



Karl Heinz Fasol

# Binäre Steuerungstechnik

Eine Einführung

Mit 207 Abbildungen

Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York  
London Paris Tokyo 1988

Professor Dr. techn. Karl Heinz Fasol  
Ruhr-Universität Bochum  
Institut für Automatisierungstechnik  
Lehrstuhl für Regelungssysteme und Steuerungstechnik  
Universitätsstraße 150  
4630 Bochum 1

ISBN-13:978-3-540-50026-1      e-ISBN-13:978-3-642-83547-6  
DOI: 10.1007/978-3-642-83547-6

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek  
Fasol, Karl Heinz: Binäre Steuerungstechnik : e. Einf. / Karl Heinz Fasol.  
Berlin ; Heidelberg ; New York ; London ; Paris ; Tokyo : Springer, 1988  
ISBN-13:978-3-540-50026-1 (Berlin...)

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk-sendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der Fassung vom 24. Juni 1985 zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 1988

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuziehen.

2160/3020-543210

## Vorwort

Hochintegrierte elektronische Bauelemente und das immer stärker zunehmende Angebot an komfortablen und benutzerfreundlichen speicherprogrammierbaren Steuerungen ermöglichen größte Flexibilität bei der Automatisierung von Prozessen in allen industriellen Bereichen. Speicherprogrammierbare Automatisierungsgeräte haben daher heute in der Automatisierungstechnik eine zentrale Bedeutung. Immer mehr Ingenieure müssen sich deshalb mit der Steuerungstechnik auseinandersetzen, was ihnen jedoch nicht immer leicht gemacht wird. Die von den Herstellern verfaßten Handbücher zu deren Automatisierungsgeräten geben nämlich kaum Auskunft darüber, wie die zu implementierenden Steuerungsprogramme von der Aufgabenstellung ausgehend entstehen. Die Fachliteratur hingegen stellt entweder viel zu hohe oder auch zu geringe Anforderungen und an den Hochschulen werden Vorlesungen über die Grundlagen der Steuerungstechnik verhältnismäßig selten angeboten; warum eigentlich?

Digitaltechnik bzw. digitale Steuerungstechnik kann ohne Beherrschen der binären Steuerungstechnik nicht verstanden werden; deren Grundlage ist die Schaltalgebra, die höchstens erst seit 50 Jahren einen eigenen Wissenszweig darstellt. Dieser spaltete sich sehr rasch in einen theoretischen und in einen ingenieurmäßigen Zweig auf. Der erstere ist die Automatentheorie als Betätigungsfeld vorwiegend der Mathematiker und Informatiker und stellt sich dem Ingenieur ziemlich abstrakt dar; im obigen Sinne also zu hohe Anforderungen an den Praktiker. Die zahlreichen Werke, die dem industriell tätigen Ingenieur den für ihn relevanten Zweig der Schaltalgebra vermitteln, stellen meiner Ansicht nach oft wiederum zu geringe Anforderungen. Ich meine nämlich, daß für den Anwender speicherprogrammierbarer Steuerungen eine solide Kenntnis auch der "klassischen" Grundlagen und Methoden der binären Steuerungstechnik nach wie vor unverzichtbar ist. Die sprichwörtliche Lücke zwischen zu hohem und manchmal vielleicht etwas zu niedrigem Niveau soll daher mit diesem Buch zumindest etwas verkleinert werden. Es ist demnach dessen Anliegen, eine auch theoretisch

gut fundierte Einführung in die binäre Steuerungstechnik zu bieten; so lautet ja auch der Titel.

An der Fakultät für Maschinenbau der Ruhr-Universität Bochum wird nun schon seit etwa 13 Jahren eine Vertiefungsrichtung "Maschinenbau-Automatisierungstechnik" angeboten, die besonders in den letzten Jahren von den Studierenden zunehmend frequentiert wird. Eine der obligaten Grundlagenvorlesungen dieser Ausbildungsrichtung ist seit deren Bestehen die Vorlesung "Steuerungstechnik" und darauf beruht dieses Buch. Es stellt eine gründlich überarbeitete und z.T. erweiterte Fassung des aktuellen Vorlesungsinhaltes dar und kann deshalb meinen Studenten als Hilfe dienen. Natürlich sind auch alle Studierenden anderer Hochschulen im Leserkreis willkommen und vor allem die schon mehrfach angesprochenen praktisch tätigen Ingenieure sind zur Lektüre eingeladen. Ich hoffe, daß mir eine verständliche Darstellung gelungen ist; für Kritik bin ich dankbar.

Bei der Herstellung des Manuskriptes erfuhr ich unverzichtbare Hilfe: Frau Edith Striebeck machte die umfangreiche und zeitraubende Schreibearbeit und Frau Gisela Fischer fertigte mit vorbildlicher Präzision die rund 200 Zeichnungen an. Ohne ihre Hilfe wäre das Buch nicht zustande gekommen und deshalb gilt meinen treuen Mitarbeiterinnen mein herzlichster Dank. Beide Damen halfen mir auch bei der Korrektur und wir haben hoffentlich nicht zu viele Schreibfehler übersehen. Mein besonderer Dank gilt auch dem Hause Springer für die angenehme und problemlose Zusammenarbeit sowie für konstruktive redaktionelle Kritik, ohne die eine gefällige Gestaltung des Manuskriptes nicht möglich gewesen wäre.

Bochum, im Mai 1988

K.H.Fasol

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
<b>A</b>	<b><u>Kombinatorische Schaltungen</u></b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Grundzüge der Schaltalgebra</b>	<b>7</b>
2.1	Einige Grundbegriffe aus Aussagenlogik und Mengenlehre	8
2.1.1	Aussagenlogik	8
2.1.1.1	Rechengesetze	11
2.1.2	Mengenlehre	12
2.1.2.1	Rechengesetze	13
2.2	Boolesche Algebra und Schaltalgebra	14
2.2.1	Axiome und Elementarverknüpfungen	14
2.2.2	Theoreme und Rechenregeln	18
2.2.3	Eingangsbelegung, Minterm und Maxterm	21
2.2.4	Der Fundamentalsatz kombinatorischer Schaltungen	23
2.2.5	Die Grundfunktionen von zwei Variablen	29
<b>3</b>	<b>Darstellung von Schaltfunktionen</b>	<b>33</b>
3.1	Das Karnaugh-Diagramm	33
3.2	Der Kontaktplan	39
<b>4</b>	<b>Minimieren von Schaltfunktionen</b>	<b>42</b>
4.1	Implikanten, Primimplikanten und Minimalformen	43
4.2	Minimieren im Karnaugh-Diagramm	46
4.3	Minimieren mit dem QMC-Verfahren	51
<b>5</b>	<b>Aufbau von Schaltungen aus NAND- und NOR-Elementen</b>	<b>54</b>
5.1	Elementarfunktionen aus NAND	54
5.2	Elementarfunktionen aus NOR	56
5.3	Schaltungsaufbau mit NAND- und NOR-Elementen	57
<b>6</b>	<b>Vermeiden von Fehlschaltungen (Hazards)</b>	<b>62</b>

<b>B</b>	<b><u>Sequentielle Steuerungen</u></b>	68
<b>7</b>	<b>Speicher und Flipflops</b>	68
7.1	Einführung	68
7.2	Berechnung und Darstellung von Speicherfunktionen	72
7.2.1	Speichergleichung und Speicherdarstellung im K-Diagramm	72
7.2.2	Speicher als Selbsthaltekreise	75
7.2.3	Elementarspeicher mit zwei Eingängen	78
7.2.4	Realisierung beliebiger Speicherfunktionen mittels vorgegebener Elementarspeicher	79
7.3	Flipflops	83
7.3.1	Das RS-Flipflop	83
7.3.2	Das JK-Flipflop	88
7.3.3	D-Flipflop, T-Flipflop	91
7.4	Schaltungen mit Flipflops	92
7.4.1	Realisierung beliebiger Speicherfunktionen mittels RS-Flipflops	92
7.4.2	Zählschaltungen, Frequenzteiler, Schieberegister	94
<b>8</b>	<b>Zwangsfolgesteuerungen</b>	101
8.1	Verbindungsprogrammierte Zwangsfolgesteuerungen	101
8.1.1	Allgemeines; Programmbeschreibung durch das vereinfachte Funktionsdiagramm	101
8.1.2	Schrittregister mit (1 aus n)-Code	105
8.1.3	Schrittregister mit summierendem Code	110
8.1.4	Schrittregister mit Johnson-Code	113
8.1.5	Schrittregister mit (2 aus n)-Code	117
8.2	Programmbeschreibungen bei Zwangsfolgesteuerungen für Fertigungsanlagen und Prozesse	119
8.2.1	Beschreibung durch Funktionsdiagramm (FUD)	120
8.2.2	Beschreibung durch Funktionsplan (FUP)	124
8.2.3	Beschreibung durch Kontaktplan (KOP)	130
8.3	Betriebsarten, Bedienungseinrichtungen	135
8.3.1	Betriebsarten	135
8.3.2	Bedienungseinrichtungen	137
<b>9</b>	<b>Das Entwurfsverfahren von Huffman</b>	141
9.1	Entwurf von asynchronen verbindungsprogrammierten Freifolgesteuerungen	141

- 9.1.1 Beschreibung einer asynchronen sequentiellen Steuerung . . . . . 144
- 9.1.2 Schaltungsanalyse . . . . . 149
  - 9.1.2.1 Zustandstabelle, stabile und instabile Zustände . . . . . 149
  - 9.1.2.2 Flußtabelle, Oszillationen und Wettläufe . . . . . 151
  - 9.1.2.3 Ausgabetabelle (Ausgangstabelle), statische Hazards . . . . . 157
- 9.1.3 Schaltungsentwurf nach Huffman . . . . . 159
  - 9.1.3.1 Aufstellen der primitiven Flußtabelle . . . . . 160
  - 9.1.3.2 Verschmelzen (Vereinfachen) der Flußtabelle . . . . . 165
  - 9.1.3.3 Kodieren der Flußtabelle (Zustandszuweisung) . . . . . 166
  - 9.1.3.4 Zustandstabelle, Speichergleichungen . . . . . 168
  - 9.1.3.5 Ausgabetabelle . . . . . 170
  - 9.1.3.6 Zustandszuweisung unter Verwendung von Hilfszuständen . . 174
- 9.2 Vereinfachtes Verfahren zum Entwurf von speicherprogrammierten Freifolgsteuerungen . . . 179
- 9.3 Entwurf von Zwangsfolgsteuerungen . . . . . 189
- 10 Speicherprogrammierbare Steuerungen . . . . . 195**
  - 10.1 Allgemeines . . . . . 195
  - 10.2 Aufbau, Komponenten, Arbeitsweise . . . . . 198
    - 10.2.1 Zentraleinheit . . . . . 199
    - 10.2.2 Speicher, Zeitglieder, Zähler . . . . . 202
      - 10.2.2.1 Programmspeicher . . . . . 202
      - 10.2.2.2 Merker, Akkumulator . . . . . 204
      - 10.2.2.3 Zeitglieder . . . . . 204
      - 10.2.2.4 Zähler . . . . . 205
    - 10.2.3 Eingabe- und Ausgabebaugruppen, Kommunikation . . . . . 205
    - 10.2.4 Programmiergeräte . . . . . 206
  - 10.3 Programmierung . . . . . 208
    - 10.3.1 Mnemotechnische Programmdarstellungen (Anweisungsliste) . . . . . 210



10.3.1.1	Die Sprache STEP 5 von SIEMENS . . . . .	211
10.3.1.2	Die Sprache des PROCONTIC Systems von BBC . . . . .	214
10.3.1.3	Die Mnemonic-List Sprache von FESTO . . . . .	215
10.3.1.4	Die Sprache von Heinemann . .	218
10.3.2	Graphische Programmdarstellungen . . .	220
10.3.2.1	Kontaktplan (KOP) . . . . .	220
10.3.2.2	Logikplan (LOP) . . . . .	221
10.3.2.3	Funktionsplan (FUP) . . . . .	222
10.3.2.4	Programmierung nach GRAPH 5 von SIEMENS . . . . .	223
10.3.3	Einfache Beispiele zur Programmierung .	225
10.3.3.1	Einfache kombinatorische Schaltung . . . . .	226
10.3.3.2	Zwangsfolgesteuerung (Schrittregistersteuerung) . .	227
10.3.3.3	Freifolgesteuerung . . . . .	229
Anhang 1:	Übungsaufgaben zu Kapitel 2 bis 5 . . . . .	233
Anhang 2:	Übungsaufgaben zu Kapitel 9 . . . . .	244
Anhang 3:	Programmierbeispiele zu Kapitel 10 . . . . .	256
Literaturverzeichnis	. . . . .	282
Sachverzeichnis	. . . . .	288
Namenverzeichnis	. . . . .	294