

Contenido

Capítulo 1		
Introducción a la instrumentación electrónica		1
1.1 Introducción	1	
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 sistema de medida.....	10	
1.2.2. Sistemas de medida multicanal.....	11	
1.2.3. Arquitecturas de los sistemas de instrumentación.....	13	
1.3 Características estáticas	15	
1.3.1. Curva de calibración (<i>Static Transfer Function</i>).....	15	
1.3.2. Errores: exactitud, veracidad y precisión	20	
1.3.3. Propagación de errores.....	21	
1.3.4. Calibración.....	23	
1.4 Características dinámicas	25	
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		
Amplificación		41
2.1 Conceptos generales.....	41	
2.1.1. Amplificar y modificar los valores de una señal.....	46	
2.1.2. Ruido generado.....	46	
2.1.3. Filtrado	47	
2.2 El amplificador operacional	48	
2.2.1. El amplificador operacional ideal	48	
2.2.2. El amplificador operacional 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.....	99	
3.1.1. Particularidades del amplificador de instrumentación	100	
3.1.2. Parámetros que caracterizan a un amplificador de instrumentación.....	110	

Capítulo 1	Amplificadores operacionales	115	6.2	Tipos de RTD. Comparación general	210
1.1	Amplificadores aislados o de aislamiento	115	6.3	El autocalentamiento	212
1.1.1	Tipos de amplificadores aislados	116	6.4	Aplicaciones	213
1.1.2	Parámetros característicos de los amplificadores de aislamiento	120	6.5	Acondicionamiento de la señal	213
1.1.3	Aplicaciones de los amplificadores aislados	123	6.5.1.	Puente de Wheatstone alimentado con tensión	213
1.2	Amplificadores de transimpedancia y transconductancia	123	6.5.1.1.	Linealidad	214
1.2.1	Amplificador de transimpedancia	124	6.5.1.2.	Sensibilidad	215
1.2.2	Amplificador de transconductancia	126	6.5.1.3.	Conexión remota del puente	217
1.3	Otros tipos de amplificadores	128	6.5.2.	Puente de Wheatstone alimentado por corriente	220
1.3.1	Amplificadores troceadores	128	6.5.2.1.	Linealidad	220
1.3.2	Amplificadores logarítmicos	130	6.5.2.2.	Sensibilidad	221
1.4	Algunos criterios de selección de amplificadores operacionales para instrumentación	134	6.5.3.	Otros circuitos acondicionadores para RTDs	223
1.5	Otras consideraciones en el diseño de circuitos con amplificadores operacionales	136			
1.5.1	Circuitos basados en operacionales con resistencias reales	137			
1.5.2	Circuitos integradores	139			
1.5.3	Circuitos derivadores	141			
Capítulo 4	Filtros analógicos	145	Capítulo 7	Galgas extensométricas	227
4.1	Introducción	145	7.1	Principio de funcionamiento	227
4.2	Clasificación de filtros	146	7.2	Tipos de galgas extensométricas	230
4.3	Especificaciones de un filtro	148	7.3	Utilización de las galgas extensométricas	232
4.3.1.	Especificaciones frecuenciales	148	7.4	Circuitos de medida	234
4.3.2.	Especificaciones temporales	150	7.5	Utilización de los circuitos de medida	239
4.4	Aproximaciones matemáticas	151	7.6	Aplicaciones	242
4.5	Filtros pasivos RC	156	7.6.1.	Medida de estados de deformación	242
4.6	Filtros activos	161	7.6.2.	Medidas de otras variables con galgas extensométricas	245
4.6.1.	Estructuras para la realización de filtros activos	161			
4.6.2.	Diseño de filtros paso bajo	161			
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 comutada	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 potenciométricos	191	Capítulo 8	Termistores y fotorresistencias	249
5.1	Características generales	191	8.1	Introducción	249
5.2	Parámetros característicos de los potenciómetros	193	8.2	Termistores: NTCs	249
5.3	Tipos de potenciómetros	194	8.2.1.	Característica R-T de una NTC	251
5.4	Acondicionamiento de señal en potenciómetros	198	8.2.2.	Aproximaciones de la característica resistencia-temperatura	251
5.5	Errores debidos al cableado	203	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
Capítulo 6	Sensores de temperatura de resistencia metálica	207	8.3	Termistores de coeficiente de temperatura positivo (PTCs)	262
6.1	Características generales	207	8.3.1.	Principio físico de funcionamiento	262
6.1.1.	Curvas de calibración	208	8.3.2.	Características generales	266
6.1.2.	Modelo matemático de la RTD	210	8.3.3.	Aplicaciones	
			8.4	Fotorresistencias (LDRs)	268
			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	277			
9.2	Magnetoresistencias	281			

INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA

Capítulo 10

Sensores capacitivos.....

10.1	Introducción	285
10.2	Variación de la capacidad en un condensador de placas paralelas	285
10.2.1.	Condensador simple.....	287
10.2.2.	Condensador diferencial	287
10.3	Circuitos de medida.....	289
10.3.1.	Señal de excitación	290
10.3.2.	Amplificador de alterna	290
10.3.3.	Puentes de alterna	291
10.3.4.	Oscilador de frecuencia variable.....	292
10.3.5.	Demodulador sincrónico.....	292
10.3.6.	Circuitos de capacidad comutada.....	293
10.4	Detectores de proximidad capacitivos	295
10.5	Sensores capacitivos en silicio	297

Capítulo 11

Sensores inductivos

11.1	Introducción	305
11.2	Sensores inductivos básicos	305
11.2.1.	Sistemas con sensores inductivos	307
11.2.2.	Circuitos de medida	307
11.2.3.	Sistemas de medida con sensores inductivos	309
11.3	El transformador diferencial lineal (LVDT).....	311
11.3.1.	Descripción de funcionamiento	311
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

12.1	Introducción	325
12.2	Sensores electromagnéticos lineales.....	325
12.3	Sensores electromagnéticos rotativos	326
12.3.1.	Sensores electromagnéticos rotativos de velocidad angular.....	326
12.3.2.	Sensores electromagnéticos rotativos de posición angular.....	327
		329

Capítulo 13

Termopares

13.1	Principio de funcionamiento	333
13.2	Tipos de termopares	333
13.3	Curvas de calibración	335
13.4	Efectos de las uniones parásitas	337
13.5	Acondicionamiento de señal	341

Capítulo 14

Sensores piezoelectricos.....

14.1	Introducción	347
14.2	Comportamiento de los materiales piezoelectricos	347
14.3	Los dispositivos piezoelectricos como sensores	350
14.3.1.	Medida de fuerza, presión y aceleración	353
14.3.2.	Problemática de la utilización de sensores piezoelectricos	353
14.4	Sensores de ultrasonidos	355
14.4.1.	Los ultrasonidos	364
14.4.2.	Técnicas de impulso-eco	365
14.4.3.	Aplicaciones de las técnicas de impulso-eco	370

Capítulo 15

Sensores piroeléctricos.....

15.1	Introducción	377
15.2	Principio de funcionamiento	377
15.3	Círculo 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	Fotodioidos y fototransistores	387
16.1.1.	Principio de funcionamiento de los fotodioidos	387
16.1.2.	Tipos de fotodioidos	390
16.1.3.	Modelo eléctrico de un fotodiodo	392
16.1.4.	Características de los fotodioidos	393
16.1.5.	Acondicionamiento de fotodioidos	397
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 fotodioidos y fototransistores	406
16.1.7.1.	Detectores de proximidad fotoeléctricos	407
16.1.7.2.	Codificadores ópticos (<i>optical encoders</i>)	408
16.1.7.3.	Sensores de color	411
16.1.7.4.	Detectores de humo y turbidímetros	411
16.1.7.5.	Espectrofotometría de absorción	412
16.2	Dispositivos de acoplamiento de carga (CCDs)	413
16.2.1.	Principio de funcionamiento	413
16.2.1.1.	Conversión de la luz a carga eléctrica	414
16.2.1.2.	Transferencia de las cargas	415
16.2.1.3.	Conversión de la carga a tensión (etapa de salida)	417
16.2.2.	Arquitecturas	419
16.2.3.	Características	421
16.2.4.	CCDs para detección de imágenes en color	422
16.3	Fotomultiplicadores	423
16.3.1.	Principio de funcionamiento	423
16.3.2.	Tipos de fotomultiplicadores	423
16.3.3.	Características	424

Capítulo 16	Almacenamiento.....	425	Capítulo 20	Introducción a la transmisión de señal	537
16.1.1 Acondicionamiento de señal		426	20.1 La transmisión.....		537
16.1.6 Aplicaciones		427	20.1.1. Medios de transmisión.....		538
Capítulo 17	Sensores de efecto Hall.....	431	20.1.1.1. Medios de transmisión guiados.....		539
17.1 El efecto Hall.....		431	20.1.1.2. Medios no guiados.....		546
17.2 Sensores Hall de salida lineal		433	20.1.2 Codificación de la información.....		549
17.3 Sensores Hall de salida digital.....		436	20.2 Telemedida.....		550
17.4 Modos de operación		438	20.3 Bucles de tensión y bucles de corriente.....		551
17.5 Dispositivos de medida basados en el efecto Hall.....		440	20.3.1. Bucles de tensión		551
17.6 Ejemplos de aplicaciones		442	20.3.2. Bucles de corriente.....		555
Capítulo 18	Otros tipos de sensores	451	20.3.3. Conversión V/I.....		559
18.1 Sensores de fibra óptica.....		451	20.3.4. Conversión I/V.....		562
18.1.1. Fundamentos de la fibra óptica		451	20.3.5. Consideraciones prácticas sobre los bucles de corriente		563
18.1.2. Clasificación de los sensores de fibra óptica.....		456	Capítulo 21	Modulación y demodulación	567
18.1.3. Sensores de fibra óptica basados en modulación de amplitud.....		457	21.1 Modulación con portadora analógica y moduladora analógica		569
18.1.4. Sensores de fibra óptica basados en modulación de fase		461	21.1.1. Modulación AM.....		569
18.2 Biosensores		464	21.1.2. Modulación FM		573
18.2.1. Introducción.....		465	21.1.3. Modulación PM		576
18.2.2. Tipos de biosensores.....		466	21.2 Modulación con portadora analógica y moduladora digital		577
Capítulo 19	Criterios para la selección de sensores	473	21.2.1. Modulación ASK		577
19.1 Medida de la temperatura		473	21.2.2. Modulación FSK		580
19.1.1. Introducción.....		473	21.2.3. Modulación PSK		583
19.1.2. RTD vs termopar		474	21.3 Modulaciones con portadora digital y moduladora analógica		586
19.1.3. NTC vs sensores de silicio		477			
19.1.4. Sensores de radiación.....		478	Capítulo 22	Variables muestradas	591
19.2 Medida de las principales variables mecánicas		481	22.1 Introducción		591
19.2.1. Medida de presencia y proximidad		482	22.2 Variables analógicas, digitales y muestradas		591
19.2.2. Medida de la posición		486	22.3 Teorema del muestreo		592
19.2.3. Medida de la velocidad		493	22.3.1. El problema del solapamiento o <i>aliasing</i>		596
19.2.4. Medida de la aceleración y de la vibración		496	22.3.2. Selección de la frecuencia de muestreo		597
19.2.5. Medida de fuerza y de peso		498	22.3.3. Limitaciones		598
19.2.6. Medida de la presión		501	22.4 Variables submuestreadas		601
19.2.7. Medida del flujo.....		507	22.5 Reconstrucción de señales a partir de muestras		601
19.2.8. Medida del nivel		513	22.6 Muestreo y retención		603
19.3 Medida de magnitudes eléctricas.....		519	22.6.1. El modo muestreo		603
19.3.1. Resistencia <i>shunt</i>		519	22.6.2. El modo retención		604
19.3.2. Transformador de intensidad		521	22.6.3. La transición del modo muestreo al modo retención		605
19.3.3. Sensores de efecto Hall.....		523	22.6.4. Circuitos prácticos de muestreo y retención		607
19.3.4. Sensores magnetoresistivos		526	22.7 Multiplexación de señales analógicas		609
19.3.5. Sensores de fibra óptica		528	22.7.1. La multiplexación y la frecuencia de muestreo		611
19.4 Medida de magnitudes ópticas		530			
19.4.1. Sistemas de medida de radiación óptica.....		530	Capítulo 23	Conversión entre variables analógicas y digitales.....	617
19.4.2. Sensores ópticos.....		532	23.1 Cuantificación		617
			23.2 Codificación		621
			23.2.1. Códigos binarios unipolares		621
			23.2.2. Códigos binarios bipolares		622

INSTRUMENTACIÓN ELÉCTRÓNICA

23.3	Conversión Digital-Análogica.....	624
23.3.1.	Características de la conversión D/A	625
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.....	631
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 (<i>ladder</i>)	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.....	642
23.3.3.2.	Convertidores múltiples.....	643
23.3.4.	Comparación y criterios de selección	643
23.4	Conversión Analógica-Digital.....	644
23.4.1.	Características de la conversión A/D	645
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	654
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	673
24.2	Procesamiento de la información	692
24.3	Comunicación hombre-máquina	693
24.3.1:	Presentación de la información	693
24.4	Sensores inteligentes	700

Capítulo 25

	Sistemas de adquisición de datos	707
25.1	Introducción a los sistemas de adquisición de datos (SAD)	707
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	725
26.2	Características de las redes de control	729
26.3	Buses de campo	732

Capítulo 27

	Software de instrumentación	741
27.1	Instrumentos digitales	741
27.2	Software de instrumentación	741

Capítulo 28

	Interferencias electromagnéticas	747
28.1	Introducción	747
28.1.1.	Definiciones	749
28.1.2.	Desde la fuente a la víctima	752
28.1.3.	Normativa	752
28.2	Fuentes de interferencias	753
28.2.1.	Sistemas y componentes sin transitorios	755
28.2.2.	Sistemas y componentes con transitorios	756
28.2.3.	Sistemas generadores de arcos	758
28.2.4.	Otras fuentes de interferencias	759
28.3	Acoplamiento de fuentes de interferencias	759
28.3.1.	Acoplamientos conductivos	759
28.3.2.	Acoplamientos no conductivos	763
28.4	Minimización de los efectos de las interferencias	770

Capítulo 29

	Cableado y apantallado	773
29.1	Minimización de interferencias conductivas	773
29.1.1.	Conexionado de las masas y alimentaciones	773
29.1.2.	Problemática de la conexión a tierra	775
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	797
30.2	Tarjetas de circuito impreso. Tecnologías	801
30.3	Consideraciones de diseño de los circuitos impresos para sistemas de instrumentación	803
30.3.1.	Las alimentaciones y la masa	805
30.3.2.	Las pistas de señal	810
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 cuenta?	820

Capítulo 31	
Seguridad en los sistemas de instrumentación	823
31.1 La puesta a tierra	823
31.2 Seguridad en atmósferas explosivas	826
31.2.1. Métodos de protección.....	828
31.2.2. Seguridad intrínseca.....	829
31.2.2.1. Riesgo de inflamación debido a chispas	829
31.2.2.2. Riesgo de inflamación debido a temperaturas elevadas	833
31.2.2.3. Interfaz entre circuitos de seguridad intrínseca 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