



高等学校建筑环境与能源应用工程专业规划教材

建筑环境与能源系统控制

李 慧 王桂荣 魏建平 段晨旭◎编著



中国建筑工业出版社

高等学校建筑环境与能源应用工程专业规划教材

建筑环境与能源系统控制

李 慧 王桂荣 魏建平 段晨旭 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑环境与能源系统控制/李慧等编著. —北京: 中国
建筑工业出版社, 2019. 6

高等学校建筑环境与能源应用工程专业规划教材

ISBN 978-7-112-23222-2

I. ①建… II. ①李… III. ①建筑工程-环境管
理-高等学校-教材②能源管理系统-高等学校-教材

IV. ①TU-023②TK018

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 016594 号

责任编辑: 张文胜 齐庆梅

责任校对: 李欣慰

高等学校建筑环境与能源应用工程专业规划教材

建筑环境与能源系统控制

李 慧 王桂荣 魏建平 段晨旭 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 15½ 字数: 381 千字

2019 年 4 月第一版 2019 年 4 月第一次印刷

定价: 38.00 元

ISBN 978-7-112-23222-2

(33304)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

随着科学技术的发展,自动控制技术在建筑环境、能源工程、制冷装置、区域能源等领域得到了越来越广泛的应用。自动控制技术对充分发挥不同系统的各项功能,并实现节能运行起到了至关重要的作用。但目前此领域的自动控制技术应用做得还远远不够,大多数计算机控制系统没有发挥其应有的作用。为了满足相关专业教学的需要,在多年教学实践和工程实践的基础上,经过不断总结归纳完成此教材。

本书根据建筑环境与能源应用工程、新能源科学与工程及制冷专业学生要达到的自动化能力需求所需掌握的知识为主线,确定教材内容。全书共分11章,从知识结构看可划分为5部分。第1部分包含第1章、第2章和第3章,主要介绍自动控制原理的基础知识和自动控制系统。在编写过程中尽量将基础知识与专业应用对象相结合,并结合MATLAB仿真,有利于学生的理解和掌握。第2部分包含第4章和第5章,主要介绍执行器和电气控制,让学生了解工程中常用调节阀的分类、特点及控制电路,变频器的特点及应用,常规的电器元件及电气控制设计等。第3部分为第6章,主要介绍计算机控制技术及计算机网络技术,包括计算机控制系统的组成、数字控制器的设计与实现、计算机网络基础和常用的计算机网络通信协议等。第4部分包含第7章、第8章和第9章。主要针对中央空调系统、冷热源系统、分布式能源系统等自动控制的实现作了深入分析。通过该部分的学习,学生能进行相关系统的自控设计。第10章和第11章为第5部分,主要介绍自动控制技术在该领域的应用案例及当前比较前沿的物联网技术在该领域的应用。

本书第1~3章、第9~11章由李慧教授编写,第6、7章由王桂荣副教授编写,第5章由魏建平副教授编写,第4章和第8章由段晨旭教授编写。其中研究生张小东参与了第11章的编写工作,研究生张小东、张珣珣、单明珠、曹宇也参与了书稿校正和绘图工作,在此一并感谢。

本书可作为建筑环境与能源应用工程、新能源科学与工程及制冷等专业的自动化教材,也可供建筑能源自动化相关工程技术人员参考。

由于编者水平有限,书中错误和不足之处难免,敬请读者批评指正。

编 者

2018年12月16日

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 自动控制系统基本概念	1
1.1.1 什么是控制?	1
1.1.2 自动控制系统的组成	3
1.2 自动控制系统分类	3
1.3 自动控制系统的性能指标	6
本章习题	9
第 2 章 自动控制基本原理	11
2.1 传递函数	11
2.1.1 拉氏变换	11
2.1.2 传递函数	13
2.1.3 典型环节的传递函数	16
2.2 控制系统结构图	18
2.2.1 控制系统结构图的组成	18
2.2.2 系统结构图的化简	19
2.3 线性系统稳定性分析	22
2.3.1 线性系统稳定充要条件分析	23
2.3.2 稳定性判据	23
2.4 线性系统稳定误差	26
2.4.1 稳态误差的定义	26
2.4.2 稳态误差系数	27
2.4.3 不同系统类型下稳态误差与稳态误差系数	27
2.5 线性系统动态特性分析	29
2.5.1 线性系统阶跃响应的动态指标	29
2.5.2 一阶系统的动态响应	30
2.5.3 二阶系统的动态响应	31
本章习题	35
第 3 章 自动控制系统	37
3.1 被控对象特性及数学模型	37
3.1.1 被控对象特性	37
3.1.2 被控对象数学模型	41
3.2 调节器及其调节过程	48
3.2.1 位式调节	48

3.2.2	比例调节	51
3.2.3	比例积分调节	53
3.2.4	比例微分调节	59
3.2.5	比例积分微分调节	61
3.2.6	调节规律的选择	62
3.3	控制系统的工程整定方法	63
3.3.1	动态特性参数法	63
3.3.2	稳定边界法(临界比例带)	64
3.3.3	衰减曲线法	65
3.4	复杂控制系统	66
3.4.1	串级控制系统	66
3.4.2	前馈—反馈控制系统	71
	本章习题	73
第4章	执行器	76
4.1	电动执行器的分类	76
4.2	建筑环境与能源自动化系统中常用的电动阀	81
4.2.1	电动蝶阀	81
4.2.2	电动直通单座调节阀(简称两通阀)	82
4.2.3	电动直通双座调节阀	82
4.2.4	电动三通调节阀	82
4.2.5	电动风阀	83
4.3	调节阀的流量特性	84
4.3.1	调节阀的理想流量特性	85
4.3.2	调节阀的工作流量特性	87
4.3.3	流量特性的选择	88
4.3.4	调节阀的选择	91
4.4	变频调速技术	92
4.4.1	变频器的结构	92
4.4.2	变频器的分类	93
4.4.3	变频器控制电路	94
4.4.4	水泵变频控制	95
	本章习题	97
第5章	电气控制基础	99
5.1	电器基础知识	99
5.1.1	电器及分类	99
5.1.2	电器的作用	100
5.1.3	刀开关与空气开关	101
5.1.4	按钮	103
5.1.5	接触器	103

5.1.6 继电器	105
5.1.7 熔断器	108
5.2 电动机基本控制线路	108
5.2.1 空气开关直接控制电机启停	109
5.2.2 电机连续运行控制	109
本章习题.....	110
第6章 计算机控制及计算机网络技术	111
6.1 计算机控制技术	111
6.1.1 计算机控制概述	111
6.1.2 计算机控制系统的组成	111
6.1.3 计算机控制系统的分类	113
6.1.4 计算机控制系统的控制规律	116
6.2 计算机网络与通信技术	122
6.2.1 计算机网络基础	122
6.2.2 计算控制网络及通信协议	129
本章习题.....	133
第7章 中央空调自动控制系统	134
7.1 概述	134
7.2 新风机组自动控制系统	134
7.2.1 新风机组的功能	134
7.2.2 新风机组的组成	135
7.2.3 新风机组的监控	136
7.3 空调机组自动控制系统	139
7.3.1 定风量空调自动控制系统	139
7.3.2 变风量空调自动控制系统	145
7.4 风机盘管控制系统	155
7.4.1 独立风机盘管控制系统	155
7.4.2 风机盘管联网控制系统	156
本章习题.....	157
第8章 冷热源系统自动控制	158
8.1 空调冷源系统的自动控制	158
8.1.1 冷源系统运行参数监控	158
8.1.2 冷水机组控制	160
8.1.3 冷水系统的自动控制	162
8.1.4 冷却水系统控制	171
8.1.5 设备相互备用切换与均衡运行控制	174
8.2 集中供热系统自动控制	174
8.2.1 换热站的供热形式	175
8.2.2 集中供热的自动控制系统	179

8.2.3 间接连接供热的换热站监控系统设计	182
本章习题	187
第9章 天然气冷热电分布式能源系统自动控制	189
9.1 概述	189
9.2 天然气冷热电分布式能源系统典型工艺流程	190
9.3 微燃机分布式能源系统自动控制	192
9.3.1 微燃机	193
9.3.2 余热型溴化锂吸收式冷(热)水机组自动控制	196
本章习题	197
第10章 建筑环境与能源系统自动控制应用工程	199
10.1 山东省浅层地热能—太阳能示范工程监控系统	199
10.1.1 工程概况	199
10.1.2 监控设计功能需求	199
10.1.3 监控设计方案	200
10.1.4 硬件设计	203
10.1.5 软件设计	205
10.2 太阳能辅助 VRV 地源热泵空调系统实验平台	207
10.2.1 实验平台概况	207
10.2.2 太阳能辅助 VRV 地源热泵系统监控设计	207
10.2.3 硬件平台设计	209
10.2.4 软件平台设计	210
10.2.5 项目的远程 Web 访问	214
第11章 基于 Niagara 的能源物联网技术	216
11.1 概述	216
11.2 Niagara 物联网技术	217
11.2.1 Niagara 4	217
11.2.2 JACE 8000	219
11.2.3 IO-28U	219
11.3 基于 Niagara 的太阳能—空气源热泵空调系统物联网监控平台	219
11.3.1 项目简介	219
11.3.2 监控方案设计	220
11.3.3 系统硬件平台	222
11.3.4 系统通信协议	223
11.3.5 基于 Niagara 的软件开发	226
参考文献	236

第 1 章 概 述

1.1 自动控制系统基本概念

1.1.1 什么是控制？

现实生活中，每个人都会碰到控制。例如，当洗澡的时候，会手动调节冷热水阀使出水温度满足洗澡要求；当感受到房间内光线暗淡的时候，会把灯打开；当驱车上上班的时候，会通过脚踩油门达到想要的车速。上述例子均属于手动控制的范畴。图 1-1 为冬季工况下室内温度人工控制示意图。假如人们希望将室内的温度控制在 20°C ，即室内温度的期望值为 20°C ，要实现人工控制，首先，操作人员用眼睛观察玻璃温度计的示值；然后，操作人员用大脑判断室内的温度比期望值高还是低，确定其偏差的大小，并依据自己的经验经过分析判断，确定热水阀的调节开度；最后，操作人员用手实施热水阀的调节动作。假如操作人员观察到当前室内温度为 18°C ，则经过大脑判断当前室内温度低于室内温度期望值，且偏差为 2°C 。热水阀门应该开大，开大的程度取决于操作人员的运行经验，不同的人通常会有不同的值。经上述分析，要实现手动控制需要三步：

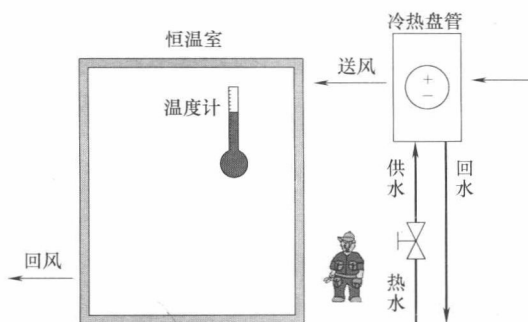


图 1-1 室内温度人工控制示意图

- (1) 用眼睛观察温度计的示值；
- (2) 用大脑比较判断温度计示值与室内温度期望值之间的差值，确定阀门开度的大小；
- (3) 用手调节阀门开度。

显然人工控制的好坏主要取决于操作人员的实践经验，不同的人会有不同的调节品质。用一套自动控制装置取代人工控制的功能，用传感器取代人的眼睛，用调节器取代人的大脑，用执行器取代人的手。使调节过程不需要人的参与就能自动执行调节任务，这就叫自动控制。在图 1-2 中，温度传感器测量室内温度，并将其测量信号传输到调节器，调节器比较室内温度测量值和期望值得到偏差信号，并按照一定的控制规律运算得到阀门调

节开度的大小，调节器的输出信号驱动电动调节阀的执行机构，通过可逆电机的旋转驱动阀门动作，改变阀门的开度，从而改变热水盘管的加热量，达到房间内温度控制的目的。将自动控制装置与被控对象连接在一起就构成了自动控制系统。自动控制系统的好坏在很大程度上取决于调节规律（控制算法）的选取。

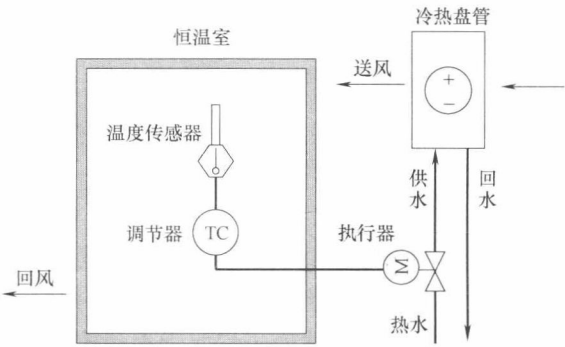


图 1-2 室内温度自动控制示意图

图 1-3 为液位控制原理图，由压力变送器检测水箱液位，将液位信号传输到液位控制器，液位控制器根据液位给定值和测量值之间的偏差按照一定的控制规律计算得到给水阀门的开度，将调节信号传输到电动调节阀执行机构，驱动阀门调节。在图 1-3 中，液位给定值为 50%，测量值为 57%，调节量阀门开度为 61%。图 1-4 为蒸汽换热器出口水温控制原理图，温度传感器测量蒸汽换热器出口水温，将温度信号传输到蒸汽温度控制器，蒸汽温度控制器根据出口水温给定值和测量值之间的差值按照一定的控制规律运算得到蒸汽电动调节阀的开度，将调节信号传输到蒸汽电动调节阀的执行机构，驱动阀的调节。当出口水温低于给定值时，蒸汽调节阀开大；当出口水温高于给定值时，蒸汽调节阀关小。调节量的大小由控制规律决定。

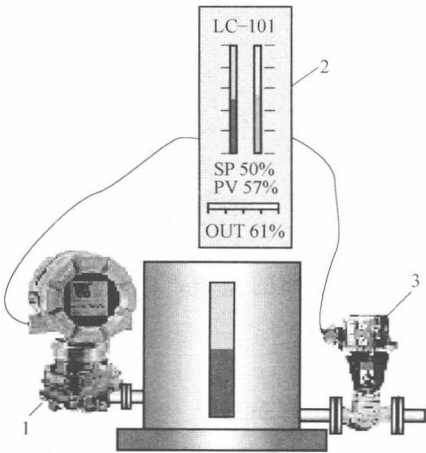


图 1-3 液位控制原理图

1—液位变送器；2—液位控制器；
3—液位电动调节阀

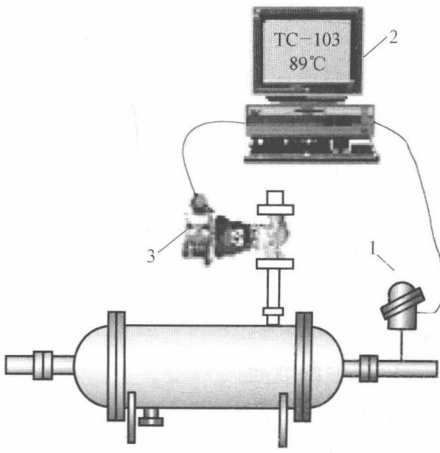


图 1-4 蒸汽换热器控制原理图

1—温度传感器；2—温度控制器；
3—蒸汽电动调节阀

1.1.2 自动控制系统的组成

通常，一个基本的自动控制系统由传感变送器、调节器、执行器和被控对象四个环节组成，如图 1-5 所示。

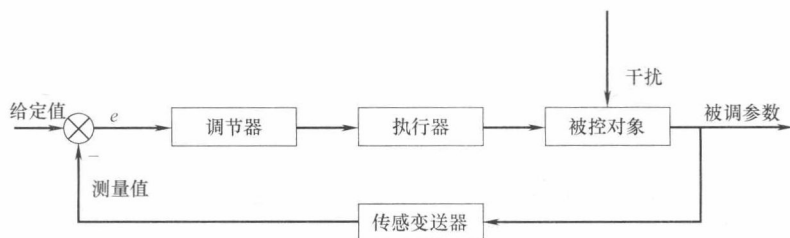


图 1-5 基本自动控制系统方框图

图 1-5 中每一个方框代表被控对象或自动控制装置的某一个设备，称为环节。环节之间用带箭头的线连接表示信号的传递方向，每一个环节有输入信号和输出信号，称为环节的输入量和环节的输出量。被控对象是指被控制的装置或设备；传感变送器用来检测被调参数的变化，将其转换成调节器需要输入的信号；调节器是自动控制系统的核心指挥机构，根据偏差信号 e 发出调节信号；执行器执行调节器的输出命令，对被控对象施加校正作用。

下面是自动控制基本术语：

- (1) 被调量：通过调节所要维持的参数；
- (2) 给定值：被调参数所要保持的数值；
- (3) 调节量：通过执行机构输出调节信号的大小；
- (4) 干扰量：引起被调参数产生偏差的外界因素；
- (5) 闭环：信号沿着箭头的方向前进，最后又回到原来的起点，形成闭合回路。

1.2 自动控制系统分类

按照不同的标准和特征，自动控制系统的分类多种多样，一般包括以下几种：(1) 按照给定值不同分类；(2) 按照系统结构不同分类；(3) 按照传输信号是否连续分类；(4) 按照系统的输入和输出关系是否为线性分类。

1. 按照给定值不同分类

(1) 定值控制系统。被调参数的给定值是恒定不变的。例如恒温房间温度控制系统，在系统的控制过程中房间温度给定值始终保持不变。锅炉汽包水位控制系统，在锅炉运行过程中，锅炉水位的给定值始终保持不变。在建筑能源系统领域，绝大多数控制系统均属于定值控制系统。

(2) 程序控制系统。给定值的大小按一定的时间函数变化， $g=f(t)$ 。如控制机床的程序控制系统的输出量应与给定量的变化规律相同。

(3) 随动控制系统。被控量给定值的大小是不可预知的。例如串级控制系统中的副回路属于随动控制系统，其给定值是不可预知的，由主回路主调节器的输出决定。锅炉燃烧控制中送风量控制系统属于随动控制系统，其给定值由燃料量决定，而燃料量又由用户负

荷决定。

2. 按照系统结构不同分类

(1) 闭环控制系统

由信号正向通道和反馈通道构成闭合回路的自动控制系统称为闭环控制系统，又称为反馈控制系统。自动控制系统多数为闭环控制系统。图 1-5 即为闭环控制系统，被调参数通过传感变送器检测输入到调节器，调节器根据给定值与被调量的偏差进行工作，最后达到消除或减小偏差的目的。闭环控制系统中偏差是控制的依据，不管什么干扰，只要引起了被调参数偏差的变化，就对该干扰施加调节作用。所以从理论上讲，反馈可以克服所有干扰对被控对象的影响。闭环控制系统的缺陷是调节作用滞后于干扰的加入，尤其当被控

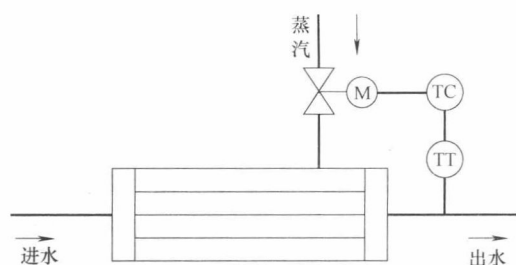


图 1-6 蒸汽换热器闭环控制系统原理图

对象的时间常数和滞后较大时，将导致调节品质变差。图 1-6 为蒸汽换热器出口水温闭环控制原理图，温度变送器 TT 检测蒸汽换热器出口水温，将其传递给温度控制器 TC，温度控制器根据出口水温给定值和测量值的偏差施加调节作用，达到减少偏差或消除偏差的目的。

(2) 开环控制系统

又称为前馈控制系统，直接根据扰动进行工作，扰动是控制的依据。没有被控量的反馈，由于无法检查控制效果，一般不单独使用。在图 1-6 的闭环控制系统中，如果学校浴室采用该蒸汽换热器给学生制备洗澡热水，例如设定出口水温给定值为 45°C ，若学生洗澡人数突然增加，将导致用水量突然增加，对于闭环反馈控制，将导致部分时间洗澡水温度低于 45°C ，不能满足学生要求。同时可以发现，用水量是一个不可控的变量，由用户负荷决定。显然用水量的变化在蒸汽换热器出口水温控制中是一个主要干扰，为了及时克服干扰对被调参数的影响，设计了开环控制系统，如图 1-7 所示。由流量变送器 FT 测量给水流量，将测量值输入到前馈控制器 FC，前馈控制器根据流量的变化对蒸汽电动调节阀施加调节作用。显然，前馈控制可以及时克服流量变化干扰对出口水温控制的影响。图 1-8 为前馈控制系统方框图。

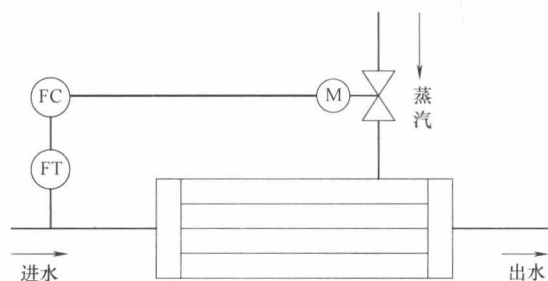


图 1-7 前馈控制系统原理图

(3) 复合控制系统

又称为前馈—反馈系统，主要干扰采取前馈控制，其他干扰采取反馈控制。在图 1-7 中，蒸汽换热器出口水温的控制，水流量的变化是主要干扰，除此之外，干扰还有入口水

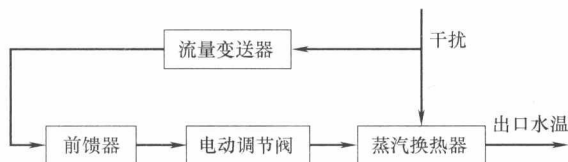


图 1-8 前馈控制系统方框图

温的变化、蒸汽干管压力波动等。显然，前馈控制只能克服水流量变化对出口水温的影响，而对于其他干扰是无能为力的。为了综合闭环控制和前馈控制的优点，设计了前馈—反馈控制系统，如图 1-9 所示。主要干扰水流量由前馈控制器负责，而其他的次要干扰（只要引起了出口水温变化），由反馈控制器负责。前馈控制器的输出和反馈控制器的输出求和后共同驱动电动调节阀的动作。图 1-10 为复合控制系统方框图。

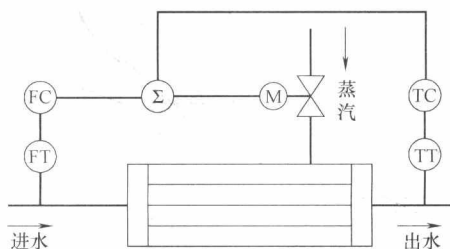


图 1-9 复合控制系统原理图

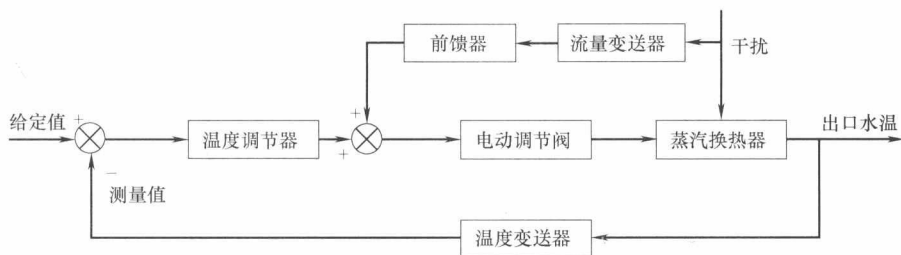


图 1-10 复合控制系统方框图

3. 按信号传输是否连续分类

(1) 连续控制系统

连续控制系统是指控制系统内各环节的信号传递均为连续的模拟量信号，数学模型可采用微分方程和传递函数。连续控制系统的控制器通常为模拟电子器件。

(2) 离散控制系统

离散控制系统又称为采样控制系统或脉冲控制系统，是指控制系统中一处或多处的信号传递是脉冲序列或数字编码信号。通常采用计算机构成的控制系统都是离散控制系统，数学模型可采用差分方程和 Z 传递函数。

4. 按系统的输入和输出关系是否为线性分类

(1) 线性控制系统

控制系统的输出量与输入量之间的关系是线性的。线性系统中所有环节的输入和输出

均为线性, 数学模型可以采用线性微分方程、传递函数或差分方程来描述。线性控制系统的主要特征是满足叠加性和齐次性原理。

(2) 非线性控制系统

是指控制系统中的某些环节具有非线性, 只能用非线性微分方程描述, 不能采用线性微分方程、不满足叠加原理。实际上, 理想的线性控制系统是不存在的, 一个控制系统或多或少均存在一定的非线性。若这种非线性特性在一定范围内或一定条件下呈现线性特征, 则可将其进行线性化处理, 从而将非线性系统转变为线性控制系统。反之, 则只能采用非线性控制理论研究。

1.3 自动控制系统的性能指标

在系统的自动控制过程中, 通常包含静态和动态两种状态。所谓静态, 是指被控量不随时间而变化的平衡状态; 所谓动态, 是指被控量随时间而变化的不平衡状态。对于一个控制系统, 由于每时每刻都有干扰作用于被控对象, 导致整个系统的控制处于一波未平一波又起的状态, 因此, 研究自动控制系统的动态更有意义。

1. 过渡响应

当自动控制系统的输入发生变化后, 被控量随时间而变化的过程称为系统的过渡响应。对于一个稳定的系统, 通常以阶跃输入信号为例。阶跃输入信号是指输入信号突然从一个值变化到另一个值, 并且保持下去不再改变的输入信号。如图 1-11 所示。自动控制系统的过渡响应共有 4 种形式, 如图 1-12 所示, 图 1-12 (a) 为发散振荡过程, 当给该系统施加阶跃输入信号时, 被控量的变化幅度越来越大, 系统是不稳定的。在控制系统设计过程中应避免出现该过程。图 1-12 (b) 为等幅振荡过程, 对于连续控制系统, 等幅振荡过程是非稳定的, 但在位式开关量控制过程中, 系统的过渡响应曲线近似为等幅振荡。图 1-12 (c) 为衰减振荡过程, 当给该系统施加阶跃输入信号时, 被控量经过几个周期的波动很快趋于稳态。图 1-12 (d) 为单调过程, 系统没有振荡, 被控量渐渐趋于稳态值。图 1-12 (c) 和 (d) 均为稳定的过渡响应过程, 对于单调过程, 由于调节时间太长, 在过程控制中一般不采用。而在被控量不允许出现振荡的控制中采用单调过程响应, 例如数控机床标准件加工。对于衰减振荡, 由于可以很快趋于稳态, 调节时间较短, 在过程控制中一般采用衰减振荡。

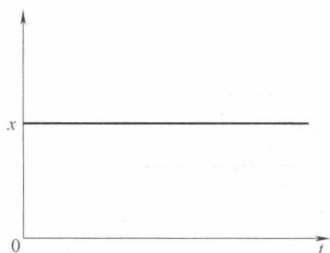


图 1-11 阶跃输入信号

当给该系统施加阶跃输入信号时, 被控量的变化幅度越来越大, 系统是不稳定的。在控制系统设计过程中应避免出现该过程。图 1-12 (b) 为等幅振荡过程, 对于连续控制系统, 等幅振荡过程是非稳定的, 但在位式开关量控制过程中, 系统的过渡响应曲线近似为等幅振荡。图 1-12 (c) 为衰减振荡过程, 当给该系统施加阶跃输入信号时, 被控量经过几个周期的波动很快趋于稳态。图 1-12 (d) 为单调过程, 系统没有振荡, 被控量渐渐趋于稳态值。图 1-12 (c) 和 (d) 均为稳定的过渡响应过程, 对于单调过程, 由于调节时间太长, 在过程控制中一般不采用。而在被控量不允许出现振荡的控制中采用单调过程响应, 例如数控机床标准件加工。对于衰减振荡, 由于可以很快趋于稳态, 调节时间较短, 在过程控制中一般采用衰减振荡。

2. 性能指标

自动控制系统的输入有两种: 一种是给定输入, 一种是干扰输入, 可参照图 1-5。在不同的输入下, 系统的过渡响应曲线不同。图 1-13 为干扰作用下系统的过渡响应曲线, 干扰作用下被控量经过几个周期的波动后将回到零 [图 1-13 (a) 无差调节] 或零附近 [图 1-13 (b) 有差调节]。图 1-14 为给定作用下系统的过渡响应曲线。给定作用下被控量将跟踪新的给定值, 在图 1-14 中, 给定值增量变化为 1, 即被控量经过几个周期波动后将稳定到 1 [图 1-14 (a) 无差调节] 或 1 附近 [图 1-14 (b) 有差调节]。

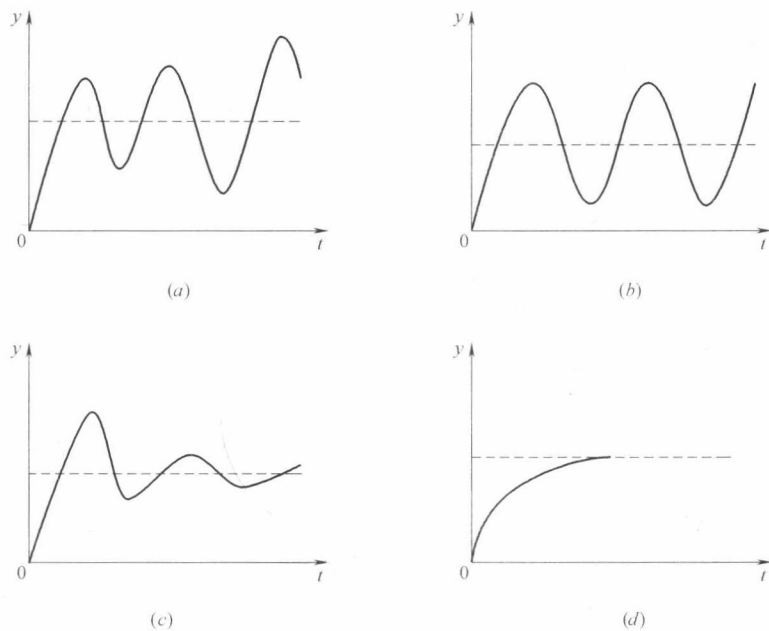


图 1-12 过渡响应过程

(a) 发散振荡; (b) 等幅振荡; (c) 衰减振荡; (d) 单调过程

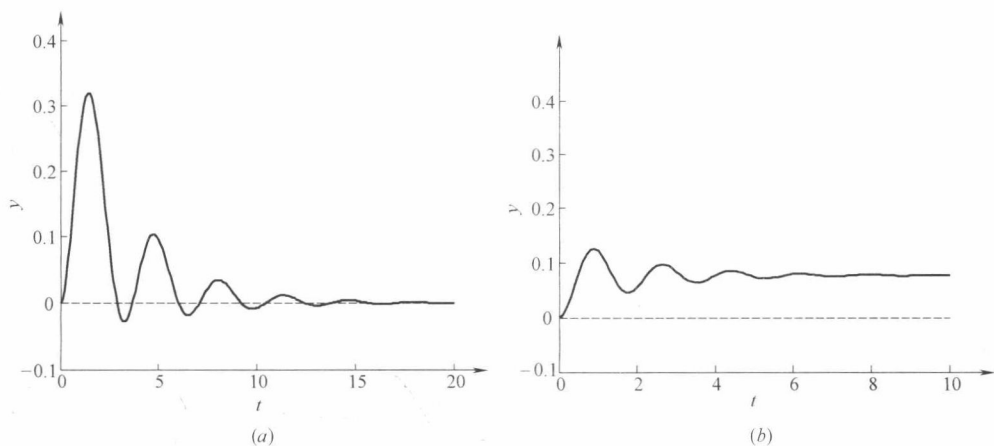


图 1-13 干扰作用下系统的过渡响应曲线

(a) 无差调节; (b) 有差调节

评价自动控制系统的性能指标主要从稳定性、快速性和准确性三个方面。以给定作用下系统的过渡响应曲线为例,如图 1-15 所示,具体指标如下:

(1) 衰减比 n 和衰减率 φ

衰减比是指前后两个波峰的比值。

$$n = \frac{y_1}{y_2} \quad (1-1)$$

当 $n < 1$ 时,系统为发散振荡;当 $n = 1$ 时,系统为等幅振荡;当 $n > 1$ 时,系统为衰减振荡; n 小时衰减慢, n 很大时则接近单调过程。

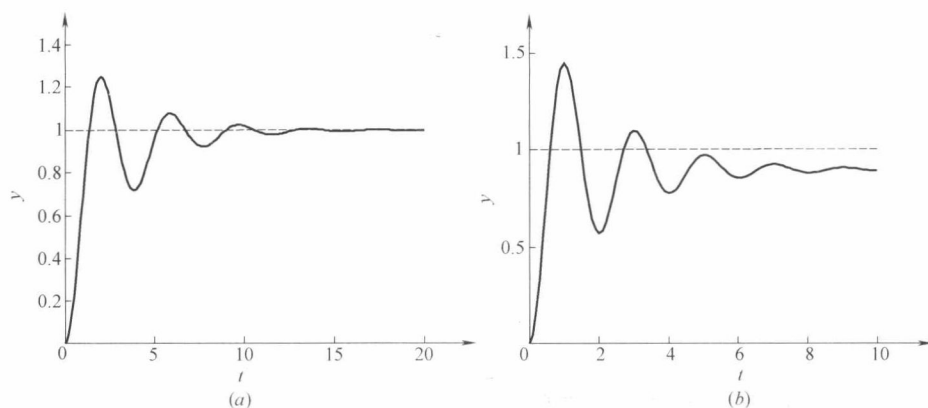


图 1-14 给定作用下系统的过渡响应曲线

(a) 无差调节; (b) 有差调节

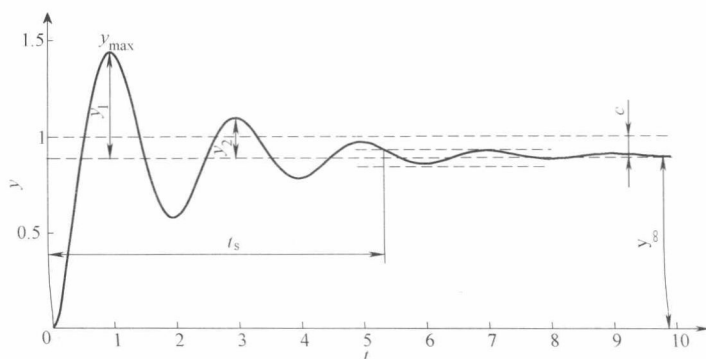


图 1-15 自动控制系统的性能指标示意图

衰减率 φ 是指每经过一个周期后, 波动幅度衰减的百分数。

$$\varphi = \frac{y_1 - y_2}{y_1} \quad (1-2)$$

(2) 最大偏差 A

被控量偏离给定值的最大偏差值。

(3) 超调量 σ

通常是指百分比超调量, 是指第一峰值与新稳态值之差与稳态值的百分比。

(4) 调节时间 t_s

从干扰发生起, 到被控量进入新的稳态值上下 5% 或 3% 范围内并不再超出所需要的时间。

(5) 峰值时间 t_p

过渡响应达到第一个峰值所需要的时间。

(6) 振荡周期 T

从第一个波峰到第二个波峰所需要的时间。

(7) 静差 C

过渡响应达到新的平衡后被调参数稳态值与给定值之差。

在上述指标中,衰减比、衰减率、最大偏差和超调量表征系统的稳定性;峰值时间、调节时间和振荡周期表征系统的快速性;静差表征系统的准确性。

此外,为了综合评价系统的性能指标,可以采用误差积分的形式,所谓误差积分,是指将系统的过渡响应动态偏差沿时间轴积分。积分形式可采用绝对值误差积分(Absolute Error Integral, AEI)、平方误差积分(Square Error Integral, SEI)和时间绝对值误差积分(Time and Absolute Error Integral, TAEI)。数学表达式依次为式(1-3)~式(1-5)。

$$AEI = \int_0^{\infty} |e| dt \quad (1-3)$$

$$SEI = \int_0^{\infty} e^2 dt \quad (1-4)$$

$$TAEI = \int_0^{\infty} t |e| dt \quad (1-5)$$

在这三个动态误差积分形式中,SEI侧重于最大动态偏差,TAEI兼顾调节时间和最大动态偏差两项指标。

本章习题

- 图 1-16 为室内温度控制系统原理图,夏季工况,希望室内温度保持在 26℃。
 - 试说明系统的工作原理。
 - 画出室内温度控制系统方框图,并解释每一环节功能。
 - 分别说出该控制系统的被控对象、被调量、调节量和干扰量。
- 图 1-17 为蒸汽换热器前馈控制系统原理图。
 - 试说明其工作原理。
 - 若改成反馈控制系统,试画出其控制系统原理图。
 - 试说出该系统的被控对象是什么?并分别说出对应该系统的被调量、调节量和干扰量。

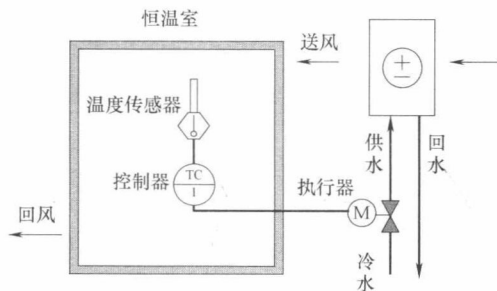


图 1-16 室内温度控制系统原理图

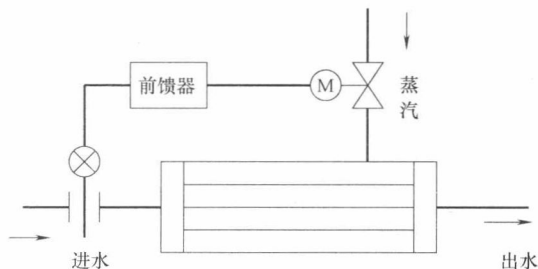


图 1-17 蒸汽换热器前馈控制系统原理图

- 自动控制系统一般情况下包括哪几个环节? 每一个环节的作用是什么?
- 按照给定值不同,自动控制系统一般分为哪几种类型? 请举出定值控制系统的例子并做简要说明。
- 自动控制系统按照系统结构不同可以划分为哪几种? 并分别画出不同系统的系统方框图。
- 试说明闭环控制系统与开环控制系统的不同点。
- 自动控制系统性能指标的基本要求是什么?
- 图 1-18 为冷库控制原理图。