

高职高专教育“十二五”规划教材

自动控制原理与系统

ZIDONG KONGZHI YUANLI YU XITONG

主 编 沈玉梅



北京工业大学出版社

高职高专教育“十二五”规划教材

自动控制原理与系统

主 编：沈玉梅
副主编：刘兰波 高 锰
 王秋菊 许艳英
 张 晴
参 编：景绍学 吴会琴
 刘 阳 马 超

北京工业大学出版社

内 容 简 介

本书第一部分内容为自动控制原理,它包括控制系统数学模型的建立,控制系统性能的分析方法(时域法和频域法),改善系统性能的途径等内容。第二部分内容为自动控制系统,它包括晶闸管直流调速系统、直流脉宽调速系统、交流调速系统的工作原理与性能分析。书末附有教学实验,主要包括自动控制原理与直流调速系统实验内容。

本书按照“任务驱动,问题引导”设计教材内容,每章前面提出学习目标,并根据学习目标设置学习任务,在每节的前面设置引导文问题,使读者带着任务和问题进行学习。每章的后面附有小结,对每章的基本内容和要求进行概括总结。

本书适用于高职高专相关专业课程,也可作为自动控制工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理与系统/沈玉梅主编. —北京:北京工业大学出版社, 2010. 8
ISBN 978-7-5639-2441-7

I. ①自… II. ①沈… III. ①自动控制理论②自动控制系统 IV. ①TP13②TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 150719 号

自动控制原理与系统

主 编: 沈玉梅

责任编辑: 初旭新

出版发行: 北京工业大学出版社

地 址: 北京市朝阳区平乐园 100 号

邮政编码: 100124

电 话: 010-67391106 010-67392308 (传真)

电子信箱: bgdcbsfxb@163.net

承印单位: 北京溢濠印刷有限公司

经销单位: 全国各地新华书店

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 17.5

字 数: 437 千字

版 次: 2010 年 8 月第 1 版

印 次: 2010 年 8 月第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-5639-2441-7

定 价: 35.00 元

版权所有 翻印必究

图书如有印装错误, 请寄回本社调换

前 言

本书是在吸收有关教材的长处及本领域新技术的基础上,根据国家教育部制定的高职高专教育教材应遵循“淡化理论,加强应用,联系实际,突出特色”的编写原则,依据电气类专业对自动控制系统课程的基本要求而编写的。

本书以自动控制系统作为分析的对象,以稳、快、准为主线,在建立系统数学模型的基础上,对系统的性能进行分析和改进,同时介绍 MATLAB 软件在控制理论和控制系统中的应用。全书共分 8 章,第 1~5 章内容为自动控制原理,它包括控制系统的数学模型、控制系统性能时域分析与频域分析和控制系统校正等,该部分内容是对自动控制系统进行分析和改进的理论基础;第 6~8 章内容为自动控制系统,它包括晶闸管直流调速系统、直流脉宽调速系统、交流调速系统的工作原理与性能分析等;第 9 章教学实验,主要包括自动控制原理与直流调速系统实验内容。

本书按照“任务驱动,问题引导”的方式设计教材内容,紧紧抓住系统分析这条主线,每章首先提出学习目标,并根据学习目标设置学习任务,在每节前面设置引导性问题,使学生带着任务和问题进行学习,激发学生内在的学习动机和积极性,再通过一定的实例分析和系统训练,培养学生的学习能力。每章的后面附有小结,对本章的基本内容和要求进行概括总结。

同时,考虑到高等职业教育的特点,在内容编排上,以应用为原则,尽量简化理论推导内容,适当地弱化数学在控制理论中的地位,根据内容进度,化整为零,将相关数学知识适当简化地穿插到教材中,使学生懂得如何去运用知识。

另外,在实验内容编排上,循序渐进,如实验一、二给出明确的实验内容和步骤,学生按照实验指导书可以完成任务,但实验三、四由学生根据实验任务和引导性问题进行实验内容和步骤的设计,改变过去学生按照实验指导书机械地进行操作的现象,使学生不但明白“做什么”,而且知道“怎样做”。

本课程内容涉及高等数学、电工基础、电子技术基础、电机与拖动和半导体变流技术等多门课程的基础知识。为便于读者学习,编者在编写时,特别注意对相关基础知识进行复习和必要的补充。

本书在编写过程中,参阅和利用了部分兄弟院校的教材及有关文献资料,书中未能一一列出。在此向参阅图书的作者表示诚挚的谢意。由于编者水平有限,加上编写时间比较仓促,书中错误和不妥之处在所难免,殷切期望广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 自动控制系统概述	1
1.1 引言	1
1.2 自动控制系统认识	2
1.3 自动控制系统的基本组成	6
1.4 自动控制系统分类	7
1.5 对自动控制系统的性能要求	9
小结	11
练习题	12
第 2 章 自动控制系统的数学模型	13
2.1 控制系统的微分方程	14
2.2 控制系统的传递函数	17
2.3 典型环节的传递函数	24
2.4 控制系统的动态框图	29
2.5 控制系统传递函数的求取	37
小结	40
练习题	41
第 3 章 自动控制系统的时域分析	44
3.1 系统时域分析概述	44
3.2 控制系统的稳定性分析	47
3.3 控制系统的动态性能分析	51
3.4 控制系统的稳态误差	60
3.5 MATLAB 软件在系统性能分析中的应用	66
小结	80
练习题	81

第 4 章 控制系统的频率特性分析	83
4.1 频率特性的基本概念	83
4.2 典型环节的伯德图	89
4.3 控制系统开环对数频率特性曲线的绘制	96
4.4 控制系统性能的频域分析	101
4.5 MATLAB 软件在系统性能频域分析中的应用	106
小结	109
练习题	109
第 5 章 控制系统的校正与设计	112
5.1 校正的基本概念	112
5.2 串联校正	115
5.3 反馈校正	122
5.4 复合校正	124
5.5 典型系统	126
5.6 系统结构的近似处理和非典型系统的典型化	130
5.7 MATLAB 软件在系统校正中的应用	133
小结	135
练习题	136
第 6 章 晶闸管直流调速系统	138
6.1 直流调速系统认识	139
6.2 转速负反馈有静差直流调速系统	144
6.3 单闭环直流调速系统的限流保护	152
6.4 电压负反馈和电流正反馈直流调速系统	155
6.5 无静差直流调速系统	158
6.6 小容量有静差直流调速系统实例	165
6.7 转速、电流双闭环直流调速系统	169
6.8 可逆直流调速系统	175
6.9 数字式直流调速系统	182

6.10 直流调速系统的 MATLAB 仿真	186
小结	194
练习题	195
第 7 章 直流脉宽调速系统	197
7.1 脉宽调制(PWM)变换器	198
7.2 脉宽调速系统的控制电路	202
7.3 由 PWM 专用集成电路控制的直流调速系统实例	204
小结	209
练习题	209
第 8 章 交流调速系统	211
8.1 交流调速的基本方法与基本类型	211
8.2 交流异步电动机的调压调速系统	213
8.3 绕线式异步电动机串级调速系统	217
8.4 交流异步电动机变压变频调速系统	226
小结	242
练习题	242
第 9 章 教学实验	244
实验一 典型环节阶跃响应研究	244
实验二 二阶系统的阶跃响应研究	248
实验三 三阶系统的瞬态响应及稳定性分析	251
实验四 控制系统的稳态误差研究	253
实验五 控制系统的串联校正研究	255
实验六 带电流截止负反馈的转速负反馈单闭环直流调速系统	257
实验七 转速、电流双闭环直流调速系统	262
实验八 逻辑无环流可逆直流调速系统	266
参考文献	271

第1章 自动控制系统概述

学习目标:

1. 能正确理解自动控制的任务,能明确自动控制系统的控制方式和特点。
2. 能简单说明自动控制系统的工作原理,能分析各组成部件的作用。
3. 能根据系统工作原理图画出系统的组成框图。
4. 熟悉自动控制系统的分类及其特点。
5. 能明确自动控制系统的基本要求。

任务描述:

在现实生活中,人们经常见到各种各样的自动控制系统。作为一名电气、机电类专业的学生,你对自动控制系统有哪些认识?请列举一种自动控制系统实例进行分析。

1.1 引言

引导文问题:

1. 在日常生活中,经常会用到高压锅、电冰箱、空调、抽水马桶等一些电器或装置,粗略说明它们的工作过程。
2. 根据上述装置的工作过程,找出它们工作的共同点(需不需要人参与,怎样控制,目标是什么),由此说明自动控制的任务是什么。
3. 列举在工业、农业、国防、交通运输、空间技术等各个领域中的应用自动控制技术的例子,说明采用自动控制的优越性。

自动控制是现代技术中必不可少的一部分。工业、农业、国防、交通运输、空间技术等领域都要依靠自动控制技术来满足高性能的需要。比如轧钢厂的带钢连轧机在轧钢过程中,应能准确地调整轧辊间隙与转速,使通过各机架的带钢能够保持秒流量相等,以保证板材厚度符合质量要求;雷达高射炮根据雷达仪传来的信息,能够自动地转动炮身,时刻瞄准目标,随时准备开火;程序控制机床能够按预先编定的工艺程序自动地进刀切削,加工出预期几何形状的零件等,这些都是以应用自动控制技术为前提的。

所谓自动控制,就是在没有人直接参与的情况下,利用各种自动装置去控制生产设备或过程,使之达到人们所希望的状态和性能。虽然生产设备或过程种类繁多,其结构和功能各异,但就自动控制原理角度来看,却有共同的要求和相似的规律,都是要求对生产过程中的某些物理量(例如转速、温度、流量、压力、位置等)进行控制,使之按照预期规律变化。如果生产过程十分简单,需要控制的物理量较少,它们的变化也较缓慢,此时采用手工操作,生产也可正常进行。若采用自动控制,大多是为减轻劳动强度,保证安全,提高劳动生产率等。

但是,在庞大而复杂的生产过程中,需要加以控制的物理量很多,而且这些物理量变化快,非人工操作所能胜任,如石油、化工、冶金生产的某些环节是在密闭的罐、炉中进行的,生产环境或高温或有毒,若不采用自动控制,生产就根本无法进行。

由此可见,自动控制技术的广泛应用,能使生产过程实现自动化,提高劳动生产率和产品质量,改善劳动条件,而且更为重要的是,一些人们难以或者根本无法实现的操作,完全可以通过自动控制技术来完成。自动控制技术已经在国民经济和国防建设中起着越来越重要的作用,自动控制理论是实现工业、农业、国防等方面科学技术现代化的理论基础。一般来说,如何使被控制的物理量按照预期规律变化,并抵消外界的扰动和影响,就是自动控制理论所要解决的基本任务。

实现自动控制所采用的技术手段是多种多样的,可用机械方法实现自动控制,也可以用电气方法、液压方法、气动方法以及它们的组合方法等来实现自动控制。其中以电气控制方法的应用最为普遍,本书将以电气控制为主要研究对象进行分析。

1.2 自动控制系统认识

引导文问题:

1. 水位控制系统和温度控制系统是最常见的自动控制系统。它们的任务分别是什么? 可以用几种方法来控制?
2. 以温度控制系统为例,按人工控制和自动控制两种实现方式,简要说明系统的各组成部分及作用,分析系统的工作原理,并比较各自特点。
3. 对一个自动控制系统,你能解释什么是被控对象、被控量、给定量和扰动量等概念吗?
4. 按照是否有反馈环节,自动控制系统可以分为哪几类? 它们各有什么特点? 在哪些场合适用?
5. 下列系统中哪些属于开环控制? 哪些属于闭环控制? 为什么?
 ①家用电冰箱 ②家用空调器 ③家用洗衣机 ④抽水马桶 ⑤多速电风扇 ⑥高楼水箱 ⑦调光台灯

1.2.1 自动控制系统示例

在许多工业生产过程和生产设备运行中,常常需要对生产设备和工艺过程进行控制,使其中的某些物理量按照指定规律变化。下面分别以水位控制系统和温度控制系统为例,阐述控制系统的基本概念。

1. 水位控制系统

水位控制系统的任务是设法保持水箱中的水位不变。因此系统的被控量是水位高度 H ,系统的控制对象就是水箱。当水位在给定位置且流入、流出量相等时,它处于平衡状态。当流出量发生变化或水位给定值发生变化时,就需要对流入量进行必要的控制,使水箱中的水位保持不变。

实现控制有两种方法:一种是由人直接操作,称为人工控制;另一种是无须人的直接参

与,利用控制装置自动执行,称为自动控制。

图1-1所示是水位人工控制系统。操作人员用肉眼观测水位情况,将此信息(反馈信号)传递给大脑,大脑经过思考,分析实际水位与期望水位的偏差,并根据经验做出决策,确定进水阀门的调节方向与幅度,发出调节阀门的指令,手按此指令操作进水阀门,改变给水量,最终使水位保持在期望的数值上。只要水位偏离了期望值,工人便要重复上述调节过程。

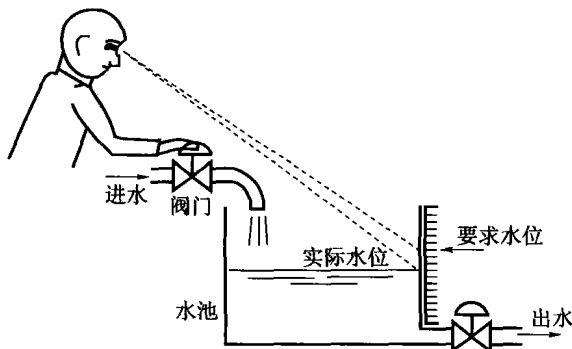


图1-1 水位人工控制系统

由于这种控制是在人的直接参与下完成的,操作人员为整个控制系统的一部分,完成控制功能,所以称为人工控制。虽然人工控制在一定条件下能满足要求,但是劳动强度大,工作单调,操作者易疲劳,容易发生差错。如果能找到一个控制器代替人的职能,那么人工控制系统就可以变成自动控制系统。

图1-2所示是水池水位自动控制系统的一种简单形式。图中,浮子代替人的眼睛,用来测量水位的实际高度;另用一套杠杆机构代替人的大脑和手的功能,用来进行比较、计算误差并实施控制。杠杆的一端由浮子带动,另一端则连向进水阀门。当用水量增大时,水位开始下降,浮子也随之降低,通过杠杆的作用将进水阀门开大,进水量增加,使水位回到期望值附近。反之,若用水量变小,水位及浮子上升,进水阀关小,水位自动下降到期望值附近。在整个过程中无须人工直接参与,控制过程是自动进行的。

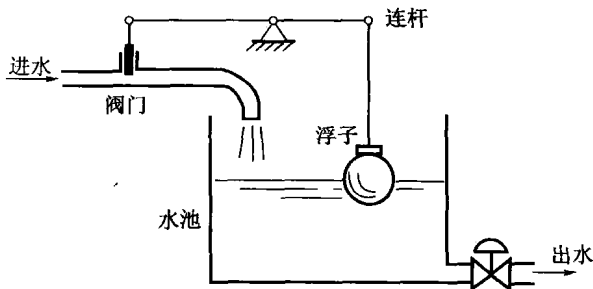


图1-2 水位自动控制系统

由此例可知,自动控制和人工控制极为相似,自动控制只不过是把某些装置有机地组合在一起,来代替人的职能而已。图1-2中的浮子相当于人的眼睛,对实际水位进行测量;杠杆类似于大脑和人手,完成比较运算,并对水位实施控制。这些装置相互配合,承担着控制的职能,通常称为控制装置。

2. 电加热炉温度控制系统

加热炉是工业生产中常见的工艺设备。根据工艺要求,在加热过程中炉内温度应保持一定的数值。但许多因素,例如电源电压的波动、工件的增减以及周围环境温度的变化等,都影响着炉温,使之偏离预定的数值。为保证生产质量,就必须人工或自动地给炉子施加某种作用,以抵消或削弱上述因素的影响,使炉温恢复到原来的数值。按实现控制的方式不同,可分为人工控制和自动控制两种。

图 1-3 所示为电炉箱温度人工控制系统的原理图。操作人员用眼睛观察温度显示仪表,将此信息传递给大脑,大脑经过思考,分析实际炉温与工艺要求的炉温(给定值)的偏差,然后发出调节电压的指令,手按此指令旋转自耦变压器的手柄,改变电阻丝的供电电压(u_R),使电炉箱温度恢复到工艺希望的范围。

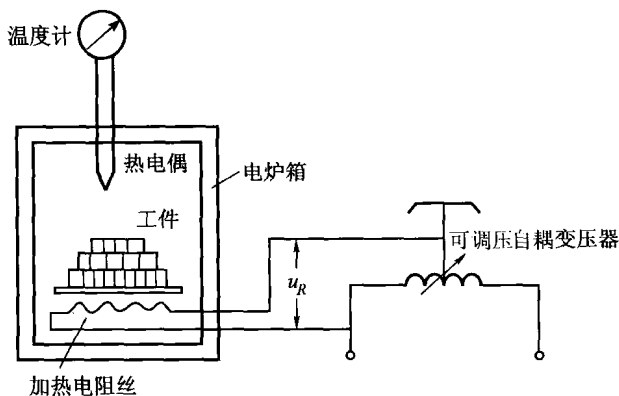
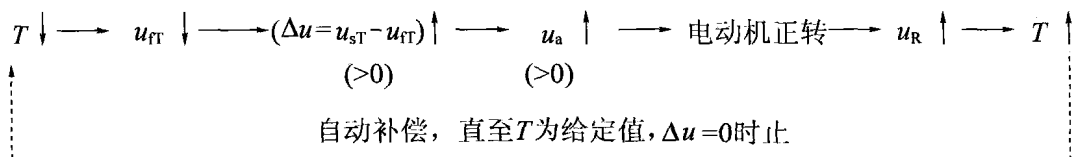


图 1-3 温度人工控制系统原理图

这种控制是在人的直接参与下完成的,操作人员为整个控制系统的一部分,完成一定的控制功能,因而控制质量与操作人员的技术水平(经验与技能)和精神状态有很大关系。为了解决人工控制的局限性与生产要求的复杂性之间的矛盾,通常采用一些自动化装置,代替人的功能,来构成自动控制系统。

图 1-4 所示为电炉箱温度自动控制系统的原理图。图中温度测量元件(热电偶)将温度信号 T 检测出来,转换成与温度成比例的电压反馈信号 u_{fT} ,然后送回到输入端。工艺希望保持的温度值(给定信号)由给定电位器提供,电压反馈信号 u_{fT} 与给定信号 u_{sT} 相比较,得到两者的差值即偏差电压 Δu ($\Delta u = u_{sT} - u_{fT}$),此偏差电压 Δu 经过电压放大和功率放大后,驱动直流伺服电动机。这里直流伺服电动机类似于人手的功能,经减速器旋转调压器,改变供给电炉的电压,纠正炉温偏差,使之恢复并保持在工艺希望的范围。

例如,由于冷工件增加而使炉温降低,那么这一温度的变化,将由热电偶检测出来,此时 $u_{fT} < u_{sT}$,使 $\Delta u = u_{sT} - u_{fT} > 0$,电动机正转,使调压器滑点右移,从而使电炉供电电压增加,电流加大,炉温上升,直至消除温度偏差, $u_{fT} = u_{sT}$, $\Delta u = 0$ 为止,炉温保持恒定不变。其自动调节过程如下:



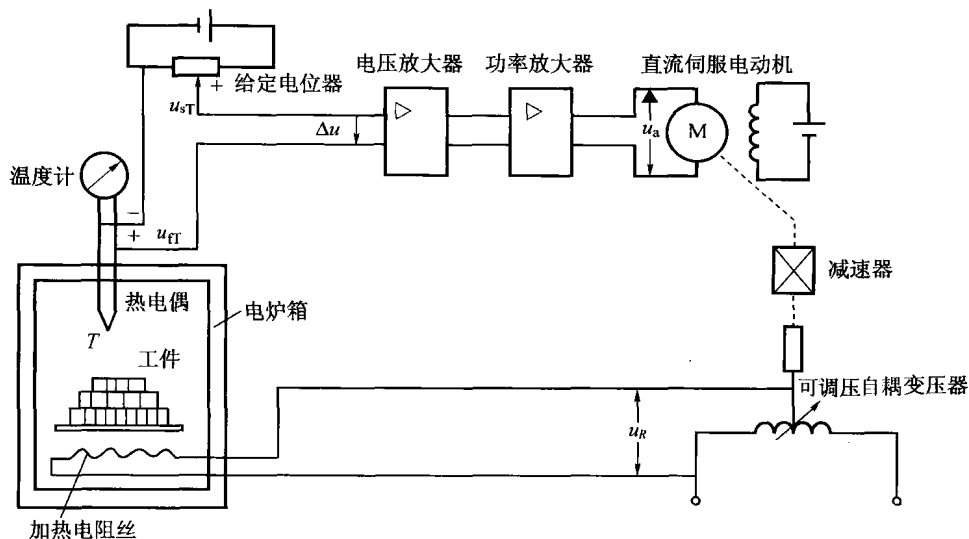


图 1-4 温度自动控制系统原理图

这里,不需要人的参与,系统就可以自动保持给定温度近似不变。

1.2.2 开环控制系统和闭环控制系统

通过上面的分析可知,任何一个控制系统,都是由被控对象和控制装置按一定方式组合而成的。在自动控制系统中,被控对象是指要实现自动控制的设备或生产过程。需要控制的物理量称为被控量或输出量。用来使系统具有预期输出的激励信号称为系统的给定量或输入量。能引起系统被控量偏离预期值的各种非意愿因素称为扰动,它影响给定输入量对系统被控量的控制,扰动输入是系统不希望的外部作用。设法消除扰动影响,从而保持被控量按预期要求变化的过程,称为控制过程。

自动控制系统按照是否有反馈环节,分为开环控制系统和闭环控制系统两大类。

1. 开环控制系统

在开环控制系统中,只有输入信号通过控制装置作用于被控对象,而被控对象的输出信号对系统的控制作用没有任何影响,如图 1-1 和图 1-3 所示的控制系统。

一般来说,开环控制系统由于无反馈环节,结构和控制过程比较简单,系统稳定性好,调试方便,成本低。但当受到各种扰动因素影响,输出量发生变化时,系统没有自动调节能力,对扰动造成的偏差无法自动补偿。所以开环控制系统抑制干扰能力差,控制精度较低,一般用于系统输入量变化规律能预先确知,且扰动因素不大或扰动可以预知并能进行补偿,或者对控制性能要求不高的场合,如一般洗衣机、普通机床、自动生产线等。

2. 闭环控制系统

为了改善开环控制系统的性能,以克服准确性较差和适应性较弱的缺点,对系统的输出量进行测量,并将测得的结果(输出量的实际值)与给定值(输出量的期望值)进行比较,然后按其差值进行控制,以修正输出量,这样就形成了闭环控制系统,图 1-2 和图 1-4 所示的控制系统就是闭环控制系统。在这种控制系统中,控制装置与被控对象之间既有顺向作用,又

有反向作用,所以这种控制方式通常称为反馈控制。

在闭环控制系统中,由于采用了负反馈,只要被控量的实际值发生变化,偏离了希望值,闭环系统就会产生相应的控制作用去减小或消除这一偏差。因此,闭环控制系统抑制干扰能力强,与开环控制系统相比,系统对参数的变化不敏感,可以选用精度不太高的元件来构成控制精度较高的控制系统。但采用反馈装置需要添加检测和反馈等元部件,成本较高,同时也增加了系统的复杂性。如果系统的结构参数选取不适当,可能造成系统振荡,甚至无法正常工作。

从前面的分析可以看出,无论实现控制的方法是人工的还是自动的,它们都有一个共同的特点:都要测量系统被控量的实际值,并引回到输入端,与工艺希望值进行比较,并用所得的偏差信号对系统进行控制,使被控量按预定的规律变化。这就是负反馈控制原理。

闭环控制是最基本的控制方式之一,也是最常用的控制方式。我们所说的控制系统,一般都是指闭环控制系统,闭环控制系统是自动控制讨论的重点。

1.3 自动控制系统的的基本组成

引导文问题:

1. 闭环自动控制系统由哪些基本环节组成? 它们在系统中各起什么作用?
2. 什么是正反馈? 什么是负反馈? 如果反馈极性接反,系统会出现什么情况? 举例说明。由此得出,在系统安装和调试中应注意什么?
3. 什么是正向通道和反馈通道? 控制系统信号的传递是可逆的吗?

根据控制对象和使用元件的不同,自动控制系统有各种不同的形式。一般来说,一个典型的闭环控制系统总是由一些基本的职能元件组成。在研究自动控制系统的工作原理时,为了清楚地表明系统的结构和组成,说明各环节信号的传递情况,通常把系统各个环节用职能框图来表示,而不必画出具体线路。图 1-4 所示系统就可抽象成图 1-5 所示的组成框图。由图 1-5 可以看出,典型的自动控制系统一般包括以下各类基本职能元件。

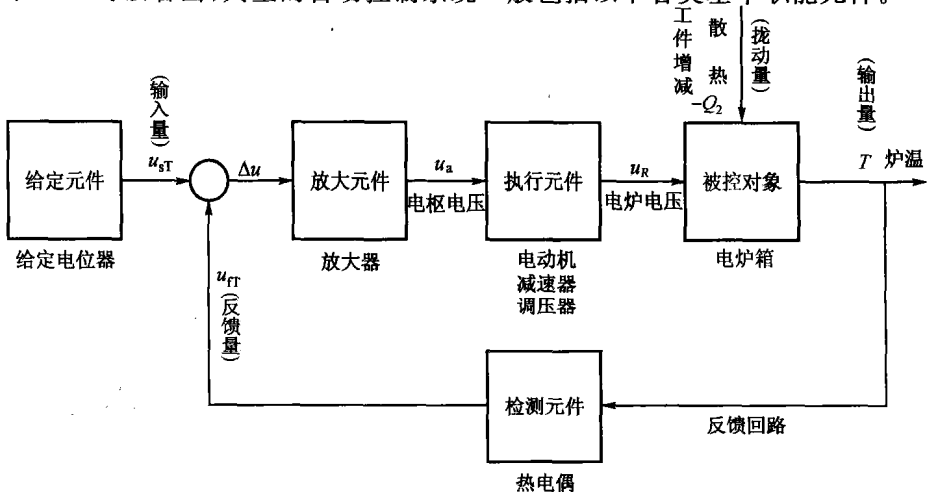


图 1-5 自动控制系统的组成框图

1. 被控对象

被控对象是指需要进行控制的设备或生产过程,如图 1-5 中的电炉箱等。

2. 给定元件

设定与期望输出相对应的输入信号的元件是给定元件,也就是设定给定值的装置,图 1-5 中为给定电位器。

3. 检测元件

检测元件一般就是反馈元件,它是把被控制的物理量检测出来,并将其转换为与给定量纲相同的物理量,再回送到输入端,如图 1-5 中的热电偶等。

4. 比较元件

比较元件是用来把检测元件给出的反馈信号与给定信号进行比较,求出它们之间的偏差。若反馈信号与给定信号极性相反,则为负反馈;若极性相同,则为正反馈。比较元件在多数控制系统中常常是和检测元件或线路结合在一起。图 1-5 中,因为 u_{sT} 和 u_{fT} 都是直流电压信号,只要把它们反向串联起来,就得到电压差值了,所以不再需要专设比较元件。

5. 放大元件

由于比较元件给出的偏差信号通常比较微弱,不能直接推动被控对象,所以需要用放大元件加以放大,使它有足够的幅值和功率,如图 1-4 中的电压放大器和功率放大器。

6. 执行元件

执行元件是用来直接对被控对象进行操作,使被控量按照所要求的规律变化,一般由传动装置和调节机构组成,如伺服电动机、减速器和调压器。

应当指出,实际系统中,一个元件并非只能有一种功能,有时同一个元件可以兼备几种职能。

图 1-5 所示自动控制系统的组成框图,清楚地表明了各环节之间的关系和信号的传递方向。应注意,在框图中,各环节的信号传递是有方向性的。由输入端到输出端从左向右的信号传递通道称为前向通道;由输出端到输入端从右向左的信号传递通道称为反馈通道。闭环控制系统就是由前向通道和反馈通道组成的。

1.4 自动控制系统分类

引导文问题:

1. 自动控制系统的种类很多,常见的分类方法主要有几种?
2. 试说明恒值控制系统、随动控制系统和程序控制系统的主要区别,判断下列系统属于哪一类系统:家用电冰箱、空调机、函数记录仪、仿型加工机床、数控加工机床、高楼水箱控制系统、自动跟踪雷达、啤酒生产自动线。

自动控制系统的种类很多,应用范围也很广,因此系统的分类方法也不同,常见的主要有以下几种分类方法和基本类型。

1.4.1 按输入量的变化规律分

1. 恒值控制系统

若系统的输入量为恒定值,并且要求系统的输出量也相应地保持恒定,则称此类系统为恒值控制系统。例如,过程控制系统中,一般要求将过程参数(如温度、压力、流量和液位等)维持在工艺给定的状态,所以,多数过程控制系统属于此类。

对恒值控制系统,着重研究各种扰动对被控量的影响,以及如何克服扰动影响,尽快使被控量恢复到预期值上。

2. 随动控制系统

若系统输入信号的变化规律是预先无法确定的,而要求被控量以一定的精度跟随输入量的变化而变化,则此类系统称为随动控制系统。如工业控制中的位置控制、国防上的雷达跟踪系统等就属于此类系统。

对随动控制系统,着重研究被控量跟随输入量的准确性和快速性。

3. 程序控制系统

若输入信号按预先确定的规律变化,并要求被控量也按照同样的规律变化,则这种系统称为程序控制系统。如热处理炉的温度调节系统,要求温度按照预先设定的规律(升温、保温和降温等)变化,以及机械加工中的数控机床等就属于此类系统。

1.4.2 按系统传输的信号特征分

1. 连续控制系统

当系统中各元件的输入、输出信号均为时间的连续函数时,称此类系统为连续控制系统,又称模拟控制系统。这种系统的运动规律可用微分方程来描述。图1-4所示的恒温控制系统就是连续控制系统。

2. 离散控制系统

若系统中,有一处或多处信号是时间的离散函数,如脉冲序列或数字量,则称此类系统为离散控制系统。通常采用数字计算机控制的系统都是离散控制系统,离散控制系统的运动规律必须用差分方程来描述。

1.4.3 按系统各环节输入—输出关系的特征分

1. 线性控制系统

若系统全部由线性元件组成,它的输入—输出关系都是线性关系,则称此类系统为线性控制系统。线性控制系统最重要的特性是满足叠加原理和齐次性原理。

2. 非线性控制系统

当系统中存在一个或一个以上非线性元件时,系统的特性就由非线性方程来描述,这样

的系统就称为非线性控制系统。对于非线性控制系统,叠加原理是不适用的,必须采用非线性系统理论来分析。如存在死区、间隙和饱和特性的系统就是非线性控制系统。

本书主要研究连续控制的线性控制系统。

1.5 对自动控制系统的性能要求

引导文问题:

1. 衡量一个自动控制系统技术性能的好坏,通常从哪几个方面进行判断?它们是怎样定义的?

2. 根据给定的阶跃响应曲线,如何判断系统是稳定的还是不稳定的?

3. 图1-6为某系统的阶跃响应曲线。曲线I为系统固有结构时的阶跃响应,曲线II和曲线III为增加不同校正装置后的阶跃响应。试大致估算I、II、III三种情况时的动态性能指标,并分析比较I、II、III三种情况技术性能的优劣。

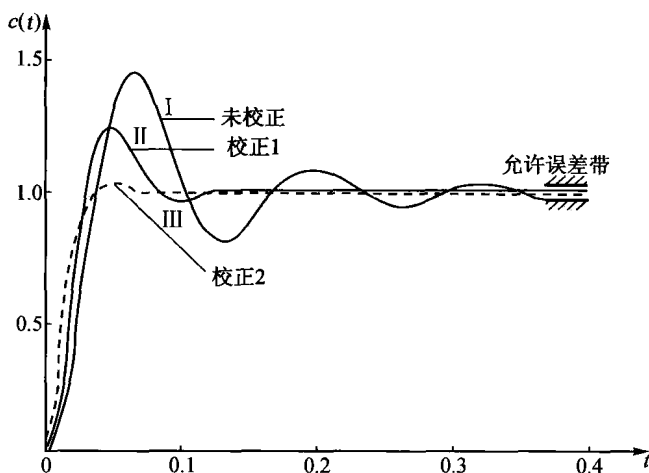


图1-6 某系统的阶跃响应曲线

自动控制系统是为了完成某一特定任务的,而不同的被控对象,往往有不同的具体要求。但就自动控制系统的共同要求,可以归纳为以下三个方面。

1.5.1 系统的稳定性

由于系统中存在惯性,当扰动量(或给定量)发生变化时,输出量将会偏离原来的稳定值,引起系统输出量的振荡。系统的稳定性是指系统在受到外部作用后,其动态过程的振荡倾向以及能否恢复到平衡状态的能力。如果通过系统的调节作用,这种振荡随着时间的推移而逐渐减小乃至消失,则称系统为稳定的,如图1-7(a)所示。如果这种振荡是发散的或是等幅的,如图1-7(b)所示,则称系统为不稳定或临界稳定的,它们都无法完成正常的控制任务,因而也没有任何使用价值(这里不包括振荡器)。因此,对任何控制系统,正常工作的首要条件是稳定。以后的分析会表明,线性控制系统的稳定性是由系统自身的结构和参数

所决定的,与外部因素无关,同时它也是可以判别的。

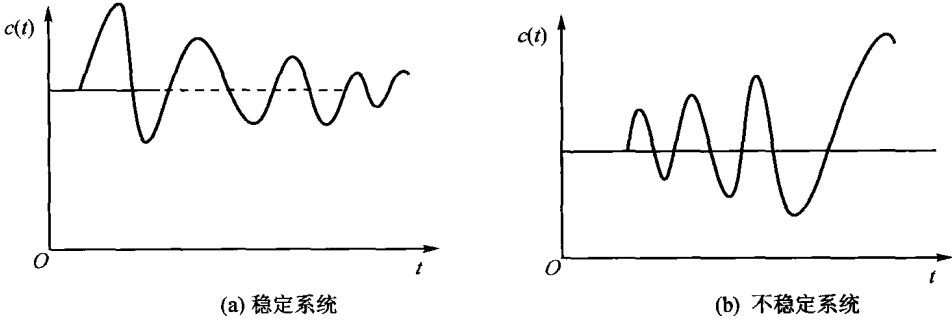


图 1-7 稳定系统和不稳定系统

1.5.2 系统的动态性能

由于控制系统总包含一些储能元件,所以当输入量作用于系统时,系统的输出量不能立即跟随输入量发生变化,而是需要经历一个过渡过程,才能达到稳定状态。系统在达到稳定状态之前的过渡过程,称为动态过程,表征这个过渡过程的性能指标称为动态性能指标。通常用系统对突加给定信号的动态响应来表征其动态性能。图 1-8 为系统对突加给定信号的动态响应曲线。

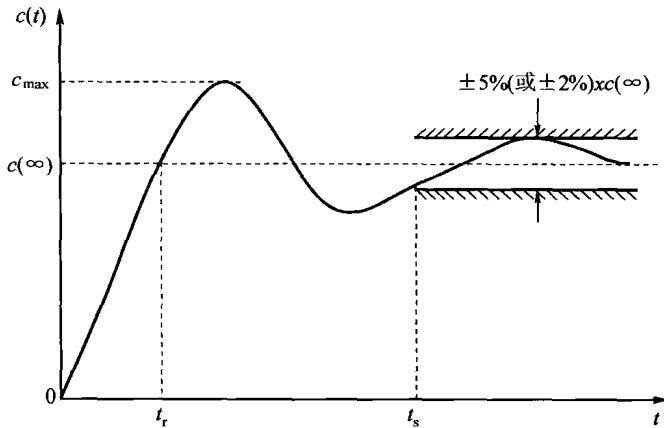


图 1-8 控制系统动态响应曲线

动态过程通常用相对稳定性和对输入信号响应的快速性来衡量,其中相对稳定性一般用最大超调量 $\sigma\%$ 来衡量,快速性一般用调整时间 t_s 来衡量。

1. 最大超调量

最大超调量是输出量 $c(t)$ 与稳态值 $c(\infty)$ 的最大偏差 Δc_{\max} 与稳态值 $c(\infty)$ 之比值,即

$$\sigma\% = \frac{c(t) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% \quad (1-1)$$

最大超调量反映了系统的相对稳定性,最大超调量越小,则说明系统过渡过程进行得越平稳。