



高等应用型人才培养规划教材

自动控制原理 与应用



刘湘涛 等编著

电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

高等应用型人才培养规划教材

自动控制原理与应用

刘湘涛 黄大足 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书分为七章和三个附录,包括自动控制的一般概念、控制系统的数学模型、时域分析法、根轨迹法、频率分析法、控制系统的综合校正及采样控制系统, MATLAB 在控制系统分析与设计中的应用等。本书的主要特点是结构合理、层次分明,论述严谨、应用直观,减少推导、强调理解,增加实例、突出应用,深入浅出、简明易懂,便于教学及自学。

本书可作为应用型本科院校的电类、控制类、机电类、信息工程类、仪器仪表类以及计算机应用等专业的教材,也可作为高职高专院校相关专业的教材及从事自动控制技术工作的工程技术人员的参考用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理与应用/刘湘涛,黄大足编著. —北京:电子工业出版社,2007.8
(高等应用型人才培养规划教材)

ISBN 978-7-121-04569-1

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 083452 号

责任编辑:陈健德

印 刷: 北京市李史山胶印厂
装 订:

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: 787×1 092 1/16 印张: 19 字数: 486 千字

印 次: 2007 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 27.00 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。

前 言

自动控制技术广泛应用于工业、农业、商贸、国防、交通、航空航天及人类生活的各个领域，极大地提高了社会劳动生产率，改善了人类的生产和生活条件，提高和丰富了人类的生活水平。自动控制技术不断地为人类“谋福”，为人类文明进步发挥着重要作用。

自动控制原理，不仅研究自动控制技术，而且还研究自动控制的思维方式——输出反馈和状态反馈。一般将其分为经典控制理论和现代控制理论。经典控制理论是学习现代控制理论的基础，也是众多学科和应用技术的基础，它在单回路控制系统中的应用，目前仍占工业控制系统的80%以上。本书主要按应用型本科院校的电类、控制类、机电类、信息工程类及仪器仪表类等专业的要求而编写，也可供高职高专院校相关专业使用。主要以经典控制理论及应用为主要内容。本书分为七章和三个附录，包括自动控制的一般概念、控制系统的数学模型、时域分析法、根轨迹法、频率分析法、控制系统的综合校正及采样控制系统，MATLAB在控制系统分析与设计中的应用等。

本书由刘湘涛教授和黄大足副教授编著。刘湘涛负责全书编写与统稿工作，黄大足负责全书图形绘制和部分例题、习题的选编工作。刘文峰、刘凌等参与了部分文稿的录入工作。

本书在编写过程中，参考与吸收了有关院校教材的部分内容，得到了有关院校的支持；电子工业出版社为本书的出版给予了大力支持，在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中不妥与错误之处在所难免，恳请广大读者和专家批评，并予以指正。

编 者

2007年1月28日

目 录

绪论	(1)
第1章 自动控制的一般概念	(6)
1.1 自动控制与自动控制原理	(6)
1.2 自动控制系统的基本结构	(10)
1.2.1 开环控制系统(前馈控制系统)	(10)
1.2.2 闭环控制系统(反馈控制系统)	(12)
1.2.3 闭环控制系统和开环控制系统的比较	(14)
1.3 自动控制系统的类型	(15)
1.4 对控制系统的性能要求	(16)
本章小结	(16)
习题1	(17)
第2章 控制系统的数学模型	(18)
2.1 数学模型的定义与建立方法	(18)
2.2 简单系统的微分方程	(18)
2.2.1 比例环节	(19)
2.2.2 一阶惯性环节(一阶滞后环节)	(19)
2.2.3 微分环节	(21)
2.2.4 积分环节	(23)
2.2.5 振荡环节(二阶滞后环节)	(23)
2.2.6 纯滞后环节(纯延迟环节)	(25)
2.2.7 线性定常微分方程的求解	(25)
2.3 传递函数	(26)
2.3.1 传递函数的概念及定义	(27)
2.3.2 典型环节的传递函数	(28)
2.3.3 利用复阻抗概念求电气环节的传递函数	(30)
2.4 结构图	(31)
2.4.1 结构图的概念	(31)
2.4.2 结构图的组成	(31)
2.4.3 系统结构图的绘制方法	(32)
2.4.4 结构图连接的基本形式	(34)
2.4.5 结构图的等效变换和简化	(35)
2.4.6 结构图等效变换举例	(37)
2.4.7 用梅逊公式求传递函数	(41)
2.5 发电机励磁控制系统	(42)
2.5.1 励磁控制系统的构成及工作原理	(42)

2.5.2	发电机的传递函数	(42)
2.5.3	功率励磁装置的传递函数	(44)
2.5.4	励磁控制系统的传递函数方框图	(44)
2.6	利用 MATLAB 应用程序处理系统数学模型	(45)
2.6.1	模型建立	(45)
2.6.2	模型简化	(47)
	本章小结	(47)
	习题 2	(47)
第 3 章	时域分析法	(52)
3.1	典型控制过程及时域性能指标	(52)
3.1.1	典型的初始状态	(53)
3.1.2	典型外作用	(53)
3.1.3	典型时间响应	(55)
3.1.4	单位阶跃响应的性能指标	(57)
3.2	一阶系统分析	(58)
3.2.1	一阶系统的数学模型	(58)
3.2.2	一阶系统的单位阶跃响应	(59)
3.2.3	一阶系统的单位斜坡响应	(61)
3.2.4	一阶系统的单位脉冲响应	(62)
3.2.5	三种响应之间的关系	(63)
3.3	二阶系统分析	(64)
3.3.1	二阶系统的数学模型	(65)
3.3.2	二阶系统的单位阶跃响应	(66)
3.4	高阶系统分析	(73)
3.5	稳定性与劳斯稳定判据	(75)
3.5.1	稳定性的基本概念	(75)
3.5.2	系统稳定的充要条件	(75)
3.5.3	判定系统稳定性的基本方法	(76)
3.5.4	劳斯判据	(76)
3.6	稳态误差分析及误差系数	(82)
3.6.1	稳态误差的计算	(82)
3.6.2	参考输入信号 $r(t)$ 作用下的稳态误差与系统结构的关系	(86)
3.6.3	系统的型别和静态误差系数	(87)
3.6.4	改善系统稳态精度的方法	(91)
3.7	利用 MATLAB 应用程序分析系统动态性能	(92)
	本章小结	(96)
	习题 3	(97)
第 4 章	根轨迹法	(100)
4.1	根轨迹的概念与根轨迹方程	(100)

4.1.1	根轨迹的概念	(100)
4.1.2	根轨迹方程	(102)
4.2	绘制根轨迹的基本规则及步骤	(103)
4.2.1	绘制根轨迹的基本规则	(103)
4.2.2	绘制根轨迹的步骤	(109)
4.3	广义根轨迹	(112)
4.3.1	参数根轨迹	(112)
4.3.2	多回路的根轨迹	(113)
4.3.3	正反馈回路的根轨迹	(114)
4.3.4	迟后系统的根轨迹	(116)
4.4	根轨迹法的应用(分析系统的性能)	(118)
4.4.1	主导极点的概念	(118)
4.4.2	增加开环零点对根轨迹的影响	(118)
4.4.3	根轨迹增益的确定及系统性能的分析	(119)
4.5	应用 MATLAB 绘制系统的根轨迹	(121)
	本章小结	(122)
	习题 4	(123)
第 5 章	频率分析法	(126)
5.1	频率特性	(126)
5.1.1	频率特性的概念	(126)
5.1.2	频域性能指标	(128)
5.1.3	频率法的特点	(128)
5.2	典型环节的频率特性	(129)
5.2.1	频率特性的工程表示方法	(129)
5.2.2	典型环节的频率特性曲线	(132)
5.3	系统开环对数频率特性曲线	(143)
5.3.1	绘制系统开环对数频率特性曲线的步骤	(144)
5.3.2	由系统开环传递函数直接绘制系统的对数幅频特性曲线	(145)
5.4	频域稳定判据与稳定性分析	(147)
5.4.1	系统开环频率特性与闭环特征多项式之间的关系	(148)
5.4.2	奈奎斯特判据	(149)
5.4.3	虚轴上有开环极点时奈氏判据的应用	(151)
5.4.4	对数频率稳定判据	(152)
5.4.5	稳定裕度	(154)
5.5	频率分析法的应用	(158)
5.5.1	用对数频率特性曲线分析系统稳态性能	(158)
5.5.2	用对数频率特性曲线分析系统的动态性能	(162)
5.6	MATLAB 在频率分析法中的应用	(169)
	本章小结	(171)

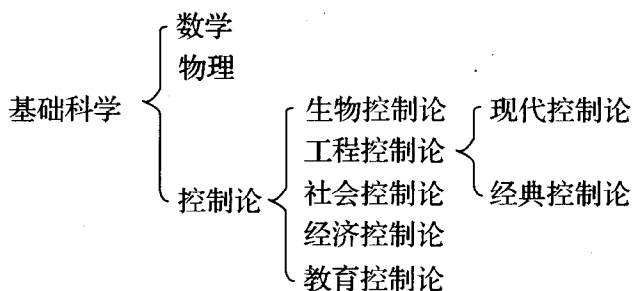
习题 5	(172)
第 6 章 控制系统的综合校正	(175)
6.1 控制系统校正的基础知识	(175)
6.1.1 校正问题的提出	(175)
6.1.2 控制系统的性能指标	(176)
6.1.3 校正的方式	(176)
6.1.4 校正的本质	(177)
6.1.5 校正装置的设计方法	(178)
6.2 串联校正的基本控制规律	(178)
6.2.1 比例 (P) 控制的作用	(179)
6.2.2 比例-微分 (PD) 控制的作用	(179)
6.2.3 积分 (I) 控制的作用	(182)
6.2.4 比例-积分 (PI) 控制的作用	(183)
6.2.5 比例-积分-微分控制的作用	(184)
6.3 串联校正装置及其特性	(185)
6.3.1 超前校正	(185)
6.3.2 滞后校正	(189)
6.3.3 滞后超前校正	(191)
6.4 串联校正的设计应用	(192)
6.4.1 系统参考模型的选择	(193)
6.4.2 希望的对数幅频特性曲线的绘制方法	(197)
6.4.3 二阶最佳模型在设计校正装置中的应用	(199)
6.4.4 应用对数幅频特性设计校正装置的说明	(200)
6.5 反馈校正	(201)
6.5.1 反馈校正的基本控制功能	(202)
6.5.2 负反馈校正对不利因素的抑制及取代作用	(204)
6.6 复合校正	(207)
6.6.1 反馈控制与前置校正的复合控制	(207)
6.6.2 反馈控制与干扰补偿校正的复合控制	(211)
6.7 控制系统中的非线性效应	(212)
6.7.1 控制系统中的非线性现象	(213)
6.7.2 非线性系统运动过程的特点	(213)
6.7.3 典型非线性特性及其对系统性能的影响	(214)
6.8 控制系统设计举例——单回路直流调速系统的设计	(219)
6.8.1 控制系统的设计步骤	(219)
6.8.2 单回路直流调速系统的组成及工作原理	(219)
6.8.3 调速系统的性能指标要求	(222)
6.8.4 系统数学模型的建立	(223)
6.8.5 系统静态参数的确定	(226)

6.8.6 系统校正网络参数的确定	(228)
6.8.7 系统校正网络的工程实现	(233)
6.9 MATLAB 在控制系统校正中的应用	(234)
本章小结	(237)
习题 6	(237)
第 7 章 采样控制系统	(240)
7.1 采样控制系统的基本概念	(240)
7.1.1 采样脉冲控制系统	(240)
7.1.2 采样数字控制系统	(242)
7.1.3 采样过程与采样定理	(242)
7.1.4 采样信号的复现	(244)
7.2 采样控制系统的数学基础	(246)
7.2.1 z 变换	(246)
7.2.2 差分方程	(253)
7.2.3 脉冲传递函数	(257)
7.3 采样控制系统的时域分析	(261)
7.3.1 采样控制系统的稳定性分析	(261)
7.3.2 采样控制系统的动态性能分析	(263)
7.3.3 采样控制系统的稳态误差	(267)
本章小结	(269)
习题 7	(269)
附录 A MATLAB 应用程序简介	(273)
附录 B 常用函数的拉氏变换表	(286)
附录 C 时间函数的拉氏变换和 z 变换表	(288)
参考文献	(291)

绪 论

1. 本课程隶属学科

《自动控制原理与应用》是为了适应技术应用型本科和高职教育的需求与特点，在自动控制理论等课程的基础上，突出“理论以够用为度，重在应用”的原则，为控制类、电气与信息类专业开设的技术基础课程，它隶属于控制论中的工程控制论的经典控制论，运用于基础科学的实践过程，指导工程技术的实现与应用。隶属关系如下：



2. 自动控制原理的发展

(1) 第一代控制理论——经典控制理论。经典控制理论萌芽于 1765 年蒸汽锅炉的水位调节过程，以 1788 年蒸汽机离心式调速器为典型，到 20 世纪 50 年代趋于成熟。特点：以传递函数为数学工具，采用频率分析法，研究“单输入—单输出”线性定常系统的分析和设计。

(2) 第二代控制理论——现代控制理论。在 20 世纪 50 年代末 60 年代初，由于空间技术发展的需要而提出。特点：采用状态空间法（时域法）研究“多输入—多输出”控制系统，以及时变和非线性系统的分析和设计。

(3) 第三代控制理论——大系统理论和智能控制理论。在 20 世纪 80 年代，为适应大系统和智能控制的需要而提出。特点：大系统理论的重要作用在于对大系统进行调度优化和控制优化。智能控制理论具有智能性，可解决一些以往的自动控制技术解决得不好或不能解决的控制问题。

3. 自动控制原理在各领域中的应用

自动控制原理的应用遍及许多技术领域，是众多学科和应用技术领域的基础。

综合而言，自动控制原理与其密切相关的自动控制技术已经历了形成时期、局部自动化时期和综合自动化时期三个阶段。

1) 自动化控制技术形成时期（18 世纪末至 20 世纪 30 年代）

1788 年英国机械师瓦特（James Watt）发明离心式调速器，并把它与蒸汽机的阀门连

接起来,构成蒸汽机转速的闭环自动调速系统。这项发明对第一次工业革命和控制理论后来的发展有重要影响。

2) 局部自动化时期(20世纪40年代至20世纪50年代)

在第二次世界大战期间,为了满足防空火力控制系统和飞机自动导航等军事技术的需要,各国科学家设计出各种精密的自动调节装置,开创了防空火力控制系统和新的控制技术领域。

(1) 经典控制理论的形成和发展。稳定性代数判据、传递函数、依据频率响应的频率法(频率分析法)以及根轨迹法,奠定了适用于单变量控制问题的经典控制理论的基础。频率法成为分析和设计线性单变量自动控制的主要方法。早期的反馈控制系统通称为自动调节系统,后称为自动控制系统。因此,调节器现也称为控制器。

从20世纪40年代末,美国、西欧和前苏联开始为大学生和研究生开设了自动控制方面的课程。在20世纪50年代前苏联还在大学里设置了自动化方面的专业,专门培养控制系统方面的人才。1950年张钟俊教授在上海交通大学为大学生和研究生开设了“伺服机构原理”课程。

在1945年,美国数学家维纳把反馈的概念推广到生物等一切控制系统,并于1948年出版了名著《控制论》,为经典控制理论奠定了基础。在1954年,中国科学家钱学森全面地总结和提高了经典控制理论,在美国出版了用英语撰写的、在世界上很有影响的《工程控制论》。

第二次世界大战后各国工业迅速发展,随着高速飞行、核反应堆、大电力网和大化工厂提出的新的控制问题:非线性系统、时滞系统。随着对脉冲及采样控制系统、时变系统、分布参数系统和有随机信号输入的系统的控制问题等的深入研究,经典控制理论在20世纪50年代有新的发展,并趋于成熟。

(2) 局部自动化的广泛应用。第二次世界大战后,在工业上已广泛采用PID调节器,并用电子模拟计算机来设计自动控制系统。当时在工业上实现局部自动化,即单个过程或单个机器的自动化,一方面应用PID调节器或其他自动调节装置,另一方面又用继电器来实现启动、停车、联锁、保护等功能。当时的PID调节器是电动的或者气动的、液压的。生产自动化促进了自动化仪表的进步。在20世纪30年代至40年代出现了统一信号的、通用的、标准的气动单元组合仪表,在20世纪50年代研制出了电动单元组合仪表。这些为工业自动化提供了必不可少的技术工具,并使得构成和设计自动控制系统更简便、更工程化。我国生产的系列化气动单元组合仪表(QDZ型)和电动单元组合仪表(DDZ型)在工业生产中的使用很广泛。智能化的仪表和控制器是当前流行的自动化产品。

(3) 电子数字计算机的发明。在1946年,美国电气工程师埃克托和物理学家莫奇利为美国陆军研制成世界上第一台基于电子管的电子数字计算机——电子数字积分和自动计数器。1950年美国宾夕法尼亚大学莫尔小组研制成世界上第二台存储程序式电子数字计算机——离散变量电子自动计算机。电子数字计算机的内部元件和结构,经历了电子管、晶体管、中小规模集成电路、大规模和超大规模集成电路四个发展阶段。在20世纪60年代,电子数字计算机为控制系统广泛应用程序控制和逻辑控制奠定了基础,并且应用电子数字计算机直接控制生产过程。我国在20世纪50年代中叶开始研制大型电子数字计算机,并

已研制出巨型“银河”系列电子数字计算机。目前小型电子数字计算机或单片计算机已成为复杂自动控制系统的一个组成部分，以实现复杂的控制和算法。

3) 综合自动化时期(20世纪50年代末至今)

复杂的工业过程和航天技术等自动控制问题，都是多变量控制系统的综合问题，迫切需要加以分析和解决。但经典控制理论的直接应用遇到了困难，现代控制理论逐渐形成并得到发展。在20世纪70年代，微处理机的出现对实现各种复杂的控制任务起到重大的推动作用。

在1956年，前苏联数学家庞特里亚金提出极大值原理，同年美国数学家贝尔曼提出寻求最优控制的动态规划法。两者为解决最优控制问题提供了理论依据。在1960年，美国数学家卡尔曼提出能控性和能观测性两个概念，揭示了系统的内在属性。卡尔曼还引入状态空间法，提出具有二次型性能指标的线性状态反馈律，为线性自动控制系统给出了最优调节器的概念。以上这些新概念和新方法标志着现代控制理论的诞生。

在20世纪60年代至70年代，英国学者罗森布洛克、梅恩和麦克法兰等将频率法推广到分析和设计多变量系统。他们提出的一些方法，称为现代频率法，其中有的还与状态空间法相结合。这些方法保留经典控制理论中频率法的一些优点，并已成功地应用于石油、化工、造纸、原子能反应堆、飞机发动机和自动驾驶仪等设备中多变量系统的分析和设计上，取得令人满意的结果。

4) 现代控制理论的重要应用

随着现代控制理论的迅速发展，不断形成了多个重要的应用分支。

(1) 系统辨识、建模与仿真。系统辨识是根据系统输入、输出数据为系统建立数学模型的理论和方法。因为只有被控对象的数学模型已经精确地知道后，才能采用经典控制理论的一些分析和设计方法以及现代控制理论的状态空间法和最优调节器的设计方法。此外建立数学模型还可以采用解析法和实验方法。通常有必要在仿真设备上试验系统，包括建立、修改、复现系统的模型，这称为系统仿真。

(2) 自适应控制和自校正控制器。自适应控制能在对象数学模型变动和系统外界信息不完备的情况下改变反馈控制器的特性，以保持良好的工作品质。自适应过程必须依靠计算机来完成，由基于计算机的自适应控制器来校正反馈控制器的参数以保持工作品质。它已在船舶驾驶、过程控制中得到成功的应用。

自校正控制器具有对被控对象的参数进行在线估计的能力，并借此对控制器参数进行校正，使闭环控制系统达到期望指标。

(3) 遥测、遥控和遥感。在20世纪20年代，遥测和遥控开始在铁路信号和道岔控制上实际应用；到了20世纪40年代，大电力系统、石油和天然气管道输送系统等应用了遥测和遥控。

遥测就是对被测对象的某些参数进行远距离测量，如对大电网上某点电压或频率的测量。遥控就是对被控对象进行远距离控制，例如从调度中心对大电网上某个电站机组的启动控制。

最初的遥测、遥控系统采用有线(通)信道。在第二次世界大战期间，无线电遥控、遥测得到迅速发展，特别是航天技术的需要而使它得到迅速的发展。例如，宇宙飞船航天

员的生理状况（体温、血压及心率等）由传感器测量后通过遥测（无线电）（通）信道传至地面监控站。而监控站也可对飞船中的设备通过（无线电）（通）信道进行操纵或控制。

在 20 世纪 60 年代以后，遥感技术得到迅速的发展。遥感就是利用装载在飞机或人造卫星等运载工具上的传感器，收集由地面目标物反射或发射出来的电磁波，再根据这些数据来获得关于目标物（如矿藏、森林、作物产量等）的信息。现已应用在农业、林业、地质、地理、海洋、水文、气象、环境保护和军事侦察等领域。

（4）综合自动化。在 20 世纪 50 年代末到 60 年代初，开始出现由电子数字计算机控制的化工厂；在 20 世纪 60 年代末，制造业中出现了许多的自动生产线，工业生产开始由局部自动化向综合（全盘）自动化方向发展；在 20 世纪 70 年代，出现由专用机床组成的无人工厂；在 20 世纪 80 年代初，出现由柔性制造系统组成的无人工厂。

（5）大系统理论的诞生。在 20 世纪 60 年代末，学者们开始对出现的大系统如大电力系统、化工联合企业、钢铁联合企业及社会经济大系统等开始了研究。特别是高速大型计算机的出现为大系统的研究和大量计算提供了前提条件。在 20 世纪 60 年代至 70 年代，莱夫科维茨和梅萨罗维茨分别提出大系统的多层结构和多级结构的概念，并且可以根据控制的功能将大系统分解成子系统。在 1968 年还提出大系统分散控制的次优性控制方法。

大系统理论的重要作用在于对大系统进行调度优化和控制优化，通过分解—协调以较短时间计算出优化结果，使需要在线及时求取的大系统优化解并实施优化控制成为可能。目前我国已应用在大型化工厂的控制以及社会经济大系统的优化管理上，取得了巨大的经济效益。

（6）模式识别和人工智能。使用电子计算机并使它能直接接受和处理各种自然的模式消息，如语言、文字、图像、景物等，称为“模式识别”，如对汽车牌照的识别以控制和管理交通，对指印的识别以甄别罪犯，对汉字的识别以实现办公室自动化等。

早期的人工智能研究是从智力难题、弈棋和难度不大的定理证明入手，总结人类解决问题时的思维规律，然后用计算机来进行模拟。人工智能的研究领域涉及自然语言理解、自然语言生成、机器视觉、机器定理证明、自动程序设计、专家系统和智能机器人等方面。自 20 世纪 70 年代以来，人工智能学者已研制出用于医疗诊断、地质勘探、化学数据解释和结构解释、口语和图像理解、金融决策、军事指挥、大规模集成电路设计等各种专家系统。

在 20 世纪 60 年代末至 70 年代初，美、英等国的科学家们注意到将人工智能的所有技术和机器人结合起来，研制出智能机器人，如有视觉和触觉的机器人和能与人对答的机器人等。智能机器人会在工业生产、核电站设备检查及维修、海洋调查、水下石油开采、宇宙探测等方面大显身手。

（7）智能控制的诞生。随着人工智能研究的发展，人们开始将人工智能引入到自动控制系统，形成智能控制系统，这是新一代的自动控制系统。它的特点是具有智能，能解决一些以往的自动控制技术解决得不好或者不能解决的控制问题。它将人工智能中的专家系统、学习控制、模糊逻辑控制和具有多层感知器的神经网络等分别与自动控制和系统工程的一些方法相结合，形成一些新的、具有独特性能的智能自动控制系统。现在已经研制成能听懂人的语言、执行人的口头命令的智能机器人，能行走、上楼梯的智能机器人，能在某些特殊环境进行特定操作的智能机器人等，如目前已有能在设置爆炸物的现场，拆除引

信的智能机器人。

4. 本课程的主要内容及授课安排

本课程的主要内容和两种授课学时的安排如表 1 所示。

表 1 授课学时安排

章 节	内 容	计划学时 (50)	计划学时 (60)
绪论		2	2
第 1 章	自动控制的一般概念	4	6
第 2 章	控制系统的数学模型	6	8
第 3 章	时域分析法	12	12
第 4 章	根轨迹法	5	6
第 5 章	频率分析法	11	12
第 6 章	控制系统的综合校正	6	8
第 7 章	采样控制系统	4	6
	(实验)	(10)	(10)

5. 学习本课程的基本要求

以教材为基础，以课堂讲授为线索，参阅相关的参考文献，充实所学知识，提高应用能力，基本要求有以下几方面。

- (1) 掌握建立数学模型的基本方法及传递函数。
- (2) 熟悉实际应用系统的性能指标，并掌握对控制系统性能的要求。
- (3) 掌握控制系统稳态响应分析方法及应用。
- (4) 掌握频率特性和根轨迹的作图法、暂态分析法及其应用。
- (5) 掌握线性连续系统稳定分析的主要方法，并解决相关的实际问题。
- (6) 掌握以波特 (Bode) 图和根轨迹法为基础的系统校正方法。
- (7) 熟悉采样控制系统的一般分析方法。
- (8) 了解 MATLAB 在自动控制系统中的初步应用。

第 1 章 自动控制的一般概念

1.1 自动控制与自动控制原理

1. 自动控制和自动控制系统

控制的含义：主体对客体的某种作用。

广义的：主体掌握某事物或事件有目的地或有规律地运动，不使其任意活动或超出范围。

特定的：主体使其他对象按照一定的目的来动作。

1) 自动控制

在没有人的直接参与下，利用控制装置使被控对象自动地按预定的规律动作的一种控制。

被控对象一般是需要给以控制的生产机械、技术装置或生产过程，它们是自动控制系统的主要部分，它的工作状态能否按预定规律变化是控制的基本任务。因此，了解一个系统，首先应该明确被控对象是什么，它的哪种工作状态需要进行控制。

控制装置（控制器）是指被控对象之外的自动控制系统的其他部分，通常包括测量、变换、运算、放大及执行等部分，是完成自动控制工作的装置整体。

2) 系统的定义及基本属性

定义：若干元素为了某种目的有机地相互联结成的一个总体。

属性：整体性；各元素之间的关联性；人们把它当做系统的目的性。

3) 自动控制系统及基本属性

定义：为了一定的目的，由控制器、被控对象等部件有机地联结成的一个进行自动控制的总体。

属性包括以下两个方面。

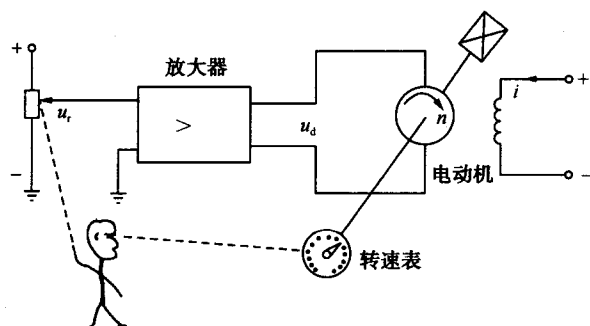
(1) 共性：具有系统的基本属性，即整体性、关联性、目的性。

(2) 个性：渐变性，即自动控制系统是一个动态系统。

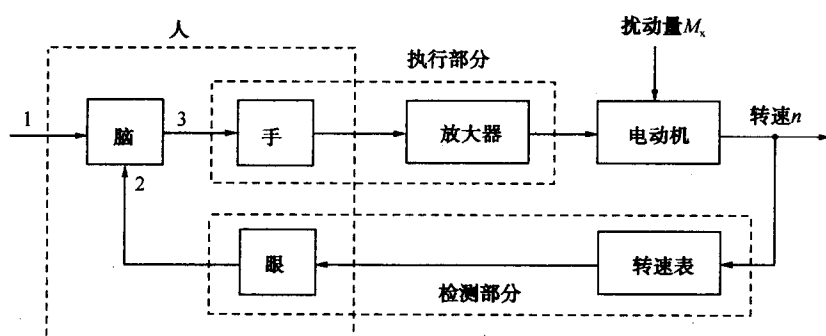
4) 举例

(1) 人工控制。图 1.1 是在人的直接参与下维持电动机转速不变的例子。该系统中电动机是被控制对象，电动机的转速是被控制量。人通过眼观察与电动机同轴的转速表，看电动机转速是否符合期望的转速值。如果扰动使转速偏离了期望值，人根据偏差做出判断并及时向正确的方向调节电位器，使电动机转速恢复（或接近）期望值。在上述过程中，由于人的参与，克服了扰动产生的偏差。在此过程中，人起了主导作用，完成观测转速；

将电动机转速期望值与实际值进行比较；根据偏差执行正确的调节，使转速恢复到期望值等三项工作。也就是说，由于人起了“观测、比较、执行”的作用，使这一问题得到了解决。因此，只要设计的控制装置能自动地完成上述三项工作，就可实现自动控制。



(a) 原理图



(b) 方框图

图 1.1 人工调速系统

(2) 自动控制。图 1.2 是实现转速自动控制的方案之一。图中用测速发电机的输出电压来测量电动机的转速，电动机转速与回送到电位器上的电压 u_f 有固定的比例关系，其关系为：

$$u_f = kn \quad (1.1)$$

因此，电动机的实际转速 n 可用 u_f 的值表示。

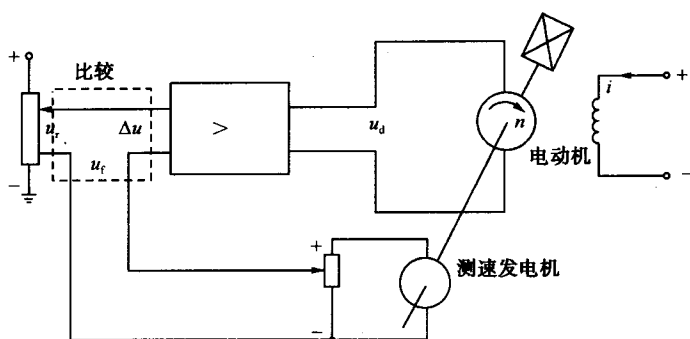
为了能将电动机转速的期望值和实际值进行比较，电动机转速的期望值也必须用一个电压来表示。设电动机转速的期望值为 n_r ，则表示转速 n_r 的电压 u_r 为：

$$u_r = kn_r \quad (1.2)$$

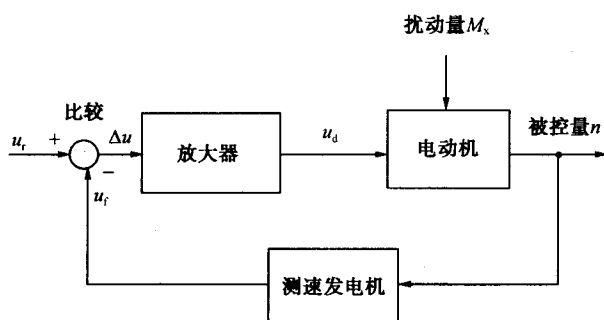
这个电压通常用一个电位器给出，称为给定电压或参考电压。

当电压 u_r 与电压 u_f 反极性比较时，则得到的电压差 Δu ，将正比例于转速期望值与实际值之差。

$$\Delta u = u_r - u_f = k(n_r - n) \quad (1.3)$$



(a) 原理图



(b) 方框图

图 1.2 自动调速系统

Δu 的大小和符号表示了转速自动比较的结果。 Δu 经功率放大器放大后, 就可实现电动机转速的自动控制了。其自动控制过程如下: 假设 u_r 给定, 电动机已在某一转速下稳定运转。当电动机受到扰动引起转速 n 下降时, 电压 u_f 也随之下降, 这时因给定电压 u_r 不变, 由式 (1.3) 可知, 电压差 Δu 增大, 经放大后使电动机电枢电压 u_d 增大, 随着电动机电枢电压 u_d 增大, 使电动机的转速回升, 以恢复 (或接近) 原来的转速, 从而克服或削弱了扰动对转速的影响。

上面我们以电动机为例, 说明了对电动机转速进行自动控制的基本原理。基于这种原理, 只要能自动测量被控量, 比较被控量的期望值和实际值, 并能根据比较结果产生适当的控制作用, 就可以对任何物理量进行自动控制。自动控制的过程是一个不断地检测偏差, 纠正偏差的过程。能自动地完成上述工作的装置整体称为自动控制装置。自动控制装置与控制对象结合而构成的整体, 称为自动控制系统。

综上所述, 研究控制系统应该了解: 控制目的; 控制对象 (被控对象); 控制过程。

2. 自动控制原理

自动控制原理是以自动控制系统为研究对象, 采用数学方法对自动控制系统进行分析与综合的一门科学。所谓分析, 是指在给定系统数学模型的基础上, 确定系统的性能。所谓综合, 是指在对系统提出要求的基础上, 确定一个满足要求的系统模型。

自动控制原理揭示的是所有类型或某些类型系统所共有的普遍规律, 并在此基础上指