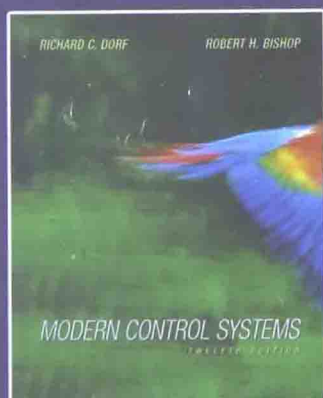


现代控制系统 (第十二版)

Modern Control Systems
Twelfth Edition



[美] Richard C. Dorf 著
Robert H. Bishop
谢红卫 孙志强 译
宫二玲 张纪阳



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

现代控制系统 (第十二版)

Modern Control Systems, Twelfth Edition

控制系统原理及相近课程是高等学校工科学生的核心课程之一。本书一直是该类课程畅销全球的教材范本,至今已出版至第十二版。主要内容包括控制系统导论、系统数学模型、状态空间模型、反馈控制系统的特性、反馈控制系统的性能、反馈系统的稳定性、根轨迹法、频率响应方法、频域稳定性、反馈控制系统设计、状态变量反馈系统设计、鲁棒控制系统和数字控制系统等。本书的例子和习题大多取材于现代科技领域中的实际问题,新颖而恰当。学习和解决这些问题,可以使学生的创造性精神得到潜移默化的提升。

本书特色

- 清晰阐释了控制系统设计的基本原理和常用的控制系统的时域和频域设计方法,以及鲁棒控制系统设计方法;另外还概要介绍了数字控制系统。
- 介绍了着眼于解决实际工程问题的,控制系统分析与设计的整体过程。
- 每章末尾提供了五级不同难度和综合度的习题,包括基础练习题、一般习题、难题、设计题以及基于MATLAB和LabVIEW MathScript的计算机辅助设计题。
- 运用MATLAB和LabVIEW MathScript,开展计算机辅助控制系统设计与分析的内容贯穿全书,包括课后习题。
- 涵盖主题包括:鲁棒控制系统和系统灵敏度的概念、状态变量模型、能控性和能观性、计算机控制系统、内模控制、鲁棒PID控制器和计算机辅助控制系统设计与分析。
- 实际生活中复杂控制系统的设计是贯穿全书的一个重要主题。强调实际应用控制系统的设计,有利于满足美国工程技术认证委员会的认证和工业界的需要。
- 每章至少有一个设计问题,这也有利于满足美国工程技术认证委员会的认证和工业界的需要。

新增内容

- 第1章增加了一节关于绿色工程的内容。解决人类面临的这类全球性环境问题,需要自动化程度和精确度日益增长的自动化设备,因此,自动控制系统在绿色工程中的应用将越来越广泛。
- 主要章节都新增了可以佐证控制系统支撑绿色工程应用的设计题,如智能电网、环境监控、风力发电和太阳能发电等。
- 每章都增加了一个名为“技能自测”的小节,以便于学生自行检查对基本原理、知识和技能的掌握情况。每章最后给出了相应的答案,以便学生及时反馈学习效果。
- 增加了一节关于负增益根轨迹的内容。
- 增加了关于PID参数整定方法的内容,重点介绍了手工整定方法和齐格勒-尼科尔斯整定法。
- 新增或修改了超过20%的课后习题。本书的第十二版总共提供了超过1000道基础练习题、一般习题、难题、设计题和计算机辅助设计题等各类题目,方便了教师根据进度布置不同的作业。

Richard C. Dorf 美国加利福尼亚大学戴维斯分校电气与计算机工程教授, IEEE会士和ASEE会士,一直活跃在控制系统设计和机器人等研究领域。作为在电子工程专业及其应用领域内的知名学者, Dorf教授已经成功撰写和编著出版了多本工程类教材和手册。

Robert H. Bishop 美国马凯特大学工学院院长。在受聘马凯特大学之前,在得克萨斯大学奥斯汀分校航天工程与机械工程系任教20年,是该校的杰出教授, Joe J. Kling讲席教授。 AIAA会士, AAS会士, 并长期活跃在ASEE和IEEE等学会。

其他相关图书
请扫二维码↓



PEARSON
www.pearson.com



策划编辑: 马 岚
责任编辑: 马 岚
责任美编: 李 雯



欢迎登录 免费获取本书教学资源
<http://www.hxedu.com.cn>



ISBN 978-7-121-25414-7



9 787121 254147 >

定价: 128.00 元

国外计算机科学教材系列

现代控制系统

(第十二版)

Modern Control Systems

Twelfth Edition

[美] Richard C. Dorf 著
Robert H. Bishop

谢红卫 孙志强 宫二玲 张纪阳 译

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

控制系统原理及相近课程是高等学校工科学生的核心课程之一。本书一直是该类课程畅销全球的教材范本,至今已经出版至第十二版。主要内容包括控制系统导论、系统数学模型、状态空间模型、反馈控制系统的特性、反馈控制系统的性能、线性反馈系统的稳定性、根轨迹法、频率响应方法、频域稳定性、反馈控制系统设计、状态变量反馈系统设计、鲁棒控制系统和数字控制系统等。本书的例子和习题大多取材于现代科技领域中的实际问题,新颖而恰当。学习和解决这些问题,可以使学生的创造性精神得到潜移默化的提升。

本书可作为高等学校工科(自动化、航空航天、电力、机械、化工等)的本科高年级学生和研究生教材,也可以供从事相关工作的人员作为参考书使用。

Authorized translation from the English language edition, entitled Modern Control Systems, Twelfth Edition, 9780136024583 by Richard C. Dorf, Robert H. Bishop, published by Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall, Copyright © 2011 Pearson Education, Inc.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any forms or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

CHINESE SIMPLIFIED language edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY, Copyright © 2015.

本书中文简体字版专有版权由 Pearson Education(培生教育出版集团)授予电子工业出版社。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书贴有 Pearson Education(培生教育出版集团)激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2011-4147

图书在版编目(CIP)数据

现代控制系统:第12版/(美)多尔夫(Dorf, R. C.), (美)毕晓普(Bishop, R. H.)著. 谢红卫等译.

北京:电子工业出版社,2015.2

(国外计算机科学教材系列)

书名原文:Modern Control Systems, Twelfth Edition

ISBN 978-7-121-25414-7

I. ①现… II. ①多… ②毕… ③谢… III. ①控制系统-高等学校-教材 IV. ①TP271

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第010609号

策划编辑:马 岚

责任编辑:马 岚 特约编辑:马爱文

印 刷:三河市华成印务有限公司

装 订:三河市华成印务有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:54 字数:1486千字

版 次:2011年4月第1版(原著第11版)

2015年2月第2版(原著第12版)

印 次:2015年2月第1次印刷

定 价:128.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

译者序

源于应 Robert H. Bishop 教授邀请前往访问交流, 2001 年, 我与同事们在高等教育出版社翻译出版了 Richard C. Dorf 和 Robert H. Bishop 所著的国际经典教材 *Modern Control Systems* 的第八版, 后来又应电子工业出版社编辑马岚女士来电约稿, 于 2011 年再次翻译出版了该教材的第十一版。

Modern Control Systems 持续改进的成果参见原书前言。在此, 我只就英文版第十二版的翻译过程做一些说明。在我们所译的每个版本中, 译者序里都会写到: “译稿的欠妥之处在所难免, 恭候专家和广大读者批评指正”。此话绝非虚言。这次的译稿又发现了以前两版译稿中的不少错误, 择要说明如下: 第 1 章对术语做了较多的修订; 从第 2 章开始, 全书规范改正了关于“质点”、“质量块”和“质量”的说法不一致的问题, 改正了梅森公式部分的几处错误; 从第 4 章开始, 照顾国内的习惯, 全书将 loop gain 规范翻译成“开环传递函数”, 而不再将“开环”和“环路”混用; 特别是第 9 章和第 10 章, 改正了几处致命的翻译错误。至于全书新增内容的翻译, 原有文字表述方面的改进, 就不胜枚举了。

谢红卫翻译了本书的前言、第 1 章至第 3 章及其他附表等, 张纪阳翻译了第 4 章至第 6 章, 宫二玲翻译了第 7 章和第 8 章, 孙志强翻译了第 9 章至第 13 章以及附录。谢红卫负责全书的修改和统稿。

我们在翻译过程中秉承精益求精的原则, 追求“信、达、雅”的目标, 力图译得严谨流畅, 为国内同行献上一本精品译著。但我们还是要说: 译稿的欠妥之处在所难免, 恭候专家和广大读者进一步批评指正。

谢红卫
于国防科技大学
2014 年 6 月

前 言

本书内容

诸如气候变化、清洁水资源、废物管理、能源使用和可持续发展等全球性议题，促使许多工程师重新审视反省已有的工程设计方法和策略。工程设计策略改进演化的结果之一就是所谓的绿色工程。绿色工程的目的是使设计出的产品能够减少污染，降低对人类健康的风险，以及改善环境。采用绿色工程的设计原则，进一步突显了反馈控制系统的技术支撑作用。

为了减少温室气体排放和尽量降低污染，就需要从质和量两个方面改进环境监控系统。一个这样的例子是机器人控制的移动监测平台，它采用无线方式监测雨林的环境参数。另一个例子是通过测量超前和滞后功率因子、电压波动和谐波波形等参数，监测供电质量。许多绿色工程系统或部件都需要对电压和电流进行细致的监测。又例如，在相互连接的供电网络中，常常要用变流器来测量和调控电流。传感器是反馈控制系统中的重要部件，依据它测量提供的系统状态的信息，控制系统才能执行恰当的动作。

由于人类面临的全球性问题需要工程设备具有日益增长的自动化程度和精确度，自动控制系统在绿色工程中的应用将越来越广泛。本书选取了绿色工程中的一些主要应用实例，包括风力涡轮机控制和光伏发电建模等。后者的目的是，使光伏发电机在阳光随时间变化的情况下，也能通过反馈控制实现最大功率的发电。

风力和太阳能是世界上重要的可再生能源。风能向电能的转化是通过连接到发电机的风力涡轮机实现的。风力的间歇性特性促进了智能电网的发展，风力发电有效工作时，智能电网要供电上网；风力发电无风或不能稳定工作时，智能电网要用其他来源来供电上网。智能电网就是在发电装置出现间歇或大的扰动时，仍然能够将电能可靠而高效地输送到家庭、企业、学校和其他用户的软硬件集成体。风力强度和方向的不规则特性也导致了有必要对风力涡轮机自身加以控制，以便产生可靠平稳的电能，这些控制系统或控制器件的直接目的就是减小风力间歇特性和风向改变对风力发电的影响。能量储备系统也是绿色工程的关键技术，我们要寻找更多类似燃料电池的可重用的能量储备系统。在高效的可重用能量储备系统中，主动控制也是一项关键的技术。

控制工程是一个充满新奇和挑战的领域，从本质上讲，它是一个跨学科的综合性领域，控制工程或控制原理课程则是工科专业的核心课程。我们可以采用不同的途径来学习和掌握控制工程的基础知识和技能。一方面，由于控制工程奠定在坚实的数学基础之上，我们可以将定理及其证明作为重点，从严格的理论的角度来学习控制工程的理论和方法；另一方面，由于控制工程的终极目标是实现对实际系统的控制，因此，我们也可以在设计反馈控制系统的实践中，主要凭直觉和实践经验进行学习，不过这只是权宜之计。本节所采取的途径是，在介绍基本的数学工具和方法论的基础上，着重介绍物理系统的建模，以及满足实用性能指标要求的实际控制系统的设计。

作者坚信，对于我们每个人来说，最重要和最有成效的学习方法是对前人已经得到的答案和方法进行重新发现和创新。因此，理想的教学方法是向学生提出一系列问题，并给出部分过去已有的结果。传统方法不重视向学生提出问题而是直接给出完整的答案，剥夺了学生感受刺激和兴奋的机会，因而与创造冲动无缘，同时也将人类获得科技进步的探索变成了一堆干巴巴的定

理。教学的最高境界则是向学生提供一些我们当前面临的、重要但尚无答案的问题，由学生自己去寻找答案。这样一来，他们可以自豪地宣称，他们所学到的知识都是自己所发现的。

本书的目的在于，通过正文和习题，向学生介绍基本的反馈控制理论，提供一系列发现问题和解决问题的机会，帮助学生体验重新发展反馈控制系统理论及其应用实践。如果能够对此目的有所裨益，那就意味着本书取得了成功。

第十二版的更新

本书的最新版本进行了下列主要更新。

- 第1章增加了一节关于绿色工程的内容。解决人类面临的这一类全球性问题，需要自动化程度和精确度日益增长的工程设备，因此，自动控制系统在绿色工程中的应用将越来越广泛。
- 为了说明控制系统设计对绿色工程应用的支撑作用，在主要章节都新增加了有关的设计题，如智能电网、环境监控、风力发电和太阳能发电等。
- 每章都新增了一个名为“技能自测”的小节，以便于学生自行检查对基本原理、知识和技能的掌握情况。每章最后都给出了相应的答案，以便学生及时反馈学习效果。
- 增加了一节关于负增益根轨迹的内容。
- 增加了关于PID参数整定方法的内容，重点介绍了手工整定方法和齐格勒-尼科尔斯整定法。
- 新增或者修改了超过20%的课后习题。本书第十二版总共提供了超过1000道基础练习题、一般习题、难题、设计题和计算机辅助设计题等各类题目，方便了教师根据进度布置不同的作业。

读者对象

本书是为工科类本科生编写的控制系统基础教材。控制系统在航天、化工、电气、机械等学科中的应用差异甚微，因此，本书的编写对任何工程学科无所偏倚^①。所以，本书可望能够同样适用于所有工程学科，这正好有力地说明了控制工程的实用性。书中大量的习题和实例来自不同的学科领域，其中所举的关于社会学、生物学、生态学和经济学控制系统的实例，旨在使读者认识到，控制理论可以普遍应用于生活的诸多方面。我们认为，让学生接触其他学科的例子和习题，有利于拓宽他们的视野和思路，提高他们跨学科学习和研究的能力。事实上，许多学生将来要从事的技术工作并不等同于他们目前所学的学科专业，例如，许多电气工程师和机械工程师都和航天工程师一道，工作在航天工业部门。我们希望，这本控制工程的基础教程能让学生对控制系统的分析和设计有广泛的了解。

在美国，已经有400多所大学采用了本书的前版作为工科类的高年级本科教材。缺少控制工程基础的工科研究生，也常常选用它作为教材。

关于本书的第十二版

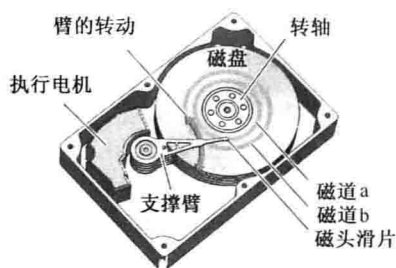
 本书中用到的所有m脚本程序（即MATLAB程序脚本）和附录B至附录I，都需要从网上下载阅读^②。各附录分别包括了拉普拉斯变换表、z变换表、矩阵代数、复数、符号、计量单位和

^① 这是美国的情况。在美国，尽管控制学会等团体的学术活动非常广泛和热烈，但控制工程既不是一个独立的工程学科，也不从属于某个工程学科，而在中国，控制科学与工程则是一个独立的一级学科。——译者注

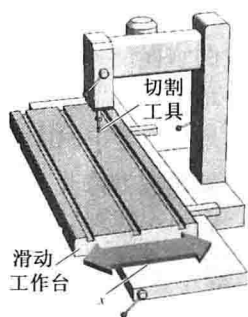
^② 登录华信教育资源网(<http://www.hxedu.com.cn>)可注册下载本书相关资料。——编者注

变换因子,以及 LabVIEW MathScript RT Module 简介等方面的材料。书中提到这些资料时,页边将给出图标提示(参见段首图标)。

 重视控制系统设计是本书历来的特色,第十二版延续并发展了这一特色。结合设计磁盘驱动器读取系统这样一个实际工程问题,我们设计了“循序渐进设计实例”(参见段首图标)。书中每章都将利用该章介绍的概念和方法,逐步对此实例进行研讨。磁盘驱动器广泛应用于各类计算机,是控制工程的一个重要的应用实例。书中各章分别研究了磁盘驱动器读取系统控制器设计的不同方面。例如,第1章确定了它的控制目标、受控变量、指标设计要求及基本的系统结构;第2章建立了控制对象、传感器和执行机构的模型;后续各章则利用该章介绍的知识要点,继续从不同方面研究磁盘驱动器的控制问题。



 基于和“循序渐进设计实例”同样的思路,我们还编拟了一种连续性设计题(参见段首图标),给学生提供一个通过逐章的练习,最终完成设计任务的机会。精密加工对滑动工作台控制系统提出了严格的要求。在连续性设计题中,要求学生运用各章介绍的技术和方法,完成满足给定的性能指标要求的控制系统设计。



 本书进一步完善了计算机辅助设计和分析方面的内容。每章后面的计算机辅助设计题都用图标进行了标识(参见段首图标)。同时,针对“循序渐进设计实例”中不同问题的解决方案,也给出了相应的 m 脚本程序。

 本书第十二版的一个新特点是在每章的后面都新增了一个名为“技能自测”的小节,并用对号图标进行了标识(参见段首图标)。每个“技能自测”小节包括正误判断题、多项选择题和术语匹配题这三类题目,以便于学生自行检查对本章内容的掌握情况。每章最后还给出了相应的答案,以便学生及时反馈学习效果。

教学方法

全书围绕控制系统时域和频域理论的基本概念来展开和组织材料。在内容主题的选择,例题和习题中实际系统的选材上,尽量体现新颖性和先进性。这样一来,本书就包含了很多新的知识点,如鲁棒控制系统、系统灵敏度、状态空间模型、能控性和能观性、内模控制、鲁棒 PID 控制器、计算机控制系统、计算机辅助设计与分析等。同时,对于控制理论中那些已经得到验证的极具实用价值的经典问题,本书也予以保留并有所扩展。

构建基础理论体系:从经典到现代。本书旨在清晰地阐明时域和频域设计方法的基本原理。全书涵盖了控制工程的经典方法,如拉普拉斯变换和传递函数、根轨迹设计法和劳斯-赫尔维茨稳定性分析;也包括伯德图法、奈奎斯特法和尼科尔斯法等频域响应法;还包括对标准测试信号的稳态跟踪误差,二阶系统近似,相角裕度、增益裕度和带宽等。此外,本书还把讨论的范围扩展到了状态空间法,讨论了状态空间模型的能控性和能观性的基本概念,介绍了用于极点配置的阿克曼公式,以及利用该公式进行全状态反馈设计的方法,同时也讨论了状态变量反馈设计的局限性。针对状态信息无法完整测量的情况,介绍了用于估计重建系统状态的观测器的概念。

在介绍上述基本原理的基础上,本书还介绍了许多超出经典的新内容。第12章介绍了鲁棒控制理论的新进展;第13章讨论了数字计算机控制系统的实现问题。除第1章外,全书其余各章都介绍了计算机辅助分析与设计方面的内容。本书还按章节提供了大量的参考文献,以引导学生进一步研究有关控制工程的源头性信息。

逐步提高解决问题的技能。阅读、听课、记笔记、推演例题都是学习过程的组成部分,但对学习效果的实际检验,则依赖于完成每章后面的习题。本书注重提高学生解决问题的能力,每章所附的习题包括以下5类:

- 基础练习题(以E开头)
- 一般习题(以P开头)
- 难题(以AP开头)
- 设计题(以DP开头)
- 计算机辅助设计题(以CP开头)

例如,第7章就包括了28道基础练习题、39道一般习题、14道难题、14道设计题和10道计算机辅助设计题。基础练习题的目的是,让学生在解决复杂问题之前,直接运用各章所介绍的概念和方法解决相对简单的问题,约有1/3的基础练习题给出了答案。一般习题则要求学生灵活运用各章的概念,以解决新的问题。难题表示相对复杂的问题。设计题侧重于让学生完成设计任务。计算机辅助设计题则旨在培养学生运用计算机解决问题的能力。全书共有1000多道题目,学生通过完成从基础练习题到设计题和计算机辅助设计题的各类题目,将对自己解决问题的能力越来越自信。本书有相应的教学辅导手册供所有采用本书教学的教师使用。手册中包含了所有题目的完整答案^①。

此外,作者还编写了名为“现代控制系统工具箱”(Modern Control Systems Toolbox)的教学辅助材料,包括每个计算机辅助设计例题的所有m脚本程序。

阐释基本原理,强化设计训练。实际复杂控制系统的设计是贯穿全书的主题。强调实际应用系统的设计训练,有利于适应ABET(Accreditation Board for Engineering and Technology,美国工程技术认证委员会)的认证和工业设计的需要。控制系统的设计流程可以分为7个模块,这些模块又可以归为3大类:

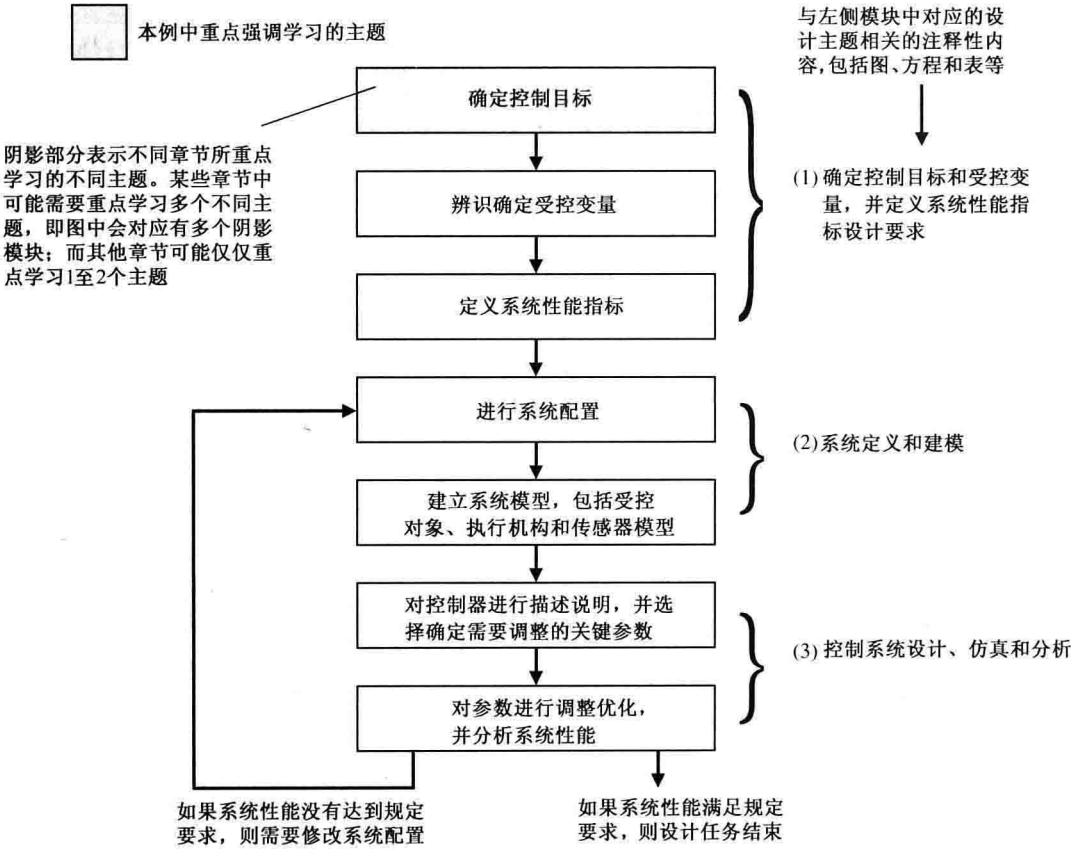
1. 确定控制目标和受控变量,并定义系统性能指标设计要求;
2. 系统定义和建模;
3. 控制系统设计,全系统集成的仿真和分析。

本书的每一章都强调系统设计流程与该章主题和知识点之间的对应关系,目的在于通过实例来展示控制系统设计流程中不同方面的内容。本书设计了13个实例来逐次说明控制系统的设计流程,包括:

- 智能电网(见1.9节)
- 光伏发电机(见2.8节)
- 空间站定向系统建模(见3.8节)
- 麻醉过程中的血压控制(见4.8节)

^① 采用本书作为教材的教师,可联系 te_service@phei.com.cn (010-88254555) 申请获得相关资料。

- 飞机姿态控制(见 5.9 节)
- 机器人自动驾驶摩托车(见 6.5 节)
- 风力发电机风力机转速控制(见 7.8 节)
- 光伏发电机的最大功率点跟踪(见 8.6 节)
- 风力机的 PID 控制(见 9.8 节)
- 铣床控制系统(见 10.12 节)
- 柴电力机车控制(见 11.9 节)
- 数字音响磁带驱动器(见 12.8 节)
- 工作台运动控制(见 13.10 节)



本书每章都专门安排了一节来帮助学生计算机辅助分析和设计, 并运用计算机辅助设计的手段, 对本章中的实例和概念进行再分析和再设计。例如, 第 5 章利用计算机辅助设计的方法对“循序渐进设计实例: 磁盘驱动器读取系统”进行了分析。设计方案对应的 m 脚本程序可以参见图 5.47。通常, 采用注释文字对每个 m 脚本程序中的要点进行了说明, 与文本对应的运算输出结果(通常是曲线图)也采用注释文字进行了说明。以这些 m 脚本程序为基础, 再稍加修改, 就可以用来解决其他问题。

提供学习帮助。每章开篇都有新修订的提要, 介绍本章将要讨论的主要问题, 每章末尾都附有小结、技能自测题以及主要概念和术语。这些内容有利于强化各章所介绍的重要概念, 也便于今后使用时参考。

内容编排

第1章 控制系统导论。首先简要介绍了控制理论和实践的发展历史。其主要目的在于介绍设计和实现控制系统的一般流程和方法。

第2章 系统数学模型。介绍了实际物理系统的输入输出模型,或者说,以传递函数形式为主的数学模型,涵盖了各类实际受控系统,包括机械系统、电气系统和流体系统等。

第3章 状态空间模型。介绍了采用状态变量的系统状态空间模型。运用矩阵工具,讨论了控制系统的瞬态时间响应及其性能。

第4章 反馈控制系统的特性。介绍了反馈控制系统的特性,讨论了反馈的优点,引入了系统偏差信号的概念。

第5章 反馈控制系统的性能。仔细研究了反馈控制系统的性能指标,系统的性能与系统传递函数的零点和极点在 s 平面上的位置分布密切相关。

第6章 线性反馈系统的稳定性。研究了线性反馈系统的稳定性,考察了系统稳定性与系统传递函数的特征方程之间的关系,介绍了劳斯-赫尔维茨稳定性判据。

第7章 根轨迹法。研究了当一个或两个系统参数变化时,系统特征根在 s 平面上的运动轨迹,讨论了如何用图解法来确定 s 平面上的根轨迹,还介绍了应用广泛的PID控制器和PID参数整定的齐格勒-尼科尔斯法。

第8章 频率响应法。研究了当频率变化时,系统对正弦输入信号的稳态响应,讨论了伯德图等频率响应图。

第9章 频域稳定性。采用频率响应法研究系统的稳定性,讨论了系统的相对稳定性和奈奎斯特稳定性判据。

第10章 反馈控制系统设计。讨论了控制系统的几种设计和校正方法,介绍了多种实用的校正装置,并对它们改善系统性能的机理进行了说明。

第11章 状态变量反馈系统设计。主要讨论了如何利用状态空间模型设计控制系统,讨论了基于极点配置的全状态反馈设计和观测器设计方法,给出了系统能控性和能观性的判别方法,讨论了内模设计概念。

第12章 鲁棒控制系统。介绍了在存在不确定性的情况下,如何设计高精度控制系统的问题。讨论了5种鲁棒设计方法:根轨迹法、频域响应法、用于鲁棒PID控制器设计的ITAE方法、内模设计法和伪定量反馈设计法。

第13章 数字控制系统。介绍了描述和分析计算机控制系统及其性能的方法,讨论了数据采样控制系统的稳定性与其他性能。

附录A MATLAB 基础知识。

致谢

我们向对本书的十二版及以前各版本的撰写和出版给予过热情帮助的人士表示真诚的感谢,他们是: Mahmoud A. Abdalah(俄亥俄州立中部大学), John N. Chiasson(匹兹堡大学), Samy El-Sawah(加州州立工业大学普莫纳分校), Peter J. Gorder(堪萨斯州立大学), Duane Hanselman(缅因大学), Ashok Iyer(内华达大学拉斯维加斯分校), Leslie R. Koval(密苏里大学罗拉分校), L. G. Kraft(新罕布什尔大学), Thomas Kurfess(佐治亚理工学院), Julio C. Mandojana 和 Luigi Mariani(州立曼科塔大学), Jure Medanic(伊利诺伊大学厄本那-香槟分校), Eduardo A. Misawa(俄克拉荷马州立大学), Medhat M. Morcos(堪萨斯州立大学), Mark Nagurka(马凯特大学), D.

Subbaram Naidu(爱达荷州立大学), Ron Perez(威斯康星大学密尔沃基分校), Carla Schwartz (MathWorks 公司), Murat Tanyel(Dordt 学院), Hal Tharp(亚利桑那大学), John Valasek(得克萨斯农工大学), Paul P. Wang(杜克大学), Ravi Warriar(GMI 工程与管理研究所)。

联系方式

作者愿与本书的读者建立稳定的联系,我们热切希望读者能对本书及其未来的后续版本提出宝贵意见和建议。通过这种稳定的联系,我们可以及时地将读者普遍感兴趣的热点信息发送给您,也可以将其他读者对本书的意见或评论转告您。

请保持密切联系!

Richard C. Dorf

Robert H. Bishop

dorf@ece.ucdavis.edu

rhbishop@marquette.edu

作者简介

Richard C. Dorf 是美国加利福尼亚大学戴维斯分校的电气与计算机工程教授。作为在电子工程专业及其应用领域内的知名学者,Dorf 教授已经成功撰写和编著出版了多本工程类教科书和手册,其中, *Engineering Handbook, Second Edition* 和 *Electrical Engineering Handbook, Third Edition* 两书畅销不衰。同时,Dorf 教授还是 *Technology Ventures* 一书的合著者之一,这是技术创业领域中最具指导意义的书籍之一。Dorf 教授是电气和电子工程师学会(IEEE)会士和美国工程教育者学会(ASEE)会士,一直活跃在控制系统设计和机器人等研究领域。Dorf 教授还是 PIDA 控制器的专利持有者。

Robert H. Bishop 是美国马凯特大学工学院院长。在受聘马凯特大学之前,他在得克萨斯大学奥斯汀分校航天工程与机械工程系任教 20 年,是该校的杰出教授,拥有 Joe J. King 教授讲席。Bishop 教授的工程职业生涯起始于麻省理工学院著名的 Charles Stark Draper 实验室。Bishop 教授著有讲授图示化编程的畅销教材 *Learning with LabVIEW*(由电子工业出版社翻译出版),并且还是 *Mechatronics Handbook* 的合著者。作为一名才华横溢的教育家,Bishop 教授获得了多项教学奖励和荣誉,包括难得的洛克希德马丁战术航空系统公司的优秀工程教学奖,美国工程教育者学会(ASEE)和美国航空航天学会(AIAA)联合颁发的 John Leland Atwood 奖。John Leland Atwood 奖定期授予“长期工作在航天工程教育一线并做出突出贡献的杰出人才”。Bishop 教授是美国航空航天学会(AIAA)会士和美国航天学会(AAS)会士,并长期活跃在 ASEE 和 IEEE 等学会。

设计实例与设计题 索引

第 1 章

例 1.1	混合动力汽车	15
例 1.2	风力发电	16
例 1.3	嵌入式计算机	16
例 1.4	智能电网控制系统	19
例 1.5	转盘转速控制	21
例 1.6	胰岛素注射控制系统	22
循序渐进设计实例：磁盘驱动器读取系统		22
CDP1.1	驱动电机控制	32
DP1.1	汽车噪声控制	32
DP1.2	汽车巡航控制	32
DP1.3	奶牛场自动化	33
DP1.4	焊接控制	33
DP1.5	汽车牵引控制	33
DP1.6	哈勃太空望远镜振动控制	33
DP1.7	医用纳米机器人	33
DP1.8	电力代步车	33

第 2 章

例 2.12	光伏发电机	66
例 2.13	液流系统建模	68
例 2.14	电力牵引电机控制	76
例 2.15	机械式加速度计	77
例 2.16	设计实验室机器人	79
例 2.17	设计低通滤波器	80
循序渐进设计实例：磁盘驱动器读取系统		93
CDP2.1	驱动电机控制	117
DP2.1	选择传递函数	118
DP2.2	电视机接收电路	118
DP2.3	传递函数的确定	118
DP2.4	运算放大器电路	118
DP2.5	古董钟摆	118

第 3 章

例 3.7	空间站定向系统建模	147
例 3.8	打印机皮带驱动器建模	152
循序渐进设计实例：磁盘驱动器读取系统		160
CDP3.1	驱动电机控制	178
DP3.1	摩托车减震器	178
DP3.2	对角型矩阵微分方程	178

DP3.3	飞机着陆减速系统	178
DP3.4	蹦极系统	178
DP3.5	状态变量反馈	179

第 4 章

例 4.2	英吉利海峡海底隧道钻机	198
例 4.3	火星漫游车	200
例 4.4	麻醉过程中的血压控制	202
循序渐进设计实例：磁盘驱动器读取系统		214
CDP4.1	驱动电机控制	235
DP4.1	转速控制系统	225
DP4.2	飞机滚动角控制	235
DP4.3	转速控制系统	235
DP4.4	眼外科手术激光器	236
DP4.5	脉冲发生器	237
DP4.6	水下机器人	237
DP4.7	无人水下潜航器	237
DP4.8	遥控移动摄像机	238

第 5 章

例 5.10	哈勃太空望远镜的定向控制	269
例 5.11	飞机姿态控制	271
循序渐进设计实例：磁盘驱动器读取系统		282
CDP5.1	驱动电机控制	298
DP5.1	喷气式战斗机滚动角控制	298
DP5.2	焊点位置控制	299
DP5.3	汽车主动式悬挂减震	299
DP5.4	卫星定向控制	299
DP5.5	打磨机器人	299
DP5.6	直流电机位置控制	300
DP5.7	三维凸轮	300
DP5.8	喷漆机器人	301

第 6 章

例 6.10	履带车辆的转向控制	318
例 6.11	机器人自动驾驶摩托车	319
循序渐进设计实例：磁盘驱动器读取系统		330
CDP6.1	驱动电机控制	346
DP6.1	汽车发动机点火控制	346
DP6.2	火星自主漫游车导向控制	346
DP6.3	参数选择	347

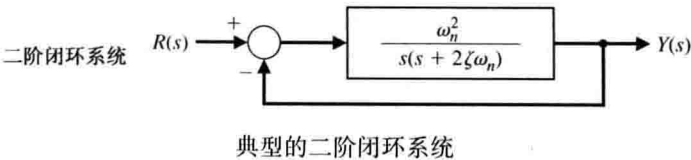
DP6.4	航天飞机的姿控火箭	347	例 9.11	遥控侦察车	531
DP6.5	交通控制系统	347	例 9.12	热钢锭搬运机器人控制	534
DP6.6	状态变量反馈	348		循序渐进设计实例: 磁盘驱动器读取系统	549
DP6.7	内环和外环控制	348	CDP9.1	驱动电机控制	578
DP6.8	PD(比例-微分)控制器设计	348	DP9.1	有毒废物清理机器人	578
第 7 章			DP9.2	柔性机械手控制	578
例 7.13	风力发电机风力转速控制	390	DP9.3	血压调节器	580
例 7.14	激光操纵控制系统	393	DP9.4	机器人网球选手	580
例 7.15	机器人控制系统	395	DP9.5	液/电执行机构	580
例 7.16	汽车速度控制	397	DP9.6	轧钢机	581
	循序渐进设计实例: 磁盘驱动器读取系统	405	DP9.7	月球车控制	581
CDP7.1	驱动电机控制	429	DP9.8	高速轧钢机	581
DP7.1	飞机俯仰速率控制	429	DP9.9	双容器系统温度控制	581
DP7.2	直升机速度控制	429	DP9.10	状态变量反馈控制	582
DP7.3	火星探测器“漫游者”号	429	DP9.11	核反应堆控制	582
DP7.4	远程控制焊接	430	第 10 章		
DP7.5	高性能喷气式飞机	430	例 10.13	转子绕线机控制系统	618
DP7.6	行走自动控制	430	例 10.14	x - y 平面绘图仪	620
DP7.7	配有视觉的移动机器人	430	例 10.15	铣床控制系统	622
DP7.8	运算放大器控制系统	431		循序渐进设计实例: 磁盘驱动器读取系统	631
DP7.9	机械臂肘关节驱动	432	CDP10.1	驱动电机控制	651
DP7.10	四轮驱动汽车	432	DP10.1	两台协同工作的机械手	651
DP7.11	行车控制系统	432	DP10.2	双层翼飞机航向控制	651
DP7.12	行星漫游探测器	433	DP10.3	飞行桅杆系统	652
DP7.13	飞机滚动角的自动控制	433	DP10.4	高速列车倾斜控制	652
DP7.14	临界稳定对象的 PD 控制	434	DP10.5	磁带传动速度系统	652
第 8 章			DP10.6	汽车发动机控制	653
例 8.6	光伏发电机的最大功率点跟踪	461	DP10.7	飞机滚动角控制	653
例 8.7	雕刻机控制系统	462	DP10.8	风车型辐射计	653
例 8.8	六足步行机器人的单足控制	464	DP10.9	含有时延的控制	653
	循序渐进设计实例: 磁盘驱动器读取系统	474	DP10.10	构建环路特性	654
CDP8.1	驱动电机控制	493	DP10.11	聚合物链式反应(PCR)控制	654
DP8.1	汽车驾驶系统	493	第 11 章		
DP8.2	蜘蛛形自主行星探测机器人	494	例 11.15	自动检测系统	686
DP8.3	配药器下方药瓶位置控制	494	例 11.16	柴电力机车控制	688
DP8.4	自动麻醉控制	494		循序渐进设计实例: 磁盘驱动器读取系统	697
DP8.5	黑箱控制	495	CDP11.1	驱动电机控制	711
DP8.6	状态变量系统设计	496	DP11.1	磁悬浮钢球装置	711
DP8.7	PID(比例-积分-微分)控制器设计	496	DP11.2	汽车化油器	711
第 9 章			DP11.3	状态变量校正器	712
例 9.10	风力涡轮机 PID(比例-积分-微分)控制	528	DP11.4	直升机控制	712
			DP11.5	造纸	713

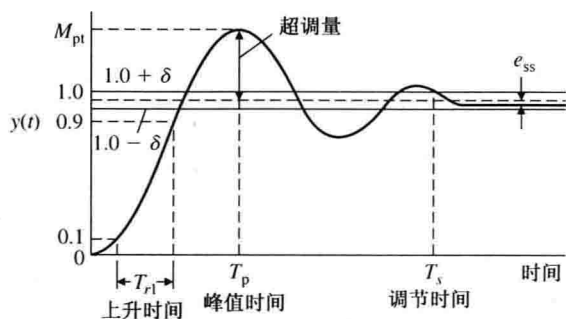
DP11.6	协同驱动控制	713	DP12.9	空间机器人控制	770	
DP11.7	跟踪参考输入信号	713	DP12.10	太阳能帆板定向控制	771	
第 12 章			DP12.11	磁悬浮列车	771	
例 12.12	飞机自动驾驶仪	737	DP12.12	火星漫游者控制	771	
例 12.13	太空望远镜控制系统设计	738	DP12.13	典型的质量块-弹簧系统	771	
例 12.14	绕线机鲁棒控制系统设计	740	第 13 章			
例 12.15	超精密钻石车削机设计	741	例 13.10	工作台运动控制系统	794	
例题	数字音响磁带驱动器控制系统	744	例 13.11	称为“有线电传操纵系统”的		
循序渐进设计实例: 磁盘驱动器读取系统			753	飞行控制系统	795	
CDP12.1	驱动电机控制	767	循序渐进设计实例: 磁盘驱动器读取系统			804
DP12.1	转台位置控制	767	CDP13.1	驱动电机控制	812	
DP12.2	鲁棒参数设计	767	DP13.1	温度控制系统	812	
DP12.3	灵巧手套	767	DP13.2	磁盘驱动器磁头定位控制系统	812	
DP12.4	显微镜控制(一)	768	DP13.3	汽车牵引控制	812	
DP12.5	显微镜控制(二)	768	DP13.4	机床系统	813	
DP12.6	腿关节的人工控制	768	DP13.5	聚合物挤压机控制	814	
DP12.7	电梯位置控制	770	DP13.6	数据采集系统	813	
DP12.8	电子心室辅助设备(EVAD)	770				

带设计流程的实例清单(设计流程见文前第 8 页)

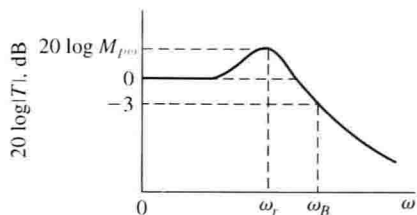
例 1.6	胰岛素注射控制系统(见 1.9 节)	22
例 2.13	液流系统建模(见 2.8 节)	68
例 3.7	空间站定向系统建模(见 3.8 节)	147
例 4.4	麻醉过程中的血压控制(见 4.8 节)	202
例 5.11	飞机姿态控制(见 5.9 节)	271
例 6.11	机器人自动驾驶摩托车(见 6.5 节)	319
例 7.16	汽车速度控制(见 7.8 节)	397
例 8.8	六足机器人控制(见 8.6 节)	464
例 9.12	热钢锭搬运机器人控制(见 9.8 节)	534
例 10.15	铣床控制系统(见 10.12 节)	622
例 11.16	柴电力机车控制(见 11.9 节)	688
例 12.16	数字音响磁带驱动器控制(见 12.8 节)	744
例 13.11	名为“有线电传操纵系统”的飞行控制系统(见 13.10 节)	795

设计中常用的表格和公式





单位阶跃响应



闭环系统的幅频曲线

- 调节时间(终值的 2% 误差带以内)

$$T_s = \frac{4}{\zeta \omega_n}$$

- 超调量

$$M_{pt} = 1 + e^{-\zeta \pi / \sqrt{1 - \zeta^2}}$$

和

$$\text{P.O.} = 100e^{-\zeta \pi / \sqrt{1 - \zeta^2}}$$

- 峰值时间

$$T_p = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}}$$

- 上升时间(从终值的 10% 上升至 90% 的时间)

$$T_{r1} = \frac{2.16\zeta + 0.60}{\omega_n}$$

$$(0.3 \leq \zeta \leq 0.8)$$

- 幅频响应的峰值($\zeta \leq 0.7$)

$$M_{p\omega} = \frac{1}{2\zeta \sqrt{1 - \zeta^2}}$$

- 谐振频率($\zeta \leq 0.7$)

$$\omega_r = \omega_n \sqrt{1 - 2\zeta^2}$$

- 带宽($0.3 \leq \zeta \leq 0.8$)

$$\omega_B = (-1.196\zeta + 1.85)\omega_n$$

PID 控制器

$$G_c(s) = K_P + K_D s + \frac{K_I}{s} = \frac{(s + z_1)(s + z_2)}{s}$$

表格清单

表 5.5	稳态误差小结	257
表 5.6	输入为阶跃信号时, 基于 ITAE 指标的 $T(s)$ 的最优系数	264
表 5.7	输入为斜坡信号时, 基于 ITAE 指标的 $T(s)$ 的最优系数	266
表 7.6	增大 PID 控制器增益 K_P , K_D 和 K_I 对系统阶跃响应性能的影响效果	380
表 7.7	利用终极增益 K_u 和终极周期 T_u 的齐格勒-尼科尔斯 PID 参数整定方法	384
表 7.8	基于以时延 T_d 和响应速率 R 为特征参数的响应曲线的开环齐格勒-尼科尔斯 PID 参数整定	386
表 10.2	最小节拍响应系统标准化传递函数的典型系数和响应性能指标	617
表 10.7	相角超前校正网络与相角滞后校正网络特性小结	632

目 录

第1章 控制系统导论	1
1.1 引言	1
1.2 自动控制简史	3
1.3 控制系统实例	7
1.4 工程设计	11
1.5 控制系统设计	13
1.6 机电一体化系统	15
1.7 绿色工程	17
1.8 控制系统前瞻	18
1.9 设计实例	19
1.10 循序渐进设计实例: 磁盘驱动器读取系统	22
1.11 小结	24
技能自测	24
基础练习题	26
一般习题	27
难题	31
设计题	32
术语和概念	34
第2章 系统数学模型	35
2.1 引言	35
2.2 物理系统的微分方程(组)	35
2.3 物理系统的线性近似	39
2.4 拉普拉斯变换	41
2.5 线性系统的传递函数	46
2.6 框图模型	57
2.7 信号流图模型	60
2.8 设计实例	65
2.9 利用控制系统设计软件进行系统仿真	82
2.10 循序渐进设计实例: 磁盘驱动器读取系统	93
2.11 小结	95
技能自测	95
基础练习题	98
一般习题	104
难题	115
设计题	117
计算机辅助设计题	119
术语和概念	121