

可下载教学资料

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



高等学校教材
电子信息

自动控制 原理

余成波 张 莲 胡晓倩 徐 霞 编著

清华大学出版社



高等学校教材
电子信息

自动控制原理

余成波 张 莲 胡晓倩 徐 霞 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书主要介绍分析和设计反馈控制系统的经典理论和应用方法。全书共分8章,内容包括自动控制系统的基本概念,自动控制系统的数学模型,自动控制系统的时域分析法、根轨迹法、频率特性法,控制系统的校正,非线性控制系统、离散控制系统的分析和综合应用等。在每章后面分别介绍了MATLAB在自动控制理论中的一些应用,以及如何利用计算机辅助设计方法解决自动控制领域的一些系统分析和设计问题。同时,各章均提供了一定数量的习题,以帮助读者理解基本概念并掌握分析和设计方法。

本书可作为高等学校自动化专业的教材,也可作为电气工程及其自动化、检测技术与自动化装置等自动控制类专业教学用书,还可供从事自动控制系统工程的技术人员参考。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

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。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理/余成波等编著. —北京:清华大学出版社,2006.1

(高等学校教材·电子信息)

ISBN 7-302-11612-1

I. 自… II. 余… III. 自动控制理论 IV. TP13

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第092529号

出 版 者: 清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客 户 服 务: 010-62776969

责任编辑: 魏江江

印 刷 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

装 订 者: 三河市化甲屯小学装订二厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印张:27.5 字数:684千字

版 次: 2006年1月第1版 2006年1月第1次印刷

书 号: ISBN 7-302-11612-1/TP·7590

印 数: 1~3000

定 价: 35.00元

编审委员会成员

高等学校教材·电子信息

- 王志功 (东南大学 教授)
王成山 (天津大学电气与自动化工程学院 教授)
王煦法 (中国科学技术大学信息科学技术学院 教授)
王新龙 (南京大学 教授)
王成华 (南京航空航天大学 教授)
方 勇 (上海大学 教授)
方建安 (东华大学信息科学与技术学院 教授)
邓元庆 (解放军理工大学理学院基础部 教授)
刘景夏 (解放军理工大学理学院基础部 副教授)
冯久超 (华南理工大学 教授)
冯全源 (西南交通大学 教授)
刘惟一 (云南大学信息学院 教授)
刘复华 (武汉理工大学 教授)
朱 杰 (上海交通大学 教授)
朱守正 (东北师范大学 教授)
张秉权 (沈阳工业学院 教授)
张丽英 (长春大学电子信息工程学院 教授)
张德民 (重庆邮电学院通信与信息工程学院 教授)
迟 岩 (集美大学信息工程学院 教授)
严国萍 (华中科技大学 教授)
何明一 (西北工业大学 教授)
何怡刚 (湖南大学电气与信息工程学院 教授)
何 晨 (上海交通大学 教授)
余成波 (重庆工学院 教授)
林 君 (吉林大学 教授)
金炜东 (西南交通大学 教授)
郑永果 (山东科技大学信息学院 教授)
刘志军 (山东大学 教授)
赵鹤鸣 (苏州大学电子信息学院 教授)

- 徐佩霞 (中国科学技术大学 教授)
郭从良 (中国科学技术大学电子科学与技术系 教授)
郭维廉 (天津大学电子信息工程学院 教授)
曾凡鑫 (重庆通信学院 教授)
曾喆昭 (长沙理工大学电气与信息工程学院 教授)
曾孝平 (重庆大学通信工程学院 教授)
彭启琮 (电子科技大学 教授)
谢显中 (重庆邮电学院 教授)
樊昌信 (西安电子科技大学通信工程学院 教授)

改革开放以来，特别是党的十五大以来，我国教育事业取得了举世瞩目的辉煌成就，高等教育实现了历史性的跨越，已由精英教育阶段进入国际公认的大众化教育阶段。在质量不断提高的基础上，高等教育规模取得如此快速的发展，创造了世界教育发展史上的奇迹。当前，教育工作既面临着千载难逢的良好机遇，同时也面临着前所未有的严峻挑战。社会不断增长的高等教育需求同教育供给特别是优质教育供给不足的矛盾，是现阶段教育发展面临的基本矛盾。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2001年8月，教育部下发了《关于加强高等学校本科教学工作，提高教学质量的若干意见》，提出了十二条加强本科教学工作提高教学质量的措施和意见。2003年6月和2004年2月，教育部分别下发了《关于启动高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作的通知》和《教育部实施精品课程建设提高高校教学质量和人才培养质量》文件，指出“高等学校教学质量和教学改革工程”是教育部正在制订的《2003—2007年教育振兴行动计划》的重要组成部分，精品课程建设是“质量工程”的重要内容之一。教育部计划用五年时间（2003—2007年）建设1500门国家级精品课程，利用现代化的教育信息技术手段将精品课程的相关内容上网并免费开放，以实现优质教学资源共享，提高高等学校教学质量和人才培养质量。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作，提高教学质量的若干意见》精神，紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”，在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下，我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”（以下简称“编委会”），旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划，讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师，其中许多教师为各校相关院系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求，“编委会”一致认为，精品课程的建设工作从开始就要坚持高

标准、严要求，处于一个比较高的起点上；精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要，要有特色风格、有创新性（新体系、新内容、新手段、新思路，教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量）、先进性（对原有的学科体系有实质性的改革和发展、顺应并符合新世纪教学发展的规律、代表并引领课程发展的趋势和方向）、示范性（教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性）和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐（通过所在高校的“编委会”成员推荐），经“编委会”认真评审，最后由清华大学出版社审定出版。

目前，针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”，即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。首批推出的特色精品教材包括：

- (1) 高等学校教材·计算机应用——高等学校各类专业，特别是非计算机专业的计算机应用类教材。
- (2) 高等学校教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。
- (3) 高等学校教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。
- (4) 高等学校教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。
- (5) 高等学校教材·信息管理与信息系统。

清华大学出版社经过近二十年的努力，在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌，为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材经过二十多年的精雕细刻，形成了技术准确、内容严谨的独特风格，这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会
E-mail: dingl@tup.tsinghua.edu.cn

前 言

自动控制原理课程是高等工科院校电气信息类专业的一门重要的技术基础课程,其应用领域非常广泛,几乎遍及电类及非电类的各个工程技术学科。随着科学的进步,特别是近年来高集成度与高速数字技术的飞跃发展,新材料、新工艺和新器件的不断出现,使各技术学科领域和现代化工业的面貌发生了深刻和巨大的变化。当今科技革命的特征是以信息技术为核心,促使社会由电气化时代进入信息时代,并以知识密集产业作为主体产业。

在人类面临 21 世纪的新问题、新技术和新机遇的挑战所进行的教育改革中,加强素质培养,淡化专业,拓宽基础,促进各学科与专业的交叉与渗透业已成为不可逆转的潮流。为了适应我国社会主义现代化建设和以信息技术为核心的高新技术迅猛发展的需要,依据我国当前电气工程学科课程设置与教学改革的实际情况,在编写中,特别注意和“信号与系统”内容的衔接,避免不必要的重复。学习自动控制理论的主要目的在于应用。对于工科学生应当强调设计与综合能力的培养,特别是在学生已经有了“信号与系统”关于系统基本分析方法基础的情况下,更应如此。所以本书以设计为主线来讲述自动控制的基本理论。

本书主要的内容,也就是控制系统要解决的两个问题,即系统分析和系统设计。控制系统的分析和设计是两个互逆的研究过程,前者是从已知确定系统出发,分析计算系统所具有的性能指标,而后者则是根据要求的性能指标来确定系统应具备的结构模式。

系统分析是在描述系统数学模型基础上,用数学的方法来进行研究讨论的。因此,必须在规定的工作条件下,对已知系统进行以下步骤的工作:

- (1) 建立系统的数学模型;
- (2) 分析系统的性能,计算三大性能指标是否满足要求;
- (3) 讨论系统性能指标与系统结构、参数的关系。

系统设计的目的,是在给出被控对象及其技术指标要求的情况下,寻找一个能够完成既定控制任务,满足所要求技术指标的自动控制系统。而在控制系统的主要元件和结构形式确定的前提下,设计任务往往是需要改变系统的某些参数或加入某种装置(有时还需要改变系统的结构),使其满足要求的性能指标。这种附加的装置称为校正装置,这个过程称为对系统进行校正。

本书的内容作如下安排:

第 1~5 章讲述自动控制系统的基本概念、自动控制系统的数学模型、时域分析法,根轨迹法、频率特性法,属于控制系统分析部分。第 6 章控制系统的校正方法,属于控制系统设计方法部分。在学习了连续时间控制系统的各种分析设计方法之后,再在第 7 章讲述非线性控制系统,第 8 章讲述离散控制系统的分析和设计。另外在书中还介绍了 MATLAB 在自动控制理论中的一些应用,及如何利用计算机辅助设计方法解决自动控制领域的一些系统分析和设计问题。

全书由余成波统稿,参加编写的有张莲、邓力(第 1、2、3 章),徐霞(第 4 章),胡晓倩(第

5章、第6章、附录),余成波、李恭琼(第7、8章)。陶红艳同志参加了本书审核与编排工作。

本书在编写过程中,许多兄弟院校的同行为本书的编写提出了宝贵意见并提供了帮助。在此,一并表示衷心的感谢。

由于水平有限,书中难免有错误和不当之处,敬请同行与读者给予批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 控制系统的基本概念	1
1.1 引言	1
1.2 开环控制系统与闭环控制系统	1
1.2.1 开环控制系统.....	2
1.2.2 闭环控制系统.....	3
1.3 自动控制系统的组成	4
1.3.1 基本组成部分.....	4
1.3.2 自动控制系统中常用的名词术语.....	5
1.4 自动控制系统的分类	6
1.4.1 按输入信号的特点分类.....	6
1.4.2 按描述元件的动态方程分类.....	6
1.4.3 按系统的参数是否随时间而变化分类.....	7
1.4.4 按信号的传递是否连续分类.....	7
1.5 自动控制系统的实例	8
1.5.1 炉温控制系统.....	8
1.5.2 导弹发射架方位控制系统.....	8
1.5.3 计算机控制系统.....	9
1.6 自动控制理论发展简史.....	10
1.7 对自动控制系统的的基本要求.....	12
习题	13
第 2 章 自动控制系统的数学模型	15
2.1 控制系统微分方程的建立.....	15
2.1.1 机械系统	16
2.1.2 电系统——RLC 串联网络	17
2.1.3 机电系统	17
2.2 非线性系统微分方程的线性化.....	19
2.2.1 小偏差线性化的概念	19
2.2.2 非线性系统(元件)线性化处理举例	19
2.2.3 系统线性化的条件及步骤	22
2.2.4 关于线性化的几点说明	22
2.3 传递函数.....	22

2.3.1	传递函数的定义和性质	23
2.3.2	用复数阻抗法求电网络的传递函数	26
2.3.3	典型环节及其传递函数	28
2.4	控制系统的结构图及其等效变换	34
2.4.1	结构图的基本概念	34
2.4.2	结构图的组成	34
2.4.3	结构图的建立	34
2.4.4	结构图的等效变换	35
2.5	自动控制系统的传递函数	42
2.5.1	系统的开环传递函数	42
2.5.2	闭环系统的传递函数	42
2.5.3	闭环系统的偏差传递函数	43
2.6	信号流图	45
2.6.1	信号流图的基本要素	45
2.6.2	信号流图的常用术语	45
2.6.3	信号流图的性质	46
2.6.4	信号流图的等效变换法则	46
2.6.5	梅逊(Mason)公式	48
2.7	脉冲响应函数	50
2.8	控制系统数学模型的 MATLAB 实现	50
2.8.1	MATLAB 简介	50
2.8.2	控制系统的数学模型	52
2.8.3	应用举例	54
	习题	56
第 3 章 控制系统的时域分析法		61
3.1	典型输入信号和时域性能指标	61
3.1.1	典型输入信号	61
3.1.2	动态过程与稳态过程	64
3.1.3	时域性能指标	64
3.2	一阶系统的动态性能	66
3.2.1	一阶系统的时域数学模型	66
3.2.2	一阶系统的重要特性	69
3.3	二阶系统的动态性能	70
3.3.1	数学模型的标准式	70
3.3.2	典型二阶系统的单位阶跃响应	71
3.3.3	典型二阶系统动态性能指标	74
3.3.4	二阶系统性能的改善	79
3.4	高阶系统的动态性能	82

3.4.1	三阶系统的单位阶跃响应	82
3.4.2	高阶系统的数学模型	83
3.4.3	高阶系统的单位阶跃响应	83
3.4.4	高阶系统的分析方法	85
3.5	稳定性和代数稳定判据	86
3.5.1	稳定的概念	87
3.5.2	线性定常系统稳定的充分必要条件	87
3.5.3	劳斯稳定判据	88
3.5.4	劳斯稳定判据的应用	89
3.6	系统稳态误差分析	94
3.6.1	误差与稳态误差的定义	94
3.6.2	控制系统的型别	95
3.6.3	给定输入下的稳态误差	96
3.6.4	扰动作用下的稳态误差	98
3.6.5	改善系统稳态精度的方法	100
3.7	控制系统时域分析的 MATLAB 应用	102
3.7.1	基于 Toolbox 工具箱的时域分析	102
3.7.2	Simulink	104
	习题	108
第 4 章	根轨迹法	112
4.1	根轨迹的基本概念	112
4.1.1	根轨迹概念	112
4.1.2	根轨迹方程	114
4.2	绘制根轨迹图的基本规则	115
4.3	控制系统根轨迹的绘制	125
4.3.1	单回路负反馈系统的根轨迹	125
4.3.2	参数根轨迹	128
4.3.3	多回路系统的根轨迹	131
4.3.4	正反馈系统的根轨迹	132
4.3.5	滞后系统的根轨迹	134
4.4	控制系统的根轨迹分析	137
4.4.1	闭环零点与时间响应	138
4.4.2	条件稳定系统的分析	140
4.4.3	动态性能分析和开环系统参数的确定	140
4.5	应用 MATLAB 绘制系统的根轨迹	143
4.5.1	绘制根轨迹的相关函数	143
4.5.2	利用 MATLAB 绘制系统的根轨迹	143
	习题	146

第 5 章 频率特性法	149
5.1 频率特性的基本概念	150
5.1.1 频率响应.....	150
5.1.2 频率特性.....	151
5.1.3 由传递函数求取频率特性.....	152
5.1.4 常用频率特性曲线.....	154
5.2 幅相频率特性及其绘制	155
5.2.1 幅相频率特性曲线(奈氏图)基本概念.....	155
5.2.2 典型环节的奈氏图.....	156
5.2.3 开环奈氏图的绘制.....	162
5.3 对数频率特性及其绘制	167
5.3.1 对数频率特性曲线基本概念.....	167
5.3.2 典型环节的伯德图.....	169
5.3.3 开环伯德图的绘制.....	177
5.3.4 最小相位系统.....	180
5.3.5 由实测伯德图求传递函数.....	182
5.4 奈奎斯特稳定判据	183
5.4.1 幅角原理.....	184
5.4.2 奈奎斯特稳定判据.....	185
5.4.3 简化奈奎斯特稳定判据.....	190
5.4.4 奈奎斯特稳定判据在伯德图上的应用.....	193
5.4.5 奈奎斯特稳定判据的其他应用.....	195
5.5 控制系统的相对稳定性	196
5.5.1 幅值穿越频率 ω_c 与相位穿越频率 ω_g	197
5.5.2 相位裕量.....	198
5.5.3 幅值裕量.....	198
5.5.4 系统的稳定裕量.....	199
5.6 利用开环频率特性分析系统的性能	200
5.6.1 开环对数幅频特性 $L(\omega)$ 低频段与系统性能的关系	200
5.6.2 开环对数幅频特性 $L(\omega)$ 中频段与系统动态性能的关系	202
5.6.3 开环对数幅频特性 $L(\omega)$ 高频段与系统性能的关系	209
5.7 闭环系统频率特性	210
5.7.1 闭环频域指标.....	210
5.7.2 闭环频率特性的求取.....	211
5.7.3 闭环频域指标与时域指标的关系.....	219
5.8 MATLAB 在频率特性法中的应用	221
5.8.1 伯德图的绘制.....	221
5.8.2 奈氏图的绘制.....	223

5.8.3 尼柯尔斯图的绘制	224
习题	226
第6章 控制系统的校正	229
6.1 控制系统校正的基本概念	229
6.1.1 控制系统的性能指标	229
6.1.2 校正的一般概念与基本方法	230
6.1.3 频率法校正	232
6.1.4 其他设计方法	233
6.2 控制系统的基本控制规律	233
6.2.1 基本控制规律	233
6.2.2 比例-微分控制(PD控制器)	235
6.2.3 比例-积分控制	236
6.2.4 比例-积分-微分控制	237
6.3 超前校正装置及其参数的确定	238
6.3.1 相位超前校正装置及其特性	238
6.3.2 系统超前校正的分析法设计	242
6.3.3 小结	245
6.4 滞后校正装置及其参数的确定	245
6.4.1 相位超前校正装置及其特性	245
6.4.2 串联滞后校正装置的分析法设计	249
6.4.3 小结	252
6.5 滞后-超前校正装置及其参数的确定	252
6.5.1 相位滞后-超前校正装置及其特性	252
6.5.2 系统滞后-超前校正的分析法设计	255
6.5.3 小结	258
6.6 期望对数频率特性设计法	261
6.6.1 期望法设计的基本概念	261
6.6.2 常见系统的期望特性	261
6.6.3 应用实例	264
6.6.4 小结	269
6.7 基于根轨迹法的串联校正	269
6.7.1 根轨迹法校正的基本概念	269
6.7.2 利用根轨迹法设计超前校正装置	271
6.7.3 利用根轨迹法设计滞后校正装置	274
6.7.4 利用根轨迹法设计滞后-超前校正装置	277
6.8 反馈校正装置及其参数的确定	277
6.8.1 反馈校正的基本概念	277
6.8.2 反馈校正的设计方法	279

6.8.3	常用反馈校正形式与功能	284
6.8.4	小结	286
6.9	控制系统校正的 MATLAB 应用	286
6.9.1	MATLAB 函数在控制系统校正中的应用	287
6.9.2	基于 Simulink 的系统校正	289
	习题	291
第 7 章	非线性控制系统	294
7.1	非线性系统的基本概念	294
7.1.1	非线性系统的数学描述	294
7.1.2	非线性特性的分类	295
7.1.3	非线性系统的特点	298
7.1.4	非线性系统的分析和设计方法	299
7.2	二阶线性和非线性系统的相平面分析	299
7.2.1	相平面、相轨迹和平衡点	299
7.2.2	二阶线性系统的特征	301
7.2.3	二阶非线性系统的特征	303
7.3	非线性系统的相平面分析	306
7.3.1	绘制相轨迹的方法	306
7.3.2	相轨迹求系统暂态响应	309
7.3.3	相轨迹分析非线性系统	311
7.4	非线性特性的一种线性近似表示——描述函数	317
7.4.1	描述函数的意义	317
7.4.2	典型非线性特性的描述函数	318
7.4.3	非线性系统的描述函数分析	326
7.5	非线性环节的串并联及系统的变换	330
7.5.1	系统线性部分的变换与集中	330
7.5.2	非线性环节串联的特性	331
7.5.3	非线性环节并联的特性	332
7.6	利用非线性特性改善线性系统的性能	333
7.7	MATLAB 在非线性控制系统中的应用	336
7.7.1	利用 MATLAB 分析非线性系统的频率特性与时域响应	337
7.7.2	利用 MATLAB 绘制非线性系统的相平面图	339
	习题	340
第 8 章	离散控制系统的分析和综合	343
8.1	离散控制系统的基本概念	343
8.1.1	离散控制系统的组成	343
8.1.2	离散控制系统的研究方法	345

8.2	采样过程与采样定理	346
8.2.1	采样过程	346
8.2.2	采样定理	347
8.2.3	零阶保持器	349
8.3	z 变换	350
8.3.1	z 变换的定义	350
8.3.2	z 变换的方法	351
8.3.3	z 变换的性质	354
8.3.4	z 反变换	359
8.4	脉冲传递函数	364
8.4.1	脉冲传递函数	364
8.4.2	开环系统的脉冲传递函数	366
8.4.3	离散控制系统的闭环脉冲传递函数	369
8.4.4	应用 z 变换分析离散系统的局限性与条件	375
8.4.5	差分方程	378
8.5	稳定性分析	381
8.5.1	离散控制系统稳定的充分必要条件	381
8.5.2	离散控制系统的劳斯稳定判据	384
8.6	稳态误差分析	386
8.6.1	离散系统采样瞬时的稳态误差	387
8.6.2	离散系统的型别与典型输入信号作用下稳态误差	387
8.7	离散系统的动态性能分析	391
8.7.1	离散系统的时间响应	391
8.7.2	闭环极点与动态响应的关系	393
8.8	离散系统的数字校正	396
8.8.1	数字控制器的脉冲传递函数	397
8.8.2	最少拍系统设计	399
8.9	MATLAB 在离散控制系统中的应用	404
8.9.1	利用 Toolbox 工具箱分析离散系统	404
8.9.2	利用 Simulink 分析离散系统	406
	习题	408
	附录 A 经典控制理论常用词汇	411
	附录 B 控制系统分析中的 MATLAB 常用函数	416
	附录 C-1 常用信号的拉普拉斯变换	421
	附录 C-2 拉普拉斯变换的性质及定理	422
	参考书目	423

第 1 章 控制系统的基本概念

1.1 引言

在现代科学技术发展中,自动控制技术起着越来越重要的作用。所谓自动控制,是指在没有人直接参与的情况下,利用自动控制装置(或称为控制装置或控制器),使机器、设备或生产过程(统称为被控对象)的某个工作状态或参数(称为被控量)自动地按照预定的规律运行。例如,数控车床按照预定的程序自动地切削工件,化学反应炉的温度和压力自动地维持恒定,热轧厂中对金属板厚度的控制,导弹制导系统引导导弹准确命中目标,人造卫星准确地进入预定轨道运行并回收,雷达跟踪系统和指挥仪控制火炮射击的高度和方位等,所有这一切都是以应用高水平的自动控制技术为前提的。

随着自动控制技术的应用和迅猛发展,出现了许多新的问题,这些问题的出现要求从理论上加以解决。自动控制理论正是在解决这些实际技术问题的过程中逐步形成和发展起来的。它是研究有关自动控制问题共同规律的一门技术科学,是自动控制技术的基础理论,根据发展的不同阶段,其内容可分为经典控制理论、现代控制理论和智能控制理论。

经典控制理论以传递函数为基础,研究单输入-单输出的自动控制系统的分析和设计问题,主要研究方法有时域分析法、频率特性法、根轨迹法。

现代控制理论以矩阵理论等近代数学方法作为工具,研究多输入-多输出、时变、非线性等控制系统的分析和设计,其主要研究方法是状态空间法。

目前,自动控制理论还在继续发展,正在向以控制论、信息论、仿生学为基础的智能控制理论深入。智能控制理论以人工智能理论为基础,研究具有模糊性、不确定性、不完全性和偶然性的系统。

自动控制理论是一门使用很多数学方法的交叉学科。它不仅汲取众多领域的研究成果和知识,而且,它的不断发展和深入研究还有利于把很多分离研究的学科融合到一起,并应用于同一问题之中。同时,自动控制理论的概念也正在扩充和渗透到诸多其他研究领域中。

本书只介绍经典控制理论的有关问题,以求为进一步深入学习自动控制有关课程及其相关科学奠定良好的基础。

1.2 开环控制系统与闭环控制系统

自动控制系统的形式是多种多样的,对于某一个具体的系统,采取什么样的控制手段,要视具体的用途和目的而定。控制系统中最常见的控制方式是开环控制和闭环控制,以及