



全国高等学校自动化专业系列教材
教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会牵头规划



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

Experiments on Principles of Automatic Control

自动控制原理实验教程

程 鹏 主编

Cheng Peng

王诗宓 主审

Wang Shifu

清华大学出版社



内容简介



全国高等学校自动化专业系列教材

教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会牵头规划



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

Experiments on Principles of Automatic Control

自动控制原理实验教程

北京航空航天大学 程鹏 主编

Cheng Peng

清华大学

王诗宓 主审

Wang Shifu

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书根据《全国高等学校自动化专业系列教材》编委会制定的“自动控制原理实验教程”大纲,配合大多数高等理工院校“自动控制原理”课程教材的基本内容和教学要求编写的,也兼顾了非自动化专业本科生、硕士研究生的教学要求。

书中首先简单介绍自动控制原理的基础知识和实验的基本方法,系统地讲解了自动控制系统的模拟计算机仿真、数字计算机仿真和混合计算机仿真,紧密结合“自动控制原理”课程的基本内容,设计出多个验证性和设计性实验单元。为了加强工程训练和综合应用能力的培养,还着重安排了综合性实验单元。最后介绍了虚拟仪器技术在自动控制原理实验中的应用。书中各部分内容保持了相对的独立性,以便不同的学校根据实验设备与实验课时选用。

本书可作为高等学校本科生、专科生及成人教育、继续教育学生学习自动控制原理和进行自动控制原理实验的教材,也可作为非自动化专业硕士研究生的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理实验教程/程鹏主编. —北京:清华大学出版社,2008.1

(全国高等学校自动化专业系列教材)

ISBN 978-7-302-15858-5

I. 自… II. 程… III. ①自动控制理论—高等学校—教材 ②自动控制—实验—高等学校—教材 IV. TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 116392 号

责任编辑:王一玲 王敏稚

责任校对:梁毅

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社 总 机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:175×245 印 张:16.5 字 数:346千字

版 次:2008年1月第1版 印 次:2008年1月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:26.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:020850-01

出版说明

《全国高等学校自动化专业系列教材》



为适应我国对高等学校自动化专业人才培养的需要,配合各高校教学改革的进程,创建一套符合自动化专业培养目标和教学改革要求的新型自动化专业系列教材,“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”(简称“教指委”)联合了“中国自动化学会教育工作委员会”、“中国电工技术学会高校工业自动化教育专业委员会”、“中国系统仿真学会教育工作委员会”和“中国机械工业教育协会电气工程及自动化学科委员会”四个委员会,以教学创新为指导思想,以教材带动教学改革为方针,设立专项资助基金,采用全国公开招标方式,组织编写出版了一套自动化专业系列教材——《全国高等学校自动化专业系列教材》。

本系列教材主要面向本科生,同时兼顾研究生;覆盖面包括专业基础课、专业核心课、专业选修课、实践环节课和专业综合训练课;重点突出自动化专业基础理论和前沿技术;以文字教材为主,适当包括多媒体教材;以主教材为主,适当包括习题集、实验指导书、教师参考书、多媒体课件、网络课程脚本等辅助教材;力求做到符合自动化专业培养目标、反映自动化专业教育改革方向、满足自动化专业教学需要;努力创造使之成为具有先进性、创新性、适用性和系统性的特色品牌教材。

本系列教材在“教指委”的领导下,从2004年起,通过招标机制,计划用3~4年时间出版50本左右教材,2006年开始陆续出版问世。为满足多层面、多类型的教学需求,同类教材可能出版多种版本。

本系列教材的主要读者群是自动化专业及相关专业的大学生和研究生,以及相关领域和部门的科学工作者和工程技术人员。我们希望本系列教材既能为在校大学生和研究生的学习提供内容先进、论述系统和适于教学的教材或参考书,也能为广大科学工作者和工程技术人员知识更新与继续学习提供适合的参考资料。感谢使用本系列教材的广大教师、学生和科技工作者的热情支持,并欢迎提出批评和意见。

《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会

2005年10月于北京

《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会

顾问 (按姓氏笔画):

王行愚(华东理工大学)	冯纯伯(东南大学)
孙优贤(浙江大学)	吴启迪(同济大学)
张嗣瀛(东北大学)	陈伯时(上海大学)
陈翰馥(中国科学院)	郑大钟(清华大学)
郑南宁(西安交通大学)	韩崇昭(西安交通大学)

主任委员: 吴澄(清华大学)

副主任委员: 赵光宙(浙江大学) 萧德云(清华大学)

委员 (按姓氏笔画):

王雄(清华大学)	方华京(华中科技大学)
史震(哈尔滨工程大学)	田作华(上海交通大学)
卢京潮(西北工业大学)	孙鹤旭(河北工业大学)
刘建昌(东北大学)	吴刚(中国科技大学)
吴成东(沈阳建筑工程学院)	吴爱国(天津大学)
陈庆伟(南京理工大学)	陈兴林(哈尔滨工业大学)
郑志强(国防科技大学)	赵曜(四川大学)
段其昌(重庆大学)	程鹏(北京航空航天大学)
谢克明(太原理工大学)	韩九强(西安交通大学)
褚健(浙江大学)	蔡鸿程(清华大学出版社)
廖晓钟(北京理工大学)	戴先中(东南大学)

工作小组(组长): 萧德云(清华大学)

(成员): 陈伯时(上海大学) 郑大钟(清华大学)
田作华(上海交通大学) 赵光宙(浙江大学)
韩九强(西安交通大学) 陈兴林(哈尔滨工业大学)

陈庆伟(南京理工大学)

(助理): 郭晓华(清华大学)

责任编辑: 王一玲(清华大学出版社)

序

FOREWORD

自动化学科有着光荣的历史和重要的地位,20世纪50年代我国政府就十分重视自动化学科的发展和自动化专业人才的培养。五十多年来,自动化科学技术在众多领域发挥了重大作用,如航空、航天等,两弹一星的伟大工程就包含了许多自动化科学技术的成果。自动化科学技术也改变了我国工业整体的面貌,不论是石油化工、电力、钢铁,还是轻工、建材、医药等领域都要用到自动化手段,在国防工业中自动化的作用更是巨大的。现在,世界上有很多非常活跃的领域都离不开自动化技术,比如机器人、月球车等。另外,自动化学科对一些交叉学科的发展同样起到了积极的促进作用,例如网络控制、量子控制、流媒体控制、生物信息学、系统生物学等学科就是在系统论、控制论、信息论的影响下得到不断的发展。在整个世界已经进入信息时代的背景下,中国要完成工业化的任务还很重,或者说我们正处在后工业化的阶段。因此,国家提出走新型工业化的道路和“信息化带动工业化,工业化促进信息化”的科学发展观,这对自动化科学技术的发展是一个前所未有的战略机遇。

机遇难得,人才更难得。要发展自动化学科,人才是基础、是关键。高等学校是人才培养的基地,或者说人才培养是高等学校的根本。作为高等学校的领导和教师始终要把人才培养放在第一位,具体对自动化系或自动化学院的领导和教师来说,要时刻想着为国家关键行业和战线培养和输送优秀的自动化技术人才。

影响人才培养的因素很多,涉及教学改革的一方,包括如何拓宽专业口径、优化教学计划、增强教学柔性、强化通识教育、提高知识起点、降低专业重心、加强基础知识、强调专业实践等,其中构建融会贯通、紧密配合、有机联系的课程体系,编写有利于促进学生个性发展、培养学生创新能力的教材尤为重要。清华大学吴澄院士领导的《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会,根据自动化学科对自动化技术人才素质与能力的需求,充分吸取国外自动化教材的优势与特点,在全国范围内,以招标方式,组织编写了这套自动化专业系列教材,这对推动高等学校自动化专业发展与人才培养具有重要的意义。这套系列教材的建设有新思路、新机制,适应了高等学校教学改革与发展的新形势,立足创

序

FOREWORD

《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会在对国内外部分大学有关自动化专业的教材做深入调研的基础上,广泛听取了各方面的意见,以招标方式,组织编写了一套面向全国本科生(兼顾研究生)、体现自动化专业教材整体规划和课程体系、强调专业基础和理论联系实际的系列教材,自2006年起将陆续面世。全套系列教材共50多本,涵盖了自动化学科的主要知识领域,大部分教材都配置了包括电子教案、多媒体课件、习题辅导、课程实验指导书等立体化教材配件。此外,为强调落实“加强实践教育,培养创新人才”的教学改革思想,还特别规划了一组专业实验教程,包括《自动控制原理实验教程》、《运动控制实验教程》、《过程控制实验教程》、《检测技术实验教程》和《计算机控制系统实验教程》等。

自动化科学技术是一门应用性很强的学科,面对的是各种各样错综复杂的系统,控制对象可能是确定性的,也可能是随机性的;控制方法可能是常规控制,也可能需要优化控制。这样的学科专业人才应该具有什么样的知识结构,又应该如何通过专业教材来体现,这正是“系列教材编审委员会”规划系列教材时所面临的问题。为此,设立了《自动化专业课程体系结构研究》专项研究课题,成立了由清华大学萧德云教授负责,包括清华大学、上海交通大学、西安交通大学和东北大学等多所院校参与的联合研究小组,对自动化专业课程体系结构进行深入的研究,提出了按“控制理论与工程、控制系统与技术、系统理论与工程、信息处理与分析、计算机与网络、软件基础与工程、专业课程实验”等知识板块构建的课程体系结构。以此为基础,组织规划了一套涵盖几十门自动化专业基础课程和专业课程的系列教材。从基础理论到控制技术,从系统理论到工程实践,从计算机技术到信号处理,从设计分析到课程实验,涉及的知识单元多达数百个、知识点几千个,介入的学校50多所,参与的教授120多人,是一项庞大的系统工程。从编制招标要求、公布招标公告,到组织投标和评审,最后商定教材大纲,凝聚着全国百余名教授的心血,为的是编写出版一套具有一定规模、富有特色的,既考虑研究型大学又考虑应用型大学的自动化专业创新型系列教材。

然而,如何进一步构建完善的自动化专业教材体系结构?如何建设

基础知识与最新知识有机融合的教材? 如何充分利用现代技术, 适应现代大学生的接受习惯, 改变教材单一形态, 建设数字化、电子化、网络化等多元形态、开放性的“广义教材”等等, 这些都还有待我们进行更深入的研究。

本套系列教材的出版, 对更新自动化专业的知识体系、改善教学条件、创造个性化的教学环境, 一定会起到积极的作用。但是由于受各方面条件所限, 本套教材从整体结构到每本书的知识组成都可能存在许多不当甚至谬误之处, 还望使用本套教材的广大教师、学生及各界人士不吝批评指正。

姜维 院士

2005年10月于清华大学

前言

PREFACE



目前,自动控制技术已广泛地应用于工农业生产、交通运输和国防建设。自动控制理论和实验技术也有了很大的发展,它的概念、方法和体系已经渗透到许多学科领域。“自动控制原理”已经成为工科院校的一门重要技术基础课程。为提高学生的动手能力、分析问题和解决问题的能力,实验课起着非常重要的作用,是“自动控制原理”课程教学中不可缺少的环节。各院校近年来都在改进实验教学上做出了很大的努力,开创了实验教学的大好局面,计算机仿真技术、多媒体技术、流媒体技术、虚拟仪器技术、网络技术等为改进实验提供了新颖的技术环境,不仅可以使学生感受到时代气息,也提高了做自动控制原理实验的兴趣。

本书根据《全国高等学校自动化专业系列教材》编委会制定的“自动控制原理实验教程”大纲,配合大多数高等理工科院校“自动控制原理”课程教材的基本内容和教学要求编写的,也兼顾了非自动化专业硕士研究生的教学要求。

书中第1章简单介绍自动控制原理的基础知识;第2章介绍自动控制原理的实验基本理论和方法;第3~5章系统地讲解自动控制系统的模拟计算机仿真、数字计算机仿真和混合计算机仿真。第6章紧密结合“自动控制原理”课程的基本内容,设计出多个验证性和设计性实验单元,验证性实验单元包含典型环节的特性分析、控制系统瞬态响应及其稳定性分析、频率特性测试、零点对系统响应的影响、非线性系统的相平面法研究和描述函数法研究、采样系统的研究;设计性实验单元包含控制系统串联校正研究、数字PID控制器的实验、最少拍控制系统的实验研究;状态反馈的设计与实现、带观测器的状态反馈系统的研究、控制系统的计算机辅助分析与设计实验。每一个实验单元都包括实验名称、实验目的、实验原理、实验内容、实验设计方案、实验设备连接、实验软件、实验步骤、实验记录、实验结果、实验报告要求、思考题、注意事项等。为了便于使用学校选择,在有关章节中还讨论了某些实验单元在不同的仿真环境中的实现。为了提高学生的综合素质,让学生有机会进行创造性的综合实验,第7章安排了四个综合性实验单元:直流小功率随动系统、旋臂式倒立摆系统、数字式桥式吊车系统和双容水箱数控系统,对每一系统的组成、工作原理及技术指标、数学模型的建立、控制系统设计、

系统调试、实验内容和要求等方面进行了阐述,这些综合性较强的实验可以作为课程设计或大型作业的内容。最后,第8章介绍虚拟仪器技术在自动控制原理实验中的应用。书中各部分内容保持了相对的独立性,以便不同的学校根据实验设备与实验课时选用。

本书可作为电子信息科学类、仪器仪表类、电气信息类、自动控制类等专业的学生进行自动控制原理实验的教材与学习自动控制原理的辅助参考书,也可供其他非控制类专业或成人教育和继续教育学生学习自动控制原理课程时参考,还可作为非自动化专业硕士研究生的参考书。

本书由程鹏主编,参加编写的有:程鹏(第1章)、孙丹(第2,3,5,6,7章)、张国峰(第4章)、袁少强(第7章)、李成贵(第8章)。由于本书是在北京航空航天大学自动控制原理实验教学中长期积累而成的,邱红专、王艳东、陈砾、吴云洁、王卫红或参加过本书的筹划或提供过部分初稿,在此表示感谢。

本书在编写过程中得到《全国高等学校自动化专业系列教材》编委会专家们的指导,参考并汲取了许多院校专家的著作,在此表示感谢。

北京航空航天大学

程 鹏

2007年3月

《全国高等学校自动化专业系列教材》丛书书目

教材 类型	编 号	教 材 名 称	主 编 / 主 审	主 编 单 位	备 注
本科生教材					
控制理论与工程	Auto-2-(1+2)-V01	自动控制原理(研究型)	吴麒、王诗宓	清华大学	
	Auto-2-1-V01	自动控制原理(研究型)	王建辉、顾树生/杨自厚	东北大学	
	Auto-2-1-V02	自动控制原理(应用型)	张爱民/黄永宣	西安交通大学	
	Auto-2-2-V01	现代控制理论(研究型)	张嗣瀛、高立群	东北大学	
	Auto-2-2-V02	现代控制理论(应用型)	谢克明、李国勇/郑大钟	太原理工大学	
	Auto-2-3-V01	控制理论 CAI 教程	吴晓蓓、徐志良/施颂椒	南京理工大学	
	Auto-2-4-V01	控制系统计算机辅助设计	薛定宇/张晓华	东北大学	
	Auto-2-5-V01	工程控制基础	田作华、陈学中/施颂椒	上海交通大学	
	Auto-2-6-V01	控制系统设计	王广雄、何朕/陈新海	哈尔滨工业大学	
	Auto-2-8-V01	控制系统分析与设计	廖晓钟、刘向东/胡佑德	北京理工大学	
Auto-2-9-V01	控制论导引	万百五、韩崇昭、蔡远利	西安交通大学		
Auto-2-10-V01	控制数学问题的 MATLAB 求解	薛定宇、陈阳泉/张庆灵	东北大学		
控制系统与技术	Auto-3-1-V01	计算机控制系统(面向过程控制)	王锦标/徐用懋	清华大学	
	Auto-3-1-V02	计算机控制系统(面向自动控制)	高金源、夏洁/张宇河	北京航空航天大学	
	Auto-3-2-V01	电力电子技术基础	洪乃刚/陈坚	安徽工业大学	
	Auto-3-3-V01	电机与运动控制系统	杨耕、罗应立/陈伯时	清华大学、华北电力大学	
	Auto-3-4-V01	电机与拖动	刘锦波、张承慧/陈伯时	山东大学	
	Auto-3-5-V01	运动控制系统	阮毅、陈维钧/陈伯时	上海大学	
	Auto-3-6-V01	运动体控制系统	史震、姚绪梁/谈振藩	哈尔滨工程大学	
	Auto-3-7-V01	过程控制系统(研究型)	金以慧、王京春、黄德先	清华大学	
	Auto-3-7-V02	过程控制系统(应用型)	郑辑光、韩九强/韩崇昭	西安交通大学	
	Auto-3-8-V01	系统建模与仿真	吴重光、夏涛/吕崇德	北京化工大学	
	Auto-3-8-V01	系统建模与仿真	张晓华/薛定宇	哈尔滨工业大学	
	Auto-3-9-V01	传感器与检测技术	王俊杰/王家祯	清华大学	
	Auto-3-9-V02	传感器与检测技术	周杏鹏、孙永荣/韩九强	东南大学	
	Auto-3-10-V01	嵌入式控制系统	孙鹤旭、林涛/袁著社	河北工业大学	
	Auto-3-13-V01	现代测控技术与系统	韩九强、张新曼/田作华	西安交通大学	
	Auto-3-14-V01	建筑智能化系统	章云、许锦标/胥布工	广东工业大学	
Auto-3-15-V01	智能交通系统概论	张毅、姚丹亚/史其信	清华大学		
Auto-3-16-V01	智能现代物流技术	柴跃廷、申金升/吴耀华	清华大学		

续表

教材类型	编号	教材名称	主编/主审	主编单位	备注
本科生教材					
信号处理与分析	Auto-5-1-V01	信号与系统	王文渊/阎平凡	清华大学	
	Auto-5-2-V01	信号分析与处理	徐科军/胡广书	合肥工业大学	
	Auto-5-3-V01	数字信号处理	郑南宁/马远良	西安交通大学	
计算机与网络	Auto-6-1-V01	单片机原理与接口技术	杨天怡、黄勤	重庆大学	
	Auto-6-2-V01	计算机网络	张曾科、阳宪惠/吴秋峰	清华大学	
	Auto-6-4-V01	嵌入式系统设计	慕春棣/汤志忠	清华大学	
	Auto-6-5-V01	数字多媒体基础与应用	戴琼海、丁贵广/林闯	清华大学	
软件基础与工程	Auto-7-1-V01	软件工程基础	金尊和/肖创柏	杭州电子科技大学	
	Auto-7-2-V01	应用软件系统分析与设计	周纯杰、何顶新/卢炎生	华中科技大学	
实验课程	Auto-8-1-V01	自动控制原理实验教程	程鹏、孙丹/王诗宓	北京航空航天大学	
	Auto-8-3-V01	运动控制实验教程	綦慧、杨玉珍/杨耕	北京工业大学	
	Auto-8-4-V01	过程控制实验教程	李国勇、何小刚/谢克明	太原理工大学	
	Auto-8-5-V01	检测技术实验教程	周杏鹏、仇国富/韩九强	东南大学	
研究生教材					
	Auto(*)-1-1-V01	系统与控制中的近代数学基础	程代展/冯德兴	中科院系统所	
	Auto(*)-2-1-V01	最优控制	钟宜生/秦化淑	清华大学	
	Auto(*)-2-2-V01	智能控制基础	韦巍、何衍/王耀南	浙江大学	
	Auto(*)-2-3-V01	线性系统理论	郑大钟	清华大学	
	Auto(*)-2-4-V01	非线性系统理论	方勇纯/袁著祉	南开大学	
	Auto(*)-2-6-V01	模式识别	张长水/边肇祺	清华大学	
	Auto(*)-2-7-V01	系统辨识理论及应用	萧德云/方崇智	清华大学	
	Auto(*)-2-8-V01	自适应控制理论及应用	柴天佑、岳恒/吴宏鑫	东北大学	
	Auto(*)-3-1-V01	多源信息融合理论与应用	潘泉、程咏梅/韩崇昭	西北工业大学	
	Auto(*)-4-1-V01	供应链协调及动态分析	李平、杨春节/桂卫华	浙江大学	

教师反馈表

感谢您购买本书！清华大学出版社计算机与信息分社专心致力于为广大院校电子信息类及相关专业师生提供优质的教学用书及辅助教学资源。

我们十分重视对广大教师的服务，如果您确认将本书作为指定教材，请您务必填好以下表格并经系主任签字盖章后寄回我们的联系地址，我们将免费向您提供有关本书的其他教学资源。

您需要教辅的教材：			
您的姓名：			
院系：			
院/校：			
您所教的课程名称：			
学生人数/所在年级：	_____人/	1 2 3 4	硕士 博士
学时/学期	_____学时/	_____学期	
您目前采用的教材：	作者：_____		
	书名：_____		
	出版社：_____		
您准备何时用此书授课：			
通信地址：			
邮政编码：		联系电话	
E-mail：			
您对本书的意见/建议：			系主任签字
			盖章

我们的联系地址：

清华大学出版社 学研大厦 A602, A604 室

邮编：100084

Tel: 010-62770175-4409, 3208

Fax: 010-62770278

E-mail: liuli@tup.tsinghua.edu.cn; hanbh@tup.tsinghua.edu.cn

目录

CONTENTS

第 1 章	基础知识	1
1.1	线性定常系统概述	1
1.1.1	线性定常系统的数学模型和基本性质	1
1.1.2	线性定常系统的基本动力学特性	2
1.1.3	线性定常系统的典型结构	2
1.1.4	系统的稳定性分析	3
1.2	线性定常系统的品质分析	5
1.2.1	单位阶跃响应的性能指标	5
1.2.2	系统稳态误差分析	6
1.2.3	闭环频率特性和系统阶跃响应的关系	8
1.2.4	开环频率特性和系统阶跃响应的关系	9
1.2.5	根轨迹方法	9
1.2.6	系统的校正方法	13
1.3	线性定常系统的状态空间方法	15
1.3.1	线性定常系统的状态空间模型	15
1.3.2	单输入系统的可控性	17
1.3.3	单输出系统的可观测性	18
1.3.4	传递函数的动态方程实现	20
1.3.5	状态反馈和极点配置	20
1.3.6	全维状态观测器	21
1.3.7	系统稳定性分析	22
1.4	采样系统理论	22
1.4.1	采样过程和采样定理	22
1.4.2	零阶保持器	23
1.4.3	脉冲传递函数	23
1.4.4	采样系统的稳定性	24
1.4.5	闭环极点与瞬态响应之间的关系	25
1.4.6	稳态误差	25
1.4.7	最小拍无差系统	26
1.5	非线性系统分析	27

1.5.1	相平面法基础	27
1.5.2	线性系统的相轨迹	27
1.5.3	相轨迹作图	29
1.5.4	由相平面求时间解	30
1.5.5	非线性系统相平面分析	30
1.5.6	非线性系统的描述函数分析	31
	本章思考题	31
第2章	实验基本理论和方法	33
2.1	概述	33
2.2	典型的测试信号	34
2.3	控制系统动态特性的基本测试方法	36
2.3.1	控制系统动态特性的时域测试法	36
2.3.2	控制系统动态特性的频域测试法	40
2.4	实验调试及测试数据处理	42
2.4.1	测量	42
2.4.2	误差的定义和分类	42
2.4.3	实验结果的处理	44
2.5	实验要求	46
2.5.1	预习要求	46
2.5.2	实验要求	47
2.5.3	实验报告要求	48
	本章思考题	49
第3章	自动控制系统的模拟计算机仿真	50
3.1	概述	50
3.2	自动控制原理模拟机的组成	51
3.2.1	组成运算部件的基本原理	53
3.2.2	主要运算部件	54
3.3	典型环节的模拟	56
3.3.1	比例环节	56
3.3.2	积分环节	57
3.3.3	微分环节	57
3.3.4	惯性环节	57
3.3.5	比例积分环节	57
3.3.6	比例微分环节	58

3.3.7	模拟仿真实例	58
3.4	非线性特性的模拟	59
3.4.1	电位器接地式二极管单元	60
3.4.2	饱和特性的模拟	61
3.4.3	理想继电器特性的模拟	63
3.4.4	死区的模拟	63
3.5	常用时间函数的模拟	64
3.6	控制系统的模拟	66
3.6.1	根据微分方程的模拟	66
3.6.2	根据方框图的模拟	68
	本章思考题	70
第4章	自动控制系统的数字计算机仿真	71
4.1	数字仿真的基本概念	71
4.2	相关的数值计算方法	71
4.3	控制系统的数字仿真	77
4.3.1	传递函数的识别与处理	77
4.3.2	时域响应的数字仿真	78
4.3.3	根轨迹图的计算机绘制	79
4.3.4	频率特性的数字仿真	80
4.3.5	相平面图的计算机绘制	80
4.3.6	状态空间法的数字仿真	81
4.4	MATLAB 仿真	83
4.4.1	MATLAB 简介	83
4.4.2	MATLAB 运行环境	84
4.4.3	Simulink 的应用	86
4.4.4	GUI 图形界面可视化实现	88
4.4.5	MATLAB 在自动控制原理上的应用	93
	本章思考题	96
第5章	自动控制系统的混合计算机仿真	97
5.1	概述	97
5.2	混合计算机仿真系统的组成	97
5.3	自动控制系统仿真接口设备	98
5.4	数据采集和通信	104