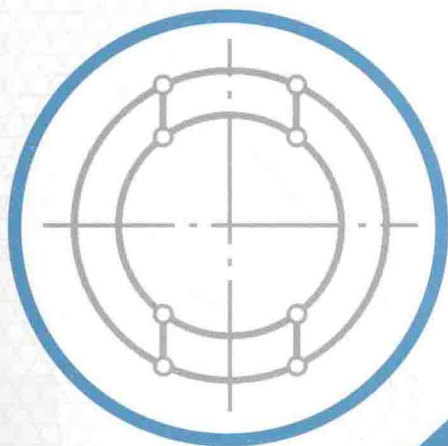




高等院校机械类应用型本科“十二五”创新规划系列教材

顾问 ● 张 策 张福润 赵敖生

机械工程控制基础



主编◎张智焕 包凡彪



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>



“十二五”创新规划系列教材

顾问 ● 张 策 张福润 赵敖生

机械工程控制基础

主 编 张智焕 包凡彪

副主编 谭颖琦 张 哲

参 编 聂晶晶 卢君宣

JIXIE GONGCHENG KONGZHI JICHU



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

本书主要介绍单输入、单输出线性定常控制系统的基本概念、基本原理以及基本的分析方法和综合方法,内容包括绪论、控制系统的数学模型、时域分析法、频域分析法、控制系统的设计与校正。

本书是高等院校机械类应用型本科“十二五”创新规划系列教材,主要为机械工程类(机械制造及自动化、机械电子工程等专业)与控制工程类(自动化、电气工程及自动化等专业)本科生学习“控制工程基础”课程而编写,也可供其他专业师生和有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程控制基础/张智焕,包凡彪主编. —武汉:华中科技大学出版社,2014.5
ISBN 978-7-5609-9683-7

I. ①机… II. ①张… ②包… III. ①机械工程-控制系统-高等学校-教材 IV. ①TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 101498 号

机械工程控制基础

张智焕 包凡彪 主编

策划编辑:俞道凯

责任编辑:张宇翔

封面设计:范翠璇

责任校对:封力煊

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:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉市籍缘印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:13.25

字 数:327千字

版 次:2014年8月第1版第1次印刷

定 价:27.00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

系列教材

潘毓学	长春大学光华学院	李杞仪	华南理工大学广州学院
王宏甫	北京理工大学珠海学院	王龙山	浙江大学宁波理工学院
魏生民	西北工业大学明德学院		

◎ 俗文化語彙 · 1

邓 乐	河南理工大学万方科技学院
卢文雄	贵州大学明德学院
王连弟	华中科技大学出版社
刘跃峰	桂林电子科技大学信息科技学院
孙树礼	浙江大学城市学院
吴小平	南京理工大学紫金学院
张胜利	湖北工业大学商贸学院
陈富林	南京航空航天大学金城学院
张景耀	沈阳理工大学应用技术学院
范孝良	华北电力大学科技学院
范夏夏	浙江工业大学之江学院
盛光英	烟台南山学院
黄健求	东莞理工学院城市学院
曲尔光	运城学院
范扬波	福州大学至诚学院
胡国军	绍兴文理学院元培学院
容一鸣	武汉理工大学华夏学院
宋继良	黑龙江东方学院
李家伟	武昌工学院
张万奎	湖南理工学院南湖学院
李连进	北京交通大学海滨学院
张洪兴	上海师范大学天华学院

秘 书 俞道凯 华中科技大学出版社

前 言

本书是高等院校机械类应用型本科“十二五”创新规划系列教材。

“机械工程控制基础”是工科院校机械类、电气类和仪器仪表类专业的一门重要的技术基础课程。本书主要介绍控制工程在机械制造业中的一些具体应用,介绍机电工程技术人员和管理人员必备的基本知识和技能。突出机械运动作为主要被控对象,并对其数学模型和分析进行综合重点介绍;对自动调节原理基本内容表达清楚,着重基本概念的建立和解决机电控制问题的基本方法的阐明,并简化或略去了与机电控制联系不是太紧、比较深奥的严格数学推导内容;反映机电一体化新技术和新分析方法。

本书主要介绍单输入、单输出线性定常控制系统的基本概念、基本原理以及基本的分析方法和综合方法,内容包括绪论、控制系统的数学模型、时域分析法、频域分析法、控制系统的设计与校正。

本书的整体框架如图 0-1 所示。其中复数域分析(根轨迹法)没有涉及,最后介绍了 MATLAB 在控制系统中的应用。

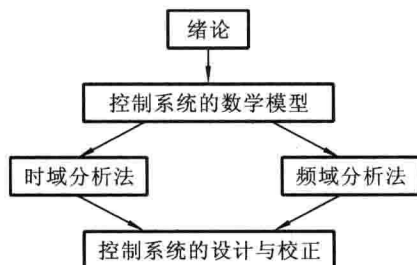


图 0-1 本书的整体框架

本书针对部分本科高校应用性强、学时少的特点,突出应用、实用、创新的原则。在每章开头对主要内容进行重点介绍,内容侧重讲解基本概念的应用,减少理论推导,增加应用实例,与生产实际结合紧密,侧重于原理及具体应用。

本书由浙江大学宁波理工学院张智焕执笔,在编写过程中得到了华中科技大学、浙江大学宁波理工学院、北京理工大学珠海学院、吉林大学珠海学院、武汉科技大学城市学院等单位的大力支持。吉林大学珠海学院谭颖琦编写了本书的附录及部分章节,武汉商学院聂晶晶、武汉科技大学城市学院卢君宜为本书的编写做了大量的准备工作,编写了本书的第 4 章;同时得到浙江大学宁波理工学院张惠娣、王贤成等的帮助,特此表示感谢。本书引用了大量的参考资料,这些资料也是本书得以完成的重要基础,在此向相关资料的作者表示诚挚的谢意。

虽然参与编写本书的每位作者都精心准备资料、用心编写,但由于水平有限,书中难免存在缺点和不足,恳请广大读者批评指正。

编 者

2013 年 2 月

高等院校机械类应用型本科“十二五”创新规划系列教材

总 序

《国家中长期教育改革和发展规划纲要》(2010—2020)颁布以来,胡锦涛总书记指出:教育是民族振兴、社会进步的基石,是提高国民素质、促进人的全面发展的根本途径。温家宝总理在2010年全国教育工作会议上的讲话中指出:民办教育是我国教育的重要组成部分。发展民办教育,是满足人民群众多样化教育需求、增强教育发展活力的必然要求。目前,我国高等教育发展正进入一个以注重质量、优化结构、深化改革为特征的新时期,从1998年到2010年,我国民办高校从21所发展到了676所,在校生从1.2万人增长为477万人。独立学院和民办本科学校在拓展高等教育资源,扩大高校办学规模,尤其是在培养应用型人才等方面发挥了积极作用。

当前我国机械行业发展迅猛,急需大量的机械类应用型人才。全国应用型高校中设有机械专业的学校众多,但这些学校使用的教材中,既符合当前改革形势又适用于目前教学形式的优秀教材却很少。针对这种现状,急需推出一系列切合当前教育改革需要的高质量优秀专业教材,以推动应用型本科教育办学体制和运行机制的改革,提高教育的整体水平,加快改进应用型本科的办学模式、课程体系和教学方式,形成具有多元化特色的教育体系。现阶段,组织应用型本科教材的编写是独立学院和民办普通本科院校内涵提升的需要,是独立学院和民办普通本科院校教学建设的需要,也是市场的需要。

为了贯彻落实教育规划纲要,满足各高校的高素质应用型人才培养要求,2011年7月,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,召开了高等院校机械类应用型本科“十二五”创新规划系列教材编写会议。本套教材以“符合人才培养需求,体现教育改革成果,确保教材质量,形式新颖创新”为指导思想,内容上体现思想性、科学性、先进性和实用性,把握行业岗位要求,突出应用型本科院校教育特色。在独立学院、民办普通本科院校教育改革逐步推进的大背景下,本套教材特色鲜明,教材编写参与面广泛,具有代表性,适合独立学院、民办普通本科院校等机械类专业教学的需要。

本套教材邀请有省级以上精品课程建设经验的教学团队引领教材的建设,邀请本专业领域内德高望重的教授张策、张福润、赵敖生等担任学术顾问,邀请国家级教学名师、教育部机械基础学科教学指导委员会副主任委员、华中科技大学机械学院博士生导师吴昌林教授担任总主编,并成立编审委员会对教材质量进行把关。

我们希望本套教材的出版,能有助于培养适应社会发展需要的、素质全面的新型机械工程建设人才,我们也相信本套教材能达到这个目标,从形式到内容都成为精品,真正成为高等院校机械类应用型本科教材中的全国性品牌。

高等院校机械类应用型本科“十二五”创新规划系列教材

编审委员会

2012-5-1

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 自动控制的基本概念:反馈	(1)
1.3 开环控制和闭环控制	(3)
1.4 自动控制系统的基本组成	(5)
1.5 对控制系统性能的要求	(6)
1.6 自动控制系统的分类	(7)
1.6.1 按给定信号的特征划分	(7)
1.6.2 按系统的数学描述划分	(8)
1.6.3 按信号传递的连续性划分	(9)
1.6.4 按系统的输入与输出信号的数量划分	(10)
1.7 控制系统实例	(11)
1.7.1 内燃机的转速控制系统	(11)
1.7.2 汽车 ABS 控制系统	(12)
1.7.3 液位控制系统	(13)
1.8 MATLAB 简介	(14)
习题	(15)
第 2 章 控制系统的数学模型	(19)
2.1 时间域数学模型:微分方程	(19)
2.1.1 系统微分方程的建立及举例	(19)
2.1.2 非线性系统的线性化	(21)
2.2 复数域数学模型:传递函数	(23)
2.2.1 传递函数的定义	(24)
2.2.2 传递函数的性质	(24)
2.3 频率域数学模型:频率特性	(25)
2.4 典型环节的数学模型	(25)
2.5 控制系统的方块图	(30)
2.5.1 方块图的组成单元	(30)
2.5.2 方块图的建立	(31)
2.5.3 方块图的运算法则	(33)
2.5.4 方块图的简化法则	(35)
2.5.5 方块图简化	(37)
2.5.6 梅逊公式求传递函数	(40)

2.6	控制系统常用的传递函数	(41)
2.7	典型系统的数学模型	(42)
2.7.1	机械系统	(42)
2.7.2	电气系统	(43)
2.7.3	液位系统	(44)
2.8	MATLAB 在数学模型中的应用	(44)
	习题	(47)
第3章	时域分析法	(52)
3.1	典型测试信号	(52)
3.1.1	阶跃函数	(52)
3.1.2	斜坡函数	(53)
3.1.3	抛物线函数	(53)
3.1.4	脉冲函数	(54)
3.1.5	正弦函数	(54)
3.2	控制系统的稳定性分析	(55)
3.2.1	稳定性的基本概念	(55)
3.2.2	线性定常系统稳定的充分必要条件	(56)
3.2.3	劳斯(Routh)稳定判据	(56)
3.3	控制系统的稳态误差分析	(60)
3.3.1	误差及稳态误差定义	(61)
3.3.2	利用终值定理求稳态误差	(61)
3.3.3	系统的型别与开环增益	(62)
3.3.4	稳态误差系数和稳态误差计算	(63)
3.3.5	典型信号合成输入	(67)
3.3.6	扰动作用下的稳态误差计算	(69)
3.3.7	给定输入、扰动共同作用下系统的误差	(70)
3.3.8	减小稳态误差的方法	(71)
3.4	控制系统的动态性能指标	(71)
3.5	一阶系统的动态响应及性能分析	(72)
3.5.1	数学模型	(72)
3.5.2	典型输入响应	(73)
3.6	二阶系统的动态响应及性能分析	(77)
3.6.1	二阶系统数学模型的标准式	(77)
3.6.2	典型二阶系统的单位阶跃响应	(78)
3.6.3	二阶欠阻尼系统的动态性能指标	(80)
3.6.4	二阶系统单位脉冲响应的 MATLAB 求解	(86)
3.6.5	二阶系统单位斜坡响应的 MATLAB 求解	(87)
3.7	高阶系统时间响应及 MATLAB 求解	(88)

3.8 MATLAB在时域分析中的应用	(90)
习题	(92)
第4章 频域分析法	(95)
4.1 频率响应	(95)
4.2 系统的频率特性	(97)
4.2.1 系统的频率特性	(97)
4.2.2 频率特性的性质和作用	(99)
4.2.3 频率特性的求取方法	(99)
4.2.4 频率特性的实例	(100)
4.3 频率特性的奈奎斯特图示方法	(101)
4.4 典型环节频率特性分析	(101)
4.4.1 比例环节	(101)
4.4.2 积分环节	(102)
4.4.3 理想微分环节	(103)
4.4.4 惯性环节	(103)
4.4.5 一阶微分环节	(105)
4.4.6 振荡环节	(105)
4.4.7 二阶微分环节	(107)
4.4.8 延迟环节	(107)
4.5 控制系统的开环奈奎斯特图	(108)
4.5.1 绘制系统的开环奈奎斯特图的一般步骤	(108)
4.5.2 奈奎斯特图的一般形状	(109)
4.6 奈奎斯特稳定判据	(113)
4.6.1 辅助函数 $F(s)$	(113)
4.6.2 辐角原理	(114)
4.6.3 奈奎斯特稳定判据	(115)
4.6.4 奈奎斯特稳定判据判别步骤	(116)
4.6.5 开环含有积分环节时的奈奎斯特轨迹	(118)
4.6.6 开环含有延时环节时的奈奎斯特轨迹	(119)
4.6.7 奈奎斯特稳定判据例题	(119)
4.7 频率特性的图示法——伯德图	(120)
4.8 典型环节的伯德图	(122)
4.9 控制系统的开环伯德图	(134)
4.10 伯德图稳定判据	(140)
4.11 闭环伯德图	(145)
4.11.1 闭环伯德图与闭环频域指标	(145)
4.11.2 闭环伯德图的绘制	(146)
4.12 控制系统的相对稳定性	(149)

4.12.1	相位裕度 γ	(150)
4.12.2	幅值裕度 K_g	(151)
4.12.3	相位裕度 γ 和幅值裕度 K_g 的求解方法	(152)
4.12.4	稳定裕度与系统的稳定性	(153)
4.13	用 MATLAB 实现线性系统的频域分析	(154)
4.13.1	绘制伯德图和奈奎斯特图	(154)
4.13.2	系统分析	(155)
4.13.3	举例	(156)
	习题	(163)
第 5 章	控制系统的校正与设计	(167)
5.1	校正和设计概述	(167)
5.1.1	控制系统的校正	(167)
5.1.2	系统的性能指标	(167)
5.1.3	期望的伯德图	(167)
5.1.4	校正装置的种类及特点	(169)
5.2	串联校正	(170)
5.2.1	串联超前校正	(170)
5.2.2	串联滞后校正	(174)
5.2.3	串联超前-滞后校正	(177)
5.2.4	串联超前校正、滞后校正和超前-滞后校正的比较	(180)
5.3	PID 校正	(180)
5.3.1	PID 控制器	(180)
5.3.2	基本控制规律	(181)
5.4	局部反馈校正	(184)
5.4.1	反馈校正原理	(184)
5.4.2	反馈校正装置的设计步骤	(185)
5.5	复合控制	(186)
5.5.1	按输入补偿的复合控制	(186)
5.5.2	按扰动补偿的复合控制	(187)
5.6	MATLAB 在系统校正中的应用	(187)
5.6.1	串联超前校正	(188)
5.6.2	PID 校正	(192)
	习题	(195)
附录	拉普拉斯变换及其逆变换	(197)
	主要参考文献	(201)

第1章 绪 论

1.1 引言

早在公元前,古希腊就使用了浮球调节器来保持油灯的燃油液面高度。1796年,瓦特发明的用来控制蒸汽机转速的飞球调节器(离心调速器),是最早用于工业的反馈控制器。到20世纪,在军事和工程技术应用领域,自动控制技术起着越来越重要的作用。所谓自动控制就是在没有人直接参与的情况下,利用控制器操纵被控对象,使被控对象的被控物理量按照指定的规律运行。例如航天飞机进入太空按某条轨道运行并重返地球,雷达装置跟踪飞行器,数控机床加工工件等。

随着机电一体化技术的发展,在机电装备中也越来越多地应用了自动控制工程技术,常见的被控物理量有行程、位置、速度、力、力矩、功率、压力、流量、温度等。这些物理量的控制是自动控制理论的重要工程应用。而计算机软硬件技术的发展,更促使了工程控制技术应用的普及。控制理论的工程应用已成为提高我国工业生产力水平的不可缺少的组成部分。

自动控制理论一般可分为“经典控制理论”和“现代控制理论”。经典控制理论以传递函数为基础,主要研究单输入、单输出控制系统的建模、分析与设计校正,理论相对成熟。目前,经典控制理论在工程实际中的应用是最广泛的,也是本书的内容。

1.2 自动控制的基本概念:反馈

图1-1是一个应用反馈控制技术的原理性示意图。



图 1-1 自动控制系统原理图

图中,比较元件用“ $\otimes$ ”表示,它将给定值与检测值进行比较得到偏差值,控制器对偏差信号进行处理,经某种算法后去控制驱动受控对象的某个物理量(称为被控量)。检测装置时刻对被控量进行检测,并将检测值反馈给控制器,使被控量按所期望的规律运行。这就构成了一个反馈自动控制系统。

为了更加明确地说明问题,先看一个有人直接参与的控制系统。

恒温箱人工控制系统如图1-2所示。可以通过调压器改变电阻丝的电流,以达到控制恒温箱温度的目的。箱内温度是由温度计测量的,人工调节过程可归结如下。

(1)观测由温度计(测量元件)测出的恒温箱的温度(被控量)。

(2) 将被测温度值与要求的温度值(给定值)进行比较,得出偏差的大小和方向。

(3) 根据偏差的大小和方向进行控制。

当恒温箱温度高于所要求的给定温度时,就移动调压器滑动端使电流减小,温度降低;当恒温箱温度低于所要求的给定温度时,则移动调压器滑动端使电流增大,温度升高。

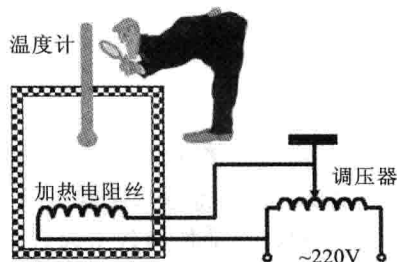


图 1-2 恒温箱人工控制系统

因此,人工控制的过程就是测量、求偏差、再控制以纠正偏差的过程。简单地讲,就是检测并纠正偏差的过程,其原理如图 1-3 所示。

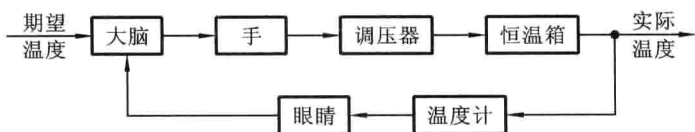


图 1-3 恒温箱人工控制原理图

在图 1-3 所示的控制过程中,人起到了关键作用。例如,检测装置是人(如用眼睛看温度计温度),控制器是人(如大脑),控制驱动装置是人(如人手)。由于人介入了控制过程,因此不能称为“自动”控制系统。且不说占用了人力,如果对于温度的控制精度要求比较高的话,人工控制方式还不能满足控制需求。

如果能找到一个控制器代替人,那么这样一个人工调节系统就可以变成自动控制系统了。

图 1-4 所示就是一个自动控制系统。其中,恒温箱的温度是由给定电压信号 u_1 控制的。当外界因素引起箱内温度变化时,作为测量元件的热电偶,把温度转换成对应的电压信号 u_2 ,并反馈回去与给定信号比较,所得结果即为温度偏差对应的电压信号 $\Delta u = u_1 - u_2$ 。经电压放大、功率放大后,用以改变电动机的转速和方向,并通过传动装置拖动调压器动触头。当温度偏高时,动触头向着减小电流的方向运动;反之,加大电流,直到温度达到给定值

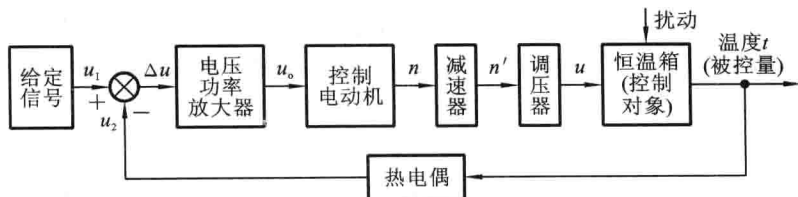


图 1-4 恒温箱温度自动控制系统

为止;只有偏差信号为零时,电动机才停转。这样就完成了所要求的控制任务。所有这些装置便组成了一个自动控制系统。

为了分析方便,常用方块图来表示系统各个部件及变量之间的关系。图 1-5 所示为恒温箱温度自动控制系统功能方块图,各环节的作用是单向的,每个环节的输出是受输入控制的。其中⊗表示比较元件,箭头代表信号作用的方向,从图中可以看出反馈控制的基本原理。可以说,实现自动控制的装置可能各不相同,但反馈控制的原理却是相同的。总之,反馈控制是实现自动控制最基本的方法。

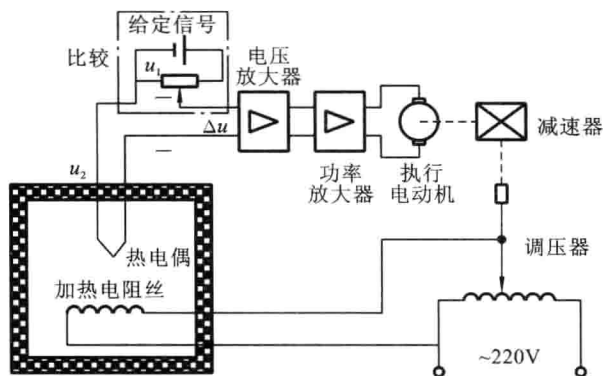


图 1-5 恒温箱温度自动控制系统功能方块图

1.3 开环控制和闭环控制

1. 开环控制

开环控制系统指系统的输出端与输入端不存在反馈回路,输出量对系统的控制作用不产生影响的系统。工业上使用的微型计算机开环控制机床系统如图 1-6 所示。

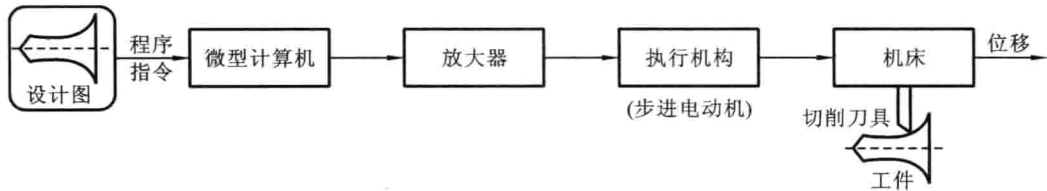


图 1-6 微型计算机开环控制机床系统

工作过程:根据设计图的要求,将加工过程编制成程序指令输入微型计算机,微型计算机完成对控制脉冲的寄存、交换和计算,并输出控制脉冲给执行机构(步进电动机),驱动机床运动,完成程序指令的要求。这就是一个开环制系统,它具有如下特点。

- (1)系统的作用信号由输入端到输出端单方向传输,没有反馈通道,不具有修正误差的能力。
- (2)对系统的每一个输入,总有一个与之对应的输出。
- (3)控制精度取决于系统组成部件和元器件参数的精度与稳定性,所以为了获得高质量

的输出,必须选用高质量的元件。这将导致投资大、成本高。

总体来说,由于开环控制系统抗干扰能力弱,因而其控制精度较低,这大大限制了它的应用范围,用得较少。而闭环控制系统则用得较多。

2. 闭环控制

被控量的变化是控制系统的效果体现。如果被控量的检测值反馈进入控制器,进而对控制作用产生影响,这就构成了闭环控制,相应的控制系统称为闭环控制系统。闭环控制又常称为反馈控制或按偏差控制。

在图 1-6 中引入反馈测量元件,就是闭环控制机床系统,如图 1-7 所示。

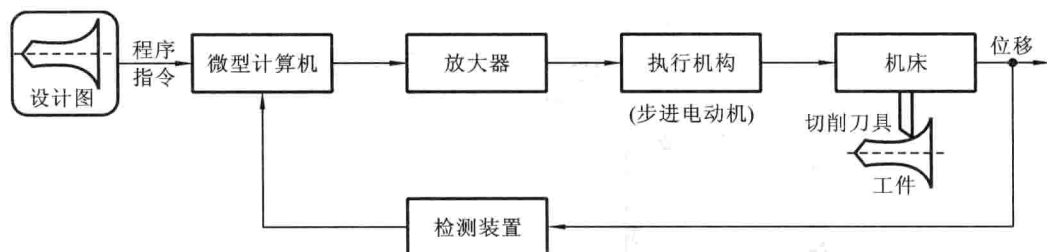


图 1-7 微型计算机闭环控制机床系统

系统反馈装置把切削刀具的实际位置输入计算机,与程序指令进行比较,经计算机处理后发出控制信号,再经放大后驱动执行机构,就可以减小由各种原因产生的误差。

闭环控制系统如果系统参数配合不当,容易产生振荡,使系统不能正常工作,这就是系统的稳定性问题。

由上述例子可知,闭环控制系统具有如下特点。

(1)这类系统具有两种传输信号的通道:由给定值至被控量的通道称为前向通道;由被控量至系统输入端的通道称为反馈通道。二者构成了一个闭合回路。

(2)由于系统是通过判定给定量与反馈量的偏差进行控制的,故这种控制常称为按偏差控制,又称为反馈控制。而反馈控制的作用是使偏差减小,这称为负反馈。

(3)作用在反馈环内前向通道上的由扰动所引起的被控量的偏差值,都会得到减小或消除,使得系统的被控量基本不受该扰动的影响。

(4)闭环控制系统存在稳定性问题。

闭环控制系统的特点是“检测偏差用以减小偏差”。正是由于这种特性,使得闭环控制系统在控制工程中得到了广泛的应用。

3. 复合控制

工程上常采用的复合控制方法,就是把两者(开环控制与闭环控制)结合起来使用。复合控制实质上是在闭环控制回路的基础上,附加一个输入信号(给定或扰动)的前馈通路,对信号实行加强或补偿,以达到精确的控制效果。常见的方式有以下两种。

(1)附加给定输入补偿。图 1-8 给出了该种复合控制的方块图。通常,附加的补偿装置可提供一个前馈控制信号,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。这是一种对控制能力的加强(补偿)。

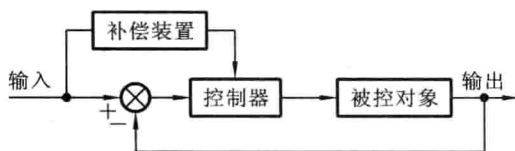


图 1-8 附加给定输入补偿

(2)附加扰动输入补偿。图 1-9 给出了该种复合控制的方块图。附加的补偿装置所提供的控制作用,主要起到对扰动影响“防患于未然”的效果。故应按照不变性原理来设计,即保证系统输出与作用在系统上的扰动完全无关。

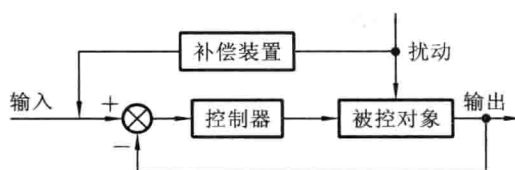


图 1-9 附加扰动输入补偿

1.4 自动控制系统的基本组成

一个典型的反馈控制系统是由控制对象和各种单元装置组成的,各种单元装置共同完成控制目的的系统。下面给出这些单元装置的种类和它们所要起到的作用。

给定装置:用于产生控制系统的输入量,一般与期望的输出相对应,在已知输入信号规律的情况下,可用计算机软件产生指定信号。

检测装置:多用于对控制系统的被控量进行检测,一般是各种各样的传感器,可以完成非电物理量的电测。如测速机将电动机轴的转速检测出来并转换成电压,温度传感器将温度检测出来并转换成电压等。

比较装置:用于把检测元件检测到的实际输出值与给定元件给出的输入值进行比较,求出它们之间的偏差。常用的电量比较元件有差动放大器、电桥电路等。在计算机控制系统中,比较元件的功能往往由软件完成。

放大装置:用于将较小的偏差信号加以放大,以足够的功率来推动执行机构或被控对象。当然,放大倍数越大,系统的反应越敏感。一般情况下,只要系统稳定,放大倍数应适当大些。

执行装置:其功能是直接驱动被控对象,使其被控量发生变化。如阀门、电动机、液压或气动形式的传动机构等。

校正装置:为改善或提高系统的性能,在系统基本结构基础上附加参数可灵活调整的元件,工程上称为调节器,常用串联或反馈的方式连接在系统中。简单的校正装置可以是一个 RC 电路,复杂的校正工作可由计算机来完成。

典型的反馈控制系统基本组成可用图 1-10 表示。

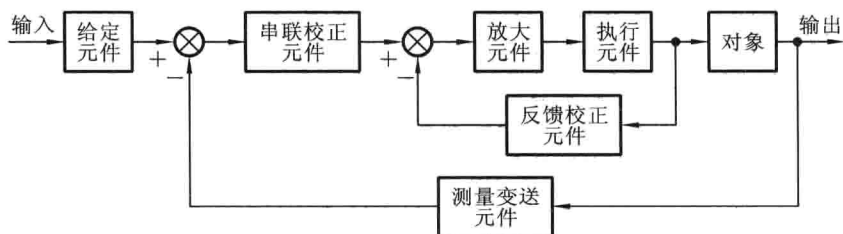


图 1-10 反馈控制系统的基本组成

1.5 对控制系统性能的要求

为了评价一个自动控制系统性能的优劣，必须要有评价指标。这些指标体现在三个方面，即稳定性、快速性和准确性，简称“稳、快、准”。

1. 稳定性

系统受到内部或外部扰动作用后，将产生运动，各物理量将偏离其平衡工作状态。如果在这些扰动作用消失后，系统各物理量能回到原平衡工作状态，则称该系统是稳定的。否则就是不稳定的。

稳定是一个闭环控制系统正常工作的先决条件。前面已经谈到，闭环控制系统的特点是“检测偏差用以减小偏差”，因此可以对稳定性作这样的工程理解：一个系统如果不能做到“减小偏差”，甚至“放大偏差”，那么它就是不稳定的。

稳定性的严格数学定义有着其缜密的数学理论，但也可以直观地从系统标准响应曲线中判定系统的稳定与否。图 1-11 中，响应曲线是收敛的，因而该系统是稳定的。图 1-12 中，响应曲线是发散的，因而该系统是不稳定的。

显然，不稳定的系统是无法正常工作的。一个工程控制系统如果不稳定，轻则产生剧烈振荡，重则损毁机器，是很危险的。

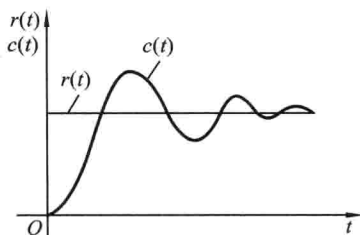


图 1-11 稳定系统的动态过程

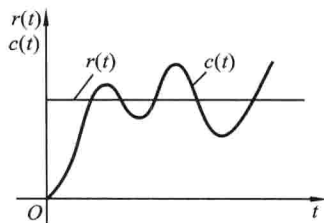


图 1-12 不稳定系统的动态过程

2. 快速性

理想的控制系统，其被控量（输出）与给定量（输入）应时时相等。但是，机械运动部分质量、惯量的存在，电路中储能元件的存在以及物理装置功率的限制，使得控制系统的被控物理量难以瞬时响应输入量的变化。所以，当给定量变化时，被控量不可能立即等于给定量，而需要经过一个过渡过程，即动态过程。

快速性表明了系统输出 $c(t)$ 对输入 $r(t)$ 响应的快慢程度。系统响应越快,说明系统的输出复现输入信号的能力越强。快速性通过过渡过程时间长短来表征,如图 1-13 所示。过渡过程时间越短,表明快速性越好。

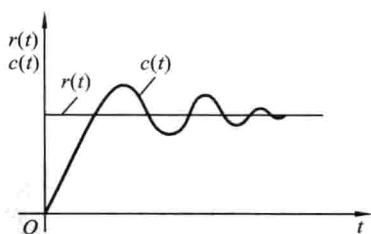


图 1-13 控制系统的快速性

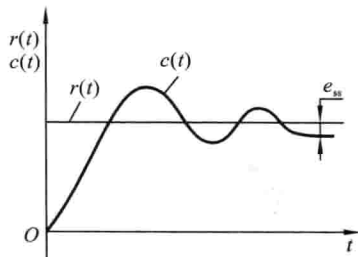


图 1-14 控制系统的稳态精度

3. 准确性

准确性是由系统的稳态精度来衡量的,它是指系统过渡过程结束后进入到稳态过程中,此时输入给定量与输出响应的稳态量差值的大小,称为系统的稳态误差 e_{ss} ,如图 1-14 所示。

对于系统稳定性、快速性和准确性的要求不可能面面俱到,这三者往往是相互制约的。在设计与调试过程中,若过分强调系统的稳定性,则可能会造成系统响应迟缓和控制精度较低的后果;而过分强调系统响应的快速性,又会使系统的振荡加剧,甚至引起不稳定。快速性与稳定性、准确性与稳定性是控制系统的两对主要矛盾。

根据控制系统的工作任务和目的,分析和设计自动控制系统,使其对三个方面的性能有所侧重,抓住主要矛盾并兼顾其他,以满足要求,这正是本课程所要研究的内容。

1.6 自动控制系统的分类

对自动控制系统的分类可根据其某个特点,从应用需要加以划分。常有以下几种反映系统基本实质的分类方式。

1.6.1 按给定信号的特征划分

给定信号作为系统的输入信息,往往代表了系统希望的输出值,反映了控制系统的目的和任务。给定信号的自身特征在很大程度上影响了对于自动控制系统的性能指标要求。

1. 恒值控制系统

恒值控制系统的任务是使控制系统的被控物理量维持在某一恒定值上。对于控制系统的主要要求是当被控量受某种干扰而偏离恒定值时,通过自动调节的作用,使它尽可能快地恢复到恒定值。在工程实现时,系统不可避免地存在误差,因此控制系统应保证误差不超过合理的允许范围。显然,控制系统的准确性是系统设计中要解决的主要问题。

前面提到的水温控制系统(见图 1-2)、直流电动机调速系统,以及其他恒定位置、恒定速度、恒定压力、恒定流量、恒定温度等系统都属于这一类系统。

2. 随动控制系统

随动控制系统的主要特点是给定信号的变化规律是事先不能确定的。对控制系统的主