



21世纪高等院校**自动化类**实用规划教材

自动控制原理及应用

董红生 主 编
李双科 李先山 副主编



免费赠送
电子课件

- 在保证基本理论够用的前提下，侧重于自动控制系统分析和设计方法的阐述。
- 坚持“以应用为目的，以必需、够用为度”的原则，加强理论联系实际，充实应用实例，“以例释理”。



清华大学出版社

21 世纪高等院校自动化类实用规划教材

自动控制原理及应用

董红生 主 编

李双科 李先山 副主编

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书是根据培养应用型人才的基本要求编写的,系统地介绍了自动控制原理经典控制理论部分的主要内容。全书共分8章,内容包括绪论、自动控制系统的数学模型、控制系统的时域分析法、控制系统的根轨迹分析方法、控制系统的频域分析法、控制系统的校正方法、采样控制系统及控制系统的 MATLAB 仿真应用。

本书从工程实际应用出发,内容全面,重点突出,叙述深入浅出、循序渐进、通俗易懂,每章都配有一定数量的例题和习题,并附有教学目标和本章小结,便于教师教学和学生自学。

本书可作为应用型本科院校、高职高专院校及成人高校的电气、自动化及机电类各专业的教材或教学参考书,也可供工程技术人员参考。

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

自动控制原理及应用/董红生主编;李双科,李先山副主编. —北京:清华大学出版社,2014
(21世纪高等院校自动化类实用规划教材)

ISBN 978-7-302-34464-3

I. ①自… II. ①董… ②李… ③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 270018 号

责任编辑:李春明

装帧设计:杨玉兰

责任校对:李玉萍

责任印制:沈 露

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>, 010-62791865

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

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:17.25 字 数:416千字

版 次:2014年3月第1版 印 次:2014年3月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:36.00元

前 言

自动控制技术已广泛应用于现代工农业、国防、经济及社会科学等众多不同领域,对于掌握一定自动控制技术的应用型专门人才的需求越来越大。因此,编写适合应用型专门人才培养目标要求的优秀教材显得尤为重要。本书遵循应用型专门人才培养的规律,面向 21 世纪科技发展的需要及电气自动化、机电类各专业教学改革的要求而组织编写。

自动控制原理是研究自动控制基本规律的科学,是分析和设计自动控制系统的理论基础,一般包括经典控制理论和现代控制理论两部分内容。本书以控制工程中应用广泛的经典控制理论及应用为主要内容,共分为 8 章,具体包括绪论、自动控制系统的数学模型、控制系统的时域分析法、控制系统的根轨迹分析法、控制系统的频域分析法、控制系统的校正方法、采样控制系统及控制系统的 MATLAB 仿真应用。

在编写过程中,本书坚持“以应用为目的,以必需、够用为度”的原则,总结多年的教学实践经验与体会,精选教学内容,明确教学目的,注重基本概念和基本方法的阐述,简化烦琐的理论推导,加强理论联系实际,充实应用实例,“以例释理”,将基础理论融入具体实例之中,使学生更容易学习和掌握相关理论;同时本书介绍了 MATLAB 软件的基本使用方法及其在自动控制理论中的应用,从而强化了学生对自动控制系统的计算机辅助分析和设计的能力。

为了更切合应用型人才培养及教与学的需要,本书在保证基本理论够用的前提下,侧重于自动控制系统分析和设计方法的阐述、力求做到内容精炼、概念清晰、循序渐进,并联系工程应用。书中每章都配有一定数量的典型习题,便于学生巩固和复习所学内容。

本书由兰州工业学院董红生任主编,兰州工业学院李双科、甘肃畜牧工程职业技术学院李先山任副主编,兰州工业学院任晓芳和刘青参与编写,编写分工为:李双科编写第 1、2 章,李先山编写第 3、7 章,任晓芳编写第 4、6 章及部分章节习题和答案,刘青编写第 5 章 5.1 和 5.2 节及附录,董红生编写第 5 章 5.3、5.4、5.5 节和第 8 章。全书由董红生负责统稿。

本书可作为应用型本科院校、高职高专院校及成人高校的电气、自动化及机电类各专业的教材或教学参考书,也可供工程技术人员参考。

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。由于编者教学经验和学术水平有限,书中不妥与错误之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 绪论.....	1	3.1.1 典型输入信号.....	44
1.1 自动控制系统的基本概念.....	2	3.1.2 控制系统的时域指标.....	46
1.1.1 自动控制和自动控制系统.....	2	3.2 典型系统的时域分析.....	47
1.1.2 自动控制系统的控制方式.....	4	3.2.1 一阶系统的时域分析.....	47
1.1.3 自动控制系统的组成.....	6	3.2.2 二阶系统的时域分析.....	50
1.2 自动控制系统的分类.....	6	3.3 控制系统的稳定性分析.....	56
1.2.1 按给定值的变化规律分类.....	7	3.4 控制系统的稳态误差计算.....	62
1.2.2 按系统的信号形式分类.....	7	3.4.1 稳态误差的定义.....	62
1.2.3 按系统的特性分类.....	7	3.4.2 控制系统的型别.....	63
1.3 自动控制系统的基本要求.....	8	3.4.3 给定稳态误差及误差系数.....	63
1.3.1 稳定性.....	8	3.4.4 扰动稳态误差的计算.....	67
1.3.2 快速性.....	8	3.4.5 减小系统稳态误差的方法.....	68
1.3.3 准确性.....	9	3.5 应用实例.....	69
1.4 应用实例.....	9	本章小结.....	72
本章小结.....	13	习题.....	73
习题.....	13	第 4 章 控制系统的根轨迹分析方法.....	77
第 2 章 自动控制系统的数学模型.....	17	4.1 根轨迹的基本概念.....	78
2.1 控制系统的微分方程.....	18	4.1.1 根轨迹的概念.....	78
2.1.1 微分方程建立的实例.....	18	4.1.2 根轨迹方程.....	79
2.1.2 线性常微分方程的求解.....	20	4.2 根轨迹绘制的基本规则.....	81
2.2 控制系统的传递函数.....	21	4.3 利用根轨迹法分析控制系统的性能.....	86
2.2.1 传递函数的概念.....	21	4.3.1 闭环零、极点分布与	
2.2.2 典型环节的传递函数.....	24	动态响应的关系.....	87
2.3 控制系统的动态结构图.....	28	4.3.2 利用主导极点法分析系统	
2.3.1 动态结构图的基本概念.....	28	性能.....	88
2.3.2 动态结构图的建立.....	29	4.3.3 增加开环零、极点对系统	
2.3.3 动态结构图的化简.....	31	性能的影响.....	89
2.4 应用实例.....	36	4.4 应用实例.....	93
本章小结.....	39	本章小结.....	95
习题.....	39	习题.....	95
第 3 章 控制系统的时域分析法.....	43	第 5 章 控制系统的频域分析法.....	97
3.1 控制系统的典型输入信号和时域性能		5.1 系统频率特性的基本概念.....	98
指标.....	44		

5.1.1 频率特性的定义	98
5.1.2 频率特性的性质	101
5.1.3 频率特性的图形表示	101
5.2 典型环节的频率特性	103
5.3 系统开环频率特性曲线的绘制	114
5.3.1 系统开环幅相频率特性曲线的 绘制	114
5.3.2 系统开环对数频率特性曲线的 绘制	117
5.4 利用频率特性法分析控制系统的 性能	122
5.4.1 控制系统的稳定性分析	122
5.4.2 控制系统的性能分析	129
5.4.3 典型控制系统的频域分析	136
5.5 应用实例	141
本章小结	145
习题	145

第6章 控制系统的校正方法

6.1 控制系统校正的基本概念	152
6.1.1 校正方式	152
6.1.2 基本控制规律	153
6.2 串联校正	157
6.2.1 串联超前校正	157
6.2.2 串联滞后校正	161
6.2.3 串联滞后-超前校正	165
6.3 反馈校正	170
6.3.1 反馈校正的基本原理	170
6.3.2 反馈校正的形式	170
6.4 自动控制系统的工程设计方法	172
6.4.1 串联校正的期望频率特性法 原理	172
6.4.2 系统期望开环对数频率特性的 建立	173
6.4.3 校正装置的工程设计法	174
6.5 应用实例	176
本章小结	179
习题	180

第7章 采样控制系统

7.1 采样控制系统的基本概念	184
7.1.1 采样控制系统的结构与 特点	184
7.1.2 信号的采样与复现	185
7.2 采样控制系统的数学模型	189
7.2.1 z 变换与逆 z 变换	189
7.2.2 差分方程和脉冲传递函数	194
7.3 采样控制系统的性能分析	201
7.3.1 采样控制系统的稳定性分析	201
7.3.2 采样控制系统的动态性能 分析	204
7.3.3 采样控制系统的稳态误差	206
7.4 应用实例	208
本章小结	210
习题	210

第8章 控制系统的 MATLAB 仿真

应用

8.1 MATLAB 仿真基础	214
8.1.1 MATLAB 系统概述	214
8.1.2 MATLAB 的编程基础	216
8.1.3 MATLAB 语言的矩阵运算与 符号运算	219
8.1.4 MATLAB 语言的图形功能	223
8.1.5 MATLAB 程序设计	228
8.1.6 Simulink 仿真基础	232
8.2 MATLAB 在控制系统仿真中的 应用	235
8.2.1 MATLAB 用于控制系统的 建模	235
8.2.2 MATLAB 用于控制系统的 时域分析	239
8.2.3 MATLAB 用于控制系统的 根轨迹分析	243
8.2.4 MATLAB 用于控制系统的 频域分析	245

8.2.5	MATLAB 用于控制系统的 频域法校正	249	8.4.1	液压位置伺服系统	253
8.3	Simulink 在控制系统仿真中的 应用	251	8.4.2	玻璃窑炉的温度控制系统	257
8.3.1	控制系统的 Simulink 模型的 建立	251	本章小结		261
8.3.2	控制系统的 Simulink 仿真	252	习题		261
8.4	应用实例	253	附录	常用函数的拉普拉斯变换与 z 变换表	264
			参考文献		265



第 1 章

绪 论

理解自动控制和自动控制系统、自动控制系统的控制方式及自动控制系统的组成等基本概念，了解自动控制系统的分类方法，掌握自动控制系统的基本要求，熟悉自动控制系统实例分析方法。



1.1 自动控制系统的基本概念

自动控制理论在现代工程和科学发展进程中起着极为重要的作用。太空航行、人造卫星等高新技术中,无不渗透着控制理论的辉煌成果。在工农业生产、交通运输、国防建设、科学研究及日常生活等各个领域,自动控制技术的应用都是不可缺少的重要组成部分。例如,在生产过程中对压力、温度、湿度、黏度和流量的控制,自动控制技术都是其核心组成部分;在机器制造业及其他许多行业中,如机器零件的加工、处理和装配,都广泛地采用自动控制技术。

自动控制理论的发展与应用,为人们提供了设计最佳控制系统的各种方法,这不但大大提高了生产效率和产品质量,同时也极大地促进了自动控制理论的进步。目前,工程技术人员和科学工作者都十分重视自动控制理论的学习,自动控制理论已成为国内外许多学科普遍开设的课程。

1.1.1 自动控制和自动控制系统

所谓控制,是指由人或控制装置使被控对象按照一定目的动作所进行的操作。例如,使用微型计算机控制热处理炉的炉温使其保持某一恒定值或按一定规律变化;钢铁企业中的轧制控制使连轧机的各轧辊按既定转速运行;机床工作台和刀架的位置控制使其能准确地跟踪指令进给等。在这些控制系统中,热处理炉、轧辊、工作台和刀架是被控对象;温度、转速、位置是被控量,它表征了机器设备的工作状态;要求这些被控量保持的期望值或变化规律称为给定值,而操作或控制的任务就是使被控对象的被控量等于或按一定精度符合期望给定值。

如果控制任务是由人来完成,则称为人工控制。如果人不直接参与,而是由控制装置自动完成控制任务,则称为自动控制。下面以水位的人工控制和自动控制为例加以说明。

1. 人工控制

水位控制主要是通过控制阀门的开度来满足水位控制的要求。水箱水位的人工控制系统如图1-1所示,其控制过程包括以下几个环节。

- (1) 通过测量元件(刻度标尺),观测水箱中的实际水位,即被控量。
- (2) 将实际水位与要求的水位(给定值)相比较,得出两者偏差。
- (3) 根据水位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;反之,则加大阀门开度。通过偏差的调节,可使水箱水位与要求值基本保持一致。

由此可见,人工控制的过程就是测量、求偏差、实施控制以纠正偏差的过程,简单地说,就是检测偏差并纠正偏差的过程。

2. 自动控制

水箱水位的自动控制如图 1-2 所示。由图 1-2 可知,水箱中的浮子反映了实际水位的变化,起到水位测量的作用;连杆机构作为比较器,完成实际水位与期望水位的比较;放大器、伺服电动机和减速器是水位的调节驱动装置;阀门是水位调节的执行元件,其开度由电位器上的电压控制。

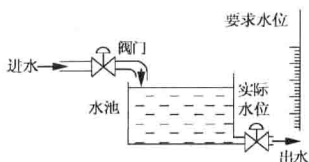


图 1-1 水箱水位的人工控制

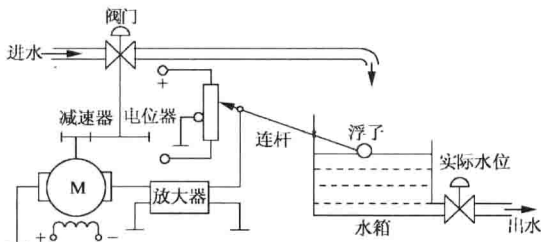


图 1-2 水箱水位的自动控制

水位控制原理是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偏差,偏差信号被放大器放大后驱动电动机,再由电动机带动减速器增加阀门开度,使得实际水位重新与要求水位值相等。可见,水位的自动控制是通过闭环的自动调节作用来消除或减小偏差,使水位保持在期望值上,从而实现了自动控制。

对比人工控制和自动控制可知,测量装置相当于人眼,执行机构类似于人手,比较与控制环节类似于人脑。两种控制的共同特点就是都要检测偏差,并用检测到的偏差去纠正偏差,可以说没有偏差就没有自动调节过程。

由上述水位控制例子可以看出,偏差调节是自动控制的基本思想,而偏差是由反馈建立的。基于反馈基础上的“以偏差纠正偏差”的控制原理又被称为反馈控制原理,通常所说的经典控制理论实际上就是指的反馈控制理论。实现自动控制的装置各不相同,但反馈控制的原理是相同的,也就是说,反馈控制是实现自动控制最基本的方法。

如果将被控的设备或过程称为被控对象(或称为受控对象),将表征设备或过程运行情况或状态并加以控制的物理参量(或状态参量)称为被控量(或称为被控参数),将这些物理参量所应保持的期望值称为给定值(或称为参考输入、设定值),而将引起被控量的变化因素称为干扰(或称为扰动),则自动控制的任務可以描述为:使被控对象的被控量等于或按一定精度符合给定值。

系统的控制装置和被控对象组合在一起就称为自动控制系统。自动控制系统和其他物理系统一样都是因果系统,即系统输出(或称响应)是由系统输入(或称激励)引起的后果。这种因果关系用框图描述,如图 1-3 所示。

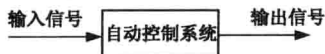


图 1-3 自动控制系统的框图

自动控制系统时常会受到周围环境的各种因素及系统本身的各因素干扰而产生扰动,扰动会使系统偏离预期状态或性能要求。如何消除或抑制这些干扰因素的影响,改善

控制性能,是自动控制系统所要完成的主要任务。

为了明确地表示自动控制系统的构成及控制过程,通常可用结构框图的形式描述一个实际的自动控制系统。用“方框”表示系统各个环节,用“箭头”代表信号的传递方向,用“ $\otimes$ ”表示比较环节,而反馈回路的“-”号表示负反馈。水位自动控制系统的结构框图如图 1-4 所示。

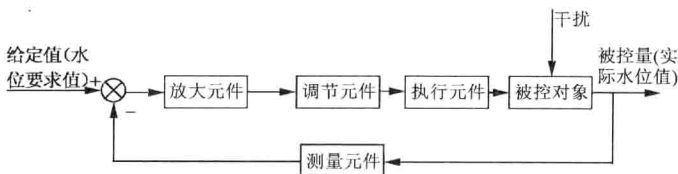


图 1-4 水位自动控制系统的结构框图

可见,系统结构框图既反映了反馈控制的基本原理,又清楚地表明了系统各环节的作用及它们之间的受控关系。

1.1.2 自动控制系统的控制方式

自动控制系统的基本控制方式包括开环控制、闭环控制及复合控制。与之对应的控制系统分别称为开环控制系统、闭环控制系统及复合控制系统。

1. 开环控制

开环控制是指系统的输出量(被控量)对系统的控制作用没有影响。从系统的信号流向看,控制信号的传递方向只有顺向没有反馈。这种控制方式需要控制的是被控量,而系统可调节的只有给定值。开环控制的原理框图如图 1-5 所示。



图 1-5 开环控制的原理框图

这种控制方式的系统结构和控制方法都比较简单,系统的抗干扰能力差,控制精度完全取决于系统各组成环节的精度。当系统存在干扰或系统参数发生变化时,会直接影响被控量,而系统无法自动补偿,因而控制精度难以保证。这种控制系统适用于系统结构参数稳定,且不存在干扰或干扰很弱,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、包装机以及一些自动化流水线,多属于该类控制系统。

2. 闭环控制

闭环控制是指系统的输出量(被控量)对系统的控制作用有直接影响。从系统的信号流向看,系统输出信号沿反馈通道(一般由检测、变送器构成)回送到系统的输入端形成反馈信号,由于控制系统中存在反馈回路,故称为闭环控制或反馈控制。闭环控制的原理框图如图 1-6 所示。

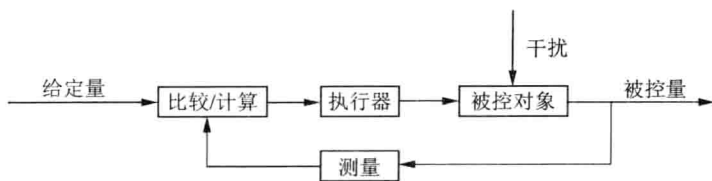


图 1-6 闭环控制的原理框图

这种控制方式的一个突出优点，即不论是由于外界干扰还是由于系统内参数的变化引起的被控量偏离给定量，系统都能产生控制作用减小或消除这个偏差，从而使系统达到较高的控制精度。利用偏差来纠正偏差的控制过程是闭环控制的基本原理，这一原理为系统实现高品质控制提供了可能性。但与开环控制系统相比，闭环控制系统的结构比较复杂，调试较为困难。由于闭环控制存在反馈信号，若系统元件参数配合不当，容易产生振荡，使系统不能正常工作。

从比较开环和闭环控制系统的特点可以看出，当系统的输入量预先知道，且不存在其他任何干扰时，采用开环控制系统较为合适，而当存在无法预计的外部干扰或系统参数变化时，采用闭环控制系统更有优越性；从系统稳定性的观点来看，开环控制系统不存在稳定性的问题，而在闭环控制系统中，稳定性始终是一个重要问题；闭环控制系统的输出对外部干扰和内部参数变化不敏感，可以使用低精密的元件构成高精密的控制系统，而这一点对于开环控制系统是不可能做到的；闭环控制系统采用的元件数量较多，因此系统成本和功率要比开环控制系统高。将开环控制与闭环控制适当结合构成复合控制系统，能获得满意的综合控制性能。

3. 复合控制

复合控制是在闭环控制的基础上，附加一个给定或干扰信号的顺馈通路，对该信号实行加强或补偿，以达到精确的控制效果。常用的复合控制包括给定补偿的复合控制(见图 1-7)和干扰补偿的复合控制(见图 1-8)两种方式。

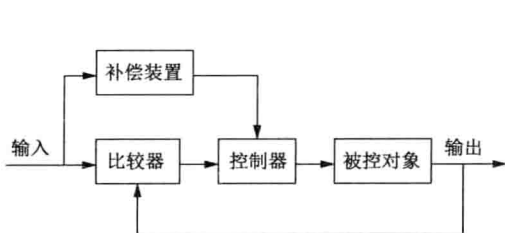


图 1-7 具有给定补偿的复合控制

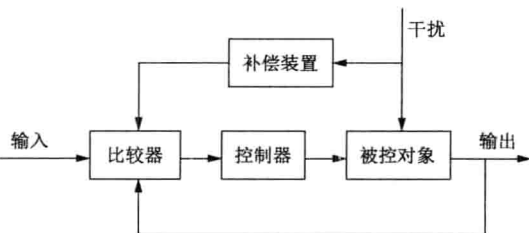


图 1-8 具有干扰补偿的复合控制

具有给定补偿的复合控制由附加的补偿装置提供了一个顺馈控制信号，与原输入信号一起对被控对象进行控制，以提高系统的跟踪能力。这种控制方式使得系统控制能力得到加强。具有干扰补偿的复合控制由附加的补偿装置提供控制作用，用于补偿干扰对被控量的影响。这种控制方式也称为前馈控制，是一种主动控制方式，即可以在干扰影响被控量之前，就将干扰完全抵消。前馈控制适合于强干扰及干扰可测的工作环境。在后续章节将对复合控制做进一步的分析。

1.1.3 自动控制系统的组成

一般来说,自动控制系统由被控对象和控制装置两部分组成。在工业过程控制中,控制装置主要包括检测元件、变送器、控制器(校正装置)或计算机装置、执行机构等,分别完成检测、运算和执行等功能。典型自动控制系统的组成框图如图 1-9 所示,其中各部分的功能如下。

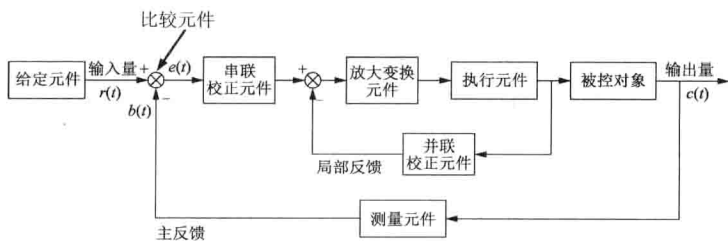


图 1-9 自动控制系统的组成

(1) 给定元件:其功能是确定被控对象的目标值,即给定值,要求给定值与测量值的信号种类和量纲保持一致,给定量可以是各种形式,如电量、非电量、数字量、模拟量等。常用的给定元件有电位器、给定积分器等。

(2) 测量元件:其功能是检测被控量,并将检测值转换为便于处理的电压或电流信号后,传送到输入比较装置。通常测量元件出现在反馈回路中。例如,调速系统的测速发电机是常用的速度测量元件。

(3) 比较元件:图中用“ $\otimes$ ”表示,其功能是将给定值与测量值进行比较,求出两者之间的偏差。常用的比较元件有差动放大器、机械差动装置、电桥电路等。

(4) 放大元件:其功能是将比较元件给出的偏差信号进行放大,以便有足够的功率来推动执行元件执行控制。常用晶体管、集成电路、晶闸管等组成电压放大器和功率放大器作为放大元件。

(5) 执行元件:其功能是直接推动被控对象,使被控量发生变化。常用的执行元件有阀门、伺服电动机、液压马达等。

(6) 校正元件:在系统基本结构基础上附加的元件或装置,其参数可灵活调整,主要用于改善系统的控制性能,工程上又称为调节器。通常采用串联或反馈的方式连接在系统中,简单的校正元件如 RC 网络,复杂的校正元件可包含微型计算机。在工程实际中,常常将比较元件、放大元件及校正元件组合在一起形成一个装置,称为控制元件或控制器。

(7) 被控对象:控制系统中需要控制的对象,通常为生产设备或工作机构等。

1.2 自动控制系统的分类

自动控制系统的形式多种多样,因此,自动控制系统有多种不同的分类方法,常见的有以下几种。

1.2.1 按给定值的变化规律分类

自动控制系统按给定值的变化规律可分为恒值控制系统、随动控制系统和程序控制系统。

1) 恒值控制系统

恒值控制系统是生产过程中最常见的一类控制系统,其特点是系统的给定值为一恒定值,控制的目的是要求系统的被控量等于给定值,且保持恒定不变。多数过程控制系统均属于此类控制系统,如电动机恒速、恒温、恒压及恒液位控制等。

2) 随动控制系统

随动控制系统又称为伺服系统、跟踪控制系统,其特点是系统给定值按事先未知的时间函数变化(有时是完全随机的),控制的目的是要求系统的被控量能快速、准确地跟随给定值的变化。例如,雷达天线控制系统、轮舵位置控制系统、火炮自动跟踪系统、自动驾驶系统、自动导航系统及工业自动化仪表的显示记录控制等均属于这类控制系统。

3) 程序控制系统

在程序控制系统中,给定值是按事先预定的规律变化,是一个已知的时间函数,控制的目的是要求被控量按照确定的给定时间函数变化。例如,机械加工中的数控机床、耐火材料生产中的加热炉的程序升温控制等均属于这类控制系统。

1.2.2 按系统的信号形式分类

自动控制系统按系统的信号形式不同可分为连续控制系统和离散控制系统。

1) 连续控制系统

连续控制系统的特点是系统各部分的信号均为时间变量的连续函数,即为模拟量。连续控制系统的运动状态或特性通常可用微分方程来描述。例如,模拟式仪表实现自动化的过程控制系统就属于这类系统。

2) 离散控制系统

离散控制系统的特点是系统中某处或多处信号为时间变量的离散函数,如脉冲序列、数字量。离散控制系统的运动状态或特性通常可用差分方程来描述。系统中的离散信号可由连续信号通过采样开关获得,具有采样功能的控制系统又称为采样控制系统。例如,不考虑量化问题,利用计算机实现生产过程的直接数字控制(DDC)就是一个典型的采样控制系统。

1.2.3 按系统的特性分类

自动控制系统按照系统的特性不同可分为线性系统和非线性系统。

1) 线性系统

由线性微分方程或线性差分方程所描述的系统称为线性系统。线性系统的特点是具有

叠加性和均匀性。若描述系统运动规律的微分或差分方程的系数是常数,则称为线性定常(时不变)系统。本书讨论的系统都是指线性定常系统。

2) 非线性系统

由非线性系统方程所描述的系统称为非线性系统。非线性系统不具有叠加性和均匀性,因此叠加原理不适用。这一类系统需要利用非线性控制理论的方法进行研究。

1.3 自动控制系统的基本要求

对于一个实际的自动控制系统的要求首先是系统必须保持绝对稳定,不能失控,否则系统无法正常工作,甚至造成设备损坏、人身事故等重大损失。直流电动机的失磁、导弹发射的失控、运动机械的增幅振荡等都属于系统不稳定的状态。

在系统绝对稳定的前提下,要求系统应具有很好的动态性能和稳态性能。有关系统的动态和稳态性能的具体评价指标在第 3 章将详细叙述。工程上对系统性能的基本要求有 3 个方面,即稳定性、快速性、准确性。

1.3.1 稳定性

系统稳定性是指当系统受到外加信号(给定或扰动)作用后,系统响应的暂态过渡过程的振荡倾向和系统恢复平衡的能力。若系统在外加信号作用后,被控量被迫偏离原先的稳定平衡状态,但在控制作用下,经过一段时间,被控量可以过渡到某一新的稳定平衡状态,则系统是稳定的,如图 1-10(a)所示;否则系统不稳定,如图 1-10(b)所示。显然,不稳定的系统是无法正常工作的。对于一个实际控制系统,不仅系统要具有稳定性(指的是绝对稳定性),而且其输出响应的动态过程的振荡不宜过大(指的是相对稳定性),否则无法满足生产要求。

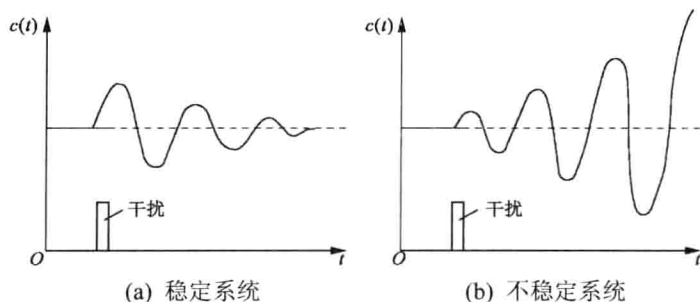


图 1-10 稳定系统和不稳定系统

1.3.2 快速性

系统的快速性可用系统动态过程的时间长短来描述,如图 1-11 所示。动态过程的时间

越短,快速性越好,反之亦然。快速性表明了系统输出对输入信号响应的快慢程度。

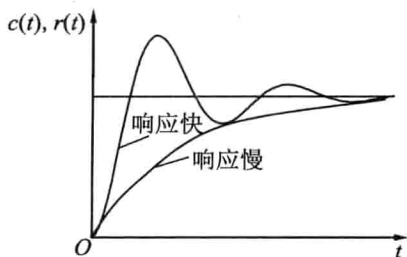


图 1-11 控制系统的快速性

1.3.3 准确性

系统的准确性可用输入给定值与输出响应的终值之差(e_{ss})来描述,如图 1-12 所示。系统的准确性反映了系统的稳态精度,若 e_{ss} 不为 0,则为有差系统;反之,若 $e_{ss}=0$,则为无差系统。

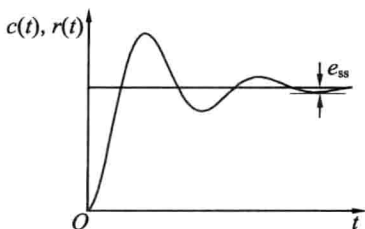


图 1-12 控制系统的稳态精度

对于控制系统的稳定性、快速性、准确性的要求往往是相互制约的。过分提高系统响应的快速性,可能导致系统振荡加剧,甚至不稳定;而过分强调改善相对稳定性,又可能使系统响应迟缓,最终导致系统控制精度降低。根据系统具体任务的不同,在分析和设计自动控制系统时,对系统稳定性、快速性、准确性三方面的性能要求应统筹考虑,并有所侧重,从而全面满足系统性能要求。

1.4 应用实例

大多数自动控制系统、自动调节系统以及伺服机构都是应用反馈控制原理控制某一个被控对象(如锅炉、机械手臂、机床工作台等)或是一个生产过程(如切削过程、加热过程,位置监测过程等)。下面以几个典型控制工程实例加以说明。

【例1-1】 电炉箱温度控制系统如图1-13 所示。试分析系统的工作原理,并画出系统原理结构框图。

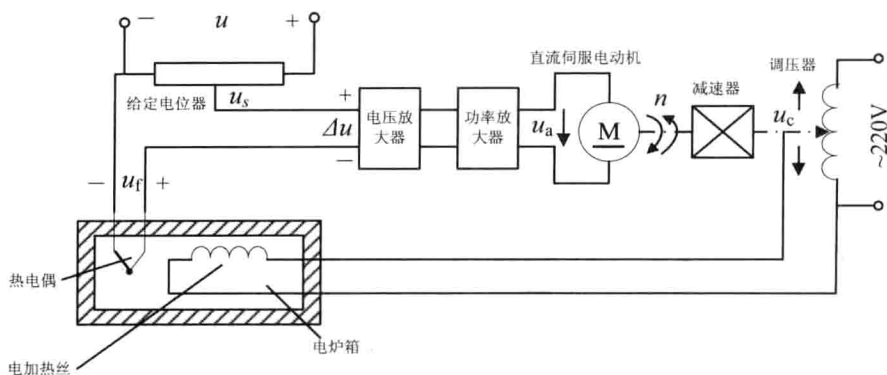


图 1-13 电炉箱温度控制系统

解：

(1) 系统的工作原理。

电炉箱温度控制系统为一闭环恒温控制系统。系统采用热电偶检测电炉箱实时温度，并将炉温转换成电压信号 $u_f(\text{mV})$ ，反馈至输入端与给定电压 u_s 进行比较，求得两者的偏差 $\Delta u = u_s - u_f$ ，此偏差电压作为控制信号，经电压放大和功率放大后驱动直流伺服电动机转动，经减速器带动调压变压器的滑动触头移动，完成炉温调节。

当炉温偏低时，则有 $u_f < u_s$ ， $\Delta u > 0$ ，即偏差电压极性为正，经电压放大和功率放大后，输出电压 ($u_a > 0$) 加于电动机电枢，使电动机正转，使得调压变压器滑动触点上移，即使得电炉箱的供电电压 (u_c) 增大，电流加大，炉温上升，直至炉温升至给定值为止，此时有 $u_f = u_s$ ， $\Delta u = 0$ 。反之，当炉温偏高时，则有 $u_f > u_s$ ， $\Delta u < 0$ ，放大后驱动电动机反转，使得调压变压器滑动触点下移，电炉箱的供电电压 (u_c) 减小，炉温下降，直至炉温降至给定值。可见，经闭环调节可维持炉温基本恒定。

(2) 系统的原理框图。

电炉箱恒温控制系统的结构框图如图 1-14 所示。

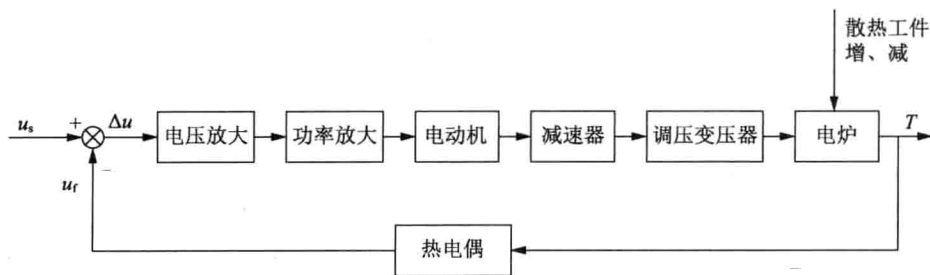


图 1-14 电炉箱恒温控制系统的结构框图

在图 1-14 中，被控对象是电炉箱，被控量是电炉箱的炉温，测量元件是热电偶，用于检测电炉箱的炉温，由给定电位器设定炉温的给定值，放大器(电压放大器和功率放大器)用于求出给定炉温与实际炉温的偏差，偏差电压被放大后驱动执行机构动作，系统的执行机构是直流伺服电动机和减速器，直流伺服电动机带动减速器调节调压变压器的触头，从