

# Índice general

98

<b>Prólogo de la primera edición</b> .....	XI
<b>Prólogo a la segunda edición</b> .....	XIII
<b>1. Introducción a los sistemas de medida</b> .....	1
1.1 Conceptos generales y terminología .....	1
1.1.1 Sistemas de medida .....	1
1.1.2 Transductores, sensores y accionamientos .....	2
1.1.3 Acondicionamiento y presentación .....	4
1.1.4 Interfases, dominios de datos y conversiones .....	4
1.2 Tipos de sensores .....	6
1.3 Configuración general entrada-salida .....	9
1.3.1 Interferencias y perturbaciones internas .....	9
1.3.2 Técnicas de compensación .....	10
1.4 Características estáticas de los sistemas de medida .....	12
1.4.1 Exactitud, fidelidad, sensibilidad .....	12
1.4.2 Otras características: linealidad, resolución .....	15
1.4.3 Errores sistemáticos .....	16
1.4.4 Errores aleatorios .....	17
1.5 Características dinámicas de los sistemas de medida .....	18
1.5.1 Sistemas de medida de orden cero .....	19
1.5.2 Sistemas de medida de primer orden .....	20
1.5.3 Sistemas de medida de segundo orden .....	23
1.6 Características de entrada: impedancia .....	28
1.7 Sensores primarios .....	29
1.7.1 Sensores de temperatura: bimetales .....	30
1.7.2 Sensores de presión .....	32
1.7.3 Sensores de flujo y de caudal .....	35
1.7.4 Sensores de nivel .....	40
1.7.5 Sensores de fuerza y par .....	42
1.8 Materiales empleados en sensores .....	42
1.8.1 Conductores, semiconductores y dieléctricos .....	45
1.8.2 Materiales magnéticos .....	46
1.9 Técnicas de preparación de materiales para microsensores .....	49
1.9.1 Técnicas de película gruesa .....	49
1.9.2 Técnicas de película fina .....	50
1.9.3 Micromecanizado .....	51

1.10	Problemas .....	52
1.11	Referencias .....	52
<b>2.</b>	<b>Sensores resistivos .....</b>	<b>54</b>
2.1	Potenciómetros .....	54
2.2	Galgas extensométricas .....	60
2.2.1	Fundamento: efecto piezorresistivo .....	60
2.2.2	Tipos y aplicaciones .....	65
2.3	Detectores de temperatura resistivos (RTD) .....	68
2.4	Termistores .....	72
2.4.1	Modelos .....	72
2.4.2	Tipos y aplicaciones .....	79
2.4.3	Linealización .....	83
2.5	Magnetorresistencias .....	86
2.6	Fotorresistencias (LDR) .....	88
2.7	Higrómetros resistivos .....	91
2.8	Resistencias semiconductoras para detección de gases .....	92
2.9	Problemas .....	95
2.10	Referencias .....	97
<b>3.</b>	<b>Acondicionadores de señal para sensores resistivos .....</b>	<b>99</b>
3.1	Medida de resistencias .....	99
3.2	Divisores de tensión .....	103
3.2.1	Potenciómetros .....	103
3.2.2	Aplicación a termistores .....	111
3.2.3	Medidas dinámicas .....	113
3.3	Puente de Wheatstone. Medidas por comparación .....	114
3.4	Puente de Wheatstone. Medidas por deflexión .....	117
3.4.1	Sensibilidad y linealidad .....	117
3.4.2	Linealización analógica de puentes de sensores resistivos .....	122
3.4.3	Calibración y ajuste de puentes de sensores .....	123
3.4.4	Medidas diferenciales y medias. Compensaciones .....	125
3.4.5	Alimentación del puente de Wheatstone .....	132
3.4.6	Alternativas para la detección en el puente de Wheatstone .....	136
3.5	Amplificadores de instrumentación .....	137
3.5.1	Amplificadores diferenciales .....	137
3.5.2	Amplificador de instrumentación basado en dos AO .....	142
3.5.3	Amplificador de instrumentación basado en tres AO .....	143
3.5.4	Amplificadores de instrumentación monolíticos .....	150
3.6	Interferencias .....	150
3.6.1	Tipos de interferencias y su reducción .....	150
3.6.2	Puesta a masa de circuitos de señal .....	161
3.6.3	Puesta a masa de blindajes .....	163
3.6.4	Amplificadores de aislamiento .....	167

3.7	Problemas .....	169
3.8	Referencias .....	171
<b>4.</b>	<b>Sensores de reactancia variable y electromagnéticos .....</b>	<b>173</b>
4.1	Sensores capacitivos .....	173
4.1.1	Condensador variable .....	173
4.1.2	Condensador diferencial .....	183
4.2	Sensores inductivos .....	187
4.2.1	Sensores basados en una variación de reluctancia .....	187
4.2.2	Sensores basados en corrientes de Foucault .....	192
4.2.3	Transformadores diferenciales (LVDT) .....	194
4.2.4	Transformadores variables .....	202
4.2.5	Sensores magnetoelásticos .....	214
4.2.6	Sensores basados en el efecto Wiegand .....	216
4.3	Sensores electromagnéticos .....	218
4.3.1	Sensores basados en la ley de Faraday .....	218
4.3.2	Sensores basados en el efecto Hall .....	224
4.4	Problemas .....	229
4.5	Referencias .....	231
<b>5.</b>	<b>Acondicionadores de señal para sensores de reactancia variable .....</b>	<b>232</b>
5.1	Problemas y alternativas .....	232
5.2	Puentes y amplificadores de alterna .....	235
5.2.1	Sensibilidad y linealidad .....	235
5.2.2	Linealización analógica de puentes capacitivos .....	239
5.2.3	Amplificadores de alterna. Desacoplamiento .....	240
5.2.4	Blindajes electrostáticos. Guardas activas .....	243
5.2.5	Convertidores de señal alterna-continua .....	245
5.3	Amplificadores de portadora y detección coherente .....	247
5.3.1	Fundamento y estructura del amplificador de portadora .....	247
5.3.2	Detectores de fase .....	252
5.3.3	Aplicación al LVDT .....	259
5.4	Acondicionadores específicos para sensores capacitivos .....	260
5.5	Convertidores resolver a digital y digital a resolver .....	263
5.5.1	Convertidores sincro-resolver .....	263
5.5.2	Convertidores digital a resolver (D/R) .....	266
5.5.3	Convertidores resolver a digital (R/D) .....	267
5.6	Problemas .....	269
5.7	Referencias .....	271
<b>6.</b>	<b>Sensores generadores .....</b>	<b>273</b>
6.1	Sensores termoeléctricos: termopares .....	273
6.1.1	Efectos termoeléctricos reversibles .....	273
6.1.2	Tipos de termopares .....	277
6.1.3	Normas de aplicación práctica para los termopares .....	282

6.1.4	Compensación de la unión de referencia en circuitos de termopares .....	285
6.2	Sensores piezoeléctricos .....	288
6.2.1	Efecto piezoeléctrico .....	288
6.2.2	Materiales piezoeléctricos .....	292
6.2.3	Aplicaciones .....	293
6.3	Sensores piroeléctricos .....	299
6.3.1	Efecto piroeléctrico .....	299
6.3.2	Materiales piroeléctricos .....	301
6.3.3	Radiación: leyes de Planck, Wien y Stefan-Boltzmann ..	301
6.3.4	Aplicaciones .....	304
6.4	Sensores fotovoltaicos .....	305
6.4.1	Efecto fotovoltaico .....	305
6.4.2	Materiales y aplicaciones .....	306
6.5	Sensores electroquímicos .....	307
6.6	Problemas .....	310
6.7	Referencias .....	312
<b>7.</b>	<b>Acondicionadores de señal para sensores generadores</b> .....	<b>314</b>
7.1	Amplificadores con bajas derivas .....	315
7.1.1	Desequilibrios y derivas en amplificadores operacionales .....	315
7.1.2	Amplificadores operacionales con autocorrección de la deriva .....	322
7.1.3	Amplificadores compuestos .....	324
7.1.4	Desequilibrios y derivas en amplificadores de instrumentación .....	325
7.2	Amplificadores electrométricos .....	327
7.2.1	Amplificadores de transimpedancia .....	328
7.2.2	Electrómetros logarítmicos .....	330
7.2.3	Electrómetros con puente de varactores .....	332
7.2.4	Medida de corrientes débiles mediante integración .....	334
7.2.5	Precauciones en el diseño de circuitos electrométricos ..	335
7.3	Amplificadores de carga .....	337
7.4	Ruido en amplificadores .....	342
7.4.1	Ruido en amplificadores operacionales .....	342
7.4.2	Ruido en amplificadores de instrumentación .....	349
7.5	Derivas y ruido en resistencias .....	351
7.5.1	Derivas en resistencias .....	351
7.5.2	Derivas en resistencias variables (potenciómetros) .....	354
7.5.3	Ruido en resistencias .....	355
7.6	Problemas .....	357
7.7	Referencias .....	358
<b>8.</b>	<b>Sensores digitales</b> .....	<b>359</b>
8.1	Codificadores de posición .....	359

8.1.1	Codificadores incrementales .....	360
8.1.2	Codificadores absolutos .....	366
8.2	Sensores autorresonantes .....	370
8.2.1	Sensores basados en resonadores de cuarzo .....	371
8.2.2	Galgas acústicas .....	374
8.2.3	Sensores basados en cilindros vibrantes .....	375
8.2.4	Sensores basados en dispositivos de ondas superficiales (SAW) .....	376
8.2.5	Caudalímetros de vórtices (digitales) .....	379
8.3	Problemas .....	380
8.4	Referencias .....	380
<b>9.</b>	<b>Otros métodos de detección .....</b>	<b>382</b>
9.1	Sensores basados en uniones semiconductoras .....	382
9.1.1	Termómetros basados en uniones semiconductoras .....	383
9.1.2	Magnetodiodos y magnetotransistores .....	387
9.1.3	Fotodiodos y fototransistores .....	388
9.1.4	Detectores de radiaciones nucleares basados en uniones <i>p-n</i> .....	396
9.2	Sensores basados en transistores MOSFET .....	398
9.3	Sensores basados en dispositivos de acoplamiento de carga (CCD) .....	401
9.3.1	Fundamentos .....	401
9.3.2	Tipos de sensores de imagen CCD y sus aplicaciones .....	404
9.4	Sensores basados en ultrasonidos .....	408
9.4.1	Fundamento .....	408
9.4.2	Aplicaciones .....	410
9.5	Sensores basados en fibras ópticas .....	414
9.6	Biosensores .....	417
9.7	Problemas .....	419
9.8	Referencias .....	421
<b>10.</b>	<b>Sensores inteligentes e instrumentación digital .....</b>	<b>423</b>
10.1	Concepto de sensor inteligente .....	424
10.2	Técnicas de compensación integrables .....	425
10.3	Osciladores variables .....	427
10.3.1	Osciladores senoidales .....	428
10.3.2	Osciladores de relajación .....	434
10.3.3	Osciladores variables CMOS .....	437
10.3.4	Linealidad en osciladores variables .....	439
10.4	Conversión a frecuencia o periodo .....	440
10.4.1	Conversión tensión-frecuencia .....	441
10.4.2	Conversión directa a frecuencia o periodo .....	443
10.5	Interfaces directas sensor-microcontrolador .....	446
10.5.1	Medidas de frecuencia .....	447
10.5.2	Medidas de periodo y tiempo .....	448

**X** *Índice general*

10.5.3	Cálculos y compensaciones .....	453
10.5.4	Medidas de velocidad. Tacómetros digitales .....	455
10.6	Sistemas de comunicación para sensores .....	457
10.6.1	Telemida por corriente: bucle 4-20 mA .....	458
10.6.2	Comunicación simultánea analógica y digital: HART ...	460
10.6.3	Instrumentación digital: buses para sensores .....	461
10.7	Problemas .....	463
10.8	Referencias .....	464

<b>Apéndice. Soluciones de los problemas</b> .....	465
--	-----

<b>Índice alfabético</b> .....	474
--------------------------------	-----