

新世纪高职高专教改项目成果教材

机电控制系统

张 涛 主编



高等教育出版社

HIGHER EDUCATION PRESS

新世纪高职高专教改项目成果教材

机电控制系统

主编 张 涛

高等教育出版社

内 容 提 要

本书是新世纪高职高专教改项目成果系列教材之一,是面向 21 世纪课程教材。全书共 15 章,内容包括:自动控制系统的基础知识,自动控制系统的典型环节,控制系统的分析方法,基本控制规律与调节器,单回路控制系统,单闭环直流调速系统,双闭环直流调速系统,可逆直流调速系统,直流脉宽调速系统,交流调速系统,变频器,变频调速系统,伺服系统,计算机控制系统,以及实验指导等。

本书可作为机电一体化专业及相近专业高等职业教育的教学用书,也可作为电气技术人员岗位培训教材及自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

机电控制系统/张涛主编. —北京: 高等教育出版社, 2003.7

ISBN 7-04-012026-7

I. 机... II. 张... III. 机电系统: 自动控制系统-高等学校: 技术学校-教材 IV. TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 047640 号

责任编辑 李宇峰 封面设计 吴 昊 责任印制 蔡敏燕

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		021-56964871
邮政编码	100011	免费咨询	800-810-0598
总 机	010-58581000	网 址	http://www.hep.edu.cn
传 真	021-56965341		http://www.hep.com.cn
			http://www.hepsh.com
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landracom.com
排 版	南京理工出版信息技术有限公司		http://www.landracom.com.cn
印 刷	商务印书馆上海印刷股份有限公司	畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×1092 1/16	版 次	2003 年 7 月第 1 版
印 张	17.5	印 次	2006 年 5 月第 2 次
字 数	427 000	定 价	24.00 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 12026-00

出版说明

为认真贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》，研究高职高专教育跨世纪发展战略和改革措施，整体推进高职高专教学改革，教育部决定组织实施《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》（教高〔2000〕3 号，以下简称《计划》）。《计划》的目标是：“经过五年的努力，初步形成适应社会主义现代化建设需要的具有中国特色的高职高专教育人才培养模式和教学内容体系。”《计划》的研究项目涉及高职高专教育的地位、作用、性质、培养目标、培养模式、教学内容与课程体系、教学方法与手段、教学管理等诸多方面，重点是人才培养模式的改革和教学内容体系的改革，先导是教育思想的改革和教育观念的转变。与此同时，为了贯彻落实《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》（教高〔2000〕2 号）的精神，教育部高等教育司决定从 2000 年起，在全国各省市的高等职业学校、高等专科学校、成人高等学校以及本科院校的职业技术学院（以下简称高职高专院校）中广泛开展专业教学改革试点工作，目标是：在全国高职高专院校中，遴选若干专业点，进行以提高人才培养质量为目的、人才培养模式改革与创新为主题的专业教学改革试点，经过几年的努力，力争在全国建成一批特色鲜明、在国内同类教育中具有带头作用的示范专业，推动高职高专教育的改革与发展。

教育部《计划》和专业试点等新世纪高职高专教改项目工作开展以来，各有关高职高专院校投入了大量的人力、物力和财力，在高职高专教育人才培养目标、人才培养模式以及专业设置、课程改革等方面做了大量的研究、探索和实践，取得了不少成果。为使这些教改项目成果能够得以固化并更好地推广，从而总体上提高高职高专教育人才培养的质量，我们组织了有关高职高专院校进行了多次研讨，并从中遴选出了一些较为成熟的成果，组织编写了一批“新世纪高职高专教改项目成果”教材。这些教材结合教改项目成果，反映了最新的教学改革方向，很值得广大高职高专院校借鉴。

新世纪高职高专教改项目成果教材适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

高等教育出版社

2003 年 5 月

前 言

随着我国国民经济的发展,对职业教育提出了更高的要求,各高职高专院校非控制类专业都已普遍开设了自动控制课程,急需既能反映当前科技发展,又能全面介绍各类机电控制系统的少而精的教材。本书从工程技术应用的角度出发,介绍自动控制系统的基本概念和基本理论,使学生掌握常见机电控制系统的组成、工作原理、工程应用等知识和工程能力,为学生毕业后胜任工作岗位要求,适应职业变化和继续学习打下一定基础。

本教材遵循“结合实例,突出工程应用能力,注重典型系统应用,强调实验实训”的原则。在具体安排上,作为分析各类控制系统的工具,将对控制系统实践有重要指导意义的控制理论基础编写在前,有关工程应用的典型控制系统分类阐述。对课程体系进行整体优化,选取控制理论中最基本的概念、分析方法及过程控制、交直流调速系统等实例作为教学内容,通过实验、实训环节的训练,提高学生的实践技能。

本书适用于机电一体化专业及相近专业高等职业教育的教学,建议课时分配如下:

序号	内 容	学 时	学时分配	
			讲 课	实 验
1	自动控制系统的基础知识	4	4	
2	自动控制系统的典型环节	10	8	2
3	机电控制系统的分析方法	12	8	4
4	基本控制规律与调节器	6	6	
5	单回路控制系统	6	4	2
6	单闭环直流调速系统	16	10	6
7	双闭环无静差调速系统	10	8	2
8	可逆直流调速系统	6	4	2
9	直流脉宽调速系统	8	4	4
10	交流调速系统概述	4	4	
11	变频器	10	6	4
12	变频调速系统	10	8	2
13	伺服控制系统	14	10	4
14	计算机控制系统	10	10	
15	实验指导			
	机动	10		
	合计	136	94	32

本书由张涛担任主编,浦国平担任副主编,参加编写的还有黄祥源、杨文新、柏劲松和耿

前 言

淑琴。其中,第一、二、六、十三章由江苏省常州轻工职业技术学院张涛编写,第三、四、五章由江苏省常州轻工职业技术学院黄祥源编写,第七、八、九章由江苏省常州轻工职业技术学院杨文新编写,第十、十一、十二章由北京轻工职业技术学院浦国平编写,第十四章由内蒙古轻工业学校柏劲松编写,第十五章由北京化工学校耿淑琴编写。全书由张涛统稿。

本书综合了自动控制原理、过程控制系统、直流调速系统、交流调速系统、伺服系统、计算机控制系统等内容,在教学中可根据需要进行取舍。

由于编者的水平有限,错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2003 年 5 月

第一章 自动控制系统的基础知识

第一节 概 述

一、自动控制技术的发展

现代化生产的水平、产品的质量和经济效益等各项指标,在很大程度上取决于生产设备的先进性和电气自动化程度。因此,电气自动控制系统越来越受到人们的重视,随着电机及各种自动控制器件、特别是计算机的发展,控制系统也正在不断发展。

自动控制技术经历了一个漫长的发展过程。18 世纪出现的锅炉水位调节装置,以及 19 世纪出现的转速调节装置,都是有效的自动控制装置。到 20 世纪 30 年代,自动控制技术已普遍应用于各种生产过程中,但只是对单机或对单个温度、压力和流量等工艺参数进行控制。20 世纪 40—50 年代的交磁放大机-电动机控制系统,可随时检查控制对象的工作状态,对控制对象自动进行调整,其快速性及控制精度都大大超过了最初的断续控制,并简化了控制系统,提高了生产效率,但系统存在体积大、响应慢且噪声大等缺点。

20 世纪 60 年代晶闸管的出现,组成了晶闸管-直流电动机无级调速系统。晶闸管具有功率大、体积小、效率高、动态响应快且控制方便等优点,使其在控制系统中得到了广泛的应用,并正在向大容量方向发展。其后,由于逆变技术的出现和大功率晶体管的问世,20 世纪 80 年代以来,交流电动机无级调速系统得到迅速发展,由于交流电动机无电刷与换向器,较之直流电动机易于维护且寿命长,使交流调速系统迅速发展。如今用大功率晶体管逆变技术和脉宽调制技术(PWM)改变交流电的频率从而实现交流电动机无级调速的控制系统在工业上得到广泛应用。目前已出现了多种以微机为核心的变频调速系统,使交流电动机的控制系统更简化,可靠性更高,拖动系统的性能也更优化,为电气传动与自动控制开辟了新途径。

随着计算机技术的发展,出现了具有运算功能和较大功率输出能力的可编程控制器(PLC),用它的软件代替大量继电器,使硬件简化。PLC 实际上是一台按开关量输入的工业控制用的微型计算机。用它来替代继电-接触器控制系统,提高了系统的可靠性和柔性,使自动控制技术又产生了一个飞跃。20 世纪 90 年代以来,大型 PLC 正向着高速度、多功能、适应多级分布控制系统发展,同时,微型 PLC 已发展成不仅具有开关型逻辑控制、定时/计数、逻辑运算功能,还具有处理模拟量输入/输出、数字运算功能及通信功能,可构成分布式控制系统,因此,它的应用越来越普遍,越来越广泛。

二、常用名词术语定义

(1) 对象 是一个设备,由一些器件组合而成。其作用是完成一个特定的动作。在本

书中,我们称被控制物体(如加热炉、化学反应器)为对象。

(2) 系统 是一些部件的组合,它可以完成一定的任务。系统的概念可以应用于抽象的动态现象,如经济学的现象。

(3) 扰动 给定信号以外,作用在控制系统上一切会引起被控量变化的因素。如果扰动产生于系统内部,则称为内扰;如产生于系统外部,则称为外扰。

(4) 负反馈控制 在有扰动的情况下负反馈控制有减小系统输出量与给定输入量之间偏差的作用。控制作用正是根据偏差而实现的。

(5) 随动系统 是一种反馈控制系统。在这种系统中,输出量通常是机械位移、速度或者加速度。因此,随动系统这个术语,与位置(或速度、或加速度)控制系统是同义语,现代工业中广泛地采用了随动系统。例如,采用程序指令的数控机床等。

(6) 自动调节系统 是一种反馈控制系统,给定输入量保持常量或者随时间缓慢变化。这种系统的基本任务,是在有扰动的情况下,使实际的输出量保持希望的数值。用恒温器作为控制器的室内加温系统,就是一种自动调节系统,恒温器的温度给定值与室内的实际温度进行比较得到偏差。室外温度的变化量是该系统的扰动。自动调节系统的任务,是保证所要求的室内温度不受室外温度变化的影响。自动调整系统的例子还有很多,如压力的自动控制,电压、电流和频率等电量的自动控制。

(7) 闭环控制系统 凡是系统输出信号对控制作用有直接影响的系统,都称为闭环控制系统。闭环控制系统也就是负反馈控制系统。输入信号和反馈信号(反馈信号可以是输出信号本身,也可以是输出信号的函数)之差,称为偏差信号。偏差信号加到控制器上,使系统的输出量趋向给定的值。换句话说,“闭环”的含义就是应用反馈作用来减小系统的偏差。图 1-1 所示为闭环控制系统的输入量与输出量之间的关系,这种关系图称为功能框图。

(8) 开环控制系统 若系统的输出量对系统的控制作用没有作用,则称为开环控制系统。开环控制系统既不需要对输出量进行测量,也不需要将它反馈到系统的输入端与输入量进行比较。图 1-2 所示为开环控制系统的输入量与输出量之间的关系。洗衣机就是开环控制系统的实例,它的浸湿、洗涤和漂清的过程是顺序进行的,无需对其输出信号,即衣服的清洁程度进行测量。

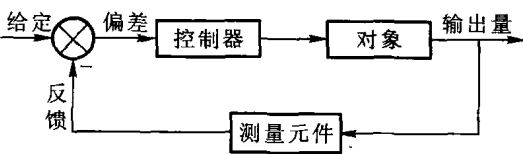


图 1-1 闭环控制系统

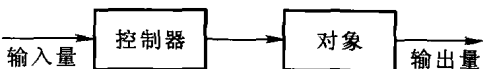


图 1-2 开环控制系统

由于开环控制系统中系统的输出量不与给定的输入量进行比较,因此,对应于每一个给定的输入量,便有一个固定的输出量与之对应,系统的精度只取决于系统校准的精度。当然,出现扰动时,开环控制系统就无法进行控制了。如果输入量与输出量之间的关系已知,并且不存在内扰和外扰,则可采用开环控制系统。显然,这种系统不是反馈控制系统。

第二节 自动控制系统示例

分析自动控制系统时,首先应明确如下一些问题:

- (1) 受控对象是什么? 哪些状态参量要求控制(亦即被控量是什么)? 作用在对象上的主要干扰有哪些?
- (2) 操纵哪个机构可改变被控量?
- (3) 有哪些测量元件? 测量的是被控量还是干扰?
- (4) 给定值(参考输入)或指令由哪个装置提供?
- (5) 如何实现各信号的偏差计算和判断偏差?
- (6) 控制作用通过什么部件来实现?

一、烘烤炉温度控制系统

图 1-3 所示为烘烤炉温度控制系统原理图。

根据图 1-3 可以明确:

- (1) 系统的任务——保持炉膛温度恒定。
- (2) 受控对象——烘烤炉。
- (3) 被控量——炉膛温度。
- (4) 干扰——工件数量、环境温度和煤气压力等。
- (5) 调节煤气管道上阀门开度可改变炉温。
- (6) 测量元件——热电偶。它将炉膛温度转变为相应的电压 U_t 。
- (7) 给定装置——给定电位器。其输出电压 U_r , 对应于给定的炉膛温度。

(8) 计算——将 U_r 、 U_t 两电压极性反接, 就可完成减法运算。输出电压 $\Delta U = U_r - U_t$, 相当于炉温与给定温度的偏差量。

- (9) 执行机构——电动机、传动装置和阀门。

烘烤炉温度控制系统的控制原理如下:

炉温既受工件数量及环境温度的影响, 又受由混合器输出的煤气流量的影响, 因此, 调整煤气流量便可控制炉温。

假定炉温恰好等于给定值, 这时 $U_t = U_r$ (即 $\Delta U = 0$), 故电动机和调节阀都静止不动, 煤气流量恒定, 烘烤炉处于给定温度状态。

如果增加工件, 烘烤炉的负荷加大, 而煤气流量一时没变, 则炉温下降。温度下降将导

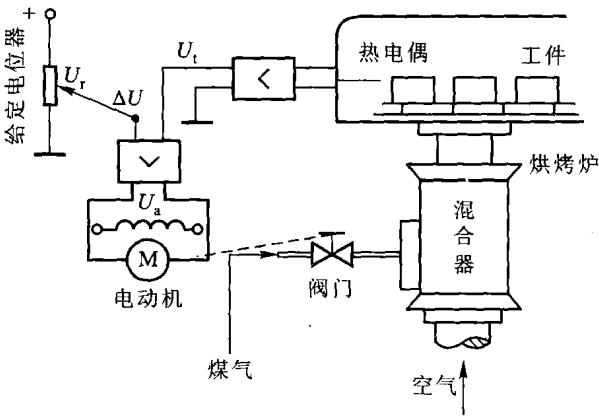


图 1-3 烘烤炉温度控制系统原理图

致 U_i 减小,使 $\Delta U > 0$, 电动机转动,将阀门开大,增加煤气供给量,从而使炉温回升,直至重新等于给定值(即 $U_i = U_r$)为止。这样在负荷加大的情况下仍然保持了规定的温度。

如果负荷减小或煤气压力突然加大,则炉温升高。 U_i 随之加大, $\Delta U < 0$, 故电动机反转,关小阀门,减少煤气量,从而使炉温下降,直至等于给定值为止。

由此看出,系统通过炉温与给定值之间的偏差来控制炉温,所以是按偏差调节的自动控制系统。系统中除烘烤炉及供气设备外,其余统称温度控制装置或温度调节器。

表示系统内各功能部件之间相互联系的框图如图 1-4 所示,图中每个功能部件用一个方框表示,箭头表示信号的输入、输出通道,最右边的方框习惯于表示被控对象,其输出信号即为被控量,而系统的总输入量包括给定值和外部干扰。

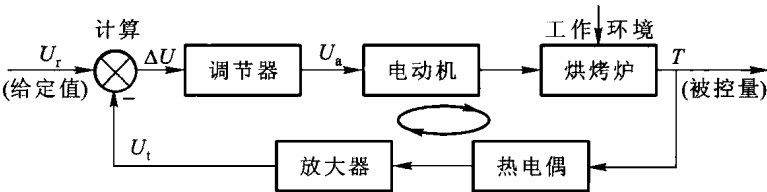


图 1-4 烘烤炉温度控制系统功能框图

系统是一个闭合的回路,信号经调节器、烘烤炉之后又反馈到调节器。由于系统是按偏差进行调节的,因而必须测量炉温,反馈的闭合回路也是必需的,而且反馈信号应与给定值作减法的计算(图中以负号表示负反馈),以得到偏差信号。因此,这种系统是反馈控制系统。

负反馈闭合回路,是按偏差进行调节的控制系统在结构联系和信号传递上的重要标志。

二、位置随动系统

图 1-5 所示为位置随动系统的原理图。

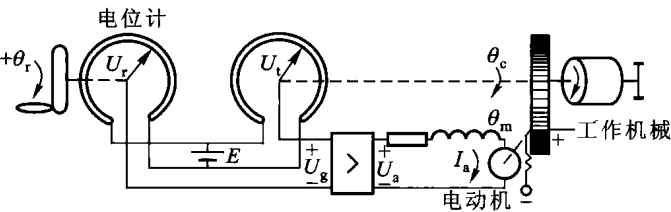


图 1-5 位置随动系统原理图

根据图 1-5 可以明确:

- (1) 控制的任务——使工作机械跟随指令机构同步转动,即要求工作机械的角位置 θ_c 跟随指令转角 θ_r 变化,亦即使 $\theta_c(t) = \theta_r(t)$ 。
- (2) 受控对象——工作机械。
- (3) 被控量——角位置 θ_c 。

(4) 给定值——指令转角 θ_r 。

(5) 测量元件——电位器。转角 θ_c 及 θ_r 由两个电位计测量并转换为相应的电压 U_c 及 U_r 。

(6) 计算—— $\Delta U = U_r - U_c$ 。两个测量电位计作桥式连接,即完成了减法运算 $U_r - U_c$ 。两电刷之间的电压 U_g ,反映了被控量 θ_c 与给定值 θ_r 的误差。

(7) 执行机构——电动机减速装置。

位置随动系统的控制原理如下：

如果工作机械转角 θ_e 等于指令转角 θ_r ，经事先调整，使 $U_r = U_c$ ，则 $U_g = 0$ ，电动机不动，系统处于平衡状态。如果指令转角 θ_r 变化了，而工作机械仍处于原位，则 $\theta_e \neq \theta_r$ ， $U_c \neq U_r$ ， $U_g \neq 0$ ，电动机拖动工作机械向 θ_r 所要求的方向快速偏转，直至 $\theta_e = \theta_r$ ，电动机停转，在新的位置上又处于与指令同步的平衡状态，完成了跟随的任务。

由于系统是通过测量 θ_e 与 θ_r 的偏差来控制的，所以是按偏差调节的自动控制系统，系统的功能框图如图 1-6 所示，它是个负反馈的闭合回路。在工程技术上，常常需要某个机构（如船闸、雷达天线等）的位置能快速精确地跟随一个指令信号动作，而这可以通过随动原理来实现。

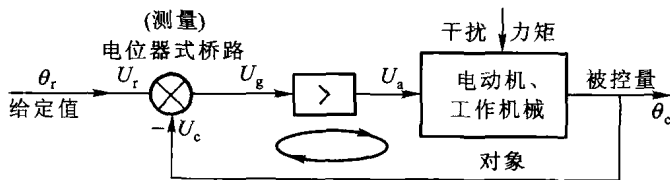


图 1-6 位置随动系统功能框图

这种系统的受控对象比较简单，相当于执行机构直接拖动一个纯机械负荷；指令信号根据工作需要经常变化，而且事先无法完全确定。只要选用大功率的功放装置和电动机，即可以用功率很小的信号来操纵功率很大的工作机械，且可以进行远距离控制。

三、自动调速系统

图 1-7 所示为自动调速系统的工作原理图。

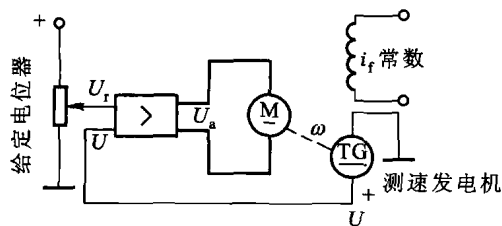


图 1-7 自动调速系统原理图

根据图 1-7 可以明确：

- (1) 控制的任务——保持工作机械恒转速运行。
- (2) 被控对象——工作机械。
- (3) 被控量——电动机转速。
- (4) 给定值——给定电位器的电压 U_r 。
- (5) 测量元件——测速发电机。
- (6) 计算—— $\Delta U \approx U_r - U$ ，由运算放大器

完成偏差计算，并将 ΔU 放大为 U_a 。

(7) 执行机构——电动机。

调速系统的控制原理是：

测速机测量电动机的转速 ω 并将其转换为相应的电压 U ，与给定电位器的输出电压 U_r 进行比较，其输出信号经放大装置放大后控制电动机，而电压 U_r 即代表了所要求的转速。

如果工作机械的载荷加大，使电动机转速下降，测速发电机输出电压 U 减小，与给定电压 U_r 比较后的偏差电压 $\Delta U = (U_r - U)$ 放大为 U_a ，故电枢电压相应加大，从而使电动机转速得到补偿。

这里是通过测量转速（与给定转速的偏差）来控制转速的，因此，调速系统亦称为按偏差调节的自动控制系统，其功能框图如图 1-8 所示。

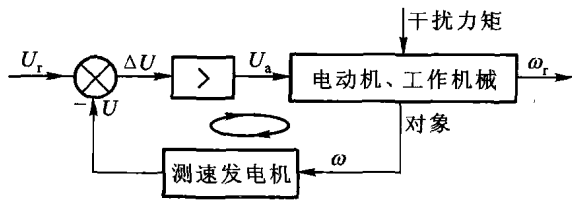


图 1-8 自动调速系统功能框图

第三节 自动控制系统的分类

自动控制系统可以从不同的角度来进行分类。

一、按参考输入量变化的规律分类

1. 恒值控制系统

这种控制系统参考输入量是一个恒值,可通过反馈控制维持被控量的恒定。图 1-8 中,当输入量 U_r 恒定时,即使存在扰动的影响,仍可维持转速基本恒定,因此,该系统属于恒值控制系统。工业生产中的温度、压力、流量和液位等参数维持恒定的自动控制都属此类系统。

2. 随动控制系统

一个反馈控制系统,如其输入量变化规律为无法预先确定的时间函数,而其被控量能以一定的精度跟随输入量变化,这样的系统称为随动控制系统,简称随动系统或伺服系统。如图 1-6 所示的位置随动系统。在随动系统中,被控量通常是机械位移、速度或加速度等。

恒值控制系统及随动系统虽均为反馈控制,但分析研究重点不同。对于恒值控制系统,应着重研究各种扰动对被控量的影响,以及设法抑制扰动对被控量的影响而使被控量保持在希望值。而在随动系统中,由于输入量是随时变化的,系统的被控量也必须迅速准确地跟随给定目标而变化。如果输入信号变化较快,执行装置就应该快速响应并有足够的功率,以保证不丢失目标;如果被跟踪的目标变化较慢,系统就应着重考虑跟踪的平稳性等。

3. 程序控制系统

这种控制系统输入量虽不为常值,但其变化规律是预先知道的和确定的。如热处理炉的温度调节,要求温度按一定的时间程序和规律变化(自动升温、保温及降温等)。

二、按被控量来分类

1. 电力拖动自动控制系统

这种控制是以机械运动为主要方式,以电动机为被控对象,其中包括恒值控制系统及随

动控制系统。

2. 过程控制系统

这种控制为工业生产过程自动控制(简称过程控制),被控量是温度、压力、流量或液位等过程控制量。而所谓过程是指在某些设备中将原料经过适当处理得到产品的这段生产过程。过程控制常应用于如化工、石油、冶炼等工业生产中,保持其生产过程所需的工艺条件。其系统主要用被规格化的各类仪表,作为各功能元件而构成。

三、按信号作用特点分类

1. 连续控制系统

这种系统亦称为模拟控制系统。系统中各个组成元件输出量都是输入量的连续函数。图 1-5 所示随动系统及图 1-7 所示转速负反馈控制系统都是连续控制系统。

2. 断续控制系统

这种系统中包含有断续元件,其输入量是连续量,而输出量是断续量。目前有 3 种断续控制系统:

- (1) 继电接触控制系统,它也称为开关控制系统。
- (2) 脉冲系统又称为采样控制系统。脉冲系统将输入的连续信号变成一串脉冲信号输出,脉冲的幅度、宽度及符号取决于采样时刻的输入量。
- (3) 数字控制系统。数字控制系统中,信号以数码形式传递。

第四节 自动控制系统的性能指标

自动控制系统的性能通常是指系统的稳定性、稳态性能和动态性能。

一、系统的稳定性

当扰动作用(或给定值发生变化)时,输出量将会偏离原来的稳定值,这时,由于反馈环节的作用,通过系统内部的自动调节,系统可能回到(或接近)原来的稳定值(或跟随给定值)稳定下来,如图 1-9(a)所示。但也可能由于内部的相互作用,使系统出现发散而处于不稳定状态,如图 1-9(b)所

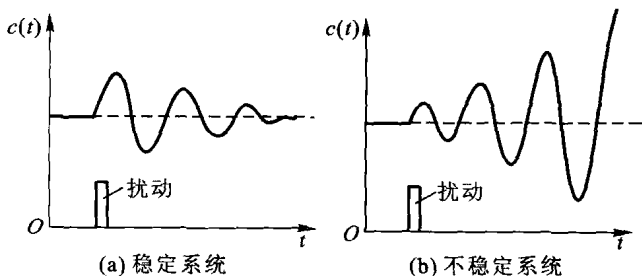


图 1-9 稳定系统和不稳定系统

示。显然,不稳定的系统是无法进行工作的。因此,对任何自动控制系统,首要的条件是使系统能稳定运行。

二、系统的稳态性能指标

系统稳态误差是指系统实际输出值与期望输出值之差。系统稳态误差的大小反映了系统的稳态精度(或静态精度),它表明了系统的准确程度。稳态误差越小,则系统的稳态精度越高。若稳态误差为零,则系统称为无静差系统,如图 1-10(a)所示。否则,则称为有静差系统。如图 1-10(b)所示。

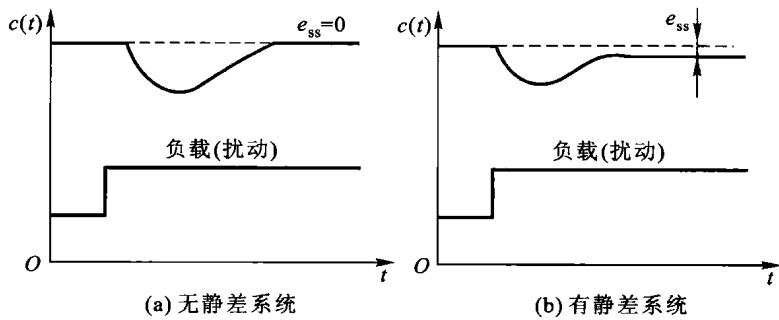


图 1-10 自动控制系统的稳态性能

事实上,对一个实际系统,要求系统的输出量丝毫不变地稳定在某一确定的数值上,往往是办不到的,要求稳态误差绝对等于零,也是很难实现的。因此,通常把系统的输出量进入并一直保持在某个允许的足够小的误差范围(称为误差带)内,即认为系统已进入稳定运行状态。此误差带的数值可看作系统的稳态误差。此外,对一个实际的无静差系统,在理论上,它的稳态误差为零,但在实际上,只是其稳态误差极小而已。

三、系统的动态性能

由于系统的对象和元件通常都具有一定的惯性(如机械惯性、电磁惯性和热惯性等),而且还由于能源功率的限制,系统中各种量值(加速度、位移、电流和温度等)的变化不可能是突变的。因此,系统从一个稳态过渡到新的稳态都需要经历一段时间,亦即需要经历一个瞬态过程。表征这个瞬态过程性能的指标叫做动态指标。现在以系统对突加给定信号(阶跃信号)的动态响应来介绍动态指标。

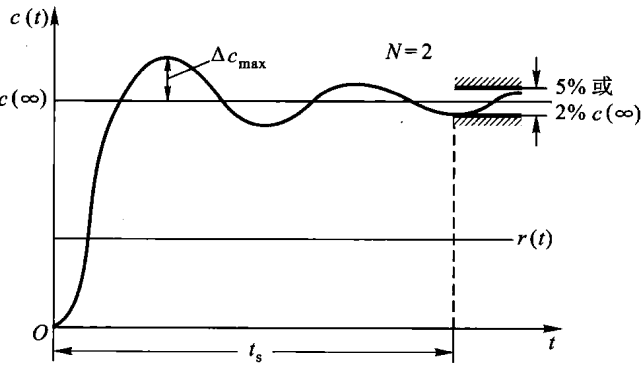


图 1-11 系统对突加给定信号的动态响应曲线

图 1-11 所示为系统对突加给定

信号(阶跃信号) $r(t)$ 的动态响应曲线。

动态指标通常用最大超调量(σ)、调整时间(t_s)和振荡次数(N)来衡量。

1. 最大超调量(σ)

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

$$\sigma = \frac{\Delta c_{\max}}{c(\infty)} \times 100\%$$

最大超调量反映了系统的动态精度,最大超调量越小,则说明系统瞬态过程进行得越平稳。不同的控制系统,对最大超调量的要求也不同,例如,对一般调速系统,可允许 σ 为 $10\% \sim 35\%$;轧钢机的初轧机要求 σ 小于 10% ;对连轧机则要求 σ 小于 $2\% \sim 5\%$;而在张力控制的卷绕机和造纸机等则不允许有超调量。

2. 调整时间(t_s)

我们常用调整时间来表征系统的瞬态过程时间,但是实际系统的输出量往往在稳态值附近,要作很长时间的微小的波动,那么怎样确认瞬态过程结束了呢?于是我们将系统输出量进入并一直保持在离稳态值的某一误差带内,作为瞬态过程完成。在实用上,常把 $\pm \delta(\infty)$ 作为允许误差带, δ 取 2% 或 5% ,于是调整时间 t_s 可定义为:系统输出量进入并一直保持在离稳态值允许误差带内所需要的最短时间。 δ 取 2% 或 5% (见图 1-11)。调整时间反映了系统的快速性。调整时间 t_s 越小,系统快速性越好。例如,连轧机 t_s 为 $0.2 \sim 0.5$ s,造纸机为 0.3 s。

3. 振荡次数(N)

振荡次数是指在调整时间内,输出量在稳态值上下摆动的次数。如图 1-11 所示的系统,振荡次数为 2 次。振荡次数越少,也表明系统稳定性能好。例如,普通机床一般可允许振荡 $2 \sim 3$ 次,龙门刨床与轧钢机允许振荡 1 次,而造纸机则不允许有振荡。

在上述指标中,最大超调量和振荡次数反映了系统的稳定性能。调整时间反映了系统的快速性。稳态误差反映了系统的准确度。一般说来,总是希望最大超调量小一点,振荡次数少一点,调整时间短一些,稳态误差小一点。总之,希望系统能达到稳、快、准。但在同一个系统中上述指标往往是相互矛盾的,这就需要根据具体对象所提出的要求,对其中的某些指标有所侧重,同时又要注意统筹兼顾。因此,在确定技术性能指标要求时,既要保证能满足实际工程的需要(并留有一定的余量),又要考虑系统成本,因为过高的性能指标要求意味着昂贵的价格。

习题与思考题

1-1 分析比较闭环控制系统与开环控制系统的优缺点和应用场合。

第一章 自动控制系统的基础知识

1-2 试列举一些闭环控制系统和开环控制系统的例子,并说明其工作原理。

1-3 组成自动控制系统的主要环节有哪些? 它们各有什么特点,起什么作用?

1-4 水位自动控制系统如图 1-12 所示。运行中,希望水面高度 h 维持不变。试简述系统的工作原理,画出系统的框图,并说明被控对象、被控量和干扰量是什么?

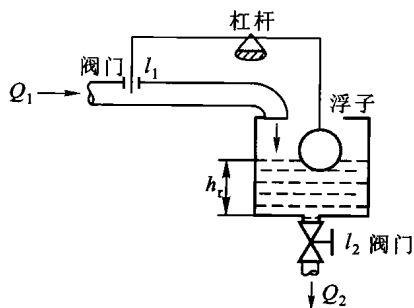


图 1-12 水位自动控制系统

第二章 自动控制系统的典型环节

第一节 数学基础

分析自动控制系统的动态性能,首先要建立控制系统的数学模型。线性微分方程是系统数学模型最基本的形式。但用一般方法求解微分方程比较麻烦,如果用拉氏变换求解线性微分方程,则可以将数学中的微积分运算转换为代数运算,因而拉氏变换是一种较为简单的工程数学方法。更重要的是,用拉氏变换能够把描述控制系统动态性能的微分方程很方便地转换为系统的传递函数,进而用传递函数分析控制系统的性能。

一、拉氏变换的定义

若 $f(t)$ 为实变数 t 的单值函数,且 $t < 0$ 时 $f(t) = 0$; $t \geq 0$ 时 $f(t)$ 在任一有限区间上连续或至少是分段连续的,则函数 $f(t)$ 的拉氏变换定义为:

$$F(s) = L[f(t)] = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt \quad (2-1)$$

式中, s 为复变数, $F(s)$ 是函数 $f(t)$ 的拉氏变换,它是一个复变函数,通常也称 $F(s)$ 为 $f(t)$ 的象函数,而称 $f(t)$ 为 $F(s)$ 的原函数。

式(2-1)表明:拉氏变换是这样一种变换,即在一定条件下,它能把一实数域中的实变函数变换为一个在复数域内与之等价的复变函数 $F(s)$ 。

二、几种典型函数的拉氏变换

[例 2-1] 求单位阶跃函数 $1(t)$ 的拉氏变换。

单位阶跃函数是控制系统中最常用的典型输入信号之一,常以它作为评价系统性能的标准输入,这一函数定义的数学表达式为

$$1(t) = \begin{cases} 0(t < 0) \\ 1(t \geq 0) \end{cases}$$

它表示在 $t = 0$ 时刻突然作用于系统一个不变的给定量或扰动量。单位阶跃函数的拉氏变换为:

$$F(s) = \frac{1}{s} \quad (2-2)$$

表 2-1 给出了几种典型函数的拉氏变换。