

高等院校

电子信息应用型

规划教材

自动控制原理

刘志君 李润生 主 编

刘 洋 董薇薇 副主编



清华大学出版社

高等院校

电子信息应用型

规划教材

自动控制原理

刘志君 李润生 主 编

刘 洋 董薇薇 副主编



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书介绍了经典控制理论的基本概念、基本理论、基本分析方法以及实际应用。主要内容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,根轨迹分析法,频域分析法,控制系统的校正与设计,非线性系统分析,采样控制系统,自动控制系统的分析与调试。各章配有大量习题。

本书力争做到重点突出、概念清楚、层次清晰、深入浅出、简明易学,力求达到紧密联系实际、学以致用的目的。

本书适用于本、专科电气自动化技术、电力系统自动化技术、过程自动化技术以及应用电子技术等电类专业的教学,也可作为相关工程技术人员的参考书籍。

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 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理/刘志君,李润生主编.--北京:清华大学出版社,2013

高等院校电子信息应用型规划教材

ISBN 978-7-302-33189-6

I. ①自… II. ①刘… ②李… 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(2013)第 159102 号

责任编辑:王剑乔

封面设计:傅瑞学

责任校对:李 梅

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795764

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:15.5 字 数:353 千字

版 次:2013 年 11 月第 1 版 印 次:2013 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:38.00 元

产品编号:048429-01

随着科学技术的迅猛发展,自动控制技术的应用日益广泛,不但使生产设备或生产过程实现了自动化,大大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、改善居住条件、提高生活水平等方面也发挥了非常重要的作用。

由于自动控制原理是一门理论性很强的专业技术基础课程,比较抽象,学生不易接受(主要是不知用于何处和如何具体应用),因此,本书开始以一些具体的实例引出问题,使学生明确自动控制原理在具体工程中的应用。本书的特点是理论联系实际,注重方法论的叙述;注重以就业为导向,以能力为本位,面向市场,面向社会,充分体现职业教育的特色,满足培养高技能人才的需要。

“自动控制原理”课程是电气自动化、电力系统自动化技术、过程自动化技术、电子信息类专业的主要课程。本书以经典线性控制理论为主线,结合具体应用实例,着重叙述自动控制系统的工作原理、系统数学模型的建立、系统性能(动态性能、稳态性能、稳定性)的分析方法以及改善系统性能的途径。编者曾多次深入本溪钢铁有限责任公司、鞍山钢铁有限责任公司以及相关兄弟院校进行调查研究,收集信息,本着为企业培养具有必要理论知识和较强实践能力以及生产、建设、管理、服务第一线的高技能人才的需要,按照“自动控制原理”教学大纲的要求,以职业岗位群的需求为出发点,确定了本书的编写内容,力争做到重点突出、概念清楚、层次清晰、深入浅出、简明易学,力求达到紧密联系实际、学用一致的目的。

全书共分九章,主要内容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,根轨迹分析法,频域分析法,控制系统的校正与设计,非线性系统分析,采样控制系统,自动控制系统的分析与调试。每章末都有概括其主要内容的小结与习题,以帮助读者巩固和掌握有关内容,训练灵活应用、分析和解决自动控制系统实际问题的能力。

本书由刘志君、李润生担任主编,刘洋、董薇薇担任副主编,孙艳秋主

审，具体分工如下：刘志君负责编写第 1 章、第 2 章、第 3 章、第 9 章，李润生负责编写第 4 章、第 5 章、第 6 章，刘洋负责编写第 8 章，董薇薇负责编写第 7 章及附录部分。全书由刘志君统稿。

鉴于编者的水平有限，书中难免存在不妥之处，恳请广大师生和读者提出宝贵意见和建议，以便再版修订时改正。

编 者

2013 年 6 月

目 录

第 1 章 自动控制系统的一般概念

1.1	自动控制系统的发展概述	1
1.2	自动控制系统的基本方式	4
1.2.1	开环控制系统	4
1.2.2	闭环控制系统	5
1.3	自动控制系统的组成和分类	6
1.3.1	自动控制系统的组成	6
1.3.2	自动控制系统的分类	9
1.4	自动控制系统的性能要求	10
1.4.1	稳定性	10
1.4.2	稳态性能指标	11
1.4.3	动态性能指标	11
	本章小结	12
	习题	13

第 2 章 自动控制系统的数学模型

2.1	控制系统的微分方程	15
2.1.1	系统微分方程的建立	15
2.1.2	建立系统微分方程举例	15
2.1.3	应用拉氏变换求解微分方程	18
2.2	传递函数	19
2.2.1	传递函数的定义	20
2.2.2	传递函数的性质	20
2.2.3	复数阻抗法	21
2.2.4	典型环节的传递函数	23
2.3	系统动态结构图	32
2.4	系统结构图等效变换	33
2.4.1	系统框图的画法	33

2.4.2	框图的等效变换	34
2.4.3	方框图的化简举例	37
2.4.4	梅森(S. J. Mason)公式	39
2.5	反馈控制系统的传递函数	40
2.5.1	闭环控制系统的开环传递函数	40
2.5.2	自动控制系统闭环传递函数的求取	41
2.5.3	闭环系统的误差传递函数	42
2.6	用 Matlab 求解微分方程和化简系统框图	42
2.6.1	系统传递函数模型在 Matlab 中的表示	42
2.6.2	结构图模型的简化	44
	本章小结	47
	习题	49
第 3 章	自动控制系统的时域分析	52
3.1	时域分析概述	52
3.1.1	时域分析法的特点	52
3.1.2	典型输入信号	52
3.1.3	时域性能指标	53
3.2	一阶系统的动态响应	54
3.2.1	一阶系统的单位阶跃响应	54
3.2.2	一阶系统的单位斜坡响应	56
3.3	二阶系统的动态响应	56
3.3.1	二阶系统的单位阶跃响应	57
3.3.2	二阶系统的性能指标	60
3.3.3	改善二阶系统性能的措施	63
*3.4	高阶系统的动态响应	64
3.5	系统的稳定性分析	66
3.5.1	系统稳定性的概念	66
3.5.2	系统稳定的充分与必要条件	67
3.5.3	代数稳定性判据	68
3.6	系统的稳态误差分析	75
3.6.1	稳态误差的概念	75
3.6.2	稳态误差的计算	75
3.6.3	改善系统稳态精度的方法	80
3.7	Matlab 在时域分析中的应用	81
3.7.1	时域分析曲线的绘制	81
3.7.2	二阶系统性能指标的计算	83

3.7.3 代数稳定判据 Matlab 的实现	88
本章小结	89
习题	90
第 4 章 根轨迹分析法	93
4.1 根轨迹的基本概念	93
4.1.1 根轨迹的概念	93
4.1.2 根轨迹方程	94
4.2 绘制根轨迹的基本法则	95
4.2.1 根轨迹的对称性和分支数	96
4.2.2 根轨迹的起点和终点	96
4.2.3 实轴上的根轨迹段	97
4.2.4 根轨迹的渐近线	98
4.2.5 根轨迹的分离点和会合点	99
4.2.6 根轨迹的出射角和入射角	101
4.2.7 根轨迹与虚轴的交点	103
4.2.8 开环极点与闭环极点的关系	104
4.3 广义根轨迹	106
4.3.1 参量根轨迹	106
4.3.2 正反馈系统的根轨迹	107
4.3.3 非最小相位系统的根轨迹	108
4.4 用根轨迹法分析系统的动态特性	109
4.4.1 闭环极点的位置与系统性能的关系	109
4.4.2 增加开环零、极点对根轨迹的影响	111
4.5 用 Matlab 绘制根轨迹	114
4.5.1 绘制系统的零极点分布图	114
4.5.2 绘制系统的根轨迹	114
4.5.3 根轨迹与系统性能	117
本章小结	118
习题	119
第 5 章 频域分析法	121
5.1 频率特性的基本概念	121
5.1.1 频率特性的概念	121
5.1.2 频率特性与传递函数的关系	122
5.1.3 频率特性的表示方式	123
5.2 典型环节的频率特性	127

5.2.1	比例环节	127
5.2.2	积分环节	128
5.2.3	微分环节	129
5.2.4	惯性环节	130
5.2.5	比例微分环节	132
5.2.6	振荡环节(二阶环节)	134
5.3	系统开环频率特性的绘制	136
5.3.1	开环幅相频率特性	136
5.3.2	开环对数频率特性	139
5.3.3	根据频率特性确定传递函数	142
5.4	控制系统的稳定判据与稳定裕量	142
5.4.1	奈奎斯特稳定判据	142
5.4.2	对数频率稳定判据	143
5.4.3	稳定裕量与系统相对稳定性	144
5.5	系统开环频率特性与时域指标间的关系	146
5.5.1	低频段与稳态精度	146
5.5.2	中频段与动态性能	147
5.5.3	高频段与动态性能	148
5.6	系统闭环频率特性与时域指标的关系	149
5.6.1	闭环频率特性与开环频率特性的关系	149
5.6.2	闭环频率特性的频域指标	149
5.6.3	闭环频域指标与时域指标的关系	150
	本章小结	151
	习题	153
第 6 章	控制系统的校正与设计	157
6.1	系统校正的基本概念	157
6.1.1	系统校正的概念	157
6.1.2	常见的校正设计方法	157
6.1.3	系统校正的方式	158
6.2	串联校正	159
6.2.1	串联超前校正	159
6.2.2	串联滞后校正	162
6.2.3	串联滞后—超前校正	165
6.2.4	PID 调节器	167
6.3	反馈校正	168
6.4	复合校正	170

6.5 常用的工程设计方法	171
6.5.1 几种常见的近似处理	171
6.5.2 二阶工程设计	172
6.5.3 三阶工程设计	173
6.6 用 Matlab 进行系统校正	174
本章小结	176
习题	176
第 7 章 非线性系统分析	178
7.1 非线性系统概述	178
7.2 典型非线性特性及其对系统性能的影响	180
7.3 描述函数法	184
7.4 用描述函数法分析非线性控制系统	191
本章小结	195
习题	195
第 8 章 采样控制系统	199
8.1 采样控制系统的基本概念	199
8.1.1 采样控制系统的基本结构	199
8.1.2 数字控制系统	200
8.2 信号的采样和保持	200
8.2.1 采样过程	200
8.2.2 采样信号的复现	202
8.3 z 变换与 z 反变换	204
8.3.1 变换的定义	204
8.3.2 变换的求法	204
8.3.3 变换的基本定理	206
8.3.4 反变换	208
8.4 线性常系数差分方程及其解法	209
8.5 脉冲传递函数	210
8.5.1 开环离散系统(或环节)的脉冲传递函数	211
8.5.2 闭环采样系统的脉冲传递函数	212
8.6 采样系统的稳定性与稳态误差	215
8.6.1 采样系统的稳定性	215
8.6.2 采样系统的稳定误差	217
本章小结	218
习题	219

第 9 章	自动控制系统分析与调试	221
9.1	自动控制系统分析步骤	221
9.1.1	工作对象对系统要求	221
9.1.2	系统各单元工作原理	222
9.1.3	整个系统工作原理	224
9.2	自动控制系统调试方法	224
9.2.1	系统调试前准备工作	224
9.2.2	制定调试大纲原则	225
9.2.3	系统调试过程	225
9.3	自动控制系统维护、使用和故障排除	228
9.3.1	系统维护和使用	228
9.3.2	系统故障检查与排除	229
	本章小结	232
	习题	232
附录	常用函数拉普拉斯变换对照表	233
	参考文献	235

自动控制系统的一般概念

本章要点：本章主要介绍自动控制系统的基本概念、开环和闭环控制系统的特点、自动控制系统的组成和分类及对控制系统性能的基本要求和概况等。

随着工业生产和科学技术的不断发展,自动控制技术在工业、农业、交通运输和国防建设中起着极其重要的作用,已被广泛应用于人类社会的各个领域。在工业方面,对于冶金、化工、机械制造等生产过程中遇到的各种物理量,包括温度、流量、压力、厚度、张力、速度、位置、频率、相位等,都有相应的控制系统。在此基础上,通过采用数字计算机还建立了控制性能更好和自动化程度更高的数字控制系统,以及具有控制与管理双重功能的过程控制系统。在农业方面,自动控制的应用包括水位自动控制系统、农业机械的自动操作系统等。在军事技术方面,自动控制的应用实例有各种类型的伺服系统、火力控制系统、制导与控制系统等。在航天、航空和航海方面,除了各种形式的控制系统外,应用的领域还包括导航系统、遥控系统和各种仿真器。此外,在办公自动化、图书管理、交通管理乃至日常家务方面,自动控制技术也都有着实际的应用。随着控制理论和控制技术的发展,自动控制系统的应用领域还在不断扩大,几乎涉及生物、医学、生态、经济、社会等各个领域。

1.1 自动控制系统的发展概述

自动控制技术的应用可以追溯到 18 世纪(1788 年)瓦特(Watt)利用小球离心调速器使蒸汽机转速保持恒定的开创性的突破,以及 19 世纪(1868 年)麦克斯韦(Maxwell)对轮船摆动(稳定性)的研究。但在初期,自动控制技术的应用进展很缓慢,自动控制技术的真正发展是在 20 世纪。

经典控制理论即自动控制原理,是 20 世纪 40~50 年代形成的一门独立学科,早期的控制系统较为简单,只要列出微分方程并求解之,就可以用时域法分析它们的性能,即时域分析法(Time Domain Analysis Method)。1932 年奈奎斯特(Nyquist)在研究负反馈放大器时,创立了有名的稳定判据,并提出了稳定裕量的概念。在此基础上,1945 年伯德(Bode)提出了分析控制系统的一种图解方法,即频率响应法(Frequency Response Method),使研究控制系统的方法由初期的时域分析转到频域分析。随后,1948 年依文斯(Evans)又创立了一种图解法即根轨迹法(The Root Locus Method)。劳斯(Routh)和赫尔维茨(Hurwitz)分别于 1877 年和 1895 年提出了关于判断控制系统稳定性的代数判

据。这些都是经典控制理论的重要组成部分。20 世纪 50 年代中期,经典控制理论又添加了非线性系统、离散控制理论,形成了完整的理论体系。

20 世纪 50 年代开始,由于各种高技术、高速度、高性能的控制系统的相继出现,要求高精度地处理多变量、非线性、时变和自适应等控制问题,到 20 世纪 60 年代初,又形成了现代控制理论。现代控制理论的基础是:1956 年庞特里亚金(Pontryagin)提出的极大值原理,1957 年贝尔曼(Bellman)提出的动态规划,1960 年卡尔曼(Kalman)提出的最优滤波理论以及状态空间方法的应用。20 世纪 70 年代及以后,随着微电子技术和计算机技术的迅猛发展,相继出现了大型多功能数控机床、数控加工中心、机械手、机器人等机电一体化的高新设备;近年来,由于新器件的涌现和计算机控制技术的发展,在电力拖动控制方面,原先的晶闸管器件已逐渐被金属—氧化层—半导体—场效晶体管(简称金氧半场效晶体管 Metal-Oxide-Semiconductor-Field-Effect Transistor, MOSFET)与绝缘栅双极型晶体管(Insulated Gate Bipolar Transistor, IGBT)所取代,相位控制逐渐被脉宽调制(Pulse Width Modulation, PWM)控制取代,模拟控制逐渐被数字控制取代,直流调速逐渐被交流调速取代;在生产制造技术方面,出现了计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)、计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, CAM)、柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)、虚拟制造系统(Virtual Manufacturing System, VMS)和计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)等高新技术。控制理论不断向广度和深度发展,形成了具有某些仿人智能的工程控制与信息处理的智能控制理论。

由此可见,自动控制理论通常可分为经典控制理论、现代控制理论和智能控制理论。

(1) 经典控制理论

经典控制理论产生并发展于 20 世纪 40~60 年代。经典控制理论是建立在传递函数(Transfer Function)概念基础之上的,它对单输入—单输出控制系统是十分有效的,用以实现线性控制、非线性控制、采样控制等。

(2) 现代控制理论

现代控制理论于 20 世纪 60 年代中期发展成熟。现代控制理论是建立在状态变量(State Variable)概念基础之上的,它适用于复杂的多输入—多输出控制系统及变参数非线性系统,用以实现系统辨识、最佳估计、最优控制等。

(3) 智能控制理论

智能控制理论是 20 世纪 70 年代后,控制理论向广度和深度发展的结果。智能控制系统是指具有某些仿人智能的工程控制与信息处理系统,用以实现专家控制、模糊控制、自学习控制等。其中最典型的就是智能机器人。

面对深奥的自动控制理论和各种自动控制系统,在自动控制原理方面,本书将以经典线性控制理论中常用的时域分析法和频域分析法为主线,叙述系统数学模型的建立、系统性能的分析及系统的校正方法,并适当介绍 Matlab 软件在系统性能分析中的应用。在自动控制系统方面,本书将通过典型的自动控制系统:如水位、温度控制系统,直流调速系统,交流调速系统和位置随动系统等,来阐述如何分析系统的组成,如何搞清系统的工作原理、工作特点和自动调节过程,如何建立系统的数学模型和应用自动控制原理来分析系

统的性能,探讨改善系统性能的途径。

自动控制系统性能的优劣,将直接影响到产品的产量、质量、成本、劳动条件和预期目标的完成。因此,掌握有关自动控制知识就显得尤为重要。

自动控制系统(Automatic Control System)是在无人直接参与的情况下,可使生产过程或其他过程按预期规律或预定程序进行的控制系统,是实现自动化的主要手段。其目的在于增加产量、提高质量、降低成本和劳动强度、保障生产安全等。

自动控制系统一般由施控装置和被控对象组成。施控装置(Controlling Equipment)是指对控制对象施行控制作用的设备的总体,又称控制装置或施控系统。例如放大器、触发器、晶闸管整流器等。被控对象(Controlled Plant)是指要求实现自动控制的机器、设备或生产过程,即为接受控制的装置,又称被控装置或被控系统。例如电动机、加热炉、机床等。

图 1-1 中,给定电压经过电位器 R_{p1} 分压后的电压 u_r 送入放大器,放大器输出电压 u_c 给触发器,改变 u_c 即可改变触发器脉冲相位,从而改变了晶闸管控制角,使晶闸管整流器输出电压发生相应的变化,因此直流电动机的转速随之变化。图 1-1 中由电位器、放大器、触发器、晶闸管整流器及直流电动机等组成的系统,其预定的功能是改变晶闸管输出电压,而它给定的目标就是调节电动机的转速。其中,由电位器、放大器、触发器、晶闸管组成了施控系统,而电动机则为被控制对象。

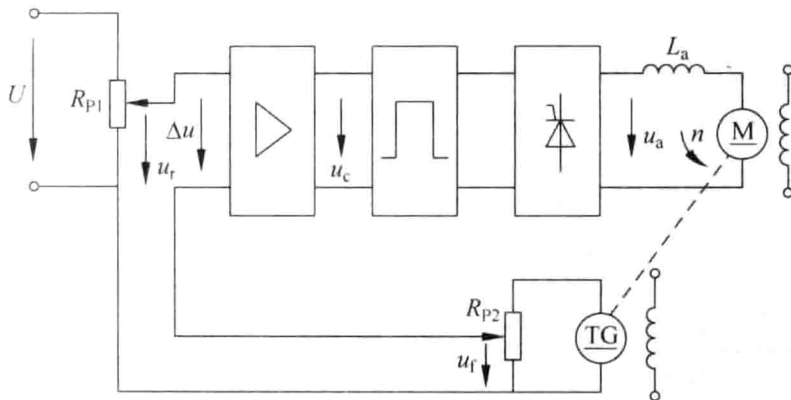


图 1-1 晶闸管直流调速系统

图 1-1 中,施加于系统的变量 u_r 为输入量,通常把系统的给定值称为输入量(Input Variable),在自动控制系统中也称为参变量或参考输入,角标常用 r 表示。施控装置的输出量 u_a 即为被控对象的输入量称为操纵量,角标常用 m 表示。直接改变操纵量的元件称为执行装置或末级施控装置。被控对象的输出量称为被控量(Controlled Variable),即系统的输出量(Output Variable),角标常用 c 表示,图 1-1 中被控量为转速 n 。

图 1-1 中,放大器和触发器放大倍数的变化、晶闸管整流器交流电源的变化、电动机负载转矩及励磁电流变化都会引起被控量 n 的变化,这些难以预料的变化量称为扰动量(Disturbance Variable),即扰动量是除给定信号以外对输出产生作用的信号,常用 d 表示。扰动包括内扰动和外扰动两种。如果扰动产生于系统的内部叫内扰动,如系统元件参数的变化等;如果扰动产生于系统的外部叫外扰动,如电动机负载转矩变化、电源电压波动、环境温度的变化等。外扰动对系统来说也是一种输入量。

将系统输出量的部分或全部,通过某种装置馈送到输入端,并与输入信号进行比较的过程称为反馈(Feedback)。当反馈量与输入量比较符号相反、对原输入信号起削弱作用时称为负反馈,反之称为正反馈。在自动控制系统中,通常应用负反馈。通常按照控制系统是否设有反馈环节来进行分类:设有反馈环节的,称为闭环控制系统(Closed Loop Control System);不设反馈环节的,则称为开环控制系统(Open Loop Control System)。而“环”(Loop)是指由反馈环节构成的回路。图 1-1 中反馈部分是采用直流测速发电机,输出电压是经过电位器 R_{p2} 分压后的反馈电压 u_f , u_f 与 u_r 反向串联。

1.2 自动控制系统的基本方式

1.2.1 开环控制系统

若系统的输出端和输入端之间不存在反馈回路,输出量对系统的控制作用没有影响时,这样的系统称为开环控制系统,即指在控制系统中,只有前向通路,没有主反馈回路的系统。

如图 1-2 所示为数控加工机床示意图。数控加工机床是由步进电动机驱动的,是一个未设反馈环节的控制系统的,是一个典型的开环控制系统。它由预先设定的加工程序指令,通过运算控制器,控制脉冲的产生和分配,发出相应的脉冲,再经过功率放大器,驱动步进电动机,通过精密传动机构,再带动工作台进行加工。若能保证不丢失脉冲,并能有效抑制干扰的影响,再采用精密传动机构,虽然采用开环控制系统,仍能达到很高的加工精度。

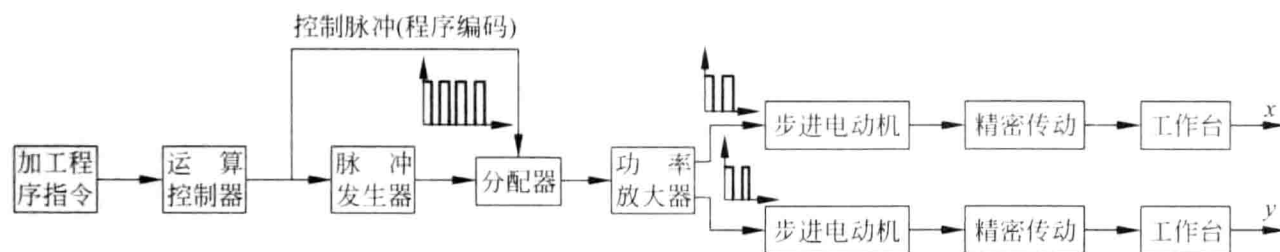


图 1-2 数控加工机床示意图

如今采用微机控制,应用专用步进驱动模块驱动的伺服系统,可达到每转 10000 步的高分辨率,因此对小功率伺服系统,采用开环控制也可以达到很高的控制精度。

图 1-3 为数控加工机床开环控制系统方框图。此系统的输入量为加工程序指令,输出量为机床工作台的位移,系统的控制对象为工作台,执行机构为步进电动机和传动机构。由图 1-3 可见,系统无反馈环节,输出量并不返回来影响控制部分,因此是开环控制。

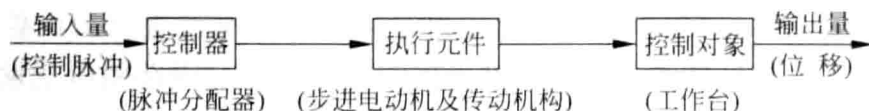


图 1-3 数控加工机床开环控制系统方框图

开环控制系统的优点是由于无反馈环节,因此结构简单,系统稳定性好,成本也低;缺点是当控制过程受到各种扰动因素影响时,将会直接影响输出量,而系统不能自动进行补偿。特别是当无法预计的扰动因素使输出量产生的偏差超过允许限度时,开环控制系统便无法满足技术要求,这时就应考虑采用闭环控制系统。因此,在输出量和输入量之间的关系固定,且内部参数或外部负载等扰动因素不大,或这些扰动因素产生的误差可以预计确定并能进行补偿时,则应尽量采用开环控制系统。

1.2.2 闭环控制系统

若系统的输出端和输入端之间存在反馈回路,输出量通过反馈环节返回来作用于控制部分,形成闭合环路,则这样的系统称为闭环控制系统,又称为反馈控制系统(Feedback Control System),即指在控制系统中,既有前向通路,又包含主反馈回路的系统。

图 1-4 为电炉箱恒温自动控制系统。在这个控制系统中,被控制量为炉温 T ,炉温的预期值是由给定电位器设定的电压 U_{sT} 决定的,即 U_{sT} 就是该系统的输入量。一只由电阻丝通电加热的电炉箱,由于炉壁的散热、增减工件和电网电压波动,将使炉温产生变化,而这种变化通常是无法预先设定的。因此,若工艺要求保持炉温恒定,则开环控制将无法自动补偿,必须采用闭环控制。因为需要保持恒定的物理量是温度,所以最常用的方法便是采用温度负反馈。由图 1-4 可见,采用热电偶来检测温度,并将炉内实际温度转换成相对应的电压信号 U_{FT} (mV) (称为反馈电压),然后反馈到输入端与给定电压 U_{sT} 进行比较,所得的结果即为偏差电压 $\Delta U = U_{sT} - U_{FT}$ 。 ΔU 作为控制电压经电压放大器、功率放大器放大后,去控制执行电动机的旋转速度和方向,再经减速器带动调压器滑动触点移动,以改变加热电流的大小来调节炉温。

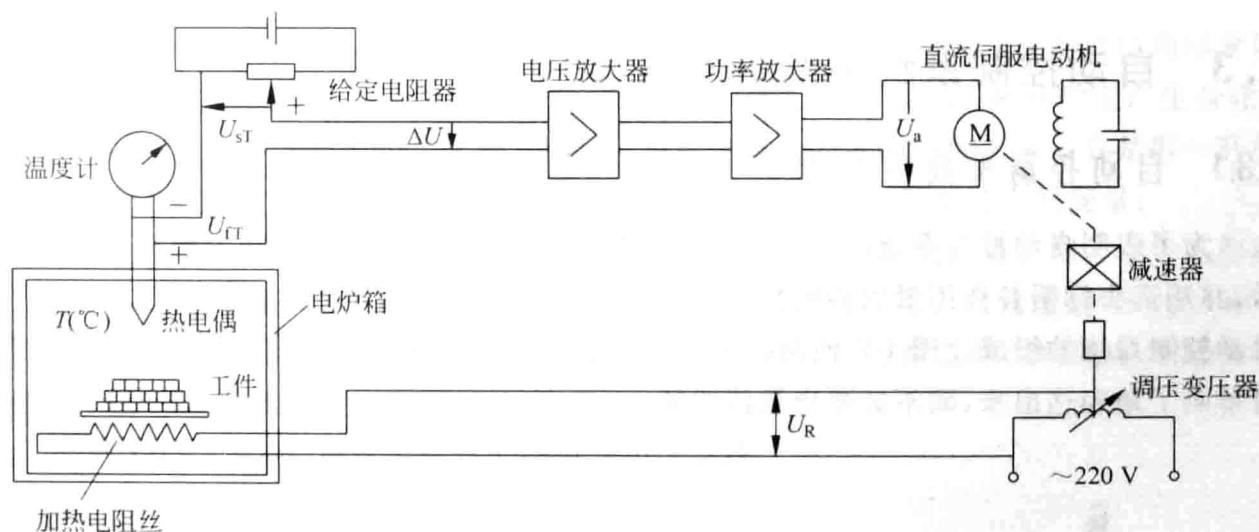


图 1-4 电炉箱恒温自动控制系统

当炉温偏低时, $U_{FT} < U_{sT}$, 则 $\Delta U > 0$, 此时偏差电压极性为正, 电动机正转, 调压器滑动触点向右移动, 加热电流加大, 炉温上升, 直到炉温升至预期值, $U_{FT} = U_{sT}$, $\Delta U = 0$, 电动机停转。反之, 当炉温偏高时, $U_{FT} > U_{sT}$, 则 $\Delta U < 0$, 此时偏差电压极性为负, 电动机反转, 调压器滑动触点向左移动, 加热电流减小, 炉温下降, 直到炉温下降至预期值, 即

$U_{\text{fT}} = U_{\text{sT}}$, $\Delta U = 0$, 电动机停转为止, 这样炉温可自动回复, 并保持恒定。

图 1-5 为电炉箱自动控制系统方框图。此系统给定电压信号 U_{sT} 就是系统的输入量, 被控制量炉温 T 就是系统的输出量, 而反馈量则是通过检测元件热电偶从系统输出端取出信号, 构成反馈环节。在这个系统中, 电压放大器、功率放大器、电动机、减速器、调压器等为施控装置, 电炉则是被控对象。炉温自动调节过程如图 1-6 所示。

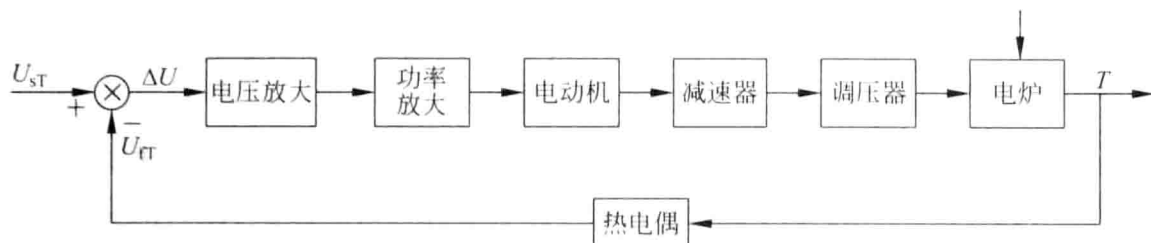


图 1-5 电炉箱自动控制方框图

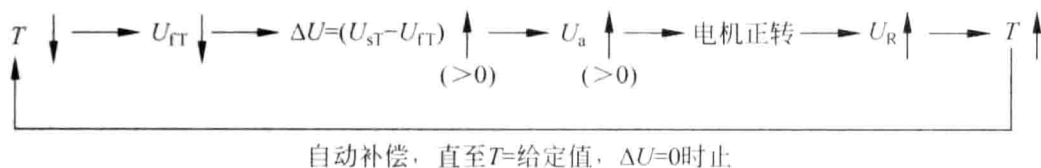


图 1-6 炉温自动调节过程

闭环控制系统的优点是对于扰动产生的影响通过反馈控制可以自动进行补偿, 精度高, 可以采用不太精密、成本较低的元件来构成精密的控制系统。闭环控制系统的缺点是闭环控制要增加检测、反馈比较、调节器等部件, 会使系统复杂、成本提高。因此, 在系统精度要求较高、扰动量较大且无法预计的场合, 需采用闭环控制。

1.3 自动控制系统的组成和分类

1.3.1 自动控制系统的组成

为了表明自动控制系统的组成以及信号的传递情况, 通常把系统各个环节用框图表示, 并用箭头标明各作用量的传递情况, 现以图 1-4 和图 1-5 所示的恒温控制系统来说明自动控制系统的组成。图 1-7 便是图 1-4 所示系统的方框图。方框图可以把系统的组成简单明了地表达出来, 而不必画出具体线路。

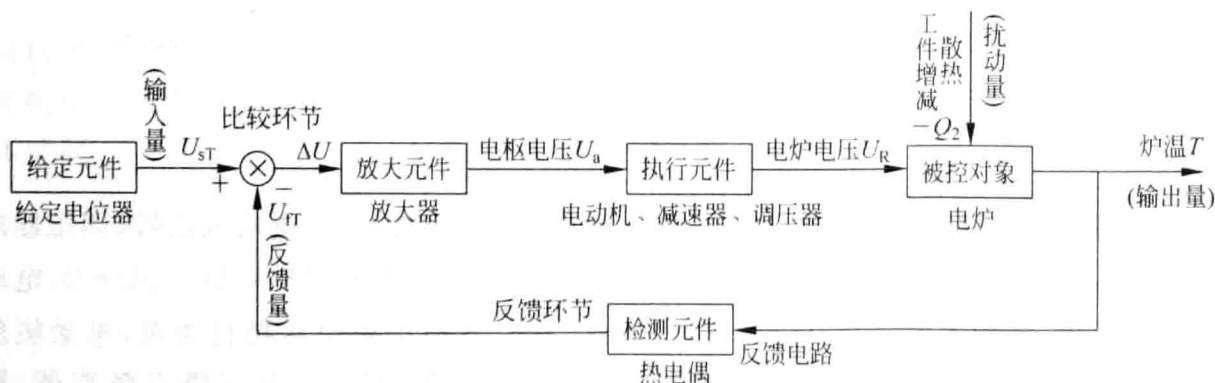


图 1-7 自动控制系统的方框图