

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Übersicht (G. Schnell)</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Induktive Sensoren (W. Helm)</b>	<b>5</b>
2.1	Grundlagen	5
2.1.1	Grundsätzlicher Aufbau	5
2.1.2	Reduktionsfaktor	7
2.1.3	Spulengröße und Schaltabstand	8
2.1.4	Einbauproblematik	9
2.1.4.1	Gehäuse	9
2.1.4.2	Bündiger Einbau	10
2.1.5	Elektronische Schaltung	10
2.2	Ausführungsformen	15
2.2.1	Zylindrische und quaderförmige Näherungsschalter	15
2.2.1.1	Definitionen	16
2.2.2	Schlitzinitiatoren	17
2.2.3	Ringinitiatoren	18
2.2.4	Bistabile Schalter	18
2.2.5	Magnetfeldresistente Näherungsschalter	19
2.2.6	Induktive Analoggeber	20
2.3	Schnittstellen induktiver Näherungsschalter	21
2.3.1	Elektrische Ausführungen und Wirkungsrichtungen	21
2.3.1.1	Gleichspannungsschalter	21
2.3.1.2	Wechsel- und Allspannungsschalter	23
2.3.1.3	Sensoren nach DIN 19234 (Namur)	23
2.3.2	Schutz- und Sicherheitsschaltungen	23
2.3.2.1	Verpolungs- und Überspannungsschutz	23
2.3.2.2	Überlastschutz	24
2.3.2.3	Sicherheitsschaltungen	25
2.3.3	Lasten	25
2.3.4	Bus-Ankopplung	26
2.4	Fertigungstechnologien	27
<b>3</b>	<b>Kapazitive Sensoren (W. Helm)</b>	<b>28</b>
3.1	Grundlagen	28
3.1.1	Sensoraufbau	28
3.1.2	Empfindlichkeit	30
3.1.3	Reduktionsfaktor	30
3.2	Praktische Ausführung	31
3.2.1	RC-Oszillator	31
3.2.2	Störungsunterdrückung	32

3.2.2.1	Störeinflüsse .....	32
3.2.2.2	Verschmutzungskompensation .....	32
3.2.2.3	Störimpulsausblendung .....	33
3.2.3	Ausführungsformen .....	33
<b>4</b>	<b>Ultraschall-Sensoren (Th. Knittel) .....</b>	<b>35</b>
4.1	Physikalische Grundlagen .....	35
4.1.1	Ultraschallwellenarten in Festkörpern, Flüssigkeiten und Luft ..	35
4.1.2	Transmission und Reflexion an Grenzflächen .....	36
4.1.3	Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schallwellen in Luft .....	38
4.1.4	Abschwächung von Schallwellen in Luft .....	39
4.1.5	Einige Kennwerte verschiedener Materialien .....	40
4.1.6	Huygensches Prinzip und Beugung von Ultraschallwellen ....	41
4.1.7	Erzeugung von Ultraschall in Luft .....	42
4.1.8	Einige Standard-Ultraschallwandler und deren Abstrahlcharakteristik .....	45
4.2	Ultraschallwandler mittlerer Reichweite als Sensoren .....	47
4.2.1	Abstandsmessende Ultraschallsensoren .....	47
4.2.2	Ultraschallsensoren im Schrankenbetrieb .....	52
4.2.3	Fehlermöglichkeiten bei Ultraschallabstandsmessungen .....	55
4.2.4	Anwendungen busfähiger Ultraschallsensoren .....	57
4.3	Zukünftige Entwicklungen .....	57
<b>5</b>	<b>Optische Sensoren (Th. Olbrecht) .....</b>	<b>60</b>
5.1	Physikalische Grundlagen .....	60
5.1.1	Einführung .....	60
5.1.2	Sendeelemente .....	60
5.1.2.1	Lumineszenzdioden .....	60
5.1.2.2	Halbleiter-Laserdioden .....	65
5.1.3	Empfangelemente .....	69
5.1.3.1	Fotodioden .....	69
5.1.3.2	Fototransistoren .....	72
5.1.3.3	Lateraleffektdioden .....	73
5.2	Technik optischer Sensoren .....	76
5.2.1	Grundprinzipien .....	76
5.2.1.1	Der Reflexlichttaster .....	76
5.2.1.2	Die Reflexlichtschranke .....	76
5.2.1.3	Die Durchlichtschranke .....	77
5.2.2	Erweiterte Ausführungen .....	78
5.2.2.1	Reflexlichttaster mit Lichtleitern .....	78
5.2.2.2	Reflexlichttaster mit Hintergrundaussblendung .....	78
5.2.2.3	Reflexlichtschranken mit Polarisationsfiltern .....	79
5.2.3	Signalverarbeitung in optischen Schaltern .....	80
5.2.3.1	Abschätzung der optischen Empfangsleistung .....	80
5.2.3.2	Störeinflüsse bei optischen Schaltern .....	82
5.2.3.3	Störunterdrückung durch optische Modulation .....	90

5.2.3.4	Störunterdrückung durch Bandpaß .....	91
5.2.3.5	Störunterdrückung durch Austastung .....	92
5.2.3.6	Störunterdrückung durch digitale Filterung .....	93
5.2.3.7	Funktionsreserve .....	95
5.2.3.8	Schutz vor gegenseitiger Störung .....	96
5.2.4	Ausführungsformen .....	96
<b>6</b>	<b>Magnetfeldsensoren (W. Helm) .....</b>	<b>99</b>
6.1	Hallsensoren .....	102
6.1.1	Grundlagen und verwendete Materialien .....	102
6.1.2	Anwendung als Abstandssensor .....	105
6.2	Magnetoresistive Sensoren .....	107
6.2.1	Verschiedene Materialien .....	107
6.2.2	Elektrische Schaltung .....	109
6.2.3	Anwendung als Abstandssensor .....	111
6.3	Sättigungskernsonden .....	112
6.3.1	Aufbau und Wirkungsweise .....	112
6.3.2	Sensoren für die Automatisierungstechnik .....	114
6.3.3	Anwendungen .....	116
<b>7</b>	<b>Identifikationssensoren (M. Kessler) .....</b>	<b>118</b>
7.1	Einführung .....	118
7.2	Barcode .....	119
7.2.1	EAN-Code .....	119
7.2.2	2-aus-5-Code .....	121
7.2.3	Lesegeräte .....	121
7.2.4	Anwendung .....	122
7.3	Induktive Identifikationssysteme .....	122
7.3.1	Systemstruktur .....	123
7.3.2	Induktive Kopplung .....	123
7.3.3	Datenübertragung im Read-Only-System .....	125
7.3.4	Datenübertragung im Read/Write-System .....	126
7.3.5	Datensicherung auf der induktiven Übertragungsstrecke .....	128
7.3.6	Lesekopf und Auswerteeinheit .....	128
7.3.7	Anwendungen .....	130
7.4	Mechanische Codierung .....	132
<b>8</b>	<b>Temperatursensoren (G. Schnell) .....</b>	<b>134</b>
8.1	Thermoresistive Sensoren .....	134
8.1.1	Metalle .....	134
8.1.1.1	Die Theorie .....	134
8.1.1.2	Der Einfluß des Meßstromes auf die Genauigkeit .....	135
8.1.1.3	Elektrische Beschaltungen der Temperatursensoren .....	135
8.1.2	Keramikwerkstoffe .....	137
8.1.2.1	PTC-Widerstände .....	137

8.1.2.2	NTC-Widerstände .....	139
8.1.2.3	Elektrische Beschaltung .....	140
8.2	Thermoelektrische Sensoren .....	142
8.2.1	Grundlagen .....	142
8.2.2	Technische Ausführung .....	143
8.2.3	Elektrische Kompensation .....	145
8.2.4	Vergleich .....	146
8.3	Berührunglose Temperaturmessung .....	146
8.3.1	Prinzip .....	146
8.3.2	Gesetze der Temperaturstrahlung .....	148
8.3.3	Ausführungsformen .....	149
8.3.3.1	Gesamtstrahlungspyrometer .....	149
8.3.3.2	Teilstrahlungspyrometer .....	149
8.3.3.3	Farbpyrometer .....	150
8.3.4	Thermosensoren .....	152
9	Verformungssensoren (DMS) ( <i>H. G. Conrady</i> ) .....	153
9.1	Einleitung .....	153
9.2	Mechanische Grundlagen .....	153
9.2.1	Absolutlängenänderung .....	153
9.2.2	Relative Längenänderung (Dehnung) .....	154
9.2.3	Mechanische Spannung .....	154
9.2.4	Elastizitätsmodul .....	155
9.3	Aufbau und Wirkungsweise des Dehnungsmeßstreifens (DMS) .....	156
9.3.1	Physikalisches Grundprinzip .....	156
9.3.2	Metallische DMS .....	157
9.3.3	Aufgedampfte DMS (Dünnschicht-DMS) .....	158
9.3.4	Halbleiter-DMS .....	158
9.4	Die elektrische Beschaltung des DMS .....	159
9.5	Beispiel .....	161
10	Weg- und Winkelsensoren ( <i>F. Dietrich, H. Thomer</i> ) .....	163
10.1	Übersicht .....	163
10.2	Analoge Sensoren .....	163
10.2.1	Tauchanker .....	163
10.2.1.1	Drossel .....	163
10.2.1.2	Differentialtransformator .....	164
10.2.2	Potentiometer .....	165
10.2.2.1	Allgemeines .....	165
10.2.2.2	Linearität .....	165
10.2.2.3	Anwendungsbeispiele .....	167
10.2.3	Induktiver Wegsensor .....	167
10.2.3.1	Wirkungsweise .....	167
10.2.3.2	Linearität und Meßfehler .....	168
10.2.3.3	Anwendungsmöglichkeiten .....	168

10.3	Digitale Sensoren .....	169
10.3.1	Inkrementale Sensoren .....	170
10.3.2	Absolutsensoren .....	172
10.4	Optische Distanzmessung mittels Triangulation ( <i>G. Kegel</i> ) .....	174
10.4.1	Einleitung .....	174
10.4.2	Optoelektronische Triangulation .....	175
10.4.2.1	Optoelektronische Triangulation mit diffusen Zielen ..	175
10.4.2.2	Erzeugung des Meßstrahls .....	176
10.4.2.3	Empfangsgeometrie .....	176
10.4.3	Anwendung der optoelektronischen Triangulation .....	177
10.4.3.1	Hintergrundausbildung .....	177
10.4.3.2	Allgemeine lineare Distanzmessung .....	178
10.4.4	Geometrie einer linearen Distanzmessung .....	178
10.4.5	Dynamik des Systems .....	179
10.4.6	Zusammenfassung .....	180
10.5	Optoelektronische Distanzmessung mittels Phasenbestimmung ( <i>G. Kegel</i> ) .....	180
10.5.1	Einleitung .....	180
10.5.2	Laufzeitmessung elektromagnetischer Wellen .....	181
10.5.2.1	Laufzeitmessung mit Licht .....	181
10.5.3.1	Große Meßdistanzen .....	181
10.5.3.2	Schnelle Zählbausteine .....	181
10.5.3.3	Mehrfache der modulierten Phasenlängen .....	182
10.5.3.4	FMCW-Verfahren .....	182
10.5.3.5	Holographie .....	183
10.5.3.6	Impulsverlängerung .....	183
10.5.3.7	Laufzeitverfahren mit zwei Phasenlagen .....	183
10.5.4	Phasenmessung .....	184
10.5.4.1	Phase als Funktion des Abstandes .....	184
10.5.4.2	Einführung der Zwischenfrequenz .....	184
10.5.4.3	Meßschaltung .....	184
10.6	Magnetostriktiver Wegsensor ( <i>V. Horn</i> ) .....	188
10.6.1	Das magnetostriktive Prinzip .....	188
10.6.1.1	Längsmagnetostriktion .....	188
10.6.1.2	Quer- und Volumenmagnetostriktion .....	188
10.6.2	Der Wegaufnehmer .....	188
10.6.2.1	Das Meßprinzip .....	188
10.6.2.2	Mechanischer Aufbau .....	191
10.6.3	Einsatz und Anwendung .....	191
10.6.3.1	Einsatz in Hydraulikzylindern .....	191
10.6.3.2	Einsatz in Spritzgußmaschinen .....	192
11	Durchflußmessung ( <i>S. Probst, G. Schnell</i> ) .....	193
11.1	Magnetisch-induktive Durchflußmessung .....	193
11.1.1	Allgemeines .....	193
11.1.2	Meßprinzip .....	193

11.1.3	Sensor und Meßumformer .....	195
11.1.4	Technische Daten .....	195
11.1.5	Anwendungsmöglichkeiten .....	196
11.2	Thermische Durchflußsensoren .....	197
11.2.1	Allgemeines .....	197
11.2.2	Meßprinzip .....	197
11.2.3	Sensor und Meßumformer .....	198
11.3	Mechanische Durchflußmessung .....	200
11.3.1	Allgemeines .....	200
11.3.2	Differenzdruckverfahren .....	200
11.3.3	Verdrängungsverfahren .....	201
11.3.4	Schwebekörper .....	202
11.3.5	Turbinendurchflußmesser .....	202
11.3.6	Coriolis-Prinzip .....	204
11.3.7	Wirbelfrequenz-Durchflußmesser .....	206
11.4	Durchflußmessung mit Ultraschall .....	207
<b>12</b>	<b>Drucksensoren (F. J. Lohmeier) .....</b>	<b>209</b>
12.1	Einführung .....	209
12.2	Sensoren mit Verformungskörper .....	209
12.2.1	Dehnungssensoren .....	210
12.2.1.1	Grundlagen .....	210
12.2.1.2	Sensoren mit Dünnschicht-DMS .....	211
12.2.1.2.1	Aufbau .....	212
12.2.1.2.2	Meßeigenschaften .....	213
12.2.1.3	Piezoresistive Sensoren .....	215
12.2.1.3.1	Grundlagen .....	215
12.2.1.3.2	Aufbau des Sensorelementes .....	216
12.2.1.3.3	Meßeigenschaften .....	216
12.2.2	Sensoren mit Wegmessung .....	217
12.2.2.1	Kapazitive Sensoren .....	217
12.2.2.1.1	Meßprinzip .....	217
12.2.2.1.2	Differenzdruck-Sensor .....	218
12.2.2.2	Weitere Wegmeßprinzipien .....	219
12.3	Drucksensoren mit intrinsischem Meßprinzip .....	219
12.3.1	Piezoelektrische Sensoren .....	219
12.3.1.1	Der piezoelektrische Effekt .....	219
12.3.1.2	Beschaltung von piezoelektrischen Kristallen .....	220
12.3.1.3	Materialien und Anwendungen .....	220
12.4	Sensoren für spezielle Anwendungen .....	221
<b>13</b>	<b>Füllstandsmeßsensoren (W. Köhler) .....</b>	<b>222</b>
13.1	Einführung und Übersicht .....	222
13.2	Sicht-/optische Füllhöhenbestimmung .....	224
13.2.1	Schauglas .....	224

13.2.2	Lichtleiter/Prisma .....	224
13.3	Füllhöhe über Schwimmer .....	225
13.3.1	Schwimmkörper .....	225
13.3.2	Schwimmschalter .....	226
13.3.3	Verdränger .....	227
13.4	Elektromechanische Füllhöhenbestimmung .....	228
13.4.1	Lotsystem .....	228
13.4.2	Waage .....	228
13.4.3	Schwinggabel/Schwingrohr .....	229
13.5	Füllhöhe über Druck .....	230
13.5.1	Pneumatischer Staudruckschalter .....	230
13.5.2	Hydrostatische Füllstandssonde .....	230
13.5.3	Einperlrohr .....	231
13.6	Konduktive Füllhöhenenerfassung .....	231
13.7	Kapazitive Füllhöhenbestimmung .....	232
13.7.1	Schaltsonde .....	232
13.7.2	Kontinuierlich messende Sonde .....	233
13.8	Füllhöhe über Absorption .....	234
13.8.1	Mikrowellen-Signalschranke .....	234
13.8.2	Gammastrahlen .....	234
13.9	Füllhöhe über Reflexion .....	235
13.9.1	Infrarotimpuls laser .....	235
13.9.2	Ultraschallimpulse .....	235
13.9.3	Mikrowellensensor ( <i>P. Adolphs</i> ) .....	236
14	<b>Chemische Sensoren (<i>W. Schaefer</i>)</b> .....	240
14.1	Übersicht .....	240
14.2	Wirkungsweise chemischer Sensoren .....	241
14.3	Physikalisch wirkende Sensoren .....	242
14.3.1	Massesensoren .....	242
14.3.2	Wärmeleitfähigkeit .....	243
14.3.3	Paramagnetische Sauerstoffmessung .....	245
14.3.4	Elektrolytische Leitfähigkeit (Konduktometrie) .....	247
14.4	Physikalisch-chemisch wirkende Sensoren .....	249
14.4.1	Halbleitersensoren .....	249
14.4.2	Elektrochemische Sensoren .....	250
14.4.3	Ionisationsverfahren .....	256
14.4.4	Chemilumineszenz-Detektoren .....	257
14.4.5	Katalytische Sensoren (Pellistoren) .....	257
14.5	Optisch wirkende Sensoren .....	258
14.5.1	Nicht-dispersive Verfahren .....	258
14.5.2	Dispersive Verfahren .....	261
14.5.3	Laser, Faseroptik .....	263
14.6	Analyseverfahren .....	265
14.6.1	Chromatographie .....	265

14.6.2	Fließinjektionsanalyse (FIA) .....	267
14.6.3	Biosensoren .....	268
14.6.4	Multisensorsystem .....	269
<b>15</b>	<b>CCD-Sensoren (G. Frömel) .....</b>	<b>271</b>
15.1	Grundlagen .....	271
15.2	Funktion und Aufbau .....	272
15.2.1	Eingangsstufe .....	272
15.2.2	Das CCD-Schieberegister .....	273
15.2.3	Ausgangsstufe .....	277
15.3	Kennwerte .....	278
15.3.1	Ansprechempfindlichkeit (Responsivity R) .....	278
15.3.2	Ungleichförmigkeit (Photo Response Non-Uniformity PRNU) .....	279
15.3.3	Dunkelspannung (Dark Signal $U_{DS}$ ) .....	280
15.3.4	Sättigungsspannung und Überbelichtung .....	280
15.3.5	Spektrale Empfindlichkeit (Spectral Response) .....	281
15.3.6	Transporteffizienz (Charge Transfer Efficiency CTE) .....	281
15.3.7	Rauschen .....	282
15.3.8	Dynamik .....	282
15.3.9	Ortsauflösung (OTF, MÜF, MTF, CTF) .....	282
15.4	Aufbauvarianten .....	284
15.4.1	Zeilensensoren .....	284
15.4.2	Flächensensoren .....	285
15.5	CCD-Kameras .....	288
15.5.1	Entwicklungshilfsmittel .....	288
15.5.2	Zeilenkameras .....	288
15.5.3	Flächenkameras .....	289
15.6	Signalverarbeitung .....	290
15.7	Anwendungen .....	291
15.7.1	Aufgaben in der Automatisierungstechnik .....	291
15.7.2	Geräteauswahl .....	292
15.7.3	Beispiel 1: Messung einer Modulationsübertragungsfunktion ..	293
15.7.4	Beispiel 2: Ein System zur Erkennung, Lokalisation und Bearbeitung von Werkstücken .....	294
<b>16</b>	<b>Gasfeuchtesensoren (G. Scholz) .....</b>	<b>297</b>
16.1	Einleitung .....	297
16.2	Beschreibungsformen der Gasfeuchte .....	298
16.3	Verfahren der Gasfeuchtemessungen .....	298
16.3.1	$Al_2O_3$ -Sensoren .....	298
16.3.2	Tauspiegelhygrometer .....	299
16.3.3	Psychrometer .....	300
16.3.4	Kapazitive Hygrometer .....	302
16.3.5	Elektrolytische Sensoren .....	303
16.3.6	LiCl-Sensoren .....	303

16.3.7	Faserhygrometer .....	304
16.3.8	Sonstige Verfahren .....	305
16.4	Marktkategorien .....	305
<b>17</b>	<b>Serielle Sensor/Aktor-Schnittstellen (M. Kessler, J. Göddertz, A. Schmitz) ..</b>	<b>307</b>
17.1	Punkt-zu-Punkt-Verbindungen .....	307
17.1.1	RS232 .....	307
17.1.2	RS422 .....	307
17.1.3	Stromschleife .....	308
17.2	Kommunikation in der Automatisierungstechnik .....	308
17.3	Das ISO-Schichtenmodell für verteilte Systeme .....	309
17.3.1	Physikalische Ebene .....	309
17.3.1.1	Übertragung von Hilfsenergie .....	309
17.3.1.2	Bitübertragung .....	310
17.3.1.3	Bustopologie .....	312
17.3.2	Verbindungsebene .....	314
17.3.2.1	Datensicherung .....	314
17.3.2.2	Buszugriffsverfahren .....	316
17.3.2.2.1	Master-Slave-Verfahren .....	316
17.3.2.2.2	Multimaster-Systeme .....	316
17.3.3	Anwendungsebene .....	317
17.4	Anforderungen an Sensor/Aktor-Bussysteme .....	318
17.5	Aktor-Sensor-Interface (ASI) .....	319
17.5.1	Systemstruktur .....	319
17.5.2	Übertragungstechnik .....	320
17.5.2.1	Hilfsenergie .....	321
17.5.2.2	Bitcodierung .....	321
17.5.3	ASI-Nachrichten .....	321
17.5.4	ASI-Master .....	323
17.6	Ein einfacher Sensor/Aktorbus (VariNet-2) .....	324
17.6.1	Übertragungstechnik .....	324
17.6.2	VariNet-2-Sensor/Aktorbus-Protokoll .....	325
17.6.2.1	Adressierung .....	325
17.6.2.2	Übertragungsdienste .....	326
17.6.2.3	Telegramme .....	326
17.6.3	Anwendungsschnittstelle .....	327
17.6.3.1	Master .....	327
17.6.3.2	Bus-Projektierung .....	328
17.7	PROFIBUS .....	329
17.7.1	Das PROFIBUS-Konzept .....	329
17.7.2	Schicht 1 – Übertragungstechnik .....	330
17.7.3	Schicht 2 – Datenübertragungsschicht .....	331
17.7.3.1	Telegrammaufbau .....	333
17.7.4	Schicht 7 – Die Anwendungsschicht .....	335
17.7.4.1	Kommunikationsobjekte .....	335
17.7.4.1.1	Objektbeschreibung .....	335

---

17.7.4.1.2 Objektverzeichnis .....	337
17.7.4.2 Kommunikationsbeziehungen .....	337
17.7.4.2.1 Verbindungstypen .....	338
17.7.4.3 Dienste .....	339
17.7.4.3.1 Produktivdienste .....	339
17.7.4.3.2 Managementdienste .....	339
17.7.5 Profile .....	339
17.7.6 Projektierung .....	340
17.7.7 Die PROFIBUS-Nutzerorganisation .....	340
<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>341</b>