
Contenido

Capítulo 1	Introducción	17
1-1	El sistema de control de procesos	17
1-2	Términos importantes y objetivo del control automático de proceso	20
1-3	Control regulador y servocontrol	20
1-4	Señales de transmisión	21
1-5	Estrategias de control	21
	Control por retroalimentación	21
	Control por acción precalculada	23
1-6	Razones principales para el control de proceso	25
1-7	Bases necesarias para el control de proceso	25
1-8	Resumen	26
Capítulo 2	Matemáticas necesarias para el análisis de los sistemas de control	27
2-1	Transformada de Laplace	27
	Definición	27
	Propiedades de la transformada de Laplace	31
2-2	Solución de ecuaciones diferenciales mediante el uso de la transformada de Laplace	41
	Procedimiento de solución por la transformada de Laplace	42
	Inversión de la transformada de Laplace mediante expansión de fracciones parciales	44
	Eigenvalores y estabilidad	59
	Raíces de los polinomios	59
	Resumen del método de la transformada de Laplace para resolver ecuaciones diferenciales	64

2-3	Linealización y variables de desviación	65
	Variables de desviación	66
	Linealización de funciones con una variable	67
	Linealización de funciones con dos o más variables	71
2-4	Repaso del álgebra de números complejos	76
	Números complejos	76
	Operaciones con números complejos	78
2-5	Resumen	81
	Bibliografía	82
	Problemas	82
Capítulo 3	Sistemas dinámicos de primer orden	91
3-1	Proceso térmico	92
3-2	Proceso de un gas	101
3-3	Funciones de transferencia y diagramas de bloques	104
	Funciones de transferencia	104
	Diagramas de bloques	105
3-4	Tiempo muerto	114
3-5	Nivel en un proceso	116
3-6	Reactor químico	121
3-7	Respuesta del proceso de primer orden a diferentes tipos de funciones de forzamiento	126
	Función escalón	126
	Función rampa	127
	Función senoidal	128
3-8	Resumen	129
	Problemas	131
Capítulo 4	Sistemas dinámicos de orden superior	139
4-1	Tanques en serie—sistema no interactivo	139
4-2	Tanques en serie—sistema interactivo	147
4-3	Proceso térmico	152
4-4	Respuesta de los sistemas de orden superior a diferentes tipos de funciones de forzamiento	160
	Función escalón	161
	Función senoidal	167
4-5	Resumen	169
	Bibliografía	170
	Problemas	170
Capítulo 5	Componentes básicos de los sistemas de control	177
5-1	Sensores y transmisores	177
5-2	Válvulas de control	180
	Funcionamiento de la válvula de control	180

	Dimensionamiento de la válvula de control	181
	Selección de la caída de presión de diseño	186
	Características de flujo de la válvula de control	190
	Ganancia de la válvula de control	196
	Resumen de la válvula de control	198
5-3	Controladores por retroalimentación	198
	Funcionamiento de los controladores	201
	Tipos de controladores por retroalimentación	203
	Reajuste excesivo	216
	Resumen del controlador por retroalimentación	219
5-4	Resumen	219
	Bibliografía	219
	Problemas	220
Capítulo 6	Diseño de sistemas de control por retroalimentación con un solo circuito	225
6-1	Circuito de control por retroalimentación	226
	Función de transferencia de circuito cerrado	229
	Ecuación característica del circuito	230
	Respuesta de circuito cerrado en estado estacionario	238
→ 6-2	Estabilidad del circuito de control	251
	Criterio de estabilidad	252
	Prueba de Routh	253
	Efecto de los parámetros del circuito sobre la ganancia última	257
	Método de sustitución directa	259
	Efecto del tiempo muerto	263
→ 6-3	Ajuste de los controladores por retroalimentación	265
	Respuesta de razón de asentamiento de un cuarto mediante el método de ganancia última	266
	Caracterización del proceso	270
	Prueba del proceso de escalón	272
	Respuesta de razón de asentamiento de un cuarto	283
	Ajuste mediante los criterios de error de integración mínimo	285
	Ajuste de controladores por muestreo de datos	294
	Resumen	296
6-4	Síntesis de los controladores por retroalimentación	297
	Desarrollo de la fórmula de síntesis del controlador	297
	Especificación de la respuesta de circuito cerrado	298
	Modos del controlador y parámetros de ajuste	299
	Modo derivativo para procesos con tiempo muerto	304
	Resumen	311
6-5	Prevención del reajuste excesivo	311
6-6	Resumen	316

	Bibliografía	316
	Problemas	317
Capítulo 7	Diseño clásico de un sistema de control por retroalimentación	341
7-1	Técnica de lugar de raíz	343
	Ejemplos	343
	Reglas para graficar los diagramas de lugar de raíz	349
	Resumen del lugar de raíz	361
↪ 7-2	Técnicas de respuesta en frecuencia	361
	Diagramas de Bode	370
	Diagramas polares	393
	Diagramas de Nichols	401
	Resumen de la respuesta en frecuencia	401
7-3	Prueba de pulso	402
	Realización de la prueba de pulso	403
	Deducción de la ecuación de trabajo	405
	Evaluación numérica de la integral de la transformada de Fourier	407
7-4	Resumen	410
	Bibliografía	411
	Problemas	411
Capítulo 8	Técnicas adicionales de control	419
↪ 8-1	Relés de cómputo	420
8-2	Control de razón	430
8-3	Control en cascada	439
8-4	Control por acción precalculada	447
	Ejemplo de un proceso	448
	Unidad de adelanto/retardo	457
	Diseño del control lineal por acción precalculada mediante diagrama de bloques	459
	Dos ejemplos adicionales	465
	Respuesta inversa	471
	Resumen del control por acción precalculada	472
8-5	Control por sobreposición y control selectivo	472
8-6	Control de proceso multivariable	479
	Gráficas de flujo de señal (GFS)	479
	Selección de pares de variables controladas y manipuladas	490
	Interacción y estabilidad	503
	Desacoplamiento	505
8-7	Resumen	515
	Bibliografía	515
	Problemas	516

Capítulo 9 Modelos y simulación de los sistemas de control de proceso	537
9-1 Desarrollo de modelos de proceso complejos	538
9-2 Modelo dinámico de una columna de destilación	540
Ecuaciones de bandeja	541
Bandeja de alimentación y superior	544
Rehervidor	545
Modelo de condensador	549
Tambor acumulador del condensador	551
Condiciones iniciales	554
Variables de entrada	555
Resumen	556
9-3 Modelo dinámico de un horno	556
9-4 Solución de ecuaciones diferenciales parciales	561
9-5 Simulación por computadora de los modelos de procesos dinámicos	563
Ejemplo: Simulación de un tanque de reacción con agitación continua	564
Integración numérica mediante el método de Euler	568
Duración de las corridas de simulación	569
Elección del intervalo de integración	571
Despliegue de los resultados de la simulación	572
Muestra de resultados para el método de Euler	574
Método de Euler modificado	576
Método Runge-Kutta-Simpson	583
Resumen	584
9-6 Lenguajes y subrutinas especiales para simulación	584
9-7 Ejemplos de simulación de control	587
9-8 Rigidez	601
Fuentes de rigidez en un modelo	602
Integración numérica de los sistemas rígidos	609
9-9 Resumen	613
Bibliografía	613
Problemas	613
Apéndice A Símbolos y nomenclatura para los instrumentos	627
Apéndice B Casos para estudio	633
Caso I Sistema de control para una planta de granulación de nitrato de amonio	633
Caso II Sistema de control para la deshidratación de gas natural	635
Caso III Sistema de control para la fabricación de blanqueador de hipoclorito de sodio	636

Caso IV Sistema de control en el proceso de refinación del azúcar	638
Caso V Eliminación de CO ₂ de gas de síntesis	639
Caso VI Proceso del ácido sulfúrico	644
Apéndice C Sensores, transmisores y válvulas de control	647
Sensores de presión	647
Sensores de flujo	651
Sensores de nivel	659
Sensores de temperatura	663
Sensores de composición	669
Transmisores	671
Transmisor neumático	671
Transmisor electrónico	674
Tipos de válvulas de control	674
Vástago recíproco	675
Vástago rotatorio	678
Accionador de la válvula de control	680
Accionador de diafragma con operación neumática	680
Accionador de pistón	682
➤ Accionadores electrohidráulicos y electromecánicos	682
Accionador manual con volante	683
Accesorios de la válvula de control	684
Posicionadores	684
Multiplicadores	688
Interruptores de límite	688
Válvulas de control, consideraciones adicionales	688
Correcciones de viscosidad	688
Vaporización instantánea y cavitación	692
Resumen	699
Bibliografía	701
Apéndice D Programa de computadora para encontrar raíces de polinomios	703
Índice	711