

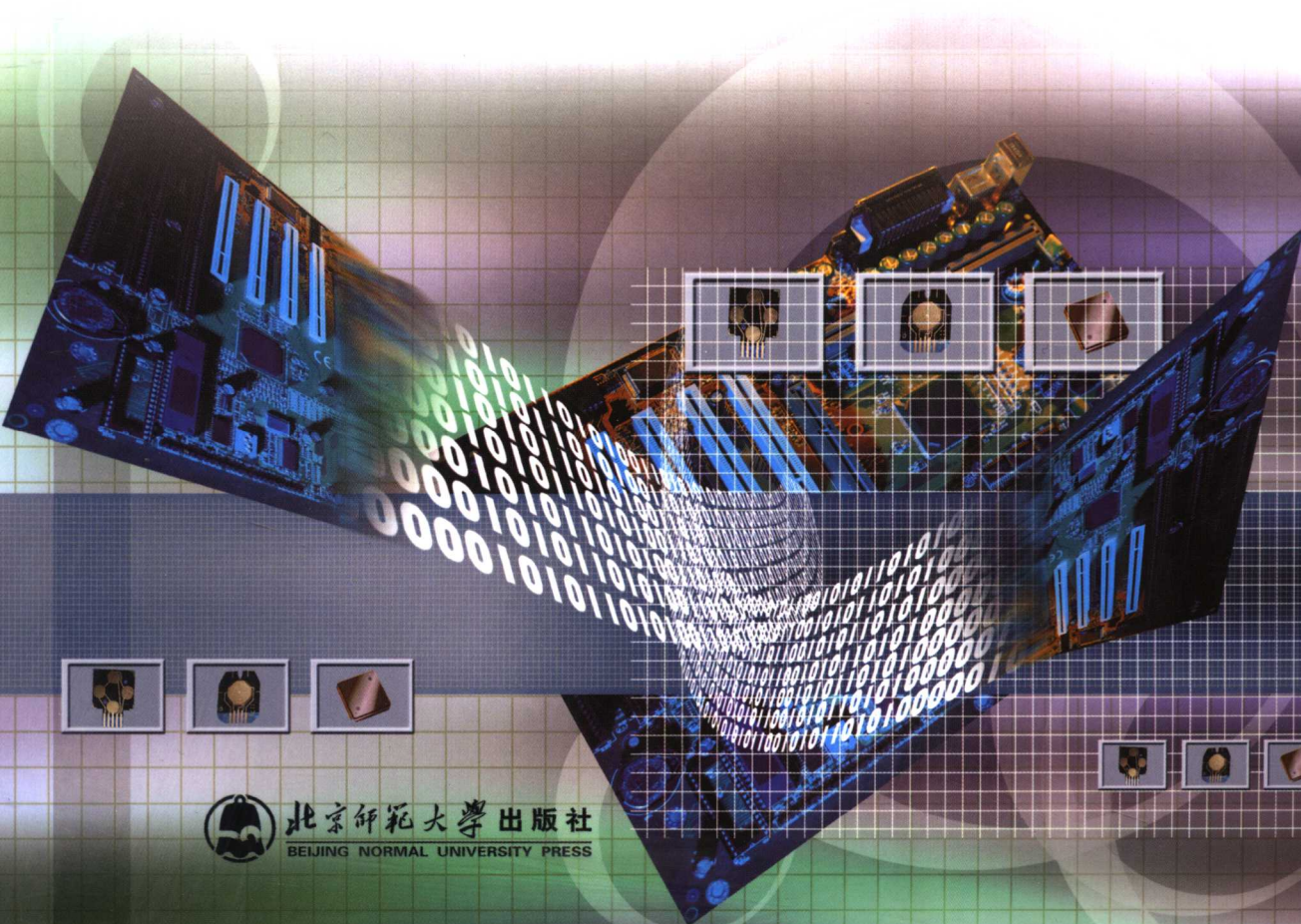
教育部推荐教材

21世纪高职高专系列规划教材

自动控制原理 与系统

主 编 张存礼 王 辉

副主编 冯 凯 詹训进



北京师范大学出版社
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PRESS

教育部推荐教材

21世纪高职高专系列规划教材

自动控制原理 与系统

主 编 张存礼 王 辉
副主编 冯 凯 詹训进
参 编 陈 霞 刘 涛



北京师范大学出版社
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

自动控制原理与系统/张存礼主编. —北京: 北京师范大学出版社, 2007. 3

(21 世纪高职高专系列规划教材)

ISBN 978-7-303-08128-8

I. 自... II. 张... III. ①自动控制原理 - 高等学校: 技术学校 - 教材②自动控制系统 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. ①TP13②TP273

中国版本图书馆CIP数据核字 (2006) 第 092642 号

出版发行: 北京师范大学出版社 [www. bnup. com. cn](http://www.bnup.com.cn)

北京新街口外大街 19 号

邮政编码: 100875

出 版 人: 赖德胜

印 刷: 北京新丰印刷厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185 mm × 260 mm

印 张: 22. 75

字 数: 510 千字

版 次: 2007 年 3 月第 1 版

印 次: 2007 年 3 月第 1 次印刷

定 价: 31. 00 元

责任编辑: 周光明 美术编辑: 李葆芬

责任校对: 李 菡 责任印制: 董本刚

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010 - 58800697

本书如有印装质量问题, 请与出版部联系调换。

电话: 010 - 58800825。

出版说明

随着我国经济建设的发展,社会对技术型应用人才的需求日趋紧迫,这也促进了我国职业教育的迅猛发展,我国职业教育已经进入了平稳、持续、有序的发展阶段。为了适应社会对技术型应用人才的需求和职业教育的发展,教育部对职业教育进行了卓有成效的改革,职业教育与成人教育司、高等教育司分别颁布了调整后的中等职业教育、高等职业教育专业设置目录,为职业院校专业设置提供了依据。教育部连同其他五部委共同确定数控技术应用、计算机应用与软件技术、汽车运用与维修、护理为紧缺人才培养专业,选择了上千家高职、中职学校和企业作为示范培养单位,拨出专款进行扶持,力争培养一批具有较高实践能力的紧缺人才。

职业教育的快速发展,也为职业教材的出版发行迎来了新的春天和新的挑战。教材出版发行为职业教育的发展服务,必须体现新的理念、新的要求,进行必要的改革。为此,在教育部高等教育司、职业教育与成人教育司、北京师范大学等的大力支持下,北京师范大学出版社在全国范围内筹建了“全国职业教育教材改革与出版领导小组”,集全国各地上百位专家、教授于一体,对中等高等职业院校的文化基础课、专业基础课、专业课教材的改革与出版工作进行深入的研究与指导。2004年8月,“全国职业教育教材改革与出版领导小组”召开了“全国有特色高职教材改革研讨会”,来自全国20多个省、市、区的近百位高职院校的院校长、系主任、教研室主任和一线骨干教师参加了此次会议。围绕如何编写出版好适应新形势发展的高等职业教育教材,与会代表进行了热烈的研讨,为新一轮教材的出版献计献策。这次会议共组织高职教材50余种,包括文化基础课、电工电子、数控、计算机教材。2005年~2006年期间,“全国职业教育教材改革与出版领导小组”先后在昆明、哈尔滨、天津召开高职高专教材研讨会,对当前高职高专教材的改革与发展、高职院校教学、师资培养等进行了深入的探讨,同时推出了一批公共素质教育、商贸、财会、旅游类高职教材。这些教材的特点如下。

1. 紧紧围绕教育改革,适应新的教学要求。过渡时期具有新的教学要求,这批教材是在教育部的指导下,针对过渡时期教学的特点,以3年制为基础,

兼顾2年制,以“实用、够用”为度,淡化理论,注重实践,消减过时、用不上的知识,内容体系更趋合理。

2.教材配套齐全。将逐步完善各类专业课、专业基础课、文化基础课教材,所出版的教材都配有电子教案,部分教材配有电子课件和实验、习题指导。

3.教材编写力求语言通俗简练,讲解深入浅出,使学生在理解的基础上学习,不囫圇吞枣,死记硬背。

4.教材配有大量的例题、习题、实训,通过例题讲解、习题练习、实验实训,加强学生对理论的理解以及动手能力的培养。

5.反映行业新的发展,教材编写注重吸收新知识、新技术、新工艺。

北京师范大学出版社是教育部职业教育教材出版基地之一,有着近20年的职业教育出版历史,具有丰富的编辑出版经验。这批高职教材的编写得到了教育部相关部门的大力支持,部分教材通过教育部审核,被列入职业教育与成人教育司高职推荐教材,并有25种教材列为“十一五”国家级规划教材。我们还将开发电子信息类的通信、机电、电气、计算机、工商管理等专业教材,希望广大师生积极选用。

教材建设是一项任重道远的工作,需要教师、专家、学校、出版社、教育行政部门的共同努力才能逐步获得发展。我们衷心希望更多的学校、更多的专家加入到我们的教材改革出版工作中来,北京师范大学出版社职业教育与教师教育分社全体人员也将备加努力,为职业教育的改革与发展服务。

全国职业教育教材改革与出版领导小组
北京师范大学出版社

前言

自动控制作为技术改造和技术发展的重要手段，在国民经济和国防事业的各个部门得到了广泛的应用。

自动控制广泛地应用于机电一体化的各项工程中，实现了工业生产设备的自动化；从而改善了劳动条件，提高了产品质量，显著地提高了企业的经济效益。军事装备的自动化，提高了武器的速度、精度和战术技术性能。因此，“自动控制原理与系统”必然地就成为电气、机电一体化、自动化仪表等专业的基础理论。

本书根据作者多年的教学实践和高职教学特点，把“自动控制原理”和“自动控制系统”两门课程进行了整合，在北京师范大学出版社的组织下编写成该教材。本教材有以下特点：

1. 在编写方法上，本着“淡化理论、够用为度、培养技能、正在实用”的原则，打破了传统教材过于注重“系统性”的倾向，而是在注意“系统性”的前提下，根据高职的培养目标来确定教材的结构、内容。在理论上摒弃了一些一般内容和烦琐的数学推导，注重于原理与结论的应用进行编写。

2. 在编写内容上，强调实践和实践的属性，并注意了知识的先进性与前瞻性。采用“理论够用为度、注重能力培养”有选择性的编写模式。加入了自动控制原理的实验实训内容和 MATLAB 仿真内容（打有“*”号的，供教学时选学）。在“自动控制系统”的各章中都加入了实例分析，使学生通过实践构建知识体系，有利于培养学生主动学习的能力、搜索和处理信息的能力、分析和解决问题的能力，内容更加合理。实现了适应高职培养人才特色的针对性和实践性。

3. 本书内容分上、下两篇。上篇为“自动控制原理”，包括自动控制系统的一般概念、自动控制系统的数学模型、自动控制系统的时域分析法、自动控制系统的频率分析法、自动控制系统的校正、MATLAB 仿真软件简介和数学模型的 MATLAB 在自动控制系统中的简单应用。下篇为“自动控制系统”，包括单闭环直流调速系统、转速、电流双闭环直流调速系统、可逆直流调速系统、直流脉宽调速系统、位置随动控制系统、转差功率消耗型调速系统——异步电动机调压调速系统、转差功率回馈型调速系统——异步电动机串级调速系统、转差功率不变型调速系统——异步电动机串级调速系统。

本书由山东济宁职业技术学院张存礼、河南平顶山工学院王辉任主编，担任全书的修改、统稿及审稿工作；漯河职业技术学院冯凯、广东松山职业技术学院詹训进任副主编。济宁职业技术学院陈霞、刘涛参与了教材的编写。其中张存礼完成了第 1、2、3、4、8 章的编写；王辉完成了第 5、6、7、11 章的编写；冯凯完成了第 10、14、15 章的编写；詹训进完成了第 9、12、13 章的编写；陈霞参与了第 2、3、4 章的编写，

并编写了以上各章的习题与思考题；刘涛完成了拉氏变换和试验实训部分的编写。在教材的编写过程中，济宁职业技术学院的刘利斌、骆永纪、刘庆刚、袁卫华、辛奇等提出了不少宝贵意见，并得到了济宁职业技术学院分管领导和机电系的关心和大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，经验不足，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2006 年 12 月

目 录

上篇 自动控制原理

第 1 章 自动控制的一般概念 (1)

1.1 概述 (1)

1.2 自动控制与自动控制系统
..... (3)

1.2.1 自动控制系统的基本原理和基本概念 (3)

1.2.2 自动控制的基本方式 (5)

1.3 自动控制系统分类 (8)

1.4 对控制系统的基本要求
..... (9)

1.5 本课程的基本任务 (10)

本章小结 (11)

习题与思考题 (11)

第 2 章 自动控制系统的数学模型
..... (13)2.1 控制系统的微分方程
..... (13)2.1.1 控制系统微分方程的建立
..... (14)2.1.2 控制系统微分方程的求解
..... (15)2.2 控制系统的传递函数
..... (17)

2.2.1 传递函数的定义 (17)

2.2.2 传递函数的求取 (18)

2.2.3 传递函数的性质 (19)

2.3 控制系统的动态结构图
..... (19)2.3.1 动态结构图的组成与画法
..... (19)2.3.2 动态结构图的等效变换及化简
..... (21)

2.4 典型环节的数学模型与典型系统的传递函数 (28)

2.4.1 典型环节的数学模型
..... (28)2.4.2 典型系统的传递函数
..... (30)

本章小结 (32)

习题与思考题 (33)

第 3 章 自动控制系统的时域分析法
..... (37)

3.1 典型输入信号及其时间响应和时域性能指标 (37)

3.1.1 典型输入信号及其时间响应
..... (37)3.1.2 单位阶跃响应的时域性能指标
..... (40)

3.2 自动控制系统动态性能的时域分析 (41)

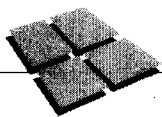
3.2.1 一阶系统的时域分析
..... (41)3.2.2 二阶系统的时域分析
..... (43)



3.3 自动控制系统稳定性的 时域分析	(48)
3.3.1 系统稳定性的基本概念	(48)
3.3.2 控制系统稳定性的代数判据	(51)
3.4 自动控制系统的稳态误差分析	(53)
3.4.1 系统误差与稳态误差	(53)
3.4.2 系统的稳态误差计算	(55)
本章小结	(59)
习题与思考题	(60)
第4章 自动控制系统的频率分析法	(63)
4.1 频率特性的基本概念	(63)
4.1.1 频率特性的定义	(63)
4.1.2 频率特性的表示方法	(65)
4.2 典型环节和开环系统的频率特 性	(70)
4.2.1 典型环节的频率特性	(70)
4.2.2 开环系统的频率特性	(76)
4.3 自动控制系统的频率 特性分析	(79)
4.3.1 用频率特性分析系统的稳定性	(79)
4.3.2 系统开环频率特性与系统闭环 阶跃响应的关系	(85)
本章小结	(88)
习题与思考题	(88)

第5章 自动控制系统的校正	(92)
5.1 自动控制系统校正的 基本概念	(92)
5.1.1 自动控制系统校正的方式	(92)
5.1.2 自动控制系统的性能指标	(93)
5.1.3 线性系统的基本控制规律	(94)
5.2 自动控制系统校正的基本方法	(96)
5.2.1 校正装置的类型	(96)
5.2.2 串联校正	(98)
5.2.3 反馈校正	(102)
5.2.4 复合校正	(104)
5.3 自动控制系统的一般设计方法	(106)
5.3.1 自动控制系统设计的 基本步骤	(106)
5.3.2 自动控制系统固有有部分开环频 率特性的确定	(107)
5.3.3 自动控制系统预期开环对数频 率特性的确定	(108)
5.3.4 自动控制系统校正环节频率特 性的确定	(108)
5.3.5 自动控制系统校正示例	(108)
本章小结	(110)
习题与思考题	(111)
*第6章 MATLAB 仿真软件简介	(112)
6.1 MATLAB 软件简介	(112)
6.1.1 MATLAB 概述	(112)
6.1.2 MATLAB 的安装、启动与退出	(113)

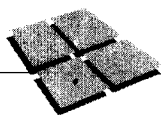
6.2	MATLAB 软件的命令窗口	.....	(115)
6.2.1	MATLAB 命令窗口的菜单栏	.....	(115)
6.2.2	MATLAB 命令窗口的工具栏	.....	(118)
6.2.3	MATLAB 命令窗口的命令编辑区	.....	(119)
6.3	MATLAB 中的命令函数和 M 文件	.....	(120)
6.4	MATLAB 中的变量和语句	.....	(120)
6.5	MATLAB 中的运算符	.....	(120)
6.5.1	算术运算符	.....	(121)
6.5.2	关系运算符	.....	(122)
6.5.3	逻辑运算符	.....	(123)
6.6	用 MATLAB 绘制响应曲线	.....	(123)
6.6.1	plot 函数	.....	(124)
6.6.2	图形标记	.....	(125)
6.6.3	subplot 函数	.....	(126)
6.6.4	多窗口绘图	.....	(127)
6.7	Simulink 简介	.....	(128)
6.7.1	Simulink 仿真模型的建立	.....	(129)
6.7.2	Simulink 仿真的基本操作	.....	(130)
	本章小结	.....	(131)
	习题与思考题	.....	(132)
* 第 7 章	数学模型的 MATLAB 在自动控制系统中的简单应用	.....	(133)
7.1	数学模型的 MATLAB 表示	.....	(133)
7.1.1	有理函数形式的传递函数模型表示	.....	(133)
7.1.2	零极点形式的传递函数模型表示	.....	(133)
7.2	数学模型的 MATLAB 变换	.....	(135)
7.2.1	数学模型结构的等效变换	.....	(135)
7.2.2	不同模型对象间的等效变换	.....	(135)
7.3	动态性能的 MATLAB 分析	.....	(136)
7.3.1	闭环阶跃响应分析	.....	(136)
7.3.2	开环 Bode 图分析	.....	(139)
7.4	MATLAB 在系统校正中的应用	.....	(140)
	本章小结	.....	(143)
	习题与思考题	.....	(144)
下篇 自动控制系统			
第 8 章 单闭环直流调速系统			
		.....	(145)
8.1	直流调速系统概述	.....	(145)
8.1.1	直流调速系统的基本概念	.....	(145)
8.1.2	晶闸管直流调速系统的一般概念	.....	(149)
8.2	单闭环直流调速系统	.....	(152)
8.2.1	有静差单闭环直流调速系统	.....	(152)
8.2.2	无静差单闭环直流调速系统	.....	(155)
8.2.3	其他单闭环直流调速系统	.....	(156)
8.2.4	直流调速系统的检测装置	.....	(159)



8.3 单闭环直流调速系统	
实例分析	(161)
8.3.1 技术数据、技术指标和结构特点	(161)
8.3.2 系统的定性分析	(161)
本章小结	(166)
习题与思考题	(166)
第9章 转速、电流双闭环直流调速系统	(168)
9.1 转速、电流双闭环调速系统	(168)
9.2 双闭环调速系统的动态性能	(171)
9.3 双闭环调速系统工程设计方法	(173)
9.4 双闭环调速系统实例分析	(184)
本章小结	(190)
习题与思考题	(191)
第10章 可逆直流调速系统	(194)
10.1 实现可逆运行的电路	(194)
10.1.1 电枢反接可逆线路	(194)
10.1.2 励磁反接可逆线路	(195)
10.1.3 电枢反接和励磁反接两种可逆调速系统性能比较	(196)
10.1.4 可逆调速系统的四种工作状态	(196)
10.2 可逆系统中的环流	(198)
10.2.1 环流的利弊及种类	(198)
10.2.2 环流的抑制措施	(198)

10.3 自然环流可逆调速系统	(201)
10.3.1 系统的组成特点与工作原理	(201)
10.3.2 系统制动过程分析	(202)
10.4 可控环流可逆调速系统	(206)
10.4.1 系统的组成特点与工作原理	(207)
10.4.2 可控环流大小的确定	(207)
10.5 逻辑无环流可逆调速系统实例分析	(209)
10.5.1 逻辑控制无环流可逆调速系统的组成	(209)
10.5.2 逻辑控制无环流可逆调速系统的工作原理	(210)
本章小结	(211)
习题与思考题	(213)
第11章 直流脉宽调速系统	(214)
11.1 脉宽调制的基本原理	(214)
11.1.1 脉宽调速基本原理	(214)
11.1.2 不可逆 PWM 变换器	(215)
11.1.3 可逆 PWM 变换器	(218)
11.2 直流脉宽调速系统的控制电路	(220)
11.2.1 脉冲宽度调制器	(221)
11.2.2 延时环节	(222)
11.2.3 基极驱动器	(222)
11.3 直流脉宽调速系统实例分析	(223)

本章小结	(224)	习题与思考题	(250)
习题与思考题	(225)	第 13 章 转差功率消耗型调速系统	
第 12 章 位置随动控制系统		——异步电动机调压调速系统	
.....	(226)	.....	(252)
12.1 概述	(226)	13.1 概述	(252)
12.1.1 位置随动系统的组成及		13.2 调压调速系统基本概念	
工作原理	(226)	.....	(254)
12.1.2 位置随动系统的特点		13.3 调压调速系统	(255)
.....	(227)	13.4 利用电动机的自身结构调速	
12.1.3 位置随动系统的基本类型		.....	(259)
.....	(227)	13.5 异步电动机调压调速系统实	
12.2 位置的检测装置		例分析	(261)
.....	(228)	本章小结	(271)
12.2.1 自整角机	(228)	习题与思考题	(272)
12.2.2 旋转变压器	(229)	第 14 章 转差功率回馈型调速系统	
12.2.3 感应同步器	(231)	——异步电动机串级调速系统	
12.2.4 光栅	(233)	.....	(273)
12.2.5 光电编码盘	(235)	14.1 串级调速原理	(273)
12.3 位置随动系统的控制方案 and		14.2 能量传递关系及串级调速系	
控制性能	(236)	统分类	(274)
12.3.1 位置随动系统的控制方案		14.2.1 能量传递关系	(274)
.....	(236)	14.2.2 串级调速系统的分类	
12.3.2 位置随动系统的控制		.....	(276)
性能分析	(237)	14.3 串级调速系统基本特性	
12.4 数控机床的伺服系统实例分		.....	(277)
析	(242)	14.3.1 机械特性	(277)
12.4.1 直流位置随动系统的组成		14.3.2 串级调速系统的功率因数	
.....	(242)	.....	(278)
12.4.2 微机与 L290/1/2 组成的直流		14.3.3 串级调速系统的效率	
位置随动系统的工作原理		.....	(279)
.....	(244)	14.4 具有双闭环控制的串级调速	
12.4.3 基于单片机 8031 控制的直流		系统实例分析	(278)
伺服系统	(246)	14.4.1 双闭环控制的串级调速系统	
12.5 位置随动系统的特殊问题		.....	(279)
.....	(247)	14.4.2 斩波控制串级调速系统	
本章小结	(250)	.....	(280)



14.5 双馈串级调速系统实例分析	(281)
本章小结	(282)
习题与思考题	(282)
第 15 章 转差功率不变型调速系统	
——异步电动机串级调速系统	(283)
15.1 变频调速原理	(283)
15.2 变频调速的基本控制方式和机械特性	(283)
15.2.1 变频调速的基本控制方式	(283)
15.2.2 变频调速的机械特性	(284)
15.3 变压变频装置及其基本控制方式	(285)
15.3.1 间接变频装置(交—直—交变频装置)	(285)
15.3.2 直接变频装置(交—交变频装置)	(286)
15.3.3 电压源型和电流源型变压变频装置	(288)
15.4 SPWM 变压变频器	(288)
15.4.1 基本概念	(288)
15.4.2 SPWM 逆变器的工作原理	(289)
15.4.3 SPWM 逆变器的调制方式	(291)
15.4.4 SPWM 的实现方法	(291)
15.4.5 SPWM 专用集成电路简介	(294)
15.5 变频调速系统控制方式	(294)
15.5.1 U/f 控制	(294)
15.5.2 转差频率控制	(298)
15.5.3 矢量控制	(300)
15.6 SPWM 变压变频系统实例分析	(301)
15.6.1 采用微机控制的 SPWM 变压变频器调速系统	(301)
15.6.2 采用通用变频器控制的异步电动机调速系统	(302)
15.6.3 微机控制的 SPWM 交流变频调速系统	(303)
15.6.4 系统工作原理	(303)
本章小结	(304)
习题与思考题	(304)
附录 A 自动控制理论实验指导书	(305)
附录 B 拉普拉斯变换及线性微分方程求解	(319)
附录 C 部分习题与思考题参考答案	(329)
参考书目	(347)

上篇 自动控制原理

第 1 章 自动控制的一般概念

内容提要

本章简要介绍自动控制系统的发展;主要介绍自动控制的基本原理、基本概念、基本方式、闭环控制的基本组成;自动控制系统的基本类型和基本要求;指出了本课程的基本任务。

1.1 概 述

20 世纪中叶以来,在工程和科学发展中,自动控制技术起着极为重要的作用。所谓自动控制,就是在没有人参与的情况下,通过控制器使被控对象和过程自动地按照预定的规律运行。导弹能够击中目标,人造卫星能够准确地月球着陆,并重返地球,都离不开自动控制技术的高速发展。在工业生产过程中,诸如对压力、温度、湿度、流量、频率以及原料、燃料成分比例等方面的控制,也都离不开自动控制技术。

自动控制技术在各个领域的广泛应用,不仅大大地提高了劳动生产率和产品质量,改善了劳动条件,而且在人类征服自然和改造自然、探索新能源、发展空间技术、改善人民物质生活等方面起着极为重要的作用。

自动控制理论是自动控制技术的基础理论,是工程控制论的一个重要分支,在自动控制技术的工程应用和发展中起着极其重要的作用。它以数学为研究工具,以自动控制系统为研究和应用对象,以控制方法和控制规律为研究内容,是分析、设计和调试自动控制系统的必备理论基础。

自动控制技术发展过程经历了三个阶段,根据发展阶段的不同,自动控制理论也相应地可以分为经典控制理论、现代控制理论和智能控制理论三大部分。

经典控制理论是指 20 世纪 50 年代末期所形成的理论体系,它以描述系统输入—输出关系的传递函数为理论基础,并且采用时域和频域的双重方法,主要研究单输入—单输出线性定常系统的分析和设计问题。这些理论由于发展较早,现已臻成熟。

现代控制理论是在 20 世纪 60~70 年代发展起来的新理论。它满足了当时宇航、国



防等尖端技术和复杂系统的发展需要,采用能够描述系统内部特征的状态空间法,着重研究具有高性能、高精度的多输入—多输出、线性或非线性、定常或时变、变参数、高精度、高效能等控制系统的分析和设计问题,如最优控制、最佳滤波和自适应控制、系统识别等理论都是这一领域的主要课题。

智能控制理论是在计算机技术和人工智能理论取得重大进展的 20 世纪后期发展起来的新型控制理论,它是试图模仿具有高度自组织、自适应、自调节能力的人类生命活动的机理,研究具有仿人智能的工程控制和信息处理问题,以使具有高度复杂性、高度不确定性的系统达到更高的要求。

回顾控制论的发展历程,最早可追溯到 18 世纪英国的第一次技术革命。其间,许多科学家为此做出了非常杰出的贡献。其中,控制论创始人维纳(N. Wiener)在火炮自动控制的研究中发现了极为重要的反馈理论,于 1948 年发表了著名的《控制论——关于在动物和机器中控制和通讯的科学》一文,不仅奠定了控制论这门学科的基础,而且确立了信息、反馈与控制作为控制论的中心思想。1954 年,我国学者钱学森运用控制论的思想和方法,首创了“工程控制论”,把控制论推广到了诸如生物控制、经济控制和社会控制等其他领域,从而大大拓展了控制论的应用范围,对促进科技发展和社会进步产生了深远的影响。自动控制理论的不断进展,反映了人类社会由机械化步入电气化,继而走向自动化、信息化和智能化的时代特征。然而,经典控制理论仍然是整个控制理论学科的基础,相当多的各种工程问题还要用它来解决。因此,学习经典控制理论还是非常重要的。

在生产过程中,较先进的生产机械和工艺,普遍要求对电动机的转速实行自动控制。即在没有人参与的情况下,利用控制装置使电动机按照预定的规律运行和变速。控制装置和电动机,就组成特定的自动控制系统,由于其控制量是电动机的转速,所以,一般称之为自动调速系统。

自动调速系统性能的优劣,直接影响到产品的质量、产量成本和劳动条件,因此,很早就为人们所重视。它发展迅速,而且经历了多次的重大变革。

在 20 世纪 20~30 年代,电动机的调速系统是由接触器和继电器所组成的断续控制系统。它可以实现电动机的启动、制动、正反转以及有级调速等,但调速精度不高,快速性较差,且多为手动调速。然而,它具有简单、可靠、成本低等优点。所以,在要求不高的场合至今还在大量应用。到了 40 年代,出现了由电机放大机——发电机—电动机组成的连续控制系统。它是一种具有反馈环节的闭环控制系统,是无级调速,在调速精度和快速性方面比断续控制系统要好得多。所以在要求较高的场合获得广泛的应用。例如,大型龙门刨就采用电机放大机——发电机—电动机控制系统。在 50 年代,又出现了磁放大器和汞整流器控制系统。这种系统改革了电机放大机——发电机—电动机系统中的机械旋转部分。但汞整流器的可靠性差、维护工作量大。所以,刚兴起十几年就被淘汰了。50 年代末期,晶闸管元件的出现,开辟了自动调速系统的新纪元。晶闸管自动调速系统具有效率高、体积小、寿命长、反应快、控制特性好、消耗材料少等显著优点,因而获得了强大的生命力,迅速取代了其他调速系统。70 年代以后,随着数控技术的发展,出现了高精度的数控调速系统。80 年代后,随着电力电子技术的发展,又出现了电力

晶体管 GTR、可关断晶体管 GTO、功率场效应晶体管 MOSFET 及绝缘栅双极晶体管 IGBT 等全控型器件,使得控制更加快速、灵活、可靠。由于电子计算机和微处理机的推广应用,又出现了由计算机或微处理机控制的自动调速系统,PLC 控制系统,如大型的多功能数控机床、机械手、机器人等机电一体化设备,计算机辅助设计、计算机辅助制造、计算机集成制造系统和柔性制造系统等高新技术,使自动调速系统的性能达到了一个新的高度。毫无疑问,随着时间的推移,将会出现更多的以自动控制为基础的高新产品和高新技术。

1.2 自动控制与自动控制系统

自动控制作为重要的技术手段,主要用于解决各类性质的工程问题,承担维持系统正常运行的技术任务。实际上,在各种生产过程和生产设备中,常常要求系统在运行时,系统中的某些物理量保持恒定,或者按照某种规律变化。而要满足这些要求,就必须对其进行相应的调整与控制,以抵消外界的干扰和影响,最终实现控制目标。

1.2.1 自动控制系统的基本原理和基本概念

首先以恒温系统为例,对其实现温度自动控制的基本原理加以研究,并从中引出自动控制和自动控制系统的基本概念。

实现恒温控制有两种方法:人工控制和自动控制。图 1-1 所示为人工控制的恒温箱。箱内的加热元件为电阻丝,箱内温度则由温度计来测量显示。人们可以通过调压器改变供给电阻丝的电压,进而改变流过电阻丝的电流和电阻丝产生的热量,就可达到控制箱内温度的目的。这种人工调节过程可归结如下:

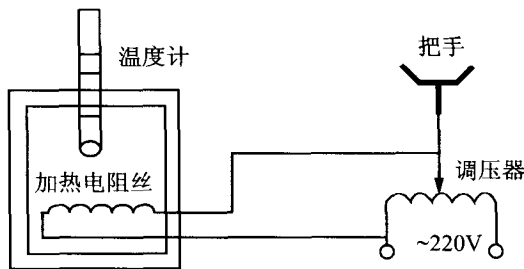


图 1-1 人工控制的恒温箱

- (1) 用眼观测由测量元件(温度计)测出的恒温箱的实际温度(也称被控量);
- (2) 测量温度与要求的温度值(也称给定值)通过人的大脑进行比较,得出温度偏差的大小和方向;
- (3) 根据偏差的大小和方向再进行控制:当恒温箱的实际温度高于给定温度时,就调节调压器使电流减小,降低温度;若实际温度低于给定温度,则调节调压器使电流增大,升高温度。控制方框图如图 1-2 所示。

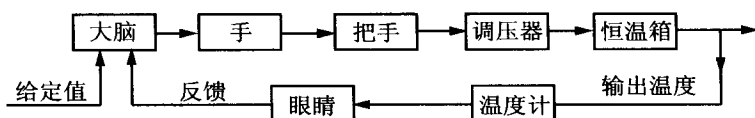
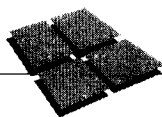


图 1-2 人工控制的恒温箱系统方框图

可见,上述人工控制的过程就是测量、求偏差、再实施控制以纠正偏差的过程,也就是检测偏差用以纠正偏差的过程。

图 1-3 所示是恒温箱自动控制系统。在这里,用能够输出电压信号的热电偶作为测温元件,调节调压器通过执行电动机来调整,恒温箱的温度由给定信号电压 u_1 来控制。这种自动控制过程可归结如下:

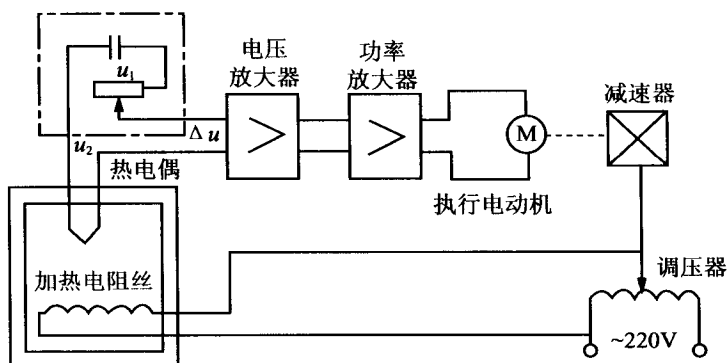


图 1-3 恒温箱自动控制系统

(1) 当外界因素引起箱内温度变化时,热电偶就会将恒温箱内的实际温度转换成对应的电压信号 u_2 ;

(2) 将 u_2 反馈到输入端与给定信号 u_1 进行比较,得到偏差信号 $\Delta u = u_1 - u_2$ 。并将 Δu 经过电压、功率放大。

(3) Δu 放大后,控制电动机的转速和方向,并经传动装置拖动调压器的动触头。当 $\Delta u > 0$ (温度偏高) 时,动触头向着电流减小的方向运动,反之,当 $\Delta u < 0$ (温度偏低) 时,动触头向着电流增加的方向运动,直到温度与给定值相等,即 $\Delta u = 0$ 时,电动机停转。控制方框图如图 1-4 所示。

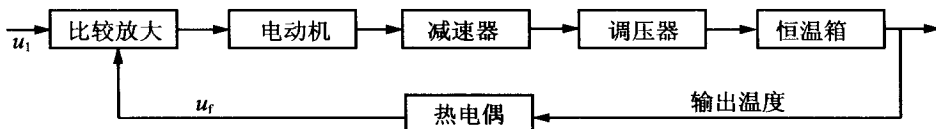


图 1-4 恒温箱自动控制方框图

把上述人工控制和自动控制系统进行比较可以看出:热电偶相当于人的眼睛,比较放大装置相当于人的大脑,电动机相当于人的手,减速器相当于把手。

在整个控制过程中,它们具有以下几个共同特点:一是要检测出实际的输出量;二是要把实际的输出量与给定的输入期望值进行比较,得出偏差;三是利用偏差信号产生控