

5ª edición

Ingeniería de control moderna

Katsuhiko Ogata

PEARSON

Ingeniería de control moderna

Quinta edición

Katsuhiko Ogata

Traducción

Sebastián Dormido Canto

Profesor Titular de Ingeniería de Sistemas y Automática, UNED

Raquel Dormido Canto

Profesora Titular de Ingeniería de Sistemas y Automática, UNED

Revisión técnica

Sebastián Dormido Bencomo

Catedrático de Ingeniería de Sistemas y Automática, UNED

Revisión técnica para Latinoamérica

Amadeo Mariani

Profesor Titular de Sistemas de Control Moderno

UTN Regional Buenos Aires Regional/HAEDO

Juan Eduardo Picco

Profesor Titular de la materia Sistemas de Control, Departamento de Ingeniería Electrónica

Universidad Tecnológica Regional Córdoba, Provincia de Córdoba, República Argentina

Profesor Titular de la materia de Teoría de Control, Departamento de Ingeniería Electrónica

Instituto Universitario Aeronáutico, Provincia de Córdoba, República Argentina

Ricardo Julián Mantz

Profesor Titular Dedicación Exclusiva, Cátedra Control Moderno, Ing. Electrónica

Universidad Nacional de la Plata, Facultad de Ingeniería

La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina

Jorge Raúl Rossello

Profesor Titular de la Cátedra Sistemas de Control 1

Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional de la Matanza

San Justo, Provincia de Buenos Aires, Argentina

Prentice Hall
es un sello editorial de

PEARSON

Harlow, England • London • New York • Boston • San Francisco • Toronto • Sydney • Singapore • Hong Kong
Tokyo • Seoul • Taipei • New Delhi • Cape Town • Madrid • Mexico City • Amsterdam • Munich • Paris • Milan

INGENIERÍA DE CONTROL MODERNA

Katsuhiko Ogata

PEARSON EDUCACIÓN, S.A., Madrid, 2010

ISBN: 978-84-8322-660-5

Materia: Ingeniería del control automático, 681.5

Formato: 195 × 250 mm.

Páginas: 904

Todos los derechos reservados.

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (*arts. 270 y sgts. Código penal*).

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos: www.cedro.org), si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

© PEARSON EDUCACIÓN, S.A., 2010

Ribera del Loira, 28

28042 Madrid (España)

www.pearsoneducacion.com

ISBN: 978-84-8322-660-5

Depósito legal: M-19.567-2010

Authorized translation from the English language edition, entitled INTRODUCTION TO MATERIALS SCIENCE FOR ENGINEERS, 7th Edition by JAMES SHACKELFORD, published by Pearson Education, Inc, publishing as Prentice Hall, Copyright © 2009. All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc. SPANISH language edition published by PEARSON EDUCATION S.A., Copyright © 2010.

Equipo editorial:

Editor: Miguel Martín-Romo

Técnico editorial: Esther Martín

Equipo de producción:

Director: José Antonio Clares

Técnico: Isabel Muñoz

Diseño de cubierta: Equipo de diseño de Pearson Educación S.A.

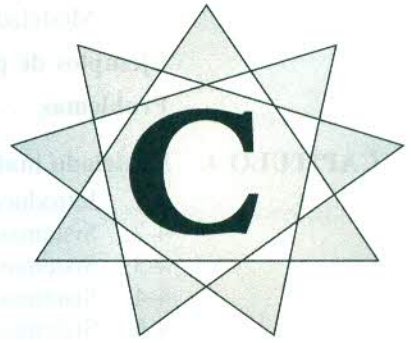
Composición: Copibook

Impresión: Impulso global olutions

IMPRESO EN ESPAÑA - PRINTED IN SPAIN

Este libro ha sido impreso con papel y tintas ecológicos

Nota sobre enlaces a páginas web ajenas: Este libro puede incluir enlaces a sitios web gestionados por terceros y ajenos a PEARSON EDUCACIÓN S.A. que se incluyen sólo con finalidad informativa. PEARSON EDUCACIÓN S.A. no asume ningún tipo de responsabilidad por los daños y perjuicios derivados del uso de los datos personales que pueda hacer un tercero encargado del mantenimiento de las páginas web ajenas a PEARSON EDUCACIÓN S.A. y del funcionamiento, accesibilidad o mantenimiento de los sitios web no gestionados por PEARSON EDUCACIÓN S.A. Las referencias se proporcionan en el estado en que se encuentran en el momento de publicación sin garantías, expresas o implícitas, sobre la información que se proporcione en ellas.



Contenido

PRÓLOGO	ix
CAPÍTULO 1. Introducción a los sistemas de control	1
1-1. Introducción	1
1-2. Ejemplos de sistemas de control	4
1-3. Control en lazo cerrado en comparación con control en lazo abierto	7
1-4. Diseño y compensación de sistemas de control	9
1-5. Contenido del libro	10
CAPÍTULO 2. Modelado matemático de sistemas de control	13
2-1. Introducción	13
2-2. Función de transferencia y de respuesta impulso	15
2-3. Sistemas de control automáticos	17
2-4. Modelado en el espacio de estados	29
2-5. Representación en el espacio de estados de sistemas de ecuaciones diferenciales escalares	35
2-6. Transformación de modelos matemáticos con MATLAB	39
2-7. Linealización de modelos matemáticos no lineales	42
Ejemplos de problemas y soluciones	45
Problemas	60
CAPÍTULO 3. Modelado matemático de sistemas mecánicos y sistemas eléctricos	63
3-1. Introducción	63
3-2. Modelado matemático de sistemas mecánicos	63

3-3. Modelado matemático de sistemas eléctricos	72
Ejemplos de problemas y soluciones	86
Problemas	97
CAPÍTULO 4. Modelado matemático de sistemas de fluidos y sistemas térmicos	100
4-1. Introducción	100
4-2. Sistemas de nivel de líquido	101
4-3. Sistemas neumáticos	106
4-4. Sistemas hidráulicos	123
4-5. Sistemas térmicos	136
Ejemplos de problemas y soluciones	140
Problemas	153
CAPÍTULO 5. Análisis de la respuesta transitoria y estacionaria	159
5-1. Introducción	159
5-2. Sistemas de primer orden	161
5-3. Sistemas de segundo orden	164
5-4. Sistemas de orden superior	179
5-5. Análisis de la respuesta transitoria con MATLAB	183
5-6. Criterio de estabilidad de Routh	212
5-7. Efectos de las acciones de control integral y derivativa en el comportamiento del sistema	218
5-8. Errores en estado estacionario en los sistemas de control con realimentación unitaria	225
Ejemplos de problemas y soluciones	231
Problemas	263
CAPÍTULO 6. Análisis y diseño de sistemas de control por el método del lugar de las raíces	269
6-1. Introducción	269
6-2. Gráficas del lugar de las raíces	270
6-3. Gráficas del lugar de las raíces con MATLAB	290
6-4. Lugar de las raíces de sistemas con realimentación positiva	303
6-5. Diseño de sistemas de control mediante el método del lugar de las raíces	308
6-6. Compensación de adelanto	311
6-7. Compensación de retardo	321
6-8. Compensación de retardo-adelanto	330
6-9. Compensación paralela	342
Ejemplos de problemas y soluciones	347
Problemas	394
CAPÍTULO 7. Análisis y diseño de sistemas de control por el método de la respuesta en frecuencia	398
7-1. Introducción	398
7-2. Diagramas de Bode	403
7-3. Diagramas polares	427
7-4. Diagramas de magnitud logarítmica respecto de la fase	443

7-5.	Criterio de estabilidad de Nyquist	445
7-6.	Análisis de estabilidad	454
7-7.	Análisis de estabilidad relativa	462
7-8.	Respuesta en frecuencia en lazo cerrado de sistemas con realimentación unitaria	477
7-9.	Determinación experimental de funciones de transferencia	486
7-10.	Diseño de sistemas de control por el método de la respuesta en frecuencia	491
7-11.	Compensación de adelanto	493
7-12.	Compensación de retardo	502
7-13.	Compensación de retardo-adelanto	511
	Ejemplos de problemas y soluciones	521
	Problemas	561
CAPÍTULO 8.	Controladores PID y controladores PID modificados	567
8-1.	Introducción	567
8-2.	Reglas de Ziegler-Nichols para la sintonía de controladores PID	568
8-3.	Diseño de controladores PID mediante el método de respuesta en frecuencia	577
8-4.	Diseño de controladores PID mediante el método de optimización computacional	582
8-5.	Modificaciones de los esquemas de control PID	590
8-6.	Control con dos grados de libertad	592
8-7.	Método de asignación de ceros para mejorar las características de respuesta	595
	Ejemplos de problemas y soluciones	614
	Problemas	641
CAPÍTULO 9.	Análisis de sistemas de control en el espacio de estados	648
9-1.	Introducción	648
9-2.	Representaciones en el espacio de estados de sistemas definidos por su función de transferencia	649
9-3.	Transformación de modelos de sistemas con MATLAB	656
9-4.	Solución de la ecuación de estado invariante con el tiempo	660
9-5.	Algunos resultados útiles en el análisis vectorial-matricial	668
9-6.	Controlabilidad	675
9-7.	Observabilidad	682
	Ejemplos de problemas y soluciones	688
	Problemas	720
CAPÍTULO 10.	Diseño de sistemas de control en el espacio de estados	722
10-1.	Introducción	722
10-2.	Asignación de polos	723
10-3.	Solución de problemas de asignación de polos con MATLAB	735
10-4.	Diseño de servosistemas	739
10-5.	Observadores de estado	751
10-6.	Diseño de sistemas reguladores con observadores	778
10-7.	Diseño de sistemas de control con observadores	786

