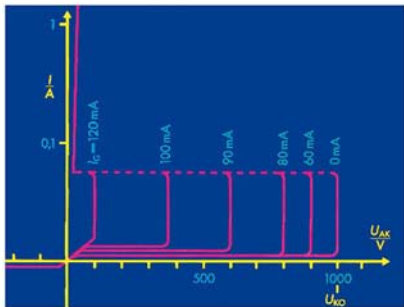


Klaus Beuth / Olaf Beuth

Bauelemente

Elektronik 2



Klaus Beuth/Olaf Beuth

Bauelemente

Klaus Beuth/Olaf Beuth

Bauelemente

20., überarbeitete und erweiterte Auflage

Vogel Buchverlag

Zur Fachbuchgruppe «Elektronik» gehören die Bände:

Klaus Beuth/Olaf Beuth: Elementare Elektronik

Heinz Meister: Elektrotechnische Grundlagen (Elektronik 1)

Klaus Beuth/Olaf Beuth: Bauelemente (Elektronik 2)

Klaus Beuth/Wolfgang Schmusch: Grundsaltungen (Elektronik 3)

Klaus Beuth: Digitaltechnik (Elektronik 4)

Helmut Müller/Lothar Walz: Mikroprozessortechnik (Elektronik 5)

Wolfgang Schmusch: Meßtechnik (Elektronik 6)

Klaus Beuth/Richard Hanebuth/Günter Kurz/Christian Lüders: Nachrichtentechnik (Elektronik 7)

Wolf-Dieter Schmidt: Sensorschaltungstechnik (Elektronik 8)

Olaf Beuth/Klaus Beuth: Leistungselektronik (Elektronik 9)

Weitere Informationen:

www.vogel-buchverlag.de



<http://twitter.com/>



www.facebook.com/vogel.buchverlag



www.vogel-buchverlag.de/rss/buch.rss

E-Book: ISBN 978-3-8343-6198-1

20. Auflage. 2015

Alle Rechte, auch der Übersetzung, vorbehalten.
Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form
(Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen
Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des
Verlages reproduziert oder unter Verwendung
elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt
oder verbreitet werden.

Hiervon sind die in §§ 53, 54 UrhG ausdrücklich
genannten Ausnahmefälle nicht berührt.

Printed in Germany

Copyright 1975 by Vogel Business Media GmbH & Co KG, Würzburg

Umschlaggestaltung: Michael M. Kappenstein, Frankfurt/M.

Vorwort

Die Elektronik dringt in immer weitere Bereiche unseres beruflichen und privaten Lebens ein. Heute müssen sich Angehörige sehr verschiedenartiger Berufe mit der Elektronik, das heißt mit den elektronischen Bauelementen und den elektronischen Schaltungen, auseinandersetzen. Kraftfahrzeuge, Büromaschinen, Haushaltsgeräte und Uhren – um nur einige Dinge unserer Umwelt zu nennen – enthalten in zunehmendem Maße «Elektronik». Moderne Operationsräume und Praxisräume von Ärzten bekommen eine gewisse Ähnlichkeit mit Elektroniklabors.

Die Entwicklung schreitet auf dem Gebiet der Elektronik außerordentlich rasch voran. Häufige Fortbildung, ein dauerndes Lernen, wird für alle, die in ihrem Beruf Köhner sein und bleiben wollen, zur unumgänglichen Notwendigkeit. Das vorliegende Buch ist das Ergebnis langjähriger Erfahrung, die der Autor in Fachschulen und bei der Durchführung von Erwachsenenfortbildungskursen auf dem Gebiet der Elektronik und Datenverarbeitung gewinnen konnte. Die verhältnismäßig komplizierten Zusammenhänge werden anschaulich und leicht fasslich dargestellt. Viele Abbildungen und Skizzen erleichtern das Verständnis. Auf allzu viel Mathematik wird bewusst verzichtet, denn das Buch wendet sich an den Praktiker. Die für die Praxis wichtigen Stoffinhalte werden ausführlich, die lediglich theoretisch interessierenden Stoffinhalte werden nur kurz behandelt.

Das Buch wurde gründlich überarbeitet. Neuentwickelte Bauelemente werden vorgestellt und die Fortentwicklung bewährter Bauelemente erläutert. Die moderne Elektronik ermöglicht heute Vieles, was man nicht erwartet und nicht für realisierbar gehalten hatte. Vor allem im Bereich der Leuchtdioden und Displays hat sich viel geändert. Zusätzlich wurden die organischen Leuchtdioden (OLED) aufgenommen. Einige Bauelemente haben an Bedeutung verloren. Sie werden nur knapp erwähnt oder weggelassen.

Die einzelnen Abschnitte sind so aufgebaut, dass ein Selbststudium ohne Schwierigkeiten möglich ist, obwohl das Buch in erster Linie als unterrichtsbegleitendes Lernmittel gedacht ist. Ein Lernziel-Test mit Fragen und Aufgaben am Ende eines jeden Kapitels gibt Auskunft über den Lernerfolg und den erreichten Grad des Verstehens. Die Lösungen der Lernziel-Test-Aufgaben sind auf den letzten Buchseiten angegeben.

Studierende verschiedener Fachrichtungen, Ingenieure, Techniker, Meister und Facharbeiter unterschiedlichster Berufe, die über elektrotechnische Grundkenntnisse verfügen, können das Buch mit gutem Erfolg nutzen. Aber auch Mediziner, Biologen, Pharmazeuten und Schüler höherer Schulen, finden hier einen ballastarmen Einstieg in die Elektronik.

Die dargestellten Beispiele und die vorgeführten Berechnungen sind praktischen Anwendungsfällen entnommen.

Waldkirch
Berlin

Klaus Beuth
Olaf Beuth

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 Heißeiterwiderstände und Kaltleiterwiderstände	44
2.5.1 Heißeiterwiderstände	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 Differenzglied	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	Backwariddioden	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	Unijunktionstristoren (UJT)	265
8.5	Lernziel-Test	269

9	Integrierte Schaltungen	271
9.1	Allgemeines	271
9.2	Integrationstechniken	272
9.2.1	Monolithtechnik (Halbleiterblocktechnik)	272
9.2.2	Hybridtechnik	275
9.2.2.1	Dünnschichttechnik	275
9.2.2.2	Dickschichttechnik	276
9.3	Analoge und digitale integrierte Schaltungen	277
9.3.1	Digitale IC	277
9.3.2	Analoge IC	279
9.4	Integrationsgrad und Packungsdichte	279
9.5	Vor- und Nachteile integrierter Schaltungen	280
9.6	Nanotechnik	281
9.6.1	Ergebnisse der Nanotechnik	281
9.6.2	Festkörperspeicher in Nanotechnik	281
9.7	Operationsverstärker	282
9.7.1	Einführung	282
9.7.2	Aufbau und Arbeitsweise	283
9.7.3	Idealer Operationsverstärker	286
9.7.4	Realer Operationsverstärker	287
9.7.5	Anwendungen	288
9.8	Lernziel-Test	289
10	Thyristoren	291
10.1	Vierschichtdioden (Thyristordioden)	291
10.1.1	Aufbau und Arbeitsweise	291
10.1.2	Kennwerte und Grenzwerte	294
10.1.3	Anwendungen	295
10.2	Thyristoren (rückwärtssperrende Thyristortrioden)	296
10.2.1	Aufbau und Arbeitsweise	296
10.2.2	Schaltverhalten	302
10.2.3	Kennwerte und Grenzwerte	305
10.2.4	Anwendungen	307
10.2.4.1	Thyristor im Wechselstromkreis	307
10.2.4.2	Thyristor im Gleichstromkreis	310
10.3	Thyristortetroden	311
10.3.1	Aufbau und Arbeitsweise	311
10.3.2	Kennwerte und Grenzwerte	312
10.3.3	Anwendungen	312
10.4	GTO-Thyristoren	313
10.4.1	Aufbau und Arbeitsweise	313
10.4.2	Kennwerte und Grenzwerte	314
10.4.3	Anwendungen	316
10.5	Lernziel-Test	316
11	Diac und Triac	319
11.1	Diac	319
11.1.1	Zweirichtungsdioden	319

11.1.1.1	Aufbau und Arbeitsweise	319
11.1.1.2	Kennwerte und Grenzwerte	320
11.1.2	Zweirichtungs-Thyristordioden	321
11.1.2.1	Aufbau und Arbeitsweise	321
11.1.2.2	Kennwerte und Grenzwerte	322
11.1.3	Anwendung von Diac	322
11.2	Triac	322
11.2.1	Aufbau und Arbeitsweise	322
11.2.2	Triggermodes	325
11.2.3	Kennwerte und Grenzwerte	326
11.3	Steuerungen mit Diac und Triac	328
11.4	Lernziel-Test	331
12	Fotohalbleiter	333
12.1	Innerer fotoelektrischer Effekt	333
12.2	Fotowiderstände	334
12.2.1	Aufbau und Arbeitsweise	334
12.2.2	Kennwerte und Grenzwerte	335
12.2.3	Anwendungen	336
12.3	Fotoelemente und Solarzellen	336
12.3.1	Aufbau und Arbeitsweise	336
12.3.1.1	Silizium-Fotoelemente	337
12.3.1.2	Selen-Fotoelemente	342
12.3.2	Kennwerte und Grenzwerte	344
12.3.3	Anwendungen	344
12.4	Fotodioden	345
12.4.1	Aufbau und Arbeitsweise	345
12.4.2	Kennwerte und Grenzwerte	346
12.4.3	Anwendungen	347
12.5	Fototransistoren	347
12.5.1	Aufbau und Arbeitsweise	347
12.5.2	Kennwerte und Grenzwerte	348
12.5.3	Anwendungen	349
12.6	Fotothyristoren, Fotothyristortetroden	349
12.6.1	Aufbau und Arbeitsweise	349
12.6.2	Kennwerte und Grenzwerte	351
12.6.3	Anwendungen	351
12.7	Leuchtdioden (LED)	352
12.7.1	Grundlagen	352
12.7.2	Aufbau und Arbeitsweise	353
12.7.3	Technologie der LED	355
12.7.4	Bauformen	356
12.7.5	Versorgungsschaltungen	357
12.7.6	LED-Farben	359
12.7.7	Anwendungen	360
12.7.8	Wirkungsgrad	361
12.7.9	Lebensdauer, Temperatureinflüsse	361
12.7.10	Vorteile / Nachteile zu konventionellen Leuchtmitteln	361

12.7.11 Kennwerte und Grenzwerte	362
12.7.12 Organische Leuchtdioden (OLED)	362
12.8 Halbleiterlaser	367
12.9 Lichtwellenleiter	368
12.10 Opto-Koppler	371
12.10.1 Aufbau und Arbeitsweise	371
12.10.2 Kennwerte und Grenzwerte	373
12.10.3 Anwendungen	373
12.11 Lernziel-Test	374
13 Halbleiterbauelemente mit speziellen Eigenschaften	375
13.1 Hallgeneratoren	375
13.1.1 Halleffekt	375
13.1.2 Hallspannung	376
13.1.3 Aufbau	376
13.1.4 Kennwerte und Grenzwerte	377
13.1.5 Anwendungen	378
13.2 Feldplatten	379
13.2.1 Aufbau	379
13.2.2 Widerstandsänderung	380
13.2.3 Kennwerte und Grenzwerte	381
13.2.4 Anwendungen	381
13.3 Magnetdioden	382
13.3.1 Aufbau	382
13.3.2 Widerstandsänderung	383
13.3.3 Kennwerte und Grenzwerte	383
13.3.4 Anwendungen	383
13.4 Druckabhängige Halbleiterbauelemente	384
13.4.1 Piezoeffekt	384
13.4.2 Piezohalbleiter	385
13.5 Flüssigkristall-Bauteile	385
13.5.1 Flüssige Kristalle, Liquid Crystal Device, LCD	385
13.5.2 Aufbau von Anzeigebauteilen	386
13.5.3 Anwendungen	389
13.6 Thin-Film-Transistor(TFT)-LCD-Bildschirme	389
13.7 Plasma-Displays (PDP, Plasma Display Panel)	392
13.8 Lernziel-Test	393
14 Elektronen- und Ionenröhren	395
14.1 Thermoemission	395
14.2 Röhrendiode (Zweipolröhre, Vakuumdiode)	395
14.3 Triode (Dreipolröhre)	397
14.3.1 Kennlinien	397
14.3.2 Kennwerte	398
14.3.3 Anodenrückwirkung	399
14.3.4 Spannungsverstärkung	401
14.3.5 Anodenverlustleistung	402
14.4 Tetrode (Vierpolröhre)	402

14.5	Pentode (Fünfpolröhre)	403
14.5.1	Kennlinien	403
14.5.2	Kennwerte	404
14.5.3	Spannungsverstärkung	405
14.5.4	Vor- und Nachteile der Pentode gegenüber der Triode	406
14.6	Elektronenstrahlröhren	407
14.6.1	Strahlerzeugungssystem	407
14.6.2	Strahlbündelungssystem	408
14.6.3	Strahlablesystem	409
14.6.4	Leuchtschirm	411
14.6.5	Stromkreis der Elektronenstrahlröhren	411
14.7	Ionenröhren	412
14.7.1	Stoßionisation	412
14.7.2	Gasdiode	413
14.7.3	Glimmröhren	414
14.7.3.1	Aufbau und Arbeitsweise	414
14.7.3.2	Anwendungen	415
14.8	Fotozellen	416
14.8.1	Fotoemission	416
14.8.2	Aufbau und Arbeitsweise	417
14.8.2.1	Vakuumfotzellen	417
14.8.2.2	Gasfotzellen	419
14.9	Lernziel-Test	420
15	Lösungen der Lernziel-Tests	421
	Anhang Datenblätter	431
	Glossar	440
	Stichwortverzeichnis	441

1 Einführung in die Oszillographenmesstechnik

1.1 Allgemeines

Oszilloskope sind bildgebende Messgeräte. Sie kommen in Labors, Werkstätten und Schulen zum Einsatz. Ein Lernender sollte sich möglichst früh mit deren Technik vertraut machen. Auf dem Schirm können zum Beispiel Spannungsverläufe angezeigt werden.

Moderne Oszilloskope verwenden Flachbildschirme. Oszilloskope sind in ihrem Aufbau immer computerähnlicher geworden. Die Grundfunktionen sind jedoch erhalten geblieben. Sie lassen sich mit den herkömmlichen Oszilloskopen am besten erklären. Ursprünglich nannte man diese Geräte Oszillographen. Heute gibt es Erweiterungen für den PC mit Oszilloskopfunktion.

Der Name «Oszillograph» kommt von *oscillare*, lat. = schwingen, und *grafein*, griech. = schreiben. Oszillograph heißt also Schwingungsschreiber. Schreiben im eigentlichen Sinne, das heißt aufzeichnen und festhalten, erfolgt jedoch nur bei Speicher-Oszillographen mit Registriereinrichtung. Bei den einfachen Oszillographen wird nichts festgehalten. Sie sind reine Sichtgeräte und werden treffender als *Oszilloskope* bezeichnet (scopein, griech. = sehen, Oszilloskop = Schwingungssichtgerät).

Merksatz

Mit Hilfe eines Oszilloskops ist es möglich, den zeitlichen Verlauf einer elektrischen Spannung sichtbar zu machen.

$$U = f(t)$$

U ist eine Funktion der Zeit (Bild 1.1).

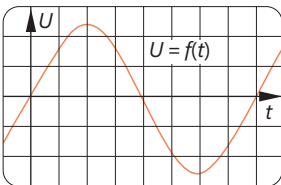


Bild 1.1 Zeitlicher Verlauf einer elektrischen Spannung

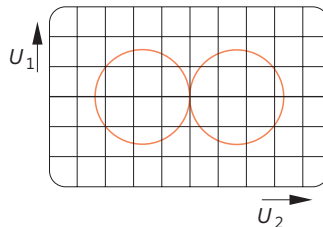


Bild 1.2 Verlauf einer Spannung, U_1 in Abhängigkeit von einer Spannung U_2

Weiterhin kann der Verlauf einer Spannung (U_1) in Abhängigkeit von einer zweiten Spannung (U_2) dargestellt werden (Bild 1.2).

$$U_1 = f(U_2)$$

U_1 ist eine Funktion von U_2 .

Der Verlauf eines elektrischen Stromes kann *direkt* nicht dargestellt werden. Lässt man den Strom I durch einen Widerstand R fließen, so entsteht an R ein Spannungsabfall U_R (Bild 1.3), der den gleichen zeitlichen Verlauf wie der Strom I hat. U_R kann dann stellvertretend für I dargestellt werden.

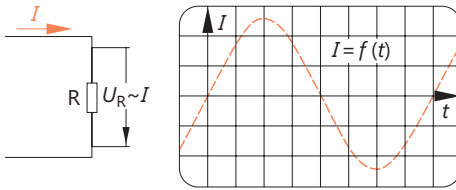


Bild 1.3
Umwandlung eines Stromes I in eine äquivalente Spannung, zeitlicher Verlauf des Stromes

Entsprechendes gilt für die Darstellung anderer Größen, wie z.B. der magnetischen Flussdichte B , der magnetischen Feldstärke H und der Frequenz f . Alle diese Größen müssen in zeitlich gleich verlaufende Spannungen umgesetzt werden. Diese Spannungen werden dann stellvertretend für die betreffenden Größen dargestellt.

1.2 Aufbau und Arbeitsweise eines Oszilloskops

Das Sichtbarmachen der Funktionsverläufe $U = f(t)$ oder $U_1 = f(U_2)$ erfolgt mit Hilfe eines Elektronenstrahls, der in einer Bildröhre, auch Elektronenstrahlröhre genannt, fast trägheitslos abgelenkt werden kann (Bild 1.4).

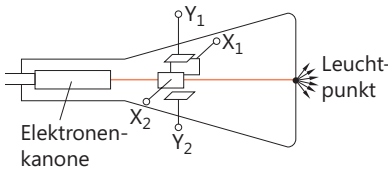


Bild 1.4
Grundaufbau einer Elektronenstrahlröhre

Eine solche Elektronenstrahlröhre ist genauer in Kapitel 14 beschrieben. Sie besteht aus einer Elektronenkanone, die den Strahl erzeugt. Der Strahl prallt auf den sogenannten Leuchtschirm auf. Dort, wo er aufprallt, wird der Schirmwerkstoff zum Leuchten angeregt. Es entsteht ein Lichtpunkt.

Im Glaskolben der Elektronenstrahlröhre sind zwei Plattenpaare angeordnet. Das eine Plattenpaar hat die Aufgabe, den Elektronenstrahl senkrecht abzulenken. Ist die untere Platte z.B. positiver gegenüber der oberen Platte, so zieht sie die Elektronen an. Der Strahl wird nach unten gekrümmt. Der Lichtpunkt wandert nach unten (Bild 1.5).

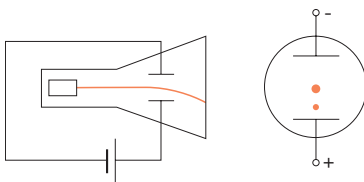


Bild 1.5
Senkrechte Ablenkung des Elektronenstrahls

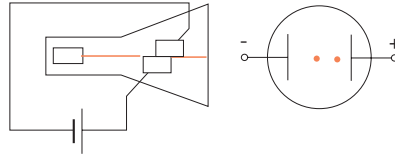


Definition

Das Plattenpaar, durch dessen Spannung der Elektronenstrahl senkrecht ausgelenkt wird, heißt Y-Plattenpaar.

Das andere Plattenpaar hat die Aufgabe, den Elektronenstrahl waagrecht abzulenken. Auch hier krümmt sich der Elektronenstrahl zur positiven Platte hin (Bild 1.6).

Bild 1.6
Waagerechte Ablenkung des Elektronenstrahls



Definition



Das Plattenpaar, durch dessen Spannung der Elektronenstrahl waagrecht ausgelenkt wird, heißt X-Plattenpaar.

Mit den Spannungen an den X- und Y-Platten kann der Elektronenstrahl an jeden Punkt des Schirmes gelenkt werden.

Es gibt Elektronenstrahlröhren mit zwei Elektronenstrahlen. Röhren dieser Art enthalten zwei Elektronenkanonen. Jeder Elektronenstrahl hat sein eigenes Y-Plattenpaar. Bei den meisten Zweistrahlröhren steuert das X-Plattenpaar beide Strahlen gemeinsam.

Oszilloskope mit Zweistrahlröhren heißen Zweistrahloszilloskope oder Zweistrahloszillographen. Mit Geräten dieser Art kann man zwei Funktionen gleichzeitig darstellen.

Welche Spannung wird nun an einem Plattenpaar benötigt, um den Elektronenstrahl so auszulenken, dass sein Auftreffpunkt auf dem Schirm um 1 cm verschoben wird?

Die Größe der erforderlichen Spannung ist vom inneren Aufbau der Elektronenstrahlröhre und von den verwendeten Beschleunigungsspannungen abhängig.

Die Ablenkempfindlichkeit einer Elektronenstrahlröhre gibt der Ablenkkoeffizient an. Er liegt je nach Röhrentyp zwischen 1 V/cm und 50 V/cm.

Für das X-Plattenpaar und für das Y-Plattenpaar gelten normalerweise unterschiedliche Ablenkkoeffizienten.

Will man nun die zeitlichen Verläufe von Spannungen darstellen, die wesentlich kleiner als 1 V sind, so ist es erforderlich, diese Spannungen zunächst einmal zu verstärken.

Jedes Oszilloskop hat einen Verstärker für die an die Y-Platten anzulegenden Spannungen. Dies ist der sogenannte *Y-Verstärker*. Sein Verstärkungsfaktor ist stufig und stetig einstellbar (Bild 1.7).

Bild 1.7
Y-Verstärker mit stetig und stufig einstellbarem Verstärkungsfaktor



Bild 1.8
X-Verstärker mit stetig und stufig einstellbarem Verstärkungsfaktor



Zur Verstärkung der an die X-Platten anzulegenden Spannungen dient der *X-Verstärker*, dessen Verstärkungsfaktor ebenfalls stufig und stetig einstellbar ist (Bild 1.8).

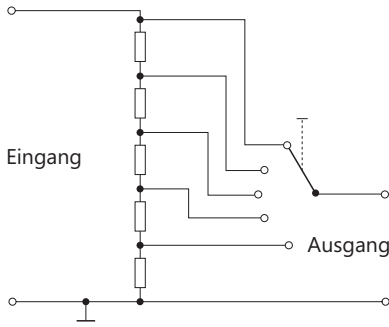


Bild 1.9
Aufbau eines Abschwächers für den
Y-Eingang oder für den X-Eingang

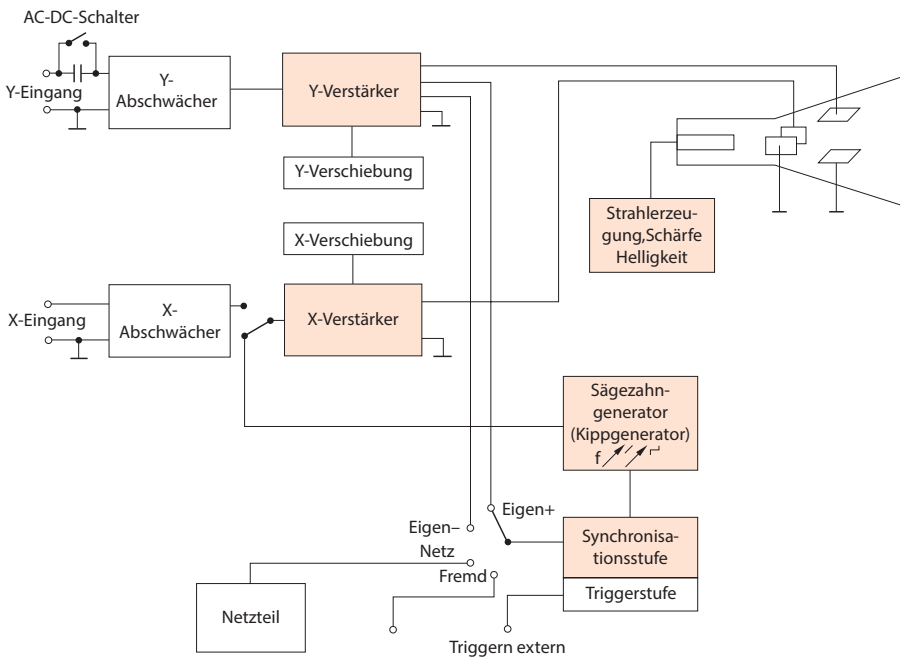


Bild 1.10 Blockschaltbild eines Oszilloskops

Oft ist es notwendig, die zeitlichen Verläufe verhältnismäßig großer Spannungen darzustellen, z.B. den zeitlichen Verlauf der Netzspannung von 230 V. Um dies zu ermöglichen, sind in den meisten Oszilloskopen sogenannte *Abschwächer* eingebaut. Das sind verhältnismäßig einfach aufgebaute Spannungsteiler, die stufig schaltbar sind (Bild 1.9). Meist ist je ein Abschwächer für den Y-Eingang und für den X-Eingang vorhanden, immer aber für den Y-Eingang.

Bild 1.10 zeigt das Blockschaltbild eines Oszilloskops. Die Darstellung ist auf das Wesentliche beschränkt.

Der Y- und der X-Eingang sind unsymmetrisch. Ein Pol liegt jeweils an Masse. Die Eingangswiderstände betragen einige M Ω .

Merksatz



Das an den Y-Eingang angelegte Signal (Y-Signal) durchläuft den Y-Abschwächer, den Y-Verstärker und wird an den Y-Platten wirksam.

Der Y-Verstärker ist heute fast immer als Gleichspannungsverstärker aufgebaut, d.h., er verstärkt auch Gleichspannungsanteile des Y-Signals.

Wird eine Darstellung des Gleichspannungsanteils nicht gewünscht, so kann der Gleichspannungsanteil durch Vorschalten eines Kondensators «ausgesperrt» werden. Hierzu dient der AC-DC-Schalter.

Definition



AC alternating current, Wechselspannung
 DC direct current, Gleichspannung

Bei Schalterstellung AC ist der Kondensator vorgeschaltet. Es werden nur Wechselspannungen durchgelassen.

Merksatz



Das an den X-Eingang angelegte Signal (X-Signal) durchläuft den X-Abschwächer, den X-Verstärker und wird an den X-Platten wirksam.

Bild 1.11
 Nach oben verschobene Spannungskurve

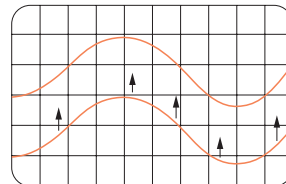
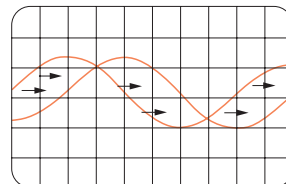


Bild 1.12
 Nach rechts verschobene Spannungskurve



Die Darstellung auf dem Schirm kann verschoben werden (Bild 1.11). Gibt man zusätzlich zum verstärkten Y-Signal eine Gleichspannung auf die Y-Platten, so wird je nach Polung und Größe der Gleichspannung das Schirmbild mehr oder weniger nach oben oder unten verschoben. Diese zusätzliche Gleichspannung kommt aus der Stufe «Y-Verschiebung».

Ebenfalls mit Hilfe einer Gleichspannung kann das Schirmbild nach links oder rechts verschoben werden (Bild 1.12). Diese Gleichspannung wird zusätzlich zum verstärkten X-Signal auf die X-Platten gegeben. Sie kommt aus der Stufe «X-Verschiebung».

Soll der Verlauf einer Spannung in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt werden, so ist es zunächst einmal erforderlich, den Elektronenstrahl mit gleichbleibender Geschwindigkeit von links nach rechts zu bewegen. Dies ist die sogenannte Zeitablenkung. Der Elektronenstrahl wird z.B. in $1/50$ Sekunde vom linken Schirmrand zum rechten Schirmrand bewegt.

Für die gleichmäßige Bewegung des Elektronenstrahls benötigt man eine gleichmäßig ansteigende Spannung. Hat der Elektronenstrahl den rechten Schirmrand erreicht, so muss die Spannung auf ihren Anfangswert zurückspringen. Eine derartige Spannung nennt man *Sägezahnspannung* (Bild 1.13).

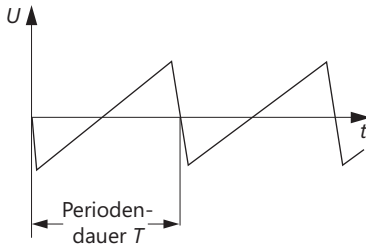


Bild 1.13
Sägezahnspannung (Kippspannung)

Da eine solche Sägezahnspannung häufig benötigt wird, enthält jedes Oszilloskop einen Sägezahngenerator, auch Kippgenerator genannt. Die Frequenz dieses Kippgenerators ist stufig und stetig einstellbar. Je größer die eingestellte Frequenz, desto schneller erfolgt die waagerechte Ablenkung des Elektronenstrahls.

Will man z.B. eine Periode einer Sinusschwingung darstellen, so gibt man auf den Y-Eingang eine sinusförmige Spannung und auf den X-Eingang eine Sägezahnspannung. Die Periodendauer der Sägezahnspannung muss gleich der Periodendauer der Sinusspannung sein (Bild 1.14). Ist die Periodendauer der Sägezahnspannung etwas größer oder kleiner als die Periodendauer der Sinusspannung, so bleibt das Bild nicht stehen.

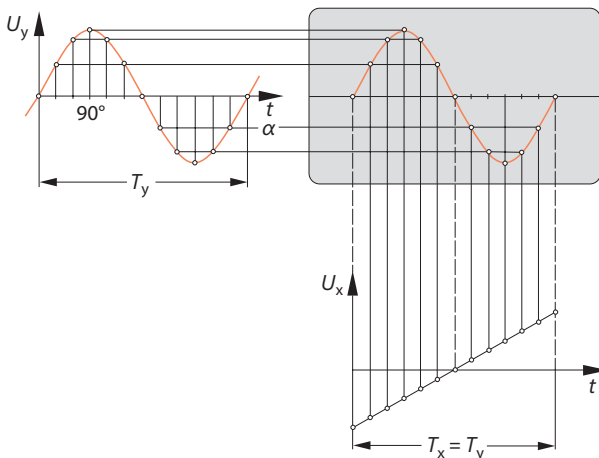


Bild 1.14 Zusammenhang zwischen der Periodendauer des Y-Signals und der Periodendauer der Sägezahnspannung

Ist die Periodendauer der Sägezahnspannung doppelt so groß wie die Periodendauer der Sinusspannung, so erscheinen zwei Sinusperioden auf dem Bildschirm.

Merksatz



Man erhält nur dann ein stehendes Bild, wenn die Periodendauer der Sägezahnspannung ein ganzzahliges Vielfaches der Periodendauer des darzustellenden Y-Signals ist.

Zwischen dem Y-Signal und der Sägezahnspannung muss ein zeitlicher Gleichlauf herrschen. Dieser zeitliche Gleichlauf kann von Hand eingestellt werden. Das ist aber schwierig. Die Stufe, die den zeitlichen Gleichlauf automatisch einstellt, heißt *Synchronisationsstufe*.

Definition



Synchronisation ist die Herstellung eines zeitlichen Gleichlaufs.

Die Synchronisationsstufe kann verschieden gesteuert werden. Es ist eine Steuerung durch die Netzspannung möglich (*Netzsynchroisation*). Diese Synchronisation ist immer dann zu empfehlen, wenn die darzustellenden Signale mit der Netzspannung gekoppelt sind.

Man kann weiterhin durch von außen zugeführte (fremde) Spannungen die Synchronisationsstufe steuern (*Fremdsynchronisation*). Die Fremdsynchronisation wird aber selten angewendet. Meist wendet man die *Eigensynchronisation* an. Hier wird das eigene Signal, das Y-Signal, zur Synchronisation herangezogen. Will man den positiven Teil zur Synchronisation nutzen, so schaltet man den Synchronisationsschalter auf «+ Eigen»; will man den negativen Teil nutzen, auf «- Eigen».

Teurere Oszilloskope haben als Erweiterung der Synchronisationsstufe eine *Triggerstufe*. Bei der Triggerung wird der Sägezahngenerator so lange angehalten, bis ein Triggerimpuls kommt. Erst dann beginnt die Sägezahnschwingung. Die Auslösung der Zeitablenkung durch den Triggerimpuls kann einmalig, periodisch oder vollkommen regellos mit einer Steuerung von außen (externe Triggerung) erfolgen.

Zum Betrieb des Oszilloskops werden verschiedene Spannungen benötigt, die teilweise stabilisiert sein müssen. Sie werden in einem Netzgerät erzeugt.

Die Spannungen der Elektronenstrahlröhre sind teilweise einstellbar. Mit einer Spannung kann die Stromstärke des Strahls und damit die *Helligkeit* des Schirmbildes eingestellt werden.

Mit einer anderen Spannung wird die Bündelung des Elektronenstrahls beeinflusst. Man kann die Schärfe des Strahls einstellen.

Die Einstellung von Helligkeit und Schärfe erfolgt mit Hilfe von zwei Potentiometern.

1.3 Bedienung eines Oszilloskops

Bei einem unbekanntem Oszilloskop verwirrt oft die Vielzahl der Drehknöpfe und Schalter. Leider hat jedes Fabrikat eine etwas andere Anordnung der Bedienungs-

elemente. Vor dem Einschalten des Geräts sollte man sich zuerst die Bedeutung der einzelnen Drehknöpfe und Schalter klarmachen.

Nach dem Einschalten des Oszilloskops muss man zunächst etwas warten. Die Elektronenstrahlröhre und evtl. weitere im Gerät vorhandene Röhren benötigen eine gewisse Anwärmszeit.

Erscheint der Lichtpunkt des Elektronenstrahls, so ist das Gerät betriebsbereit. Erscheint auch nach einiger Wartezeit kein Lichtpunkt, so ist das Gerät vermutlich verstellt.

Der Helligkeitseinsteller ist etwas weiter aufzudrehen. Die Einsteller «Y-Verschiebung» und «X-Verschiebung» sollten in Mittelstellung stehen. Die Zeitablenkung ist abzuschalten. Jetzt muss der Leuchtpunkt erscheinen, wenn das Gerät nicht defekt ist.

Der Leuchtpunkt darf nicht zu hell eingestellt werden. Der Schirm kann durch Einbrennen beschädigt werden. Durch die Einsteller «Y-Verschiebung» und «X-Verschiebung» kann der Leuchtpunkt zur Schirmmitte geschoben werden. Der Durchmesser des Leuchtpunktes ist mit Hilfe des Einstellers «Schärfe» veränderbar.

Will man den zeitlichen Verlauf einer Spannung darstellen, so ist eine Zeitablenkung zu wählen. Der Kippgenerator ist einzuschalten.

Durch die Sägezahnspannung wird der Lichtpunkt waagrecht über den Schirm bewegt. Es erscheint ein waagerechter Strich (Bild 1.14). Die Schärfe des Striches kann mit dem Einsteller «Schärfe» eingestellt werden.

Moderne Oszilloskope sind *kalibriert*, das heißt, die Werte ihrer Zeitablenkung sind «geeicht», ebenso die Verstärkungs- oder Abschwächungsfaktoren.

Die Zeitablenkung bezieht sich meist auf einen Skalenteil der Bildschirmskala, manchmal auch auf 1 cm. Der stetige Frequenzeinsteller des Kippgenerators muss ganz zurückgedreht werden. Jetzt gilt die Zeitablenkung, die der stufige Einsteller angibt, z.B. 10 ms/Skt. (10 ms pro Skalenteil, Bild 1.15).

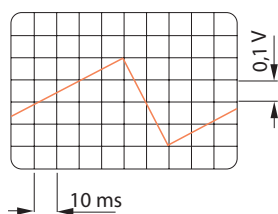


Bild 1.15
Kalibrierte Zeitablenkung, kalibrierte Y-Ablenkung

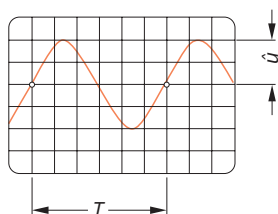


Bild 1.16
Darstellung einer sinusförmigen Spannung mit einem Scheitelwert von 20 mV und einer Frequenz von 6,67 kHz

Die Y-Ablenkung eines Oszilloskops ist auf 10 mV/Skt. eingestellt, die Zeitablenkung auf die Angabe des stufigen Einstellers, z.B. 0,1 V/Skt. (0,1 V pro Skalenteil, Bild 1.15).

Beispiel

Die Y-Ablenkung eines Oszilloskops ist auf 10 mV/Skt. eingestellt, die Zeitablenkung auf 25 μs /Skt. Es wird die in Bild 1.16 dargestellte Sinuskurve aufgezeichnet. Wie groß sind Scheitelwert und Frequenz der Sinusspannung?

Zeitachse: 6 Skt. $\hat{=} 150 \mu\text{s}$

T 150 μs

Y-Achse: 2 Skt. $\hat{=} 20 \text{mV}$

\hat{u} 20 mV

$$f = 1/T = 1/150 \mu\text{s} = 6,67 \text{ kHz}$$

Ein nichtkalibriertes Oszilloskop ist vor Durchführung einer Messung zu «eichen». Mit Hilfe einer bekannten Vergleichsspannung ist die Y-Ablenkung einzustellen, z.B. 1 Skt. $\hat{=} 0,5 \text{V}$.

Zur Einstellung der Zeitablenkung benötigt man ebenfalls einen Vergleichsmaßstab. Ein solcher Vergleichsmaßstab kann eine Spannung mit bekannter Frequenz sein, z.B. ein Teil der Netzspannung ($T = 20 \text{ ms}$). Ein Skalenteil der Zeitachse sei z.B. 5 ms.

Die gefundene Einstellung darf während der Messung nicht verändert werden. Das Arbeiten mit nichtkalibrierten Oszilloskopen ist recht mühsam.

Computerähnliche Oszilloskope kalibrieren automatisch. Sie führen auch beliebige Speicheraufgaben aus. Ein besonderes Qualitätsmerkmal ist die Genauigkeit und die Frequenz, bis zu der sie noch einwandfrei arbeiten. Hochfrequenztaugliche Oszilloskope haben obere Grenzfrequenzen bis ca. 250 MHz.

1.4 Lernziel-Test

1. Wie wird in einer Elektronenstrahlröhre der Elektronenstrahl waagrecht und senkrecht abgelenkt?
2. Welche Aufgabe hat der Y-Verstärker?
3. Wozu wird ein Sägezahngenerator benötigt?
4. Was versteht man unter Synchronisation?
5. Jedes Oszilloskop hat einen AC-DC-Schalter. Welche Bedeutung hat dieser Schalter?
6. Wie wird die Zeitachse auf dem Schirm des Oszilloskops ezeugt?
7. Was versteht man unter einer kalibrierten Zeitablenkung?
8. Welche Aufgabe hat eine Triggerstufe?

2 Lineare und nichtlineare Widerstände

2.1 Allgemeine Eigenschaften

Widerstände sind Bauteile mit einem gewünschten Widerstandsverhalten. Sie setzen der Elektronenströmung Widerstand entgegen.

Nach ihrem Verhalten im Stromkreis unterscheidet man *lineare Widerstände* und *nichtlineare Widerstände* (Bild 2.1).

Merksatz

Lineare Widerstände sind Widerstände mit linearer I - U -Kennlinie.

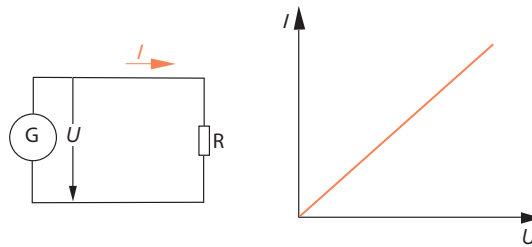


Bild 2.1
 I - U -Kennlinie eines
linearen Widerstandes

Zwischen Strom und Spannung besteht Verhältnissgleichheit (Proportionalität). Es gilt das Ohmsche Gesetz:

$$I = \frac{U}{R}, \quad R = \frac{U}{I}$$

Die I - U -Kennlinien einiger linearer Widerstände sind in Bild 2.2 dargestellt. Das Steigungsmaß, der Tangens des Winkels α , entspricht dem Leitwert des Widerstandsbauteiles.

$$\tan \alpha = \frac{\Delta I}{\Delta U} = \frac{1}{R} = G$$

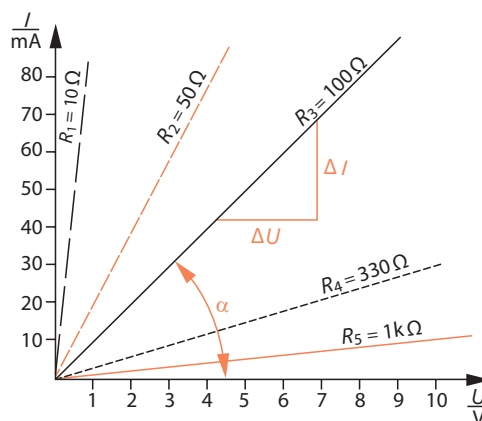


Bild 2.2
 I - U -Kennlinien linearer
Widerstände mit verschiedenen
Widerstandswerten

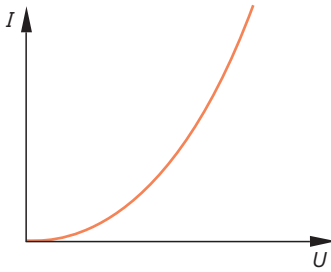


Bild 2.3 I-U-Kennlinie eines nichtlinearen Widerstandes

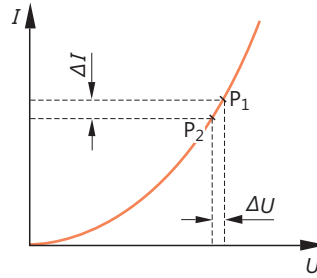


Bild 2.4 I-U-Kennlinie eines nichtlinearen Widerstandes. Im Bereich zwischen P1 und P2 verläuft die Kennlinie fast linear

Lineare Widerstände heißen auch *ohmsche Widerstände*, da das Ohmsche Gesetz für sie gilt.



Definition

Nichtlineare Widerstände sind Widerstände mit nichtlinearer I-U-Kennlinie.

Zwischen Strom und Spannung besteht keine Verhältnismäßigkeit (Bild 2.3). Das Ohmsche Gesetz in der üblichen Form kann nicht angewendet werden.

Betrachtet man ein kleines Stück der Kennlinie (Bild 2.4), so stellt man fest, dass hier angenäherte Linearität herrscht. Die Kennlinie verläuft in dem kleinen Bereich fast gerade. Man kann ihren Anstieg durch die Differenzen ΔU und ΔI angeben und erhält den sogenannten differentiellen Widerstand r .

$$r = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$



Merksatz

Mit dem differentiellen Widerstand r kann man kleine Änderungen von I und U in dem betrachteten Kennlinienbereich berechnen.

Spricht man allgemein von Widerständen, so meint man ohmsche Widerstände, also lineare Widerstände. Nichtlineare Widerstände sind besondere Widerstände. Es ist nicht einfach, den Begriff nichtlineare Widerstände abzugrenzen. Es gibt sehr viele Bauteile mit nichtlinearem Widerstandsverhalten. Bauteile mit nichtlinearem Widerstandsverhalten sind z.B. Halbleiterdioden, Transistoren, Elektronenröhren und Thyristoren. Sie werden aber nicht als nichtlineare Widerstände bezeichnet. Die eigentlichen nichtlinearen Widerstände sind z.B. VDR-Widerstände und NTC- und PTC-Widerstände. NTC- und PTC-Widerstände können auch nur dann als nichtlineare Widerstände gelten, wenn ihre Temperatur bei Stromänderungen nicht konstant gehalten wird.

Widerstände haben einen *Widerstandswert* und eine *Belastbarkeit*.

Es gibt Widerstände mit festem Widerstandswert und Widerstände mit einstellbarem Widerstandswert.

Die Belastbarkeit gibt an, welche elektrische Leistung der Widerstand dauernd in Wärmeleistung umsetzen kann. Die Größe der Belastbarkeit hängt von der Fähigkeit des Widerstandes ab, Wärme an die Umgebung abzugeben. Sie hängt weiterhin von der höchstzulässigen Temperatur des Widerstandes ab.

Die Fähigkeit, Wärme an die Umgebung abzugeben, wird durch den *Wärmewiderstand* R_{thU} erfasst.

Die höchstzulässige Temperatur der Widerstandsoberfläche ist ϑ_{max} , die Temperatur der umgebenden Luft ist ϑ_{U} .

Mit diesen Größen lässt sich die Belastbarkeit P eines Widerstandes errechnen:

$$P = \frac{\vartheta_{\text{max}} - \vartheta_{\text{U}}}{R_{\text{thU}}}$$

Die Belastbarkeit von Widerständen wird in Watt angegeben.

Die gewünschten Widerstandswerte (Widerstandsnennwerte) lassen sich bei der Herstellung nicht genau erreichen. Man muss bestimmte *Toleranzen* zulassen. Die Toleranzgrenzen liegen zwischen $\pm 0,1\%$ bis $\pm 20\%$ vom Widerstandsnennwert. Enge Toleranzgrenzen erfordern einen größeren Aufwand bei der Herstellung. Widerstände mit geringeren Toleranzen sind teurer als solche mit großen Toleranzen.

Die technischen Eigenschaften von Widerständen ändern sich durch Lagerung und Betrieb. Sie unterliegen einer *Alterung*.

Die *Güteklassen* geben im Einzelnen an, in welchen Grenzen sich die Eigenschaften von Widerständen in bestimmten Zeiträumen ändern dürfen.

2.2 Festwiderstände

2.2.1 Eigenschaften von Festwiderständen

Festwiderstände sind ohmsche Widerstände mit festen, d.h. nicht einstellbaren Widerstandswerten. Sie sind bestimmt durch

- Nennwiderstand,
- Belastbarkeit,
- Auslieferungstoleranz,
- Güteklasse.

Die Nennwiderstände sind abgestuft nach bestimmten Normzahlreihen. Eine solche Abstufung ist aus wirtschaftlichen Gründen erforderlich. Man kann nicht Festwiderstände mit jedem beliebigen Widerstandswert herstellen. Benötigt man einen ganz bestimmten Widerstandswert, der in der Normreihe nicht enthalten ist, so kann man einen einstellbaren Widerstand verwenden und diesen auf den gewünschten Wert einstellen.

Festwiderstände werden heute fast ausschließlich nach den international gültigen IEC-Normreihen hergestellt (Bild 2.5).

E 6 (±20%)	1,0		1,5			2,2			3,3			4,7		6,8										
E 12 (±10%)	1,0	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,3	3,9	4,7	5,6	6,8	8,2												
E 24 (±5%)	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,2	9,1

Bild 2.5 IEC-Widerstands-Normreihen E 6, E 12 und E 24

Die Normreihe E 6 gilt für Widerstände mit einer Auslieferungstoleranz von ±20%. Folgende Nennwiderstände sind nach der Normreihe E 6 möglich:

1 Ω, 1,5 Ω, 2,2 Ω, 3,3 Ω, 4,7 Ω, 6,8 Ω,
 10 Ω, 15 Ω, 22 Ω, 33 Ω, 47 Ω, 68 Ω,
 100 Ω, 150 Ω, 220 Ω, 330 Ω, 470 Ω, 680 Ω,
 1 kΩ, 1,5 kΩ, 2,2 kΩ, 3,3 kΩ, 4,7 kΩ, 6,8 kΩ,
 10 kΩ, 15 kΩ, 22 kΩ, 33 kΩ, 47 kΩ 68 kΩ usw.

Widerstände der Normreihen E 6, E 12 und E 24 werden besonders häufig verwendet. Außer diesen Normreihen gibt es noch die Normreihen

E 48 (±2,0%)
 E 96 (±1,0%)
 E 192 (±0,5%)

Die Normreihen E 48 und E 96 sind auf der übernächsten Seite dargestellt.

Die Normzahlreihen sind so festgelegt, dass die Toleranzfelder der einzelnen Nennwiderstandswerte sich berühren oder leicht überschneiden (Bild 2.6). Aus einer großen Zahl von Widerständen kann somit jeder beliebige Widerstandswert herausgemessen werden.

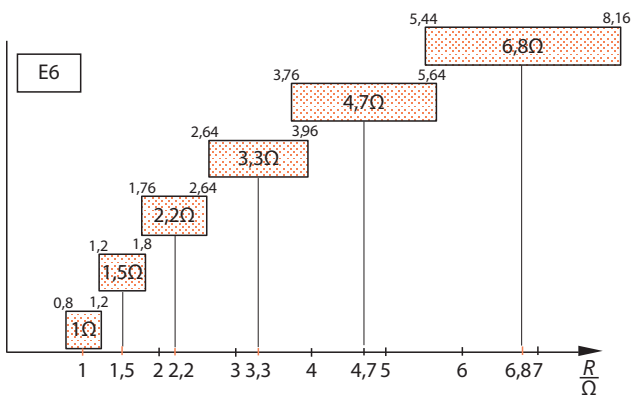


Bild 2.6 Toleranzfelder einiger Nennwiderstandswerte der Normreihe E 6

Zur Kennzeichnung von Widerständen verwendet man den internationalen Farbcode. Nennwiderstand und Toleranz dürfen auch als Zahlenwert mit Einheit aufgedruckt werden. Diese Kennzeichnung ist heute vor allem bei großen Wider-