Höchstzulässige Temperaturen	229
7.13.3	Datenblätter	229
7.14	Anwendungen	230
7.14.1	Transistorschalterstufen	230
7.14.2	Transistorverstärker	231
7.14.2.1	Einstufige Verstärker	231
7.14.2.2	Mehrstufige Verstärker	233
7.14.3	Verstärker-Grundsaltungen	235
7.15	Lernziel-Test	236
8	Unipolare Transistoren	239
8.1	Sperrschicht-Feldeffekttransistoren (JFET)	239
8.1.1	Aufbau und Arbeitsweise	239
8.1.2	Kennlinien, Kennwerte, Grenzwerte	244
8.1.3	Anwendungen	248
8.2	MOS-Feldeffekttransistoren (IG-FET)	249
8.2.1	Aufbau und Arbeitsweise	250
8.2.1.1	Allgemeines	250
8.2.1.2	Anreicherungstyp	251
8.2.1.3	Verarmungstyp	251
8.2.1.4	Sperrschichtaufbau und Kanalabschnürung	252
8.2.2	Kennlinien, Kennwerte, Grenzwerte	254
8.2.3	Temperaturabhängigkeit	258
8.2.4	Verlustleistung	259
8.2.5	Anwendungen	260
8.2.5.1	Sourceschaltung	260
8.2.5.2	Drainschaltung	262
8.2.5.3	Gateschaltung	264
8.3	Dual-Gate-MOS-FET	264
8.4	Unijunktiontransistoren (UJT)	265
8.5	Lernziel-Test	269

9	IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor).....	271
9.1	Allgemeines.....	271
9.2	Aufbau und Funktionsweise.....	271
9.3	Latch-up-Effekt.....	273
9.4	IGBT-Typen.....	273
9.5	Verluste.....	274
9.6	Vor- und Nachteile des IGBT	275
9.7	Anwendungen und Bauformen.....	275
9.8	Gehäuse	275
9.9	Lernziel-Test.....	276
10	Integrierte Schaltungen	277
10.1	Allgemeines.....	277
10.2	Integrationstechniken.....	278
10.2.1	Monolithtechnik (Halbleiterblocktechnik)	278
10.2.2	Hybridtechnik	281
10.2.2.1	Dünnschichttechnik	281
10.2.2.2	Dickschichttechnik	282
10.3	Analoge und digitale integrierte Schaltungen	283
10.3.1	Digitale IC	283
10.3.2	Analoge IC	285
10.4	Integrationsgrad und Packungsdichte	285
10.5	Vor- und Nachteile integrierter Schaltungen	286
10.6	Nanotechnik	287
10.6.1	Ergebnisse der Nanotechnik	287
10.6.2	Festkörperspeicher in Nanotechnik	287
10.7	Operationsverstärker	288
10.7.1	Einführung.....	288
10.7.2	Aufbau und Arbeitsweise	289
10.7.3	Idealer Operationsverstärker.....	292
10.7.4	Realer Operationsverstärker.....	293
10.7.5	Anwendungen	294
10.8	Lernziel-Test	295
11	Thyristoren	297
11.1	Vierschichtdioden (Thyristordioden).....	297
11.1.1	Aufbau und Arbeitsweise	297
11.1.2	Kennwerte und Grenzwerte.....	300
11.1.3	Anwendungen	301
11.2	Thyristoren (rückwärtssperrende Thyristortrioden)	302
11.2.1	Aufbau und Arbeitsweise	302
11.2.2	Schaltverhalten	308
11.2.3	Kennwerte und Grenzwerte	311
11.2.4	Anwendungen	313
11.2.4.1	Thyristor im Wechselstromkreis	313
11.2.4.2	Thyristor im Gleichstromkreis	316
11.3	Thyristortetroden	317
11.3.1	Aufbau und Arbeitsweise	317

11.3.2	Kennwerte und Grenzwerte	318
11.3.3	Anwendungen	318
11.4	GTO-Thyristoren	319
11.4.1	Aufbau und Arbeitsweise	319
11.4.2	Kennwerte und Grenzwerte	320
11.4.3	Anwendungen	322
11.5	Lernziel-Test	322
12	Diac und Triac	325
12.1	Diac	325
12.1.1	Zweirichtungsdioden	325
12.1.1.1	Aufbau und Arbeitsweise	325
12.1.1.2	Kennwerte und Grenzwerte	326
12.1.2	Zweirichtungs-Thyristordioden	327
12.1.2.1	Aufbau und Arbeitsweise	327
12.1.2.2	Kennwerte und Grenzwerte	328
12.1.3	Anwendung von Diac	328
12.2	Triac	328
12.2.1	Aufbau und Arbeitsweise	328
12.2.2	Triggermodes	331
12.2.3	Kennwerte und Grenzwerte	332
12.3	Steuerungen mit Diac und Triac	334
12.4	Lernziel-Test	337
13	Fotohalbleiter	339
13.1	Innerer fotoelektrischer Effekt	339
13.2	Fotowiderstände	340
13.2.1	Aufbau und Arbeitsweise	340
13.2.2	Kennwerte und Grenzwerte	341
13.2.3	Anwendungen	342
13.3	Fotoelemente und Solarzellen	342
13.3.1	Aufbau und Arbeitsweise	342
13.3.1.1	Silizium-Fotoelemente	343
13.3.1.2	Selen-Fotoelemente	348
13.3.2	Kennwerte und Grenzwerte	350
13.3.3	Anwendungen	350
13.4	Fotodioden	351
13.4.1	Aufbau und Arbeitsweise	351
13.4.2	Kennwerte und Grenzwerte	352
13.4.3	Anwendungen	353
13.5	Fototransistoren	353
13.5.1	Aufbau und Arbeitsweise	353
13.5.2	Kennwerte und Grenzwerte	354
13.5.3	Anwendungen	355
13.6	Fotothyristoren, Fotothyristortetroden	355
13.6.1	Aufbau und Arbeitsweise	355
13.6.2	Kennwerte und Grenzwerte	357
13.6.3	Anwendungen	357

13.7	Leuchtdioden (LED)	358
13.7.1	Grundlagen	358
13.7.2	Aufbau und Arbeitsweise	359
13.7.3	Technologie der LED	361
13.7.4	Bauformen	362
13.7.5	Versorgungsschaltungen	363
13.7.6	LED-Farben	365
13.7.7	Anwendungen	366
13.7.8	Wirkungsgrad	367
13.7.9	Lebensdauer, Temperatureinflüsse	367
13.7.10	Vorteile / Nachteile zu konventionellen Leuchtmitteln	367
13.7.11	Kennwerte und Grenzwerte	368
13.7.12	Organische Leuchtdioden (OLED)	368
13.8	Halbleiterlaser	373
13.9	Lichtwellenleiter	374
13.10	Opto-Koppler	377
13.10.1	Aufbau und Arbeitsweise	377
13.10.2	Kennwerte und Grenzwerte	379
13.10.3	Anwendungen	379
13.11	Lernziel-Test	380
14	Halbleiterbauelemente mit speziellen Eigenschaften	381
14.1	Hallgeneratoren	381
14.1.1	Halleffekt	381
14.1.2	Hallspannung	382
14.1.3	Aufbau	382
14.1.4	Kennwerte und Grenzwerte	383
14.1.5	Anwendungen	384
14.2	Feldplatten	385
14.2.1	Aufbau	385
14.2.2	Widerstandsänderung	386
14.2.3	Kennwerte und Grenzwerte	387
14.2.4	Anwendungen	387
14.3	Magnetdioden	388
14.3.1	Aufbau	388
14.3.2	Widerstandsänderung	389
14.3.3	Kennwerte und Grenzwerte	389
14.3.4	Anwendungen	389
14.4	Druckabhängige Halbleiterbauelemente	390
14.4.1	Piezoeffekt	390
14.4.2	Piezohalbleiter	391
14.5	Flüssigkristall-Bauteile	391
14.5.1	Flüssige Kristalle, Liquid Crystal Device, LCD	391
14.5.2	Aufbau von Anzeigebauteilen	392
14.5.3	Anwendungen	395
14.6	Thin-Film-Transistor(TFT)-LCD-Bildschirme	395
14.7	Plasma-Displays (PDP, Plasma Display Panel)	398
14.8	Lernziel-Test	399

15	Elektronen- und Ionenröhren	401
15.1	Thermoemission	401
15.2	Röhrendiode (Zweipolröhre, Vakuumdiode)	401
15.3	Triode (Dreipolröhre)	403
15.3.1	Kennlinien	403
15.3.2	Kennwerte	404
15.3.3	Anodenrückwirkung	405
15.3.4	Spannungsverstärkung	407
15.3.5	Anodenverlustleistung	408
15.4	Tetrode (Vierpolröhre)	408
15.5	Pentode (Fünfpolröhre)	409
15.5.1	Kennlinien	409
15.5.2	Kennwerte	410
15.5.3	Spannungsverstärkung	411
15.5.4	Vor- und Nachteile der Pentode gegenüber der Triode	412
15.6	Elektronenstrahlröhren	413
15.6.1	Strahlerzeugungssystem	413
15.6.2	Strahlbündelungssystem	414
15.6.3	Strahlablesensystem	415
15.6.4	Leuchtschirm	417
15.6.5	Stromkreis der Elektronenstrahlröhren	417
15.7	Ionenröhren	418
15.7.1	Stoßionisation	418
15.7.2	Gasdiode	419
15.7.3	Glimmröhren	420
15.7.3.1	Aufbau und Arbeitsweise	420
15.7.3.2	Anwendungen	421
15.8	Fotozellen	422
15.8.1	Fotoemission	422
15.8.2	Aufbau und Arbeitsweise	423
15.8.2.1	Vakuumfotozellen	423
15.8.2.2	Gasfotozellen	425
15.9	Lernziel-Test	426
16	Lösungen der Lernziel-Tests	427
	Anhang Datenblätter	437
	Glossar	446
	Stichwortverzeichnis	447