

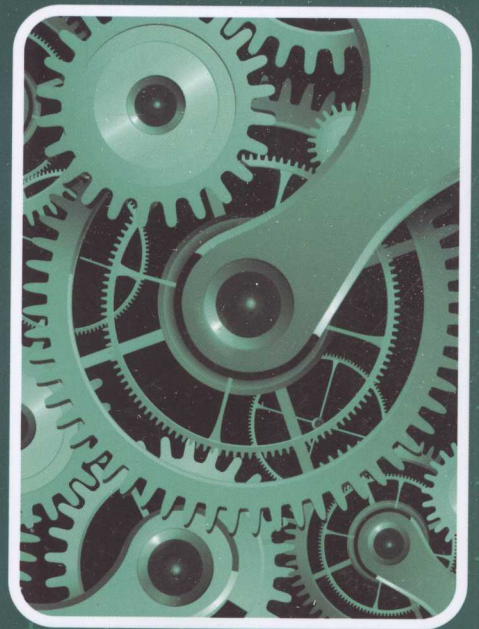


全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

丛书顾问 ▶ 李培根 林萍华

机械工程控制 基础与应用

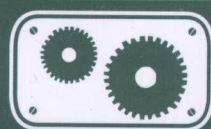
杨咸启 ▶ 主编
凌智勇 ▶ 主审



JIXIE GONGCHENG KONGZHI
JICHU YU YINGYONG



QUANGUO PUTONG GAOJIAO XUEXIAO JIXIELEI SHIYEWU SHUBIA XILIE JIAOCAI



JIXIELEI * SHIYEWU



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列

机械工程控制基础与应用

主 编 杨咸启

副主编 聂学俊 王 平 李从清 戴丽玲

参 编 王丽珍 闵佳园 张新宇

主 审 凌智勇

华中科技大学出版社

中国·武汉

内 容 简 介

本书共分 10 章,系统介绍了线性定常控制系统的分析方法,包括控制理论基本概念和特点、系统的数学模型与传递函数、系统的时域分析与频域分析、系统稳定性及误差、系统的校正设计方法。本书也介绍了离散控制系统的分析方法、非线性系统的基础知识,以及机电控制的基础实验。

针对高等学校机械类专业自动控制工程课程的需要,本书以机电工程中的控制问题为主导,理论与实际紧密相结合,突出了控制理论分析方法的应用。本书可作为机械类专业自动控制课程的教材,也可供相关专业的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程控制基础与应用/杨咸启 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2013.9
ISBN 978-7-5609-8879-5

I. 机… II. 杨… III. 机械工程-控制系统-高等学校-教材 IV. TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 081480 号

机械工程控制基础与应用

杨咸启 主编

策划编辑:万亚军

责任编辑:吴 晗

封面设计:范翠璇

责任校对:张 琳

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:武汉佳年华科技有限公司

印 刷:武汉市籍缘印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:17.5

字 数:448千字

版 次:2013年9月第1版第1次印刷

定 价:32.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

编审委员会

顾问：李培根 华中科技大学

林萍华 华中科技大学

主任：吴昌林 华中科技大学

副主任：(按姓氏笔画顺序排列)

王生武 邓效忠 轧 钢 庄哲峰 杨 萍 杨家军

吴 波 何岭松 陈 炜 竺志超 高中庸 谢 军

委员：(排名不分先后)

许良元 程荣龙 曹建国 郭克希 朱贤华 贾卫平

丁晓非 张生芳 董 欣 庄哲峰 蔡业彬 许泽银

许德璋 叶大鹏 李耀刚 耿 铁 邓效忠 宫爱红

成经平 刘 政 王连弟 张庐陵 张建国 郭润兰

张永贵 胡世军 汪建新 李 岚 杨术明 杨树川

李长河 马晓丽 刘小健 汤学华 孙恒五 聂秋根

赵 坚 马 光 梅顺齐 蔡安江 刘俊卿 龚曙光

吴凤和 李 忠 罗国富 张 鹏 张鬲君 柴保明

孙 未 何 庆 李 理 孙文磊 李文星 杨咸启

秘 书：俞道凯 万亚军

全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

序

“十二五”时期是全面建设小康社会的关键时期,是深化改革开放、加快转变经济发展方式的攻坚时期,也是贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》的关键五年。教育改革与发展面临着前所未有的机遇和挑战。以加快转变经济发展方式为主线,推进经济结构战略性调整、建立现代产业体系,推进资源节约型、环境友好型社会建设,迫切需要进一步提高劳动者素质,调整人才培养结构,增加应用型、技能型、复合型人才的供给。同时,当今世界处在大发展、大调整、大变革时期,为了迎接日益加剧的全球人才、科技和教育竞争,迫切需要全面提高教育质量,加快拔尖创新人才的培养,提高高等学校的自主创新能力,推动“中国制造”向“中国创造”转变。

为此,近年来教育部先后印发了《教育部关于实施卓越工程师教育培养计划的若干意见》(教高〔2011〕1号)、《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》(教高〔2011〕5号)、《关于“十二五”期间实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”的意见》(教高〔2011〕6号)、《教育部关于全面提高高等教育质量的若干意见》(教高〔2012〕4号)等指导性意见,对全国高校本科教学改革和发展方向提出了明确的要求。在上述大背景下,教育部高等学校机械学科教学指导委员会根据教育部高教司的统一部署,先后起草了《普通高等学校本科专业目录机械类专业教学规范》、《高等学校本科机械基础课程教学基本要求》,加强教学内容和课程体系改革的研究,对高校机械类专业和课程教学进行指导。

为了贯彻落实教育规划纲要和教育部文件精神,满足各高校高素质应用型高级专门人才培养要求,根据《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》文件精神,华中科技大学出版社在教育部高等学校机械学科教学指导委员会的指导下,联合一批机械学科办学实力强的高等学校、部分机械特色专业突出的学校和教学指导委员会委员、国家级教学团队负责人、国家级教学名师组成编委

会,邀请来自全国高校机械学科教学一线的教师组织编写全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材,将为提高高等教育本科教学质量和人才培养质量提供有力保障。

当前经济社会的发展,对高校的人才培养质量提出了更高的要求。该套教材在编写中,应着力构建满足机械工程师后备人才培养要求的教材体系,以机械工程知识和能力的培养为根本,与企业对机械工程师的能力目标紧密结合,力求满足学科、教学和社会三方面的需求;在结构上和内容上体现思想性、科学性、先进性,把握行业人才要求,突出工程教育特色。同时注意吸收教学指导委员会教学内容和课程体系改革的研究成果,根据教学指导委员会颁布的各课程教学专业规范要求编写,开发教材配套资源(习题、课程设计和实践教材及数字化学习资源),适应新时期教学需要。

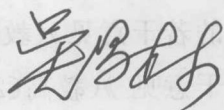
教材建设是高校教学中的基础性工作,是一项长期的工作,需要不断吸取人才培养模式和教学改革成果,吸取学科和行业的新知识、新技术、新成果。本套教材的编写出版只是近年来各参与学校教学改革的初步总结,还需要各位专家、同行提出宝贵意见,以进一步修订、完善,不断提高教材质量。

谨为之序。

国家级教学名师

华中科技大学教授、博导

2012年8月



前 言

“机械工程控制基础”是机械类专业的一门专业基础课程。它主要是培养学生利用控制论的思想和方法,分析、设计机械工程领域中出现的控制问题的能力。为了适应专业发展的需要,本课程一方面要加强理论基础,另一方面要与本专业的实际问题相结合,不断提高和深化教材内容。本书的编者在多年的教学、研究工作的基础上,结合了国内外优秀教材内容及机械控制工程实例和新理论,由浅入深地介绍了工程控制的基础理论、分析方法、设计过程及计算机模拟程序。本书在编写过程中着重考虑以下几方面内容。

(1) 从机械控制工程的基本问题出发,重点阐述控制理论的基本思想和分析问题的方法。介绍基本控制系统的特征,使基本的理论体系更简洁,便于读者对抽象理论的理解。

(2) 从不同的方面介绍了控制理论的应用,突出了实际控制系统的建模方法、性能分析方法,以及综合设计,强调对实际的机电控制问题的处理。

(3) 在机电控制系统的计算机仿真和实验内容方面作了一些介绍。

本书论述简单明了,层次分明,注重物理概念和工程应用。每章配备一定数量的习题,以备读者练习。

· 本书适合作为机械类专业的自动控制工程课程的教科书,也可作为从事相关工作的工程技术人员、科研人员的参考书。

本书由杨咸启任主编,聂学俊、李从清、王平、戴丽玲任副主编。参加本书编写的人员有:黄山学院杨咸启(第1章、第5章、第10章、附录),天津城市建设学院李从清(第2章),北京工商大学聂学俊(第3章),昆明学院戴丽玲(第4章),晋中学院王丽珍(第6章),南阳理工学院王平(第7章),长江师范学院闵佳园(第8章),辽宁科技大学张新宇(第9章)。聂学俊和戴丽玲提供了控制系统稳定性分析的部分初稿,黄山学院蒋宇对全书的习题进行了校对。全书由杨咸启修改、定稿,由江苏大学凌智勇主审。

本书在编写过程中得到了各编者单位的支持,也得到出版社的大力支持。书中引用了参考文献中的部分资料,在此对这些作者表示感谢。虽然经过多次的校对,但书中难免有错误和不当之处,欢迎读者批评指正。

编 者

2013年6月

目 录

第 1 章 自动控制工程概述	(1)
1.1 控制系统的基本概念	(1)
1.2 开环控制与闭环控制	(4)
1.3 控制系统的组成与要求	(5)
1.4 机电工程控制实例	(8)
1.5 控制理论的发展简介.....	(11)
习题	(12)
第 2 章 控制系统的数学模型	(14)
2.1 概述.....	(14)
2.2 工程控制系统的微分方程.....	(15)
2.3 控制系统的传递函数.....	(23)
2.4 控制系统的方框图及简化.....	(30)
2.5 反馈控制系统的传递函数特性.....	(43)
习题	(45)
第 3 章 控制系统的时域分析	(49)
3.1 系统响应求法与特点.....	(49)
3.2 典型输入信号.....	(52)
3.3 一阶系统的时域分析.....	(53)
3.4 二阶系统的时域分析.....	(57)
3.5 高阶系统的时域分析.....	(66)
3.6 控制系统的误差.....	(69)
3.7 应用 MATLAB 进行时域分析.....	(76)
习题	(80)
第 4 章 控制系统的频率特性分析	(83)
4.1 频率特性概念.....	(83)
4.2 频率特性函数求法.....	(85)
4.3 频率特性函数的特性及图示方法.....	(86)
4.4 典型环节的频率特性图形.....	(89)
4.5 高阶系统的频率特性图示.....	(98)
4.6 反馈系统频率特性	(105)
4.7 系统频域性能指标	(109)
4.8 频率特性的实验分析与仿真	(109)
习题.....	(114)

第 5 章 控制系统的稳定性分析	(116)
5.1 系统稳定性概念	(116)
5.2 稳定性的代数学判定方法	(118)
5.3 稳定性的几何学判定方法	(123)
5.4 系统的相对稳定性	(131)
5.5 延时环节对系统稳定性影响	(132)
习题.....	(136)
第 6 章 控制系统的综合与校正	(138)
6.1 概述	(138)
6.2 校正设计方法分类	(141)
6.3 控制系统的串联校正	(142)
6.4 PID 调节器最佳参数设计	(158)
6.5 反馈校正	(162)
6.6 并联(顺馈)校正	(165)
习题.....	(167)
第 7 章 控制系统的根轨迹分析	(169)
7.1 基本概念	(169)
7.2 根轨迹曲线绘图	(171)
7.3 广义根轨迹	(175)
7.4 根轨迹应用	(177)
习题.....	(182)
第 8 章 离散控制系统的分析与校正	(184)
8.1 离散控制系统概述	(184)
8.2 信号采样与保持	(185)
8.3 Z 变换理论	(189)
8.4 离散控制系统的数学模型	(194)
8.5 线性离散系统的稳定性分析	(199)
8.6 离散控制系统的稳态误差分析	(202)
8.7 离散控制系统的校正	(204)
8.8 用 MATLAB 分析线性离散系统	(209)
习题.....	(211)
第 9 章 非线性控制系统基础	(213)
9.1 非线性控制系统的特征	(213)
9.2 描述函数法	(217)
9.3 相平面法	(224)
9.4 利用非线性特性改善系统的性能	(229)
习题.....	(231)

第 10 章 控制工程基础实验与计算机仿真	(233)
10.1 典型输入信号实验方法	(233)
10.2 典型环节的时域参数实验	(234)
10.3 控制系统的传递函数实验法	(237)
10.4 典型控制系统的频率实验	(238)
10.5 控制系统的计算机仿真实验	(240)
附录 A 函数的拉氏变换与 Z 变换	(253)
附录 B 部分习题参考答案	(258)
参考文献	(265)

第 1 章 自动控制工程概述

1.1 控制系统的基本概念

1.1.1 控制系统实例与原理框图

首先,以工程实际中常见的一些实例来说明自动控制过程。

水箱的水位控制系统原理图如图 1-1 所示。当水箱液位高度达到规定的高度后,注水管阀门被关闭,液面高度保持不变。当使用时,出水阀打开,水箱中的水面高度降低。这时,水面上的浮球下移,通过杠杆打开了注水阀门,水流进水箱。如果进水量比出水量大,液面高度再次升到规定的高度时,注水管阀门再次被关闭,液面就保持了稳定。这是一种最简单适用的控制系统。但如果有另外的水箱水位需要联动控制,控制就变得复杂很多。

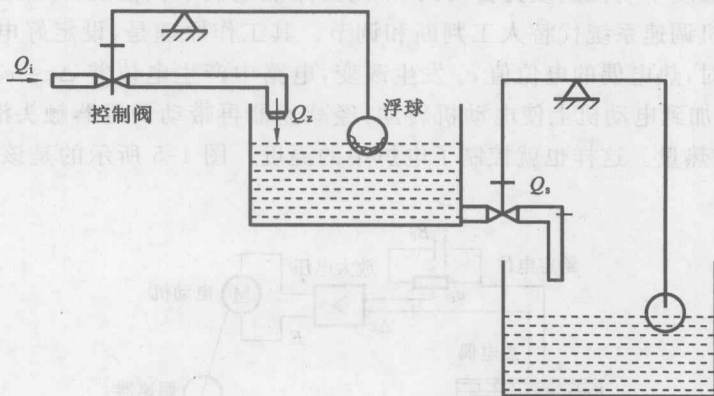


图 1-1 水箱的水位控制原理图

仓库大门自动开闭控制系统原理图如图 1-2 所示。当仓库大门处在关闭的位置时,开关处在开的位置。当需要开门时,系统加上正向电压,电动机正转,带动门上升,从而打开了大门。当门上升到最大高度时,电桥出现平衡状态,电路系统输出的电压为零。这样电动机停止转动。当需要关门时,过程与上面的情况相反。开关在关的位置,系统加上负向电压,电动机反转,带动门下降,大门开始关闭。当门下降到最低高度时,电桥也出现平衡状态,电路系统输出的电压为零,这时电动机又停止转动。这是一种比较复杂的机电控制系统。

恒温箱人工控制原理图如图 1-3 所示,要求箱中的温度保持为给定值。恒温箱的热量由电炉提供,电炉热量大小由电压调节,恒温箱的温度由温度计测量。人工控制这种恒温箱的温度过程是,当工作人员观察到温度计的示值不符合规定值时,根据温度高低由人工来调节电炉电压的大小。

如果以框图的形式将系统中具体对象联系起来,就可以形象地说明人工控制的调节过程,如图 1-4 所示。这种以系统中各物理模块形成的框图可用来说明它们之间的相互关系。

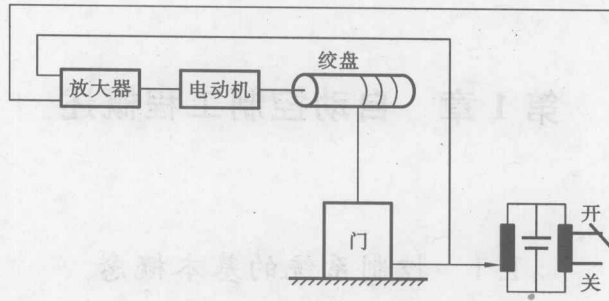


图 1-2 仓库大门自动开闭控制系统原理图

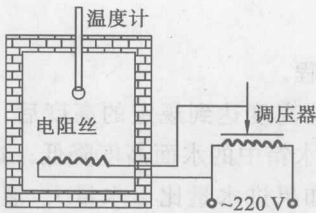


图 1-3 恒温箱人工控制原理图



图 1-4 恒温箱人工调节过程框图

若将电炉的温度手动控制改为自动调节，则要用热电偶取代温度计，增加电压设定电路、放大电路和电动机调速系统代替人工判断和调节。其工作原理是，设定好电位信号值 e_r 后，当电炉温度改变时，热电偶的电位值 e_u 发生改变，电路中产生电位差 $\Delta e = e_r - e_u$ 。它经过放大变为 $E = K\Delta e$ ，加到电动机上使电动机转动，经减速器再带动调压器触头滑动，改变电炉的电压，从而改变加热量。这样也就控制了电炉中的温度。图 1-5 所示的是该系统的自动控制调节原理图。

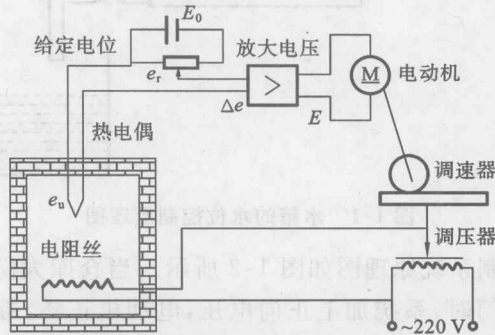


图 1-5 恒温箱自动温度调节原理图

同样，若将整个系统中各功能部分作为各种物理模块，采用框图来表达，则可以清晰地表达出系统的控制流程。图 1-6 所示的为控制原理的物理框图。



图 1-6 恒温箱自动调节过程框图

比较上面两种调节方式，它们有些不同。首先是温度测量方法不同，其次是调节变压器的方式不同，调节的效果也不同。人工调节是断续的、滞后的、不准确的，而自动调节是连续的、

适时的、准确的。

绘图机的控制原理如图 1-7 所示。这是一种程序控制模式的绘图机。计算机的图形信息传递到控制器,转换为驱动信号再传递到伺服电动机,伺服电动机 1 驱动带轮带动绘图笔移动;同时,伺服电动机 2 驱动转纸筒转动,这样在纸面上绘出需要的图形。图 1-8 所示的为绘图机系统控制原理框图。

将上面各例中的控制问题抽象为一个控制系统,系统中的设定值作为输入信号(激励),用箭头表示信号的流动方向。输入信号加到系统上,系统的响应称为输出信号(响应)。用框图的形式将它们联系起来,如图 1-9 所示为控制系统原理框图。

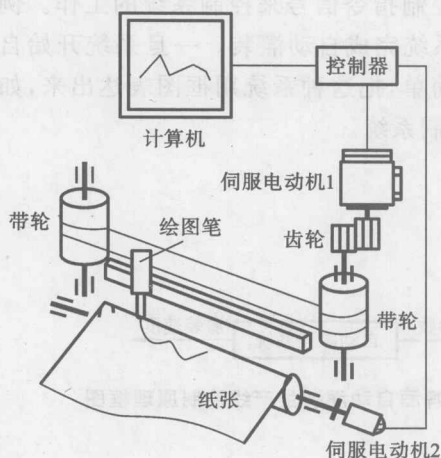


图 1-7 绘图机系统原理图

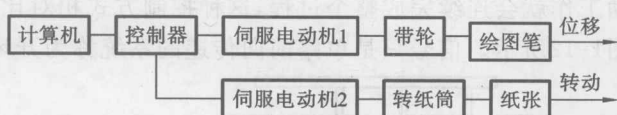


图 1-8 绘图机系统控制原理框图

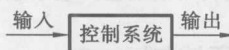


图 1-9 控制系统原理框图

为了方便讨论控制系统的特性,需要建立一些基本概念。

1.1.2 自动控制的定义与概念

一般地说,自动控制是指在不需要人直接参与的情况下,利用给定量,通过自动调节装置,实现被控对象的某些物理量准确地按照预期的规律变化的控制技术。

工程控制理论是用系统的观点,以信息传递方法与可控制的思想来研究工程技术中的动力学问题的理论。为描述系统的控制过程,将控制系统分解为被控对象和控制器部分。它们之间的关系可用框图显示,如图 1-10 所示(称为原理控制框图)。

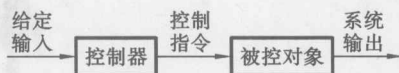


图 1-10 一般控制系统原理框图

这里,被控对象通常是指控制系统中的某些物体。被控对象的物理量称为被控量,也称为输出量。在机电系统中,被控量可以是系统的位移、速度、温度、电压等。系统的给定量称为输入量,简称输入。输入分为控制输入和干扰。控制输入是控制系统设定的输入。对系统的输出产生扰动的输入称为干扰。判断输出量是否符合要求是由测量机构和比较机构来完成的。所有的输入、输出量又称为信号。整个控制有机实体构成系统,其中某些部分又称为环节。

自动控制系统一般由被控对象(设备、仪器等)、控制器(执行机构)、测量和比较机构等组成。这些物理要素有时是由独立的部分构成的,有时是几个部分联合在一起构成的,也可能不同时出现。

1.2 开环控制与闭环控制

1.2.1 开环控制

在很多工业过程控制的实例中,系统只采用单一的控制指令信号来控制系统的工作。例如啤酒自动灌装生产线(见图 1-11),在给定的参数下,系统完成自动灌装。一旦系统开始自动工作就会连续完成整个过程,这种控制方式相对比较简单,把这种系统用框图表达出来,如图 1-12 所示。信号只是单路前向传递的系统称为开环控制系统。

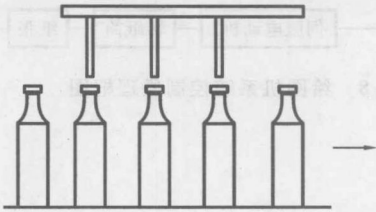


图 1-11 啤酒自动灌装生产线示意图

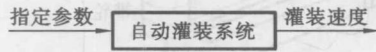


图 1-12 啤酒自动灌装生产线控制原理框图

1.2.2 闭环控制

有些控制系统需要把输出信号量取出,经检测变换后返回到系统的输入端,与输入信号比较后,再对系统起控制作用。这种做法称为信号反馈控制。具有反馈控制的系统称为闭环控制系统,如图 1-13 所示。通常,用一个方框代表一类物理元件,而比较计算部分以圈叉符号表示,每条带箭头的线表示信号流的传递路线和方向。

前面介绍的恒温箱温度自动控制的例子就是一种闭环控制系统。其中,被控对象是电炉,被控量是炉温,控制量是给定电位值。炉温的改变由热电偶感知,再转变为电位,热电偶是测量元件。热电偶的电位改变后反馈到电路中,改变电路中的电压,这是比较过程。驱动电动机是执行机构,带动调压器移动,最后改变电炉电阻丝的电压。从这个例子可以看出,反馈控制是以电位差信号来控制系统的温度值的。

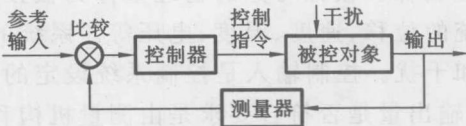


图 1-13 闭环控制系统原理框图

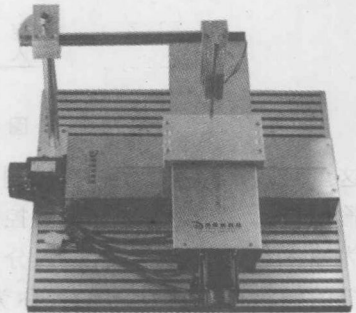


图 1-14 数控工作台实物图

图 1-14 所示的为数控工作台,它的运动控制是一种反馈控制过程。图 1-15 所示的为数

控工作的驱动控制的原理。根据控制指令,伺服步进电动机驱动丝杆转动,再带动工作台移动。工作台上的检测仪器测量出移动位置信号反馈给控制系统,系统给出下一个动作命令。这里被控对象是平台,控制器由计算机、电动机等组成,测量由传感器完成。输入的是指令,被控量是工作台的位移。图 1-16 所示为控制系统原理框图。

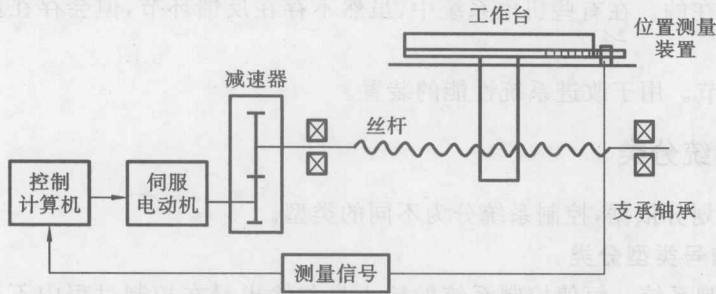


图 1-15 数控工作台驱动的原理图

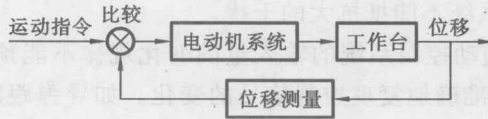


图 1-16 数控工作台运动控制的原理框图

在反馈自动控制系统中,若比较后的信号为误差信号,则这种控制为负反馈控制;若比较后的信号为增强信号,则这种控制为正反馈控制。带有反馈控制的系统就是闭环控制系统。此外,还有顺馈控制系统,它是指存在多路前向信号传递的系统。

1.3 控制系统的组成与要求

工程控制系统有较简单的系统,如杠杆控制系统;也有比较复杂的系统,如机电一体化的自动控制系统。这些系统的组成、性能和要求不相同。下面对这些系统作一概述。

1.3.1 系统组成要素

一个控制系统由被控制对象和控制器组成。而完整的控制器一般又包括:给定环节、测量环节、比较与运算环节、反馈环节、放大环节和执行环节等。这些组成部分的功能和作用如下。

(1) 被控制对象。被控对象是指系统中要控制(操纵)的设备或生产过程等。它是控制动作的受体。

(2) 给定环节。给定环节产生输入信号,用于确定被控对象的目标值。给定环节可以是多种形式的信号,如电信号、非电信号,也可以是模拟量、数字量等。

(3) 测量环节。测量环节是测量被控量,并转化为与输入量可比较的信号的过程。如测速电动机将转速变为电压信号,热敏元件将温度转化为电信号等。

(4) 比较与运算环节。进行输入信号与反馈信号的比较环节,通常分为偏差比较环节和信号叠加环节两种。运算是针对信号的各种处理。

(5) 放大环节。将控制信号进行放大以利于执行机构动作。放大环节又分为前置放大和功率放大等两种。前置放大的功能是放大信号的幅值,功率放大的功能是进行系统的信号能

量放大。

(6) 执行环节。执行环节接收放大环节送来的信号,对被控对象按控制要求进行操纵的环节。通常根据被控制对象来设计,如电动机、液压马达等。

(7) 反馈环节。从输出信号中测量出所需要的信号,并产生反馈信号。在闭环系统中,反馈元件是必须存在的。在有些机电系统中,虽然不存在反馈环节,但会存在反馈作用,如自激振荡。

(8) 校正环节。用于改进系统性能的装置。

1.3.2 系统分类

根据不同的划分依据,控制系统分为不同的类型。

1. 按输出信号类型分类

(1) 恒值控制系统。恒值控制系统的输入量与输出量在控制过程中不调节,系统的输出基本保持恒定值。工业生产中有很多系统的控制量和被控量一旦调整好就不再改变,如温度、压力、流量、液面等。这种系统不能抵抗大的干扰。

(2) 随动控制系统。随动控制系统的输入量的变化规律不能预先确定,但要求系统的输出跟随输入的变化而变化,准确地复现控制信号的变化。如导弹跟踪系统、电液伺服马达、液压仿形机床等。

(3) 程序控制系统。程序控制系统中的输入装置将指令转化为程序信号,被控对象按程序控制信号运动,这时系统输出能保持很高的精度。如计算机绘图仪、针式打字机、数控机床等。

2. 按信号流向分类

(1) 开环系统。系统中没有信息返回,系统的输入不受输出的影响,这种系统称为开环系统。它的主要特点是系统中的信息流只有一条路线,系统的各部分是串联的。这种系统对外界的干扰抵抗力较弱。图 1-10 所示的为开环控制系统的方框图。

(2) 闭环系统。系统中有信息返回到输入端,系统的输入受到输出的影响,这种系统称为闭环系统。它的主要特点是系统中的信息流是一条环形线。这种系统能较好地抵抗外界的干扰。根据回路的不同,闭环系统又分为负反馈系统:回路信号与输入端信号相减;正反馈系统:回路信号与输入端信号相加。反馈系统在控制问题中非常重要,必须深入领会理解。图 1-17 所示的为典型的反馈控制模式的框图。

闭环系统还可以进一步细分为按偏差调节的系统(见图 1-17)和按干扰补偿的系统(见图 1-18)两种。



图 1-17 按偏差调节的负反馈系统

(3) 顺馈系统。当系统中的信息前向流线出现两条以上的支路时,这种系统称为顺馈系统。图 1-19 所示的为顺馈系统的框图。

3. 按系统模型特点分类

(1) 线性定常系统。系统的数学模型是线性常系数微分方程,输入与输出都有确定的变

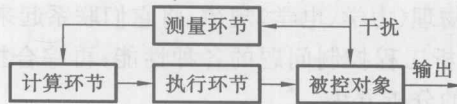


图 1-18 按干扰补偿的反馈系统框图

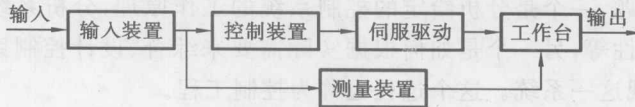


图 1-19 顺馈系统原理框图

化规律的系统称为线性定常系统。

(2) 非线性系统。系统的数学模型是非线性方程,输出可能是确定的,也可能是不确定的变化规律的系统称为非线性系统。非线性系统是比较复杂的系统,很多问题目前还不能求解。为了能获得问题的解答,常对那些非线性不太强的问题进行线性化近似。

4. 按系统控信号处理方式分类

(1) 模拟控制系统(又称为连续系统)。系统中各部分传递的信号是时间的连续函数。

(2) 数字控制系统(又称为离散系统)。系统中各部分传递的信号是数字脉冲信号,数字控制系统是由计算机实现的。

1.3.3 系统性能基本要求

控制系统能否达到预定的要求关系到系统控制的成败,因此,必须对系统提出要求。控制系统的基本要求一般可归结为系统的稳定性、精确性和快速性。

1. 稳定性

稳定性是指在系统输出偏离期望值后,系统动态过程中的振荡倾向及其平衡状态恢复能力。当系统包含了多种储备能量的元件时,若系统参数不匹配,则可能引起系统激烈的振荡输出,这时系统就具有不稳定性。只有系统输出在偏离稳定状态后能较快恢复到其平衡状态的才是稳定的。系统的稳定性是系统正常工作的前提。线性系统的稳定性是由系统参数决定的,与外输入无关。

2. 精确性

在理想的状态下,在系统的动态过程结束后,系统输出的稳态值应与期望值一致。但在实际系统中,因为存在各种误差因素而达不到这一点,这样就出现了系统精确性问题。系统的精确性是指系统的控制精度,常以稳态误差来衡量。稳态误差是指系统在一定的输入信号作用下,当调整过程结束处于稳定时,输出量的实际值与期望值的差。它反映了动态过程后期的系统性能。系统的精确性越高,系统性能越好。

3. 快速性

为了很好地完成控制任务,还要求控制系统的动态性能良好,动态性能通常以系统的快速性来衡量。快速性是指系统的输出量与输入量之间产生偏差时,消除这种偏差的快慢程度。消除偏差的时间短,系统的快速性能就好,反之系统快速性能就差。例如,函数记录仪的控制,如果其快速性不好,记录的函数曲线会变形。

1.3.4 控制系统的研究对象

在工程控制问题分析中,首先从建立控制系统模式开始,将系统中的被控量、给定量或干