

The background is a teal color. In the top right corner, there is a close-up photograph of several computer keyboard keys, including a 'Return' key and a key with a right-pointing arrow. A white coordinate system is overlaid on the background, consisting of a vertical line with an upward-pointing arrow at the top and a horizontal line with a rightward-pointing arrow at the end. The title '自动控制原理及应用' is written in large, bold, yellow Chinese characters with a black outline, positioned in the upper right area of the cover.

自动控制 原理及应用

廉振芳 苏挺 主编

4KZ



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

自动控制 原理及应用

廉振芳 苏挺 主编
李文森 主审

4K

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

自动控制原理及应用/廉振芳, 苏挺主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2012. 8

ISBN 978 - 7 - 5640 - 6501 - 0

I. ①自… II. ①廉…②苏… 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 (2012) 第 187668 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / [http:// www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市天利华印刷装订有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 13.75

字 数 / 304 千字

版 次 / 2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷 责任编辑 / 陈莉华

印 数 / 1 ~ 2 000 册 责任校对 / 周瑞红

定 价 / 46.00 元 责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题,本社负责调换

本书重点介绍了自动控制原理的经典控制理论部分,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,控制系统的频域分析法,根轨迹分析法,自动控制系统的校正和自动控制原理的应用(即系统)等。

本书在编写思路坚持理论“够用为度”的原则,对传统的学科式教育教学内容进行了较大的精练和压缩。力求做到深入浅出,循序渐进,通俗易懂,注重物理概念叙述的同时引入实例,做到理论联系实际。培养学生学习的逻辑思维能力、综合运用能力和解决问题的能力。

第1章绪论主要是一个入门内容,认清本课程主要的研究对象以及研究的主要内容;第2章拉普拉斯变换是本门课程中必要的数学变换工具,方便后面理论的学习;第3章控制系统的数学模型,是研究控制系统的基础,在模型即一个数学表达式的基础上对系统各方面性能进行研究;第4章时域分析法是在前面数学模型的基础上利用一定的方法原理来分析系统的三大性能;第5章频域分析法是一个新的数学模型,针对正余弦信号下的系统进行的相关分析以及相应的方法和原理;第6章根轨迹法是一个图形的数学模型,主要讲述了画图规则以及对应的分析方法;第7章系统校正是在前面分析系统性能的基础上进行校正,来完善系统性能,满足要求;第8章直流调速系统是自动控制原理的应用,本书以直流调速系统为主来介绍系统的内容,读者可以在此基础上进行更深入地研究和学习。

本书编者为从事教学工作多年的一线教师,有扎实的教学实践基础。本书在结构内容安排等方面,吸收了编者在教学改革、教材建设等方面的经验,力求全面体现高等学校教育的特点,满足当前教学的需要。

本书由廉振芳、苏挺担任主编,李文森担任主审。参加本书编写工作的有:廉振芳、苏挺、赵辉、吴居娟,另外在本书编写过程中还得到了刘卓鸿、魏兆刚、钱卫钧、杨青峰、孙晓燕、薄兆雷、尹德春、杨威、孙静等的帮助与支持,在此表示感谢。全书由廉振芳、苏挺统稿。

在本书的编写过程中,查阅和参考了大量的文献资料,在此谨向参考文献的作者致以诚挚的谢意。

限于编者水平,书中不足之处在所难免,恳请广大读者提出宝贵意见,以便修改。

编者

Contents 目录

Contents

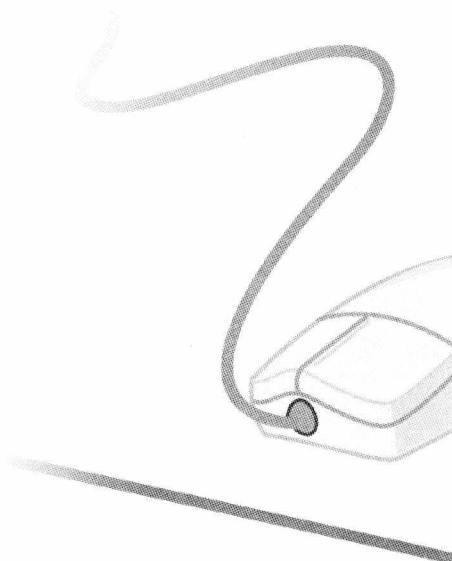
第1章 绪论	1
1.1 自动控制理论概述	1
1.2 自动控制系统的基本概念	2
1.2.1 自动控制系统的基本原理和基本概念	2
1.2.2 自动控制系统的控制方式	3
1.2.3 自动控制系统的组成	5
1.2.4 自动控制系统举例	5
1.3 自动控制系统的分类	8
1.3.1 按输入信号变化的规律分类	8
1.3.2 按系统传输信号对时间的关系分类	8
1.3.3 按系统的输出量和输入量间的关系分类	9
1.3.4 按系统中的参数对时间的变化情况分类	9
1.4 对自动控制系统的基本要求	9
1.5 自动控制系统实例分析	12
本章小结与练习	14
第2章 拉普拉斯变换及其应用	16
2.1 拉普拉斯变换的概念	16
2.1.1 定义	17
2.1.2 常见函数的拉氏变换	17
2.2 常用的性质和定理	19
2.2.1 线性性质	19
2.2.2 微分定理	19
2.2.3 积分定理	20
2.2.4 位移性质(也称复位移性质)	20
2.2.5 延迟定理(也称实位移性质)	20
2.2.6 初值定理	21
2.2.7 终值定理	21
2.3 拉氏反变换	21
本章小结与练习	25
第3章 控制系统的数学模型	27
3.1 控制系统的微分方程	27

3.1.1 电路系统	28
3.1.2 线性定常微分方程的求解	31
3.2 传递函数	32
3.2.1 传递函数的基本概念	32
3.2.2 传递函数的定义	33
3.2.3 传递函数的性质	33
3.2.4 传递函数的求法	35
3.3 典型环节的数学模型及其动态响应	38
3.3.1 比例环节	38
3.3.2 积分环节	38
3.3.3 微分环节	39
3.3.4 惯性环节	40
3.3.5 振荡环节	41
3.3.6 延迟环节	42
3.4 控制系统的动态结构图	43
3.4.1 动态结构图	43
3.4.2 动态结构图的绘制	44
3.4.3 动态结构图的等效变换和化简	46
3.4.4 信号流图与梅逊公式	52
3.5 自动控制系统的传递函数	55
3.5.1 闭环控制系统的开环传递函数	55
3.5.2 给定输入信号 $R(s)$ 作用下的闭环传递函数	56
3.5.3 扰动信号 $N(s)$ 作用下的闭环传递函数	56
3.5.4 闭环系统的误差传递函数	56
本章小结与练习	57
任务训练 1	61
任务训练 2	63
第 4 章 时域分析法	65
4.1 典型输入信号及性能指标	65
4.1.1 典型输入信号	65
4.1.2 典型初始状态	67
4.1.3 典型时间响应	67
4.1.4 系统性能指标的定义	68
4.2 一阶系统分析	69
4.2.1 一阶系统的数学模型	69
4.2.2 一阶系统的单位阶跃响应	69
4.2.3 一阶系统的单位阶跃响应的性能指标	70

4.3 二阶系统分析	71
4.3.1 二阶系统的数学模型	71
4.3.2 二阶系统的特征根及性质	71
4.3.3 二阶系统的单位阶跃响应	72
4.4 系统稳定性分析	77
4.4.1 稳定的基本概念	77
4.4.2 稳定的数学条件	77
4.4.3 劳斯判据	78
4.5 系统稳态误差分析	83
4.5.1 误差与稳态误差	83
4.5.2 稳态误差计算	84
4.5.3 系统型别	85
4.5.4 典型输入信号 $r(t)$ 作用下的稳态误差与静态误差系数	86
4.5.5 干扰 $n(t)$ 作用下的稳态误差	89
本章小结与练习	90
任务训练 3	94
任务训练 4	96
第 5 章 控制系统的频域分析法	98
5.1 系统频率特性的基本概念	98
5.1.1 基本概念	98
5.1.2 频率特性的性质	102
5.1.3 频率特性的图形表示方法	102
5.2 典型环节的频率特性	104
5.3 系统开环对数频率特性曲线的绘制	114
5.3.1 系统开环对数频率特性及绘制步骤	114
5.3.2 系统开环对数频率特性绘制举例	115
5.4 系统稳定性的频域分析	120
5.4.1 奈奎斯特稳定判据	120
5.4.2 对数频率稳定判据	121
5.4.3 稳定裕量	124
5.4.4 动态性能的频域分析	126
5.4.5 典型系统频域分析	133
本章小结与练习	138
任务训练 5	143
第 6 章 根轨迹法	146
6.1 根轨迹与根轨迹方程	146
6.1.1 根轨迹的基本概念	146

6.1.2	根轨迹方程	147
6.2	绘制根轨迹的基本法则	148
6.2.1	根轨迹的个数	148
6.2.2	根轨迹的对称性	149
6.2.3	根轨迹的起点和终点	149
6.2.4	实轴上的根轨迹	149
6.2.5	根轨迹的渐近线	149
6.2.6	起始角与终止角	151
6.2.7	分离点 d	151
6.2.8	分离角与会合角	152
6.2.9	虚轴交点	153
6.2.10	根之和	153
6.3	控制系统的根轨迹分析法	155
6.3.1	闭环零、极点与阶跃响应的定性关系	155
6.3.2	利用主导极点估算系统性能指标	156
6.3.3	根轨迹的改造对系统的影响	157
6.3.4	根轨迹法系统动态特性中的应用	157
	本章小结与练习	162
第7章	自动控制系统的校正	165
7.1	系统校正概述	165
7.1.1	系统校正的基本概念	165
7.1.2	系统校正的方式	165
7.1.3	常用校正装置	166
7.1.4	系统指标的确定	168
7.2	串联校正	168
7.2.1	比例 (P) 校正	169
7.2.2	比例 - 微分 (PD) 校正	170
7.2.3	比例 - 积分 (PI) 校正	172
7.2.4	比例 - 积分 - 微分 (PID) 校正	174
7.3	反馈校正	176
7.3.1	反馈校正的原理	176
7.3.2	反馈校正的分类与应用	177
7.4	复合校正	179
7.4.1	按输入补偿的复合校正	179
7.4.2	按扰动补偿的复合校正	180
7.5	自动控制系统的一般设计方法	180
7.5.1	自动控制系统设计的基本步骤	180

7.5.2 系统固有部分开环频率特性的确定	181
7.5.3 系统预期开环对数频率特性的确定	182
本章小结与练习	185
第8章 直流调速系统	186
8.1 单闭环转速负反馈晶闸管直流调速系统	186
8.1.1 系统的组成	187
8.1.2 系统的框图	189
8.1.3 系统的自动调节过程	189
8.1.4 系统的性能分析	191
8.2 转速电流双闭环直流调速系统	193
8.2.1 双闭环直流调速系统的组成	193
8.2.2 系统动态结构图	194
8.2.3 双闭环直流调速系统的工作原理和自动调节过程	195
8.2.4 系统性能分析	196
8.2.5 系统的稳定性分析	197
8.2.6 双闭环直流调速系统的优点	197
8.2.7 给定积分器的应用	198
8.3 任务训练——转速电流双闭环直流调速系统设计实例	198
本章小结与练习	205
任务训练6	206
参考文献	207



第 1 章

绪 论

绪 论

【学习目标】

本章主要介绍自动控制理论的形成和发展、自动控制系统的基本组成和分类以及对控制系统的性能要求等。

【实践活动】

通过具体系统例子工作原理与工作过程的分析,认识自动控制系统的相关概念。

1.1 自动控制理论概述

不同的控制对象,所要实现的控制要求不同,它们的功能与结构也各有不同,但它们都是由控制器、被控对象等部件组成,而且都是为了一定的目的有机地连接在一起的一个整体,这个整体即称为自动控制系统。

自动控制理论是一门多学科性的技术科学,它的任务是:对各类系统中的信息传递与转换关系进行定量分析,然后根据这些定量关系预见控制系统的运动规律。自动控制理论的发展可追溯到 1788 年,瓦特在发明蒸汽机的同时,发明了离心式调速器,使蒸汽机转速保持恒定,这是最早用于工业的自动控制装置。在第二次世界大战期间,对于军用装备,如飞机及船用自动驾驶仪、火炮定位系统、雷达跟踪系统以及其他基于反馈原理的军用装备设计与制造的强烈需求,进一步促进并完善了自动控制理论。第二次世界大战后,完整的自动控制理论体系(即所谓的经典控制理论)已基本形成,它以传递函数为数学工具,频域法为主要研究方法,研究单输入—单输出的线性定常系统的分析和设计问题,并在工程上比较成功地解决了如恒值控制系统与随动控制系统的设计与实践问题。

20 世纪 60 年代,为了满足当时宇航、国防等尖端科学技术和复杂系统发展的需要,自动控制理论跨入了一个新阶段——现代控制理论。它主要研究具有高性能、高精度、多输入—多输出、线性或非线性、定常或时变系统的分析与设计问题,如最优控制、最佳滤波、自适应控制、系统辨识和随机控制等。

智能控制理论和大系统理论是在 20 世纪随着计算机技术和人工智能理论取得重大进展而发展起来的新型控制理论。它主要研究具有人工智能的工程控制和信息处理问题,模仿具有高度自组织、自适应和自调节能力的人类生命的机理,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。

自动控制理论不断发展,反映了人类社会由机械化步入电气化、自动化,进而走向信息化、智能化的时代特征。面对深奥的自动控制理论和众多的自动控制系统,本书只起到入门的作用。通过本书的学习,可以对自动控制系统的工作原理、数学模型、系统的校正和调

试等方面有相对完整的认识,掌握自动控制系统的一般分析方法,为从事自动控制技术工作建立初步的但非常重要的理论基础。

学习自动控制原理与系统课程,主要解决两个问题:一是如何分析某个给定控制系统的工作原理和控制性能;二是如何根据实际需求进行各种实际控制系统的设计,并用机、电、液、光等设备来实现这一系统。解决这两类问题都必须具有一定的控制理论知识,同时能以系统的而不是孤立的、动态的而不是静态的观点和方法来处理问题,才能达到预期的目的。

1.2 自动控制系统的基本概念

在现代科学技术的很多领域中,自动控制技术得到了广泛的应用。自动控制技术最显著的特征就是通过对各种机器、各种物理参量、工业生产过程等的控制直接造福于社会。

1.2.1 自动控制系统的基本原理和基本概念

首先以水位控制系统为例,对其实现水位自动控制的基本原理加以研究,从中引出自动控制和自动控制系统的基本概念。

实现水位控制有两种方法:人工控制和自动控制,如图 1.1 所示为人工控制的水箱水位控制系统。

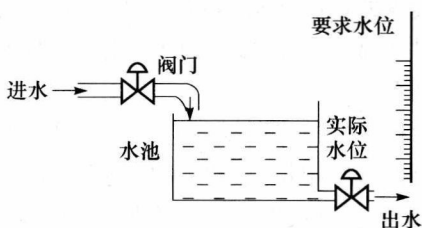


图 1.1 人工控制的水箱水位控制系统

人可以通过控制阀门的开度达到控制水位的目的。

这种人工调节过程可归纳为:

- (1) 通过测量元件(刻度标尺),观测出水箱中的实际水位(也称被控量);
- (2) 将实际水位与要求的水位值(也称给定值)相比较,得出两者偏差;
- (3) 根据偏差的大小和方向调节进水阀门的开度。当实际水位高于要求值时,关小进水阀门开度,否则加大阀门开度以改变进水量,从而改变水箱水位,使之与要求值保持一致。

由此可见,人工控制的过程就是测量(用眼睛观察)、求偏差(用大脑思考判断)、实际控制以纠正偏差(用手执行)的过程,也就是“检测偏差并用以纠正偏差”的过程。

对于这样简单的控制形式,如果能找到一个控制器代替人的大脑,那么这样一个人工控制系统就可变成一个自动控制系统了。如图 1.2 所示就是一个自动控制系统。阀门的开度由电位器电压控制,浮子为实际水位的测量装置,当实际水位低于要求水位时,电位器输出电压值为正,且其大小反映了实际水位与水位要求值的差值,放大器输出信号将有正的变化,电动机带动减速器使阀门开度增加,直到实际水位重新与水位要求值相等时为止。因此,水位自动控制的目的是消除或减小偏差,使实际水位达到要求的水位值。

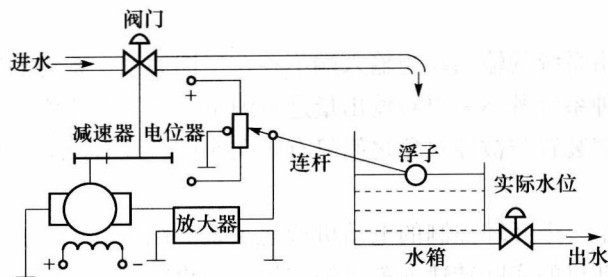


图 1.2 自动控制的水箱水位控制系统图

浮子起测量作用；连杆起比较作用；放大器、伺服电动机和减速器起调节作用；阀门起执行元件作用

所谓自动控制是指在无人直接参与的情况下，利用控制装置（控制的）操纵被控对象（被控制的），使其按照预定的规律运行或变化。

比较上述人工控制和自动控制可知，执行机构类似于人手，测量装置相当于人眼，控制器类似于人脑。另外，它们之间还有一个共同的特点，就是都要检测偏差，并用检测到的偏差去纠正偏差，可见没有偏差便没有调节过程。在自动控制系统中，这一偏差是通过反馈建立起来的。反馈就是指输出量通过适当的测量装置将信号全部或部分返回输入端，使之与输入端信号进行比较，比较的结果称为偏差。基于反馈基础上的“检测偏差用以纠正偏差”的原理又称为反馈控制原理，利用反馈控制原理组成的系统称为反馈控制系统。

如图 1.3 所示为水位自动控制系统的方框图。“ $\otimes$ ”表示比较元件，方框表示各个环节，箭头代表信号以及信号的流动方向。从图中可看到反馈控制的基本原理，也可以看到各职能环节的作用是单向的，每个环节的输出受输入控制。总之，实现自动控制的装置可各不相同，但反馈控制的原理是相同的，可以说，反馈控制是实现自动控制最基本的方法。



图 1.3 水位自动控制系统的方框图

综上所述，可以明确下列基本概念：

被控对象：被控制的机器设备或生产过程，如水箱。

被控量：用来表征被控对象工况并需要加以控制的物理量，通常作为系统的输出量，如水位。

给定值：被控量希望达到的值，通常作为系统的输入量，如水位的要求值。

控制装置：通过对被控对象实施操纵来完成控制任务的外部装置。

控制系统：有机结合在一起的被控对象和控制装置的总体。

1.2.2 自动控制系统的控制方式

自动控制有两种基本的控制方式：开环控制与闭环控制。与这两种控制方式对应的系统分别称为开环控制系统和闭环控制系统。

1. 开环控制系统

开环控制系统是指系统的输出端与输入端不存在反馈关系，系统的输出量对控制作用不发生影响的系统。这种系统既不需要对输出量进行测量，也不需要将输出量反馈到输入端与输入量进行比较，控制装置与被控对象之间只有顺向作用，没有反向联系。控制作用的传递路径不是完全闭合的。

如图 1.4 所示就是一个开环控制的电动机调速系统。图中，电压信号 u_n^* 作为控制电动机转速的给定量，电动机的实际转速 n 就是被控量。当给定电压改变时，电动机转速也随之改变。但由于没有测量反馈，电动机的实际转速等于多少、是否满足要求都不得而知，因此也就不具备自动稳速功能。当负载力矩改变时，转速也会随之改变。

开环控制系统的基本结构如图 1.5 所示。

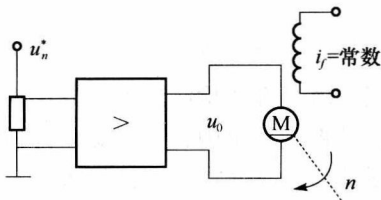


图 1.4 开环调速系统



图 1.5 开环控制系统的基本结构

开环控制的特点是：结构和控制过程简单，成本低，但抗干扰能力差，没有自我调节能力。因此，该系统适用于结构参数稳定，干扰很弱或对被控量要求不高的场合，如家用电风扇的转速控制、自动洗衣机、包装机以及某些自动化流水线等。

2. 闭环控制系统

闭环控制系统也就是反馈控制系统。这种系统的控制装置与被控对象之间不仅有顺向作用，而且输出端与输入端之间存在反馈联系，因此输出量的大小对控制作用有着直接影响。从系统的信号流向看，系统的输出信号沿反馈通道又回到系统的输入端，构成闭合通道，故称闭环控制或反馈控制。

图 1.6 就是一个闭环控制的电动机调速系统。它是在开环控制的基础上，通过增加测速反馈环节而形成的。这样一来，负载转矩变化对转速的不良影响就会大大降低。可以看出，当给定信号 u_n^* 维持恒定时，如果负载转矩增大，电机转速必然降低，开环系统对此无能为力。闭环系统则不然，由于有了反馈，转速降低使得反馈信号减小，偏差信号增大，电机电压就会升高，转速又会上升，最终偏差就会减小。反之亦然。可见闭环的作用就是利用反馈来减小偏差。

闭环控制系统的基本结构如图 1.7 所示。

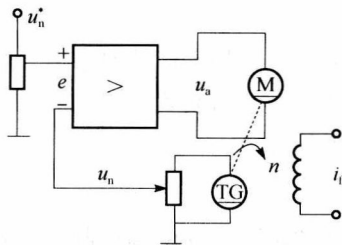


图 1.6 闭环控制的电动机调速系统

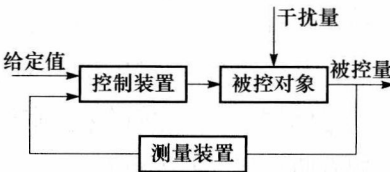


图 1.7 闭环控制系统的基本结构

在这种控制方式中,无论是由于外界干扰造成的还是由系统自身结构参数的变化引起的被控量与给定量之间的偏差,系统都能自行减小或消除这个偏差,因此这种控制方式也称为“按偏差调节”。闭环控制系统的突出优点就是利用偏差来纠正偏差,使系统达到较高的控制精度。但与开环控制系统比较,闭环系统的结构比较复杂,调试比较困难。需要指出的是,由于闭环控制存在反馈信号,利用偏差进行控制,如果设计调试不当,将会产生振荡,使系统无法正常和稳定地工作。

1.2.3 自动控制系统的组成

自动控制系统主要由两大部分组成,即控制装置和被控对象,如图 1.8 所示,其中控制装置根据其在系统中的功能可分为 3 个部分,即检测装置、执行装置和校正装置。图中各部分的功能如下。

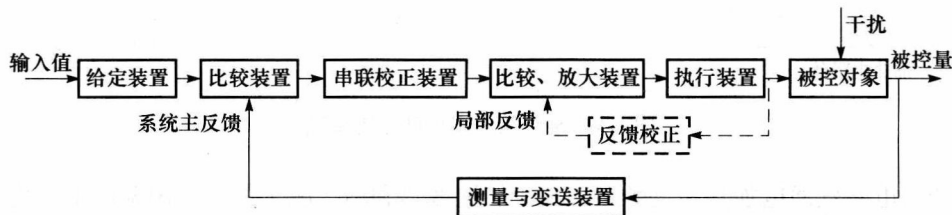


图 1.8 自动控制系统的组成

1. 给定装置

其功能是设定与被控量相对应的给定量,并要求给定量与测量变送装置输出的信号在种类和量纲上保持一致。常见的给定装置有电位器、给定积分器等。

2. 比较、放大装置

其功能是首先将给定量与测量值进行运算,得到偏差量,然后再将其放大到足以推动下一级工作的程度,如各种放大器等。

3. 执行装置

其功能是根据前面环节的输出信号,直接对被控对象作用,以改变被控量的值,从而减小或消除偏差,如执行电动机、过程调节阀等。

4. 测量与变送装置

其功能是检测被控量,并将检测值转换为便于处理的信号(常见的如电压、电流等),然后将该信号输入比较装置,如调速系统的测速发电机等。

5. 校正装置

当自控系统由于自身结构或参数问题而导致控制结果不符合工艺要求时,必须在系统中添加一些装置以改善系统的控制性能,这些装置就称为校正装置,如 RC 网络、调节器等。这个内容将在第 7 章具体讲述。

6. 被控对象

被控对象是指控制系统中所要控制的对象,一般指工作机构或生产设备等。

1.2.4 自动控制系统举例

1. 恒温控制系统

如图 1.9 所示为电炉箱恒温自动控制系统。

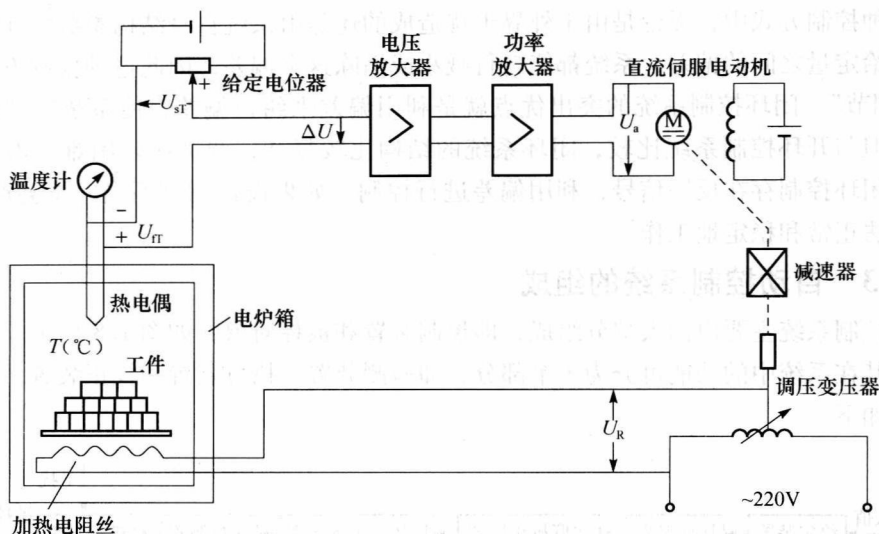


图 1.9 电炉箱恒温自动控制系统

一个由电阻丝通电加热的电炉箱，由于炉壁散热和增、减工件，使炉温产生变化，而这种变化通常是无法预先确定的。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。由于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。如图 1.9 所示，该系统采用热电偶来检测温度，并将炉温转换成电压信号 U_{TT} （毫伏级），然后反馈至输入端，与给定电压 U_{ST} 进行比较，由于是采用负反馈控制，因此两者极性相反，两者的差值 U 称为偏差电压（ $U = U_{ST} - U_{TT}$ ）。此偏差电压作为控制电压，经电压放大和功率放大后，去驱动直流伺服电动机（控制电动机电枢电压），电动机经减速器带动调压变压器的滑动触头来调节炉温。

电炉箱自动控制系统框图如图 1.10 所示。

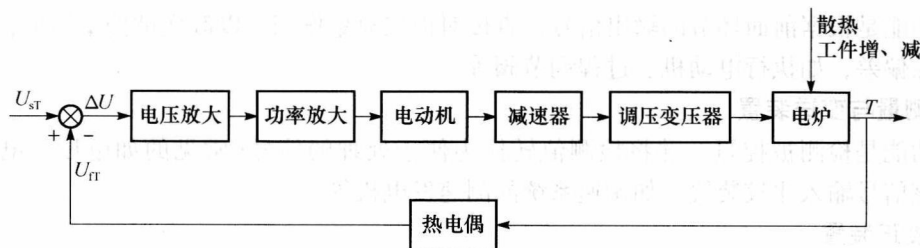


图 1.10 电炉箱自动控制系统框图

当炉温偏低时， $U_{TT} < U_{ST}$ ， $U = (U_{ST} - U_{TT}) > 0$ ，此时偏差电压极性为正，此偏差电压经电压放大和功率放大后，产生电压 U_a （设 $U_a > 0$ ），供给电动机电枢，使电动机“正”转，带动调压变压器滑动触点右移，从而使电炉供电电压（ U_R ）增加，电流加大，炉温上升，直至炉温升至给定值，即 $T = T_{ST}$ （ T_{ST} 为给定值）， $U_{TT} = U_{ST}$ ， $U = 0$ 时为止。这样炉温可自动恢复，并保持恒定。

炉温自动调节过程如图 1.11 所示。

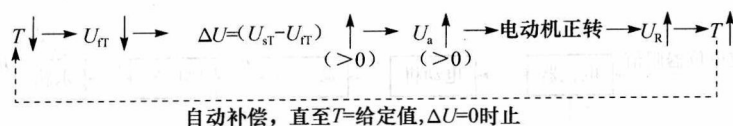


图 1.11 炉温自动调节过程

反之，当炉温偏高时，则 U 为负，经放大后使电动机“反”转，滑动触点左移，供电电压减小，直至炉温降至给定值。

炉温处于给定值时， $U=0$ ，则电动机停转。

由以上分析可见，反馈控制可以自动进行补偿，这是闭环控制的一个突出的优点。当然，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。而且闭环控制会带来副作用，使系统的稳定性变差，甚至造成不稳定。这是采用闭环控制时必须重视并要加以解决的问题。

2. 水位控制系统

水位控制系统的工作原理图如图 1.12 所示，其控制任务是使水池的水位保持恒定。

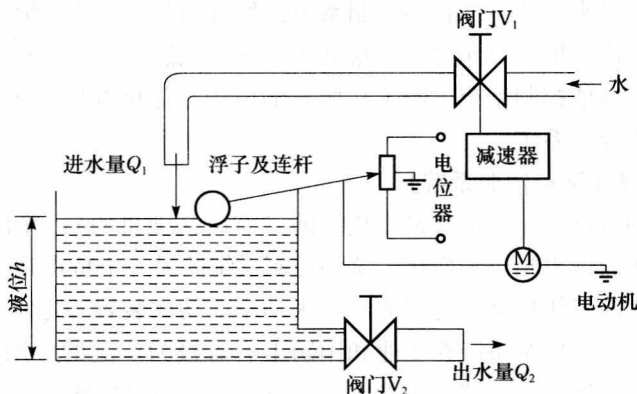


图 1.12 水位控制系统的工作原理图

系统的控制原理分析：假设经过事先设定，系统在开始工作时液位 h 正好等于给定高度 H ，即 $h=0$ ，浮子带动连杆位于电位器 0 电位，故电动机、阀门 V_1 都静止不动，进水量保持不变，水面高度保持设定高度 H 。

如果这时由于阀门 V_2 突然开大，出水量增大，则水位开始下降， $h>0$ ，经过浮子测量，此时连杆上移，电动机得电正转，使阀门 V_1 开度增大，从而增加进水量，水位渐渐上升，直至重新等于设定高度 H 。

如果这时由于阀门 V_2 突然关小，出水量减小，则水位开始上升， $h<0$ ，经过浮子测量，此时连杆下移，电动机得电反转，使阀门 V_1 开度减小，从而减少进水量，水位渐渐下降，直至重新等于设定高度 H 。可见系统在此两种情况下都能保持希望高度。

通过以上分析可以得出：此系统是通过测量水面实际高度与给定液面高度的偏差值进行控制工作的，也是按偏差调节的控制系统。同时不难看出：该系统的被控对象是水池；被控量是水面高度；设定装置是电位器；测量变送装置是浮子连杆；干扰是出水量；执行装置是电动机、减速器、阀门 V_1 。这样就得到了如图 1.13 所示的水位控制系统的原理框图。

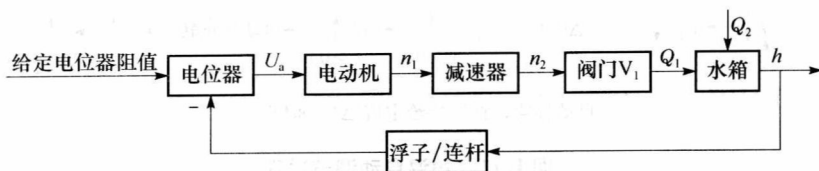


图 1.13 水位控制系统的原理框图

由图 1.13 可以看出，水位控制系统也存在负反馈环节。

1.3 自动控制系统的分类

自动控制系统的的应用渗透到各个领域，其形式是多种多样的，因此，可以从不同的角度进行分类。

1.3.1 按输入信号变化的规律分类

1. 恒值控制系统

恒值控制系统的特点是系统的输入信号是恒定值，并且要求系统的输出量相应地保持恒定。恒值控制系统是最常见的一类自动控制系统，如自动调速系统，恒温控制系统，恒张力控制系统等。此外，许多恒压（液压）、稳压（电压）、稳流（电流）、恒频（电频率）的自动控制系统也都是恒值控制系统。图 1.9 所示的电炉箱温度控制系统和图 1.12 所示的水位控制系统都是恒值控制系统。

2. 随动控制系统（又称伺服系统）

随动控制系统的特点是输入信号是变化着的（有时是随机的），并且要求系统的输出量能跟随输入量的变化而做出相应的变化。这种控制系统的另一个特点是可以功率很小的输入信号操纵功率很大的工作机械（这只要选用大功率的功放装置和电动机即可），此外还可以进行远距离控制。随动控制系统在工业和国防上有着极为广泛的应用。如刀架跟随系统，自动火炮控制系统，雷达跟踪系统，机器人控制系统，自动驾驶系统，自动导航系统和工业生产中的自动测量仪器等。

3. 程序控制系统

程序控制系统与随动控制系统的不同之处是它的给定输入不是随机不可知的，而是按事先预定的规律变化。这类系统往往适用于特定的生产工艺或生产过程，按所需要的控制规律给定输入，并要求输出按预定的规律变化。设计此类系统比随动控制系统有针对性。由于变化规律已知，可根据要求事先选择方案，保证控制性能和精度。在工业生产中广泛应用的程序控制系统有仿形控制系统、机床数控加工系统等。

1.3.2 按系统传输信号对时间的关系分类

1. 连续控制系统

连续控制系统的特点是所有元件的输入量与输出量都是连续信号。如图 1.9 所示的恒温控制系统就是连续控制系统。连续控制系统的运动规律通常可用微分方程来描述。

2. 离散控制系统

系统中只要有一处元件的信号是非连续的，则称为离散控制系统，又称采样数据控制系