

INDICE

Capítulo 1	
Introducción a la instrumentación electrónica	1
1.1. introducción	
1.1.1. variables y señales	2
1.1.2. la instrumentación electrónica en el control de procesos	5
1.2. sistemas de medida	9
1.2.1. funciones de un sistemas de medida	10
1.2.2. sistemas de medida multicanal	11
1.2.3. arquitectura de los sistemas de instrumentación	13
1.3. características estáticas	
1.3.1. curva de calibración (Static Transfer Function)	15
1.3.2. errores: exactitud, veracidad y precisión	20
1.3.3. programación de errores	21
1.3.4. calibración	23
1.4. características dinámicas	
1.4.1. función de transferencia	25
1.4.2. caracterización de la función de transferencia	28
1.4.3. evaluación de la respuesta dinámica	32
Capítulo 2	
Ampliación	41
2.1. conceptos generales	
2.1.1. amplificar y modificar los valores de una señal	
2.1.2. ruido generado	46
2.1.3. filtrado	47
2.2. el amplificador operacional	
2.2.1. el amplificador operacional ideal	48
2.2.2. el amplificador operacional ideal realimentado en tensión	51
2.2.3. parámetros reales de los operacionales	52
2.2.3.1. características estáticas de los amplificadores operacionales	55
2.2.3.2. características dinámicas de los amplificadores operacionales	76
2.2.3.3. ruido interno	86
Capítulo 3	
Circuitos amplificadores de uso en instrumentación	99
3.1. amplificadores de instrumentación	
3.1.1. particularidades del amplificador de instrumentación	100
3.1.2. parámetros que caracterizan a un amplificador de instrumentación	110
3.2. amplificadores aislados o de aislamiento	115
3.2.1. tipos de amplificadores aislados	116
3.2.2. parámetros característicos de los amplificadores de aislamiento	120
3.2.3. aplicaciones de los amplificadores aislados	
3.3. amplificadores de transimpedancia y transconductancia	123
3.3.1. amplificador de transimpedancia	124
3.3.2. amplificador de transconductancia	126
3.4. otros tipos de amplificadores	
3.4.1. amplificadores troceadores	128
3.4.2. amplificadores logarítmicos	130
3.5. algunos criterios de selección de amplificadores operacionales para	134

instrumentación	
3.6. otras consideraciones en el diseño de circuitos con amplificadores operacionales	136
3.6.1. circuitos basados en operacionales con resistencia reales	137
3.6.2. circuitos integradores	139
3.6.3. circuitos derivadores	141
Capítulo 4 Filtros analógicos	145
4.1. introducción	
4.2. clasificación de filtros	146
4.3. especificaciones de un filtro	
4.3.1. especificaciones físicas	148
4.3.2. especificaciones temporales	150
4.4. aproximaciones matemáticas	151
4.5. filtros pasivos RC	156
4.6. filtros activo	
4.6.1. estructuras para la realización de filtros activos	161
4.6.2. diseño de filtros paso bajo	
4.6.3. diseño de filtros paso alto	169
4.6.4. diseño de filtros paso banda y rechazo de banda	170
4.7. filtros activos de variables de estado	173
4.8. filtros de capacidad conmutada	175
4.9. selección de componentes	179
4.10. programas de ayuda al diseño de filtros	182
4.11. comparación de tecnologías de filtros	183
4.12. aplicaciones de los filtros	184
Capítulo 5 Sensores potenciométrico	191
5.1. características generales	
5.2. parámetros característicos de los potenciométricos	193
5.3. tipos de potenciométricos	194
5.4. acondicionamiento de señal en potenciométricos	198
5.5. errores debidos al cableado	203
Capítulo 6 Sensores de temperatura de resistencia metálica	207
6.1. características generales	
6.2. tipos de RTD	210
6.3. el autocalentamiento	212
6.4. aplicaciones	
6.5. acondicionamiento de la señal	213
6.5.1. puente de Wheatstone alimentado con tensión	
6.5.1.1. linealidad	214
6.5.1.2. sensibilidad	215
6.5.1.3. conexión remota del puente	217
6.5.2. puente de Wheatstone por corriente	
6.5.2.1. linealidad	220
6.5.2.2. sensibilidad	221
6.5.3. otros circuitos acondicionadores para RTDs	223
Capítulo 7	227

Galgas extensométricas	
7.1. principio de funcionamiento	
7.2. tipos de galgas extensométricas	230
7.3. utilización de las galgas extensométricas	232
7.4. circuitos de medida	234
7.5. utilización de los circuitos de medida	239
7.6. aplicaciones	
7.6.1. medida de estados de deformación	242
7.6.2. medidas de otras variables con galgas extensométricas	245
Capítulo 8	
Termistores y fotorresistencias	249
8.1. introducción	
8.2. termistores: NTCs	
8.2.1. características R-T de una NTC	
8.2.2. aproximaciones de la característica resistencia-temperatura	251
8.2.3. la NTC como elemento de circuito	252
8.2.4. la NTC como sensor de temperatura	254
8.2.5. otras aplicaciones de las NTCS	258
8.3. Termistores de coeficientes de temperatura positivo (PTCs)	
8.3.1. principio físico de funcionamiento	262
8.3.2. características generales	
8.3.3. aplicaciones	266
8.4. fotorresistencias (LARs)	
8.4.1. principio de funcionamiento	268
8.4.2. modelo de la LDR	270
8.4.3. aplicaciones de la LDR	271
Capítulo 9	
Otros Sensores resistivos	277
9.1. Sensores de gases de óxidos metálicos semiconductores	
9.2. magnetorresistencias	281
Capítulo 10	
Sensores capacitivos	285
10.1. introducción	
10.2. variación de la capacidad en un condensador de placas paralelas	
10.2.1. condensador simple	287
10.2.2. condensador diferencial	
10.3. circuitos de medida	289
10.3.1. señal de excitación	
10.3.2. amplificador de alterna	290
10.3.3. puentes de alterna	291
10.3.4. oscilador de frecuencia variable	
10.3.5. demodulador síncrono	292
10.3.6. circuitos de capacidad conmutada	293
10.4. detectores de proximidad capacitivos	295
10.5. Sensores capacitivos en silicio	297
Capítulo 11	
Sensores inductivos	305
11.1. introducción	
11.2. Sensores inductivos básicos	307

11.2.1. sistemas con sensores inductivos	
11.2.2. circuitos de medida	309
11.2.3. sistemas de medidas con sensores inductivos	
11.3. el transformador diferencial línea (LVDT)	311
11.3.1. descripción de funcionamiento	
11.3.2. circuitos de medida	312
11.3.3. consideraciones prácticas en el diseño de circuitos con LVDT	314
11.4. otros sensores inductivos	318
Capítulo 12 Sensores electromagnéticos	325
12.1. introducción	
12.2. Sensores electromagnéticos lineales	
12.3. Sensores electromagnéticos rotativos	326
12.3.1. Sensores electromagnéticos rotativos de velocidad angular	327
12.3.2. Sensores electromagnéticos rotativos de posición angular	329
Capítulo 13 Termopare	333
13.1. principio de funcionamiento	
13.2. tipos de termopare	335
13.3. curvas de calibración	337
13.4. efectos de las uniones parasitas	
13.5. acondicionamiento de señal	341
Capítulo 14 Sensores piezoeléctricos	347
14.1. introducción	
14.2. comportamientos de los materiales piezoeléctricos	350
14.3. los dispositivos piezoeléctricos como sensores	
14.3.1. medida de fuerza, presión y aceleración	353
14.3.2. problemática de la utilización de sensores piezoeléctricos	355
14.4. sensores de ultrasonidos	364
14.4.1. los ultrasonidos	
14.4.2. técnicas de pulso-eco	365
14.4.3. aplicaciones de las técnicas de pulso-eco	370
Capítulo 15 Sensores piroeléctricos	
15.1. introducción	377
15.2. principio de funcionamiento	
15.3. circuito equivalente de un sensor piroeléctrico	379
15.4. acondicionamiento de señal	381
15.5. aplicaciones	383
Capítulo 16 Sensores optoelectrónicos generadores de señal	
16.1. fotodiodos y fototransistores	387
16.1.1. principio de funcionamiento de los fotodiodos	
16.1.2. tipos de fotodiodos	390
16.1.3. modelo eléctrico de un fotodiodo	392
16.1.4. características de los fotodiodos	393
16.1.5. acondicionamiento de fotodiodos	
16.1.5.1. generalidades	397

16.1.5.2. amplificador corriente-tensión (amplificador de transimpedancia)	399
16.1.5.3. problemática del amplificador corriente-tensión	403
16.1.6. fototransistores	405
16.1.7. aplicaciones de fotodiodos y fototransistores	406
16.1.7.1. detectores de proximidad fotoeléctricos	407
16.1.7.2. codificadores ópticos (optical encoders)	408
16.1.7.3. sensores de color	
16.1.7.4. detectores de humo y turbidímetros	411
16.1.7.5. espectrometría de absorción	412
16.2. dispositivos de acoplamiento de carga (CCDs)	
16.2.1. principio de funcionamiento	413
16.2.1.1. conversión de la luz a carga eléctrica	414
16.2.1.2. transferencias de las cargas	415
16.2.2. arquitecturas	417
16.2.3. características	421
16.2.4. CCDs para detección de imágenes en color	422
16.3. fotomultiplicadores	
16.3.1. principios de funcionamiento	423
16.3.2. tipos de fotomultiplicadores	
16.3.3. características	424
16.3.4. alimentación	425
16.3.5. acondicionamiento de señal	426
16.3.6. aplicaciones	427
Capítulo 17	
Sensores de efecto Hall	431
17.1. el efecto Hall	
17.2. sensores Hall de salida lineal	433
17.3. sensores Hall de salida digital	436
17.4. modos de operación	438
17.5. dispositivos de medida basados en el efecto Hall	440
17.6. ejemplos de aplicaciones	442
Capítulo 18	
Otros tipos de sensores	451
18.1. sensores de fibra óptica	
18.1.1. fundamentos de a fibra óptica	
18.1.2. clasificación de los sensores de fibra óptica	456
18.1.3. sensores de fibra óptica basados en modulación de amplitud	457
18.1.4. sensores de fibra óptica basados en modulación de fase	461
18.2. biosensores	464
18.1.2. introducción	465
18.2.2. tipos de biosensores	466
Capítulo 19	
Criterios para la selección de sensores	473
19.1. medida de la temperatura	
19.1.1. introducción	
19.1.2. RTD vs. temopar	474
19.1.3. NTC vs. sensores de silicio	477
19.1.4. sensores de radiación	478

19.2. medida de las principales variables mecánicas	481
19.2.1. medida de presencia y proximidad	482
19.2.2. medida de la posición	486
19.2.3. medida de la velocidad	493
19.2.4. medida de la aceleración y de la vibración	496
19.2.5. medida de fuerza y de peso	498
19.2.6. medida de la presión	501
19.2.7. medida del flujo	507
19.2.8. medida del nivel	513
19.3. medida de magnitudes eléctricas	
19.3.1. resistencia shunt	519
19.3.2. transformador de intensidad	521
19.3.3. sensores de efecto hall	523
19.3.4. sensores magnoterresistivos	526
19.3.5. sensores de fibra óptica	528
19.4. medida de magnitudes ópticas	
19.4.1. sistemas de medida de radiaron óptica	530
19.4.2. sensores ópticos	532
Capítulo 20	
Introducción a la transmisión de señal	537
20.1. la trasmisión	
20.1.1. medios de trasmisión	538
20.1.1.1. medios de trasmisión guiados	539
20.1.1.2. medios no guiados	546
20.1.2. codificación de la información	549
20.2. telemedia	550
20.3. bucles de tensión y bucles de corriente	
20.3.1. bucles de tensión	551
20.3.2. bucles de corriente	555
20.3.3. conversión V/I	559
20.3.4. conversión I/V	562
20.3.5. consideraciones prácticas sobre los bucles de corriente	563
Capítulo 21	
Modulación y demodulación	567
21.1. modulación con portadora analógica y moduladora analógica	
21.1. modulación AM	569
21.1.2. modulación FM	573
21.2. modulación con portadora analógica y modulación digital	
21.2.1. modulación ASK	577
21.2.2. modulación FSK	580
21.2.3. modulación PSK	583
21.3. modulación con portadora digital y moduladora analógica	586
Capítulo 22	
Variables muestradas	591
22.1. introducción	
22.2. variables analógicas, digitales y muestradas	
22.3. teorema del muestreo	592
22.3.1. el problema del solapamiento o aliasing	596
22.3.2. selección de la frecuencia de muestreo	597

22.3.3. limitaciones	598
22.4. variables submuestreadas	
22.5. reconstrucción de señales a partir de muestras	601
22.6. muestreo y retención	
22.6.1. el modo muestreo	603
22.6.2. el modo retención	604
22.6.3. la transición del modo muestreo al modo retención	605
22.6.4. circuitos prácticos de muestreo y retención	607
22.7. multiplexación de señales analógicas	609
22.7.1. la multiplexación y la creencia de muestreo	611
Capítulo 23	
Conversión entre variables analógicas y digitales	617
23.1. cuantificación	
23.2. codificación	
23.2.1. códigos binarios unipolares	621
23.2.2. códigos binarios bipolares	622
23.3. conversión digital-analógica	624
23.3.1. características de la conversión D/A	
23.3.1.1. características estáticas	625
23.3.1.2. características dinámicas	626
23.3.1.3. errores en los convertidores D/A	628
23.3.2. tipos de convertidores D/A	
23.3.2.1. Convertidores de elementos ponderados en binario	631
23.3.2.2. Convertidores de código de termómetro	634
23.3.2.3. Convertidores de redes escalera (ladder)	637
23.3.2.4. Convertidores de tensiones o corrientes segmentadas	639
23.3.2.5. Convertidores sigma-delta	641
23.3.3. Estructuras de la entrada en los circuitos integrados. Circuitos múltiples	642
23.3.3.1. estructuras de la entrada	
23.3.2. convertidores múltiples	
23.3.4. comparación y criterios de selección	643
23.4. conversión analógica-digital	644
23.4.1. características de la conversión A/D	
23.4.1.1. características estáticas	645
23.4.1.2. características dinámicas	648
23.4.1.3. errores en los convertidores A/D	649
23.4.2. tipos de convertidores	
23.4.2.1. convertidores directos	654
23.4.2.2. convertidores indirectos	659
23.4.3. comparación y criterios de selección	669
Capítulo 24	
Procesadores digitales de señal	673
24.1 microprocesadores, microcontroladores y DSP	
24.2. procesamiento de la información	692
24.3. comunicación hombre-maquina	
24.3.1. presentación de la información	693
24.4. sensores Inteligentes	700
Capítulo 25	707

Sistemas de adquisición de datos	
25.1. introducción a los sistemas de adquisición de datos	
25.2. configuraciones de un sistema de adquisición de datos	708
25.2.1. tarjetas de adquisición de datos	709
25.3. buses de instrumentos	716
25.3.1. el bus GPIB	717
25.3.2. Bus VXI	721
Capítulo 26	
Buses de campo	725
26.1. introducción: conceptos previos	
26.2. características de las redes de control	729
26.3. Buses de campo	732
Capítulo 27	
Software de instrumentación	
27.1. instrumentos digitales	741
27.2. software de instrumentación	
Capítulo 28	
Interferencias electromagnéticas	747
28.1 introduccion	
28.1.1. definiciones	
28.1.2. desde la fuente a la victima	749
28.1.3. normativa	
28.2. fuentes de interferencia	752
28.2.1. sistemas y componentes sin transistores	753
28.2.2. sistemas y componentes con transistores	755
28.2.3. sistemas generadores de arcos	756
28.2.4. otras fuentes de interferencias	758
28.3. acoplamiento de fuentes de interferencias	
28.3.1. acoplamiento conductivos	759
28.3.2. acoplamientos no conductivos	763
28.4. minimización de los efectos de la interferencias	770
Capítulo 29	
Cableado y apantallado	
29.1. minimización de interferencias conductivas	773
29.1.1. conexionado de las masas y alimentaciones	
29.1.2. problemática de la conexión a tierra	
29.1.2.1. bucles de tierra	775
29.1.2.2. punto de conexión a tierra	781
29.2. minimización de interferencias debidas a acoplamientos inductivos	783
29.3. minimización de interferencias debidas a acoplamientos capacitivos	784
29.3.1. guardas activas	786
29.4. Minimización de interferencias radiadas. pantallas	789
29.4.1. pantallas para campos cercanos	791
Capítulo 30	
Las tarjetas de circuito impreso	797
30.1. aspectos generales en el diseño de circuitos electrónicos y normativa	
30.2. Tarjetas de circuito impreso. tecnologías	801
30.3. consideraciones de diseño de los circuitos impresos para sistemas	803

de instrumentación	
30.3.1. las alimentaciones y la masa	805
30.3.2. las pistas de señal	
30.3.2.1. trazado de pistas para señales referidas a masa	810
30.3.2.2. pistas para señales diferenciales	818
30.4. ¿Qué debemos tener en cuentas?	820
Capítulo 31	
Seguridad en los sistemas de instrumentación	823
31.1. la puesta a tierra	
31.2. seguridad en atmosférica explosivas	826
31.2.1. métodos de protección	828
31.2.2. seguridad intrínseca	
31.2.2.1. riesgo de inflamación debido a chispas	829
31.2.2.2. riesgo de inflamación debido a temperaturas elevadas	
31.2.2.3. interfaz entre circuitos de seguridad intrínsecas y circuitos sin seguridad intrínseca	833
31.2.2.4. la puesta a tierra	835
31.2.2.5. certificación	836
Bibliografía y referencias	839
Índice alfabético	853