



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

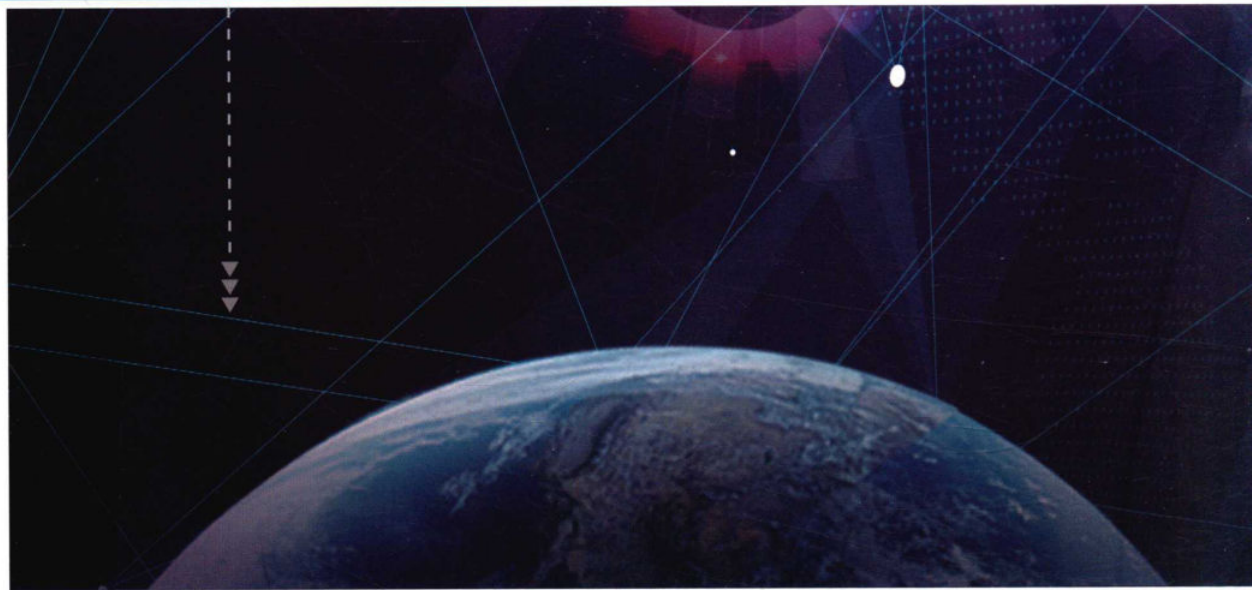
普通高等教育精品教材

《《《《

自动控制原理

(第三版)

王万良 编著



高等教育出版社



数字课程网站

网址：<http://abook.hep.com.cn/1259481>

数字课程账号 使用说明详见书内数字课程说明页

ISBN 978-7-04-052930-2



9 787040 529302 >

定价 46.60 元



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

普通高等教育精品教材

自动控制原理

(第三版)

王万良 编著

高等教育出版社·北京

内容简介

本书被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是教育部评选的2009年度普通高等教育精品教材,也是国家精品课程“自动控制原理”建设成果。本书系统地阐述了自动控制的基本理论与应用。全书共8章,第1章自动控制的基本概念;第2章连续系统的数学模型;第3章时域分析法;第4章根轨迹法;第5章频率法;第6章线性系统的校正方法;第7章离散系统控制理论;第8章非线性控制系统分析。本书将MATLAB辅助分析与设计控制系统方法贯穿在相关章节中。每章增加了工程应用题。

本书可作为自动化、电气、电子信息、计算机、机械、仪器等类专业的教材。选用该教材教学的任课教师可向作者以及高等教育出版社免费获取电子教案、习题详细解答等教学资源。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理 / 王万良编著. -- 3版. -- 北京:
高等教育出版社, 2020. 1

ISBN 978-7-04-052930-2

I. ①自… II. ①王… III. ①自动控制理论-高等学校-教材 IV. ①TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 241415 号

Zidong Kongzhi Yuanli

策划编辑 平庆庆
插图绘制 于博

责任编辑 平庆庆
责任校对 陈杨

封面设计 王琰
责任印制 刁毅

版式设计 童丹

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印刷 天津文林印务有限公司
开本 787mm × 1092mm 1/16
印张 22.25
字数 490千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>
版 次 2008年6月第1版
2020年1月第3版
印 次 2020年1月第1次印刷
定 价 46.60元

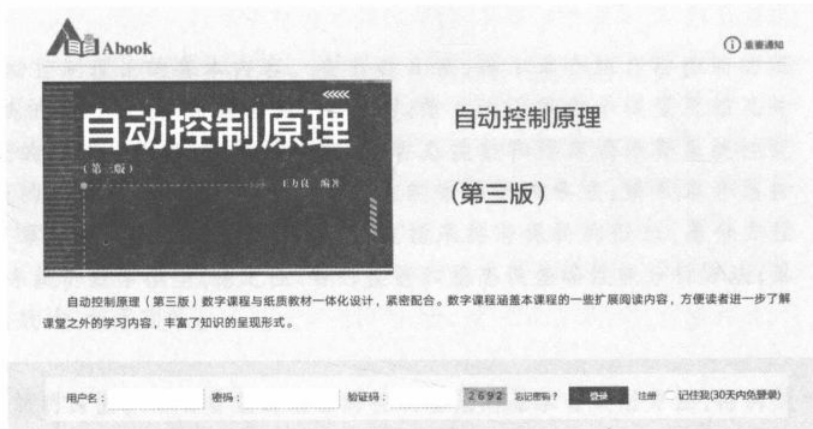
本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 52930-00

自动控制原理

(第三版)

王万良 编著

- 1 计算机访问<http://abook.hep.com.cn/1259481>, 或手机扫描二维码、下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号 (20 位密码, 刮开涂层可见), 或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮, 开始本数字课程的学习。



课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制, 部分内容无法在手机端显示, 请按提示通过计算机访问学习。

如有使用问题, 请发邮件至 abook@hep.com.cn。



扫描二维码
下载 Abook 应用

<http://abook.hep.com.cn/1259481>

第三版前言

自动控制是生产过程中的关键技术,也是许多高新技术产品中的核心技术。自动控制理论撇开控制系统的物理结构,从信息的传输与变换角度,用数学的方法研究控制系统的本质。因此,自动控制理论是许多专业的重要课程。本书是在编者三十多年自动控制原理课程教学经验基础上编写的,是国家精品课程“自动控制原理”的建设成果,经过十多年的精心修改以及在很多所高校的应用,本书被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,被教育部评为2009年度普通高等教育精品教材。

1. 主要内容

本书深入浅出地介绍自动控制理论的基本内容。全书共8章,第1章介绍自动控制的基本概念;第2章介绍连续系统的微分方程、传递函数、结构图、信号流图等数学模型及相互关系;第3章介绍线性连续系统的时域分析方法,包括稳定性、暂态性能和稳态误差等系统性能的分析;第4章简要介绍系统的根轨迹分析法;第5章介绍控制系统的频率法;第6章介绍控制系统的校正设计方法;第7章介绍离散系统的控制理论,包括采样与保持的概念、差分方程与 z 变换数学基础知识、离散系统的数学模型、稳定性、暂态性能和稳态误差等性能分析方法;第8章介绍非线性系统的描述函数法、相平面图。

2. 编写特色

(1) 内容基本实用,语言简明易懂。本书着重讲清自动控制理论的基本与实用方法,特别是有助于系统设计的内容,删除了一些可以根据基本方法得到或者不是很实用的内容。书中精选了例题和习题,有助于对理论的理解。每章最后单独设置了工程应用题,以培养学生理论联系实际的能力。

(2) 编排醒目,方便学习。每章设置导读,使读者在学习该章前就知道为什么要学习该章内容及该章主要介绍哪些内容。每章最后扼要总结该章的重要概念、定理与方法。本书采用双色印刷,将重要的公式和概念、定理、方法用明显的颜色标注,有利于学生掌握,避免学生感觉自动控制理论要记忆的公式太多。

(3) 引导学生使用控制系统CAD软件。在每章最后一节简要实用地介绍MATLAB辅助分析与设计控制系统的方法,学生阅读后自己就会使用,教师也可以简单地加以介绍。过多地介绍MATLAB会偏离控制理论的教学主题。实际上,MATLAB与一般软件一样,学生很容易掌握。

3. 教师如何使用本教材

(1) 教学内容与时间安排。本书主要介绍经典控制理论,用于“自动控制原理”课程的教学,课堂教学时数为64学时左右。对于非自动化类专业学生,可以根据专业需要选讲本书的主要内容。本书第7~8章内容之间没有依赖关系,可以根据专业需要和学时选择学习,仍可保持体系结构的完整性。

(2) 如何讲授本书? 本书语言精练,教师在教学过程中可通过剖析书中的概念、方法进行发

挥,特别是结合工程实例介绍书中的概念和方法。对于非自动化类专业,可以减少理论推导,着重讲授具体方法。书中例题是精选的,题型基本不重复。教师也可根据学生的接受能力,适当增加一些例题。

(3) 教学中如何将理论与工程相结合?“自动控制原理”教学一方面强调其方法论特征,不仅适合解决工程问题,而且适合解决经济、管理、社会等非工程问题;另一方面要与工程实际相结合。因此,教师可以在本书的应用题中,选择自己比较熟悉、符合所教专业的一些工程实例,作为补充内容进行介绍,着重介绍工程应用的概貌和思路,提高教学效果。

(4) 如何获取该课程教学资源?作者负责建设的“自动控制原理”课程被评为国家级精品资源共享课,具有丰富的教学资源,使用本书作为教材的教师可向作者以及高等教育出版社免费获取电子教案、习题详细解答、教学录像等教学资源。

4. 致谢

感谢编者负责的国家精品课程“自动控制原理”教学团队多年来开展的教学研究与实践工作,为本书的编写奠定了基础。特别要感谢姚明海、计时鸣、俞浙青、杨旭华、张聚、管秋、何通能、范兴刚、沈国江、李章维、顾勤龙、徐新黎、朱发明、裴翔、郑建炜等教师的合作与帮助!

本书内容虽然经过多年使用和修改,仍会存在许多缺点和错误,欢迎使用本书的教师和读者提出宝贵意见,邮件请寄 wwl@zjut.edu.cn。

王万良

2019年6月于杭州

自动控制是生产过程中的关键技术,也是许多高新技术产品中的核心技术。自动控制理论撇开控制系统的物理结构,从信息的传输与变换角度,用数学的方法研究控制系统的本质。因此,自动控制理论是许多专业的重要课程。本书是在编者三十多年自动控制原理课程教学经验基础上编写的,是国家精品课程“自动控制原理”的建设成果,经过十多年的精心修改以及在几十所高校的应用,本书第一版被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,被教育部评为2009年度普通高等教育精品教材。

1. 主要内容

本书深入浅出地介绍自动控制理论的基本内容。全书共9章,第1章介绍自动控制的基本概念;第2章介绍连续系统的微分方程、传递函数、结构图、信号流图等数学模型及相互关系;第3章介绍线性连续系统的时域分析方法,包括稳定性、暂态性能和稳态误差等系统性能的分析;第4章简要介绍系统的根轨迹分析法;第5章介绍控制系统的频率法;第6章介绍控制系统的校正设计方法;第7章介绍离散系统的控制理论,包括采样与保持的概念、差分方程与 z 变换数学基础知识、离散系统的数学模型、稳定性、暂态性能和稳态误差等性能分析方法;第8章介绍非线性系统的描述函数法、相平面法;第9章简要介绍控制系统的状态空间分析与设计方法的基本内容。

2. 编写特色

(1) 内容基本实用,语言简明易懂。本书着重讲清自动控制理论的基本与实用方法,特别是有助于系统设计的内容,删除了一些可以根据基本方法得到或者不是很实用的内容。书中精选了例题和习题,有助于对理论的理解。每章最后单独设置了工程应用题,以培养学生理论联系实际的能力。

(2) 编排醒目,方便学习。每章设置导读,使读者在学习该章前就知道为什么要学习该章内容及该章主要介绍哪些内容。每章最后扼要总结该章的重要概念、定理与方法。本书采用双色印刷,将重要的公式和概念、定理、方法用明显的颜色标注,有利于学生掌握,避免学生感觉自动控制理论要记忆的公式太多。

(3) 引导学生使用控制系统CAD软件。在每章最后一节简要实用地介绍MATLAB辅助分析与设计控制系统的方法,学生阅读后自己就会使用,教师也可以简单地加以介绍。过多地介绍MATLAB会偏离控制理论的教学主题。实际上,MATLAB与一般软件一样,学生很容易掌握。

3. 教师如何使用本教材

(1) 教学内容与时间安排。本书前8章主要介绍经典控制理论,用于“自动控制原理”课程的教学,课堂教学学时数为64学时左右。第9章简单介绍现代控制理论的基本内容。对于不单独开设“现代控制理论”课程的专业,可以安排72学时左右,讲授本书全部内容。对于非自动化类专业学生,许多学校讲课学时为32~56,可以根据专业需要选讲本书的主要内容。本书第7~9章内容之间没有依赖关系,可以根据专业需要和学时选择学习,仍可保持体系结构的完整性。

(2) 如何讲授本书? 本书语言精练, 教师在教学过程中可通过剖析书中的概念、方法进行发挥, 特别是结合工程实例介绍书中的概念和方法。对于非自动化类专业, 可以减少理论推导, 着重讲授具体方法。书中例题是精选的, 题型基本不重复。教师也可根据学生的接受能力, 适当增加一些例题。

(3) 教学中如何将理论与工程相结合? “自动控制原理”教学一方面强调其方法论特征, 不仅适合解决工程问题, 而且适合解决经济、管理、社会等非工程问题; 另一方面要与工程实际相结合。因此, 教师可以在本书的应用题中, 选择自己比较熟悉、符合所教专业的一些工程实例, 作为补充内容进行介绍, 着重介绍工程应用的概貌和思路, 提高教学效果。

(4) 如何获取该课程教学资源? 作者负责建设的“自动控制原理”课程被评为国家级精品资源共享课, 具有丰富的教学资源, 使用本书作为教材的教师可向编者以及高等教育出版社免费获取电子教案、习题详细解答、教学录像等教学资源。

4. 致谢

本书承蒙尊敬的教育部原副部长、同济大学吴启迪教授和浙江大学邹伯敏教授主审, 他们对本书结构和具体写作提供了许多宝贵意见, 在此深表谢意!

感谢编者负责的国家精品课程“自动控制原理”教学团队多年来开展的教学研究与实践工作, 为本书的编写奠定了基础。特别要感谢姚明海、计时鸣、俞浙青、杨旭华、张聚、管秋、何通能、范兴刚、沈国江、李章维、顾勤龙、徐新黎、朱发明、裴翔、郑建炜等教师的合作与帮助! 感谢浙江工业大学重点建设教材项目(JC 1307)资助!

本书内容虽然经过多年使用和修改, 仍会存在许多缺点和错误, 欢迎使用本书的教师和读者提出宝贵意见, 邮件请寄 wwl@zjut.edu.cn。

王万良

2014年2月于杭州

第一版前言

自动控制技术是生产过程中的关键技术,也是许多高新技术产品中的核心技术。因此,自动控制原理是自动化类专业的主要技术基础课之一,也已经成为许多非自动化专业的重要教学内容。

本书作为普通高等教育“十一五”国家级规划教材和国家精品课程“自动控制原理”的主讲教材,深入浅出地介绍了自动控制理论的主要内容。全书共9章,第1章介绍自动控制的基本概念;第2章介绍连续系统的微分方程、传递函数、结构图、信号流图等数学模型及其相互关系;第3章介绍线性连续系统的时域分析方法,包括稳定性、暂态性能和稳态误差等系统性能的分析;第4章简要介绍系统的根轨迹分析法;第5章介绍控制系统的频率法;第6章介绍控制系统的校正设计方法;第7章介绍离散系统的基础理论,包括采样与保持的概念,差分方程与 z 变换数学基础知识、离散系统的数学模型、稳定性、暂态性能和稳态误差等性能分析方法;第8章主要介绍非线性系统的描述函数法、相平面图;第9章简要介绍控制系统的状态空间分析与设计方法,包括状态方程、能控性与能观性分析、稳定性分析、状态反馈控制和状态观测器设计、最优控制等方法。本书将MATLAB辅助分析与设计控制系统方法贯穿在相关章节中。读者可通过浙江工业大学国家精品课程“自动控制原理”网站(<http://kczy.zjut.edu.cn/zdkz>)以及高等教育出版社免费获取电子教案、习题解答、教学录像等教学资源。

本书主要是针对教学研究型大学自动化、电气工程及其自动化等电气信息类专业本科学生编写的,也可以删除本书中部分推导与证明,作为教学型大学同类专业的教材。全书总教学时数为100学时左右,其中课堂教学时数为80学时左右。本书前8章主要介绍经典控制理论,参考课堂教学时数为64学时左右。第9章简单介绍了现代控制理论的基本内容,供讲授现代控制理论时选用。本书第7至9章内容之间没有依赖关系,因此可以根据专业需要选择学习,仍可保持体系结构的完整性。

本书承蒙教育部副部长、同济大学吴启迪教授和浙江大学邹伯敏教授审阅,他们对本书的结构和具体的写作提供了许多宝贵意见,在此深表谢意!感谢浙江工业大学国家精品课程“自动控制原理”建设团队多年来和本书作者一起开展的教学研究与实践工作,为本书的编写奠定了基础。特别要感谢张聚副教授、姚明海教授、陈国定教授、孙明轩教授、俞立教授、杨马英教授、陈胜勇教授、沈永增教授、李章维副教授、杨旭华副教授、管秋副教授、顾勤龙讲师、徐新黎讲师、任敏讲师等长期的合作与帮助!

本书内容虽然经过多年使用和修改,但由于编者水平有限,书中仍然会存在许多缺点和错误,欢迎使用本书的教师、学生和科技人员提出宝贵意见,邮件请寄 wwl@zjut.edu.cn。

编 者

2008年2月于杭州

第1章 自动控制的基本概念	1	2.4.2 结构图的变换法则	29
1.1 自动控制系统	2	2.4.3 结构图的简化	29
1.2 自动控制系统的类型	5	2.4.4 反馈控制系统的传递函数	34
1.2.1 开环、闭环与复合控制系统	5	2.5 信号流图	36
1.2.2 线性系统与非线性系统	7	2.5.1 信号流图的定义及基本性质	36
1.2.3 连续系统与离散系统	7	2.5.2 信号流图的构造	37
1.2.4 定常系统与时变系统	8	2.5.3 信号流图的变换法则与简化	40
1.2.5 SISO 系统和 MIMO 系统	9	2.5.4 梅森增益公式	42
1.2.6 集中参数系统与分布参数系统	9	2.6 系统数学模型的 MATLAB 表示	45
1.3 控制系统性能的基本要求	9	2.6.1 传递函数的 MATLAB 表示	45
1.3.1 稳定性	9	2.6.2 结构图的 MATLAB 表示	47
1.3.2 暂态性能	10	本章小结	47
1.3.3 稳态性能	10	习题与应用题	48
1.4 本书内容的安排	10	读一读	56
本章小结	11	第3章 时域分析法	57
习题与应用题	11	3.1 稳定性分析	58
读一读	14	3.1.1 稳定性的概念	58
第2章 连续系统的数学模型	15	3.1.2 系统稳定的条件	58
2.1 系统数学模型的概念	16	3.1.3 劳斯判据	60
2.1.1 数学模型的定义与主要类型	16	3.1.4 赫尔维茨判据	64
2.1.2 建立数学模型的方法	16	3.2 暂态性能分析	66
2.2 微分方程描述	17	3.2.1 典型输入信号	66
2.3 传递函数	21	3.2.2 暂态性能指标	68
2.3.1 传递函数与脉冲响应函数的定义	22	3.2.3 一阶系统的暂态性能分析	69
2.3.2 传递函数的表达式	23	3.2.4 典型二阶系统的暂态性能分析	71
2.3.3 线性系统的基本环节	24		
2.4 结构图	27		
2.4.1 结构图的基本组成	27		

3.2.5 高阶系统暂态性能近似分析	78	5.1.2 频率响应	127
3.3 稳态性能分析	84	5.1.3 频率特性的几何表示	129
3.3.1 控制系统误差与稳态误差的定义	85	5.2 典型环节频率特性的伯德图	131
3.3.2 控制系统型号或无差度的定义	86	5.3 控制系统开环频率特性的伯德图	136
3.3.3 终值定理法	87	5.4 由伯德图确定传递函数	141
3.3.4 误差系数法	90	5.4.1 最小和非最小相位系统的概念	141
3.3.5 扰动作用下的稳态误差分析	92	5.4.2 由伯德图确定传递函数	142
3.3.6 复合控制系统及误差分析	95	5.4.3 频率特性的实验确定法	143
3.4 MATLAB 辅助分析控制系统时域性能	98	5.5 奈奎斯特判据	145
3.4.1 MATLAB 辅助控制系统稳定性分析	98	5.5.1 幅角原理	145
3.4.2 MATLAB 求控制系统的单位阶跃响应	99	5.5.2 奈奎斯特判据	146
本章小结	100	5.5.3 举例	149
习题与应用题	101	5.6 控制系统相对稳定性分析	154
读一读	109	5.7 MATLAB 在频率法中的应用	158
第4章 根轨迹法	111	5.7.1 用 MATLAB 绘制奈氏图	158
4.1 根轨迹的基本概念	112	5.7.2 用 MATLAB 绘制伯德图	159
4.2 根轨迹的绘制	113	5.7.3 用 MATLAB 分析相对稳定性	159
4.3 零度根轨迹的绘制	116	本章小结	160
4.4 广义根轨迹的绘制	118	习题与应用题	161
4.5 控制系统的根轨迹分析法	119	读一读	167
4.6 用 MATLAB 绘制根轨迹	120	第6章 线性系统的校正方法	169
本章小结	121	6.1 控制系统校正的概念	170
习题与应用题	122	6.1.1 控制系统的设计步骤	170
读一读	123	6.1.2 校正的概念与校正方案	171
第5章 频率法	125	6.1.3 校正方法	174
5.1 频率特性	126	6.2 超前校正	175
5.1.1 频率特性的定义	126	6.2.1 超前校正及其特性	175
		6.2.2 用频域法确定超前校正参数	177
		6.2.3 超前校正装置	180
		6.3 滞后校正	183
		6.3.1 滞后校正及其特性	183

6.3.2 用频域法确定滞后校正参数	184	变换式	249
6.3.3 滞后校正装置	188	7.5 线性离散系统的稳定性分析	250
6.4 滞后-超前校正	189	7.5.1 朱利判据	250
6.4.1 滞后-超前校正网络	189	7.5.2 舒尔-科恩判据	252
6.4.2 用频域法确定滞后-超前校正参数	191	7.5.3 修正劳斯判据	253
6.5 串联校正的综合法	193	7.6 线性离散系统的暂态性能分析	254
6.5.1 综合法的基本方法	193	7.6.1 离散系统的暂态性能指标	254
6.5.2 按最佳二阶系统校正	194	7.6.2 离散系统极点分布与动态响应的关系	256
6.5.3 按典型三阶系统校正	196	7.6.3 离散系统暂态性能指标的计算公式	258
6.6 Simulink 在控制系统仿真中的应用	198	7.7 线性离散系统的稳态误差分析	263
本章小结	199	7.8 线性离散系统设计方法	265
习题与应用题	200	7.8.1 数字 PID 控制	265
第 7 章 离散系统控制理论	203	7.8.2 数字控制器的 z 传递函数	266
7.1 信号的采样与保持	204	7.8.3 最少拍离散控制系统设计方法	267
7.1.1 信号的采样	204	7.9 MATLAB 在离散系统分析中的应用	272
7.1.2 采样信号的保持	209	本章小结	273
7.2 差分方程	213	习题与应用题	275
7.2.1 差分方程的概念	213	读一读	279
7.2.2 微分方程描述的差分方程	214	第 8 章 非线性控制系统分析	281
7.2.3 差分方程的递推解法	219	8.1 典型非线性特性	282
7.2.4 差分方程的经典解法	220	8.1.1 饱和特性	282
7.3 z 变换	223	8.1.2 死区特性	283
7.3.1 z 变换的定义	223	8.1.3 间隙特性	283
7.3.2 z 变换的基本定理	226	8.1.4 继电器特性	284
7.3.3 z 变换的基本方法	231	8.2 描述函数法	286
7.3.4 z 逆变换	235	8.2.1 描述函数法的基本思想与条件	286
7.3.5 差分方程的 z 变换解法	240		
7.4 z 传递函数	243		
7.4.1 z 传递函数的概念	243		
7.4.2 开环 z 传递函数	245		
7.4.3 闭环 z 传递函数	247		
7.4.4 带有扰动的系统输出 z			

8.2.2	描述函数	287	线性化方法	317
8.2.3	典型非线性特性的描述 函数	290	8.4 MATLAB 在非线性系统分析中 的应用	320
8.2.4	用描述函数法分析非 线性系统的自激振荡	297	本章小结	320
8.3	相平面法	302	习题与应用题	321
8.3.1	相平面	303	附录 1 常用拉普拉斯变换和 z 变换表	325
8.3.2	相轨迹的绘制方法	305	附录 2 扩展阅读——控制系统 的状态空间分析	329
8.3.3	奇点	309	习题与应用题部分参考答案	330
8.3.4	极限环	314	参考文献	340
8.3.5	非线性系统相平面分区			

第1章

自动控制的基本概念

自动化技术几乎渗透到国民经济的各个领域及社会生活的各个方面,是当代发展最迅速、应用最广泛、最引人注目的高科技,是推动新的技术革命和新的产业革命的关键技术。从某种程度上来说,自动化是现代化的同义词。自动控制原理课程主要介绍分析、设计自动控制系统的基本方法。

本章从介绍自动控制的发展历史入手,引出用自动控制理论分析、设计自动控制系统的基本思想,然后介绍自动控制的基本概念以及对自动控制系统的基本要求,使读者大致了解自动控制理论的总目标。

1.1 自动控制系统

1769年瓦特(J. Watt)发明的蒸汽机,推动了工业革命的进一步发展。但是,当时的蒸汽机需要人不断地调节蒸汽阀门才能保持蒸汽机的速度稳定,蒸汽机的应用受到调速精度的限制。为了解决蒸汽机的速度控制问题,瓦特于1788年又将欧洲风力磨坊里的飞球调节器原理,应用于蒸汽机速度控制,构成了世界上公认的第一个自动控制系统,其工作原理如图1.1所示。它是一个与蒸汽机轴相连的机械装置,当蒸汽机的负载减轻或者蒸汽温度升高等原因导致蒸汽机转速升高时,飞球调节器的转速也升高,离心力增加,飞球升高,带着套环上升,汽阀联结器关小蒸汽阀门,从而降低蒸汽机速度。反之,当蒸汽机的负载增加或者蒸汽温度下降等原因导致蒸汽机转速降低时,飞球调节器的转速也下降,离心力减小,飞球降低,带着套环下降,汽阀联结器开大蒸汽阀门,从而提高蒸汽机速度。由此可见,尽管受到负载、蒸汽温度变化等扰动的影响,但由于飞球调节器的作用,使蒸汽机的速度仍然稳定在设定值附近。

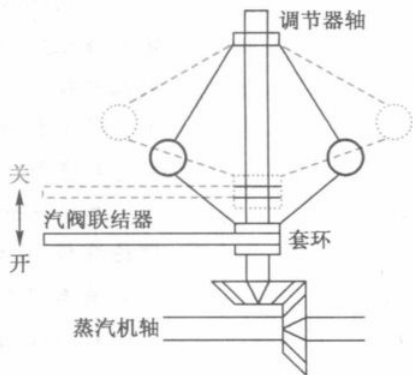


图 1.1 飞球调节器原理图

飞球调节器的发明进一步推动了蒸汽机的应用,也使飞球调节器控制原理闻名于世,并称为瓦特的飞球调节器。但是,有时为了提高调速精度,反而使蒸汽机速度出现大幅度振荡,其他自动控制系统也有类似现象发生。由于当时还没有自动控制理论,所以不能从理论上解释这一现象。有人认为系统振荡是因为调节器的制造精度不够,从而努力改进调节器的制造工艺,但始终不能完全解决系统振荡的问题。这种盲目的探索持续了大约一个世纪之久。

1868年,英国的麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831—1879)发表了“论调速器”论文,第一次指出不应该单独讨论一个离心锤,必须从整个控制系统出发推导出微分方程,然后讨论微分方程解的稳定性,从而从理论上分析实际控制系统是否会出现不稳定现象。麦克斯韦的这篇著名论文被公认为是自动控制理论的开端。

自动控制理论分析、设计自动控制系统的基本思想是将各种实际问题用微分方程等数学模型描述,然后用数学工具分析这些数学模型的特性,从而分析系统的性能,设计控制器的数学模型。

自动控制理论研究的对象是系统。人们在日常生活中就接触到很多系统,如经常提到的电力系统、机器系统、文教系统、卫生系统等。事实上,系统是一个很广泛的概念,一部机器、一个生物体、一条生产线、一个电力网都是一个系统,一个企业、一个社会组织也是一个系统。有小系统、大系统,也有把一个国家甚至整个世界作为对象的巨系统。

系统的种类如此繁多,又如此千差万别,但它们有一个共同的特点,就是都具有一定的功能,自身的各部分是互相依赖、互相制约的。例如,一条生产线是为了加工某个产品而设立的,生产线的各个部分存在一定的结构关系和运动关系。把系统的这一特征作为“系统”的定义。

由若干相互制约、相互依赖的事物组合而成的具有一定功能的整体称为系统。或者说,为实现规定功能以达到某一给定目标而构成的相互关联的一组元件称为系统。

由人工控制的系统称为手动控制系统。下面通过两个具体例子,分析手动控制的过程,从而可以看出自动控制系统需要解决的问题。

例 1.1 热力系统。

图 1.2 所示为一个热力系统。通过调节蒸汽阀门,使流出的热水保持一定的温度。如果由人工控制,控制者观测温度计的指示值,调节蒸汽阀门的开度。调节方法为:如果温度计的指示值高于期望值,则关小阀门,降低热水温度;否则,开大阀门,升高热水温度,从而使流出的热水基本保持在设定的温度。

例 1.2 直流电动机速度控制系统。

图 1.3 所示为直流电动机速度控制系统。控制目标是使电动机按要求的转速稳定运行。从图中可见,对应滑动变阻器触点的某一位置,有一给定电压 U_G ,它经过放大器放大为 U_D ,即为电动机电枢电压。在没有任何扰动的情况下,滑动变阻器触点的某一位置对应电动机的某个转速。

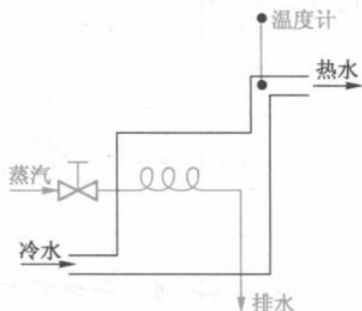


图 1.2 热力系统

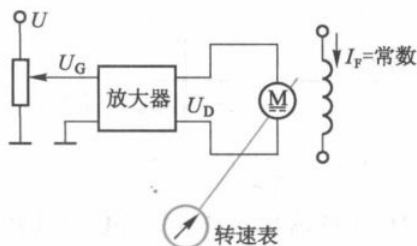


图 1.3 直流电动机速度控制系统

如果负载恒定,电动机及放大器参数也不变化,那么,给定电压 U_G 不变,电动机转速也不会变。但这只是一种理想情况,实际上,电动机负载是经常变化的,电动机、放大器的参数也会发生漂移,因此,即使保持给定电压 U_G 不变,电动机转速也会变化,不能达到控制的目的。如果用人工控制,则通过观测转速表的指示值,调整滑动变阻器的触点位置以改变 U_G ,从而使电动机的转速保持在期望值。例如,当负载增大使速度下降时,控制人员通过调节触点位置来增大 U_G ,使 U_D 增大,从而使电动机转速回升。

上述两个系统都是由人工控制的,可以看出,人在控制过程中起了 3 个作用。

- ① 观测:用眼睛去观测温度计和转速表的指示值。
- ② 比较与决策:人脑把观测得到的数据与要求的数据相比较,进行判断,根据给定的控制