

Klaus Beuth/Olaf Beuth

# ELEMENTARE ELEKTRONIK

mit Grundlagen der Elektrotechnik

VOGEL Buchverlag Würzburg

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Elektrische Grundgrößen</b> .....	15
1.1 Elektrische Ladung .....	15
1.2 Elektrische Spannung .....	16
1.3 Elektrischer Strom .....	19
1.4 Elektrischer Widerstand .....	21
1.5 Elektrischer Leitwert .....	22
1.6 Leiter und Nichtleiter .....	22
1.6.1 Spezifischer Widerstand .....	22
1.6.2 Leitfähigkeit .....	23
1.7 Widerstand und Temperatur .....	24
<b>2 Elektrische Stromkreise</b> .....	25
2.1 Ohmsches Gesetz .....	25
2.2 Unverzweigte Stromkreise, Reihenschaltung .....	26
2.3 Verzweigte Stromkreise, Parallelschaltung .....	28
2.4 Widerstandsnetzwerke .....	30
2.5 Vorwiderstände .....	30
2.6 Spannungsteiler .....	31
2.6.1 Unbelasteter Spannungsteiler .....	31
2.6.2 Belasteter Spannungsteiler .....	31
2.7 Brückenschaltung .....	33
<b>3 Arbeit und Leistung bei Gleichstrom</b> .....	35
3.1 Elektrische Arbeit .....	35
3.2 Elektrische Leistung .....	36
3.3 Wirkungsgrad .....	37
<b>4 Spannungserzeuger</b> .....	39
4.1 Urspannung und Innenwiderstand .....	39
4.2 Ersatzspannungsquelle .....	40
4.3 Reihenschaltung von Spannungserzeugern .....	41
4.4 Parallelschaltung von Spannungserzeugern .....	42
<b>5 Elektrisches Feld</b> .....	43
5.1 Grundlagen .....	43
5.2 Kapazität, Ladung, Energie .....	45
5.3 Kondensatoren an Gleichspannung .....	47
<b>6 Magnetisches Feld</b> .....	51
6.1 Grundlagen .....	51
6.2 Dauermagnetismus .....	52
6.3 Magnetische Kreise .....	53
6.4 Kraftwirkung magnetischer Felder .....	55
6.5 Induktion und Selbstinduktion .....	57
6.6 Abschirmung magnetischer Felder .....	60
6.7 Spulen an Gleichspannung .....	60

<b>7 Wechselspannung und Wechselstrom</b> .....	63
7.1 Sinusförmige Wechselspannungen .....	63
7.2 Sinusförmige Wechselströme .....	66
7.3 Liniendiagramm und Phasenverschiebung .....	67
7.4 Zeigerdiagramme .....	67
7.5 Nichtsinusförmige Wechselgrößen .....	69
<b>8 Blindwiderstände und Scheinwiderstand</b> .....	71
8.1 Induktiver Blindwiderstand und Blindleitwert .....	71
8.2 Kapazitiver Blindwiderstand und Blindleitwert .....	72
8.3 Scheinwiderstand und Scheinleitwert .....	75
<b>9 Arbeit und Leistung bei Wechselstrom</b> .....	77
9.1 Elektrische Leistung .....	77
9.2 Elektrische Arbeit .....	79
<b>10 Mehrphasenwechselstrom (Drehstrom)</b> .....	81
10.1 Drehstromsysteme .....	81
10.2 Anwendungen .....	81
10.3 Sternschaltung .....	82
10.4 Dreieckschaltung .....	83
10.5 Leistung und Arbeit bei Drehstrom .....	84
<b>11 Lineare und nichtlineare Widerstände</b> .....	87
11.1 Allgemeine Eigenschaften .....	87
11.2 Festwiderstände .....	88
11.2.1 Eigenschaften von Festwiderständen .....	88
11.2.2 Bauarten von Festwiderständen .....	92
11.3 Einstellbare Widerstände .....	95
11.4 Heißleiterwiderstände (NTC-Widerstände) .....	98
11.5 Kaltleiterwiderstände (PTC-Widerstände) .....	99
11.6 Spannungsabhängige Widerstände (VDR) .....	102
<b>12 Kondensatoren und Spulen</b> .....	105
12.1 Kondensatoren .....	105
12.1.1 Eigenschaften von Kondensatoren .....	105
12.1.2 Bauarten von Kondensatoren .....	108
12.2 Spulen .....	114
12.2.1 Eigenschaften von Spulen .....	114
12.2.2 Bauarten von Spulen .....	115
<b>13 Frequenzabhängige Zwei- und Vierpole</b> .....	117
13.1 Allgemeines .....	117
13.2 Reihenschaltung von R und C .....	117
13.3 Reihenschaltung von R und L .....	119
13.4 RC-Glied .....	119
13.5 CR-Glied .....	121
13.6 RL-Glied .....	123
13.7 LR-Glied .....	124
13.8 RC-Glied als Integrierglied .....	125
13.8.1 Arbeitsweise .....	125
13.8.2 Integrationsvorgang .....	125
13.9 CR-Glied als Differenzierglied .....	127
13.9.1 Arbeitsweise .....	127
13.9.2 Differentiationsvorgang .....	128

<b>14 Halbleiterdioden</b> .....	129
14.1 Arbeitsweise von Halbleiterdioden .....	129
14.2 Bauarten von Halbleiterdioden .....	132
14.2.1 Flächendioden .....	132
14.2.2 Spitzendioden .....	133
14.2.3 Leistungsdioden (Gleichrichter) .....	134
14.3 Kennwerte und Grenzwerte .....	134
14.4 Prüfen von Halbleiterdioden .....	135
14.5 Halbleiterdioden als Gleichrichter .....	137
14.5.1 Einweg-Gleichrichterschaltung (Einpuls-Mittelpunktschaltung M1) .....	137
14.5.2 Siebkette .....	139
14.5.3 Mittelpunkt-Zweiweg-Gleichrichterschaltung (Zweipuls-Mittelpunktschaltung M2) .....	139
14.5.4 Brücken-Zweiweg-Gleichrichterschaltung (Zweipuls-Brückenschaltung B2) .....	140
14.5.5 Mehrphasen-Gleichrichterschaltungen .....	141
<b>15 Halbleiterdioden mit speziellen Eigenschaften</b> .....	143
15.1 Z-Dioden .....	143
15.1.1 Arbeitsweise .....	143
15.1.2 Kennlinien, Kennwerte, Grenzwerte .....	144
15.1.3 Anwendungen .....	147
15.2 Kapazitätsdioden .....	149
15.2.1 Aufbau und Arbeitsweise .....	149
15.2.2 Kennlinien, Kennwerte, Grenzwerte .....	150
<b>16 Bipolare Transistoren</b> .....	153
16.1 Bauarten bipolarer Transistoren .....	154
16.2 npn-Transistoren .....	155
16.3 pnp-Transistoren .....	157
16.4 Kennlinien, Kennwerte, Grenzwerte .....	158
16.4.1 Kennlinien .....	158
16.4.2 Kennwerte .....	161
16.4.3 Grenzwerte .....	163
16.4.4 Datenblätter .....	164
16.5 Transistorkühlung .....	164
16.6 Verstärker-Grundsaltungen .....	166
16.6.1 Verstärkerstufe in Emitterschaltung .....	166
16.6.2 Verstärkerstufe in Basisschaltung .....	168
16.6.3 Verstärkerstufe in Kollektorschaltung .....	169
16.7 Transistor als Schalter .....	170
16.7.1 Übersteuerungszustand und Sättigungsspannungen .....	170
16.7.2 Transistor-Schalterstufen .....	171
<b>17 Unipolare Transistoren</b> .....	173
17.1 Sperschicht-Feldeffekttransistoren .....	173
17.1.1 Aufbau und Arbeitsweise .....	173
17.1.2 Kennlinien, Kennwerte, Grenzwerte .....	176
17.1.3 Anwendungen .....	178
17.2 MOS-Feldeffekttransistoren .....	178
17.2.1 Aufbau und Arbeitsweise .....	178
17.2.3 Kennlinien, Kennwerte, Grenzwerte .....	181
17.2.4 Anwendungen .....	184
17.3 Dual-Gate-MOS-FET .....	186
<b>18 Verstärkerschaltungen</b> .....	187
18.1 Wechselspannungsverstärker .....	187

18.1.1	Anforderungen	187
18.1.2	Mehrstufige Verstärker	189
18.1.3	Leistungsverstärker	190
18.2	Gleichspannungsverstärker	190
18.3	Differenzverstärker	190
18.4	Operationsverstärker	191
18.4.1	Einführung	191
18.4.2	Aufbau und Arbeitsweise	192
18.4.3	Idealer Operationsverstärker	195
18.4.4	Realer Operationsverstärker	196
18.4.5	Anwendungsbeispiele	196
<b>19</b>	<b>Kippschaltungen</b>	199
19.1	Bistabile Kippstufe	199
19.1.1	Schaltung und Arbeitsweise	199
19.1.2	Anwendungsbeispiele	201
19.2	Monostabile Kippstufe	203
19.2.1	Schaltung und Arbeitsweise	203
19.2.2	Anwendungsbeispiele	205
19.3	Astabile Kippschaltung (Multivibrator)	207
19.3.1	Schaltung und Arbeitsweise	207
19.3.2	Anwendungsbeispiele	210
19.4	Schmitt-Trigger	211
19.4.1	Schaltung und Arbeitsweise	211
19.4.2	Anwendungsbeispiele	213
<b>20</b>	<b>Oszillatorschaltungen</b>	215
20.1	Prinzip einer Oszillatorschaltung	215
20.2	Meißner-Oszillator	216
20.3	Hartley-Oszillator (Induktiver Dreipunktoszillator)	217
20.4	Colpitts-Oszillator (Kapazitiver Dreipunktoszillator)	217
20.5	Quarzoszillatoren	217
<b>21</b>	<b>Stabilisierungsschaltungen</b>	219
21.1	Schaltung zur Spannungsstabilisierung	219
21.2	Schaltung zur Stromstabilisierung	221
<b>22</b>	<b>Integrierte Schaltungen</b>	223
22.1	Allgemeines	223
22.2	Integrationstechniken	224
22.2.1	Monolithtechnik	224
22.2.2	Hybridtechnik	228
22.3	Analoge und digitale integrierte Schaltungen	229
22.3.1	Digitale IC	229
22.3.2	Analoge IC	230
22.4	Integrationsgrad und Packungsdichte	231
22.5	Vor- und Nachteile integrierter Schaltungen	231
<b>23</b>	<b>Thyristoren</b>	233
23.1	Vierschichtdioden (Thyristordioden)	233
23.1.1	Aufbau und Arbeitsweise	233
23.1.2	Kennwerte und Grenzwerte	236
23.1.3	Anwendungen	236
23.2	Thyristoren (rückwärtssperrende Thyristortrioden)	236
23.2.1	Aufbau und Arbeitsweise	236
23.2.2	Kennwerte und Grenzwerte	240
23.2.3	Anwendungsbeispiele	242

23.3	Thyristortetroden	245
23.3.1	Aufbau und Arbeitsweise	245
23.3.2	Kennwerte und Grenzwerte	246
23.3.3	Anwendungen	246
<b>24</b>	<b>Diac und Triac</b>	<b>247</b>
24.1	Diac	247
24.1.1	Zweirichtungsdiode	247
24.1.2	Zweirichtungs-Thyristordioden	249
24.1.3	Anwendungen von Diac	250
24.2	Triac	250
24.2.1	Aufbau und Arbeitsweise	250
24.2.2	Kennwerte und Grenzwerte	253
24.3	Steuerungen mit Diac und Triac	254
<b>25</b>	<b>Optoelektronik</b>	<b>257</b>
25.1	Innerer fotoelektrischer Effekt	257
25.2	Fotowiderstände	258
25.2.1	Aufbau und Arbeitsweise	258
25.2.2	Kennwerte und Grenzwerte	259
25.2.3	Anwendungen	260
25.3	Fotoelemente und Solarzellen	260
25.3.1	Aufbau und Arbeitsweise	260
25.3.2	Kennwerte und Grenzwerte	263
25.3.3	Anwendungen	263
25.4	Fotodioden	264
25.4.1	Aufbau und Arbeitsweise	264
25.4.2	Kennwerte und Grenzwerte	265
25.4.3	Anwendungen	265
25.5	Fototransistoren	266
25.5.1	Aufbau und Arbeitsweise	266
25.5.2	Kennwerte und Grenzwerte	267
25.5.3	Anwendungen	267
25.6	Leuchtdioden	267
25.6.1	Aufbau und Arbeitsweise	267
25.6.2	Kennwerte und Grenzwerte	268
25.6.3	Anwendungen	269
25.7	Opto-Koppler	269
25.7.1	Aufbau und Arbeitsweise	269
25.7.2	Kennwerte und Grenzwerte	270
25.7.3	Anwendungen	270
<b>26</b>	<b>Halbleiterbauelemente mit speziellen Eigenschaften</b>	<b>271</b>
26.1	Hallgeneratoren	271
26.1.1	Halleffekt	271
26.1.2	Hallspannung	271
26.1.3	Aufbau	272
26.1.4	Kennwerte und Grenzwerte	273
26.1.5	Anwendungen	274
26.2	Feldplatten	274
26.2.1	Aufbau	275
26.2.2	Arbeitsweise	275
26.2.3	Kennwerte und Grenzwerte	276
26.2.4	Anwendungen	277
26.3	Magnetdioden	277
26.3.1	Aufbau	277

26.3.2	Arbeitsweise	278
26.3.3	Kennwerte und Grenzwerte	278
26.3.4	Anwendungen	279
26.4	Druckabhängige Halbleiterbauelemente	279
26.4.1	Piezoeffekt	279
26.4.2	Piezohalbleiter	280
26.5	Flüssigkristall-Bauteile	280
26.5.1	Flüssige Kristalle	280
26.5.2	Aufbau von Anzeigebauteilen	280
26.5.3	Anwendungen	282
<b>27</b>	<b>Digitale Grundsaltungen</b>	<b>283</b>
27.1	Grundbegriffe	283
27.1.1	Analoge und digitale Signale	283
27.1.2	Logische Zustände «0» und «1»	285
27.2	Logische Verknüpfungen	285
27.2.1	UND-Verknüpfung	285
27.2.2	ODER-Verknüpfung	288
27.2.3	Verneinung	289
27.2.4	NAND-Verknüpfung	290
27.2.5	NOR-Verknüpfung	291
<b>28</b>	<b>Digitale Codes</b>	<b>293</b>
28.1	Darstellung von Ziffern und Zahlen	293
28.1.1	Duales Zahlensystem	293
28.1.2	BCD-Code (8-4-2-1-Code)	295
28.2	Weitere Binärcodes	296
<b>29</b>	<b>Schaltungsanalyse</b>	<b>297</b>
29.1	Allgemeines	297
29.2	Soll-Verknüpfung	297
29.3	Ist-Verknüpfung	299
<b>30</b>	<b>Schaltalgebra</b>	<b>301</b>
30.1	Grundlagen	301
30.2	Bestimmung der Funktionsgleichung einer Schaltung	302
30.3	Darstellung der Schaltung nach der Funktionsgleichung	303
30.4	Funktionsgleichung und Kontaktschema	303
30.5	Nutzungsmöglichkeiten der Schaltalgebra	304
<b>31</b>	<b>Schaltungssynthese</b>	<b>305</b>
<b>32</b>	<b>Schaltkreisfamilien</b>	<b>309</b>
32.1	Schaltungen in Relais-Technik	309
32.2	DTL-Technik	309
32.3	TTL-Technik	311
32.4	MOS-Technik	312
32.5	ECL-Technik	314
32.6	Pegelangaben «Low» und «High»	314
32.7	Positive und negative Logik	316
<b>33</b>	<b>Flipflops</b>	<b>317</b>
33.1	Eigenschaften von Flipflops	317
33.2	SR-Flipflops	319
33.3	T-Flipflops	320
33.4	JK-Flipflops	321

33.5	Master-Slave-Flipflops	322
33.6	Anwendungen	322
<b>34</b>	<b>Digitale Auswahl- und Verbindungsschaltungen</b>	<b>323</b>
34.1	Datenselektor, Multiplexer, Demultiplexer	323
34.1.1	4-Bit-zu-1-Bit-Datenselektor	323
34.1.2	2 x 4-Bit-zu-4-Bit-Datenselektor	324
34.1.3	4 x 8-Bit-zu-8-Bit-Datenselektor	324
34.1.4	1-Bit-zu-4-Bit-Demultiplexer	325
34.2	Adreßdecodierer	326
34.3	BUS-Schaltungen	327
<b>35</b>	<b>Register- und Speicherschaltungen</b>	<b>329</b>
35.1	Schieberegister	329
35.2	Flipflop-Speicher	333
35.3	Schreib-Lese-Speicher (RAM)	335
35.3.1	Speicheraufbau	335
35.3.2	Speicherkenngößen	338
35.4	Festwertspeicher (ROM)	339
35.5	Programmierbarer Festwertspeicher (PROM)	340
35.6	Löschbare programmierbare Festwertspeicher	341
35.7	Magnetkernspeicher	343
<b>36</b>	<b>Zählerschaltungen</b>	<b>345</b>
36.1	Frequenzteiler	345
36.2	Vorwärtszähler	347
36.3	Rückwärtszähler	348
36.4	Zähldekaden	348
<b>37</b>	<b>DA-Umsetzer, AD-Umsetzer</b>	<b>351</b>
37.1	Digital-Analog-Umsetzer (DA-Umsetzer)	351
37.1.1	Prinzip der Digital-Analog-Umsetzer	351
37.1.2	DA-Umsetzer mit gestuften Widerständen	353
37.2	Analog-Digital-Umsetzer (AD-Umsetzer)	353
37.2.1	Prinzip der Analog-Digital-Umsetzung	353
37.2.2	Eigenschaften von AD-Umsetzern	353
<b>38</b>	<b>Rechenschaltungen</b>	<b>355</b>
38.1	Halbaddierer	355
38.2	Volladdierer	356
38.3	Paralleladdierschaltung	357
38.4	Addier-Subtrahier-Werk	358
<b>39</b>	<b>Mikroprozessoren und Mikrocomputer</b>	<b>359</b>
39.1	Der Mikroprozessor als Universalschaltung	359
39.2	Arithmetisch-logische Einheit (ALU)	359
39.3	Von der ALU zum Mikroprozessor	362
39.4	Mikroprozessorbausteine	363
39.4.1	Mikroprozessortypen	363
39.4.2	Mikroprozessor SAB 8080A	364
39.5	Zusatzbausteine für Mikroprozessoren	368
39.6	Mikrocomputer	369
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>371</b>