

# Inhalt

<b>Inhalt</b>	<b>v</b>
<b>Vorwort</b>	<b>xi</b>
<b>Hinweise zum Inhalt dieses Buchs</b>	<b>xiii</b>
<b>1 Programmierbare Logikschaltungen (PLD)</b>	<b>1</b>
1.1 Gründe für die Benutzung von programmierbaren Logikschaltungen .....	1
1.2 Integrierte Schaltungen mit geringerem Integrationsgrad .....	2
1.3 Einteilung der programmierbaren Logikschaltungen .....	3
1.4 Bauelement GAL22V10.....	3
1.4.1 Eigenschaften des GAL22V10.....	4
1.4.2 Aufbau des GAL22V10.....	5
1.5 Schaltungsentwurf, Simulation und Hardwaretest mit GAL22V10 .....	6
1.6 Zusammenfassung.....	7
<b>2 Beispiel: Kombinatorische Logikschaltung (Schaltnetz) <i>und_oder</i></b>	<b>8</b>
2.1 Aufgabenstellung: Schaltnetz <i>und_oder</i> .....	8
2.2 Schaltnetz <i>und_oder</i> realisiert mit Schaltern.....	9
2.3 Tabelle als Beschreibung des Schaltnetzes <i>und_oder</i> .....	10
2.4 Wahrheitstabelle für die Formulierung von Aussagen .....	10
2.5 Realisierung des Schaltnetzes <i>und_oder</i> mit logischen Verknüpfungen .....	12
2.6 Schaltungsfunktionen mit Aussagen über Spannungen.....	14
2.7 Zuordnung von Spannungswerten zu logischen Werten in positiver Logik.....	15
2.8 Ausführliche Erklärung der TTL-Pegel.....	16
2.9 Entwurf des Schaltnetzes <i>und_oder</i> mit LOGIC2 .....	17
2.10 Nachweis der Sollfunktion der Schaltung <i>und_oder</i> (Verifikation) .....	19
2.11 Schaltungsumsetzung auf die Zielhardware, Hardwaretest.....	21

---

2.12	Zusammenfassung.....	22
<b>3</b>	<b>Logische Grundschaltungen: UND, ODER, NICHT und XOR</b>	<b>24</b>
3.1	Schaltzeichen und Funktionen.....	25
3.2	UND-Gatter ( <i>AND gate</i> ) .....	26
3.3	ODER-Gatter ( <i>OR gate</i> ).....	27
3.4	Inverter oder Negationsglied ( <i>NOT</i> ).....	28
3.5	Schaltbild der Schaltung <i>u_o_n1</i> im GAL22V10.....	29
3.6	XOR-Gatter (Antivalenz-Gatter).....	30
3.7	Zusammenfassung.....	32
3.8	Übungsaufgaben.....	32
3.8.1	XOR mit drei Eingängen.....	32
3.8.2	Boolesche Gleichung der Schaltung <i>sn1</i> .....	33
<b>4</b>	<b>Von der Schaltung zur Booleschen Gleichung: Boolesche Algebra</b>	<b>34</b>
4.1	Funktion des Schaltnetzes <i>und_oder</i> in Boolescher Algebra .....	34
4.2	Boolesche Gleichung zur Schaltungssynthese der Schaltung <i>und_oder</i> .....	35
4.3	Von der Schaltung zur Booleschen Gleichung: <i>n_u_o.dcb</i> .....	36
4.4	Zusammenfassung.....	39
4.5	Übungsaufgaben.....	39
4.5.1	Boolesche Gleichung der Schaltung <i>n_u_o</i> .....	39
4.5.2	Vereinfachung von Schaltnetzen: Schaltung <i>gat_opt</i> .....	39
<b>5</b>	<b>Praxisbeispiel: Schaltnetz <i>decod26</i> (Decoder)</b>	<b>40</b>
5.1	Einführung in die Themen: Coder, Decoder .....	40
5.2	Aufgabenstellung: Schaltnetz <i>decod26</i> .....	42
5.3	Logikbeschreibung und Synthese der Schaltung <i>decod26</i> mit Wertetabelle .....	43
5.4	Nachweis der Istfunktion der Schaltung <i>decod26</i> .....	44
5.5	Anschluss an Siebensegmentanzeige und Hinführung zum Dualsystem .....	45
5.6	Zusammenfassung.....	46
5.7	Übungsaufgaben: Schaltnetz .....	47
5.7.1	Schaltungsentwurf: Coder <i>code_7.dcf</i> .....	47
5.7.2	Schaltungsentwurf: Decoder <i>deco_7</i> .....	47
<b>6</b>	<b>Zahlensysteme</b>	<b>48</b>
6.1	Aufbau von Zahlensystemen .....	48

---

6.2	Dualdarstellung für natürliche Zahlen .....	50
6.2.1	Rechnen mit Dualzahlen als natürlichen Zahlen .....	53
6.2.2	Zahlbereichsüberschreitung für natürliche Zahlen fester Wortbreite .....	54
6.3	Zweierkomplement zur Darstellung von negativen ganzen Zahlen .....	55
6.3.1	Zuordnung ganzer Zahlen zu Dualzahlen in Zweierkomplementdarstellung .....	56
6.3.2	Umwandlung einer negativen ganzen Zahl in eine Dualzahl im Zweierkomplement	58
6.3.3	Erweiterung der Stellenzahl einer negativen Dualzahl .....	59
6.3.4	Zahlbereichsüberschreitungen bei Verwendung von Zweierkomplementzahlen fester Wortbreite .....	60
6.3.5	Vergleich der Dualzahlen im Zweierkomplement mit Dezimalzahlen im Zehnerkomplement .....	62
6.4	Vergleich der Addition im Dualsystem von Zahlen mit und ohne Vorzeichen .....	63
6.5	Hexadezimaldarstellung als Kurzschreibweise für Dualzahlen .....	64
6.6	Hexadezimalzahlen zur übersichtlichen Darstellung von Simulationsergebnissen ..	67
6.7	Zusammenfassung .....	67
6.8	Übungsaufgaben .....	68
6.8.1	Zahlenumwandlung: natürliche Dualzahlen .....	68
6.8.2	Zahlenumwandlung: Dualzahlen im Zweierkomplement .....	68
6.8.3	Zahlenumwandlung: Hexadezimalzahlen .....	68
6.8.4	Addition von Dualzahlen .....	69
7	<b>Praxisbeispiel: Schaltnetz eines Addierers (add_4bit)</b>	70
7.1	Aufgabenstellung: Schaltnetz <i>add_4bit</i> .....	70
7.2	Modul: Volladdierer mit Wortbreite 1 bit <i>add_1bit</i> .....	70
7.3	Entwurf des 4 bit Addierers <i>add_4bit</i> .....	73
7.4	Prüfprogrammerstellung .....	75
7.4.1	Auswirkungen der Schaltungsstruktur auf das Prüfprogramm .....	75
7.4.2	Überlegungen zum Prüfmuster .....	75
7.4.3	Hardwaretest .....	78
7.5	Zusammenfassung .....	78
8	<b>Vom Schaltnetz zum Schaltwerk</b>	79
8.1	<i>leds</i> : Beispiel für ein Schaltwerk .....	79
8.2	RS-Latch mit NOR-Gattern als Speicherelement .....	80
8.3	Diskussion des Zeitdiagramms des NOR-Latches .....	82
8.4	Zustandsfolgetabelle zur Beschreibung des RS-Latches .....	87
8.5	Taktflankengesteuertes D-Flipflop (D-flip-flop) .....	89
8.6	D-FF: Zustandsdiagramm .....	90

---

8.7	Anschlüsse des in LOGIC2 verwendeten D-Flipflops .....	92
<b>9</b>	<b>Medwedew-Automat: Schaltwerksbeispiel <i>leds</i></b>	<b>94</b>
9.1	Medwedew-Automat .....	94
9.2	<i>leds</i> : Schaltungsentwurf mit Zustandsdiagramm.....	95
9.3	Hardwareentwurf und Erklärungen der Funktion von <i>leds</i> .....	95
9.4	Nachweis der Sollfunktion von <i>leds</i> .....	99
9.5	Zusammenfassung.....	99
9.6	Übungsaufgabe: Schaltwerk <i>led0231</i> .....	100
<b>10</b>	<b>Medwedew-Automat: Schaltwerksbeispiel <i>leucht</i></b>	<b>101</b>
10.1	<i>leucht</i> : Erweiterung der Schaltung <i>leds</i> .....	101
10.2	Hardwareentwurf.....	102
10.3	Nachweis der Sollfunktion von <i>leucht</i> .....	103
10.4	Zusammenfassung.....	105
10.5	Übungsaufgabe: Schaltwerk <i>schrift</i> .....	105
<b>11</b>	<b>Medwedew-Automat: Schaltwerksbeispiel <i>leuchtr</i></b>	<b>106</b>
11.1	<i>leuchtr</i> als Medwedew-Automat .....	106
11.2	Hardwareschaltung <i>leuchtr</i> .....	107
11.3	Nachweis der Sollfunktion von <i>leuchtr</i> .....	108
11.4	Zusammenfassung.....	110
11.5	Übungsaufgabe: Schaltwerk <i>schr<sub>ittr</sub></i> .....	110
<b>12</b>	<b>Moore-Automat: Schaltwerk <i>leuchtr</i></b>	<b>111</b>
12.1	Moore-Automat .....	111
12.2	<i>leuchtr</i> als Moore-Automat .....	112
12.3	Hardwareentwurf.....	113
12.4	Nachweis der Sollfunktion von <i>leuchtr</i> als Moore-Automaten .....	114
12.5	Zusammenfassung.....	115
12.6	Übungsaufgabe: Schaltwerk <i>schr<sub>mo</sub></i> .....	116
<b>13</b>	<b>Mealy-Automat: Schaltwerk <i>leuchtr</i></b>	<b>117</b>
13.1	Mealy-Automat .....	117
13.2	<i>leuchtr</i> als Mealy-Automat.....	118

13.3	Hardwareentwurf.....	119
13.4	Nachweis der Sollfunktion des Mealy-Automaten.....	120
13.5	Zusammenfassung.....	121
13.6	Übungsaufgabe: Schaltwerk <i>schr_me</i> .....	121
<b>14</b>	<b>Vergleich zwischen Mealy-, Moore- und Medwedew-Automaten</b>	<b>122</b>
<b>15</b>	<b>Förderbandsteuerung <i>foerder</i></b>	<b>124</b>
15.1	Aufgabenstellung: Förderbandsteuerung.....	124
15.2	Blockschaltbild der Förderbandsteuerung .....	125
15.3	Nachweis der Sollfunktion .....	130
15.4	Zusammenfassung.....	133
<b>16</b>	<b>Drehrichtungsanzeige <i>dreh</i></b>	<b>134</b>
16.1	Aufgabenstellung: Drehrichtungsanzeige.....	134
16.2	Signalverlauf der Werteänderungen beim Drehen .....	136
16.3	Zustandsdiagramm <i>dreh</i> .....	137
16.3.1	Grundzustand .....	138
16.3.2	Rechtsdrehung.....	139
16.3.3	Linksdrehung.....	140
16.3.4	Zusammenfügen der beiden Teildiagramme für Rechts- und Linksdrehung .....	141
16.3.5	Restliche Anfangszustände.....	142
16.3.6	Drehrichtungsänderung .....	142
16.3.7	Vollständiges Zustandsdiagramm <i>dreh</i> .....	143
16.3.8	Logikschaltung von <i>dreh</i> .....	146
16.3.9	Nachweis der Sollfunktion der Schaltung .....	146
<b>17</b>	<b>Entwicklung umfangreicher Schaltungen</b>	<b>152</b>
<b>18</b>	<b>Hinweise zum Arbeiten mit LOGIC2</b>	<b>155</b>
18.1	Nutzung von LOGIC2 als ergänzendes Arbeitsmittel .....	155
18.2	Arbeiten mit LOGIC2 .....	156
<b>19</b>	<b>Hinweise zur Experimentierschaltung GALEX</b>	<b>157</b>
<b>20</b>	<b>Lösungsvorschläge zu den Übungsaufgaben</b>	<b>158</b>
20.1	Lösungen Kapitel 3: Logiktabelle und Boolesche Gleichungen .....	158
20.1.1	Logiktabelle XOR mit drei Eingängen.....	158
20.1.2	Boolesche Gleichung der Schaltung <i>sn1</i> .....	158
20.2	Lösungen Kapitel 4: Boolesche Gleichungen .....	159

---

20.2.1	Boolesche Gleichung der Schaltung <i>n_u_o</i> .....	159
20.2.2	Vereinfachung von Schaltnetzen.....	159
20.3	Lösungen Kapitel 5: Schaltnetze.....	159
20.3.1	Coder <i>code_7</i> .....	159
20.3.2	Decoder <i>deco_7</i> .....	159
20.4	Lösungen Kapitel 6: Dualzahlen .....	160
20.4.1	Zahlenumwandlung: natürliche Dualzahlen .....	160
20.4.2	Zahlenumwandlung: Dualzahlen im Zweierkomplement.....	160
20.4.3	Zahlenumwandlung: Hexadezimalzahlen.....	161
20.5	Lösung Kapitel 9: Schaltwerk <i>led0231</i> .....	161
20.6	Lösung Kapitel 10: Schaltwerk <i>schrift</i> .....	161
20.7	Lösung Kapitel 11: Schaltwerk <i>schrifttr</i> .....	162
20.8	Lösung Kapitel 12: Schaltwerk <i>schr_mo</i> .....	164
20.9	Lösung Kapitel 13: Schaltwerk <i>schr_meia</i> .....	165
<b>21</b>	<b>Verzeichnisse</b>	<b>167</b>
21.1	Literaturverzeichnis.....	167
21.2	Stichwortverzeichnis .....	167