

DIPLOMA

Private staatlich anerkannte Hochschule
University of Applied Sciences

diploma.de

Kirbach / Lambert

Grundlagen der Steuerungstechnik

Studienheft Nr. 361

4. korrigierte Auflage 02/2021

Verfasser

Prof. Dr.-Ing. habil. Volkmar Kirbach

Professor für Automatisierungstechnik / Prozessleittechnik im Fachbereich
Ingenieurwesen / Wirtschaftsingenieurwesen an der Technischen Fachhochschule Wildau

Überarbeitung

Prof. Dr.-Ing. Lutz Lambert

Professor an der Fachhochschule Würzburg-Schweinfurt im Fach Regelungstechnik
(von 1985 bis 2007)

Leseprobe

© by DIPLOMA Private Hochschulgesellschaft mbH

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung und des Nachdrucks, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

DIPLOMA Hochschule

University of Applied Sciences
Am Hegeberg 2
37242 Bad Sooden-Allendorf
Tel. +49 (0) 56 52 58 77 70, Fax +49 (0) 56 52 58 77 729

Hinweise zur Arbeit mit diesem Studienheft

Der **Inhalt** dieses Studienheftes unterscheidet sich von einem Lehrbuch, da er **speziell für das Selbststudium aufgearbeitet** ist.

In der Regel beginnt die Bearbeitung mit einer Information über den Inhalt des Lehrstoffes. Diese Auskunft gibt Ihnen das **Inhaltsverzeichnis**.

Beim Erschließen neuer Inhalte finden Sie meist Begriffe, die Ihnen bisher unbekannt sind. Die **wichtigsten Fachbegriffe** werden Ihnen übersichtlich in einem dem Inhaltsverzeichnis nachgestellten **Glossar** erläutert.

Den einzelnen Kapiteln sind **Lernziele** vorangestellt. Sie dienen als Orientierungshilfe und ermöglichen Ihnen die Überprüfung Ihrer Lernerfolge. Setzen Sie sich **aktiv** mit dem Text auseinander, indem Sie sich Wichtiges mit farbigen Stiften kennzeichnen. Betrachten Sie dieses Studienheft nicht als "schönes Buch", das nicht verändert werden darf. Es ist ein **Arbeitsheft**, **mit** und **in** dem Sie arbeiten sollen.

Zur **besseren Orientierung** haben wir Merksätze bzw. besonders wichtige Aussagen durch Fettdruck und/oder Einzug hervorgehoben.

Lassen Sie sich nicht beunruhigen, wenn Sie Sachverhalte finden, die zunächst noch unverständlich für Sie sind. Diese Probleme sind bei der ersten Begegnung mit neuem Stoff ganz normal.

Nach jedem größeren Lernabschnitt haben wir Übungsaufgaben eingearbeitet, die mit „SK = **Selbstkontrolle**“ gekennzeichnet sind. Sie sollen der Vertiefung und Festigung der Lerninhalte dienen. Versuchen Sie, die ersten Aufgaben zu lösen und die Fragen zu beantworten. Dabei werden Sie teilweise feststellen, dass das dazu erforderliche Wissen nach dem ersten Durcharbeiten des Lehrstoffes noch nicht vorhanden ist. Gehen Sie diesen Inhalten noch einmal nach, d. h. durchsuchen Sie die Seiten gezielt nach den erforderlichen Informationen.

Bereits während der Bearbeitung einer Frage sollten Sie die eigene Antwort schriftlich festhalten. Erst nach der vollständigen Beantwortung **vergleichen Sie Ihre Lösung mit dem** am Ende des Studienheftes **angegebenen Lösungsangebot**.

Stellen Sie dabei fest, dass Ihre eigene Antwort unvollständig oder falsch ist, müssen Sie sich nochmals um die Aufgabe bemühen. Versuchen Sie, jedes behandelte Thema vollständig zu verstehen. **Es bringt nichts, Wissenslücken durch Umblättern zu übergehen**. In vielen Studienfächern baut der spätere Stoff auf vorhergehendem auf. Kleine Lücken in den Grundlagen verursachen deshalb große Lücken in den Anwendungen.

Zudem enthält jedes Studienheft **Literaturhinweise**. Sie sollten diese Hinweise als ergänzende und vertiefende Literatur bei Bedarf zur Auseinandersetzung mit der jeweiligen Thematik betrachten. Finden Sie auch nach intensivem Durcharbeiten keine zufriedenstellenden Antworten auf Ihre Fragen, **geben Sie nicht auf. Wenden Sie sich** in diesen Fällen schriftlich oder fernmündlich **an uns**. Wir stehen Ihnen mit Ratschlägen und fachlicher Anleitung gern zur Seite.

Wenn Sie **ohne Zeitdruck** studieren, sind Ihre Erfolge größer. Lassen Sie sich also nicht unter Zeitdruck setzen. **Pausen** sind wichtig für Ihren Lernfortschritt. Kein Mensch ist in der Lage, stundenlang ohne Pause konzentriert zu arbeiten. Machen Sie also Pausen: Es kann eine kurze Pause mit einer Tasse Kaffee sein, eventuell aber auch ein Spaziergang an der frischen Luft, sodass Sie wieder etwas Abstand zu den Studienthemen gewinnen können.

Abschließend noch ein formaler Hinweis: Sofern in diesem Studienheft bei Professionsbezeichnungen und/oder Adressierungen aus Gründen der besseren Lesbarkeit ausschließlich die männliche Form Verwendung findet (z. B. „Rezipienten“), sind dennoch alle sozialen Geschlechter, wenn kontextuell nicht anders gekennzeichnet, gemeint.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg bei der Bearbeitung dieses Studienheftes.

Ihre

DIPLOMA
Private Hochschulgesellschaft mbH

Leseprobe

Inhaltsverzeichnis	Seite
Verzeichnis der Formelzeichen	7
Verzeichnis der Abkürzungen	8
Glossar	9
Einführung in das Studium der Automatisierungstechnik	10
Einleitung	12
Literaturempfehlung	14
1 Grundlagen der Prozess- und Fertigungsautomatisierung	15
1.1 Betriebswirtschaftliche Aspekte der Automatisierungstechnik	16
1.2 Begriffe, Darstellungsformen, Automatisierungsfunktionen	18
2 Mess- und Stelltechnik	22
2.1 Informationsdarstellung, Signale	22
2.1.1 Analoge Signale	23
2.1.2 Binäre Signale	24
2.1.3 Digitale Signale	24
2.2 Signalgeber und Sensoren	25
3 Stelleingriffe durch Aktoren	30
3.1 Aktoren/Aktuatoren	30
3.1.1 Pneumatische Stellelemente	30
3.1.2 Hydraulische Stellelemente	33
3.1.3 Elektrische Stellelemente	34
3.2 Antriebselemente	35
3.2.1 Pneumatisch wirkende Antriebselemente	35
3.2.2 Elektrisch wirkende Antriebselemente	35
4 Technische Realisierung von Steuerungen	39
4.1 Mechanische Steuerstrecken	41
4.2 Pneumatische Steuerstrecken	41
4.3 Elektrische Steuerstrecken	42
4.3.1 Drehzahlsteuerung von Gleichstrommotoren	42
4.3.2 Schrittmotorsteuerung	43
5 Digitaltechnik/Binäre Steuerungen	46
5.1 Beschreibung von Steuerungsaufgaben	46
5.2 Grundlagen der Schaltalgebra	48
5.2.1 Rechenregeln für die Grundverknüpfungen	48
5.2.2 Analyse und Synthese von logischen Schaltungen	50
5.2.3 Grundgesetze der Schaltalgebra	52
5.2 Normalformen von Verknüpfungsfunktionen	53
5.3 KV-Diagramme	55
5.3.1 Vollständige und unvollständige Wertetabellen	55
5.3.2 Vereinfachung von Schaltfunktionen mithilfe des KV-Diagramms	56

5.4	Entwurf von Verknüpfungssteuerungen	60
5.4.1	Entwurfsschritte bei der Entwicklung von Kombinationssteuerungen	61
5.4.2	Beispiel für den Entwurf einer Kombinationssteuerung	61
5.4.3	Grafische Darstellung von Steuerungsaufgaben	63
5.5	Sequenzielle Steuerungen	64
5.5.1	Schaltwerke	66
5.5.2	Entwurf von sequenziellen Steuerungen	82
Antworten und Lösungen zu den Übungsaufgaben		94
Literaturverzeichnis		107
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis		109
Anlagen		111

Leseprobe

Verzeichnis der Formelzeichen

ϑ	Temperatur
a, b, c, x	Eingangsgrößen einer Steuerung
f	Abhängigkeit, Funktion
f_x	relativer Fehler eines Messgerätes
H	hoher Signalpegel
k_i	Bezeichner für eine Vollkonjunktion
L	niedriger Signalpegel
M	Drehmoment
Q, Q_k	Ausgangssignal eines Speichergliedes (FlipFlop)
R	Rücksetzeingang eines Speichergliedes (FlipFlop)
S	Setzeingang eines Speichergliedes (FlipFlop)
t	Zeitvariable
u	Spannungssignal
w	Führungsgröße im Regelkreis
y, Z	Ausgangsgrößen einer Steuerung
Y_j	einzelne Päckcheninhalte des KV-Diagramms
y_n	neu berechnetes Stellsignal y (aktueller Arbeitstakt)
y_v	Stellsignal des vorigen (vergangenen) Arbeitstaktes
z	Störgröße eines technischen Systems

Die an dieser Stelle nicht genannten Formelzeichen sind im Text des Studienheftes näher erläutert.

Verzeichnis der Abkürzungen

AWL	Anweisungsliste bei der SPS-Programmierung
C	dynamischer Takteingang des taktflankengesteuerten Flipflops
E_i	Eingangssignal eines Logik-Gatters
FF	Flipflop
G	AND-Abhängigkeit bei FF-Eingängen
IC	Integrierter Schaltkreis (I ntegrated C ircuit)
J	Vorbereitungseingang des JK-FF
K	Vorbereitungseingang des JK-FF
KON	K anonische O DER- N ormalform einer Digitalschaltung
M	Merkerzelle (Speicher) bei der SPS-Programmierung
MSR-Technik	Mess-, Steuer- und Regelungstechnik
n, n+1	Bezeichnung für Arbeitstakte
RS-FF	Rücksetz/Setz-FlipFlop
SFT	Schaltfolgetabelle, Wahrheitstabelle
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
T	Taktsignal, Timereingang
T1	steht für Teil 1 einer DIN
TTL	Transistor-Transistor-Logik
V	OR-Abhängigkeit bei FF-Eingängen
VPS	Verbindungsprogrammierbare Steuerung

Die an dieser Stelle nicht genannten Abkürzungen sind im Text des Studienheftes erklärt.

Steuerungstechnik – Grundlagen der Steuerungstechnik

Glossar

Aktor, Aktuator	Stell- und Antriebselement in der Steuerungstechnik
Asynchrnzähler	die Speicherelemente (FFs) des Zählers werden zu unterschiedlichen Zeitpunkten geschaltet
FlipFlop	Speicherglied mit 2 logischen Eingängen sowie einem normalen und einem invertierten Ausgang
Folgesteuerung	Steuerung nach vorgegebenen Arbeitstakten (sequenzielle Steuerung)
Impulsdiagramm	Zeitablauf-Diagramm eines digitalen Signals
Kippstufe (bistabil)	schaltet von einem stabilen Zustand in einen anderen und wieder zurück
Kombinations-Steuerung	Verknüpfungssteuerung; die Steuersignale y_i hängen nur von der Verknüpfung der einzelnen Logikelemente ab
Master-Slave-FF	zweiflankengesteuertes FF
Regelung	Steuermaßnahme im geschlossenen Wirkungskreis
Schrittmotor	Motor, der sich mit jedem Ansteuerimpuls um einen kleinen Winkelschritt α dreht
Selbthalte-Schaltung	hält einen Zustand so lange aufrecht, bis ein entgegengesetztes Signal eine Zustandsänderung bewirkt
Sensor	Vorrichtung zum Messen des (oft binären) Eingangssignals einer Steuerung
Steuerstrecke	Steuerungsobjekt; Maschine/Aggregat/Prozess, die/das/der gesteuert wird
Steuerung	Steuermaßnahme im offenen Wirkungskreis
Synchronzähler	Speicher-FFs werden zum selben Zeitpunkt geschaltet
Taktflanken-Steuerung	Rücksetzen/Setzen werden durch die steigende bzw. fallende Taktflanke ausgelöst (dynamisches Taktsignal)
Taktsignal	bewirkt bei taktgesteuerten FFs das Setzen und Rücksetzen des Speichers
Taktzustands-Steuerung	statische Takteingänge bewirken zusammen mit dem R- bzw. S-Eingang des FFs das Rücksetzen/Setzen
Wegeventile	Armaturen zur Steuerung von Start und Bewegungsrichtung der Aktoren (in der Pneumatik und Hydraulik)
Zweiflankensteuerung	steigende und fallende Taktflanke werden zur Steuerung benutzt (z. B. RS-Master-Slave-FF)

Die an dieser Stelle nicht genannten Begriffe sind im Text des Studienheftes ausführlich erklärt.

2 Mess- und Stelltechnik

Das Studienziel dieses Kapitels besteht in der Aneignung folgender Lehrinhalte:

- Darstellung von Informationen und Signalen,
- Charakterisierung analoger und digitaler Signale,
- Einteilung von Signalgebern in Sensorklassen,
- Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Sensoren,
- Kriterien für die Sensorauswahl.

2.1 Informationsdarstellung, Signale

Ein wichtiges Merkmal der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik sind die Darstellung und Übertragung von Informationen innerhalb eines Systems.

Die Eingangsgrößen x der Steuerung sind Signale, welche bestimmte Informationen aus dem Prozess geben. Nach der Art der Signaldarstellung kann zwischen **analogen**, **digitalen** und **binären** Steuerungen unterschieden werden.

Ein analoges Signal ist im Idealfall ein stetes Abbild der zu verarbeitenden Größe. Die meisten physikalischen Größen ändern sich stetig und werden deshalb analog dargestellt; sie sind ein Abbild der Steuergröße. Die Verarbeitung analoger Signale kann mit stetig wirkenden Funktionsgliedern (z. B. analogen Sensoren, Ventilen) erfolgen. Häufig werden die analogen Signale aber mittels Analog-Digital-Umsetzern in abzählbare Einheiten zerlegt und binär codiert der digital arbeitenden Steuereinrichtung zugeführt.

Digitale Steuerungen arbeiten vorwiegend mit zahlenmäßig dargestellten Informationen. Der Wertebereich eines solchen Signals ist ein Vielfaches der kleinsten Einheit des Informationsparameters (Weg, Spannung u. a.). Die Signalverarbeitung erfolgt vorwiegend mit Funktionseinheiten wie Zähler, Register, Speicher und Rechenwerk.

Es gibt aber auch Größen, die nur zwei Werte oder Zustände annehmen können. Solche zweiwertigen Signale werden z. B. von einem Schalter (Ein/Aus) oder von einem Relais (Kontakt geschlossen/geöffnet) abgegeben.

Die Steuerung verarbeitet binäre Eingangssignale mit Verknüpfungs-, Speicher- und Zeitgliedern zu binären Ausgangssignalen.

Die Übertragung von Prozessdaten geschieht durch physikalische Größen, die, wenn sie Information tragen, **Signale** genannt werden. Das Signal benötigt einen Parameter, der imstande ist, Informationen aufzunehmen (Informationsparameter).

Beispiel 2.1:

Als Beispiel sei die Messung einer Temperatur mit einem Widerstandsthermometer in Bild 2.1 angeführt:

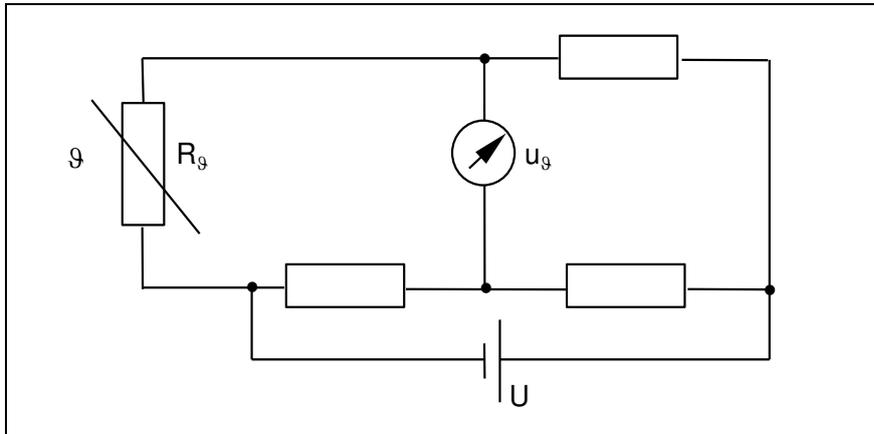


Bild 2.1: Messung einer Temperatur mit einem Widerstandsthermometer (Eigene Darstellung)

Der Messwiderstand R_{ϑ} ändert seinen Wert mit der Temperatur ϑ . Die von R_{ϑ} abhängige Spannung u_{ϑ} ist das Signal für die zu messende Temperatur. Der Wert dieser Spannung, in Volt, ist der Informationsparameter.

2.1.1 Analoge Signale

Man nennt ein Signal analog, wenn dem kontinuierlichen Werteverlauf seines Informationsparameters Punkt für Punkt eine unterschiedliche Information zugeordnet ist.

Bei der Temperaturmessung in Bild 2.2 ist die abgegriffene elektrische Spannung u_{ϑ} ein analoges Signal für die zu messende Temperatur ϑ , weil sie für jeden Temperaturwert Punkt für Punkt einen entsprechenden Spannungswert liefert (Wertekontinuum). Wie eng die Punkte beieinander liegen können, ist davon abhängig, welche Auflösung die Messeinrichtung besitzt.

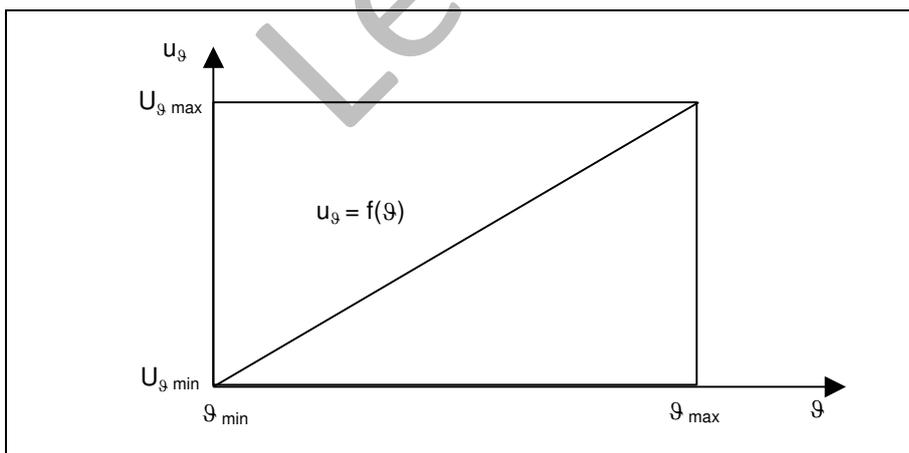


Bild 2.2: Analoges Signal (Eigene Darstellung)

2.1.2 Binäre Signale

Das binäre Signal besitzt zwei Werte des Informationsparameters.

Die beiden Werte werden mit „wahr“ oder „falsch“, „true“ oder „false“ bzw. „1“ oder „0“ bezeichnet.

Beispiel 2.2:

Eine Lichtschranke, Bild 2.3, wie sie zum Zählen bewegter Objekte (z. B. Werkstücke auf einem Förderband) verwendet wird, ist ein Beispiel für die Anwendung eines binären Signals.

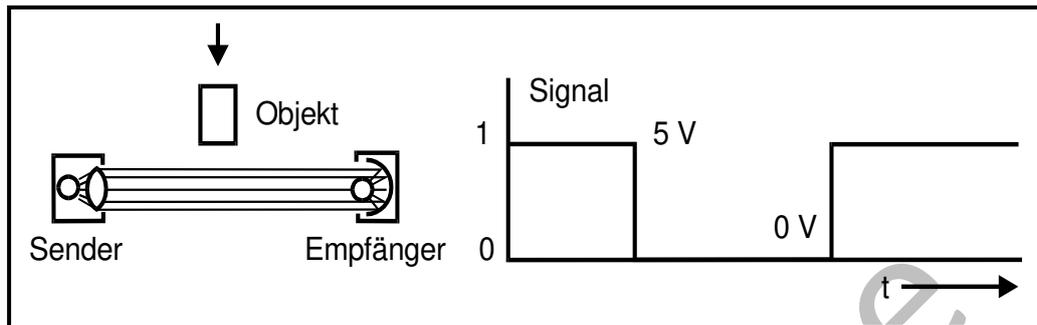


Bild 2.3: Binäres Signal einer Lichtschranke (Eigene Darstellung)

Wird die Lichtschranke durch ein vorüberziehendes Objekt verdunkelt, so gibt sie das Signal „0“ ab, wird das Licht ungestört durchgelassen, so wird das Signal „1“ abgegeben.

Der Informationsparameter ist im Beispiel 2.2 eine elektrische Gleichspannung, die die binären Werte 0 bzw. 1 auf die physikalische Größe 0 V bzw. 5 V (TTL-Pegel) abbildet.

2.1.3 Digitale Signale

Ein digitales Signal ist ein Signal bestehend aus einer endlichen Zahl von binären Informationseinheiten (Bits). Jeder Binärstelle (binary digit) ist dabei eine bestimmte Information zugeordnet.

Beispiel 2.3:

Als Beispiel sei ein absoluter Winkelgeber betrachtet, Bild 2.4.

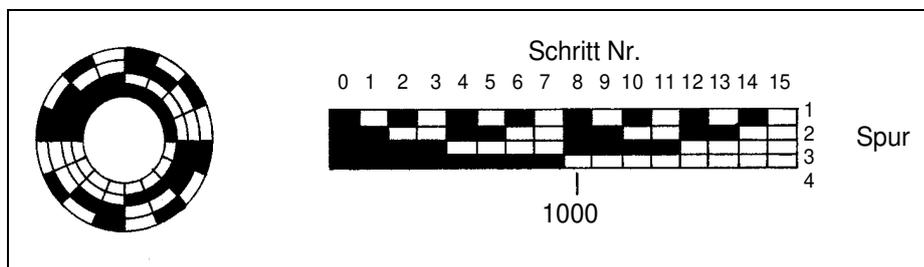


Bild 2.4: Digitales Signal eines absoluten 4-Bit-Winkelgebers (Eigene Darstellung)

Der Winkelgeber möge 4 Spuren besitzen, die mit ihren hell-dunklen Feldern insgesamt $2^4 = 16$ verschiedene Zustände darstellen können. Pro Umdrehung werden auf diese Weise 16 Winkelschritte von je $22,5^\circ$ angezeigt. Zu jedem Winkelschritt gehört ein eindeutiges Muster, das sich aus den vier parallelen Spuren zusammensetzt.

Im Bild sind die Spuren in der Abwicklung dargestellt.

Für den Schritt Nr. 8 gilt:

Spur 1 „dunkel“, Spur 2 „dunkel“, Spur 3 „dunkel“, Spur 4 „hell“.

Wird der Zustand „dunkel“ mit logisch „0“ und der Zustand „hell“ mit logisch „1“ bezeichnet, so ist der Schritt 8 durch das digitale Signal „1000“ gegeben.

Ein aus 4 Bit bestehendes digitales Signal bezeichnet man als Tetrade (Wertebereich 0..15/dezimal bzw. 0..F/hexadezimal).

Um Prozessdaten in höherer Genauigkeit darzustellen (z. B. im Gleitkommaformat), werden in der Praxis Wortlängen von 8 Bit (Byte, Wort), 16 Bit (Doppelwort), 32 Bit usw. gewählt.

Beispiel 2.4:

Beispiel für die Byte-Codierung:

$$\begin{aligned} 1001\ 1101 &\equiv 1x2^7 + 0x2^6 + 0x2^5 + 1x2^4 + 1x2^3 + 1x2^2 + 0x2^1 + 1x2^0 \\ &= 157_{\text{dez}} = 9D_{\text{hex}} \end{aligned}$$

Bei der Hexadezimaldarstellung (z. B. in Hex-Dumps von PC-Speicherausügen) werden die beiden Halbbytes getrennt betrachtet.

2.2 Signalgeber und Sensoren

Zum Steuern, Regeln, Überwachen und Sichern von Maschinen und Anlagen benötigt man Sensoren, die sowohl die Eigenschaften der Maschinen und Anlagen erfassen als auch den Produktionsprozess selbst. Mit Sensoren erfasst man z. B. Kräfte, Momente, Vibrationen, Temperaturen, Drücke, Füllstände, Wege und Winkel. Je nach Art der Ausgangssignale dieser Sensoren unterscheidet man zwischen analogen, binären und digitalen Sensoren (Bild 2.5).

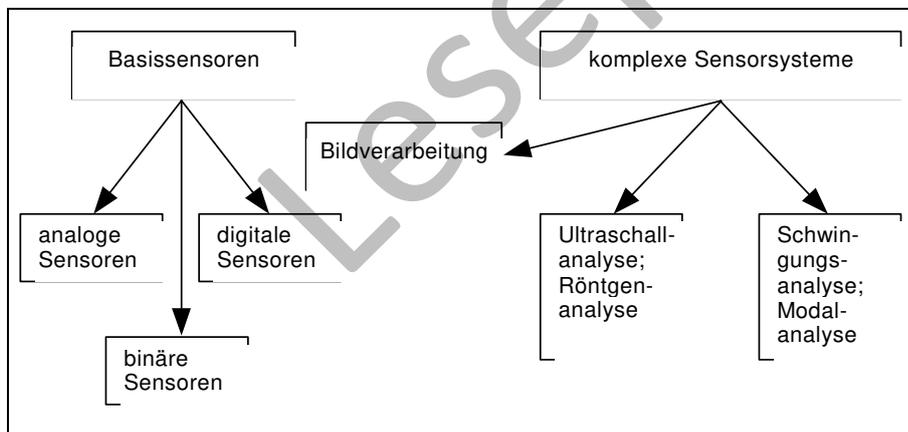


Bild 2.5: Einteilung der Sensoren (Eigene Darstellung)

Sensoren mit elektrischem Ausgang haben den Vorteil, dass ihre Signale leicht weitergeleitet (Datenfernübertragung), angezeigt und mit Computern verarbeitet werden können. Der Aufbau solcher Sensoren gliedert sich in die Teile:

- Umformung in eine elektrisch erfassbare Größe,
- Umformung in eine elektrische Größe,
- Signalbildung mit Verstärkung, Linearisierung und Sendeeinrichtung (Bild 2.6).

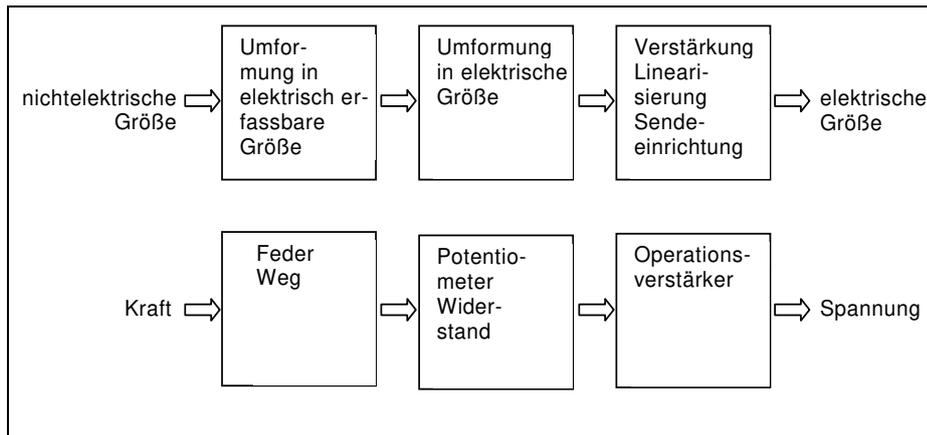


Bild 2.6: Aufbau eines Sensors (Eigene Darstellung)

So wird z. B. zur Erfassung einer Kraft die Auslenkung einer mit dieser Kraft belasteten Feder durch die Widerstandsänderung eines dabei verstellten Potenziometers erfasst.

Entsprechend der Wirkungsweise bei der Umformung nicht elektrischer Größen unterscheidet man **aktive** und **passive** Sensoren.

Die aktiven Sensoren (Bild 2.7) formen mechanische Energie, thermische Energie, Lichtenergie oder chemische Energie direkt in elektrische Energie um. Sie sind daher Spannungserzeuger und beruhen auf einem Umwandlungseffekt, wie z. B. Thermoefekt, Fotoeffekt, Piezoeffekt, oder dem elektrodynamischen Prinzip.

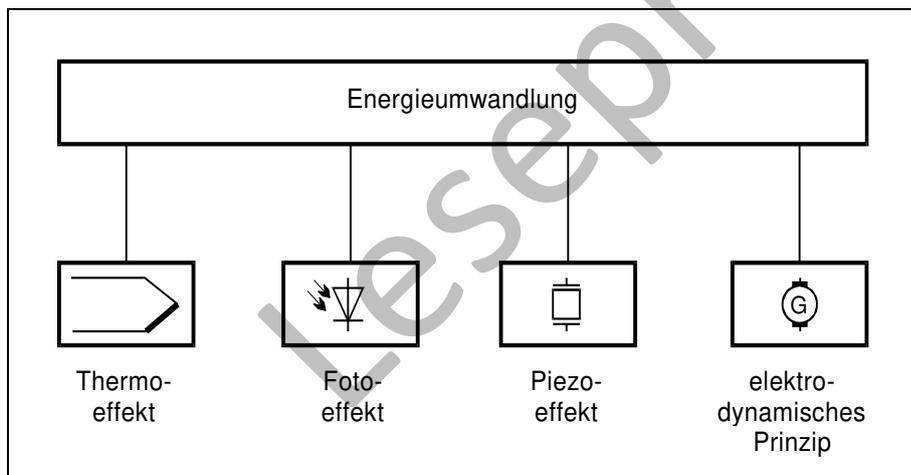


Bild 2.7: Aktive Sensoren (Eigene Darstellung)

Die passiven Sensoren hingegen bewirken eine Änderung elektrischer Eigenschaften, wie z. B. von Widerstand, Kapazität, Induktivität oder induktiver Kopplung (Bild 2.8).

Passive Sensoren benötigen daher zur Signalerzeugung eine Hilfsstromquelle.

In vielen Fällen dienen Sensoren auch als Messwertgeber. Hierzu muss das Sensorsignal kalibriert werden. Aus kalibrierten Sensorsignalen kann man einen Zahlenwert und eine Messeinheit ableiten, z. B. eine Kraft mit Zahlenwert, und Einheit bestimmen und anzeigen.

Mit Sensoren überführt man elektrische und nicht elektrische Größen in Sensorsignale, meist in Form von Spannungen oder bei digitalen Sensoren in Digitalsignale in Form von Zahlen.

Die Sensorsignale entsprechen jedoch nie ganz exakt der zu erfassenden Größe, sondern sind mit Abweichungen (Fehlern) behaftet.

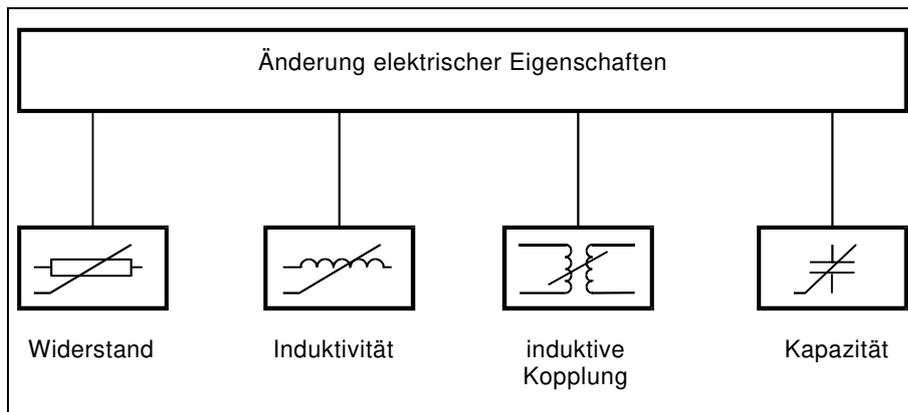


Bild 2.8: Passive Sensoren (Eigene Darstellung)

Die Genauigkeit eines Sensors wird beschrieben durch die Eigenschaften bezüglich

- Linearität,
- Hysterese,
- Drift (Offset).

Linearität

Zwischen der zu erfassenden Größe, z. B. der Kraft und dem Sensorsignal, wünscht man sich meist einen proportionalen, d. h. linearen Zusammenhang (Kennlinie). Bei genauer Nachprüfung erkennt man Abweichungen von der ideal geraden Sensorkennlinie.

Hysterese

Die Kennlinie zwischen Sensorsignal und der zu erfassenden Größe ist häufig etwas unterschiedlich, je nachdem, ob die zu erfassende Größe zunimmt oder abnimmt. Diese Eigenschaft bezeichnet man als Hysterese.

Drift (Offset)

Häufig beobachtet man ein allmähliches Verändern des Sensorsignals (Drift), obgleich sich die zu erfassende Größe, z. B. eine Kraft, nicht geändert hat. So reagieren fast alle Sensoren mit einer Signaländerung, wenn sich die Umgebungstemperatur ändert. Man spricht von der Temperaturdrift. Diese Temperaturdrift kann sich z. B. gleichmäßig auf die Kennlinie auswirken oder auf die Empfindlichkeit Einfluss haben.

Alle Ungenauigkeiten zusammen werden durch die **maximale Fehlergrenze** (Genauigkeit) f des Sensors angegeben und zwar in Prozent bezogen auf den Nennwert des Sensors.

Maximale relative Fehlergrenze:

$$f_x = \frac{\pm \Delta x}{X}$$

$\pm \Delta x$ maximale Abweichung vom wahren Wert der Sensorgröße
 X Sensornenngröße oder Messbereichsendwert

Zur Steuerung und Überwachung eines Prozesses müssen im Allgemeinen Informationen aus dem Prozess erfasst, verarbeitet und an die Stellglieder zurückgegeben werden. Für die

Steuerungstechnik – Grundlagen der Steuerungstechnik

Bedienung durch den Menschen sind Bedienelemente wie Taster, Schalter, aber auch optische und akustische Anzeigeelemente erforderlich.

Im automatisierten Prozess werden die verschiedenen physikalischen Größen durch Sensoren erfasst und in elektrische Signale gewandelt. Ein Sensor ist eine in sich abgeschlossene Steuerungskomponente, die an ihrem Eingang durch einen geeigneten Messfühler mit der Messgröße in Verbindung steht und diese in ein elektrisches Signal umformt. Die Umformung kann binär oder analog erfolgen. Bei der binären Umformung wird nach Überschreitung eines Grenzwerts ein Schaltsignal gegeben; bei der analogen Umformung entspricht jedem Wert der Messgröße (z. B. Druck) ein Ausgangssignal (z. B. elektrische Spannung) des Sensors.

Ein Sensor erfüllt also folgende Aufgaben:

- Erfassen der Messgröße,
- Umwandlung der Messgröße in eine elektrische Größe und
- Bereitstellung der Signale für die Auswertung durch eine Steuerung.

Häufige Messgrößen in verschiedenen Anwendungsbereichen des Maschinenbaus und der Prozesstechnik sind: Weg / Abstand, Temperatur, Druck, Füllstand, Kraft, Drehzahl, Drehmoment. Für diese Messgrößen gilt es, geeignete Sensoren auszuwählen (vgl. Tabelle 2.1).

Bei der Sensorauswahl sind folgende Kriterien zu beachten:

Materialabhängigkeit	Energieart
Reichweite	Schaltspielzahl
Wiederholgenauigkeit	Kosten
Schmutzempfindlichkeit	Lebensdauer
Feuchteempfindlichkeit	Wartungsfreundlichkeit
Temperaturbereich	Selbstdiagnose
Schwingungsempfindlichkeit	

Tab. 2.1: Kriterien für die Sensorauswahl

Physikalische Größe	Druck, Weg (Abstand), Kraft	Temperatur	Magnetische Feldstärke
Techn.-physikal. Effekt, z. B.	Piezoeffekt, Kapazitätsmessung, Dehnungstreifen (DMS)	Metall, Halbleiter, Kaltleiter	Halleffekt
Elektr. Größe, z. B.	Widerstand, Kapazität, elektr. Feldstärke	Widerstand, Spannung	Widerstand, Spannung
Sensor, z. B.	Induktiver Sensor, Kapazitiver Sensor, Wegsensor, Winkelsensor, Verformungssensor	Temperatursensor	Magnetfeldsensor
Anwendung, z. B.	Identifizieren, Positionieren, Druckerfassung, Kraftmoment, Drehmoment	Temperaturfühler, Niveaufühler	Wegmessung, Position erfassen, Drehzahlmessung

- K 2.1:** Was sind die charakteristischen Merkmale analoger, binärer und digitaler Signale?
- K 2.2:** Welche Klassifikationsmerkmale von Sensoren sind Ihnen bekannt?
- K 2.3:** Erläutern Sie den prinzipiellen Aufbau eines Sensors.
- K 2.4:** Welcher Unterschied besteht zwischen aktiven und passiven Sensoren?
- K 2.5:** Durch welche Eigenschaften kann man einen Sensor beschreiben?
- K 2.6:** Welche Kriterien wären für Sie bei der Auswahl eines Sensors von Bedeutung?
- K 2.7:** Was sind die Ursachen für die Ungenauigkeit (d. h. das Auftreten von Fehlern) eines Sensors?
- K 2.8:** Wie ist die relative maximale Fehlergrenze eines Sensors definiert?

Leseprobe

3 Stelleingriffe durch Aktoren

Das Studienziel dieses Kapitels besteht in der Aneignung folgender Inhalte:

- Wirkprinzip und Aufbau pneumatischer Stellelemente,
- Funktionsprinzip von Wegeventilen,
- Wirkprinzip und Aufbau hydraulischer und elektrischer Stellelemente,
- Aufbau und Wirkungsweise des Schrittmotors.

Die von der verdrahteten/verschlauchten Logik oder von einer SPS ausgegebenen Stellsignale wirken nicht direkt auf die Antriebselemente für die Steuerstrecke, sondern auf die Stellglieder ein. Stellglieder steuern den Energiefluss zum Antriebselement. Stellglieder zur Steuerung der pneumatischen, hydraulischen und elektrischen Energie sind Ventile und Schütze bzw. Relais.

3.1 Aktoren/Aktuatoren

Unter dem Oberbegriff „**Aktor**“ werden im Folgenden die **Stellelemente** und die **Antriebselemente** zusammengefasst, da sie in der digitalen Steuerungstechnik in den meisten Einsatzfällen eine funktionelle Einheit bilden.

3.1.1 Pneumatische Stellelemente

Pneumatik ist der Einsatz der Druckluft zur Steuerung und zum Antrieb von Zylindern und Motoren (Aktoren).

Sie wird z. B. zur Automatisierung im Sondermaschinenbau, in der Montagetechnik, in der Handhabungstechnik, in der Verpackungstechnik und in vielen anderen technischen Bereichen eingesetzt. Auf einer Fertigungsstraße für Waschmittelbehälter werden z. B. Kartonplatinen geformt, aufgerichtet, Böden eingelegt und umbördelt. Die einzelnen Fertigungsstationen sind mit pneumatischen Antrieben ausgerüstet.

Beispiel 3.1:

Bei einer Montagezelle für Telefone sind z. B. 48 Pneumatikzylinder unterschiedlicher Größe, 96 Drosselrückschlagventile, 50 Magnet-Impulsventile und 80 Überwachungs- und Kontrollsensoren eingesetzt. Zusammen mit einem Knickarm-Roboter übernehmen diese Elemente die Steuerung und das Montagehandling.

Aufgrund der Eigenschaften der Luft muss man beim Einsatz der Pneumatik deren Vor- und Nachteile abwägen:

Vorteile der Pneumatik:

- Hohe Geschwindigkeiten der Aktoren sind wegen des geringen spezifischen Gewichts und der geringen Zähigkeit der Luft möglich.
- Geradlinige Bewegungen lassen sich auf einfache Weise mit leichten, platzsparenden Zylindern verwirklichen.
- Druckluft-Aktoren besitzen beim Anfahren die volle Betriebskraft und können ohne Schaden überlastet werden.
- Druckluft kann in explosionsgefährdeten Anlagen eingesetzt werden.

Nachteile der Pneumatik:

- Druckluft ist kompressibel. Aus Sicherheitsgründen wird deshalb der Betriebsdruck der Luft auf 6 bis 10 bar begrenzt.
- Zylinder können nur auf Endlagen genau gesteuert werden.
- Für Vorschubbewegungen müssen pneumatische Zylinder hydraulisch gedämpft werden.
- Zylindergeschwindigkeiten sind lastabhängig.
- Expandierende, ausströmende Luft erzeugt Lärm.
- Pneumatische Energie ist teuer.

Richtung, Durchflussmenge und Druck des Luftstroms und damit Geschwindigkeit und Kraft der Aktoren werden mit **Ventilen** gesteuert. Man unterscheidet Wegeventile, Sperrventile, Drosselventile und Druckventile.

Wegeventile steuern den Start und die Bewegungsrichtung der Aktoren. Sie werden durch Signale angesteuert. Man unterscheidet nach der Bauart Sitzventile und Kolbenschieberventile. Sitzventile haben einen dicht schließenden Ventilkörper. Sie sind aber oft nur mit großem Kraftaufwand zu betätigen, da der Systemdruck den Ventilkörper belastet. Kolbenschieberventile lassen sich leicht betätigen, da sie druckentlastet sind. Sie haben einen einfachen Aufbau. Wegen des Bewegungsspiels des Kolbenschiebers sind sie nicht dicht. In der Pneumatik verwendet man eine Konstruktion, die die Vorteile beider Bauarten vereinigt: Kolbenschieberventile mit U-förmigen Sitzdichtungen.

Nach ihrer Wirkungsweise unterscheidet man die Wegeventile nach der Anzahl ihrer Anschlüsse und nach der Anzahl ihrer Schaltstellungen. Für die Be- und Entlüftung einer einzelnen Druckluftkammer, z. B. bei einem einfach wirkenden Zylinder, benötigt man ein Wegeventil mit drei Anschlüssen und zwei Schaltstellungen. Man nennt es 3/2-Wegeventil. Werden zwei Druckluftkammern angesteuert, die genauso wie bei einem doppeltwirkenden Aktor gegenläufig be- und entlüftet werden, benötigt man fünf oder vier Anschlüsse und zwei Schaltstellungen. Das Ventil wird dann 5/2- bzw. 4/2-Wegeventil genannt.

Die Betätigung der Wegeventile erfolgt durch Muskelkraft (Hand- oder Fußbetätigung), mechanisch, pneumatisch durch Druckluft oder elektromagnetisch.

Mechanisch betätigte Ventile werden über einen einfachen Stößel, einen Rollenhebel oder eine Leerrücklaufrolle angesteuert.

Bei der direkten elektromagnetischen Ansteuerung wird im stromlosen Zustand ein Plunger durch eine Feder auf den Ventilsitz gedrückt. Bei Betätigung wird der Plunger durch die Magnetkraft hochgezogen. Diese direkt gesteuerten Magnetventile dienen für viele Ventilarten zur Vorsteuerung.

3/2-Wegeventile (Bild 3.1) dienen als Stellglieder für einfach wirkende Zylinder. Der Kolben des einfach wirkenden Zylinders wird durch eine Druckfeder zurückgestellt, sobald die Druckluft, die das Ausfahren bewirkt, abfällt.

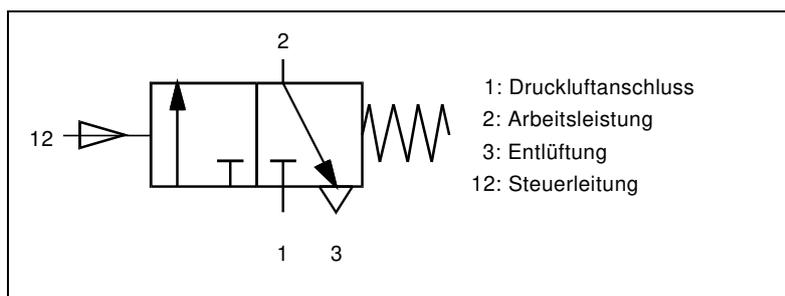


Bild 3.1: Schaltzeichen des 3/2-Wege-Ventils mit Federrückstellung und pneumatischer Betätigung (Eigene Darstellung)

Für das Ausfahren des Kolbens wird das 3/2-Wegeventil durch pneumatische oder elektromagnetische Kraft (Stellsignal) in Durchflussstellung geschaltet. Sobald das Stellsignal abfällt, schiebt die Feder das Ventil wieder in die Sperrstellung. Die Luftzufuhr zum Zylinder wird unterbrochen und der Kolben fährt durch die Federkraft wieder in die hintere Endlage. Der Zylinder wird dabei durch das 3/2-Wegeventil (Anschluss 3) entlüftet.

3/2-Wegeventile können auch beidseitig elektrisch oder pneumatisch betätigt werden.

Doppeltwirkende Zylinder werden in pneumatischen Anlagen durch 5/2-Wegeventile (Bild 3.2) gesteuert.

Diese Ventile können u. a. folgendermaßen gesteuert werden:

- einseitige Druckluftbeaufschlagung und Federrückstellung,
- beidseitige Druckluftbeaufschlagung (Impulsventil),
- einseitige elektrische Betätigung und Federrückstellung,
- beidseitige elektrische Betätigung (Impulsventil).

5/2-Wegeventile mit Federrückstellung haben eine definierte Ausgangsstellung. Impulsventile dagegen besitzen diese nicht.

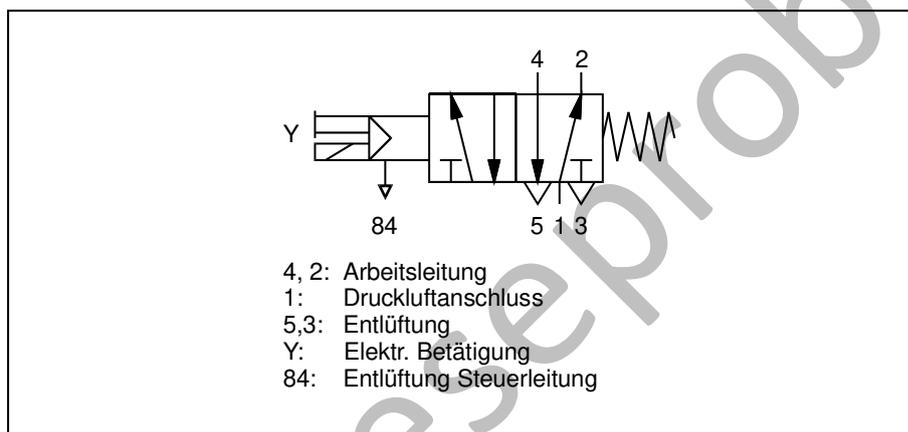


Bild 3.2: Schaltzeichen für das 5/2-Wege-Magnetventil mit Handhilfsbetätigung und Federrückstellung (Eigene Darstellung)

Pneumatische Steuerungen

Pneumatische Aktoren werden von Stellgliedern angesteuert. Diese Stellglieder sind Wegeventile (Impulsventile), die meist zwei speichernde Schaltstellungen besitzen (Bild 3.3).

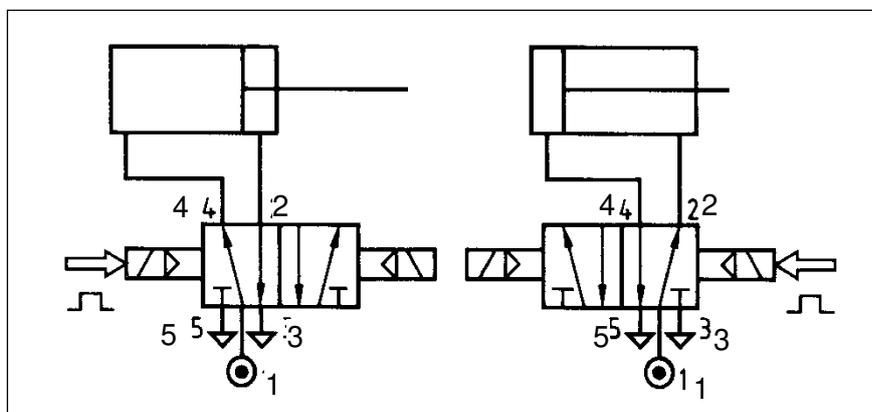


Bild 3.3: Impulsventile als pneumatische Stellglieder (Eigene Darstellung)

Sie werden z. B. kurzzeitig durch pneumatische Druckimpulse oder durch elektromagnetisch wirkende Signale verstellt. Wirkt z. B. ein Signal auf die linke Seite des Impulsventils (Setzsignal), schaltet es auf die linke Schaltstellung. Der Zylinder fährt aus. Das Impulsventil behält diese Stellung solange, bis an der rechten Seite kurzzeitig ein Gegensignal (Rücksetzsignal) ansteht und in die Ausgangslage zurückschaltet. Auch diese Ventilstellung bleibt gespeichert und der Zylinder kann zurückfahren.

3.1.2 Hydraulische Stellelemente

Unter **Hydraulik** versteht man alle Antriebs-, Steuer- und Regelbauteile einer Maschine, mit denen durch den Druck in einer Flüssigkeit Kräfte erzeugt und übertragen werden.

Man verwendet die Hydraulik vor allem im Schwermaschinenbau, wie im Pressenbau oder an Kran- und Baufahrzeugen. Ein weiterer Einsatzbereich der Hydraulik ist der Werkzeugmaschinenbau, wo man hydraulische Bauteile zum Spannen von Werkzeugen oder Werkstücken und für Transportbewegungen verwendet. Auch Vorschubbewegungen, die mit Hilfe elektronischer Einrichtungen hohe Positionier- und Geschwindigkeitsgenauigkeiten erreichen, werden im Werkzeugmaschinenbau hydraulisch gesteuert.

Physikalische Grundlagen

Die Kraft- und Energieübertragung erfolgt in der Hydraulik durch ruhende und strömende Flüssigkeiten.

Beim Einsatz der Hydraulik sind ihre wesentlichen Vor- und Nachteile abzuwägen.

Vorteile der Hydraulik:

- platz- und gewichtsparende Bauteile, die große Kräfte übertragen können,
- schnell, feinfühlig und stufenlos verstellbare Zylinder- und Motorgeschwindigkeiten,
- einfache Überlastsicherung durch Druckbegrenzung.

Nachteile der Hydraulik:

- die Temperaturabhängigkeit der Hydrauliköle,
- die Leckölverluste,
- die Strömungsverluste, die in Wärme umgesetzt werden und die Anlage aufheizen,
- die Schwingungsneigung und Geräuschentwicklung.

Zu den hydraulischen Aktoren gehören Hydraulikzylinder, Schwenk- und Hydromotore.

Hydraulikventile

Durch die Steuerung von Richtung, Größe und Druck des Volumenstroms beeinflussen Hydraulikventile den Weg, die Geschwindigkeit und die Kraft des Zylinders oder Motors.

Nach der Bauart unterscheidet man Sitzventile und Kolbenschieberventile.

Sitzventile haben eine kreisrunde Sitzfläche und einen darauf passenden Ventilkörper, z. B. einen Ventilteller, eine Kugel oder einen Ventilkegel.

Die wesentlichen Eigenschaften der Sitzventile sind:

- Sie schließen dicht,
- sie sind auch für HF-Flüssigkeiten (Wasserhydraulik) geeignet, da sie nicht durch Gleitreibung beansprucht werden,
- sie sind unempfindlich gegen Verunreinigungen,
- sie benötigen große Schaltkräfte.

Kolbenschieberventile schließen und öffnen Anschlüsse mit der zylinderförmigen Mantelfläche des Ventilkolbens. Die Kanten des Ventilkolbens, die die Anschlussbohrungen überfahren, werden Steuerkanten genannt.

Eigenschaften der Kolbenventile:

- Sie sind an den Stirnflächen des Ventilkolbens druckfrei und schalten mit geringer Kraft,
- sie können z. B. durch Einbau eines anderen Kolbens neue Ventilfunktionen erhalten,
- sie sind wegen des Bewegungsspiels an der Mantelfläche leckölanfällig,
- sie entwickeln bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten an den Kanten Impulskräfte, die sie instabil machen.

Aufbau hydraulischer Steuerungen

Der Energietransport einer hydraulischen Anlage beginnt bei der Pumpe, die die elektrische bzw. mechanische Energie auf die Druckflüssigkeit überträgt. Druckventile, Wegeventile und Stromventile wirken auf den Volumenstrom ein. Schließlich wird die hydraulische Energie im Hydraulikzylinder oder im Hydraulikmotor wieder in mechanische Spann- und Bewegungsenergie umgewandelt.

3.1.3 Elektrische Stellelemente

Als elektrische Stellelemente werden im Rahmen der hier diskutierten elektrischen Antriebselemente **Schütze** oder **Relais** verwendet.

Schütze sind elektromagnetisch angetriebene Schalter, die mit kleiner Steuerleistung große Arbeitsleistungen schalten können. Im ausgeschalteten Zustand drückt die Druckfeder den Anker nach oben.

Bild 5.22 im Abschnitt 5.3.2 zeigt das Wirkprinzip eines einfachen Schützes/Relais. Die Schaltkontakte (5) sind geöffnet. Wird die Spule nun über die Spulenanschlüsse (6) erregt, wird der Anker (3) nach unten gezogen. Gleichzeitig werden die Schaltkontakte des Schützes geschlossen. Ein Elektromotor könnte anlaufen. Nach dem Abfall der Steuerspannung wird der Anker wieder zurückgedrückt.

Für die Auswahl eines Schützes ist die Leistungsaufnahme des Antriebselementes ein kennzeichnendes Merkmal.

Schütze schalten hohe Leistungen, sind weitgehend wartungsfrei und haben eine galvanische Trennung von Steuer- und Arbeitsstromkreis. Nachteilig sind u. a. Kontakttrieb, Schaltgeräusche und begrenzte Schaltgeschwindigkeiten.

Antworten und Lösungen zu den Übungsaufgaben

- K 1.1:** Steuerungen auf Mikrorechnerbasis (z. B. SPS), Sensoren, Aktoren und Steuerungssoftware (Programme für den Entwurf und den praktischen Einsatz von Steuerungen). (Siehe auch Abschnitt 1.1.)
- K 1.2:** Das Unternehmen als kybernetisches System ist Störeinflüssen unterworfen, die seinen Gleichgewichtszustand beeinflussen. Die einzelnen Systemelemente sind durch Informationswege verbunden. Durch Steuerung und Regelung (Steuerung mit Rückkopplung) erreicht man eine Kompensation bzw. Ausregelung der Störeinflüsse, d. h., man gelangt zu einem neuen und stabilen Gleichgewichtszustand. In der Praxis stellt sich das moderne Unternehmen als System einer Vielzahl vermaschter Steuerungs- und Regelungssysteme dar.
- K 1.3:** Die Automatisierung ermöglicht eine selbsttätige, automatisierte Fertigung ohne den steuernden Eingriff des Menschen. Dieser ist nur noch überwachend tätig. Für die Fertigungsautomatisierung sind aus betriebswirtschaftlicher Sicht charakteristisch: Die wesentlichen Arbeitsschritte werden sowohl bezüglich der zeitlichen Abfolge als auch der räumlichen Arbeits- und Bewegungsvorgänge selbsttätig ausgeführt. Die Automatisierungstechnik führt damit zu einer Erhöhung der Qualität und Humanisierung der Arbeit sowie zur Senkung der Kosten.
- K 1.4:** Siehe Definition in Abschnitt 1.2 (DIN 19226).
- K 1.5:** Der Wirkungsplan der Steuerung als rückwirkungsfreies kybernetisches System ist auf Bild 1.2 dargestellt. Ihre Modifikation (Steuerung mit Störgrößenerfassung) zeigt Bild 1.3. Im Gegensatz zur Steuerung ist für die Regelung ein geschlossener Wirkungskreis charakteristisch, in dem die zu regelnde Größe (z. B. Raumtemperatur) fortlaufend erfasst, mit einem Vorgabewert verglichen und im Sinne einer Angleichung an diesen Vorgabewert verändert wird.
- K 1.6:** Siehe Definitionen in Abschnitt 1.2.
- K 2.1:** **Analoge Signale:** bezüglich der Zeitachse ein stetiges Abbild (analoge, stetige Kurve) einer physikalischen Größe (z. B. Änderung der Raumtemperatur, d. h. Temperaturverlauf in einem betrachteten Zeitintervall).
Binäre Signale: zweiwertiges Signal („ein“-„aus“, „wahr“-„falsch“ bzw. eine Binärstelle /Bit /„0“-„1“).
Digitale Signale: Zusammenfassung von mehreren Binärstellen, z. B. die Tetrade als ein aus vier Bit bestehendes digitales Signal (Wertebereich 0 ... 15) (Siehe auch Abschnitt 2.1.).
- K 2.2:** Siehe Bild 2.5 im Abschnitt 2.2.
- K 2.3:** Siehe Bild 2.6 im Abschnitt 2.2.
- K 2.4:** Siehe Bilder 2.7 und 2.8 sowie zugehörige Ausführungen in Abschnitt 2.2.
- K 2.5:** Linearität, Hysterese und Offset

K 2.6: Siehe Tabelle 2.1 im Abschnitt 2.2.

K 2.7: Messgerätefehler, -ausfall, Fehler im Transmitter oder Verstärker bzw. auf der Datenübertragungsstrecke

K 2.8:
$$f_x = \frac{\pm \Delta x}{X}$$

K 3.1: Siehe Abschnitt 3.1.1.

K 3.2: Siehe. Abschnitt. 3.1.1.

K 3.3: stabile Bereitstellung von Luft in vorgegebenem Druckbereich, Luft muss gefordertem Reinheitsgrad entsprechen, Druckluftnetz muss modifizierbar und erweiterbar sein, Luftanschluss vor Ort am Messgerät.

K 3.4: 4/2- bzw. 5/2-Wegeventil

K 3.5: Siehe Abschnitt 3.1.1.

K 3.6: Siehe Bild 3.3 und die darunter stehenden Erläuterungen in Abschnitt 3.1.1.

K 3.7: Siehe Abschnitt 3.12.

K 3.8: Hydraulische Antriebs-, Steuer- und Regelemente (Hydraulikzylinder, Hydraulikmotoren, Hydraulikventile (Siehe auch Abschnitt 3.1.2.))

K 3.9: Zu den hydraulischen Aktoren gehören Hydraulikzylinder, Schwenk- und Hydromotore.

K 3.10: Siehe Abschnitte 3.1.3 und 3.2.2.

K 3.11: Siehe Abschnitt 3.2.2 unter „Schrittmotorantriebe“.

K 4.1: Nach der Art der Ein- und Ausgangsgrößen lassen sich die Steuerungen einteilen in analoge, binäre und digitale Steuersysteme.

K 4.2: (Antwort nicht dokumentiert)

K 4.3: Das Ausgangssignal der Steuereinrichtung (Stellgröße y) bildet die Eingangsgröße der Steuerstrecke (zu steuernder Prozess, z. B. Fertigungsautomat), d. h. $y(t)$ bewirkt eine zeitabhängige Veränderung des Prozessverhaltens. (Siehe auch Kapitel 4)

K 4.4: Die Einteilung der Steuerungen erfolgt nach der Art der verarbeiteten Signale (analog bzw. digital).

K 4.5: Der gegenwärtige Stand auf dem Gebiet der elektrischen/elektronischen Steuerungen kann wie folgt charakterisiert werden:
Die sich stürmisch entwickelnde Mikrorechentechnik dringt in immer stärkerem Umfang in die Steuerungstechnik ein (digitale Steuerungstechnik), ein immer größerer Anteil elektromechanischer Steuerfunktionen (d. h. konventionelle Gerätetechnik wird durch Mikroelektronik-Lösungen mit Softwaredominanz ersetzt), diese Tendenz ist verbunden mit ständig ansteigenden Leistungsparametern und steigender Zuverlässigkeit sowie einem drastischen Preisverfall am Markt.
(Siehe auch Kapitel 4.)

Literaturverzeichnis

Digitaltechnik/Digitale Steuerungstechnik

- [1] **Busch, P.:** Elementare Regelungstechnik, Vogel Buchverlag, Würzburg 2012.
- [2] **Brack, G.:** Automatisierungstechnik für Anwender, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1993.
- [3] **Brouër, B.:** Steuerungstechnik für Maschinenbauer, B. G. Teubner, Stuttgart 1995.
- [4] **Thrun, W. / Stern, M.:** Steuerungstechnik im Maschinenbau, Viewegs Fachbücher der Technik, 1997.
- [5] **Schmid, D.:** Automatisierungstechnik in der Fertigung, Verlag Europa-Lehrmittel, 2001.
- [6] **Nist, G.:** Steuern und Regeln im Maschinenbau, Verlag Europa-Lehrmittel, 1989.
- [7] **Kriechbaum, G.:** Pneumatische Steuerungen, Vieweg Verlag, Braunschweig 1997.
- [8] **Haug, R.:** Pneumatische Steuerungstechnik, B. G. Teubner Verlag, Stuttgart 1991.
- [9] **Linse, H.:** Elektrotechnik für Maschinenbauer, B. G. Teubner Verlag, Stuttgart 2005.
- [10] **Leonhardt, E.:** Grundlagen der Digitaltechnik, 3. Aufl., Carl Hanser Verlag, München 1994.
- [11] **Fasol, K. H.:** Binäre Steuerungstechnik, Springer Verlag, Berlin 1988.
- [12] **Töpfer, H. / Besch, P.:** Grundlagen der Automatisierungstechnik, Carl Hanser Verlag, München 1990.
- [13] **Olsson, G./Piani, G.:** Steuern, Regeln, Automatisieren, Carl Hanser Verlag/Prentice-Hall, 1993.
- [14] **Kauffmann, E.:** Hydraulische Steuerungen, Vieweg Verlag, Braunschweig 1988.
- [15] **Beuth, K.:** Digitaltechnik, Vogel Fachbuch, Vogel Verlag, Würzburg 2019.

Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)

- [16] **Wratil, P.:** Speicherprogrammierbare Steuerungen in der Automatisierungstechnik, Vogel Buchverlag Würzburg, 1989.
- [17] **Kleemann, P.:** Speicherprogrammierbare Steuerungen, Bd. 1, Verlag Dähmlow, Neuss 1992.
- [18] **Wellenreuther, G. / Zastrow, D.:** Speicherprogrammierbare Steuerung SPS, Vieweg, Braunschweig 1988.
- [19] **Auer, A.:** SPS Aufbau und Programmierung, Hüthig Buch Verlag GmbH, Heidelberg 1996.
- [20] **Merz, R.:** Einführung in das Programmieren einer SPS, Pflaum Verlag, München 1993.

Weiterführende Literatur

- [21] **Kleemann, P.:** Speicherprogrammierbare Steuerungen, Bd. 2, Verlag Dähmlow, Neuss 1992.
- [22] **Wellenreuther, G. / Zastrow, D.:** Steuerungstechnik mit SPS, Vieweg, Braunschweig 1998.
- [23] **Merz, R.:** Projektierung einer SPS mit erweitertem Befehlsvorrat, Pflaum Verlag, München 1994.

DIPLOMA

Private staatlich anerkannte Hochschule
University of Applied Sciences

DIPLOMA Hochschule

Zentralverwaltung

Herminenstraße 17f
31675 Bückeburg

Tel.: +49 (0)5722 28 69 97 32
info@diploma.de
www.diploma.de



Leseprobe



Sie wollen mehr erfahren?

Unser aktuelles Studienangebot und weitere Informationen finden Sie auf www.diploma.de oder besuchen Sie uns zu einer persönlichen Studienberatung an einem DIPLOMA-Studienzentrum in Ihrer Nähe.