

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Grundlagen der Elektrotechnik</b>	<b>1</b>
1.1 Historischer Überblick . . . . .	1
1.2 Elektrische Ladungen und elektrisches Feld . . . . .	3
1.2.1 Elektrische Ladungen . . . . .	3
1.2.2 Das Coulombsche Gesetz . . . . .	5
1.2.3 Das elektrische Feld . . . . .	6
1.2.4 Das elektrostatische Potential und die Spannung . . . . .	7
1.2.5 Elektrische Ladungen auf Leitern . . . . .	9
1.2.6 Elektrische Flußdichte . . . . .	10
1.2.7 Der Kondensator . . . . .	12
1.3 Gleichstromkreis . . . . .	13
1.3.1 Stromstärke . . . . .	13
1.3.2 Das Ohmsche Gesetz . . . . .	14
1.3.3 Arbeit und Leistung des elektrischen Stromes . . . . .	17
1.3.4 Kirchhoffsche Sätze . . . . .	18
1.3.5 Quellenspannung und Klemmenspannung . . . . .	27
1.4 Elektromagnetisches Feld . . . . .	28
1.4.1 Magnetisches Feld elektrischer Ströme . . . . .	29
1.4.2 Das Durchflutungsgesetz . . . . .	31
1.4.3 Kraftwirkung magnetischer Felder auf stromdurchflossene Leiter . . . . .	31
1.4.4 Lorentzkraft und Halleffekt . . . . .	34
1.4.5 Materie im Magnetfeld . . . . .	37
1.4.6 Elektromagnetische Induktion . . . . .	43
1.5 Wechselstromkreis . . . . .	47
1.5.1 Wechselspannung und Wechselstrom . . . . .	48
1.5.2 Kennwerte von Wechselgrößen . . . . .	49
1.6 Schaltvorgänge . . . . .	51
1.6.1 Schaltverhalten an einem Widerstand . . . . .	52

1.6.2	Schaltverhalten an einer Kapazität . . . . .	52
1.6.3	Schaltverhalten an einer Induktivität . . . . .	55
1.7	Datenübertragung . . . . .	57
1.7.1	Physikalische Darstellung . . . . .	57
1.7.2	Übertragungsmedien . . . . .	58
<b>2</b>	<b>Halbleiterbauelemente</b>	<b>72</b>
2.1	Halbleiterphysik . . . . .	73
2.1.1	Aufbau der Materie . . . . .	73
2.1.2	Energiebändermodell . . . . .	74
2.1.3	Kristallstruktur von Germanium und Silizium . . . . .	76
2.1.4	Eigenleitfähigkeit . . . . .	77
2.1.5	Störstellenleitfähigkeit (Dotierte Halbleiter) . . . . .	78
2.1.6	<i>pn</i> -Übergang . . . . .	81
2.2	Halbleiterdioden . . . . .	83
2.2.1	<i>pn</i> -Übergang mit äußerer Spannung . . . . .	83
2.2.2	Kennlinie des <i>pn</i> -Übergangs . . . . .	85
2.2.3	Halbleiterdioden mit besonderen Eigenschaften . . . . .	86
2.3	Bipolar-Transistoren . . . . .	94
2.3.1	Der Transistoreffekt . . . . .	94
2.3.2	Spannungen und Ströme im Betriebszustand . . . . .	95
2.3.3	Kennlinienfelder und Arbeitspunkt . . . . .	96
2.4	Unipolare Transistoren . . . . .	98
2.4.1	Sperrsicht-Feldeffekttransistor (FET) . . . . .	99
2.4.2	Isoliersicht-Feldeffekt-Transistor (MOS-FET) . . . . .	101
2.5	Gallium-Arsenid-Halbleiterbauelemente . . . . .	104
<b>3</b>	<b>Elektronische Verknüpfungsglieder</b>	<b>110</b>
3.1	Elektronische Schalter . . . . .	110
3.1.1	Der ideale Schalter . . . . .	111
3.1.2	Modell eines realen Schalters . . . . .	112
3.1.3	Bipolartransistor als Schalter . . . . .	112
3.1.4	Unipolartransistor als Schalter . . . . .	114
3.1.5	Kenngrößen . . . . .	114
3.2	Verknüpfungsglieder mit bipolaren Transistoren . . . . .	120
3.2.1	TTL-Schaltkreise . . . . .	120
3.2.2	ECL-Schaltkreise . . . . .	129
3.2.3	I <sup>2</sup> L-Schaltkreise . . . . .	130
3.3	Verknüpfungsglieder mit unipolaren Transistoren . . . . .	131
3.3.1	PMOS Schaltkreise . . . . .	131
3.3.2	NMOS Schaltkreise . . . . .	132
3.3.3	CMOS Schaltkreise . . . . .	133

<b>4 Schaltnetze</b>	137
4.1 Schaltalgebra . . . . .	138
4.1.1 Definition der Booleschen Algebra . . . . .	139
4.1.2 Schaltalgebra – ein Modell der Booleschen Algebra . . . . .	140
4.1.3 Schaltfunktionen . . . . .	140
4.1.4 Vektorfunktion . . . . .	152
4.2 Darstellung und Analyse . . . . .	153
4.3 Synthese . . . . .	156
4.4 Beispiele . . . . .	157
4.4.1 Codierer . . . . .	157
4.4.2 Addierglieder . . . . .	163
4.4.3 Multiplexer . . . . .	171
4.4.4 Komparatoren . . . . .	174
4.5 Realisierungsformen . . . . .	176
4.5.1 ROM . . . . .	179
4.5.2 PROM, EPROM . . . . .	181
4.5.3 PAL . . . . .	183
4.5.4 PLA . . . . .	184
4.5.5 Realisierung mit Multiplexern . . . . .	184
4.6 Laufzeiteffekte in Schaltnetzen . . . . .	186
<b>5 Speicherglieder</b>	189
5.1 Funktionsprinzip einer bistabilen Kippschaltung . . . . .	189
5.2 Funktionsprinzip von RAM-Speicherzellen . . . . .	191
5.3 Basis-Flipflop . . . . .	194
5.3.1 Basis-Flipflop aus NOR-Schaltgliedern . . . . .	194
5.3.2 Basis-Flipflop aus NAND Schaltgliedern . . . . .	195
5.4 RS-Kippglied . . . . .	197
5.5 RS-Kippglied mit Zustandssteuerung . . . . .	199
5.6 D-Kippglied mit Zustandssteuerung . . . . .	202
5.7 RS-Kippglied mit Zwei-Zustandssteuerung . . . . .	203
5.8 JK-Master-Slave-Kippglied . . . . .	208
5.9 Master-Slave T-Kippglied . . . . .	209
5.10 Kippglieder mit Taktflankensteuerung . . . . .	210
5.10.1 Taktflankensteuerung durch RC-Differenzierglieder . . . . .	211
5.10.2 Taktflankensteuerung realisiert durch Verknüpfungsschaltungen . . . . .	212
5.11 Zusammenfassung . . . . .	214

<b>6 Schaltwerke</b>	217
6.1 Automaten . . . . .	218
6.2 Funktionelle Beschreibung von Schaltwerken . . . . .	221
6.3 Analyse von Schaltwerken . . . . .	223
6.3.1 Beispiel 1 . . . . .	223
6.3.2 Beispiel 2 . . . . .	225
6.4 Synthese von Schaltwerken . . . . .	226
6.4.1 Beispiel 1: Umschaltbarer Zähler . . . . .	227
6.4.2 Beispiel 2: Schieberegister als Schaltwerk . . . . .	228
6.5 Realisierung von Schaltwerken . . . . .	233
6.5.1 Schaltwerke mit diskreten Baugliedern . . . . .	234
6.5.2 Schaltwerke mit programmierbaren Logikbausteinen . .	234
<b>7 Integrierte Schaltungen</b>	238
7.1 Schaltungsentwurf . . . . .	239
7.1.1 Entwurfsebenen . . . . .	240
7.1.2 Darstellung . . . . .	242
7.1.3 Werkzeuge und Entwurfsschritte . . . . .	243
7.1.4 ASICs . . . . .	246
7.2 Herstellung . . . . .	257
7.2.1 Herstellung der Siliziumscheibe (Wafer) . . . . .	257
7.2.2 Herstellung der Masken . . . . .	259
7.2.3 Scheibenprozesse . . . . .	259
7.2.4 Test . . . . .	268
7.2.5 Montage . . . . .	270
<b>Abkürzungen</b>	272
<b>Schaltzeichen für binäre Verknüpfungsglieder</b>	274
<b>Literaturverzeichnis</b>	275
<b>Sachverzeichnis</b>	278