

Contenido

<i>Prefacio</i>	xvii
<i>Acerca de los autores</i>	xxix
CAPÍTULO 1 <i>Introducción a los sistemas de control</i>	1
1.1. Introducción	2
1.2. Historia del control automático	4
1.3. Dos ejemplos del uso de la realimentación	7
1.4. La práctica de la ingeniería de control	8
1.5. Ejemplos de sistemas de control modernos	9
1.6. Ensamblaje automático y robots	16
1.7. La evolución futura de los sistemas de control	17
1.8. Diseño en ingeniería	18
1.9. Sistemas mecatrónicos	19
1.10. Diseño de sistemas de control	23
1.11. Ejemplo de diseño: Control de velocidad de una mesa giratoria	24
1.12. Ejemplo de diseño: Sistema de control para la dosificación de insulina	26
1.13. Ejemplo de diseño secuencial: Sistema de lectura de una unidad de disco ..	27
Ejercicios	29
Problemas	30
Problemas avanzados	34
Problemas de diseño	35
Términos y conceptos	36
CAPÍTULO 2 <i>Modelos matemáticos de sistemas</i>	37
2.1. Introducción	38
2.2. Ecuaciones diferenciales de sistemas físicos	38
2.3. Aproximaciones lineales de sistemas físicos	43
2.4. La transformada de Laplace	46
2.5. La función de transferencia de sistemas lineales	52
2.6. Modelos de diagramas de bloques	63
2.7. Modelos de grafos de flujo de señal	72
2.8. Análisis de sistemas de control por computador	78
2.9. Ejemplos de diseño	79
2.10. La simulación de sistemas utilizando MATLAB	89
2.11. Ejemplo de diseño secuencial: Sistema de lectura de una unidad de disco ..	102

2.12. Resumen	105
Ejercicios	105
Problemas	111
Problemas avanzados	124
Problemas de diseño	125
Problemas con MATLAB	126
Términos y conceptos	128

CAPÍTULO 3 *Modelos en variables de estado* 130

3.1. Introducción	131
3.2. Las variables de estado de un sistema dinámico	131
3.3. La ecuación diferencial del estado	134
3.4. Modelos de grafos de flujo de señal y diagramas de bloques	137
3.5. Modelos alternativos de grafos de flujo de señal y diagramas de bloques ..	147
3.6. La función de transferencia de la ecuación de estado	153
3.7. La respuesta temporal y la matriz de transición de estado	154
3.8. Una evaluación en tiempo discreto de la respuesta temporal	158
3.9. Ejemplo de diseño: Impresora con transmisión por correa	163
3.10. Análisis de modelos de variables de estado utilizando MATLAB	170
3.11. Ejemplo de diseño secuencial: Sistema de lectura de una unidad de disco ..	173
3.12. Resumen	176
Ejercicios	177
Problemas	179
Problemas avanzados	186
Problemas de diseño	188
Problemas con MATLAB	189
Términos y conceptos	190

CAPÍTULO 4 *Características de los sistemas de control con realimentación* 191

4.1. Sistemas de control en lazo abierto y en lazo cerrado	192
4.2. Sensibilidad de los sistemas de control a variaciones en los parámetros ...	194
4.3. Control de la respuesta transitoria de los sistemas de control	197
4.4. Señales de perturbación en un sistema de control con realimentación	201
4.5. Error en estado estacionario	206
4.6. El coste de la realimentación	208
4.7. Ejemplo de diseño: Máquinas taladradoras en el canal inglés	209
4.8. Ejemplo de diseño: Vehículo explorador de Marte	212
4.9. Características de los sistemas de control utilizando MATLAB	214
4.10. Ejemplo de diseño secuencial: Sistema de lectura de una unidad de disco ..	219
4.11. Resumen	224
Ejercicios	226
Problemas	228
Problemas avanzados	235
Problemas de diseño	238
Problemas con MATLAB	240
Términos y conceptos	242

CAPÍTULO 5	<i>Comportamiento de los sistemas de control con realimentación</i> ...	243
5.1.	Introducción	244
5.2.	Señales de entrada de prueba	245
5.3.	Comportamiento de un sistema de segundo orden	247
5.4.	Efectos de un tercer polo y un cero sobre la respuesta de un sistema de segundo orden	253
5.5.	Estimación de la razón de amortiguamiento	258
5.6.	Localización de las raíces en el plano s y respuesta transitoria	259
5.7.	El error en estado estacionario de los sistemas de control con realimentación ..	260
5.8.	El error en estado estacionario de los sistemas con realimentación no unitaria ..	265
5.9.	Índices de comportamiento	267
5.10.	Simplificación de sistemas lineales	276
5.11.	Ejemplo de diseño: Control de apuntamiento del telescopio Hubble	279
5.12.	Comportamiento de sistemas utilizando MATLAB y Simulink	282
5.13.	Ejemplo de diseño secuencial: Sistema de lectura de una unidad de disco ..	291
5.14.	Resumen	295
	Ejercicios	295
	Problemas	299
	Problemas avanzados	304
	Problemas de diseño	306
	Problemas con MATLAB	308
	Términos y conceptos	310
CAPÍTULO 6	<i>Estabilidad de los sistemas lineales con realimentación</i>	311
6.1.	El concepto de estabilidad	312
6.2.	El criterio de estabilidad de Routh-Hurwitz	316
6.3.	Estabilidad relativa de los sistemas de control con realimentación	324
6.4.	Estabilidad de los sistemas con variables de estado	325
6.5.	Ejemplo de diseño: Control de giro de un vehículo con bandas de rodamiento ..	329
6.6.	Estabilidad de sistemas utilizando MATLAB	331
6.7.	Ejemplo de diseño secuencial: Sistema de lectura de una unidad de disco ..	339
6.8.	Resumen	342
	Ejercicios	343
	Problemas	345
	Problemas avanzados	348
	Problemas de diseño	350
	Problemas con MATLAB	352
	Términos y conceptos	353
CAPÍTULO 7	<i>Método del lugar de las raíces</i>	354
7.1.	Introducción	355
7.2.	Concepto del lugar de las raíces	355
7.3.	Procedimiento del lugar de las raíces	359
7.4.	Ejemplo de análisis y diseño de un sistema de control utilizando el método del lugar de las raíces	374

7.5.	Diseño de parámetros por el método del lugar de las raíces	378
7.6.	Sensibilidad y el lugar de las raíces	383
7.7.	Controladores de tres términos (PID)	391
7.8.	Ejemplo de diseño: Sistema de control de un manipulador láser	393
7.9.	El diseño de un sistema de control de un robot	396
7.10.	El lugar de las raíces utilizando MATLAB	398
7.11.	Ejemplo de diseño secuencial: Sistema de lectura de una unidad de disco ..	404
7.12.	Resumen	405
	Ejercicios	409
	Problemas	412
	Problemas avanzados	421
	Problemas de diseño	424
	Problemas con MATLAB	430
	Términos y conceptos	431

CAPÍTULO 8 *Métodos de respuesta en frecuencia* 432

8.1.	Introducción	433
8.2.	Gráficas de la respuesta en frecuencia	435
8.3.	Un ejemplo del trazado del diagrama de Bode	452
8.4.	Medidas de la respuesta en frecuencia	456
8.5.	Especificaciones de comportamiento en el dominio de la frecuencia	458
8.6.	Diagrama de magnitud logarítmica y de fase	461
8.7.	Ejemplo de diseño: Sistema de control de una máquina de estampación ...	461
8.8.	Métodos de respuesta en frecuencia utilizando MATLAB	465
8.9.	Ejemplo de diseño secuencial: Sistema de lectura de una unidad de disco ..	471
8.10.	Resumen	472
	Ejercicios	477
	Problemas	480
	Problemas avanzados	490
	Problemas de diseño	491
	Problemas con MATLAB	494
	Términos y conceptos	496

CAPÍTULO 9 *Estabilidad en el dominio de la frecuencia* 497

9.1.	Introducción	498
9.2.	Transformación de los contornos en el plano s	499
9.3.	El criterio de Nyquist	504
9.4.	Estabilidad relativa y el criterio de Nyquist	516
9.5.	Criterios de comportamiento en el dominio temporal especificados en el do- minio frecuencial	522
9.6.	Ancho de banda del sistema	529
9.7.	Estabilidad de sistemas de control con retardos	530
9.8.	Ejemplo de diseño: Vehículo de reconocimiento controlado de forma remota ..	534
9.9.	Controladores PID en el dominio de la frecuencia	537
9.10.	Estabilidad en el dominio de la frecuencia utilizando MATLAB	538

9.11. Ejemplo de diseño secuencial: Sistema de lectura de una unidad de disco ..	547
9.12. Resumen	549
Ejercicios	556
Problemas	562
Problemas avanzados	572
Problemas de diseño	574
Problemas con MATLAB	579
Términos y conceptos	580

CAPÍTULO 10 *Diseño de sistemas de control con realimentación* 581

10.1. Introducción	582
10.2. Enfoques en el diseño de sistemas	583
10.3. Redes de compensación en cascada	585
10.4. Diseño por adelanto de fase utilizando el diagrama de Bode	589
10.5. Diseño por adelanto de fase utilizando el lugar de las raíces	595
10.6. Diseño de sistemas utilizando redes de integradores	601
10.7. Diseño por retardo de fase utilizando el lugar de las raíces	604
10.8. Diseño por retardo de fase utilizando el diagrama de Bode	608
10.9. Diseño de sistemas en el diagrama de Bode utilizando métodos analíticos y por computador	613
10.10. Sistemas con un prefiltro	615
10.11. Diseño para respuesta plana	617
10.12. Ejemplo de diseño: Sistema de control del bobinado de un rotor	620
10.13. Ejemplo de diseño: El trazador gráfico X-Y	623
10.14. Diseño de sistemas utilizando MATLAB	626
10.15. Ejemplo de diseño secuencial: Sistema de lectura de una unidad de disco ..	633
10.16. Resumen	634
Ejercicios	636
Problemas	638
Problemas avanzados	649
Problemas de diseño	652
Problemas con MATLAB	656
Términos y conceptos	658

CAPÍTULO 11 *Diseño de sistemas realimentados con variables de estados* 659

11.1. Introducción	660
11.2. Controlabilidad	660
11.3. Observabilidad	663
11.4. Diseño del sistema de control con realimentación del vector de estado com- pleto	666
11.5. Fórmula de Ackermann	670
11.6. Diseño del observador	671
11.7. Diseño del compensador: Integración de la realimentación del vector de es- tado completo y del observador	675
11.8. Entradas de referencia	681

11.9.	Sistemas de control óptimo	683
11.10.	Diseño con modelo interno	693
11.11.	Ejemplo de diseño: Sistema de verificación automático	696
11.12.	Diseño con variables de estado utilizando MATLAB	699
11.13.	Ejemplo de diseño secuencial: Sistema de lectura de una unidad de disco ..	707
11.14.	Resumen	709
	Ejercicios	709
	Problemas	710
	Problemas avanzados	714
	Problemas de diseño	717
	Problemas con MATLAB	719
	Términos y conceptos	722
CAPÍTULO 12 <i>Sistemas de control robusto</i>		723
12.1.	Introducción	724
12.2.	Sistemas de control robusto y sensibilidad del sistema	725
12.3.	Análisis de robustez	728
12.4.	Sistemas con parámetros inciertos	731
12.5.	El diseño de sistemas de control robustos	733
12.6.	Controladores PID	738
12.7.	Diseño de sistemas de control PID robustos	740
12.8.	Ejemplo de diseño: Autopiloto de un avión	745
12.9.	Diseño del sistema de control de un telescopio espacial	746
12.10.	Diseño de una bobinadora robusta	748
12.11.	Sistema de control robusto con modelo interno	751
12.12.	Diseño de una máquina de torneado de diamante de ultra precisión	753
12.13.	Sistema de realimentación pseudocuantitativa	757
12.14.	Sistemas de control robusto utilizando MATLAB	759
12.15.	Ejemplo de diseño secuencial: Sistema de lectura de una unidad de disco ..	762
12.16.	Resumen	764
	Ejercicios	766
	Problemas	767
	Problemas avanzados	773
	Problemas de diseño	777
	Problemas con MATLAB	784
	Términos y conceptos	786
CAPÍTULO 13 <i>Sistemas de control digital</i>		787
13.1.	Introducción	788
13.2.	Aplicaciones de los sistemas de control por computador	788
13.3.	Sistemas de datos muestreados	790
13.4.	La transformada z	793
13.5.	Sistemas de datos muestreados en lazo cerrado	798
13.6.	Análisis de estabilidad en el plano z	800
13.7.	Comportamiento de un sistema de segundo orden de datos muestreados ..	801

13.8.	Sistemas en lazo cerrado con compensación mediante un computador	804
13.9.	Diseño del sistema de control del movimiento de una mesa de trabajo ...	806
13.10.	Lugar de las raíces de sistemas de control digital	808
13.11.	Implementación de controladores digitales	812
13.12.	Sistemas de control digital utilizando MATLAB	813
13.13.	Ejemplo de diseño secuencial: Sistema de lectura de una unidad de disco ..	818
13.14.	Resumen	820
	Ejercicios	820
	Problemas	822
	Problemas avanzados	824
	Problemas de diseño	826
	Problemas con MATLAB	827
	Términos y conceptos	828
APÉNDICE A	<i>Fundamentos de MATLAB</i>	831
APÉNDICE B	<i>Fundamentos de Simulink</i>	849
	<i>Referencias</i>	858
	<i>Índice</i>	869

RECURSOS WEB

APÉNDICE C	<i>Símbolos y unidades y factores de conversión</i>
APÉNDICE D	<i>Pares de transformadas de Laplace</i>
APÉNDICE E	<i>Una introducción al álgebra matricial</i>
APÉNDICE F	<i>Conversión de decibelios</i>
APÉNDICE G	<i>Números complejos</i>
APÉNDICE H	<i>Pares de transformadas z</i>