

INGENIERIA DE CONTROL MODERNA

KATSUHIKO OGATA

**Armonioso equilibrio de teoría y práctica
en una clara exposición de los métodos clásicos
y modernos de la técnica de control.
Obra de positivo interés como texto y de consulta
para el profesional especializado.**

TABLA DE MATERIAS

1 INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE CONTROL 1

- 1-1 Introducción 1
- 1-2 Definiciones 2
- 1-3 Control de lazo cerrado y de lazo abierto 4
- 1-4 Ejemplos ilustrativos de sistemas de control 8
- 1-5 Principios de proyecto de sistemas de control 13
- 1-6 Descripción del texto 16
- Ejemplos de problemas y soluciones 17
- Problemas 18

2 BASE MATEMATICA: LA TRANSFORMACION DE LAPLACE 21

- 2-1 Introducción 21
- 2-2 La transformación de Laplace 26
- 2-3 Teoremas de la transformación de Laplace 30
- 2-4 Transformación inversa de Laplace 42
- 2-5 Solución de ecuaciones diferenciales lineales por el método de la transformada de Laplace 49
- Ejemplos de problemas y soluciones 51
- Problemas 55

3 BASE MATEMATICA: MATRICES 57

- 3-1 Introducción 57
- 3-2 Definiciones de matrices 57

- 3-3 Álgebra de matrices 62
- 3-4 Inversión de matrices 65
- 3-5 Derivación e integración de matrices 70
- Ejemplos de problemas y soluciones 71
- Problemas 73

4 MODELOS MATEMATICOS DE SISTEMAS FISICOS

75

- 4-1 Introducción 75
- 4-2 Funciones transferencia 78
- 4-3 Linealización de un modelo matemático no lineal 89
- 4-4 Diagrama de bloques 94
- 4-5 Obtención de funciones transferencia de sistemas físicos 101
- 4-6 Sistema de múltiples variables y matrices de transferencia 127
- 4-7 Gráficos de flujo de señal 130
- Ejemplos de problemas y soluciones 139
- Problemas 158

5 ACCIONES BASICAS DE CONTROL Y CONTROLES AUTOMATICOS INDUSTRIALES

164

- 5-1 Introducción 164
- 5-2 Controles proporcionales 172
- 5-3 Obtención de acción de control derivativa e integral 187
- 5-4 Efectos de la acción de control derivativa e integral en el comportamiento del sistema 198
- 5-5 Reducción de variaciones de los parámetros por uso de la realimentación 204
- 5-6 Fluidica 208
- Ejemplos de problemas y soluciones 215
- Problemas 227

6 ANALISIS DE RESPUESTA TRANSITORIA

232

- 6-1 Introducción 232
- 6-2 Funciones de respuesta impulsiva 234
- 6-3 Sistemas de primer orden 237
- 6-4 Sistemas de segundo orden 242
- 6-5 Sistemas de órdenes superiores 267
- 6-6 Criterio de estabilidad de Routh 273
- 6-7 Computadoras analógicas 280
- Ejemplos de problemas y soluciones 293
- Problemas 304

7 ANALISIS DE ERROR E INTRODUCCION A LA OPTIMIZACION DE SISTEMAS 308

- 7-1 Coeficientes de error estático 308
- 7-2 Coeficientes de error dinámico 318
- 7-3 Criterios de error 323
- 7-4 Introducción a la optimización de sistemas 328
- Ejemplos de problemas y soluciones 333
- Problemas 339

8 EL METODO DEL LUGAR DE LAS RAICES 342

- 8-1 Introducción 342
- 8-2 Diagramas de lugar de las raíces 343
- 8-3 Dos ejemplos ilustrativos 350
- 8-4 Resumen de las reglas generales para construir los lugares de las raíces 361
- 8-5 Análisis de sistemas de control utilizando el lugar de las raíces 369
- Ejemplos de problemas y soluciones 386
- Problemas 403

9 METODOS DE RESPUESTA DE FRECUENCIA 406

- 9-1 Introducción 406
- 9-2 Diagramas logarítmicos 412
- 9-3 Diagramas polares 432
- 9-4 Diagramas del logaritmo del módulo en función de la fase 441
- 9-5 Criterio de estabilidad de Nyquist 444
- 9-6 Análisis de estabilidad 455
- 9-7 Estabilidad relativa 464
- 9-8 Respuesta de frecuencia en lazo cerrado 480
- 9-9 Determinación experimental de funciones transferencia 492
- Ejemplos de problemas y soluciones 498
- Problemas 512

10 TECNICAS DE PROYECTO Y COMPENSACION 516

- 10-1 Introducción 516
- 10-2 Consideraciones preliminares de proyectos 520
- 10-3 Compensación en adelanto 525
- 10-4 Compensación en atraso 538
- 10-5 Compensación en atraso-adelanto 550
- 10-6 Resumen de métodos de compensación en sistemas de control 562
- Ejemplos de problemas y soluciones 568
- Problemas 574

11 ANALISIS DE SISTEMAS DE CONTROL NO LINEALES CON LA FUNCION DESCRIPTIVA	577
11-1 Introducción a sistemas no lineales	577
11-2 Sistemas de control no lineales	583
11-3 Funciones descriptivas	585
11-4 Análisis de sistemas de control no lineales con la función descriptiva	593
11-5 Comentarios finales	599
Ejemplos de problemas y soluciones	601
Problemas	610
12 ANALISIS CON EL PLANO DE FASE	612
12-1 Introducción	612
12-2 Métodos para construir trayectorias	617
12-3 Obtención de soluciones temporales a partir de diagramas del plano de fase	628
12-4 Puntos singulares	633
12-5 Análisis de sistemas de control lineales con el plano de fase	640
12-6 Análisis de sistemas de control no lineales con el plano de fase	644
12-7 Comentarios finales	657
Ejemplos de problemas y soluciones	657
Problemas	671
13 SISTEMAS DE TIEMPO DISCRETO Y EL METODO DE LA TRANSFORMADA z	674
13-1 Introducción a los sistemas de tiempo discreto	674
13-2 La transformada z	678
13-3 Solución de ecuaciones diferencia por el método de la transformada z	685
13-4 La transformada z inversa	688
13-5 Funciones de transferencia de pulsos	691
13-6 Análisis de estabilidad en el plano z	702
Ejemplos de problemas y soluciones	706
Problemas	718
14 ANALISIS DE SISTEMAS DE CONTROL CON EL ESPACIO DE ESTADO	720
14-1 Introducción	720
14-2 Representación de sistemas en el espacio de estado	723
14-3 Resolución de la ecuación de estado invariante en el tiempo	736
14-4 Matriz transferencia	745
14-5 Sistemas lineales variables en el tiempo	750
14-6 Representación de sistemas de tiempo discreto con el espacio de estado	754
14-7 Solución de la ecuación de estado de tiempo discreto	758
Ejemplos de problemas y soluciones	764
Problemas	773

15 ANALISIS DE ESTABILIDAD DE LIAPUNOV 776

- 15-1 Introducción 776
- 15-2 Definiciones 777
- 15-3 Segundo método de Liapunov 782
- 15-4 Análisis de estabilidad de sistemas lineales 786
- 15-5 Estimación del comportamiento de sistemas dinámicos en respuesta transitoria 793
- 15-6 Análisis de estabilidad de sistemas no lineales 796
- 15-7 Comentarios finales 803
- Ejemplos de problemas y soluciones 804
- Problemas 811

16 SISTEMAS DE CONTROL OPTIMO Y ADAPTIVO 812

- 16-1 Introducción 812
- 16-2 Controlabilidad 817
- 16-3 Observabilidad 826
- 16-4 Sistemas de control de tiempo óptimo 833
- 16-5 Sistemas de control óptimo basados en índices de comportamiento estadístico cuadrático 840
- 16-6 Sistemas de control con referencia al modelo 850
- 16-7 Sistemas de control adaptivo 854
- Ejemplos de problemas y soluciones 861
- Problemas 873

REFERENCIAS 877

GLOSARIO 884

INDICE 895