
Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Schreibweise von Formelzeichen	XV
Arbeitshinweise zu diesem Buch.....	XVII

Repetitorium Elektrotechnik mit Übungen

1 Elektrotechnische Grundlagen (Auswahl)	1
1.1 Definitionen elektrischer Grundgrößen	1
1.2 Stromkreis	2
1.3 Messen von Gleichströmen und Gleichspannungen	2
1.4 Eigenschaften von Bauelementen, wichtige Stromkreisgesetze	3
1.5 Widerstände mit physikalischen Abhängigkeiten	4
1.6 Beschreibungsmittel und Kenngrößen von Spannungen	7
1.7 Mittelwerte periodischer Größen	8
1.8 Komplexe Rechnung für Wechselstromtechnik	9
1.9 Drehstromsystem	10
1.10 Transformator	12
1.11 Grundschaltungen mit Formelsammlung	13
1.12 Übungsaufgaben	19

Einführung in die Elektronik

2 Grundbegriffe der Halbleitertechnik	25
2.1 Elektrische Leitfähigkeit der Materialien	25
2.2 Störstellenleitung der Halbleiter	26
2.3 Eigenleitung der Halbleiter	27
2.4 Halleffekt als Nachweis für Elektronen- und Löcherleitung	29
2.5 Eigenschaften des pn-Übergangs der Halbleiter	30
2.6 Eigenschaften von Halbleiter-Kanälen	33
2.7 Übungsaufgaben	35

3	Halbleiterdiode als nichtlinearer Widerstand	37
3.1	<i>I-U-Kennlinie der Halbleiterdiode</i>	37
3.2	Arbeiten mit Kennlinien	39
3.2.1	<i>I-U-Kennlinien</i>	39
3.2.2	Übertragungs-Kennlinien	40
3.3	Begrenzerschaltungen mit Dioden	42
3.4	Übungsaufgaben	43

Grundschaltungen der Elektronik

4	Spannungsstabilisierung mit Z-Diode	45
4.1	Aufgabe einer Spannungsstabilisierung	45
4.2	Z-Diode als Stabilisierungselement	46
4.3	Analyse der Z-Dioden-Konstantspannungsschaltung	48
4.3.1	Leerlauffall	48
4.3.2	Belastungsfall	51
4.4	Übungsaufgaben	54
5	Konstantstromschaltung mit JFET	57
5.1	Aufgabe einer Konstantstromschaltung	57
5.2	Feldeffekttransistor (JFET) als Konstantstromelement	60
5.3	Analyse der JFET-Konstantstromschaltung	62
5.4	Übungsaufgaben	65
6	Transistor als Schalter	67
6.1	Übersicht über grundlegende Transistortypen	67
6.2	Kennlinien und Kennwerte der Bipolartransistoren	68
6.2.1	Schichtenaufbau, Anschlüsse, Polung	68
6.2.2	Messschaltung	69
6.2.3	Kennlinien	70
6.3	Kennlinien und Kennwerte der Feldeffekttransistoren	73
6.3.1	Kanalstruktur, Anschlüsse, Polung	73
6.3.2	Messschaltung	74
6.3.3	Kennlinien	74
6.4	Grenzdaten	75
6.4.1	Spannungsgrenzwerte	75
6.4.2	Stromgrenzwerte	76
6.4.3	Temperatur- und Leistungsgrenzwerte	76
6.4.4	Sicherer Arbeitsbereich (SOA = Safe Operating Area)	79

6.5	Grundbegriffe der Schaltverstärker	80
6.5.1	Schaltzustände des Transistors	80
6.5.2	Übersteuerung	82
6.5.3	Schaltzeiten	83
6.5.4	Berechnungsgang für den Schaltverstärker	84
6.6	Schalten mit Leistungstransistoren	86
6.6.1	Eigenschaften von Leistungs-MOSFETs	86
6.6.2	Ansteuern von Leistungs-MOSFETs	87
6.6.3	High-Side und Low-Side-Schalter	89
6.6.4	Periodisches Schalten von induktiven Lasten in Gleichstromkreisen	90
6.7	CMOS-Inverter als Schalter	93
6.7.1	Schaltungsprinzip eines CMOS-Inverters	93
6.7.2	Betriebsspannung, Pegel, Belastbarkeit	94
6.8	Schalten mit Optokoppler	95
6.9	Übungsaufgaben	96
7	Transistor als Verstärker	101
7.1	Grundbegriffe der Verstärkertechnik	101
7.2	Arbeitspunkteinstellung	103
7.2.1	Kollektorruhestrom	103
7.2.2	Arbeitswiderstand	105
7.2.3	Arbeitspunkt	106
7.3	Verstärkungsvorgang im Kennlinienfeld	107
7.4	Ermittlung der Verstärkerkennwerte	109
7.4.1	Messen der Leerlauf-Spannungsverstärkung	109
7.4.2	Messen des Wechselstrom-Eingangswiderstandes	109
7.4.3	Messen des Wechselstrom-Ausgangswiderstandes	109
7.4.4	Rechnerische Ermittlung der Verstärkerkennwerte	110
7.5	Frequenzgang	111
7.5.1	Untere Grenzfrequenz	111
7.5.2	Obere Grenzfrequenz	112
7.6	Verstärker-Grundschaltungen	113
7.7	Übungsaufgaben	115
8	Operationsverstärker und Grundschaltungen	117
8.1	Übersicht	117
8.2	Eigenschaften eines Standard-Operationsverstärkers	118
8.2.1	Der invertierende und nichtinvertierende Eingang	118
8.2.2	Aussteuerungsgrenzen der Ausgangsspannung	119

8.2.3	Aussteuerungsgrenzen des Ausgangstromes	119
8.2.4	Differenzverstärkung und Gleichtaktverstärkung	119
8.2.5	Gleichtaktunterdrückung	120
8.2.6	Ausgangsspannung	120
8.2.7	Eingangswiderstand	121
8.2.8	Ausgangswiderstand	121
8.2.9	Frequenzgang	121
8.2.10	Slew Rate	122
8.2.11	Datenblatt des Standard-Operationsverstärkers	122
8.3	Operationsverstärker als linearer Verstärker	123
8.3.1	Gegenkopplungsprinzip	123
8.3.2	Rechenregeln für gegengekoppelte Operationsverstärker	125
8.3.3	Invertierender Verstärker	126
8.3.4	Nichtinvertierender Verstärker	132
8.4	Operationsverstärker als Schalter	138
8.4.1	Komparator	138
8.4.2	Invertierender Schmitt-Trigger	139
8.4.3	Nichtinvertierender Schmitt-Trigger	142
8.5	Übungsaufgaben	144
9	Analoge Signalverarbeitung	147
9.1	Addierer	147
9.1.1	Grundschaltung des Umkehraddierers	147
9.1.2	Prinzip der Digital-Analog-Umsetzung mit Umkehraddierer	150
9.2	Subtrahierer	151
9.2.1	Grundschaltung mit einem Operationsverstärker	151
9.2.2	Variante mit zwei Operationsverstärkern	155
9.2.3	Instrumentenverstärker (Subtrahierer mit 3 OpV)	156
9.3	Integrierer	157
9.3.1	Grundschaltung	158
9.3.2	Betriebsarten eines Integrators	159
9.3.3	Integratoranwendungen	160
9.4	Mittelwertbildner	163
9.5	Multiplizierer	165
9.5.1	Multiplizieren	166
9.5.2	Dividieren	167
9.6	Leistungsverstärker	168
9.6.1	Komplementärendstufe im B-Betrieb	168
9.6.2	Komplementärendstufe im AB-Betrieb	169

9.6.3	Gegentaktendstufe als Nachsetzverstärker für Operationsverstärker	170
9.6.4	Leistungs-Operationsverstärker	171
9.7	Trennverstärker	173
9.7.1	Einsatzgebiete für Trennverstärker	173
9.7.2	Prinzipien der Trennverstärker	173
9.7.3	Kennwerte der Trennverstärker	176
9.7.4	Beschaltung von Trennverstärkern	177
9.8	Übungsaufgaben	177
10	Schwingungserzeugung	181
10.1	Rechteckgeneratoren	181
10.1.1	Astabile Kippschaltung mit Operationsverstärker	181
10.1.2	Rechteckgenerator mit Timer	184
10.2	Funktionsgenerator	186
10.3	Spannungsgesteuerter Oszillator (VCO)	189
10.4	Phase-Locked-Loop PLL	190
10.4.1	Nachlaufsynchronisation	190
10.4.2	Aufbau eines PLL-Regelkreises	191
10.4.3	Integrierter PLL-Baustein	195
10.5	Sinus-Oszillatoren	195
10.6	Übungsaufgaben	199

Leistungselektronik

11	Gleichrichtung	203
11.1	Messtechnische Grundbegriffe der Gleichrichtung	203
11.2	Gleichrichterschaltungen	207
11.2.1	Mittelpunktschaltungen	207
11.2.2	Brückenschaltungen	208
11.3	Spannungsglättung	212
11.4	Stromglättung	216
11.5	Berechnung von Gleichrichterschaltungen mit Stromglättung	218
11.5.1	Sekundärspannung U_2	219
11.5.2	Sekundärstrom I_2	220
11.5.3	Primärstrom I_1	222
11.5.4	Typenleistung des Transformators S_{Tr}	223
11.5.5	Zusammenstellung der Berechnungsgrundlagen	224
11.6	Übungsaufgaben	225

12 Leistungssteuerung mit Thyristoren, Triacs, IGBTs und IGCTs	229
12.1 Thyristor als steuerbarer Schalter	229
12.2 Steuersatz	234
12.3 Thermische Eigenschaften von Thyristoren	236
12.4 Triac als bidirektionaler Thyristor	240
12.5 Wechselstromsteller (Phasenanschnittsteuerung)	242
12.6 Wechselstromschalter (Periodengruppensteuerung)	244
12.7 Gesteuerte Drehstrombrücke mit Gleichstrommotor als Last	246
12.7.1 Gleichrichter- und Wechselrichterbetrieb	246
12.7.2 Ausgangsgleichspannung der Drehstrombrücke, ideelle Gleichspannung	249
12.7.3 Drehzahlverstellung durch Ansteuerung der Drehstrombrücke	250
12.7.4 Pulsierender Gleichstrom der Drehstrombrücke, ideeller Gleichstrom	252
12.7.5 Betriebsarten des Stromrichterantriebs im $n\text{-}M$ -Betriebsdiagramm	255
12.8 Frequenzumrichter mit Drehstrom-Asynchronmotor als Last	258
12.8.1 Schaltungs- und Funktionsprinzip des Frequenzumrichters	258
12.8.2 Drehstrom-Asynchronmotor als Motorlast für den Frequenzumrichter	262
12.8.3 Drehzahlsteuerung des Asynchronmotors mit dem Frequenzumrichter	267
12.9 Eigenschaften und Schaltverhalten der Leistungshalbleiter	277
12.9.1 Freilauf-/Rückspeisedioden	277
12.9.2 Insulated Gate Bipolar Transistor: IGBT	279
12.9.3 Integrated Gate Commutated Thyristor: IGCT	283
12.10 Übungsaufgaben	287
13 Stabilisierte Stromversorgung	295
13.1 Kenngrößen einer Stabilisierungsschaltung	295
13.2 Einfache Serienstabilisierung	298
13.3 Lineare Spannungsregler	301
13.3.1 Spannungsreglerprinzip	301
13.3.2 Prinzip der Strombegrenzung	303
13.3.3 Integrierte lineare Spannungsregler	304
13.4 DC/DC-Wandler	307
13.4.1 Abwärtswandler (Tiefsetzsteller)	307
13.4.2 Aufwärtswandler (Hochsetzsteller)	312
13.4.3 Invertierender Wandler	314

13.5 Schaltnetzteile	314
13.5.1 Schaltnetzteil, gesteuerter Betrieb	315
13.5.2 Schaltnetzteil, geregelter Betrieb	316
13.6 Übungsaufgaben	319
<hr/>	
Digitaltechnik und Digitalisierung	
14 Grundlagen der digitalen Schaltungstechnik	325
14.1 Begriffe: digital, binär, positive Logik, Bit, Byte	325
14.2 Abgrenzung zwischen Analog- und Digitalschaltungen	325
14.3 Schaltnetze	326
14.3.1 Logische Funktionen und Grundverknüpfungen	326
14.3.2 Abgeleitete Grundfunktionen	328
14.3.3 Disjunktive Normalform für beliebige Schaltnetze	330
14.3.4 Vereinfachung einer redundanten Schaltfunktion	331
14.3.5 Schaltungsumwandlung, De Morgan'sche Regeln	332
14.4 Schaltwerke	333
14.4.1 Monostabile Kippstufe	334
14.4.2 Bistabile Kippstufen (Flipflops)	338
14.4.3 Zähler	344
14.4.4 Schieberegister	354
14.5 Abhängigkeitsnotation	355
14.6 Übungsaufgaben	357
15 Grundlagen der Digitalisierung	363
15.1 Grundsätzliches zu Datenerfassungssystemen (Messketten)	363
15.2 Grundbegriffe der Abtast- und Quantisierungstheorie	365
15.3 Verfahren der Analog-Digital-Umsetzung	369
15.3.1 Flash-Umsetzer	369
15.3.2 Sukzessive-Approximations-Umsetzer	370
15.3.3 Dual-Slope-Umsetzer	371
15.3.4 Beschaltung und Abgleich eines Analog-Digital-Umsetzers	373
15.4 Grundsätzliches zu Datenausgabesystemen	375
15.5 Verfahren der Digital-Analog-Umsetzung	376
15.5.1 Digital-Analog-Umsetzer mit dual gestuften Widerständen	376
15.5.2 Digital-Analog-Umsetzer mit R-2R-Netzwerk	378
15.5.3 Beschaltung und Abgleich eines DA-Umsetzers	379
15.6 Übungsaufgaben	381
16 Lösungen der Übungen	385
Sachwortverzeichnis	427