

# Inhaltsverzeichnis

## I Repetitorium Elektrotechnik mit Übungen

<b>1 Elektrotechnische Grundlagen (Auswahl) .....</b>	1
1.1 Definition elektrischer Grundgrößen .....	1
1.2 Stromkreis.....	2
1.3 Messen von Gleichströmen und Gleichspannungen .....	2
1.4 Eigenschaften von Bauelementen und grundlegende Stromkreisgesetze.....	3
1.5 Widerstände mit physikalischen Abhängigkeiten.....	4
– Temperatur .....	4
– Kraft .....	5
– Magnetismus .....	5
– Licht .....	5
1.6 Beschreibungsmittel und Kenngrößen von Spannungen (Strömen) .....	6
1.7 Mittelwerte periodischer Größen .....	7
1.8 Komplexe Rechnung für Wechselstromtechnik.....	8
1.9 Drehstromsystem.....	9
1.10 Transformator.....	10
– Einphasen-Kerntransformator .....	10
– Gesetze des idealen Transformatoren.....	10
1.11 Grundschaltungen mit Formelsammlung.....	11
1.12 Übungsaufgaben.....	17

## II Einführung in die Elektronik

<b>2 Grundbegriffe der Halbleitertechnik .....</b>	22
2.1 Elektrische Leitfähigkeit der Materialien.....	22
2.2 Störstellenleitung der Halbleiter.....	22
2.3 Eigenleitung der Halbleiter .....	24
2.4 Halleffekt als Nachweis für Elektronen- und Löcherleitung .....	25
2.5 Eigenschaften des pn-Übergangs der Halbleiter .....	26
2.6 Eigenschaften von Halbleiter-Kanälen.....	29
2.7 Übungsaufgaben.....	31
<b>3 Halbleiterdiode als nichtlinearer Widerstand .....</b>	32
3.1 <i>I-U</i> -Kennlinie der Halbleiterdiode .....	32
3.2 Arbeiten mit Kennlinien.....	34
3.2.1 <i>I-U</i> -Kennlinien.....	34
3.2.2 Übertragungs-Kennlinien.....	35
3.3 Begrenzerschaltungen mit Dioden .....	36
3.4 Übungsaufgaben.....	37

### III Grundschaltungen der Elektronik

<b>4 Spannungsstabilisierung mit Z-Diode .....</b>	<b>39</b>
4.1 Aufgabe einer Spannungsstabilisierung .....	39
4.2 Z-Diode als Stabilisierungselement.....	40
4.3 Analyse der Z-Dioden-Konstantspannungsschaltung .....	42
4.3.1 Leerlauffall.....	42
4.3.2 Belastungsfall.....	44
4.4 Übungsaufgaben .....	47
<b>5 Konstantstromschaltung mit JFET .....</b>	<b>49</b>
5.1 Aufgabe einer Konstantstromschaltung .....	49
5.2 Feldeffekttransistor (JFET) als Konstantstromelement.....	51
5.3 Analyse der JFET-Konstantstromschaltung .....	53
5.4 Übungsaufgaben .....	56
<b>6 Transistor als Schalter .....</b>	<b>57</b>
6.1 Übersicht über grundlegende Transistortypen .....	57
6.2 Kennlinien und Kennwerte der Bipolartransistoren.....	58
6.2.1 Schichtenaufbau, Anschlüsse, Polung .....	58
6.2.2 Messschaltung.....	59
6.2.3 Kennlinien.....	59
6.3 Kennlinien und Kennwerte der Feldeffekttransistoren .....	62
6.3.1 Kanalstruktur, Anschlüsse, Polung .....	62
6.3.2 Messschaltung.....	63
6.3.3 Kennlinien.....	63
6.4 Grenzdaten.....	64
6.4.1 Spannungsgrenzwerte .....	64
6.4.2 Stromgrenzwerte .....	65
6.4.3 Temperatur- und Leistungsgrenzwerte .....	65
6.4.4 Sicherer Arbeitsbereich (SOA = Safe Operating Area).....	68
6.5 Grundbegriffe der Schaltverstärker .....	69
6.5.1 Schaltzustände des Transistors .....	69
6.5.2 Übersteuerung .....	70
6.5.3 Schaltzeiten .....	71
6.5.4 Berechnungsgang für den Schaltverstärker .....	72
6.6 Schalten mit Leistungstransistoren.....	74
6.6.1 Eigenschaften von Leistungs-MOSFETs.....	74
6.6.2 Ansteuern von Leistungs-MOSFETs .....	75
6.6.3 High-Side und Low-Side-Schalter.....	77
6.6.4 Periodisches Schalten von induktiven Lasten in Gleichstromkreisen .....	78
6.7 CMOS-Inverter als Schalter .....	80
6.7.1 Schaltungsprinzip eines CMOS-Inverters .....	80
6.7.2 Betriebsspannung, Pegel, Belastbarkeit.....	81
6.8 Schalten mit Optokoppler.....	82
6.9 Übungsaufgaben .....	83

<b>7 Transistor als Verstärker.....</b>	<b>86</b>
7.1 Grundbegriffe der Verstärkertechnik .....	86
7.1.1 Vierpoldarstellung des Verstärkers.....	86
7.1.2 Kennwerte des Verstärkers .....	87
7.2 Arbeitspunkteinstellung .....	88
7.2.1 Kollektorruhestrom .....	88
7.2.2 Arbeitswiderstand .....	89
7.2.3 Arbeitspunkt.....	91
7.3 Verstärkungsvorgang im Kennlinienfeld .....	91
7.4 Ermittlung der Verstärkerkennwerte .....	93
7.4.1 Messen der Leerlauf-Spannungsverstärkung.....	93
7.4.2 Messen des Wechselstrom-Eingangswiderstandes.....	93
7.4.3 Messen des Wechselstrom-Ausgangswiderstandes.....	94
7.4.4 Rechnerische Ermittlung der Verstärkerkennwerte.....	94
7.5 Frequenzgang .....	95
7.5.1 Untere Grenzfrequenz.....	95
7.5.2 Obere Grenzfrequenz.....	96
7.6 Verstärker-Grundschaltungen .....	98
7.7 Übungsaufgaben.....	99
<b>8 Operationsverstärker und Grundschatungen .....</b>	<b>100</b>
8.1 Übersicht.....	100
8.2 Eigenschaften eines Standard-Operationsverstärkers .....	101
8.2.1 Der invertierende und nichtinvertierende Eingang.....	101
8.2.2 Aussteuerungsgrenzen der Ausgangsspannung.....	101
8.2.3 Aussteuerungsgrenzen des Ausgangsstromes.....	102
8.2.4 Differenzverstärkung und Gleichtaktverstärkung .....	102
8.2.5 Gleichtaktunterdrückung .....	102
8.2.6 Ausgangsspannung .....	103
8.2.7 Eingangswiderstand .....	103
8.2.8 Ausgangswiderstand .....	103
8.2.9 Frequenzgang .....	103
8.2.10 Slew Rate .....	104
8.2.11 Datenblatt des Standard-Operationsverstärkers.....	104
8.3 Operationsverstärker als linearer Verstärker.....	105
8.3.1 Gegenkopplungsprinzip .....	105
8.3.2 Rechenregeln für gegengekoppelte Operationsverstärker.....	107
8.3.3 Invertierender Verstärker .....	108
8.3.4 Nichtinvertierender Verstärker .....	113
8.4 Operationsverstärker als Schalter .....	118
8.4.1 Komparator .....	118
8.4.2 Invertierender Schmitt-Trigger .....	119
8.4.3 Nichtinvertierender Schmitt-Trigger .....	122
8.5 Übungsaufgaben.....	124

<b>9</b>	<b>Analoge Signalverarbeitung .....</b>	126
9.1	Addierer .....	126
9.1.1	Grundschaltung des Umkehraddierers.....	126
9.1.2	Prinzip der Digital-Analog-Umsetzung mit Umkehraddierer .....	128
9.2	Subtrahierer .....	129
9.2.1	Grundschaltung mit 1 Operationsverstärker .....	129
9.2.2	Variante mit 2 Operationsverstärkern.....	133
9.2.3	Instrumentenverstärker (Subtrahierer mit 3 OpV).....	134
9.3	Integrierer .....	135
9.3.1	Grundschaltung .....	135
9.3.2	Betriebsarten eines Integrators.....	136
9.3.3	Integratoranwendungen.....	137
9.4	Mittelwertbildner .....	140
9.5	Multiplizierer.....	142
9.5.1	Multiplizieren.....	142
9.5.2	Dividieren.....	143
9.6	Leistungsverstärker.....	144
9.6.1	Komplementärendstufe im B-Betrieb .....	144
9.6.2	Komplementärendstufe im AB-Betrieb .....	145
9.6.3	Gegentaktendstufe als Nachsetzverstärker für Operationsverstärker.....	146
9.6.4	Leistungs-Operationsverstärker .....	147
9.7	Trennverstärker.....	148
9.7.1	Einsatzgebiete für Trennverstärker .....	148
9.7.2	Prinzipien der Trennverstärker .....	148
9.7.3	Kennwerte der Trennverstärker .....	151
9.7.4	Beschaltung von Trennverstärkern .....	151
9.8	Übungsaufgaben .....	152
<b>10</b>	<b>Schwingungserzeugung .....</b>	155
10.1	Rechteckgeneratoren .....	155
10.1.1	Astable Kippschaltung mit Operationsverstärker.....	155
10.1.2	Rechteckgenerator mit Timer .....	157
10.2	Funktionsgenerator .....	159
10.3	Spannungsgesteuerter Oszillator (VCO).....	162
10.4	Phase-Locked-Loop PLL.....	163
10.4.1	Nachlaufsynchronisation.....	163
10.4.2	Aufbau eines PLL-Regelkreises .....	163
10.4.3	Integrierter PLL-Baustein .....	167
10.5	Sinus-Oszillatoren .....	168
10.6	Übungsaufgaben .....	171

## IV Leistungselektronik

<b>11 Gleichrichtung .....</b>	<b>174</b>
11.1 Mischspannung.....	174
11.2 Gleichrichterschaltungen im Leerlaufbetrieb.....	178
11.2.1 Mittelpunktschaltungen .....	178
11.2.2 Brückenschaltungen.....	179
11.3 Spannungsglättung .....	183
11.4 Stromglättung .....	187
11.5 Berechnung von Gleichrichterschaltungen mit Stromglättung.....	189
11.5.1 Sekundärspannung $U_2$ .....	189
11.5.2 Sekundärstrom $I_2$ .....	190
11.5.3 Primärstrom $I_1$ .....	191
11.5.4 Typenleistung des Transformators $S_{Tr}$ .....	192
11.5.5 Zusammenstellung der Berechnungsgrundlagen.....	193
11.6 Übungsaufgaben.....	194
<b>12 Leistungssteuerung mit Thyristoren, Triacs, IGBTs und IGCTs .....</b>	<b>196</b>
12.1 Thyristor als steuerbarer Schalter.....	196
12.2 Steuersatz .....	200
12.3 Thermische Eigenschaften von Thyristoren .....	202
12.4 Triac als bidirektonaler Thyristor .....	205
12.5 Wechselstromsteller (Phasenanschnittsteuerung).....	207
12.6 Wechselstromschalter (Periodengruppensteuerung).....	209
12.7 Gesteuerte Drehstrombrücke mit Gleichstrommotor als Last .....	211
12.7.1 Gleichrichter- und Wechselrichterbetrieb.....	211
12.7.2 Ausgangsgleichspannung der Drehstrombrücke, ideelle Gleichspannung .....	213
12.7.3 Drehzahlverstellung durch Ansteuerung der Drehstrombrücke .....	214
12.7.4 Pulsierender Gleichstrom der Drehstrombrücke, ideeller Gleichstrom .	215
12.7.5 Betriebsarten des Stromrichterantriebs im $n\text{-}M$ -Betriebsdiagramm	218
12.8 Frequenzumrichter mit Drehstrom-Asynchronmotor als Last.....	221
12.8.1 Schaltungs- und Funktionsprinzip des Frequenzumrichters.....	221
12.8.2 Drehstrom-Asynchronmotor als Motorlast für den Frequenzumrichter	224
12.8.3 Drehzahlsteuerung des Asynchronmotors mit dem Frequenzumrichter	229
12.9 Eigenschaften und Schaltverhalten der Leistungshalbleiter .....	237
12.9.1 Freilauf-/Rückspeisedioden .....	237
12.9.2 Insulated Gate Bipolar Transistor: IGBT .....	238
12.9.3 Integrated Gate Commutated Thyristor: IGCT.....	242
12.10 Übungsaufgaben.....	245
<b>13 Stabilisierte Stromversorgung.....</b>	<b>250</b>
13.1 Kenngrößen einer Stabilisierungsschaltung.....	250
13.2 Einfache Serienstabilisierung.....	253
13.3 Lineare Spannungsregler.....	255
13.3.1 Spannungsreglerprinzip .....	256
13.3.2 Prinzip der Strombegrenzung .....	257

13.3.3 Integrierte lineare Spannungsregler .....	258
13.4 DC/DC-Wandler .....	260
13.4.1 Abwärtswandler (Tiefsetzsteller) .....	261
13.4.2 Aufwärtswandler (Hochsetzsteller) .....	265
13.4.3 Invertierender Wandler .....	266
13.5 Schaltnetzteile .....	267
13.5.1 Schaltnetzteil, gesteuerter Betrieb .....	267
13.5.2 Schaltnetzteil, geregelter Betrieb .....	269
13.6 Übungsaufgaben .....	271

## V Digitaltechnik und Digitalisierung

<b>14 Grundlagen der digitalen Schaltungstechnik .....</b>	<b>275</b>
14.1 Begriffe: digital, binär, positive Logik, Bit, Byte .....	275
14.2 Abgrenzung zwischen Analog- und Digitalschaltungen .....	275
14.3 Schaltnetze .....	276
14.3.1 Logische Funktionen und Grundverknüpfungen .....	276
14.3.2 Abgeleitete Grundfunktionen .....	277
14.3.3 Disjunktive Normalform für beliebige Schaltnetze .....	279
14.3.4 Vereinfachung einer redundanten Schaltfunktion .....	280
14.3.5 Schaltungsumwandlung, De Morgan'sche Regeln .....	281
14.4 Schaltwerke .....	282
14.4.1 Monostabile Kippstufe .....	282
14.4.2 Bistabile Kippstufen (Flipflops) .....	286
14.4.3 Zähler .....	291
14.4.4 Schieberegister .....	300
14.5 Abhängigkeitsnotation .....	301
14.6 Übungsaufgaben .....	302
<b>15 Grundlagen der Digitalisierung .....</b>	<b>306</b>
15.1 Grundsätzliches zu Datenerfassungssystemen (Messketten) .....	306
15.2 Grundbegriffe der Abtast- und Quantisierungstheorie .....	308
15.3 Verfahren der Analog-Digital-Umsetzung .....	311
15.3.1 Flash-Umsetzer .....	311
15.3.2 Sukzessive-Approximations-Umsetzer .....	312
15.3.3 Dual-Slope-Umsetzer .....	313
15.3.4 Beschaltung und Abgleich eines Analog-Digital-Umsetzers .....	314
15.4 Grundsätzliches zu Datenausgabesystemen .....	317
15.5 Verfahren der Digital-Analog-Umsetzung .....	318
15.5.1 Digital-Analog-Umsetzer mit dual gestuften Widerständen .....	318
15.5.2 Digital-Analog-Umsetzer mit R-2R-Netzwerk .....	319
15.5.3 Beschaltung und Abgleich eines DA-Umsetzers .....	320
15.6 Übungsaufgaben .....	322
<b>Lösungen der Übungen .....</b>	<b>325</b>
<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>362</b>