Teubner Studienskripten (TSS)

Mit der preiswerten Reihe **Teubner Studienskripten** werden dem Studenten ausgereifte Vorlesungsskripten zur Unterstützung des Studiums zur Verfügung gestellt. Die sorgfältigen Darstellungen, in Vorlesungen erprobt und bewährt, dienen der Einführung in das jeweilige Fachgebiet. Sie fassen das für das Fachstudium notwendige Präsenzwissen zusammen und ermöglichen es dem Studenten, die in den Vorlesungen erworbenen Kenntnisse zu festigen, zu vertiefen und weiterführende Literatur heranzuziehen. Für das fortschreitende Studium können **Teubner Studienskripten** als Repetitorien eingesetzt werden. Die auch zum Selbststudium geeigneten Veröffentlichungen dieser Reihe sollen darüber hinaus den in der Praxis Stehenden über neue Strömungen der einzelnen Fachrichtungen orientieren.

Pneumatische Steuerungstechnik

Von Dipl.-Ing. Rudolf Haug

Professor an der
Fachhochschule für Technik
Esslingen

2., neubearbeitete
und erweiterte Auflage
mit 224 Abbildungen

B. G. Teubner Stuttgart 1991

Prof. Dipl.-Ing. Rudolf Haug

1933 in Stuttgart-Berg geboren. 1951 Mittlere Reife an der Schelztor-Oberschule in Esslingen. 1954 außerordentliches Abitur. 1954 - 1959 Studium des Maschinenbaus an der Technischen Hochschule Stuttgart. 1959 - 1964 bei der Firma Gebr. Boehringer in Göppingen: Entwicklung und Konstruktion von Kopierdrehmaschinen mit pneumatisch gesteuerten Beschickungseinrichtungen. 1964 - 1968 Betriebsleiter der Firma Ritter-Aluminium in Esslingen: Einsatz pneumatischer Steuerungen im Vorrichtungsbau und Spritzlackiereinrichtungen. Seit 1968 Dozent an der Fachhochschule für Technik Esslingen in der Abteilung Feinwerktechnik für die Fachgebiete Fertigung und Steuerung der Werkzeugmaschinen mit dem Schwerpunkt auf pneumatischen Steuerungen. Neben der Lehrtätigkeit ständiger Kontakt mit der Industrie in dem Bereich der Fertigungseinrichtungen und Automation mit Hilfe pneumatischer Steuerungen.

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Haug, Rudolf:

Pneumatische Steuerungstechnik / von Rudolf Haug. - 2.,
neubearb. und erw. Aufl. - Stuttgart : Teubner, 1991
(Teubner-Studienskripten ; 81 : Maschinenbau)

1. Aufl. u.d.T.: Haug, Rudolf: Pneumatik

ISBN 978-3-519-10081-2 ISBN 978-3-322-96746-6 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-96746-6

NE: GT

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt besonders für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© B. G. Teubner Stuttgart 1991

Gesamtherstellung: Druckhaus Beltz, Hemsbach/Bergstraße
Einband: P.P.K., S-Konzepte T. Koch, Ostfildern/Stuttgart

Vorwort zur 2. Auflage

Dieses Skriptum entstand aus Vorlesungen für Steuerungstechnik an der Fachhochschule für Technik Esslingen, Fachrichtung Feinwerktechnik, an der Berufsakademie Stuttgart, Studienrichtung Maschinenbau und Fertigung, an der Medizinisch-Technischen Akademie Esslingen, sowie aus Seminaren für industrielle Steuerungstechnik des Volkswagenwerkes in Wolfsburg, Abteilung Fortbildung.

Die Stoffgebiete sind so aufgebaut, daß zum Verständnis nur die Kenntnisse der Mathematik und Physik des Grundstudiums notwendig sind. Mit Hilfe zahlreicher Beispiele und Übungsaufgaben soll dieses Skriptum dem Studenten des Maschinenbaus und der Feinwerktechnik eine leicht verständliche Einführung in die moderne pneumatische Steuerungstechnik geben. Weiterhin führt es in die Kriterien der Dimensionierung und Ausführung pneumatischer Geräte und Anlagen ein.

Zur Erleichterung des Verständnisses beim Selbststudium enthält das Skriptum zum Anfang eine Zusammenfassung der physikalischen und technischen Grundlagen der Pneumatik (Kapitel 2). Die verwendeten Formelzeichen wurden weitgehend nach DIN 1304 gewählt.

Der Anwendungsschwerpunkt der Pneumatik liegt heute in der Steuerungstechnik. Aus diesem Grunde wird in diesem Skriptum auf die logische Verknüpfung der Funktionsbedingungen mit Hilfe der Booleschen Algebra ausführlich eingegangen. Der logische Signalflußplan wird mit Schaltzeichen nach DIN 40 900 dargestellt. Der Aufbau pneumatischer Steuerungen wird besonders unter dem Gesichtspunkt der gerätetechnischen Problematik der verschiedenen Gerätesysteme behandelt. Die Darstellung pneumatischer Geräte und Steuerungen erfolgt nach DIN-ISO 1219.

Auf die elektrische Ansteuerung der elektropneumatischen Bauelemente wird in dem Kapitel 4 eingegangen. Dabei wird in einführender Form der Aufbau elektromechanischer Schaltpläne nach DIN 40 713 und die Verknüpfung mit dem pneumatischen Steuerungsteil beschrieben (Kapitel 4.1). In Kapitel 4.2 wird die Arbeitsweise der SPS-Steuerung mit Beispielen für den Einsatz mit pneumatischen Bauelementen dargestellt.

Um eine sinnvolle Anwendung der Pneumatik zu ermöglichen, wird im Kapitel 5 der mechanische Aufbau und die für den praktischen Einsatz notwendigen Grundlagen pneumatischer Logikbausteine und Sensoren behandelt.

Das Kapitel 6 beschäftigt sich ausschließlich mit dem Aufbau und den Berechnungsgrundlagen der pneumatischen Aktorik. Dadurch wird es möglich, zusammen mit der in Kapitel 7.4 beschriebenen Druckverlustbestimmung praktische Aufgaben zu realisieren.

Im letzten Kapitel wird noch auf die näherungsweise Bestimmung der Druckverluste eingegangen, die in erster Näherung eine Dimensionierung der Bauteile für praktische Aufgaben ermöglicht.

Dem Verlag B.G. Teubner danke ich für die gute Zusammenarbeit.

Lenningen-Brucken, Mai 1991

Rudolf Haug

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Druckluft in der Vergangenheit	1
1.2	Anwendungsgebiete der Pneumatik	3
1.2.1	Steuerungstechnik	3
1.2.2	Antriebe	4
1.2.2.1	Schlagende Werkzeuge	4
1.2.2.2	Rotierende Antriebe	5
1.2.2.3	Linearantriebe	5
1.2.2.4	Unmittelbar wirkende Druckluftsysteme	5
1.2.3	Vor- und Nachteile der Pneumatik	6
1.2.4	Eigenschaften der Pneumatik	7
2	Grundlagen der Pneumatik	11
2.1	Druckdefinition	11
2.1.1	Übungen	13
2.2	Chemische und physikalische Werte der Luft	16
2.2.1	Chemische Zusammensetzung	16
2.2.2	Physikalische Werte	16
2.2.2.1	Luftzustandsänderung bei konstanter Temperatur	17
2.2.2	Luftzustandsänderung bei konstantem Volumen	17
2.2.2.3	Luftzustandsänderung bei konstantem Druck (Isobare)	18
2.2.2.4	Luftzustandsänderung bei Veränderung aller drei Einflußgrößen	18
2.2.2.5	Luftgewicht und Dichte	19
2.2.2.6	Luftfeuchtigkeit	20
2.2.2.7	Luftmenge (Normvolumen)	22
2.2.4	Übung	24
2.3	Grundlagen der Steuerungstechnik	28
2.3.1	Aufgaben der Steuerungstechnik	28
2.3.2	Digitaltechnik	29

2.3.2.1	Begriffsdefinition	29
2.3.2.2	Elementare Schaltfunktionen	30
2.3.2.3	Rechenregeln der Schaltalgebra	32
2.3.2.4	Rechenbeispiele mit den Grundfunktionen	35
2.3.2.5	Integrierte Schaltzeichen DIN 40 900	39
2.3.2.6	Funktionstabelle	39
2.3.2.7	Zeitglieder	44
2.3.2.8	Speicherglieder	46
2.3.2.9	Dynamische Eingangssignale	48
2.3.2.10	Taktflankensteuerung	51
2.3.3	Darstellung von Ablaufsteuerungen	51
2.3.3.1	Programmablaufplan DIN 66 001	51
2.3.3.2	Zustandsdiagramm nach VDI 3260	58
2.3.3.3	Signalflußplan für Ablaufketten (Taktstufen- steuerung)	61

3 Pneumatische Steuerungen75

3.1 Pneumatische Schaltzeichen75

3.1.1 Pneumatische Schaltzeichen DIN-ISO 121975

3.1.1.1 Ventile mit festen Schaltstellungen75

3.1.1.1.1 Bezeichnung der Anschlüsse nach DIN 559977

3.1.1.1.2 Signalerzeugung für das "positive" Steuersystem80

3.1.1.1.3 "Negatives" pneumatisches Steuersystem82

3.1.1.2 Pneumatische Verknüpfungsglieder DIN-ISO 121984

3.1.1.2.1 Realisierung der ODER-Funktionen84

3.1.1.2.2 Realisierung der UND-Funktionen85

3.1.1.3 Druck- und Stromventile nach DIN-ISO 1219 86

3.1.1.3.1 Druckventile86

3.1.1.3.2 Stromventile (Tafel 24)87

3.1.2 Übungen88

3.2 Nicht genormte Schaltzeichen nach DIN 40 90096

3.3 Schaltpläne nach VDI 322698

3.3.1 Richtlinien zur Schaltplandarstellung98

3.3.2 Anwendungsbeispiel für nicht genormte pneumatische Schaltzeichen103

3.4	Pneumatische Lösungsbeispiele für häufig wiederkehrende Steuerungsaufgaben	104
3.4.1	Kombinatorische Steuerungen	104
3.4.2	Beispiele für Grundsteuerungen	104
3.4.2.1	UND-/ODER-Verknüpfungen	104
3.4.2.2	UND-/NICHT-Verknüpfungen	105
3.4.2	Zeitschaltungen	107
3.4.2.1	Anstiegsflanken - Impulsformer	107
3.4.3.2	Triggerbares monostabiles Schaltelement	109
3.4.3.3	Laufzeitüberwachung (Anstiegsflanken-Impulsformer)	110
3.4.4	Schaltungen mit Speicherelementen	112
3.4.4.1	Monostabiles Kippglied (Ampelschaltung)	112
3.4.4.2	Astabiles Kippglied (mit Startrichtimpuls) ...	113
3.4.3.3	Binärstufenschaltung (T-Kippglied)	117
3.4.3.4	Logischer Aufbau der dualcodierten Zähl-schaltung	119
3.4.4.5	Zweihandsicherheitssteuerung	122
3.5	Steuerungsarten in der Pneumatik	124
3.5.1	Manuelle Steuerungen	124
3.5.2	Zeitabhängige Folgesteuerung	125
3.5.3	Programmschaltwerksteuerung	126
3.5.4	Schrittschaltwerksteuerung	129
3.5.5	Wegabhängige Folgesteuerung	131
3.5.6	Taktstufentechnik (Ablaufkette)	132
3.5.6.1	Aufbau der pneumatischen Taktkette	132
3.5.6.2	Peripheriesteuererteil für die Taktkette	135
3.6	Energieversorgungssteuerung	143
3.6.1	Luftaufbereitung	143
3.6.2	Druckluftfreigabe	144

4	Elektropneumatische Steuerung	146
4.1	Elektropneumatischer Schaltplan	146
4.1.1	Elektromechanik-Schaltplan DIN 40 713	146
4.1.1.1	Schaltzeichen und Kennzeichnung elektrischer Schaltglieder	147
4.1.1.2	Darstellung elektromechanischer Schaltpläne DIN 40 719	151
4.1.1.3	Funkenlöschung	152
4.1.2	Logische Gatter im Stromlaufplan	154
4.1.3	Beispiel	154
4.1.3.1	Funktionsbeschreibung für den Stromlaufplan	158
4.2	Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)	159
4.2.1	Aufbau und Arbeitsweise der SPS	159
4.2.2	Reaktionsverzögerung bei der SPS-Pneumatik	161
4.2.3	Ausführung der SPS-Steuerung	161
4.2.4	Beispiel: SPS - pneumatische Steuerung	162
5	Gerätetechnischer Aufbau pneumatischer Steuerungen	164
5.1	Pneumatische Logikbausteine	164
5.1.1	Kolbengesteuerte Wegeventile (Kolbenschieber)	164
5.1.2	Längs-Flachschieberventil	168
5.1.3	Drehschieberventil	169
5.1.4	Sitzventile	170
5.1.4.1	Sperrventile	170
5.1.4.2	Wege(Sperr)sitzventile	172
5.1.5	Betätigungsarten der Kolben- und Sitzventile	175
5.1.5.1	Mechanische Steuerkolbenbetätigung	175
5.1.5.2	Pneumatische Steuerkolbenbetätigung	177
5.1.5.3	Elektromechanische Steuer- kolbenbetätigung	179
5.1.6	Membranelemente	181
5.1.6.1	Mikromembranelemente	186
5.1.7	Folienelemente	187
5.1.8	Strömungsdynamische Systeme als Wegeventile	189

5.1.8.1	Funktionsprinzip	189
5.1.8.2	Turbulenzverstärker	190
5.1.9	Grenzschichtverstärker (Wandstrahlverstärker)	192
5.1.10	Impulsverstärker	194
5.2	Pneumatische Sensoren (strömungsdynamische Signalgeber)	197
5.2.1	Luftschranke	197
5.2.1.1	Luftschranken mit Vorverstärkung der Empfängerdüse	199
5.2.2	Staudruckgeber (Rückstaufühler)	201
5.2.2.1	Niveauabtastung	203
5.2.2.2	Analogsignalgeber	203
5.2.3	Reflexdüse (Ringdüsenfühler)	204
5.2.4	Ultraschallschranken	206
5.3	Druckmeßgeräte - Signalwandler	207
5.3.1	Aussage der Druckmessung	207
5.3.2	Mechanische Druckmeßgeräte (Manometer)	208
5.3.2.1	Rohrfederdruckanzeigegerät	209
5.3.2.2	Schraubenfederdruckmeßgerät	210
5.3.2.3	Kapselfederdruckmeßgerät	210
5.3.2.4	Wellenrohrfederdruckmeßgerät	211
5.3.3	Flüssigkeits-Druckmeßgeräte	211
5.3.4	Optische Signalgeber (Sichtanzeiger)	212
5.3.5	Signalwandler (pneumatisch - elektrisch - pneumatisch)	213
5.3.5.1	Mechanische PE-Wandler	213
5.3.5.2	Elektromagnetische Wandler	216
5.3.5.2.1	Binäre EP-Wandler	216
5.3.5.2.2	Analoge EP-Wandler (Proportional- Servo-Systeme)	218
5.3.5.2	Piezoelektrische Wandler	223
5.3.5.3	Piezoresistive PE-Wandler	224
5.4	Druckventile	226
5.4.1	Druckbegrenzungsventile	226
5.4.2	Druckregelventil (Druckminderventil)	227
5.4.3	Druckgefälleventil (Differenzdruckventil)	228

5.5	Stromventile (Drosselventile)	229
5.5.1	Eigenschaften	229
5.5.2	Berechnungsgrundlagen pneumatischer Widerstände	230
5.5.3	Ausführungsbeispiele	234
5.5.3.1	Festwiderstand	234
5.5.3.2	Verstellbare Widerstände	236
6	Arbeitselemente Aktorik	238
6.1	Zylinder	238
6.1.1	Kolbenzylinder	238
6.1.1.1	Doppeltwirkende Zylinder	239
6.1.1.1.1	Zylinderkraft	240
6.1.1.1.2	Kolbengeschwindigkeit	243
6.1.1.1.3	Bewegungscharakteristik des Zylinders bei der Abluftdrosselung	246
6.1.1.1.4	Zahlenbeispiel zur Bestimmung des unbeeinflussbaren Kolbenweges (ablufgedrosselt)	251
6.1.1.1.5	Bewegungsverhalten bei der Zuluftdrosselung	256
6.1.1.1.6	Bewegungsverhalten bei der Endlagendämpfung	257
6.1.1.1.7	Luftverbrauch	257
6.1.2	Einfach wirkender Zylinder	261
6.1.3	Kolbenstangenlose Zylinder	262
6.1.4	Sonderbauarten von Kolbenzylindern	262
6.1.5	Vorschubeinheit mit Ölschleppzylinder	265
6.2	Membranzylinder	266
6.3	Druckluftmotoren (rotierend)	266
6.3.1	Anwendungsbereich	266
6.3.2	Bauarten	267
6.3.2.1	Hubkolbenmotoren	267
6.3.2.2	Drehkolbenmotoren	270
6.4	Düsengeräte	274
6.4.1	Spritzgeräte	274
6.4.2	Sandstrahlgeräte	275
6.4.3	Ausblasdüsen	277
6.5	Schwebetisch	278
6.6	Pneumatikfinger (Greifelemente)	278

7	Installation und Zubehör für Steuerungen	280
7.1	Wartungselemente	280
7.1.1	Druckluftfilter und Wasserabscheider	280
7.1.2	Öler	281
7.1.3	Wartungseinheit	283
7.2	Druckluftleitungen und Verbindungen	285
7.2.1	Leistungsverbindungen	285
7.2.2	Integrierte Verbindungstechnik	287
7.3	Druckverlust im Pneumatiksystem	290
	Tafelverzeichnis	294
	Bilderverzeichnis	296
	Literaturverzeichnis	302
	Index	303