Berührungslose Sensoren zur Positions-, Weg- und Winkel-Erfassung

Tyco Electronics bietet ein breites Spektrum magneto-induktiver Sensoren für die Erfassung unterschiedlicher mechanischer Größen wie Position, Weg, Winkel, Drehzahl und Umdrehung. Die Sensoren von Tyco arbeiten alle berührungslos, sind verschleißfrei und eignen sich deshalb besonders gut für den industriellen Einsatz. Durch die kompakten Bauformen, die Ansteuerungsvielfalt und durch die gezielte Auswahl und Dimensionierung des Magnetkreises können unsere Sensoren für die unterschiedlichsten Applikationen angepaßt und exakt an den jeweiligen Systemanforderungen ausgerichtet werden.

Neben Standard-Elementen bietet Tyco Electronics auch ein umfangreiches Service- und Customizing-Paket an. Es beinhaltet die gesamte Palette von der Auswahl der Sensortechnologie über Dimensionierung, Simulation, Qualifizierung und Prototyping bis hin zur Serienfertigung kundenspezifischer Lösungen.

- Berührungslos und verschleißfrei
- Hoher Innovationsgrad
- Maßgeschneiderte Kundenlösungen
- Unterstützung schon in der Konzeptionsphase
- Projekt- und Qualitätsmanagement nach QS 9000 und ISO 9001
- Ideal für Anwendungen in der Prozeß- und Fabrikautomation, Maschinenbau, Antriebs- und Gerätetechnik bis hin zum Einsatz in der Luftfahrt

Stefan Hesse
Gerhard Schnell

**Sensoren für die Prozess-
und Fabrikautomation**

Aus dem Programm

Automatisierungstechnik

Speicherprogrammierbare Steuerungen in der Praxis

von W. Braun

Fertigungsautomatisierung

von S. Hesse

Sensoren für die Prozess- und Fabrikautomation

von S. Hesse und G. Schnell

Kaspers/Küfner Messen – Steuern – Regeln

von B. Heinrich (Hrsg.), B. Berling, W. Thrun und W. Vogt

Messtechnik

von R. Parthier

Regelungstechnik für Ingenieure

von M. Reuter und S. Zacher

Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozesstechnik

herausgegeben von G. Schnell

Automatisieren mit SPS

Theorie und Praxis

von G. Wellenreuther und D. Zastrow

Automatisieren mit SPS

Übersicht und Übungsaufgaben

von G. Wellenreuther und D. Zastrow

Automatisierungstechnik kompakt

herausgegeben von S. Zacher

vieweg

Stefan Hesse
Gerhard Schnell

Sensoren für die Prozess- und Fabrikautomation

Funktion – Ausführung – Anwendung

3., vollständig überarbeitete Auflage

Mit 453 Abbildungen

Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.

Die ersten zwei Auflagen des Buches erschienen, herausgegeben von Gerhard Schnell, unter dem
Titel *Sensoren in der Automatisierungstechnik* im Vieweg Verlag.

- 1. Auflage 1991
- 2., überarbeitete und erweiterte Auflage 1993
- 3., vollständig überarbeitete Auflage April 2004

Alle Rechte vorbehalten

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2004

Ursprünglich erschienen bei Friedr. Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2004

Softcover reprint of the hardcover 3rd edition 2004

Der Vieweg Verlag ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media.

www.vieweg.de

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

Umschlaggestaltung: Ulrike Weigel, www.CorporateDesignGroup.de

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

ISBN 978-3-322-96927-9

ISBN 978-3-322-96926-2 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-96926-2

Vorwort

Die Automatisierung von Produktions-, Logistik- und Fabrikprozessen hat sich heute zu einem bedeutenden wirtschaftlichen Erfolgsfaktor entwickelt. Automation ist jedoch ohne Sensorik nicht erreichbar. Nur was man vorher gemessen hat, kann anschließend zielgerichtet gesteuert werden. Sensoren sind aber nicht nur wichtige Funktionselemente in flexiblen Automaten, sondern werden auch als moderne Mess- oder Überwachungsgeräte genutzt. Es sind neuartige Sensorstrukturen entstanden, moderne Herstellungstechnologien hinzugekommen und leistungsfähige Signalverarbeitungssysteme verfügbar. Die Technik der Sensoren und ihre Applikationen sind greifbarer technischer Fortschritt, der mit einem Höchstmaß an Innovation und auch an Wachstum verbunden ist. Die Anwendungen reichen von der Qualitätskontrolle bis zur Positionserfassung, von der Fahrzeugtechnik bis zur Prozessindustrie und von der Haustechnik bis zum Medizingerätebau. Die Anwendungsbreite ist wohl kaum noch überblickbar. Um alles richtig zu verstehen und Sensoren fachgerecht zu beurteilen, ist ein solides Basiswissen unabdingbar.

Das Buch ist eine erweiterte und überarbeitete Neufassung des bewährten Buches „Sensoren in der Automatisierungstechnik“, das 1991 von Prof. Dr.-Ing. *Gerhard Schnell* herausgegeben wurde. Er hat im vorliegenden Buch das Kapitel Sensorvernetzung bearbeitet und etliche Ergänzungen sowie Verbesserungen zu allen anderen Kapiteln beigesteuert. Außerdem wurden Texte aus Veröffentlichungen von Dr.-Ing. habil. *Stefan Hesse* zum Thema „Sensoren in der Fertigungstechnik“ und „Lexikon Sensoren in Fertigung und Betrieb“ integriert.

Das Buch behandelt in knapper, anwendungsnaher Form die Grundlagen der Sensortechnik und ihre praktische Anwendung. Es wendet sich an Techniker, Ingenieure und Studierende, die in der Praxis tätig sind bzw. sich darauf vorbereiten und die sich mit den technischen Sinnesorganen beschäftigen müssen. Das Buch ist deshalb nicht nach Sensorwirkprinzipien gegliedert, sondern nach den messtechnischen Aufgabenstellungen, wie beispielsweise die Erfassung fluidischer Größen oder die Positionserfassung. Damit soll dem Leser eine Orientierungshilfe für die Lösung von Problemen und Aufgaben gegeben werden, wie sie in der Prozess- und Fabrikautomation vorkommen. Ein Mini-Lexikon und die Auswahl von Internet-Adressen am Schluss des Buches dienen dem schnellen Nachschlagen und der Vertiefung bis hin zum Auffinden potentieller Lieferanten. Damit soll auch eine Brücke zwischen Buchwissen und Praxis geschlagen werden.

Die Autoren bedanken sich für die stets angenehme und hilfreiche Zusammenarbeit bei Herrn Dipl.-Ing. *Thomas Zipsner* vom Lektorat Technik des Vieweg Verlages.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

1 Sensoren – Sinnesorgane der Technik.....	1
1.1 Was sind Sensoren?	1
1.2 Einteilung und Begriffe.....	6
1.3 Aufgaben und nutzbare Effekte	12
1.4 Einsatz und Auswahl	16
2 Sensoren zur Positionserfassung.....	20
2.1 Elektromechanische und elektrische Positionserfassung	20
2.2 Pneumatische Positionserfassung	23
2.3 Induktive Positionserfassung	26
2.4 Kapazitive Positionserfassung	37
2.5 Magnetinduktive Positionserfassung	42
2.5.1 Hallsensor.....	42
2.5.2 Magnetschalter	46
2.5.3 Magnetisch steuerbare Widerstände	48
2.5.3.1 Feldplattensensor	49
2.5.3.2 Sättigungskernsonde	51
2.5.3.3 Magnetoresistive Metall-Dünnschicht-Sensoren.....	53
2.6 Positionserfassung mit Ultraschall.....	54
2.7 Optoelektronische Positionserfassung	61
2.7.1 Allgemeine Grundlagen.....	61
2.7.2 Einweg-Lichtschranke.....	68
2.7.3 Reflexlichtschranke	74
2.7.4 Reflexlichttaster	77
2.7.5 Lichtgitter	82
2.7.6 Faseroptische Sensoren.....	87
2.7.7 Positionsempfindliche Fotoelemente	91
2.7.8 Unterscheidung farbiger Objekte.....	93
2.7.9 Lasersensoren	95
2.8 Positionserfassung mit Mikrowellen.....	104
2.9 Positionserfassung mit Kernstrahlung.....	105
2.10 Füll- und Grenzstandsmessung	107
2.10.1 Allgemeine Grundlagen.....	107
2.10.2 Optische Füllhöhenbestimmung	108
2.10.3 Füllhöhenbestimmung mit Schwimmern.....	110
2.10.4 Elektromechanische Füllhöhenbestimmung	112
2.10.5 Druckabhängige Füllhöhenbestimmung	114
2.10.6 Konduktive Füllhöhenbestimmung.....	117
2.10.7 Kapazitive Füllhöhenbestimmung	118
2.10.8 Absorptionsabhängige Füllhöhenbestimmung.....	120
2.10.9 Reflexionsabhängige Füllhöhenbestimmung.....	121
2.10.10 Kalorimetrische Füllstandserfassung	126

3	Sensoren zur Erfassung mechanischer Größen	127
3.1	Messung von Kräften	127
3.2	Messung von Drehmomenten	144
3.3	Messung von Beschleunigungen	150
3.4	Bestimmung von Massen	154
3.5	Geschwindigkeitsmessung	158
3.6	Erkennen von Bewegungen	165
4	Sensoren zur Erfassung fluidischer Größen	167
4.1	Druckmessung	167
4.1.1	Allgemeine Grundlagen	168
4.1.2	Magnetoelastische Messung	171
4.1.3	Kapazitive Messung	173
4.1.4	Piezoelektrische Messung	176
4.1.5	Piezoresistive Messung	179
4.1.6	Galvanomagnetische Messung	182
4.1.7	Druckmessung mit akustischen Oberflächenwellen	183
4.2	Durchflussmessung	184
4.2.1	Volumetrische Messung	186
4.2.1.1	Verdrängungsverfahren	186
4.2.1.2	Volumenzähler mit Messflügel	186
4.2.1.3	Schwebekörper-Durchflussmesser	188
4.2.2	Wirkdruckverfahren	189
4.2.3	Magnetisch-induktive Durchflussmessung	190
4.2.4	Coriolis-Durchflussmessung	192
4.2.5	Durchflussmessung mit Ultraschall	194
4.2.6	Kalorimetrische Durchflussmessung	197
4.2.7	Wirbelfrequenz-Durchflussmessung	202
4.3	Feuchtemessung	204
4.3.1	Allgemeine Grundlagen	204
4.3.2	Feuchtesensoren	207
4.3.2.1	Taupunkthygrometer	207
4.3.2.2	Faserhygrometer	209
4.3.2.3	Kapazitive Feuchtesensoren	209
4.3.2.4	Feuchtesensoren in SAW-Technologie	211
4.3.2.5	Mikrowellen-Feuchtesensor	212
4.3.2.6	Elektrolysehygrometer	213
4.3.2.7	Aspirationshygrometer (Psychrometer)	213
5	Sensoren zur Erfassung der Temperatur	215
5.1	Allgemeine Grundlagen	215
5.2	Kontaktthermometrische Sensoren	217
5.2.1	Thermoresistive Temperaturmessung	217
5.2.2	Thermoelektrische Temperaturmessung	225
5.3	Strahlungsthermometrie	231

6	Sensoren zur Erfassung von Wegen und Winkeln	242
6.1	Allgemeine Grundlagen	242
6.2	Analoge Messverfahren.....	245
6.2.1	Tauchanker und Differentialtransformator	245
6.2.2	Potentiometer.....	247
6.2.3	Kapazitive Weg- und Winkelmessung.....	248
6.2.4	Induktive Weg- und Winkelmessung.....	251
6.2.5	Magnetische Wegmessung	253
6.2.6	Resolver	254
6.2.7	Inductosyn	255
6.3	Digitale Messverfahren	257
6.3.1	Optisch-inkrementale Weg- und Winkelmesssysteme.....	257
6.3.2	Codelineale und Codescheiben.....	261
6.3.3	Magnetische Längenmesssysteme	265
6.3.4	Längenmessung mit Interferometer	266
6.3.5	Interferenzielle Längenmessung	267
6.4	Distanzmessung mit Triangulation	268
6.5	Distanzbestimmung mit Laufzeitmessung	272
6.6	Distanzbestimmung mit Phasenmessung	275
6.7	Magnetostriktive Wegmessung	279
6.8	Neigungsmessung	281
7	Abbildung und Erkennung von Objekten.....	284
7.1	Allgemeine Grundlagen	284
7.2	Optisch-visuelle Bildaufnahme	289
7.2.1	Höhenprofilschnitt.....	289
7.2.2	Objekterkennung mit CCD-Zeile.....	289
7.2.3	Objekterkennung mit Lichtschnittverfahren	290
7.2.4	Objekterkennung mit CCD-Matrix	292
7.2.5	Objekterkennung durch Schattenbilddauswertung	300
7.2.6	Bilderfassung mit stereoskopischem Prinzip	307
7.2.7	Beleuchtungstechnik.....	309
7.3	Nichtoptische Abtastsysteme.....	311
7.4	Erfassung codierter und nichtcodierter Informationen	314
7.4.1	Elektromechanische Erfassung	314
7.4.2	Optische Erfassung	317
7.4.3	Elektronische und elektromagnetische Erfassung.....	323
8	Erfassung chemischer und biologischer Stoffgrößen	326
8.1	Messung von Gaskonzentrationen allgemein	326
8.2	Sauerstoffmessung	332
8.3	Messung der elektrolytischen Leitfähigkeit.....	334
8.4	Messung des pH-Wertes.....	336
8.5	Gasanalyse durch Wärmeleitfähigkeitsmessung.....	338
8.6	Erfassung biologischer Substanzen	340
8.7	Explosionsschutz bei Sensoren.....	342

9	Sensorvernetzung	344
9.1	Allgemeine Grundlagen	344
9.1.1	Netzwerktopologien.....	344
9.1.2	Buszugriffsverfahren	345
9.1.3	Telegramme.....	346
9.2	Bussysteme zur Sensorvernetzung	347
9.2.1	Aktuator/Sensor-Interface (AS-I)	347
9.2.2	Profibus	349
9.2.3	Interbus	351
9.2.4	HART-Protokoll	352
9.2.5	CAN-Bus	353
9.3	Ausblick	354
10	Fachbegriffe.....	357
	Internet Index (Auswahl)	372
	Literatur und Quellen	378
	Sachwortverzeichnis	382