

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Codierung und Zahlensysteme	3
2.1 Codes	3
2.2 Dualcode	4
2.3 Festkomma-Arithmetik im Dualsystem	5
2.3.1 Ganzzahlige Addition im Dualsystem	5
2.3.2 Addition von Festkommazahlen	6
2.3.3 Einerkomplementdarstellung	6
2.3.4 Zweierkomplementdarstellung	7
2.3.5 Subtraktion in Zweierkomplementdarstellung	8
2.3.6 Bereichsüberschreitung	8
2.3.7 Multiplikation	9
2.3.8 Division	10
2.4 Hexadezimalcode	10
2.5 Oktalcode	11
2.6 Graycode	11
2.7 BCD-Code	12
2.8 Alphanumerische Codes	13
2.9 Übungen	13
3 Schaltalgebra	15
3.1 Schaltvariable und Schaltfunktion	15
3.2 Zweistellige Schaltfunktionen	16
3.3 Rechenregeln	20
3.4 Vereinfachte Schreibweise	21
3.5 Kanonische disjunktive Normalform (KDNF)	21
3.6 Kanonische konjunktive Normalform (KKNF)	22
3.7 Darstellung von Funktionen mit der KKNF und KDNF	23
3.8 Minimieren mit Hilfe der Schaltalgebra	25
3.9 Schaltsymbole	26
3.9.1 Grundsätzlicher Aufbau der Symbole	26
3.9.2 Die Abhängigkeitsnotation	27
3.9.3 Die UND-Abhängigkeit (G)	27
3.9.4 Die ODER-Abhängigkeit (V)	28
3.9.5 Die EXOR-Abhängigkeit (N)	29
3.9.6 Die Verbindungs-Abhängigkeit (Z)	29
3.9.7 Die Übertragungs-Abhängigkeit (X)	29
3.10 Übungen	30
4 Verhalten logischer Gatter	31
4.1 Positive und negative Logik	32
4.2 Definition der Schaltzeiten	33
4.3 Übertragungskennlinie, Störabstand	34

4.4 Ausgänge	35
4.4.1 Offener Kollektor (Open Collector)	36
4.4.2 Tri-State-Ausgang	37
4.5 Übungen	38
5 Schaltungstechnik.....	39
5.1 CMOS.....	39
5.1.1 Fan-Out.....	41
5.1.2 Grundsaltungen NAND und NOR	41
5.1.3 Transmission-Gate	43
5.1.4 Tri-State-Ausgang	44
5.1.5 CMOS-Eigenschaften.....	45
5.2 TTL.....	45
5.2.1 Belastung der Ausgänge	47
5.3 Emitter-Coupled Logic (ECL).....	48
5.4 Integrierte Injektions-Logik (I ² L).....	48
5.5 Verlustleistung und Schaltverhalten von Transistorschaltern.....	50
5.6 Übungen	51
6 Schaltnetze.....	53
6.1 Minimierung mit Karnaugh-Veitch-Diagrammen	53
6.1.1 Minimierung der KDNF	53
6.1.2 Minimierung der KKNF	56
6.1.3 Karnaugh-Veitch-Diagramme für 2 bis 6 Eingangsvariablen.....	57
6.1.4 Unvollständig spezifizierte Funktionen	59
6.2 Das Quine-McCluskey-Verfahren	60
6.3 Andere Optimierungsziele	63
6.3.1 Umwandlung UND/ODER-Schaltnetz in NAND-Schaltnetz.....	64
6.3.2 Umwandlung ODER/UND-Schaltnetz in NOR-Schaltnetz.....	65
6.4 Laufzeiteffekte in Schaltnetzen	66
6.4.1 Strukturhazards.....	66
6.4.2 Funktionshazards	67
6.4.3 Klassifizierung von Hazards.....	68
6.5 Übungen	69
7 Asynchrone Schaltwerke.....	71
7.1 Prinzipieller Aufbau von Schaltwerken	71
7.2 Analyse asynchroner Schaltwerke	72
7.3 Systematische Analyse	73
7.4 Analyse unter Berücksichtigung der Gatterlaufzeit.....	75
7.5 Speicherglieder	78
7.5.1 RS-Flipflop.....	78
7.5.2 RS-Flipflop mit Takteingang.....	79
7.5.3 Taktpegelgesteuertes D-Flipflop	80
7.5.4 Flankengesteuertes D-Flipflop.....	83
7.5.5 Zweiflankensteuerung	85
7.5.6 JK-Flipflop	86
7.5.7 T-Flipflop	88
7.5.8 Beispiel	88

7.5.9 Zusammenfassung Flipflops.....	88
7.6 Übungen	90
8 Synchrone Schaltwerke.....	93
8.1 Beispiel 1: Schaltwerk „Binärzähler“	94
8.2 Moore-Schaltwerk	95
8.3 Mealy-Schaltwerk.....	97
8.3.1 Beispiel 2: Mealy-Schaltwerk „Maschinensteuerung“	97
8.3.2 Realisierung der Maschinensteuerung als Moore-Schaltwerk.....	100
8.4 Zustandskodierung	100
8.4.1 Binäre Kodierung	101
8.4.2 Kodierung nach dem Gray-Code.....	101
8.4.3 Ausgangsorientierte Kodierung.....	101
8.4.4 „One-Hot“-Kodierung	104
8.5 Wahl der Flipflops.....	106
8.6 Zeitverhalten von Schaltwerken	107
8.7 Übungen	109
9 Multiplexer und Code-Umsetzer.....	111
9.1 Multiplexer	111
9.1.1 Multiplexer-Realisierung von Funktionen.....	112
9.2 Code-Umsetzer.....	114
9.2.1 Der BCD/Dezimal-Code-Umsetzer 7442	115
9.2.2 Demultiplexer.....	116
9.2.3 Erzeugung von Funktionsbündeln	117
9.3 Analoge Multiplexer und Demultiplexer.....	119
9.4 Übungen	119
10 Digitale Zähler	121
10.1 Asynchrone Zähler	121
10.1.1 Mod-8-Binärzähler	121
10.1.2 Mod-6-Zähler	122
10.1.3 Asynchrone Rückwärtszähler	123
10.1.4 Zeitverhalten asynchroner Zähler	124
10.2 Synchrone Zähler.....	124
10.2.1 4-Bit-Dualzähler	125
10.2.2 Mod-6-Zähler im Gray-Code.....	127
10.2.3 Der synchrone 4-Bit Aufwärts/Abwärts-Binärzähler 74191	129
10.3 Übungen	130
11 Schieberegister.....	131
11.1 Zeitverhalten von Schieberegistern	132
11.1.1 Schieberegister 74194	133
11.2 Rückgekoppelte Schieberegister.....	135
11.2.1 Moebius-Zähler, Johnson-Zähler.....	136
11.2.2 Pseudo-Zufallsfolgen.....	138
11.3 Übungen	140

12 Arithmetische Bausteine	141
12.1 Volladdierer	141
12.2 Serienaddierer	141
12.3 Ripple-Carry-Addierer	142
12.4 Carry-Look-Ahead Addierer	143
12.4.1 Kaskadierung von Carry-Look-Ahead-Addierern	145
12.4.2 Vergleich der Addierer	149
12.5 Arithmetisch-logische-Recheneinheiten (ALU)	149
12.5.1 Beispiele für Operationen	152
12.6 Komparatoren	155
12.6.1 2-Bit-Komparator	155
12.6.2 Kaskadierbare Komparatoren	157
12.7 Übungen	158
13 Digitale Speicher	159
13.1 Prinzipieller Aufbau von Speicherbausteinen	160
13.2 ROM	160
13.3 PROM	163
13.4 EPROM	164
13.5 EEPROM	165
13.6 EAROM	165
13.7 NOVRAM	165
13.8 Statisches RAM (SRAM)	166
13.8.1 Aufbau eines SRAM	166
13.8.2 Beispiel SRAM	167
13.9 Dynamisches RAM (DRAM)	171
13.9.1 Aufbau eines DRAM	171
13.9.2 Beispiel DRAM	171
13.10 SDRAM (Synchrones DRAM)	176
13.11 DDR-RAM (Double Data Rate DRAM)	176
13.12 Eimerkettenspeicher	176
13.12.1 Beispiel eines FIFOs	177
13.13 Kaskadierung von Speichern	179
13.14 Erweiterung der Wortlänge	179
13.15 Erweiterung der Speicherkapazität	180
13.15.1 Volldekodierung	181
13.15.2 Teildekodierung	183
13.15.3 Lineare Dekodierung	185
13.16 Übungen	187
14 Programmierbare Logikbausteine	189
14.1 ASIC-Familien	189
14.2 Programmierbare Logik-IC (PLD)	192
14.2.1 PLD-Typen	192
14.3 ROM, EPROM, EEPROM	193
14.4 PLA	194
14.5 PAL	199
14.6 GAL	201

14.7 Programmierung von PLD-Bausteinen.....	204
14.7.1 Test.....	204
14.8 Field Programmable Gate Arrays (FPGA)	205
14.8.1 Aufbau eines FPGA.....	205
14.8.2 Konfigurierbare Logik-Blöcke (CLB).....	207
14.8.3 IO-Block.....	208
14.8.4 Verbindungsleitungen.....	209
14.8.5 Programmierung eines FPGA.....	210
14.9 CPLD.....	210
14.9.1 Aufbau einer CPLD.....	210
14.9.2 Logik-Array Blöcke (LAB).....	211
14.9.3 IO-Steuerung.....	213
14.9.4 Größe der CPLD.....	213
14.10 Gate-Arrays	214
14.10.1 Aufbau von Channelled Gate-Arrays	214
14.11 Standardzellen-ASIC	217
14.12 Vollkundendesign-ASICs.....	217
14.13 Übungen	218
15 VHDL	219
15.1 Entwurfsverfahren für digitale Schaltungen	219
15.2 Die Struktur von VHDL	220
15.3 Typen.....	220
15.4 Operatoren.....	222
15.5 Entity	223
15.6 Architecture.....	224
15.7 Prozesse	225
15.8 Struktureller Entwurf.....	229
15.9 Busse	230
15.10 Übungen	232
16 Mikroprozessoren.....	233
16.1 Prinzip kooperierender Schaltwerke.....	233
16.2 Der Von-Neumann-Rechner.....	233
16.2.1 Operationswerk	235
16.2.2 Leitwerk.....	235
16.2.3 Speicher.....	236
16.2.4 Ein- und Ausgabe	236
16.2.5 Betrieb	237
16.3 Architektur des 68HC11	237
16.3.1 Anschlüsse des 68HC11	239
16.3.2 Funktionsabläufe bei der Befehlsausführung	240
16.3.3 CPU-Register.....	243
16.3.4 Speicher	244
16.4 Assembler-Programmierung.....	246
16.5 Adressierungsarten	246
16.6 Befehlssatz.....	248
16.6.1 Konventionen	248
16.6.2 Transfer-Befehle.....	249

16.6.3 Speicher-Befehle	250
16.6.4 Lade-Befehle	252
16.6.5 Arithmetische Befehle: Negation.....	252
16.6.6 Arithmetische Befehle: Addition.....	253
16.6.7 Arithmetische Befehle: Subtraktion.....	255
16.6.8 Arithmetische Befehle: Inkrement und Dekrement	256
16.6.9 Arithmetische Befehle: Vergleich	257
16.6.10 Logische Operationen.....	258
16.6.11 Schiebe- und Rotations-Befehle	258
16.6.12 Bitmanipulations-Befehle	259
16.6.13 Absolut adressierter Sprung.....	259
16.6.14 Relativ adressierter Sprung.....	260
16.6.15 Bedingte Sprünge	261
16.6.16 Befehle für Unterprogramme.....	263
16.7 Assembleranweisungen	266
16.8 Interrupt-Bearbeitung	268
16.9 Übungen	270
A Anhang.....	271
A.1 Die Abhängigkeitsnotation	271
A.2 Befehlssatz des 68HC11	275
A.3 Lösungen der Aufgaben.....	283
A.4 Literatur	309
A.5 Sachwortregister	313