

自动控制原理

高等学校电气类系列教材

第二版

ZIDONG KONGZHI YUANLI

张希周 主编

重庆大学出版社

TP13/67=2

自动控制原理

张希周 主编

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书主要介绍经典控制理论的基本内容,包括自动控制系统的基本概念,数学模型,系统时域分析法,根轨迹法,频率法,系统校正,非线性控制系统和采样控制系统。

本书可作为工业电气自动化、电力系统自动化、计算机等电类专业的专科教材,也可作为其他有关专业学生及从事自动控制方面工作的工程技术人员的参考书或电大、职大、夜大的教材。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理/张希周主编. —2版. —重庆:重庆
大学出版社,2003.10
ISBN 7-5624-2980-4

I. 自... II. 张... III. 自动控制理论 IV. TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 084156 号

自动控制原理

张希周 主编

责任编辑:彭 宁 版式设计:彭 宁

责任校对:何建云 责任印制:秦 梅

★

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鹤盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A 区)内

邮编:400030

电话:(023)65102378 65105781

传真:(023)65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(市场营销部)

全国新华书店经销

重庆华林天美彩色报刊印务有限公司印刷

★

开本:787×1092 1/16 印张:14.75 字数:368 千

1996 年 2 月第 1 版 2003 年 10 月第 2 版 2004 年 6 月第 9 次印刷

印数:44 001—48 000

ISBN 7-5624-2980-4/TP·429 定价:18.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有 翻印必究

序

近年来我国高等专科教育发展很快,各校招收专科生的人数呈逐年上升趋势,但是专科教材颇为匮乏,专科教材建设工作进展迟缓,在一定程度上制约了专科教育的发展。在重庆大学出版社的倡议下,中国西部地区14所院校(云南工学院、贵州工学院、宁夏工学院、新疆工学院、陕西工学院、广西大学、广西工学院、兰州工业高等专科学校、昆明工学院、攀枝花大学、四川工业学院、四川轻化工学院、渝州大学、重庆大学)联合起来,编写、出版机类和电类专科教材,开创了一条出版系列教材的新路。这是一项有远见的战略决策,得到国家教委的肯定与支持。

质量是这套教材的生命。围绕提高系列教材质量,采取了一系列重要举措:

第一,组织数十名教学专家反复研究机类、电类三年制专科的培养目标和教学计划,根据高等工程专科教育的培养目标——培养技术应用型人才,确定了专科学生应该具备的知识和能力结构,据此制订了教学计划,提出了50门课程的编写书目。

第二,通过主编会议审定了50门课程的编写大纲,不过分强调每门课程自身的系统性和完整性,从系列教材的整体优化原则出发,理顺了各门课程之间的关系,既保证了各门课程的基本内容,又避免了重复和交叉。

第三,规定了编写系列专科教材应该遵循的原则:

1. 教材应与专科学生的知识、能力结构相适应,不要不切实际地拔高;
2. 基础理论课的教学应以“必须、够用”为度,所谓“必须”是指专科人才培养规格之所需,所谓“够用”是指满足后续课程之需要。
3. 根据专科的人才培养规格和人才的主要去向,确定专业课教材的内容,加强针对性和实用性;
4. 减少不必要的数理论证和数学推导;
5. 注意培养学生解决实际问题的能力,强化学生的工程意识;
6. 教材中应配备习题、复杂思考题、实验指示书等,以方便组织教学;
7. 教材应做到概念准确,数据正确,文字叙述简明扼要,文、图配合适当。

第四,由出版社聘请学术水平高,教学经验丰富、责任心强的专家担任主审,严格把住每门教材的学术质量关。

出版系列专科教材堪称一项“浩大的工程”。经过一年多的艰苦努力,系列专科教材陆续面市了。它汇集了中国西部地区14所院校专科教育的办学经验,是西部地区广大教师长期教学经验的结晶。

纵观这套教材,具有如下的特色:它符合我国国情,符合专科教育的教学基本

要求和教学规律;正确处理了与本科教材、中专教材的分工,具有很强的实用性;与出版单科教材不同,有计划地成套推出,实现了整体优化。

这套教材立足于我国西部地区,面向全国市场,它的出版必将对繁荣我国的专科教育发挥积极的作用。这套教材可以作为大学专科及成人高校的教材,也可作为大学本科非机类或非电类专业的教材,亦可供有关工程技术人员参考。因此我不揣冒昧向广大读者推荐这套系列教材,并希望通常教学实践后逐版修订,使之日臻完善。

吴云鹏

1993年
仲夏

初版前言

本书是根据 1992 年 12 月在重庆大学召开的工科院校专科教材主编会议审定的《自动控制原理》教学大纲编写的。

本书为工业电气自动化,电力系统自动化,计算机等电类专业的专科教学提供一本少学时的实用教材。编写中注意了以下几点:

一、本书主要介绍经典控制理论的基本内容,读者以期通过学习能掌握闭环控制系统的基本概念及基本的系统分析和校正方法,为后续课程及进一步学习自动控制理论打好基础。

二、鉴于专科教学学时少(计划 60 学时),而自动控制原理内容很丰富的特点,因此在内容的取舍上力求做到“少而精”,根据教学的基本要求,对学生应掌握的基本理论和基本方法尽可能阐述深透,物理概念论述清楚,而对公式的数学推导过程则删繁就简,注重实用,取材上尽量与工程设计相结合,使学生学后感到的确有用。

三、为适应不同专业的需要并有利于读者自学,每章均安排了一定数量的例题和习题,使读者能进一步巩固所学的基本理论知识和结合具体实例加以应用。每章结束有一小结,系统地归纳了该章的基本概念和应掌握的重点。

参加本书编写的人员分工是:第 1 章、第 7 章贵州工学院张希周,第 2 章渝州大学陈时茁,第 3 章四川工业学院王军,第 4 章、第 6 章陕西工学院王荣辉,第 5 章贵州工学院吴汝善,第 8 章云南工业大学姚建国。全书由贵州工学院张希周主编,华中理工大学黄一夫教授主审。在审阅中提出了许多宝贵的意见,在此表示衷心感谢。

由于水平有限,书中缺点和错误一定不少,欢迎广大读者批评指正。

编者

1995 年 8 月

目 录

第1章 自动控制系统的基本概念	1
1.1 自动控制和自动控制系统	1
1.2 自动控制系统的方框图与基本环节	4
1.3 自动控制系统的基本类型	8
1.4 对自动控制系统的要求及本课程的基本任务	10
小结	11
思考题及习题	11
第2章 控制系统的数学模型	13
2.1 动态微分方程的建立	13
2.2 传递函数	18
2.3 系统动态结构图	27
2.4 结构图的等效变换及系统传递函数	32
小结	45
思考题	45
习题	46
第3章 时域分析法	50
3.1 典型输入信号和时域性能指标	50
3.2 控制系统的稳定性分析	52
3.3 控制系统的暂态响应分析	59
3.4 控制系统的稳态误差分析	69
小结	75
思考题及习题	75
第4章 根轨迹法	78
4.1 根轨迹的基本概念及绘制条件	78
4.2 绘制根轨迹的基本规则	80
4.3 根轨迹绘制举例	86
4.4 参量根轨迹的绘制	90
4.5 用根轨迹法分析自动控制系统	92
4.6 根轨迹的改造	95
小结	97
习题	97
第5章 频率法	100
5.1 频率特性	100
5.2 频率特性的极坐标图	103

5.3	奈奎斯特(Nyquist)稳定性判据	107
5.4	系统稳定的性能指标	111
5.5	频率特性的对数坐标图(Bode图)	112
5.6	系统的Bode图分析	117
5.7	二阶系统的频率特性与 ζ 的关系	123
5.8	闭环幅频特性的描绘	125
	小结	129
	思考题及习题	130
第6章	控制系统的综合校正	133
6.1	系统校正概述	133
6.2	常用校正装置及其特性	136
6.3	用根轨迹法进行串联校正	140
6.4	用频率法进行串联校正	143
6.5	按希望模型进行串联校正	151
6.6	局部反馈校正	154
6.7	复合校正	156
	小结	158
	习题	159
第7章	非线性控制系统	161
7.1	典型非线性特性及其对系统性能的影响	161
7.2	描述函数法	163
7.3	用描述函数法研究非线性控制系统	176
	小结	184
	习题	184
第8章	采样控制系统	188
8.1	采样控制系统的基本概念	188
8.2	采样过程与采样定理	191
8.3	z 变换	197
8.4	采样控制系统的数学模型	205
8.5	采样控制系统的时域分析	214
	小结	222
	思考题及习题	223
	附录	226
	参考文献	227

第 1 章 自动控制系统的基本概念

自动控制原理研究的对象是自动控制系统。为了使读者对本学科的研究对象和要研究的问题有一个初步的认识,本章首先介绍自动控制系统的基本概念,通过学习,正确理解自动控制系统的工作原理,常用术语和系统分类,并掌握由系统工作原理绘制原理方框图的方法。

1.1 自动控制和自动控制系统

自动控制在工程和科学技术发展中起着十分重要的作用,在日常生活中也得到广泛应用。例如为了有一个温度恒定的工作室,无论室外温度高低,要求室内温度均保持不变;为了使水箱水位一定,要求不因用水量的多少而变化;为了乘电梯安全、平稳,无论人多人少,要求拖动电梯升降的电动机转速按一定的规律变化等等,都是自动控制的应用实例。在自动控制原理中把上述被控制的设备(如工作室,水箱,电动机)称为控制对象;控制对象中要控制的物理量(如室内温度,水箱水位,电动机转速)称为被控制量(简称被控量);而影响被控量达到希望状态的因素(如室外温度,用水量,装载的人和物)称为扰动。因此自动控制就是人们为了某种目的,应用控制装置自动地对设备中的某个(某些)物理量加以控制,使其保持不变,或者按一定的规律变化的一种技术手段。

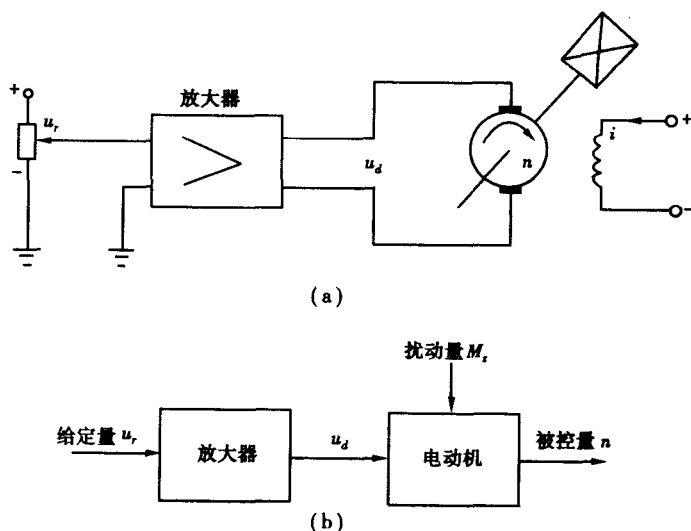


图 1.1 开环调速系统原理图及方框图

为了加深对自动控制的理解,我们通过电动机转速控制的例子作进一步的阐述。图 1.1 是一个直流电动机转速控制系统示意图。该系统中电动机是控制对象,电动机转速是被控量。如果要求电动机转速以某一定值运转,只要调节电位器动触头,给予相应的电压 u_r 即可。电

压 u_r 增加,功率放大器的输出电压即电动机端电压 u_d 增大,电动机转速上升,反之电压 u_r 减小,转速下降。这个控制系统的特点是: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,这种控制称为开环控制。开环控制很不理想,因为任何实际系统都存在着扰动的作用。如在该系统中电动机负载的增减,磁场电流变化,功率放大器电源波动等都是对系统的“扰动”,会引起电动机转速变化,破坏给定电压 u_r 与转速 n 原有的对应关系,这时如果不采取措施,电动机转速将偏离给定电压 u_r 所对应的值运转,使生产设备达不到正常工作状态而影响产品质量。因此开环控制系统的最大不足,就是自身无法纠正由于扰动作用产生的偏差。为了克服扰动影响,维持电动机转速值不变,可以有两种解决办法:一是人工控制,即在人的直接参与下完成;二是自动控制,即用人设计的控制装置代替人自动完成。由于控制装置是取代人完成控制任务,因此,首先了解人工控制的主要过程和基本职能,对正确理解自动控制的基本原理是有益的。

一、人工控制

图 1.2(a)是在人直接参与下维持电动机转速不变的例子。人通过眼观察与电动机同轴的转速表,看电动机转速是否符合希望的转速值,如果扰动使转速偏离了希望值,人根据偏差作出判断并及时向正确的方向调节电位器,使电动机转速恢复(或接近)希望值。上述过程,由于人的参与,克服了扰动产生的偏差,在此过程中,人起了主导作用,完成了(1)观测转速;(2)将电动机转速希望值与实际值进行比较;(3)根据偏差执行正确的调节,使转速恢复到希望值 3 项工作。也就是说,由于人起了“观测、比较、执行”的作用使这一问题得到了解决。因此,只要设计的控制装置能自动地完成上述 3 项工作,就可实现自动控制。

二、自动控制

图 1.3(a)是实现转速自动控制的方案之一,图中测速发电机的输出电压用来测量电动机的转速,电动机转速与电位器上的电压 u_f 有固定的比例关系,其关系为

$$u_f = kn \quad (1.1)$$

因此电动机的实际转速 n 可用 u_f 的值表示出来。

为了能将电动机转速的希望值和实际值进行比较,电动机转速的希望值也必须用一个电压来表示。设电动机转速的希望值为 n_r ,则表示转速 n_r 的电压 u_r 为

$$u_r = kn_r \quad (1.2)$$

这个电压通常用一个电位器给出,称为给定电压,或参考电压。

当电压 u_r 与电压 u_f 反极性连接时,则得到的电压差

$$\Delta u = u_r - u_f = k(n_r - n) \quad (1.3)$$

将正比例于转速希望值与实际值之差。 Δu 的大小和符号就表示了转速自动比较的结果。 Δu 经功率放大器放大后,电动机转速就可自动控制了。其自动控制过程如下:假设 u_r 给定,电动机已在某一转速下稳定运转。当电动机受到扰动引起转速 n 下降时,电压 u_f 也随之下降,这时因给定电压 u_r 不变,由式(1.3)知,电压差 Δu 增大,随之电压 u_d 增大,使电动机转速回升,以恢复(或接近)原来的转速,从而克服或削弱了扰动对转速的影响。

上面以电动机为例,说明了对电动机转速进行自动控制的基本原理,基于这种原理,只要能自动测量被控量,比较被控量的希望值和实际值,并能根据比较结果产生适当的控制作用,

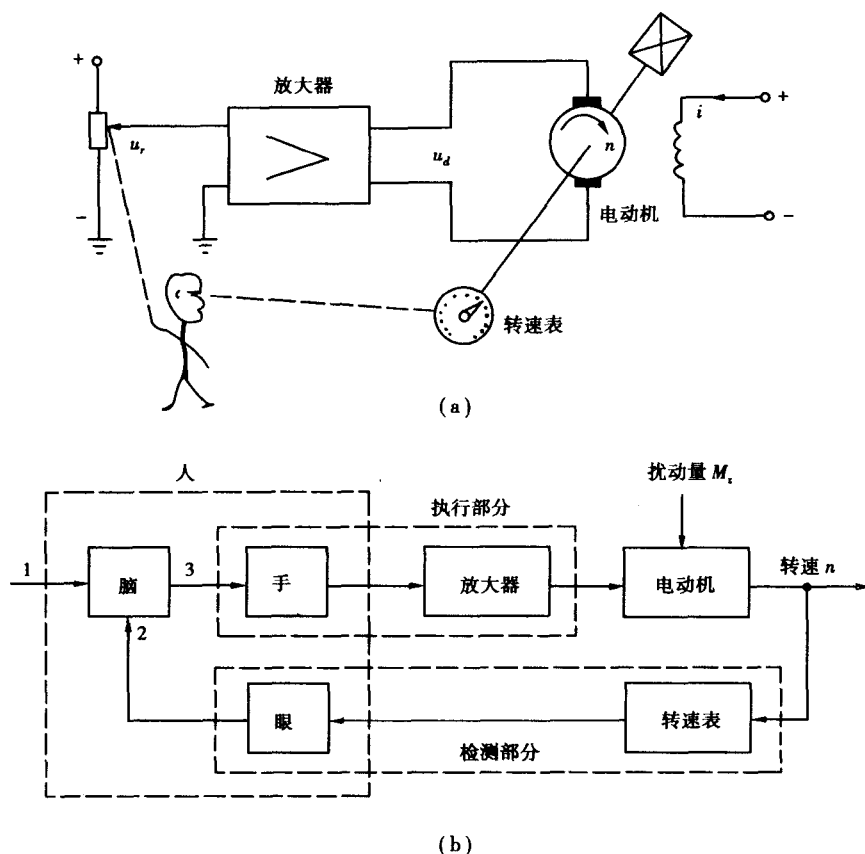


图 1.2 人工调速系统原理图及方框图

1—给定目标值 2—眼观测实际转速值 3—经过大脑比较后的偏差值

就可以对任何物理量进行自动控制。自动控制的过程是一个不断检测偏差,纠正偏差的过程。能自动地完成上述工作的装置整体称为自动控制装置。自动控制装置与控制对象结合而构成的整体,称为自动控制系统。

图 1.3 所示的自动控制系统与图 1.1 所示的开环控制系统比较,最明显的特点是被控量转速通过测速发电机变换成电压 u_f 后,反馈到输入端形成闭合回路,参与系统的控制,所以该自动控制系统称为闭环控制系统。由于系统是根据负反馈原理按偏差进行控制,因此又叫做反馈控制系统或偏差控制系统。闭环控制系统是自动控制系统的基本结构形式,在工业生产中得到广泛应用,与开环控制系统比较有以下特点:

开环控制系统与闭环控制系统的区别主要是系统内信号传递路径的不同。

开环控制系统,信号只单方向从左到右传递,即信号只有从输入到输出一条前向通道,系统输出量对输入量没有影响,如图 1.1(b) 所示。

闭环控制系统信号传递通道除了有前向通道(又称主通道)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,如图 1.3(b) 所示。

闭环系统的优点是能削弱或消除闭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,可以构成精确的控制系统。但另一方面由于组成闭环系统的各环节存在惯性,传动链有

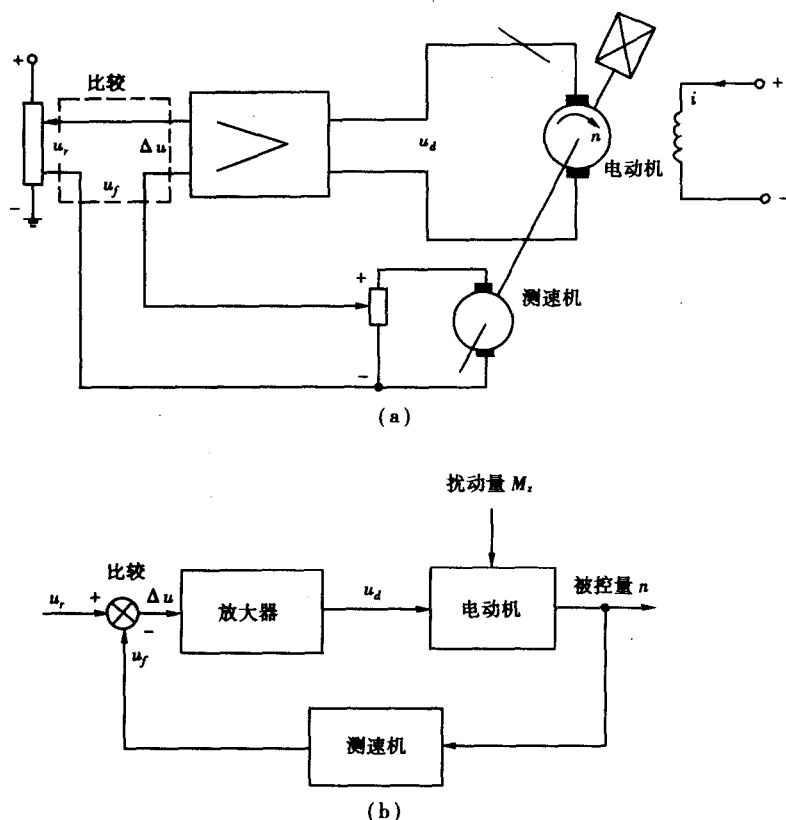


图 1.3 自动调速系统原理图及方框图

间隙等因素,如果系统结构和参数选配不当,反馈将引起系统振荡,造成系统不能稳定工作。因此闭环控制系统存在稳定性问题,增加了系统分析的复杂性。而开环控制系统因为没有反馈作用,无法克服扰动对被控量的影响,因此不适应高精度控制系统的要求。由于开环控制系统不必对被控量进行测量反馈,结构较闭环控制系统简单,稳定性问题也容易解决。

有些系统,将开环和闭环控制系统结合在一起,构成开环-闭环控制系统,这种系统称为复合控制系统,它能够取得很好的效果。

1.2 自动控制系统的方框图与基本环节

一个完整的自动控制系统往往比较复杂,如果用图 1.3(a)所示的这种原理示意图来表示时,该系统由哪几部分组成,各部分是怎样联系的,它们对系统有什么影响,不容易一下看出来,不便于分析。因此,在自动控制原理中,控制系统都采用方框图(或结构图)来表示,这种图使人们对系统由哪几部分组成,信号传递途径可一目了然。

所谓方框图,就是按用途和性能将系统中各部分划分开来,每部分用一个方框表示,方框前后的直线箭头代表该部分在系统中参与工作的变量,箭头指向代表变量传递方向,指向方框的箭头是输入量,离开方框的箭头是输出量。如果前一方框的输出量正好是后一方框的输入

量,则把各部分方框按照信号传递方向连接起来,就构成了系统的方框图。

图 1.3(a)所示的自动调速系统,当用方框图表示时,则如图 1.3(b)所示。它将图 1.3(a)中的电动机、测速发电机、功率放大器等部分,不管它们的结构、型号如何,都用一个方框表示,用箭头表示各自的输入输出变量,如电动机有两个箭头指向方框,表示电动机的输出量转速 n 既受电枢电压 u_d 的控制,又受负载 M_L 扰动的影响。图 1.4 中符号 $\otimes$ 代表比较环节,箭头指向比较环节的输入量,代表要进行比较的变量,输出量代表比较的结果。符号 $\rightarrow$ 代表变量引出点,在方框图中规定引出量不影响被引出的量,这与电路中支路分流是不同的。

用方框图 1.3(b)表示的自动调速系统,可以清楚地看出系统的结构和工作原理,因此方框图是研究自动控制系统的有力工具。

自动控制系统根据控制对象和使用的元件不同,可以有各种不同的形式。但是从自动控制系统的工作原理和各部分的功能来看,都可以抽象成如图 1.4 所示的典型闭环控制系统。

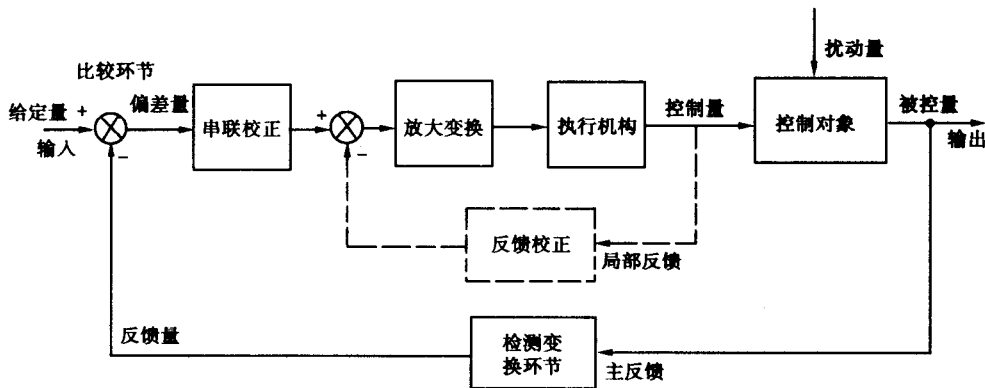


图 1.4 闭环控制系统方框图

系统中包含有以下的基本环节和变量(信号),定义如下:

1. 控制对象 指要进行控制的设备或过程。例如前面所举例中的工作室、水箱、电动机等,就是各系统的控制对象。相应地控制对象中要控制的物理量称为被控量,也就是控制系统的输出量。例如自动调速系统中,电动机是控制对象,电动机中有电流、电压、磁场、转矩、转速等物理量,在该系统中要控制的是电动机转速,因此,转速是该系统的被控量。

2. 检测变换环节(反馈环节) 用来检测被控量,并将其变换为与给定量相同的物理量。被控量经检测变换的变量称为反馈量。如测速发电机在调速系统中是一检测变换环节,它将转速检测后变换成电压 u_f 与给定电压 u_r 进行比较,电压 u_f 即为反馈量。检测装置的精度和特性直接影响控制系统的控制品质,它是构成自动控制系统的关键性元件,所以一般要求检测装置的测量精度高,反应灵敏,性能稳定等。

3. 比较环节 即对给定量与反馈量进行比较的装置或线路。比较环节的输出量代表两者比较的结果,称为偏差量。该偏差量由于功率很小或者由于物理性质不同,不能直接作用于执行环节,所以偏差量往往还要经过放大变换处理后作用于执行环节。

4. 执行环节 一般由传动装置和调节机构组成,它将校正环节来的信号经放大,变换后直接作用于控制对象,使被控量达到所要求的数值。加在控制对象上的量称为控制量。

5. 校正环节 为改善系统特性而附加的装置。这种装置除了将偏差信号放大外,还能按

某种规律对偏差信号进行运算,用运算的结果控制执行机构,以改善被控量的稳态和暂态性能。校正装置接入系统可以是串联,也可以是局部反馈的方式,如图 1.5 中虚线方框所示,相应地前者称串联校正,后者称反馈校正。反馈校正主要是为了改善系统中某一(某些)环节的特性,如改善环节的非线性特性,减少部分环节的迟延等,因此在部分环节上附加这种局部反馈。系统由输出量(被控量)到输入端的反馈称为主反馈。

为了加深读者对闭环控制系统工作原理图与方框图及基本环节的理解,再举二例说明。

例 1.1 炉温控制系统

图 1.5(a)是炉温控制系统工作原理图,图 1.5(b)是该系统的方框图。

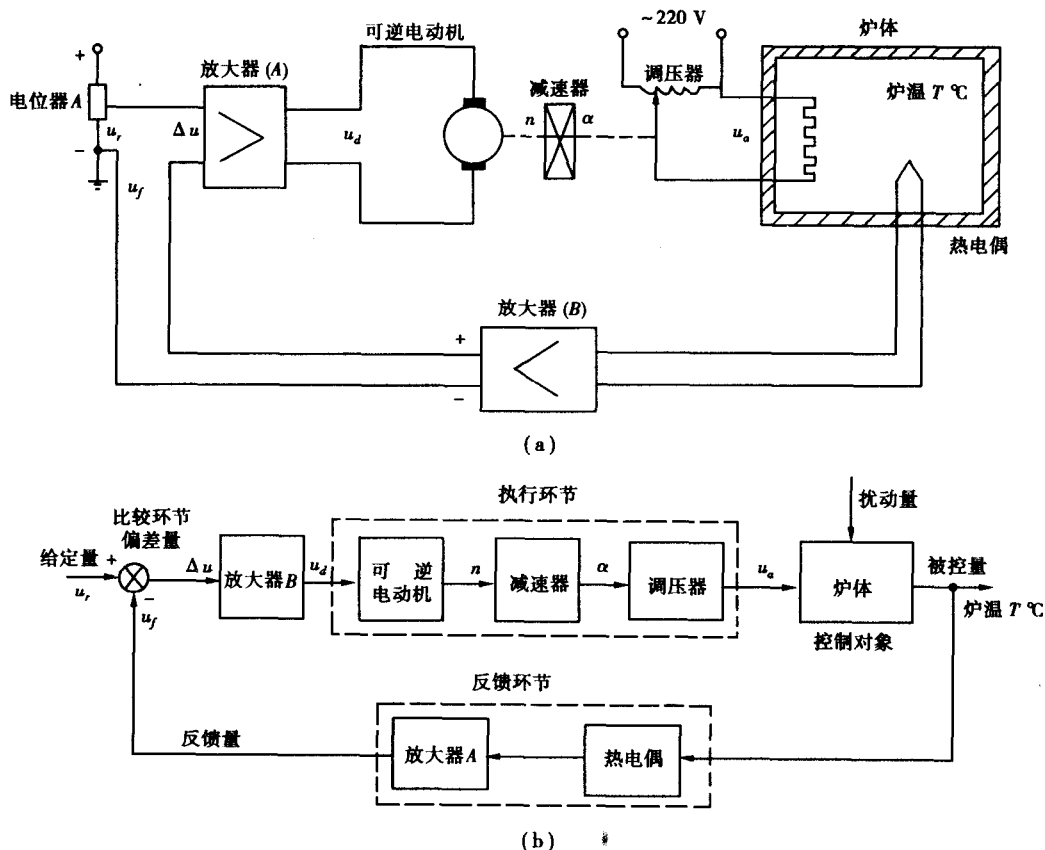


图 1.5 炉温控制系统原理图及方框图

控制的任务是保持炉温 T 恒定。系统中各环节(装置)的功能和各变量(信号)之间的关系,由方框图很清楚地看出。系统的输入量 u_r 由电位器 A 滑动端给出,炉温 T 是系统输出量(即被控量),所以称为炉温控制系统。当 u_r 给定后,炉温 T 也就确定了。该系统能克服内外扰动的影响,保持炉温 T 恒定。自动控制的原理如下:

假定炉温已达到给定值,经事先整定,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 B 的输出电压 u_d 等于零,执行电机静止不动,调压器滑动臂处在某一位置,使调压器提供的电能维持炉温在规定的状态。

如果系统受到扰动(如炉内负荷增大,或调压器电源电压降低等)。使炉温 T 下降,将导

致反馈电压 u_f 下降,这时因给定电压 u_r 没变,则偏差电压 $\Delta u = u_r - u_f > 0$, Δu 经放大器 B 放大后,使执行电机转动并带动调压器向增加调压器输出电压 u_a 的方向转动,从而使调压器提供的电能让炉温回升,直到炉温等于给定炉温为止。

反之,如果扰动使炉温升高了,则 T 增大, u_f 随之增大, $\Delta u < 0$, 执行电机反向旋转并带动调压器向降低输出电压的方向转动,从而使炉温下降,直至等于给定炉温为止。

例 1.2 位置随动系统

图 1.6(a) 是位置随动系统的工作原理图。控制系统的任务是保证工作机械的角位置 θ_c 快速跟随主令角 θ_r 的变化而变化。图 1.6(b) 是该系统的方框图,方框图更清楚地表示了各环节的关系和信号传递途径。

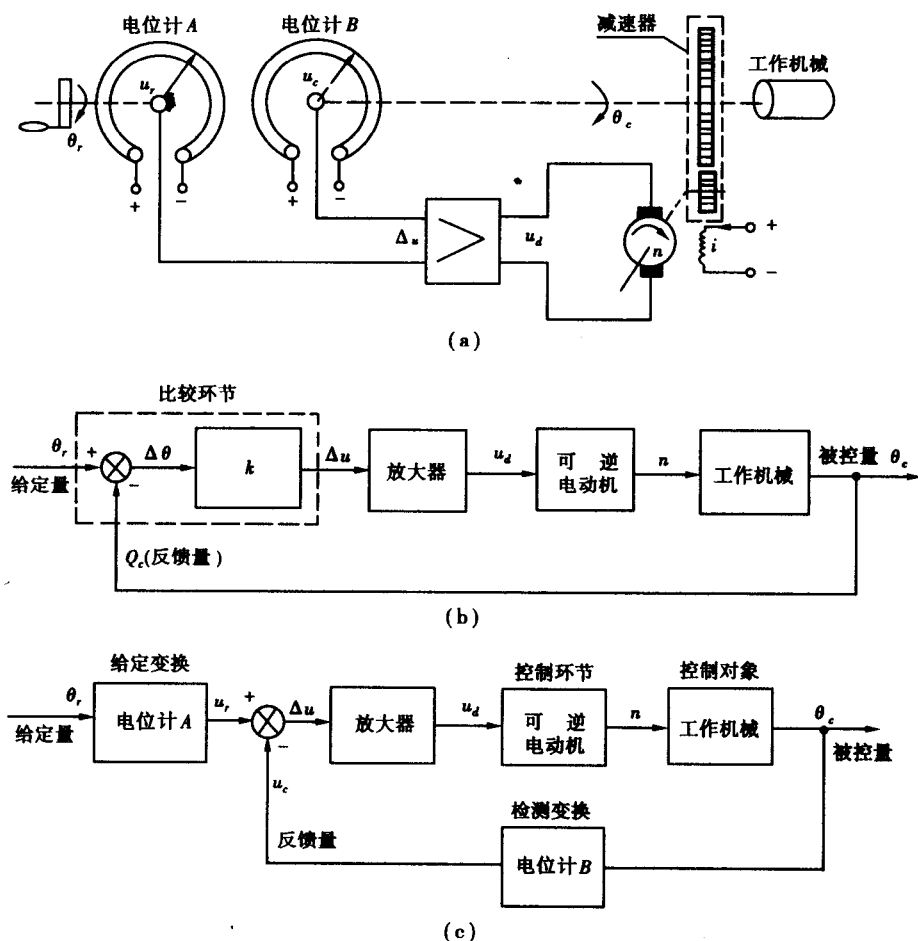


图 1.6 位置随动系统原理图及方框图

电位计 A 的输出电压 u_r 与主令角 θ_r 成正比例关系,即

$$u_r = k\theta_r$$

其中比例系数 k 是加至电位计 A 两端的电压与电位计 A 滑臂最大转角之比。如果电位计 B 与电位计 A 完全相同,工作条件相同,则 k 值相同。这时反馈电压 u_c 与角位置 θ_c 的关系为

$$u_c = k\theta_c$$

则偏差电压

$$\Delta u = u_r - u_c = k(\theta_r - \theta_c) = k\Delta\theta$$

这时可用图 1.6(c) 所示的方框图等效于图 1.6(b), 于是把两个电压的比较转换为两个角位置的比较, 使位置随动更为直观。

系统的工作原理: 假设系统的被控量 θ_c 等于给定量 θ_r , 则偏差 $\Delta u = 0$, 电压 $u_d = 0$, 电动机不转动, 系统已处于平衡工作状态。

如果主令角 θ_r 变化, 则系统平衡状态打破了, 即 $\theta_c \neq \theta_r$, $\Delta u \neq 0$, $u_d \neq 0$, 从而使电动机拖动工作机械朝要求的方向快速偏转, 直至 $\theta_c = \theta_r$, 电动机停转, 系统在新的位置上又处于平衡工作状态为止, 即完成了角位置 θ_c 跟随主令角 θ_r 变化而变化的任务。

1.3 自动控制系统的的基本类型

随着自动化技术和控制理论的发展, 自动控制系统也日益复杂和日趋完善, 出现了各式各样的系统, 对它们可以从各种不同的角度进行分类, 下面扼要阐述几种常用的基本类型及其主要特点。

一、恒值控制系统和随动控制系统

按给定量的特征, 可将系统分为恒值控制系统和随动控制系统。

恒值控制系统 如恒速、恒温、恒压、恒流等自动控制系统, 这种系统的主要特征是给定量不变。系统的基本任务是保证在任何扰动作用下, 保持被控量恒定。前面介绍的自动调速系统和炉温控制系统属于此类。这种系统又称自动调节系统或镇定系统。

随动控制系统 它的主要特征是给定量是变化的, 系统的基本任务是保证被控量以一定的精度跟随给定量变化。这类系统根据给定输入是否是已知函数又可分为两类。

其中一类给定量的变化是任意的, 前面介绍的位置随动系统(又叫伺服系统)就是一个典型例子。

另一类给定量是按照一定的时间函数变化的, 这类系统通常称为程序控制系统。如仿形机床、程序控制机床等应用的就是程序控制系统。

二、线性控制系统和非线性控制系统

按组成系统主要元件的特性, 可以分为线性控制系统和非线性控制系统。

线性控制系统, 由线性元件组成, 该系统的状态和性能用线性微分方程或差分方程描述。如果方程的系数(环节的参数)不变, 称为线性定常系统。线性系统的主要特点是具有齐次性和叠加性, 且系统的响应与初始状态无关。

非线性控制系统 系统中含有一个或多个非线性元件, 特性用非线性微分方程来描述。与线性控制系统相反, 它具有非齐次性和非叠加性, 且系统的响应与初始状态有极大关系。

严格来说, 任何物理系统的特性, 都是非线性的, 但是在误差允许范围内, 可以将非线性特性线性化, 近似地用线性微分方程来描述, 这样线性化后的系统, 就可以按线性系统来处理。线性控制系统的分析和设计, 可用本书第 2 章至第 6 章的线性控制理论进行研究, 其中根轨迹

法和频率法是线性控制系统工程设计的有效方法。如果元件非线性严重,无法用线性近似处理,并且又必须解答由非线性而引起的特殊现象时,可用本书第7章介绍的方法对非线性系统进行分析。

三、连续控制系统和采样控制系统

根据系统中信号在时间或空间上是连续的还是离散的情况分为连续控制系统和采样控制系统。

连续控制系统 系统中各部分的信号都是连续时间变量的函数。目前大多数闭环控制系统都是这种形式。

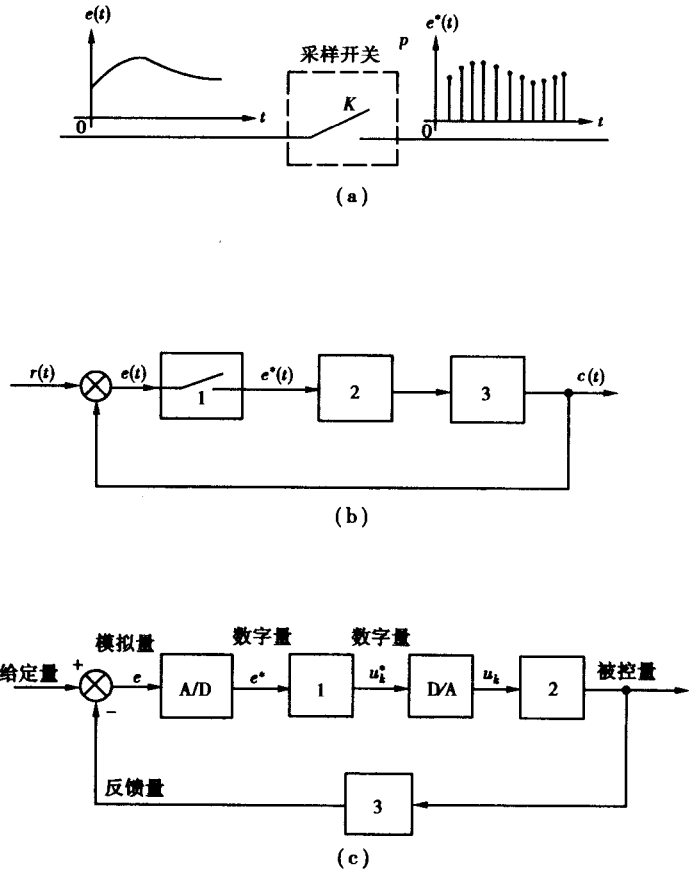


图 1.7 采样系统

(b) 1—采样开关 2—保持器 3—控制对象

(c) 1—计算机 2—控制对象 3—检测装置

A/D—模数转换 D/A—数模转换

采样控制系统 系统中某一处或数处的信号以脉冲序列或数码形式传递的系统。系统的主要特点是将连续时间函数 $e(t)$ 通过脉冲开关或采样开关变为离散的脉冲序列 $e^*(t)$, 如图 1.7(a) 所示。通常对于离散信号取脉冲形式的系统, 称为采样脉冲控制系统, 如图 1.7(b) 所示。如果采用数字计算机或数字控制器, 将连续形式的信号转变为数码形式传递的系统, 称为