



# Contenido

## Prólogo ix

## Capítulo 1

### Introducción a los sistemas de control en tiempo discreto 1

- 1-1 INTRODUCCIÓN, 1
- 1-2 SISTEMAS DE CONTROL DIGITAL, 5
- 1-3 CUANTIFICACIÓN Y ERRORES DE CUANTIFICACIÓN, 8
- 1-4 SISTEMAS DE ADQUISICIÓN, CONVERSIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE DATOS, 11
- 1-5 COMENTARIOS FINALES, 20

## Capítulo 2

### La transformada $z$ 23

- 2-1 INTRODUCCIÓN, 23
- 2-2 LA TRANSFORMADA  $z$ , 24
- 2-3 TRANSFORMADA  $z$  DE FUNCIONES ELEMENTALES, 25
- 2-4 PROPIEDADES Y TEOREMAS IMPORTANTES DE LA TRANSFORMADA  $z$ , 31
- 2-5 LA TRANSFORMADA  $z$  INVERSA, 37
- 2-6 MÉTODO DE LA TRANSFORMADA  $z$  PARA LA SOLUCIÓN DE ECUACIONES EN DIFERENCIAS, 52
- 2-7 COMENTARIOS FINALES, 54
- PROBLEMAS DE EJEMPLO Y SOLUCIONES, 55
- PROBLEMAS, 70

**Capítulo 3****Análisis en el plano  $z$  de sistemas de control en tiempo discreto 74**

- 3-1 INTRODUCCIÓN, 74
- 3-2 MUESTREO MEDIANTE IMPULSOS Y RETENCIÓN DE DATOS, 75
- 3-3 CÁLCULO DE LA TRANSFORMADA  $z$  MEDIANTE EL MÉTODO DE LA INTEGRAL DE CONVOLUCIÓN, 83
- 3-4 RECONSTRUCCIÓN DE SEÑALES ORIGINALES A PARTIR DE SEÑALES MUESTREADAS, 90
- 3-5 LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA PULSO, 98
- 3-6 REALIZACIÓN DE CONTROLADORES DIGITALES Y FILTROS DIGITALES, 122
- PROBLEMAS DE EJEMPLOS Y SOLUCIONES, 138
- PROBLEMAS, 166

**Capítulo 4****Diseño de sistemas de control en tiempo discreto mediante métodos convencionales 173**

- 4-1 INTRODUCCIÓN, 173
- 4-2 CORRESPONDENCIA ENTRE EL PLANO- $s$  Y EL PLANO- $z$ , 174
- 4-3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE SISTEMAS EN LAZO CERRADO EN EL PLANO- $z$ , 182
- 4-4 ANÁLISIS DE LAS RESPUESTAS TRANSITORIA Y EN ESTADO PERMANENTE, 193
- 4-5 DISEÑO BASADO EN EL MÉTODO DEL LUGAR GEOMÉTRICO EN LAS RAÍCES, 204
- 4-6 DISEÑO BASADO EN EL MÉTODO DE Y RESPUESTA EN FRECUENCIA, 225
- 4-7 MÉTODO DE DISEÑO ANALÍTICO, 242
- PROBLEMAS DE EJEMPLO Y SOLUCIONES, 257
- PROBLEMAS, 288

**Capítulo 5****Análisis en el espacio de estado 293**

- 5-1 INTRODUCCIÓN, 293
- 5-2 REPRESENTACIONES EN EL ESPACIO DE ESTADO DE SISTEMAS EN TIEMPO DISCRETO, 297
- 5-3 SOLUCIÓN DE LAS ECUACIONES DE ESTADO EN TIEMPO DISCRETO, 302
- 5-4 MATRIZ DE TRANSFERENCIA PULSO, 310
- 5-5 DISCRETIZACIÓN DE LAS ECUACIONES EN EL ESPACIO DE ESTADO EN TIEMPO CONTINUO, 312
- 5-6 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LIAPUNOV, 321
- PROBLEMAS DE EJEMPLO Y SOLUCIONES, 336
- PROBLEMAS, 370

**Capítulo 6****Ubicación de polos y diseño de observadores 377**

- 6-1 INTRODUCCIÓN, 377
- 6-2 CONTROLABILIDAD, 379
- 6-3 OBSERVABILIDAD, 388
- 6-4 TRANSFORMACIONES ÚTILES EN EL ANÁLISIS Y DISEÑO EN EL ESPACIO DE ESTADOS, 396
- 6-5 DISEÑO VÍA UBICACIÓN DE POLOS, 402
- 6-6 OBSERVADORES DE ESTADO, 421
- 6-7 SISTEMAS DE SEGUIMIENTO, 460
- PROBLEMAS DE EJEMPLO Y SOLUCIONES, 474
- PROBLEMAS, 510

**Capítulo 7****Enfoque de ecuaciones polinomiales para el diseño de sistemas de control 517**

- 7-1 INTRODUCCIÓN, 517
- 7-2 LA ECUACIÓN DIOFANTINA, 518
- 7-3 EJEMPLO ILUSTRATIVO, 522
- 7-4 ENFOQUE DE ECUACIONES POLINOMIALES PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL, 525
- 7-5 DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL MEDIANTE EL ACOPLAMIENTO A UN MODELO, 532
- PROBLEMAS DE EJEMPLO Y SOLUCIONES, 540
- PROBLEMAS, 562

**Capítulo 8****Sistemas de control óptimo cuadráticos 566**

- 8-1 INTRODUCCIÓN, 566
- 8-2 CONTROL ÓPTIMO CUADRÁTICO, 569
- 8-3 CONTROL ÓPTIMO CUADRÁTICO EN ESTADO ESTACIONARIO, 587
- 8-4 CONTROL ÓPTIMO CUADRÁTICO DE UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO, 596
- PROBLEMAS DE EJEMPLO Y SOLUCIONES, 609
- PROBLEMAS, 629

**Apéndice A****Análisis vector y matrices 633**

- A-1 DEFINICIONES, 633
- A-2 DETERMINANTES, 633
- A-3 INVERSIÓN DE MATRICES, 635

- A-4 REGLAS DE OPERACIONES CON MATRICES, 637
- A-5 VECTORES Y ANÁLISIS VECTORIAL, 643
- A-6 VALORES PROPIOS, VECTORES PROPIOS Y TRANSFORMACIONES DE SIMILITUD, 649
- A-7 FORMAS CUADRÁTICAS, 659
- A-8 PSEUDOINVERSAS, 663
- PROBLEMAS DE EJEMPLO Y SOLUCIONES, 666

## Apéndice B

### Teoría de la transformada $z$ 681

- B-1 INTRODUCCIÓN, 681
- B-2 TEOREMAS ÚTILES DE LA TRANSFORMADA  $z$ , 681
- B-3 TRANSFORMACIÓN INVERSA  $z$  Y EL MÉTODO DE LA INTEGRAL DE INVERSIÓN, 686
- B-4 MÉTODO DE LA TRANSFORMADA  $z$  MODIFICADA, 691
- PROBLEMAS DE EJEMPLO Y SOLUCIONES, 697

## Apéndice C

### Diseño por ubicación de polos cuando la señal de control es un vector 704

- C-1 INTRODUCCIÓN, 704
- C-2 DISCUSIÓN PRELIMINAR, 704
- C-3 DISEÑO POR UBICACIÓN DE POLOS, 707
- PROBLEMAS DE EJEMPLO Y SOLUCIONES, 718

## Bibliografía 730

## Índice — 735