



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

工业电气控制技术

主 编 吕厚余 邓 力

副主编 张 莲



科学出版社
www.sciencep.com

内 容 简 介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。该教材以传统的继电器控制技术为基础,从典型的继电器-接触器控制线路出发,引出可编程控制器(PLC)在工业机械控制中的应用。本书共8章,主要内容有:基本控制原理、电器的基本知识、常用电器、工业电气控制系统的设计、电动机基本开环控制环节、电气控制系统、可编程控制器和可编程控制器在电气控制系统中的应用。

本书不仅可作为普通高校本科电气信息类、机电类专业课程的教材,也可作为电气工程设计人员的技术参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

工业电气控制技术/吕厚余,邓力主编. —北京:科学出版社,2007

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)

ISBN 978-7-03-019140-3

I. 工… II. ①吕…②邓… III. 电气控制-高等学校-教材
IV. TM921.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第127904号

责任编辑:巴建芬 潘继敏/责任校对:李奕莹

责任印制:张克忠/封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京市文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年8月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2007年8月第一次印刷 印张:19 1/4

印数:1—3 500 字数:365 000

定价:28.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈文林〉)

前 言

电气控制技术是以实现生产过程自动化为目的的控制技术。为了改善人们在生产和生活中的条件,大幅度提高全社会生产和再生产的效率,电气控制技术被广泛应用于各个工业部门及各种需要动力的场合。随着现代科学技术的飞速发展和高科技生产技术的广泛应用,工业电气控制技术也发生了根本性的变化,已从传统的继电器控制技术逐步过渡到可编程控制技术。可编程控制器(PLC)作为一种新型自动化控制装置,始终处于工业控制自动化领域的主战场,为各种各样的自动化控制设备提供非常可靠的控制方案。

作为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,本书以传统的继电器控制技术为基础,从典型的机械继电器控制线路出发,使学生初步了解工厂电气控制的目的和要求;通过可编程控制器在工业电气控制中的应用,使学生掌握控制程序的编程方法,培养学生将 PLC 应用于实践的设计开发能力。在掌握典型工业机械设备的继电器控制系统的基础上,培养学生将 PLC 应用于工业机械设备的控制系统的设计开发能力。为了做到让学生既能熟练掌握最基本的继电器控制系统的分析设计方法,又能对现代最新电气控制技术有更多的了解,书中还介绍了 PLC 在几种工业电气控制系统的控制程序。为使学生能更深入地了解电器的工作原理和构成方式,本书还加入了电接触和电弧理论知识介绍。为适应现代工业发展的需要,书中还对高压配电电器以及电子电器、智能电器等新型电器作了简单的介绍。

本书的第 1 章介绍了控制系统的基本控制原理,对开环控制系统及闭环控制系统的基本结构及工作原理作了简单介绍。第 2 章是电器的基本知识,着重介绍了电磁式电器的工作原理以及电接触理论和开关电弧理论(本章中有些内容是选学的,用小号字加以区分)。第 3 章讲述常用电器,在介绍了接触器、控制继电器、控制按钮、行程开关、转换开关、万能转换开关、熔断器、热继电器等传统低压电器后,还对高压配电电器、电子电器和智能电器作了简单介绍。在第 4 章工业电气控制系统的设计中,介绍了电气控制线路设计的基本原则、基本程序、基本设计方法和电气控制系统的常规保护,并以 GB 4728—1984《电气图用图形符号》、GB 6988—1987《电气制图》和 GB 7159—1987《电气技术中的文字符号制定通则》的规定为标准,介绍了电气控制线路的绘制方法。在第 5 章电动机基本开环控制环节中,对鼠笼式电动机直接起动控制、点动控制、两地控制、正反转控制、降压起动控制以及绕线式异步电动机的起动控制作了介绍,并对鼠笼式

电动机的软起动器控制作了简单介绍；然后介绍了异步电动机的制动控制电路以及直流电动机的控制电路。第6章为电气控制系统，不仅对车床、铣床、镗床以及起重机的电气控制系统作了分析和介绍，还介绍了几种继电器-接触器控制线路的故障检查方法。第7章对可编程控制器的硬件配置和编程作了介绍。第8章以车床、镗床和起重机为实例介绍了PLC在开环控制系统中的应用；并介绍了供水塔控制系统、电梯控制系统、洗衣机和搬运机械手等PLC在闭环控制系统中的应用。

本书由四川大学李兴源教授主审，李兴源教授对本书提出了许多宝贵意见，对此我们表示诚挚的谢意。

本书由重庆大学吕厚余、邓力任主编，重庆工学院张莲任副主编。第2、3章由邓力编写，第4、6章由张莲编写，第1、5章由重庆大学李昌春编写，第7、8章由重庆大学余传祥编写，全书由吕厚余教授统稿。在本书的编写过程中，得到了科学出版社编辑的大力支持和帮助，在此我们表示衷心的感谢。本书还得到重庆大学教材建设基金资助。

由于编者的水平有限，书中难免有疏漏和不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

2007年3月

目 录

前言

第 1 章 基本控制原理	1
1.1 开环控制系统	1
1.1.1 开环控制系统的基本结构及工作原理	1
1.1.2 开环控制系统的特点	2
1.2 闭环控制系统	2
1.2.1 闭环控制系统的基本结构及工作原理	2
1.2.2 闭环控制系统的特点	4
1.2.3 复合控制	6
1.3 对自动控制系统的基本要求	7
本章小结	8
习题	8
第 2 章 电器的基本知识	9
2.1 电器概述	9
2.1.1 电器的分类	9
2.1.2 电器产品的发展	11
2.1.3 新技术在电器设计和开发中的应用	12
2.2 电器的基本理论	15
2.2.1 电磁式电器的工作原理	15
2.2.2 电接触理论	22
2.2.3 开关电弧理论	34
本章小结	46
习题	47
第 3 章 常用电器	48
3.1 控制电器	48
3.1.1 接触器	48
3.1.2 控制继电器	52
3.2 主令电器	59
3.2.1 控制按钮和指示灯	59
3.2.2 行程开关	62

3.2.3 转换开关和万能转换开关	65
3.3 保护电器	67
3.3.1 熔断器	67
3.3.2 热继电器	70
3.3.3 漏电保护器	72
3.4 配电电器	74
3.4.1 低压配电电器	74
3.4.2 高压配电电器	79
3.5 新型电器	84
3.5.1 电子电器	84
3.5.2 智能电器	89
本章小结	91
习题	92
第4章 工业电气控制系统的设计	94
4.1 电气控制线路设计的基本原则	94
4.1.1 满足生产机械和工艺对电气控制系统要求原则	94
4.1.2 控制线路力求简单、经济原则	94
4.1.3 保证电气控制电路工作的可靠性原则	96
4.1.4 保证电气控制电路工作的安全性原则	99
4.1.5 操作、维护、检修方便原则	103
4.2 电气控制线路设计的基本程序	103
4.2.1 拟定电气设计任务书	103
4.2.2 电力拖动方案的选择	104
4.2.3 电动机的选择	106
4.2.4 电气控制方案的确定	107
4.2.5 控制方式的选择	108
4.3 电气控制线路的设计方法	109
4.3.1 经验设计法	109
4.3.2 逻辑设计法	112
4.4 电气控制线路的绘制方法	121
4.4.1 常用的电气图形、文字符号	122
4.4.2 电气原理图的绘制	123
4.4.3 电器元件布置图	126
4.4.4 电气接线图的绘制	127
本章小结	128

习题	129
第 5 章 电动机基本开环控制环节	130
5.1 异步电动机基本控制电路	130
5.1.1 鼠笼式电动机直接起动控制	130
5.1.2 鼠笼式电动机的降压起动控制	134
5.1.3 绕线式异步电动机的起动控制	137
5.1.4 鼠笼式异步电动机的软起动器控制	138
5.2 异步电动机的制动控制电路	140
5.2.1 反接制动控制	140
5.2.2 能耗制动控制	141
5.3 直流电动机的控制电路	142
5.3.1 直流电动机的机械特性	142
5.3.2 直流电动机的起动与反转	143
5.3.3 直流电动机调速的概念及性能指标	143
5.3.4 直流电动机的开环调速系统	145
5.3.5 直流电动机的闭环调速系统	146
本章小结	149
习题	149
第 6 章 电气控制系统	155
6.1 车床电气控制系统	155
6.1.1 结构和工作要求	156
6.1.2 控制要求	156
6.1.3 电气控制电路	156
6.2 铣床电气控制系统	162
6.2.1 主要结构和运动方式	162
6.2.2 控制要求	164
6.2.3 电气控制电路	165
6.3 镗床电气控制系统	171
6.3.1 主要结构和运动方式	171
6.3.2 控制要求	172
6.3.3 电气控制电路	173
6.4 起重机电气控制系统	176
6.4.1 概述	176
6.4.2 15/3t 桥式起重机整机控制线路的分析	179
6.4.3 凸轮控制器控制线路	181

6.4.4 主令控制器控制线路	185
6.4.5 起重机电气控制中的保护设备	192
6.5 继电器-接触器控制线路故障分析与检查	196
6.5.1 电压测量法	196
6.5.2 电阻测量法	197
6.5.3 短接法	198
6.5.4 开路法	200
6.5.5 电流法	200
本章小结	200
习题	201
第7章 可编程控制器	202
7.1 概述	202
7.1.1 发展历史	202
7.1.2 性能特点	204
7.1.3 应用及发展趋势	206
7.2 可编程控制器的硬件配置	208
7.2.1 基本组成	208
7.2.2 分类	215
7.2.3 基本工作原理	216
7.2.4 性能指标	218
7.3 西门子 S7-200 系列可编程控制器简介	219
7.3.1 S7-200 系统的基本组成	219
7.3.2 S7-200 系列 PLC 的主要技术指标	222
7.4 可编程逻辑控制器程序设计	224
7.4.1 编程语言	224
7.4.2 S7-200 编程的基本概念	226
7.4.3 S7-200 的编程元件	228
7.4.4 S7-200 基本指令系统	236
7.4.5 梯形图设计方法	244
本章小结	258
习题	258
第8章 可编程控制器 (PLC) 在电气控制系统中的应用	262
8.1 可编程控制器控制系统设计的基本步骤	262
8.1.1 被控系统的分析	262
8.1.2 可编程控制器系统的硬件设计	262

8.1.3 可编程控制器系统的软件设计	263
8.1.4 现场安装、调试	264
8.1.5 编写技术文档	264
8.2 可编程控制器在电机控制中的应用	264
8.2.1 异步电动机的降压起动控制	264
8.2.2 异步电动机的调速	266
8.2.3 步进电机的控制	270
8.3 可编程控制器在机床控制系统中的应用	270
8.3.1 车床控制	270
8.3.2 铣、镗床控制	273
8.4 可编程控制器在工业控制系统中的应用	275
8.4.1 机械手控制	275
8.4.2 模拟量采集	280
8.4.3 PLC 在楼宇自动化和家用电器中的应用	282
本章小结	290
习题	290
参考文献	292
附录 低压电器产品的型号	293

第 1 章 基本控制原理

在工业生产和日常生活中,大多数设备都是以电动机为执行机构拖动生产机械的,通常将这种控制方式称为电力拖动,也称为电气传动。电力拖动的控制方式由手动控制逐步向自动控制方向发展。最初的电力拖动是由数量不多的继电器、接触器、开关及保护元件等组成的继电器-接触器控制系统,这种控制具有使用单一性,且电动机只有通和断两种状态,系统为断续的开环控制系统。

为了使控制系统获得更好的静态和动态特性,完成更复杂的控制任务,反馈控制系统应运而生。反馈控制系统不仅能反映信号的通或断,而且能反映信号的大小和变化,反馈控制系统也称为闭环控制系统。

本章介绍开环控制系统与闭环控制系统的基本组成、工作原理及其特点。

1.1 开环控制系统

自动控制系统是由控制器与控制对象组成的能够实现自动控制任务的系统。开环与闭环两大类控制系统在工程实践和日常生活中得到了广泛的应用。为了说明控制系统的基本组成及其工作原理,我们首先介绍控制系统中的一些常用名词和术语。

(1) 自动控制:利用控制装置自动地操纵机器设备或生产过程,使其具有希望的状态或性能。

(2) 控制对象:要求实现自动控制的机器、设备或生产过程。

(3) 控制器:对控制对象起控制作用的控制装置。

(4) 输入量:也称给定输入,它反映了输出量的期望值,它作用于控制系统输入端,使系统具有期望的输出。

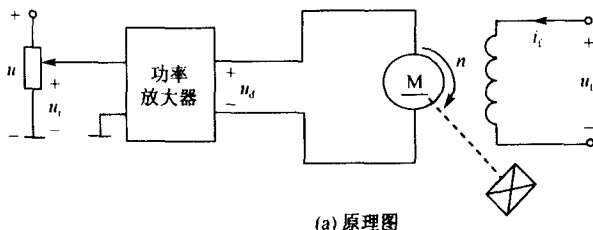
(5) 输出量:要求实现自动控制的物理量,位于系统的输出端。

(6) 扰动量:破坏系统给定输入与期望输出之间预定规律的干扰信号。

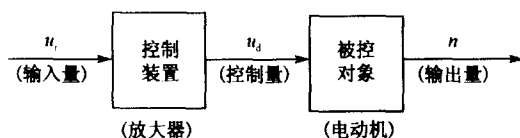
1.1.1 开环控制系统的基本结构及工作原理

开环控制是指控制器与控制对象之间只有顺向作用而没有反向联系的控制过程,即输出量对系统的控制作用没有影响。图 1.1(a) 为电动机转速控制系统原理图,该系统中电动机是控制对象,电机转速是被控量。若电机转速以某一定值运转,只要调节电位器动触头,给出相应的电压 u_r 即可。电动机转速的上升、

下降随给定输入信号电压 u_r 的增加和减小发生变化。可见，此系统的特点是：从给定电压 u_r 经功率放大器到电动机转速 n ，信号传递是单方向的，电动机转速对给定电压 u_r 没有影响。开环调速系统原理框图如图 1.1(b) 所示。



(a) 原理图



(b) 框图

图 1.1 开环调速控制系统原理图及原理框图

1.1.2 开环控制系统的特点

在上述调速控制系统中，电动机负载突然增减，励磁电流变化，或功率放大器电源波动等“扰动”因素的存在，都会引起电动机转速的变化，破坏给定电压 u_r 与转速 n 原有的对应关系，使生产设备达不到期望的正常工作状态。因此，开环控制系统的最大不足之处，就是自身无法纠正由于扰动作用产生的偏差。开环控制系统特点归纳为如下几点：

- (1) 结构简单，成本低；
- (2) 信号从输入到输出单方向传递，且系统稳定性好，系统不会出现振荡的现象；
- (3) 抗干扰能力差，无自动修正被控量偏差的能力，故系统精度低；
- (4) 常用于控制精度要求不高的场合，如自动洗衣机、产品生产自动线、交通信号灯红绿灯之间的转换等。

1.2 闭环控制系统

1.2.1 闭环控制系统的基本结构及工作原理

闭环控制也称反馈控制，是控制系统中应用最广泛的一种控制方式。图 1.2 是闭环调速控制系统，与图 1.1 所示的开环控制系统相比，最明显的特点是被控

量转速通过测速发电机转换成电压 u_f 后, 反馈到输入端形成闭环, 并与给定输入电压 u_r 进行比较, 得出偏差信号 Δu , 偏差信号 Δu 经功率放大器放大后, 再去控制电动机的转速。如果出现扰动, 如负载转矩增大, 电机转速降低, 测速发电机检测出来的反馈信号电压 u_f 将减小, 由于给定电压 u_r 保持不变, 偏差信号电压 Δu 将增大 ($\Delta u = u_r - u_f$), 经放大后电枢电压 u_d 相应增大, 从而使电动机转速回升。若出现负载转矩突然减小的扰动, 则系统调整过程与上述过程正好相反, 使系统基本处于恒速运行。由此可见, 该闭环转速控制系统是根据负反馈原理按偏差进行控制, 因此也称为反馈控制系统或偏差控制系统。闭环转速控制系统原理框图如图 1.2(b) 所示。

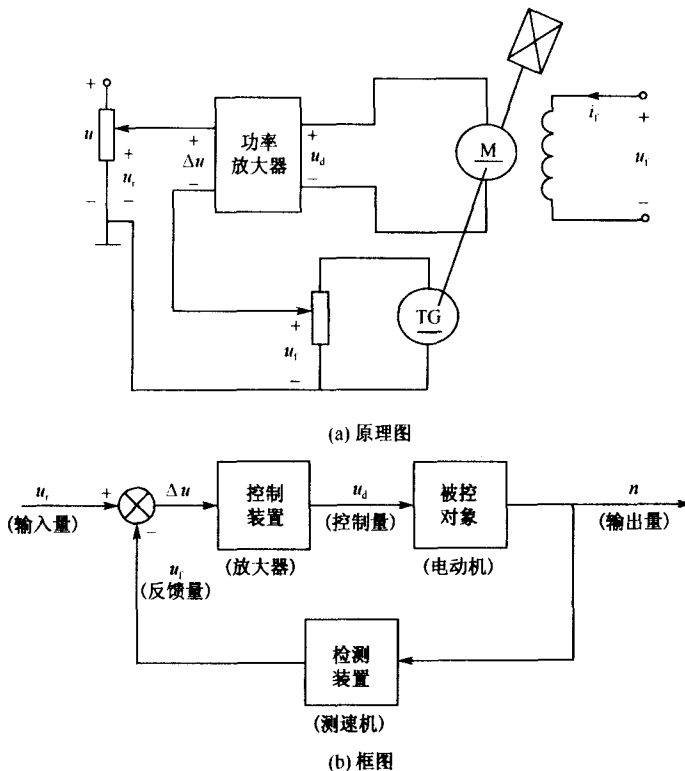


图 1.2 闭环转速控制系统原理图及框图

一个完善的反馈控制系统基本组成可用图 1.3 所示的框图表示。所谓框图, 就是按用途和性能将系统中各部分划分开来, 每一部分用一个方框表示, 方框前后的直线箭头表示信号的传递方向。信号从输入端沿箭头方向到达输出端的传输通路称前向通道; 系统输出量经测量元件反馈到输入端的传输通路, 称主反馈通道。此外, 系统还有局部反馈通道。符号 $\otimes$ 表示比较环节 (也称综合点), 输入

信号与反馈信号在综合点进行比较、综合后，若综合点出来的信号是削弱了输入信号，则为负反馈。反之，则为正反馈。

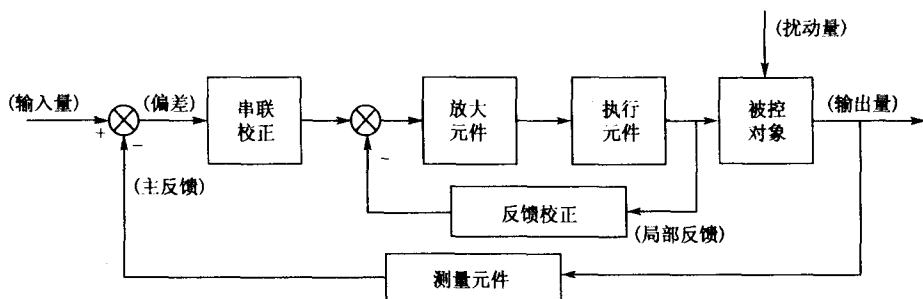


图 1.3 反馈控制系统基本组成

系统中各基本环节的作用如下：

(1) 执行元件：直接对被控对象进行操作，使输出量（被控量）达到期望的要求值。一般由传动装置和调节机构组成。

(2) 放大元件：将比较微弱的偏差信号放大，从而输出足够大的幅值和功率信号去推动执行机构动作。

(3) 校正环节：为改善系统特性而附加的装置。串联校正装置通常安置在前向通道前端能量较低的部位。反馈校正主要是为了改善系统中某些环节的特性，如改善环节的非线性特性、减小部分环节的延迟等，而在这些环节上附加的一种局部反馈。

(4) 测量元件：用来测量被控量，将其转换成与给定量相同的物理量，并反馈到输入端的元件。测量元件的精度和特性直接影响到系统的控制品质，它是构成自动控制系统的关键元件，因此一般要求检测装置应具有测量精度高，反应灵敏，性能稳定等特性。

一般加到反馈控制系统的外作用有两类，一类是有用的给定输入信号，它使被控量即输出量按人们期望的规律变化；另一种是扰动信号，扰动信号是系统不希望有的外作用，它破坏了给定输入对系统的控制。对于可测量的干扰信号，可附加干扰补偿校正装置来消除扰动对输出的影响。

1.2.2 闭环控制系统的特点

(1) 闭环控制系统信号传递通道除了有前向通道（主通道）外，还有从输出端到输入端的反馈通道，使系统的输出量也参与控制作用。

(2) 闭环系统能削弱或消除反馈环内主通道上各环节参数变化或外部扰动对被控量的影响，大大提高了系统的控制精度。但闭环系统不能削弱或消除反馈元件和给定元件不稳定给被控量带来的影响。

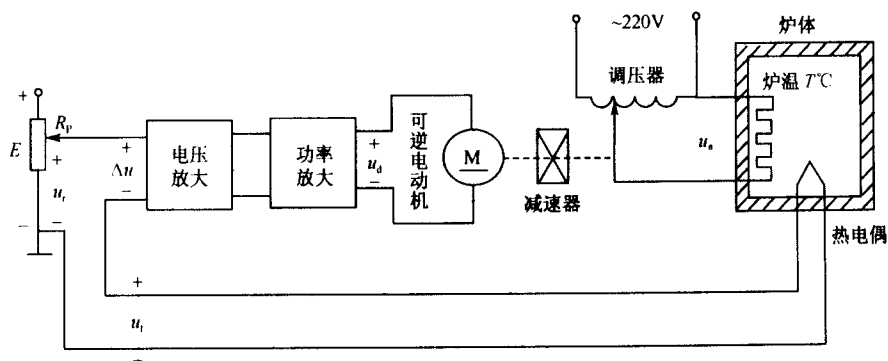
(3) 与开环系统相比, 闭环系统的结构较复杂, 成本也较高。

(4) 由于组成闭环系统的各环节存在惯性, 传动机构有间隙等因素, 若系统结构和参数配合不当时, 反馈将引起系统振荡或不稳定工作。因此, 增加了系统分析、设计的复杂性。

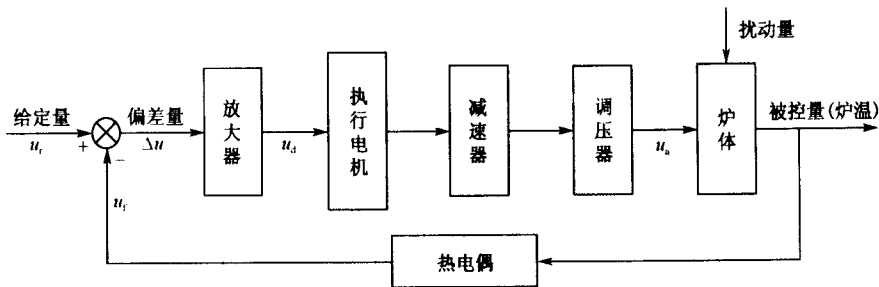
闭环自动控制系统在日常生活、工业生产以及航空航天技术中都得到了广泛的应用。如冰箱制冷系统、液位自动控制系统、炉温控制系统、自动调压系统、导弹发射自动定位系统、串联型晶体管稳压电源等。为了进一步加深对闭环控制系统工作原理和框图的理解, 下面举一例炉温控制系统。

例 电炉炉温控制系统原理图如图 1.4(a) 所示, 试分析其工作原理并画出对应的框图。

解 本系统的控制任务是保持炉温 T 恒定, 其控制方式是闭环控制。电炉是系统的被控对象, 炉温则是被控输出量。热电偶是测量元件, 用来测量炉温并将其转换为电压信号 u_f , 即系统的反馈量, 它与被控量成正比。电压 u_r 为系统的给定输入, 电源 E 和电位器 R_P 称为给定元件, 一旦给定输入 u_r 确定了, 炉温 T 也就确定了。该系统能消除内外扰动的影响, 保持炉温 T 恒定, 其自动调



(a) 原理图



(b) 框图

图 1.4 电炉炉温控制系统的原理图和框图

整炉温的控制原理如下。

经事先整定,假设炉温已达到给定值对应的期望炉温,这时反馈电压 u_f 应等于给定电压 u_r , 即偏差电压 $\Delta u = u_r - u_f = 0$, 放大器的输出电压等于零, 执行电机静止不动, 则调压器的动触头也不动, 处于某一确定位置, 使调压器提供的电压、电能维持炉温在期望的状态。若系统受到扰动, 使炉温 T 下降, 将导致反馈电压 u_f 下降, 而给定电压 u_r 没变, 则偏差电压 $\Delta u = u_r - u_f > 0$, Δu 经电压、功率放大后, 推动执行电动机朝着使调压器输出电压 u_a 增大的方向转动, 使炉温回升, 直到炉温等于给定炉温为止。反之, 如果扰动使炉温升高, 则 u_f 增大, $\Delta u < 0$, 执行电机反向旋转并带动调压器动触头向降低输出电压的方向移动, 从而使炉温下降, 直到调整到给定炉温为止。

电炉炉温自动控制系统框图如图 1.4(b) 所示。

1.2.3 复合控制

当生产机械对自动控制提出更高的控制要求时, 单独采用开环控制和闭环控制效果均不理想。此时, 可采用开环控制与闭环控制相结合的复合控制系统, 如图 1.5、图 1.6 所示。在复合控制系统中, 带有负反馈的闭环控制起主要的调节作用, 而带有前馈的开环控制则起辅助补偿作用, 这样使系统达到很高的控制精度。

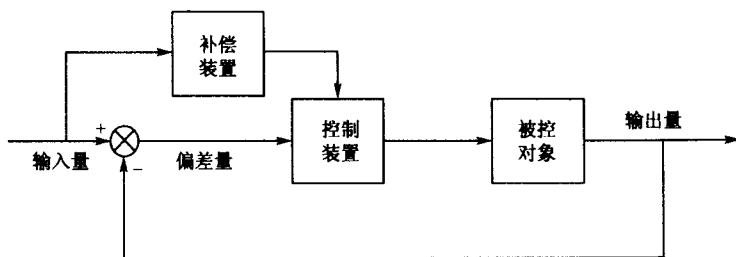


图 1.5 按输入作用补偿的复合控制

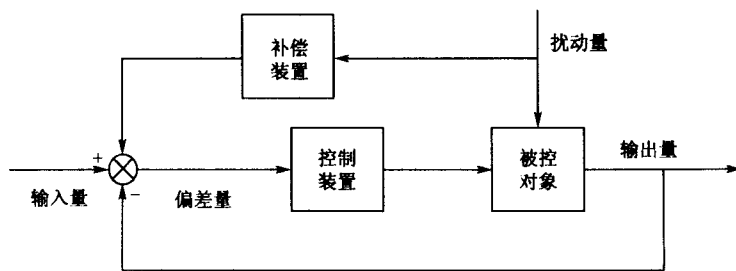


图 1.6 按扰动作用补偿的复合控制

1.3 对自动控制系统的基本要求

为了完成不同的控制任务,构成了各式各样不同类型的自动控制系统,对每一个系统都有不同的特殊要求。但它们都有一共性,那就是要求被控量能迅速、准确地跟随给定量的变化,并且尽量不受任何扰动的影响。在实际系统中,由于控制对象、控制装置以及各功能部件特性参数匹配的不同,会造成系统在控制过程中的性能差异很大,严重时甚至造成系统不能正常工作。因此,工程上对自动控制系统性能提出了一些基本要求,可归结为稳定性、快速性和准确性,即稳、快、准的要求。

1. 稳定性

稳定性是保证控制系统正常工作的先决条件。任何系统在扰动作用下都会偏离原平衡状态,产生初始偏差。所谓稳定性,是指系统在扰动消失后,由初始偏差状态恢复到原平衡状态的性能。若扰动消失后,不能回到原来的平衡状态,甚至随着时间的推移对原来平衡状态的偏离越来越大,这样的系统是不稳定的系统,无法正常工作。图 1.7 是控制系统在扰动信号作用后的动态响应曲线。曲线①、②表明了系统在扰动信号消失后能恢复到原有的平衡状态,系统是稳定的。而曲线③、④表明系统在受扰后,越来越偏离原平衡状态,是单调发散或振荡发散的,系统不稳定。这种稳定性有时也称为绝对稳定性。而对于稳定的系统,把动态响应过程中输出量衰减振荡的强烈程度称为相对稳定性。

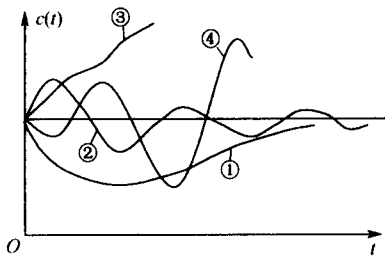


图 1.7 控制系统受扰动作用后的动态响应曲线

2. 快速性

快速性是指系统动态过程持续时间的长短。因为工程上的控制系统总是存在惯性,如电动机的电磁惯性,机械惯性等,致使系统在扰动量或给定量发生变化时,输出量不能突变,需要一个过程和一定的时间来消除扰动对输出的影响或使输出跟随输入信号的变化,这个过程就是动态过程(也称过渡过程)。动态过程持续时间长,说明系统反应迟钝,难以实现快速变化的指令信号。

3. 准确性

这是对稳定系统稳态性能的要求,稳态性能用稳态误差来表示。系统在给定输入信号作用下,经过动态过程进入稳态,这时系统输出的实际值与期望值之间

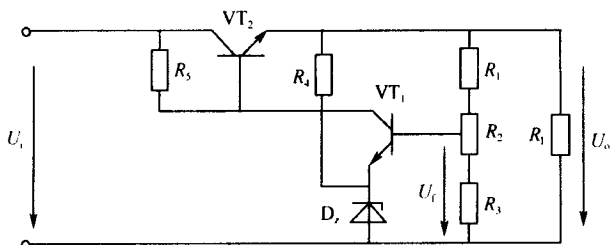
的误差称为稳态误差。系统的稳态误差越小，表示系统控制精度越高。不同的连续闭环控制系统对这三方面的性能要求侧重面不一样。例如，对于稳定的高射炮射角随动系统，虽然炮身最终能跟踪目标，但如果目标变动迅速，而炮身跟踪目标所需动态过程时间太长，就不可能击中目标，此系统对快速性指标要求较高。而对于刨床速度控制或温度、液位控制，则要求有一定的控制精度。

本章小结

理解开环控制系统的组成及工作原理，理解闭环控制系统的组成及工作原理；了解开、闭环控制系统各有什么特点，掌握系统框图的绘制；了解对控制系统的基本要求，理解各个性能指标的含义。

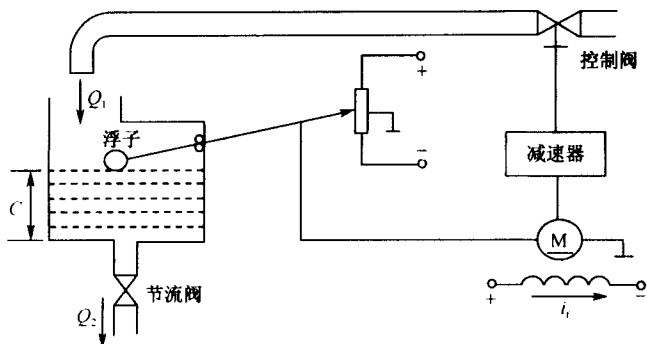
习 题

- 1.1 开环系统与闭环系统有何区别？举例说明。
- 1.2 对控制系统的基本要求是什么？用什么性能指标来表征？
- 1.3 如题 1.3 图所示一晶体管稳压电源电路，试说明哪个是给定量、被控量、反馈量和扰动量，并画出系统的框图，说明其自动调节过程。



题 1.3 图

- 1.4 如题 1.4 图所示液位自动控制系统原理示意图，在任何情况下，都希望液面高度 C 维持不变。试说明系统工作原理，并画出系统框图。



题 1.4 图