

自动控制原理

吴占和 齐秀飞 主编



東北大學出版社
Northeastern University Press

自动控制原理

吴占和 齐秀飞 主编

东北大学出版社

· 沈 阳 ·

© 吴占和 齐秀飞 2012

图书在版编目 (CIP) 数据

自动控制原理 / 吴占和, 齐秀飞主编. — 沈阳: 东北大学出版社, 2012. 8
ISBN 978 - 7 - 5517 - 0169 - 3

I. ① 自… II. ① 吴… ② 齐… III. ① 自动控制理论 IV. ① TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 134355 号

内 容 提 要

面对深奥的自动控制理论和浩如烟海的各种自动控制系统, 本书只是一个入门。本书讨论了经典控制理论的基本概念、基本原理和基本方法。注重内容的实用性, 加强了基本理论与实际应用的阐述, 理论联系实际, 通俗易懂, 举一反三, 便于教学和自学。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, 线性控制系统的时域分析法、线性控制系统的根轨迹分析法和线性控制系统的频域分析法, 线性控制系统的校正和 Matlab 在自动控制原理中的应用等内容, 每章还附有适当的习题及思考题, 书中附录介绍了与各章有关的典型习题及解法, 开阔了解题思路, 方便阅读者自学。

本书可作为自动控制专业和电气工程、自动化和机电一体化等专业的学生用书, 也可供相关专业的工程技术人员参考。

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024 - 83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024 - 83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph@neupress.com http: //www.neupress.com

印 刷 者: 沈阳中科印刷有限责任公司

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 185mm × 260mm

印 张: 17.25

字 数: 431 千字

出版时间: 2012 年 8 月第 1 版

印刷时间: 2012 年 8 月第 1 次印刷

责任编辑: 王兆元 王延霞

封面设计: 刘江旸

责任校对: 北 辰

责任出版: 唐敏志

ISBN 978 - 7 - 5517 - 0169 - 3

定 价: 29.00 元

前 言

《自动控制原理》是电类专业一门重要的技术基础课。本书根据高等学校教育发展的需要而编写。本书以高等学校电气自动化及相关人才培养为目的,强化基本理论知识,结合生产实际,注重能力和实践的培养,突出高校教学的特色。

在自动控制原理方面,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(包括系统稳定性、稳态性能和动态性能的分析),探讨改善系统性能的途径(系统校正),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,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)和实例分析,阐述如何分析系统的组成,怎样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(系统框图)和怎样应用自控原理来分析系统的性能,探讨改善系统性能的途径。

编者期望通过上述内容的阐述,使读者对自动控制系统的工作原理、数学模型、性能分析、系统校正和系统调试等方面有一个相对完整的认识,能掌握对自动控制系统的一般分析方法,为读者在自动控制技术方面打下一个初步的但却是非常重要的基础。

书中例题选择力求典型、简明,并尽量结合实际,结合自动控制原理的知识;书中附录编写了自动控制原理的有关习题与解答,有助于加强对本书内容的理解。

全书共分 7 章,总学时为 70 学时左右,各院校可根据实际情况决定内容的取舍。

本书由辽宁工程技术大学教师吴占和、齐秀飞任主编,辽宁工程

技术大学教师刘尹霞任副主编。具体编写分工如下：齐秀飞编写第一章，刘尹霞编写书中附录部分，其他各章节由吴占和编写。吴占和负责全书的统稿工作。

本书可作为高等院校电气工程类、自动化类、机电一体化类等学生用书，也可供相关专业的工程技术人员参考。

本书编写过程中得到了辽宁工程技术大学创新实践学院、电控学院、电信学院和理学院的大力支持，在此表示诚挚的谢意。

限于编者水平，书中难免有错误和疏漏之处，敬请同仁和广大读者批评指正。

编 者

2012 年 5 月

目 录

第1章 自动控制原理概述	1
1.1 自动控制与自动控制系统	1
1.2 自动控制理论的发展	2
1.3 自动控制系统的组成框图和基本术语	3
1.4 自动控制系统的控制方式	6
1.4.1 开环控制系统	6
1.4.2 闭环控制系统	7
1.5 自动控制系统的分类	10
1.5.1 按照元件特性分类	10
1.5.2 按照信号传递方式分类	11
1.5.3 按照参考输入量变化规律分类	12
1.5.4 按照系统参数的变化特征分类	12
1.5.5 按照自动控制系统的功能分类	12
1.6 自动控制系统的性能指标	13
1.6.1 系统的稳定性	13
1.6.2 系统的动态性能指标	14
1.6.3 系统的稳态性能指标	14
1.7 自动控制系统的分析与设计	15
1.7.1 系统的分析	15
1.7.2 系统的设计	15
本章小结	16
习题及思考题	17
第2章 自动控制系统的数学模型	18
2.1 自动控制系统的微分方程	19
2.1.1 线性系统微分方程建立的一般步骤	19
2.1.2 线性系统微分方程的建立举例	19
2.2 拉普拉斯变换	21
2.2.1 拉氏变换的定义	21
2.2.2 拉氏变换举例	22
2.2.3 拉氏变换的性质	22
2.2.4 拉氏反变换的性质	24

2.3 自动控制系统的传递函数	27
2.3.1 传递函数的基本概念	27
2.3.2 典型环节的传递函数	30
2.4 自动控制系统动态结构图及其等效变换	33
2.4.1 动态结构图的绘制	33
2.4.2 结构图的等效变换	38
2.5 反馈控制系统的传递函数	42
2.5.1 反馈控制系统传递函数的定义	42
2.5.2 系统对给定作用和扰动作用的闭环传递函数	43
2.5.3 系统对给定作用和扰动作用的误差传递函数	43
2.6 信号流图及梅逊公式	44
2.6.1 信号流图的基本概念	44
2.6.2 梅逊公式	46
本章小结	49
习题及思考题	51
第3章 线性系统的时域分析法	53
3.1 时域分析基本概念	53
3.2 自动控制系统典型输入信号	54
3.3 一阶系统的时域分析	56
3.3.1 一阶系统的数学模型	56
3.3.2 一阶系统的单位阶跃响应	57
3.3.3 一阶系统的单位斜坡响应	58
3.3.4 一阶系统的单位脉冲响应	58
3.3.5 一阶系统的单位加速度响应	59
3.4 二阶系统的时域分析	60
3.4.1 二阶系统的数学模型	60
3.4.2 二阶系统的单位阶跃响应	61
3.4.3 二阶系统的单位阶跃响应性能指标	65
3.5 自动控制系统的稳定性分析	70
3.5.1 稳定性的基本概念	70
3.5.2 劳斯稳定性判据的方法	73
3.6 自动控制系统的稳态误差分析	76
3.6.1 系统稳态误差的定义	76
3.6.2 给定输入信号作用下的稳态误差	78
3.6.3 扰动信号作用下的稳态误差	81
本章小结	83
习题及思考题	84

第4章 线性系统的根轨迹分析法	86
4.1 根轨迹的基本概念.....	86
4.1.1 根轨迹的定义	86
4.1.2 根轨迹方程	88
4.2 绘制根轨迹的规则.....	90
4.3 自动控制系统动态根轨迹的分析.....	97
4.3.1 闭环零、极点对系统动态性能的影响	97
4.3.2 利用根轨迹方法来改善系统的动态性能	99
本章小结.....	101
习题及思考题.....	101
第5章 线性系统的频域分析法	103
5.1 频率特性的基本概念	103
5.1.1 频率特性的定义	103
5.1.2 频率特性的数学表示方式	105
5.1.3 频率特性的几何表示法	108
5.2 典型环节的频率特性	110
5.2.1 比例环节	110
5.2.2 积分环节	111
5.2.3 理想微分环节	112
5.2.4 惯性环节	113
5.2.5 一阶微分环节	115
5.2.6 振荡环节	115
5.2.7 延迟环节	118
5.3 自动控制系统的开环频率特性	118
5.3.1 系统开环幅相频率特性	119
5.3.2 系统开环对数频率特性曲线	122
5.3.3 最小相位系统与非最小相位系统	127
5.4 奈奎斯特稳定性判据	129
5.4.1 闭环系统的稳定性	129
5.4.2 奈奎斯特稳定性判据	132
5.4.3 伯德图上的稳定性判据	135
5.5 自动控制系统的稳定裕度	137
5.5.1 自动控制系统的稳定裕度的定义	137
5.5.2 自动控制系统的稳定性分析	140
5.6 闭环频率特性	143
5.6.1 闭环频率特性	143
5.6.2 闭环频率特性的指标与时域响应的关系	144

5.6.3 用频率特性分析系统的性能	146
本章小结	148
习题及思考题	148
第6章 自动控制系统的校正	151
6.1 校正的基本概念	151
6.2 系统校正的方法	152
6.2.1 系统校正的根轨迹法	152
6.2.2 系统校正的频率响应法	155
6.3 自动控制系统的串联校正	156
6.3.1 超前校正	156
6.3.2 滞后校正	161
6.3.3 串联超前-滞后校正	165
6.4 反馈校正	169
6.5 复合校正	173
6.5.1 复合校正的基本概念	173
6.5.2 前馈补偿的复合校正	173
6.6 晶闸管直流调速系统工程设计方法	177
6.6.1 工程设计方法和步骤	177
6.6.2 典型 I 型系统	178
6.6.3 典型 II 型系统	181
本章小结	185
习题及思考题	186
第7章 Matlab 在自动控制系统中的应用	188
7.1 Matlab 仿真软件简介	188
7.1.1 Matlab 的具体功能	188
7.1.2 Matlab 的语言特点	189
7.2 Matlab 仿真软件在自动控制原理中的应用	190
7.2.1 基本绘图命令	190
7.2.2 Matlab 在控制系统中的基础应用	194
7.2.3 利用 Simulink 进行控制系统的仿真	198
7.2.4 利用 Matlab 进行时域分析	204
7.2.5 利用 Matlab 进行根轨迹分析	213
7.2.6 利用 Matlab 进行绘图	216
7.2.7 利用 Matlab 进行频域分析	218
参考文献	228
附录 自动控制原理习题集及答案	229

第1章 自动控制原理概述

教学目的

- (1) 理解自动控制与自动控制系统的定义及特点。
- (2) 掌握两种基本控制形式：开环控制与闭环控制。
- (3) 了解自动控制理论的发展。

教学重点

- (1) 自动控制系统的基本结构和特点及其工作原理。
- (2) 闭环控制系统的组成和基本环节。

教学难点

- (1) 掌握反馈控制系统的基本要求。
- (2) 学会分析自动控制系统的类型及本质特征。

本章简单介绍了自动控制的发展历史,通过自动控制系统的基本组成框图,概括了自动控制原理的基本术语,并介绍了自动控制系统基本控制形式——开环控制和闭环控制——的特点、自动控制系统的分类和自动控制系统的性能指标,总结了自动控制系统的分析和设计方法。

1.1 自动控制与自动控制系统

在生产和科学发展的过程中,自动控制起着重要的作用。目前,自动控制广泛地应用于现代工业、农业、交通运输、国防和科学技术等要求较高的领域中。可以这样说,一个国家在自动控制方面水平的高低是衡量它的生产技术和科学技术水平先进与否的一项重要标志。自动控制涉及的范围很广,除了在宇宙飞船、导弹制导、飞机驾驶系统等领域中,在电力、机械、冶金、化工以及对人体有害的部门,如原子能反应堆等领域,自动控制也占据着十分重要的地位,它的概念已经扩大到其他领域,如经济、政治等领域。

所谓自动控制,就是在没有人的直接干预下,利用物理控制装置,对生产设备、生产过程、工艺参数和目标要求等进行自动调节与控制,使被控制的物理量(如温度、压力、pH值等)保持恒定,或者按照一定的规律变化,达到要求的指标。例如矿井提升机速度的控制、水泥回转窑湿度的控制、造纸厂纸浆浓度的控制、轧钢厂加热炉温度的控制、物料传输机速度的控制等。

所谓自动控制系统,是指能够对被控制对象的工作状态进行自动控制的系统,是为实

现某一控制目标所需要的所有物理部件的有效组合体。自动控制系统由自动控制装置与受控对象组成,一般按被控量命名,如速度控制系统、压力控制系统、温度控制系统等。自动控制系统的性能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。

生产的自动化、管理的科学化,大大地改善了劳动条件,使产品的质量得以提高,产量得以增加。近十几年来,计算机的广泛应用,使自动控制理论更加迅速地向前发展,使得自动控制技术所能完成的任务更加复杂,水平大大地提高。电子技术和计算机技术的迅猛发展,为自动控制技术插上了翅膀,自动控制技术将在愈来愈多的领域发挥愈来愈重要的作用。自动控制系统涵盖的范围很广泛,包括人体自然系统、天体自然系统、季节自然系统、人造系统、全自动洗衣机、电冰箱、电饭煲、电梯控制系统、温度控制系统、水位控制系统、速度控制系统和刹车防抱死系统等。

1.2 自动控制理论的发展

自动控制技术的发展提出许多新问题,这些问题需要理论来支持。

1787年,James Watt 为控制蒸汽机速度设计的离心调节器,是自动控制领域的第一项重大成果。1868年,J. C. Maxwell 在论文《论调节器》中首先解释了 Watt 速度控制系统中出现的不稳定问题,通过线性常微分方程的建立和分析,指出了振荡现象的出现与从系统导出的一个代数方程根的分布有密切的关系,开辟了用数学方法研究控制系统运动特性的途径。E. J. Routh (1877年)和 A. Hurwitz (1895年)分别独立地建立了直接根据代数方程的系数判别系统稳定性的准则。1892年,A. M. Lyapunov 用严格的数学分析方法全面地论述了稳定性问题,Lyapunov 稳定性理论至今仍然是分析系统稳定性的重要方法。

1922年,Minorsky 研制出船舶操纵自动控制器,并证明了通过系统的微分方程确定系统的稳定性的方法。1925年,英国电气工程师亥维赛把拉普拉斯变换应用到求解电路网络的问题上,创立了运算微积分,随后被应用到分析自动控制系统的问题上,并取得了显著的成就。1927年,美国贝尔实验室的电气工程师 H. S. Blsck 在解决电子管放大器失真问题时首先引入反馈的概念。1932年,Nyquist 提出了一种根据系统的开环频率响应(对稳态正弦输入)确定闭环系统稳定性的方法。1934年,Hezen 提出了用于位置控制系统的伺服机构的概念,讨论了可以精确跟踪变化的输入信号的机电伺服机构。1948年,美国科学家 W. R. Evans 提出了有名的根轨迹的分析方法,并于1950年进一步应用于反馈控制系统的设计,形成了与频率响应方法相对应的另一核心方法——根轨迹法。1956年,苏联科学家 L. S. Pontryagin 提出极大值原理。同年,美国数学家 R. Bellman 创立动态规划。极大值原理和动态规划为最优控制提供了理论工具。1959年,美国数学家 R. E. Kalman 提出了著名的卡尔曼滤波器,1960年又提出能控性和能观测性的概念。

19世纪50年代末,控制系统设计问题的重点从设计许多可行系统中的一种系统,转到设计在某种意义上的最佳系统。19世纪60年代,数字计算机的出现为复杂系统的基于时域分析的现代控制理论提供了可能。从1960年到1980年,确定性系统、随机系统的最佳控制以及复杂系统的自适应和学习控制都得到充分的研究。从1980年到现在,现代控制理论进展集中于鲁棒控制、 H_∞ 控制及其相关课题。

自动控制理论是研究自动控制共同规律的技术科学,既是一门古老的、日趋成熟的学

科,又是一门发展的、具有强大生命力的新兴学科。自动控制理论的发展大致可分为以下主要阶段。

1. 第一阶段——经典控制理论

经典控制理论的基本特征为以传递函数为基础,研究单输入-单输出线性定常反馈控制系统的分析与设计问题,即用于常系数线性微分方程描述的系统的分析与综合。如调节电压改变电机的速度,调整方向盘改变汽车的运动轨迹等。这些理论发展较早,现已臻成熟,但是只是讨论系统输入与输出之间的关系,而忽视系统的内部状态,是一种对系统的外部描述方法。

2. 第二阶段——现代控制理论

现代控制理论以状态空间法为基础,研究多输入-多输出、时变、非线性一类控制系统的分析与设计问题,实现自适应控制和最佳控制等。如把汽车看成一个具有两个输入(驾驶盘和加速踏板)和两个输出(方向和速度)的控制系统。计算机科学的发展,极大地促进了控制科学的发展。

3. 第三阶段——大系统控制理论

大系统控制理论是一种过程控制与信息处理相结合的动态系统工程理论,研究的对象具有规模庞大、结构复杂、功能综合、目标多样、因素众多等特点。它是一个多输入、多输出、多干扰、多变量的系统。如人体,就可以看作一个大系统,其中有体温的控制、情感的控制、人体血液中各种成分的控制等。大系统控制理论目前仍处于发展阶段。

4. 第四阶段——智能控制理论

智能控制理论是近年来新发展起来的一种控制技术,是人工智能在控制上的应用。它的概念和原理主要是针对被控对象、环境、控制目标或任务的复杂性提出来的,指导思想是依据人的思维方式和处理问题的技巧,解决那些目前需要人的智能才能解决的复杂的控制问题。智能控制的方法包括模糊控制、神经网络控制、专家系统控制等,以解决传统控制系统不能解决的问题。

1.3 自动控制系统的组成框图和基本术语

自动控制系统的用途虽然各不相同,但它们有一个共同的特点,即均为按负反馈原理构成的闭环系统。为了表明自动控制系统的组成以及信号传递的情况,通常把系统的各个环节用框图表示,并用箭头标明各作用量的传递情况。自动控制系统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。下面通过图 1-1 自动控制系统框图介绍自动控制系统的组成和基本术语。

方框图中比较装置的输出量等于各个输入量的代数和。因此,各个输入量均需用正、负号表明其极性。在结构图中,各环节的信号传递是有方向性的。自动控制系统的的基本术语主要有以下几个。

(1) 控制:对于人-机系统,为使某一机器、设备或过程处于希望的状态而对其进行的操作,称为控制。

(2) 系统:由一些相互联系和相互制约的环节组成并具有特定功能的整体称为系统。

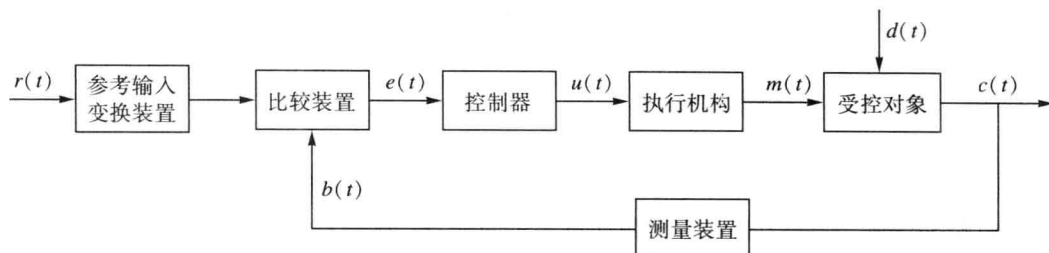


图 1-1 自动控制系统框图

在工业生产中，一台机器、一套设备或任意工艺过程，如加热炉、轧钢机、化学反应釜、核反应堆等都称为系统。

(3) 控制装置：能代替人对生产设备和工艺过程施加控制作用的装置，称为自动控制装置或控制器，也称自动调节器。控制装置一般具有信号的测量、变换、运算、放大和执行等功能。

(4) 受控对象：被控制的机器、设备或过程称为受控对象或对象，也称被控对象。它是自动控制系统的主体，可以是复杂、庞大的生产机械或科技设施，如提升机、回转窑、加热炉等，也可以是很小的机构，如记录笔、电位计等。

(5) 被控量：被控制的基本参量（物理量或化学量）称为被控量或输出量。被控量是表征受控对象工作状态的物理量，即速度、湿度、浓度、炉温、电压等，常用角标 o （或 c ）表示。

(6) 给定量：决定被控量的物理量称为给定量或参考输入，也称为控制量。给定量表征被控量的期望值或受控对象的期望状态，常用角标 i （或 r ）表示。

(7) 扰动量：妨碍给定量对被控量进行正常控制的所有因素称为扰动量，又称干扰或噪声，常用角标 d （或 n ）表示。扰动量产生在系统内部称为内扰，产生在系统外部称为外扰。给定量和扰动量都是自动控制系统的输入量。

(8) 反馈量：测量装置在反馈通路的输出，常用角标 b （或 f ）表示。

(9) 误差：希望的或要求的输出量与实际的输出量之差。

由上可知，给定量和扰动量都是自动控制系统的输入量，故自动控制系统有两种外作用：有效输入信号（简称输入信号）和有害干扰信号（简称干扰信号）。输入信号决定系统被控量的变化规律或代表期望值，并作用于系统的输入端。干扰信号是系统所不希望而又不可避免的外作用信号，它不但可以作用于系统的任何部位，而且可能不止一个。妨碍控制量对被控量进行正常控制的所有因素称为扰动量。扰动量按其来源分为内部扰动和外部扰动。由于它会影响输入信号对系统被控量的有效控制，严重时必须加以抑制或补偿。自动控制系统框图中各个元件的排列，通常给定元件在最左端，控制对象排在最右端。即输入量在最左端，输出量在最右端。在结构图中，各环节的信号传递是有方向性的。如果在实际的环节中存在输出对输入的影响，那么这一影响可以用反馈的形式表示出来，这种反馈称为局部反馈，而系统输出量的反馈称为主反馈。按偏差原则和扰动补偿原则结合起来构成的系统，称为复合控制系统。通常，把从左至右系统输入量到输出量之间的通道称为前向通道或顺馈通道，由输出端引回输入端的通道称为反馈通道。自动控制系统的组成基本包括以下七部分。

(1) 给定元件：设定被控制量的给定值的装置。

(2) 检测元件：反馈元件，该装置用来检测被控制量，将其转换为与给定量相同的物理量并反馈到输入端。

(3) 比较环节：比较装置，将反馈量与给定量进行比较，得到偏差量，反映了系统输出量与希望值之间的差距。比较环节将所检测的被控制量与给定量进行比较，确定两者之间的偏差量。

(4) 放大元件：中间环节，用于量值放大和功率放大，将很小的偏差信号变换成适于控制执行机构工作的信号。图 1-1 所示即控制器，一般为晶体管放大器和集成运算放大器。

(5) 执行元件：执行机构，用来驱动控制对象。一般由传动装置和调节机构组成，执行机构直接作用于控制对象，使被控制量达到所要求的数值。

(6) 控制对象：要进行控制的设备或过程。

(7) 反馈环节：将输出量引出，再送回到控制部分，一般包括检测、分压、滤波等单元。反馈信号与输入信号极性相同则为正反馈，相反则为负反馈。

自动控制系统框图可以直观地将系统的组成、各环节间的相互关系以及各种作用量的传递情况简单明了地概括出来。要了解一个实际的自动控制系统的组成，画出组成系统的框图，就必须明确下面的一些问题：哪个是控制对象？被控量是什么？影响被控量的主扰动量是什么？哪个是执行元件？测量被控量的元件有哪些？有哪些反馈环节？输入量是由哪个元件给定的？反馈量与给定量是如何进行比较的？还有哪些元件（或单元）？它们在系统中处于什么地位？起什么作用？下面通过具体闭环控制系统示例说明如何分析系统的组成并画出系统的框图。

例 1-1 一个水位控制系统的示意图如图 1-2 所示，系统的控制对象是水箱，被控量是水位高度 H ，使水位发生改变的外界因素是用水量 Q_2 ，使水位保持恒定的可控因素是给水量 Q_1 ，控制 Q_1 的是由电动机驱动的控制阀门 V_1 ，电动机、变速箱和控制阀构成执行元件。

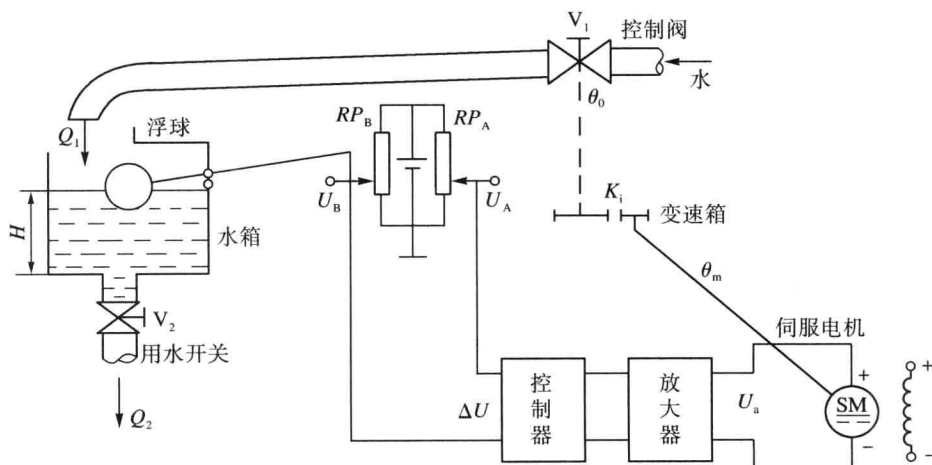


图 1-2 水位控制系统示意图

水位控制系统的组成框图如图 1-3 所示。由图可知， U_A 由给定电位器 RP_A 给定，作为给定量； U_B 由给定电位器 RP_B 给定，作为反馈量，大小取决于浮球的位置，而水位又决定

了浮球的位置。因此,浮球、杠杆和电位器 RP_B 构成水位的检测和反馈环节。 U_A 和 U_B 极性相反,所以为负反馈。偏差电压 $\Delta U = U_B - U_A$, 经控制器与放大器放大后即伺服电动机电枢的控制电压 U_a 。

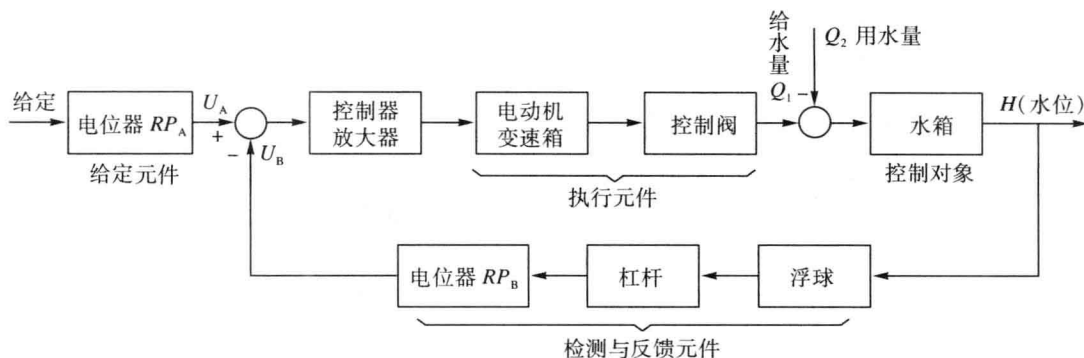


图 1-3 水位控制系统的组成框图

水位控制系统自动调节过程如图 1-4 所示。

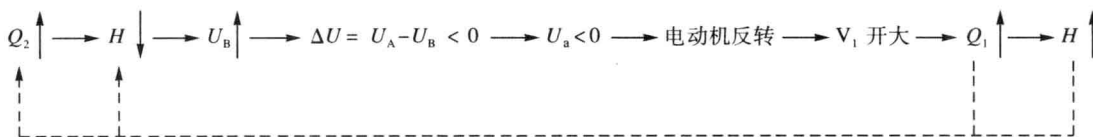


图 1-4 水位控制系统的自动调节过程

直至 $Q_1 = Q_2$, $H = H_0$, $U_B = U_A$, $\Delta U = 0$ 时,电动机停转为止。

1.4 自动控制系统的控制方式

自动控制最常见的控制方式有两种:开环控制和闭环控制。对于某一个具体的系统,采取什么样的控制手段,应该根据具体的用途和目的而定。若通过某种装置将能反映输出量的信号引回来去影响控制信号,这种作用称为反馈作用。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;不设反馈环节的,则称为开环控制系统。

1.4.1 开环控制系统

开环控制系统是指系统的输出端和输入端没有反馈关系,系统的输出量对控制作用不发生影响的系统。在开环控制系统中,系统的输出端与输入端不存在反馈回路,只有信号的前向通道,输出量对系统的控制作用不发生影响。系统既不需要对输出量进行测量,也不需要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。开环控制有两种形式:按给定值控制和按扰动补偿控制。开环控制系统框图如图 1-5 所示。

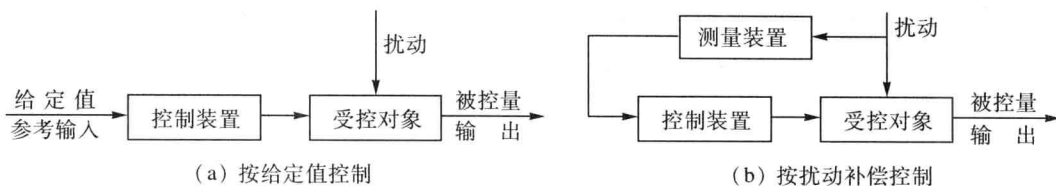


图 1-5 开环控制系统框图

由系统框图可以看出，测量的(或接收的)如果只是给定值或指令信号，则是按给定值控制的开环控制系统；测量的如果只是干扰量，则是按扰动补偿控制的开环控制系统。

例 1-2 一个典型的电加热炉炉温开环控制系统示意图如图 1-6(a) 所示，其控制任务是保持炉温恒定，通过调压器调节电压，电阻电流增加使电阻加热，致使加热炉温度升高，并保持到一定温度恒定。从控制结构上看，存在从左到右的信号传递通道——前向通道，其系统框图如图 1-6(b) 所示。

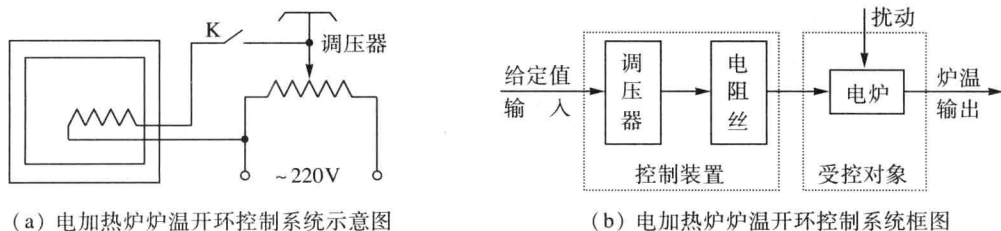


图 1-6 电加热炉炉温开环控制系统

开环控制系统难以保持炉温恒定。如果无论是否出现扰动都要使炉温保持恒定，就需人工干预。开环控制系统的特点是按给定值控制，无反馈环节，结构和控制过程简单，容易实现，精度低，稳定性好，成本低廉，没有自动调节能力，无抗扰动能力，抗干扰能力差。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的情况下，则应尽量采用开环控制系统。目前，国民经济各部门都广泛应用开环控制系统，如自动售货机、自动洗衣机、产品自动生产流水线及交通指挥的红绿灯转换等。

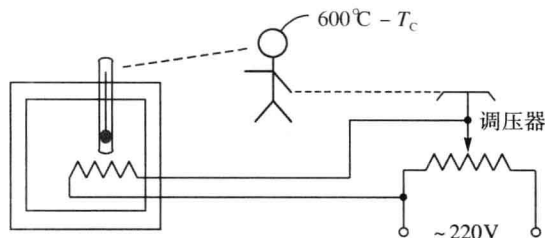
开环控制系统的特点：系统结构和控制过程简单；稳定性好，成本低廉；没有自动调节能力，抗干扰能力差。应用于控制性能要求不高、系统输入与输出关系明确、干扰较小且相对稳定的场合。开环控制的缺点是当控制过程受到各种扰动因素影响时，会直接影响输出量，而系统不能自动进行补偿。特别是当无法预计的扰动因素使输出量产生的偏差超过允许的限度时，开环控制系统便无法满足技术要求，这时就应考虑采用闭环控制系统。

1.4.2 闭环控制系统

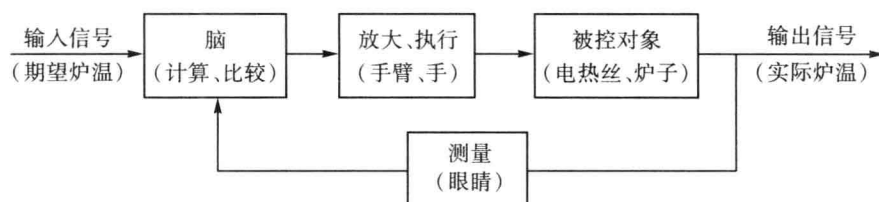
开环控制系统精度不高和适应性不强的主要原因是缺少从系统输出到输入的反馈回路。若要提高控制精度，必须把输出量的信息反馈到输入端，通过比较输入值与输出值，产生偏差信号，该偏差信号以一定的控制规律产生控制作用，逐步减小以至消除这一偏差，从而实现所要求的控制性能。系统的控制装置和被控对象不仅有顺向作用，而且输出端和输入端之间存在反馈关系，所以称为闭环控制系统，闭环控制系统也是反馈控制系统。闭

环控制系统的特点：控制精度高，抗扰能力强，适用范围广，但结构复杂，元件较多，成本较高，稳定性要求较高。

人工炉温控制系统的结构示意图如图 1-7(a) 所示，人工炉温控制系统的框图如图 1-7(b) 所示。



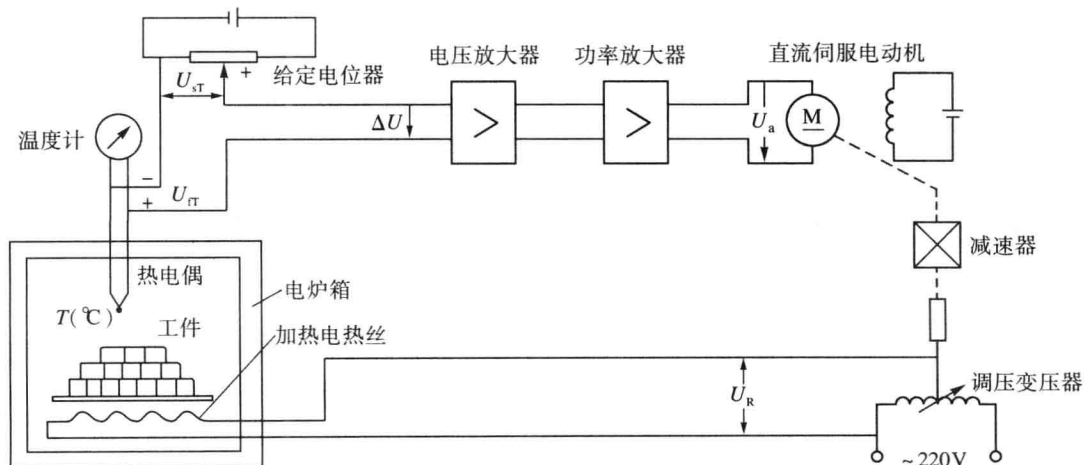
(a) 人工炉温控制系统的结构示意图



(b) 人工炉温控制系统的框图

图 1-7 人工炉温控制系统

在人工干预过程中，用眼观察温度计测量炉温，大脑中比较实际炉温与给定炉温的差值，相应调整（增加或减小）电压，获得相应的炉温。人工的关键性作用是使系统的输出量参与了系统的控制，形成了信号传递的闭环回路。系统一旦出现偏差，就调整控制量，从而保证了输出量的恒定。人工控制系统也叫作人工反馈系统，或人工闭环控制系统。用自动控制装置来取代人工操作功能，就变成自动控制系统，或闭环控制系统。图 1-8(a) 是电加热炉炉温自动控制系统的结构示意图，图 1-8(b) 是电加热炉炉温自动控制系统的框图。



(a) 电加热炉炉温自动控制系统的结构示意图