

Este material está publicado en el sitio de McGraw-Hill:

http://highered.mheducation.com/sites/000000741x/information_center_view0/contenido.html

(17/11/2016)



Contenido

Prefacio XII

Agradecimientos XV

Apoyos de la obra XVI

CAPÍTULO 1 Introducción al control digital 1

- 1.1 Panorama general 1
- 1.2 Estructura de un sistema de control digital 2
- 1.3 Ejemplos 3
 - 1.3.1 Aplicaciones con microcontroladores 4
 - 1.3.2 Control de procesos 5
 - 1.3.3 Aplicaciones en robótica 6
- 1.4 Estructura del libro 7
- 1.5 Características generales 8
- 1.6 Resumen 9

CAPÍTULO 2 Sistemas discretos 11

- 2.1 Introducción 11
- 2.2 Señales discretas básicas 12
- 2.3 Modelos matemáticos de sistemas discretos 16
- 2.4 Solución de sistemas lineales discretos 27
 - 2.4.1 Solución numérica 27
 - 2.4.2 Solución analítica 28
- 2.5 Estabilidad de sistemas discretos 37
- 2.6 Suma de convolución 38
 - 2.6.1 Respuesta del sistema a una entrada impulso 40
 - 2.6.2 Cálculo gráfico de la convolución de dos señales 41
- 2.7 Cálculo operacional 47
- 2.8 Nota histórica 50
- 2.9 Resumen 51
- 2.10 Problemas 52

Ricardo Fernández del Busto y Ezeta

Este material está publicado en el sitio de McGraw-Hill:

http://highered.mheducation.com/sites/000000741x/information_center_view0/contenido.html

(17/11/2016)



CAPÍTULO 3 Transformada Z 57

- 3.1 Introducción 57
- 3.2 Conceptos fundamentales 58
- 3.3 Transformada Z de funciones elementales 61
- 3.4 Propiedades de la transformada Z 67
- 3.5 Transformada Z inversa 79
 - 3.5.1 Metodo 1. División larga 80
 - 3.5.2 Metodo 2. Ecuación de recurrencia 81
 - 3.5.3 Metodo 3. Uso de tablas 82
 - 3.5.4 Metodo 4. Expansión en fracciones parciales 83
 - 3.5.5 Metodo 5. Integral de inversión 89
- 3.6 Transformada Z modificada 91
- 3.7 Aplicaciones a la teoría de probabilidad 93

CONTENIDO

Fernandez_Preliminares.indd VII 05/09/12 22:02

VIII Contenido

- 3.8 Nota histórica. Relación de la transformada Z con otras transformadas 95
- 3.9 Resumen 96
- 3.10 Problemas 97
 - Apendice 3.1 Identidades de sumas parciales 101
 - Apendice 3.2 Prueba de las condiciones de Cauchy-Riemann 101

CAPÍTULO 4 Análisis de sistemas de control discreto 103

- 4.1 Introducción 103
- 4.2 Función de transferencia 104
 - 4.2.1 Álgebra de bloques 106
- 4.3 Estabilidad 110
 - 4.3.1 Zonas de estabilidad 110
 - 4.3.2 Criterios de estabilidad 114
 - 4.3.3 Estabilidad BIBO 120
- 4.4 Respuesta en tiempo 122
- 4.5 Errores en estado estacionario 127
- 4.6 Lugar geométrico de las raíces 130
- 4.7 Respuesta en frecuencia 133
 - 4.7.1 Interpretación cualitativa de $G(e^{j\Omega})$ 136
 - 4.7.2 Diagramas de Bode 137
 - 4.7.3 Criterio de estabilidad 139
- 4.8 Resumen 141
- 4.9 Problemas 142
 - Apendice 4.1 Reglas de construcción del lugar geométrico de las raíces 147

Ricardo Fernández del Busto y Ezeta

Este material está publicado en el sitio de McGraw-Hill:

http://highered.mheducation.com/sites/000000741x/information_center_view0/contenido.html

(17/11/2016)



CAPÍTULO 5 Analisis de sistemas de control muestreados 149

5.1 Introduccion 149

5.2 Muestreo de senales 150

5.2.1 Teorema de muestreo 152

5.2.2 Seleccion del periodo de muestreo en funcion de la localizacion de polos de lazo abierto 157

5.3 Retenedores de senales (reconstruccion) 158

5.4 Funcion de transferencia de sistemas muestreados 160

5.4.1 Algebra de bloques de sistemas muestreados 165

5.5 Efectos de la cuantizacion 171

5.5.1 Propiedades del error de cuantizacion 175

5.5.2 Razon de senal a ruido de cuantizacion 175

5.5.3 Efectos de la cuantizacion en la respuesta de una funcion de transferencia 176

5.6 Resumen 178

5.7 Problemas 179

CAPÍTULO 6 Identificacion de sistemas 183

6.1 Introduccion 183

6.2 Curva de reaccion 184

6.2.1 Sistemas de primer orden 185

6.2.2 Sistemas de segundo orden 187

6.2.3 Sistemas integradores 192

6.3 Respuesta en frecuencia 193

6.4 Metodo de minimos cuadrados 198

Fernandez_Preliminares.indd VIII 05/09/12 22:02

Contenido IX

6.5 Propiedades del estimador 204

6.5.1 Senales binarias pseudoaleatorias (SBPA) 206

6.6 Metodo de minimos cuadrados recursivos 209

6.7 Determinacion del orden del sistema 217

6.8 Resumen 218

6.9 Problemas 219

Apendice 6.1Codigo en C para generar SBPA.224

Apendice 6.2 Minimos cuadrados recursivos 226

Ricardo Fernández del Busto y Ezeta

Este material está publicado en el sitio de McGraw-Hill:

http://highered.mheducation.com/sites/000000741x/information_center_view0/contenido.html

(17/11/2016)

Este material está publicado en el sitio de McGraw-Hill:

http://highered.mheducation.com/sites/000000741x/information_center_view0/contenido.html

(17/11/2016)



CAPÍTULO 7 Equivalentes discretos de funciones de transferencia 229

- 7.1 Introducción 229
- 7.2 Aproximaciones de Pade 230
 - 7.2.1 Zonas de estabilidad 232
 - 7.2.2 Respuesta en frecuencia 233
- 7.3 Mapeo de polos y ceros 239
- 7.4 Resumen 242
- 7.5 Problemas 243

CAPÍTULO 8 Diseño mediante técnicas de transformadas 247

- 8.1 Introducción 247
- 8.2 Especificaciones de diseño 248
 - 8.2.1 Especificaciones de respuesta transitoria 249
 - 8.2.2 Especificaciones en terminos de frecuencia 250
- 8.3 Diseño basado en el lugar geométrico de las raíces 251
- 8.4 Diseño basado en respuesta a la frecuencia 255
- 8.5 Diseño de controladores con dos grados de libertad 260
- 8.6 Control robusto 265
- 8.7 Resumen 269
- 8.8 Problemas 270

CAPÍTULO 9 Controlador PID 273

- 9.1 Introducción 273
- 9.2 Acciones básicas de control 274
 - 9.2.1 Acción proporcional (P) 274
 - 9.2.2 Acción proporcional e integral (PI) 276
 - 9.2.3 Acción proporcional y derivativa (PD) 278
 - 9.2.4 Acción proporcional, integral y derivativa (PID) 280
 - 9.2.5 Estructuras comunes de controladores PID 282
- 9.3 Sintonización de controladores PID 283
 - 9.3.1 Método de Ziegler-Nichols 283
 - 9.3.2 Método del relevador 286
 - 9.3.3 Método de Cohen-Coon 289
 - 9.3.4 Sintonización de controladores PID con criterios óptimos 290
- 9.4 Controladores PID digitales 293
- 9.5 Aspectos operacionales 296
 - 9.5.1 Sensores, transmisores y actuadores 296
 - 9.5.2 Transferencia manual-automática 298
 - 9.5.3 Reajuste excesivo 299
- 9.6 Resumen 301
- 9.7 Problemas 302

Ricardo Fernández del Busto y Ezeta

Este material está publicado en el sitio de McGraw-Hill:

http://highered.mheducation.com/sites/000000741x/information_center_view0/contenido.html

(17/11/2016)



CAPÍTULO 10 Estrategias avanzadas de control 307

- 10.1 Introduccion 307
- 10.2 Control cascada 307
- 10.3 Control anticipativo o prealimentado 310
- 10.4 Control de relacion 313
- 10.5 Control de gama partida 315
- 10.6 Control selectivo 315
- 10.7 Control basado en modelo interno 315
 - 10.7.1 Predictor de Smith 321
 - 10.7.2 Metodo directo de Ragazzini 324
- 10.8 Asignacion de polos 327
 - 10.8.1 Modelo de seguimiento 330
 - 10.8.2 Especificacion del polinomio caracteristico deseado P_d 330
- 10.9 Resumen 336
- 10.10 Problemas 336

CAPÍTULO 11 Variables de estado discreto 341

- 11.1 Introduccion 341
- 11.2 Variables de estado discreto 342
 - 11.2.1 Formas canonicas 349
- 11.3 Solucion a la ecuacion de estado discreto 356
- 11.4 Discretizacion de sistemas continuos 363
- 11.5 Estabilidad 369
- 11.6 Resumen 372
- 11.7 Problemas 372

CAPÍTULO 12 Diseno en el espacio de estados discretos 377

- 12.1 Introduccion 377
- 12.2 Controlabilidad 377
- 12.3 Observabilidad 383
- 12.4 Diseno de reguladores por retroalimentacion de estados 388
 - 12.4.1 Metodo directo 388
 - 12.4.2 Metodo de Ackerman 390
- 12.5 Diseno de observadores 396
 - 12.5.1 Metodo directo 396
 - 12.5.2 Modelo dinamico 398
 - 12.5.3 Caso combinado de regulador y observador 401
 - 12.5.4 Implementacion practica del observador 402
 - 12.5.5 Observador de orden reducido 403
- 12.6 Diseno de controladores 406
- 12.7 Resumen 409
- 12.8 Problemas 410

Ricardo Fernández del Busto y Ezeta

Este material está publicado en el sitio de McGraw-Hill:

http://highered.mheducation.com/sites/000000741x/information_center_view0/contenido.html

(17/11/2016)



CAPÍTULO 13 Introducción a LabVIEW 413

- 13.1 Introducción 413
 - 13.2 Tipos de graficas en LabVIEW 414
 - 13.2.1 Waveform Chart 414
 - 13.2.2 Waveform Graph 415
 - 13.2.3 XY Graph 415
 - 13.3 Generador de senales 416
- Fernandez_Preliminares.indd X 05/09/12 22:02
- Contenido **XI**
- 13.4 Creacion de arreglos con indice y grafica 417
 - 13.5 Construccion de una ecuacion de recurrencia de primer orden 418
 - 13.6 Creacion de una funcion de transferencia 419
 - 13.7 Creacion de una funcion de transferencia en terminos de sus polos y ceros 420
 - 13.8 Escritura en archivos de los modelos de control 421
 - 13.9 Lectura de un modelo de control desde un archivo 422
 - 13.10 Simulacion basica de un sistema discreto 423
 - 13.11 Uso de MathScript 424
 - 13.12 Adquisicion de datos utilizando la tarjeta DAQ de National Instruments 425
 - 13.13 Resumen 429
 - 13.14 Problemas 429

CAPÍTULO 14 Aplicaciones de LabVIEW al control digital 431

- 14.1 Introducción 431
- 14.2 Analisis y diseno de sistemas discretos 432
 - 14.2.1 Simulacion de sistemas discretos de primer y segundo ordenes 432
 - 14.2.2 Analisis de sistemas discretos 433
- 14.3 Sistemas muestreados 435
- 14.4 Equivalentes discretos 436
- 14.5 Identificacion de sistemas 437
- 14.6 Controlador PID 440
- 14.7 Variables de estado discreto 443
- 14.8 Resumen 446
- 14.9 Problemas 447

Ricardo Fernández del Busto y Ezeta

Este material está publicado en el sitio de McGraw-Hill:

http://highered.mheducation.com/sites/000000741x/information_center_view0/contenido.html

(17/11/2016)

Este material está publicado en el sitio de McGraw-Hill:

http://highered.mheducation.com/sites/000000741x/information_center_view0/contenido.html

(17/11/2016)



Apéndice A Modelos de sistemas dinámicos 451

- A.1 Sistema de balancín y bola 451
- A.2 Motor de corriente directa 451
- A.3 Intercambiador de calor 452
- A.4 Tanques acoplados 452
- A.5 Tanques en serie 453
- A.6 Levitador magnético 454

Apéndice B Resultados básicos del álgebra matricial 456

- B.1 Matriz inversa 456
- B.2 Vectores y valores característicos 457
- B.3 Funciones de una matriz 459

Apéndice C Tablas de transformada Z y sus propiedades 461

Apéndice D Tarjetas de adquisición de datos 464

- D.1 Especificaciones de tarjetas de adquisición de datos 464

Apéndice E Análisis de Fourier 467

Apéndice F Simulación de ecuaciones de recurrencia 470

Índice analítico 473

Ricardo Fernández del Busto y Ezeta