

特色专业

普通高等教育

自动化类 国家级特色专业系列规划教材

自动控制原理

(第二版)

夏超英 编著



科学出版社

普通高等教育自动化类国家级特色专业系列规划教材

自动控制原理

(第二版)

夏超英 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

自动控制原理是系统和控制科学的一门基础课程,主要讲解建立在传递函数输入输出描述基础之上的反馈控制系统的分析与综合方法。本书的主要内容包括控制系统的数学模型、时域分析方法、根轨迹法、频域分析方法、控制系统的校正、采样控制系统和非线性控制系统。

本书在内容上强调基础性和系统性,注重基本概念的阐述和不同分析方法设计的比较,在知识的介绍过程中尽量避免高深的数学公式推导,在写作上力求做到层次清楚,内容精简,逻辑性强,符合工科学生的认识规律和思维习惯。

本书可作为高等院校自动化、电力系统自动化、机电一体化、化工自动化及其他相关专业的本科生教材,也可供相关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理/夏超英编著. —2版. —北京:科学出版社,2014. 12
(普通高等教育自动化类国家级特色专业系列规划教材)
ISBN 978-7-03-042658-1

I. ①自… II. ①夏… III. ①自动控制理论-高等学校-教材 IV. ①TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 280555 号

责任编辑:余 江 / 责任校对:郭瑞芝
责任印制:霍 兵 / 封面设计:迷底书装

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>

保定市中华美凯印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014 年 12 月第 二 版 印张:20

2014 年 12 月第三次印刷 字数:506 000

定价:45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

第二版前言

自动控制原理讲解以传递函数描述为基础的单变量控制系统的分析和设计方法,内容主要包括自动控制系统的数学模型,控制系统的时域分析方法和频域分析方法,控制系统的综合校正,采样控制系统,非线性控制系统的描述函数和相平面分析方法等,是系统与控制科学相关专业的一门基础课程。

本书是作者 2010 年编写的《自动控制原理》一书的再版。在本版中,作者对第一版的内容进行了调整和精简,删除了第一版第 3 章(控制系统的时域分析方法)和第 4 章(根轨迹法)中的部分内容,将其合并为一章,以使得第 3 章(控制系统的时域分析方法)、第 4 章(控制系统的频域分析方法)和第 5 章(控制系统的综合校正)三章之间更加紧凑。在保持第一版特点的基础上,本书更加注重时域和频域两种方法的对比,内模原理和主导极点两个设计原则的阐述,以及这些原则在系统静态和动态设计中的应用,特别在动态特性设计方面,强调时域根轨迹主导极点综合方法与频域中频段频率特性综合方法二者的统一。考虑到 MATLAB 相关书籍的普及,在本版中删除了第一版有关 MATLAB 辅助分析和设计的内容,只给出了命令一览表,教师可以根据具体情况安排相关内容的介绍。

本书可以适应不同教学计划的需要,第 2 章中的典型对象和零部件模型,可以根据不同专业的情况添加或删减,第 5 章综合校正的内容可以选择根轨迹和频率特性两种方法都讲,或只讲其中一种方法。如果只讲前 5 章,建议的授课学时为 48 学时,而只讲前 5 章和第 6、7 章中的一章,建议的授课学时为 56 学时,全书的建议学时为 64 学时。

由于作者水平有限,书中难免会存在不妥之处,希望读者不吝指正。

夏超英

2014 年 5 月于天津大学

目 录

第二版前言

第 1 章 绪论	1
1-1 控制系统的组成和基本结构	1
1-2 自动控制理论的内容和发展	4
1-3 反馈控制系统示例	5
1-4 控制系统的性能指标	7
习题.....	9
第 2 章 控制系统的数学模型	13
2-1 拉普拉斯变换	13
2-2 线性系统的输入输出描述和传递函数	26
2-3 非线性微分方程在工作点附近的线性化	30
2-4 一些典型对象和零部件的传递函数	34
2-5 动态结构图	45
2-6 信号流图	54
习题	56
第 3 章 控制系统的时域分析方法	63
3-1 控制系统的稳定性	63
3-2 稳定性的代数判据	66
3-3 控制系统的稳态误差	69
3-4 控制系统的动态响应	75
3-5 系统的根轨迹	93
3-6 根轨迹的绘制方法	97
习题.....	113
第 4 章 控制系统的频域分析方法	117
4-1 频率特性的概念	117
4-2 典型环节的频率特性	119
4-3 开环频率特性曲线的绘制	129
4-4 奈奎斯特稳定性判据	137
4-5 闭环频率特性及特性指标	151
4-6 系统频域指标与时域指标的关系	157
习题.....	166

第 5 章 控制系统的综合校正	172
5-1 控制系统的设计指标和校正方式	172
5-2 常用的校正装置	174
5-3 串联校正	182
5-4 按希望特性校正	204
5-5 反馈校正	206
5-6 复合校正	209
习题.....	211
第 6 章 采样控制系统	218
6-1 z 变换与 z 反变换	219
6-2 采样器、保持器和脉冲传递函数.....	226
6-3 采样系统分析	234
6-4 采样系统的根轨迹分析与设计	243
6-5 有限拍采样系统设计	248
6-6 离散系统的模拟化设计方法	253
习题.....	256
第 7 章 非线性控制系统	261
7-1 非线性系统的特征和研究方法	261
7-2 控制系统中的典型非线性特性	263
7-3 非线性系统的描述函数分析方法	266
7-4 非线性系统的相平面分析方法	277
习题.....	296
参考文献	303
附录 MATLAB 函数一览表	304
部分习题参考答案	305

第 1 章 绪 论

自动控制就是在没有人直接参与的情况下,应用某种装置操纵生产机械或生产过程,使之具有预定的工作状态。数控机床能够按照设定的程序自动切削工件;化学反应炉的温度和压力能够自动地维持恒定;制导系统能够引导导弹准确地射向敌方目标;无人驾驶飞机能够按照预定的轨迹升降和飞行;人造卫星可以准确地进入轨道并回收等,这一切都离不开自动控制技术。

在过去的几十年中,自动控制技术在国民经济各部门中的广泛应用,极大地促进了化工、造纸、电力、冶金、汽车、家电等行业的技术进步,改善了劳动条件,提高了产品质量和劳动生产率,促进了产品的更新换代。特别是近二三十年来,随着微电子技术和计算机技术的进步,自动控制技术在航空航天、军事工业、核能发电等现代科学技术领域,在生物、医学、环保、智能交通、新能源利用、经济管理等新兴领域,都起着非常重要的作用。

自动控制理论是自动控制技术的基础理论,是当今大多数工程技术人员和科学工作者必须具备的基本知识之一,它的理论性较强,同时又有着很强的工程性和实践性。在这门课的学习过程中,应该有意识地结合工程实际问题加深理解,搞清所学知识的工程背景,重点掌握分析问题和解决问题的方法。

1-1 控制系统的组成和基本结构

控制系统由一些相互联系和相互影响的环节组成,是有特定功能的一个整体。控制系统中的主要环节有:

被控对象——即被控制的对象,它可以是某一台机器或设备,也可以是某一个生产或工艺过程。

执行机构——即控制决策的执行机构,它将控制信号转化为功率级输出,作用在被控对象上。在控制系统中,执行机构有时被看成是一个独立的环节,有时被看成是被控对象的一部分。常用的执行机构有功率放大器、执行电机、阀门等。

校正装置——即调节器或控制器,用来产生控制信号。简单的校正装置由电阻、电容无源器件或有源器件组成,复杂的校正装置要借助计算机来实现。

给定环节——其作用是给出与期望的被控量相对应的参考输入量。参考输入量常常是电信号,常用的给定环节有电位器、指令开关、旋转变压器等。

测量装置——其作用是检测被控制的物理量,将其转换为大小与之成比例的电信号。常用的测量元件有测量转速的测速发电机、测量角度的旋转变压器、测量温度的热电偶、测量电压的电位器等。

比较元件——其作用是将给定环节给出的参考输入与测量装置检测的被控量进行比较,得到偏差量。常用的比较元件有差动放大器、机械差动装置、电桥电路等。

控制系统以及它的各个环节都有它的输入量和输出量。不同环节的输入量、输出量的含义是不同的,说明如下:

输出量——指被控对象的被控变量,即被控对象的输出变量,也是控制系统的输出量。实际中,被控对象的输出量总有特定的物理单位,如温度、压力、转速、流量等,而且一般总可以通过某种测量装置实时地测量到。

控制量——指被控对象的控制输入,也是执行机构或控制器的输出,控制量通常是一些可以对被控对象输出产生有效影响的变量。

参考输入——指给定环节的输出,表示被控对象输出量的测量值应该达到的数值,通常情况下参考输入也是控制系统的输入。

误差——参考输入信号与被控对象输出量的测量值之间的偏差,误差信号一般是控制器的输入信号。

扰动输入——除去控制作用以外加载到被控对象上的其他输入作用的总和,一般会对系统输出产生不利的影响。

根据上面的定义,自动控制的任务就是要自动地决定控制作用并施加在被控对象上,使被控对象的输出等于参考输入规定的数值。

要完成上述控制任务,自动控制系统有开环控制和闭环控制两种基本的控制方式。

开环控制方式的原理框图如图 1.1 所示。在开环控制系统中,参考输入信号经控制器得到控制信号,作用在执行机构和被控对象上,信号是单方向传递的,输出量不对控制作用产生影响。开环控制无需对被控量进行测量,结构简单,成本低。在工程实际中,对于控制精度要求不是很高,系统特性参数相对稳定,干扰比较弱的场合,开环控制不失为一种简单有效的控制方案。例如,数控机床由步进电动机组成的进给控制系统,打印机打字头的位置控制,洗衣机的顺序控制等都是开环控制的例子。显然,在开环控制系统中,由于扰动作用和系统特性参数发生变化引起的输出和系统性能的改变,无法得到及时的修正和补偿。



图 1.1 开环控制方式的原理框图

当作用到被控对象上的干扰可以实时测量得到时,可以采取基于干扰补偿的控制方法,如图 1.2 所示将测量到的干扰信号前引给控制器,改变控制作用去抵消干扰对输出的影响。显然,干扰补偿控制也是开环控制,因为补偿控制信号的传递也是单方向的。基于干扰的补偿控制对不可测干扰、被控对象特性参数发生变化引起的输出变化无能为力。

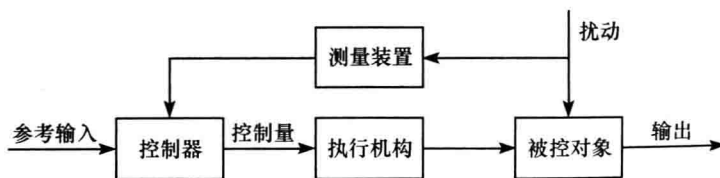


图 1.2 基于干扰补偿控制的原理框图

为克服开环控制系统的上述缺点,在自动控制系统中广泛采用的是闭环控制方式。

闭环控制方式也称为反馈控制方式，它的原理框图如图 1.3 所示。在闭环控制系统中，被控对象的输出信号反方向引到控制系统的输入端，并与参考输入相比较，信号沿前向通路和反馈通路闭路传输，控制量不仅与参考输入有关，还与输出有关，即根据参考输入和系统输出之间的偏差进行控制。

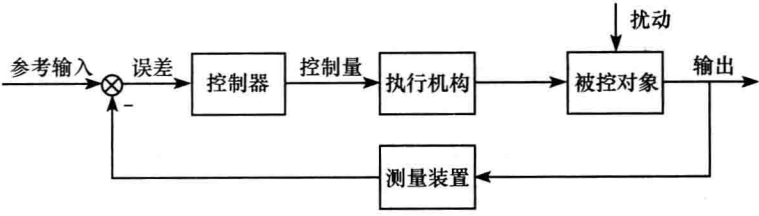


图 1.3 闭环控制方式的原理框图

采用反馈控制可以有效地抑制被反馈通路所包围的前向通路中各种扰动对系统输出的影响。以参考输入为一恒定值的情况为例，假设扰动作用使输出量减小，则反馈量也相应减小，由于参考输入未变，故误差增大，控制作用增强，增强的控制作用加载到被控对象上又使被控对象的输出增大，向减小误差的方向变化；反之，如果扰动作用使输出量增大，误差变小或变负，使控制作用减弱，被控对象的输出减小，同样向减小误差的方向变化。总之，反馈控制对扰动引起的输出量的波动起到了调节抑制作用。

反馈控制是控制系统最基本的控制方式，它可以有效地克服开环控制系统存在的缺点，提高控制系统的响应速度、控制精度和抗干扰能力。但另一方面，因为被控对象对控制信号的响应要有一个过程，需要一定的时间，不适当的控制策略会使系统出现振荡甚至不稳定。闭环控制和开环控制不同，稳定性问题是它面临和必须解决的特殊问题。

在控制工程实践中，闭环控制系统的快速性、控制精度和稳定性设计往往会相互矛盾和制约。在某些情况下，将开环控制方式和闭环控制方式相结合，往往可以达到更好的控制效果。图 1.4 给出的是反馈控制与前馈控制相结合的系统原理框图，除误差外，控制作用还综合了参考输入的信息，因此前馈控制常用来提高系统对参考输入的响应特性。图 1.5 给出的是反馈控制与扰动补偿控制相结合的系统原理框图，控制作用综合了误差和系统扰动的信息，常用来提高控制系统的抗扰能力。前馈控制和扰动补偿都属于开环控制，将反馈控制与前馈控制、扰动补偿相结合称为复合控制，如图 1.6 所示。在复合控制系统中，控制作用是反馈控制、前馈控制和补偿控制三项的和。

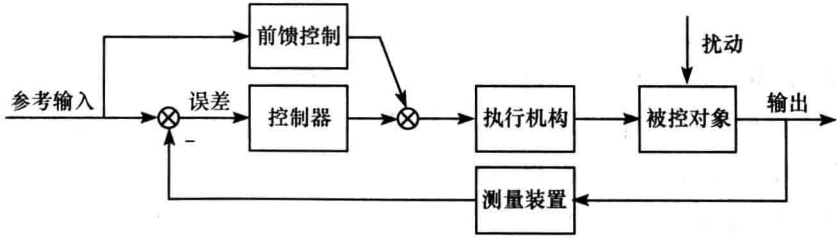


图 1.4 反馈控制与前馈控制相结合的系统原理框图

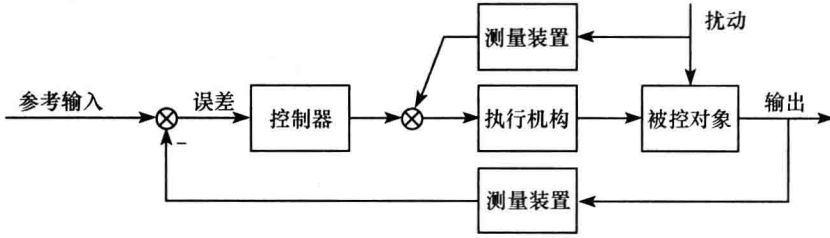


图 1.5 反馈控制与扰动补偿控制相结合的系统原理框图

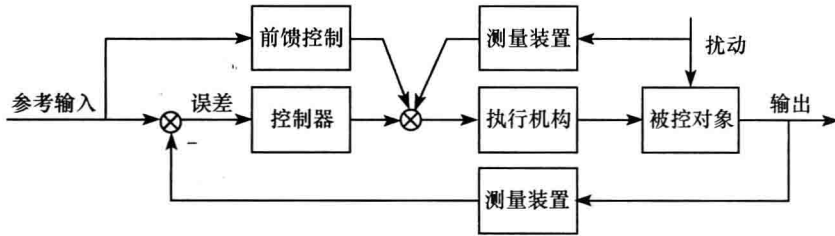


图 1.6 复合控制系统的原理框图

1-2 自动控制理论的内容和发展

自动控制理论是研究自动控制系统分析与综合的理论和方法的一门学科,根据自动控制理论发展的不同阶段,分为经典控制理论和现代控制理论两大部分。

1) 经典控制理论的研究内容和研究方法

经典控制理论主要以单输入单输出(single input single output, SISO)反馈控制系统的分析与综合作为它的研究内容。单输入单输出系统是指只有一个控制输入和一个输出的系统,即被控对象只有一个控制量输入和一个被控量输出,控制系统也只有一个参考指令输入和一个输出。在分析与综合中,对被控对象的分析是第一步,其目的是寻找控制输入如何影响对象输出的规律性,回答的是什么是和怎么样的问题;在此基础上,控制器和系统方案的综合设计是第二步,回答如何去做的问题。

对于线性定常系统,经典控制理论的分析 and 设计方法主要是基于传递函数描述的根轨迹法(时域法)和频率特性方法(频域法)。

2) 经典控制理论的形成和发展

18 世纪,詹姆斯·瓦特(James Watt)为控制蒸汽机速度而设计的离心调节器,是自动控制领域最早期的研究成果。然而,以三项理论性成果为标志,控制理论作为完整的体系形成于 20 世纪三四十年代,其中奈奎斯特(Nyquist)提出的关于反馈控制系统稳定性的结果,揭示了反馈控制系统出现不稳定的原因,给出了判定反馈控制系统稳定性的奈奎斯特判据,提供了避免不稳定的系统设计方法;伯德(Bode)引入的对数增益图和线性相位图,即伯德图,大大简化了系统频率响应特性的运算和作图过程,使基于频率响应特性的系统分析和综合方法得以形成;埃文斯(Evans)提出的根轨迹法,为在时域中的分析和综合开辟了有效途径。

经典控制理论的应用在第二次世界大战期间取得了巨大成功,其中,自动火炮跟踪系统和V2火箭自动导航系统是最为突出的范例。到20世纪50年代中期,经典控制理论已经是一门十分成熟的理论,并在大量军事武器和工业过程的控制装置中得到了广泛应用。

3) 现代控制理论的研究内容和研究方法

现代控制理论主要以多输入多输出(multi-input multi-output, MIMO)复杂控制系统的分析与综合作为它的研究内容。多输入多输出被控对象的各个输入量和输出量之间往往存在相互间的耦合影响,控制策略不仅要考虑某个控制量对相应输出量的控制作用,同时也要考虑对其他输出量的影响,控制问题比单输入单输出系统要复杂和困难得多。根据控制对象和控制任务的不同,衡量控制系统优劣的性能指标的形式也各不相同,例如要寻求某种意义上的最佳系统等。

现代控制理论的研究方法主要是基于状态方程描述的时域方法,一般要借助计算机求解。计算机技术和微处理器技术的进步为现代控制理论的实际应用创造了技术和物质条件。

4) 现代控制理论的形成和发展

在20世纪50年代蓬勃兴起的航天技术需求推动下,1960年前后,控制理论开始了从经典理论到现代理论的过渡。反映这一过渡的重要标志性成果是卡尔曼(Kalman)把在分析力学中广泛采用的状态空间描述引入到控制理论中,并在此基础上,给出了对研究系统结构和控制具有基本意义的能控性和能观性的概念。经过60年代和70年代的发展,现代控制理论的基本框架已经形成,并在这一时期美国组织实施的载人登月工程中取得了辉煌成就(又称阿波罗计划,目的是实现载人登月飞行和人类对月球的实地考察。工程于1961年5月开始,至1972年12月结束,历时11年,耗资255亿美元)。

在1970年到1990年这段时间内,现代控制理论在确定性系统和随机系统的最优控制、复杂系统的自适应和自学习控制等方面,进行了充分的研究,形成了现代控制理论的重要分支最优控制理论、最优估计理论、随机控制理论、系统辨识理论和自适应控制等。1980年至今,现代控制理论的进展主要集中在非线性系统控制、鲁棒控制、模糊控制等方面。

1-3 反馈控制系统示例

下面通过几个具体的实例,来进一步加深对反馈控制系统的构成以及工作方式的理解。

1) 发动机的速度调节系统

图1.7展示了瓦特式发动机速度调节系统的原理图,它根据发动机的希望转速与实际转速的差调节进入发动机的燃油数量,该系统的工作原理如下:

当发动机工作于希望的转速时,高压油将不进入动力油缸的任何一侧,如图1.7中的情况所示。否则,如果发动机转速低于希望值,则由于转速调节器的离心力下降,导致阀门向下移动,从而发动机的燃料供应增多,使发动机的转速增大。相反,如果发动机转速高于希望值,则由于转速调节器的离心力增大,导致阀门向上移动,使发动机的转速减小。系统设计保证这样的调整过程反复几次后,发动机转速将最终稳定在希望的转速上,此时动力油缸停止在某一合适的位置上,高压油不进入动力油缸的任何一侧。

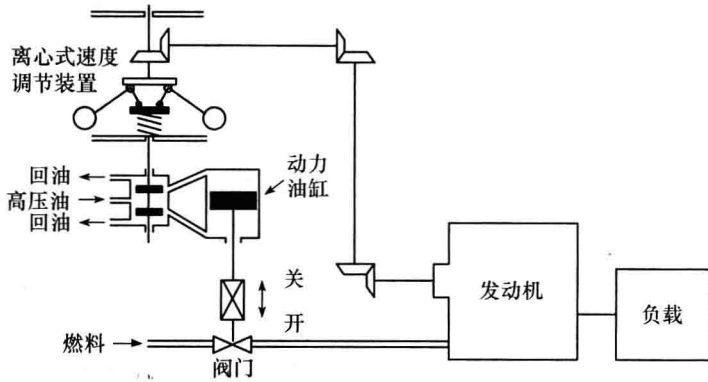


图 1.7 瓦特式发动机速度调节系统原理图

在图 1.7 所示的转速控制系统中,被控对象是发动机,输出是发动机的转速,动力油缸和阀门是执行机构,离心装置是速度调节器。燃料供应量是控制量,作用在负载上的负载转矩变化是扰动量。

2) 电加热炉温度控制系统

图 1.8 展示了电加热炉温度控制系统的原理图,该系统的工作原理如下:

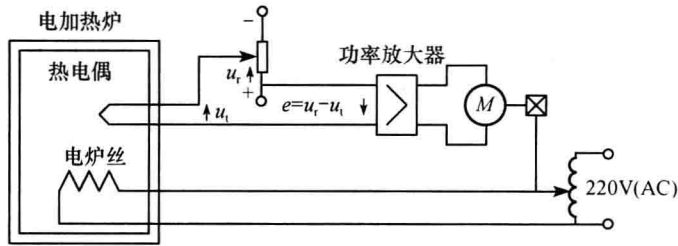


图 1.8 电加热炉温度控制系统原理图

当温度设定电位器上的电压 u_r 和温度测量装置热电偶上的电压 u_t 不相等时,假设电位器设定电压所对应的温度比炉子的实际温度高,即误差信号 $e = u_r - u_t > 0$,它经过功率放大器放大后去驱动电动机 M,电机旋转使自耦变压器的中间抽头向上移动,加在电炉丝上的电压变高,电炉丝的发热量增大,炉温开始升高。相反,如果电位器设定的温度比炉子的实际温度低,即 $e = u_r - u_t < 0$,它经过功率放大器放大后驱动电动机向相反的方向旋转,使自耦变压器的中间抽头向下移动,加在电炉丝上的电压变低,电炉丝的发热量减小,炉温开始降低。系统设计保证上述调整过程在反复几次后,炉子的实际温度逐渐趋于电位器设定的温度,此时 $e = u_r - u_t = 0$,电动机停止旋转,自耦变压器的中间抽头停止在某一位置上,电路丝发出的热量正好和炉子的散热量达到动态平衡。

在图 1.8 所示的炉温控制系统中,被控对象是电加热炉,系统输出量是炉温,执行机构是功率放大装置、电动机和齿轮箱,测量装置是热电偶,给定和比较装置由电位器来完成。

容易看出,图 1.7 所示的发动机速度调节系统和图 1.8 所示的电加热炉温度控制系统可以做到转速和炉温的无差调节,即系统的调节过程结束以后,发动机转速和炉温等于设定值。

3) 火炮跟踪控制系统

图 1.9 展示了火炮跟踪系统的原理图,该系统的工作原理如下:

操炮手旋转瞄准转盘带动同位仪中给定多圈电位器的中间抽头来回滑动,误差电压信号经过功率放大器放大得到功率级的驱动电压加在驱动电动机上,电动机通过传动机构带动炮塔旋转,同时测量机构带动同位仪中转角测量电位器的中间抽头向相同方向滑动以减小误差电压,直到瞄准转盘转角等于炮塔的转角,误差电压为零,电动机停止转动。显然,图 1.9 所示的火炮跟踪系统可以实现对固定目标的无差调节。当操炮手跟随目标来回不断旋转瞄准转盘时,炮塔便随之同步快速旋转。当操炮手持续向一个方向旋转瞄准转盘时,其转速越快,驱动电动机的转速就越高,需要加在电动机上的电压也就越大,因为功率放大器的放大倍数总是有限的,因此误差电压也就越大,这说明图 1.9 所示的系统只能实现对运动目标的有差调节。

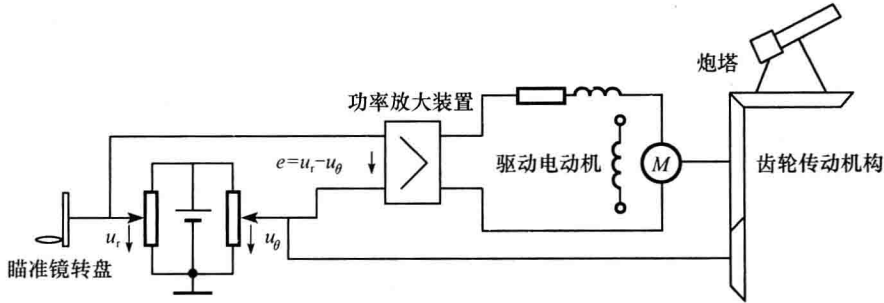


图 1.9 火炮跟踪控制系统原理图

在图 1.9 所示的火炮跟踪控制系统中,被控对象是炮塔,被控量是炮塔的旋转角,执行机构是功率放大装置、电动机和齿轮传动机构,给定、测量和比较装置是同位仪。

火炮跟踪系统的例子说明,同一控制系统响应不同指令信号的特性一般是不同的。

1-4 控制系统的性能指标

控制系统的设计要求首先是它可以稳定可靠地工作,系统输出能准确地跟踪指令输入,响应过程做到快而稳,对扰动作用的影响要及时进行调节,尽量使输出少受影响。稳定性、控制精度、良好的动态特性和抗干扰能力是衡量控制系统性能的主要指标。

1. 稳定性

在各种非理想条件作用下都能够完成预定的工作任务,是控制系统设计的最基本要求。在这里,所谓非理想条件是指未经确定的初始条件和外部扰动输入。在控制系统中,控制系统的最终响应由指令信号唯一确定,系统初始状态对系统输出的影响应该随时间趋于零,指令信号加入时系统的初始状态如何并不需要过多地加以考虑。另外,系统对外部扰动的影响应该有调节能力,当外部扰动去除后,系统可以自动地恢复到原来的工作状态。

2. 稳态性能指标

控制系统的稳态性能指标是系统控制精度的一种度量,通常用典型指令信号和典型扰动信号作用下系统误差的稳态值来衡量。设控制系统希望输出与实际输出的差为 $e(t)$, 稳态误差为误差信号的稳态值,用 e_s 表示,即有

$$e_s = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = e(\infty)$$

若稳态误差 $e_s = 0$, 则称系统是无静差的,反之称系统是有静差的。

3. 动态性能指标

工程中一般用阶跃响应来考察控制系统的动态特性,阶跃指令作用下系统的典型响应曲线如图 1.10 所示。

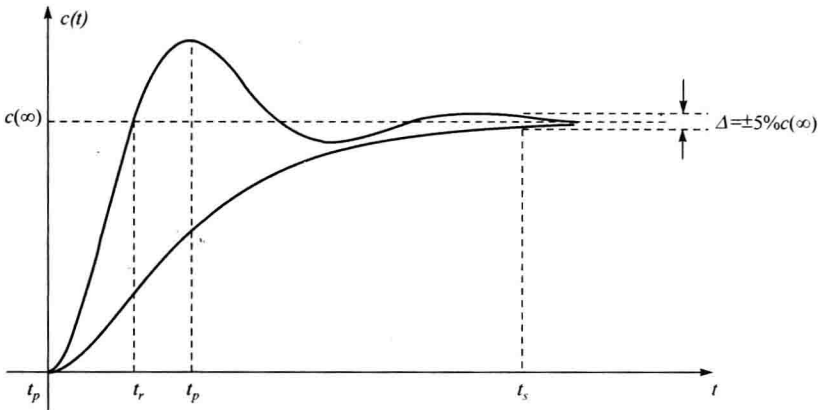


图 1.10 阶跃指令作用下系统的典型响应曲线

一般用下述指标对阶跃响应的动态特性进行描述:

上升时间 t_r : 响应从零开始第一次到达稳态值所需的时间。

峰值时间 t_p : 响应从零开始超过稳态值到达第一个峰值所需的时间。

调节时间 t_s : 响应到达并保持在规定误差带(稳态响应 $c(\infty)$ 的 $\pm 5\%$ 或 $\pm 2\%$) 内所需的最短时间。

超调量 $\sigma\%$: 响应曲线第一个峰值和稳态值之差与稳态值之比的百分数, 即

$$\sigma\% = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\%$$

通常, 上升时间 t_r 、峰值时间 t_p 集中反映的是系统的响应速度, 超调量 $\sigma\%$ 反映的是系统的稳定性或阻尼程度, 调节时间 t_s 则是反映系统响应速度、稳定性的综合性指标。

4. 抗扰性能指标

控制系统的抗扰性能一般用脉冲扰动或阶跃扰动作用下系统的调节特性来考察, 图 1.11 所示为阶跃扰动作用下系统的典型调节曲线。

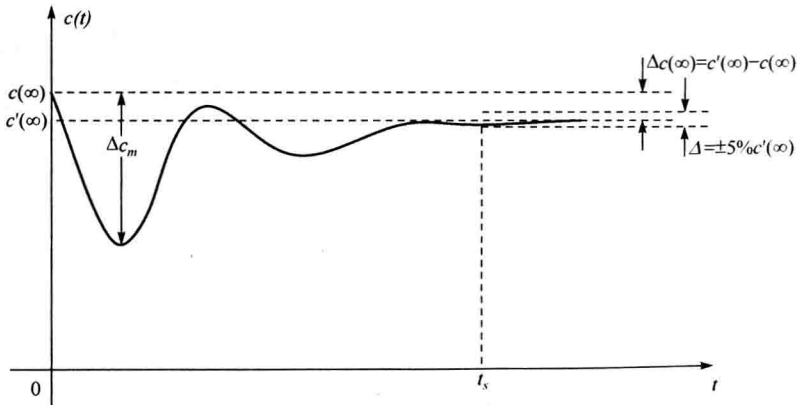


图 1.11 阶跃扰动作用下系统的典型调节曲线

在图 1.11 中,假设在 $t < 0$ 时系统已经有了一个稳态输出 $c(\infty)$,在 $t = 0$ 时加入阶跃扰动,引起系统输出的波动。一般常用的描述系统抗干扰能力的性能指标如下:

最大偏移量 Δc_m :扰动作用下系统输出的最大波动量。

稳态偏移量 $\Delta c(\infty)$:扰动作用下的稳态波动量,即 $\Delta c(\infty) = c'(\infty) - c(\infty)$ 。

扰动调节时间 t_s :扰动响应到达并保持在扰动响应稳态值 $c'(\infty)$ 的 $\pm 5\%$ 或 $\pm 2\%$ 误差带内所需的最短时间。

显然,好的抗干扰能力要求最大偏移量 Δc_m 、稳态偏移量 $\Delta c(\infty)$ 和调节时间 t_s 小。

一般来说,控制系统设计既要求有好的对参考输入的跟随特性,又要求有好的抗干扰能力,控制系统的稳定性、快速性和抗干扰性能等各项指标间往往是相互制约、相互矛盾的。综合考虑各种因素的影响,科学妥善地解决好这些矛盾,同时还要简单、经济,这正是控制科学和控制工程师的任务和使命。

习 题

1-1 什么是开环控制系统?什么是闭环控制系统?比较开环控制系统和闭环控制系统的不同,说明各自的优缺点。

1-2 日常生活中反馈无处不在。人的眼、耳、鼻和各种感觉、触觉器官都是起反馈作用的。试以驾车行驶和伸手取物过程为例,说明人的眼、脑在其中所起的反馈和控制作用。

1-3 水箱水位控制系统的原理图如图 1.12 所示,图中浮子杠杆机构的设计使得水位达到设定高度时,电位器中间抽头的电压输出为零。描述图 1.12 所示水位调节系统的工作原理,指出系统中的被控对象、输出量、执行机构、测量装置、给定装置等。

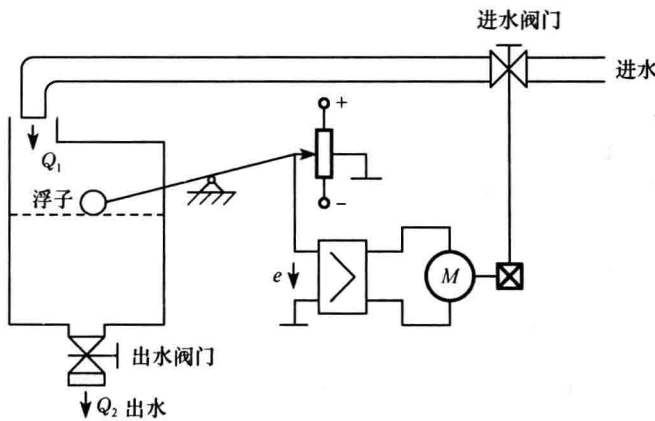


图 1.12 习题 1-3 图

1-4 工作台位置液压控制系统如图 1.13 所示,该系统可以使工作台按照给定电位器设定的规律运动。试描述图 1.13 所示工作台位置液压控制系统的工作原理,指出系统中的被控对象、被控量、执行机构、给定装置、测量装置等。

1-5 在反馈控制系统中,前一个环节的输出就是后一个环节的输入,二者总是数值相等性质相同的物理量。另外,比较环节的输入也应是相同性质的物理量。请结合习题 1-3 和 1-4 对此进行分析说明。

1-6 图 1.14 的电加热炉温度控制系统与图 1.10 所示的有所不同,试描述系统的温度调节过程,它能做到加热炉温度的无差调节吗?为什么?

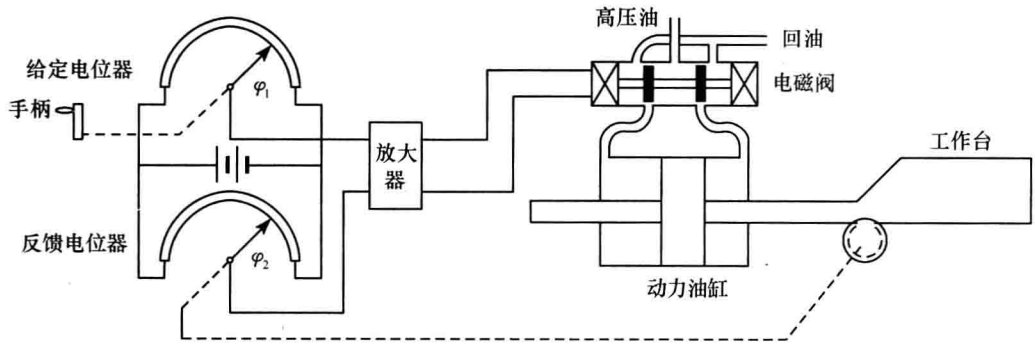


图 1.13 习题 1-4 图

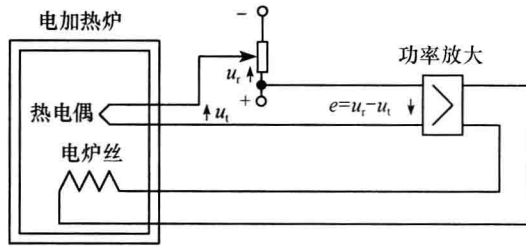


图 1.14 习题 1-6 图

1-7 在图 1.15(a)和(b)所示两个自动调压控制系统中,发电机 G 由一台原动机带着恒速旋转,通过改变励磁电流 i_f 来改变发电机的端电压。设空载时,发电机的端电压均为 110V,而当带上一恒定负载时,发电机的输出电流要在其内阻上产生压降,故端电压会出现一定的电压降,经系统的调节作用,发电机的端电压会得到恢复。试问经过调节,图(a)和(b)中的哪个系统的电压能保持 110V 不变? 哪个系统的电压会稍低于 110V? 为什么?

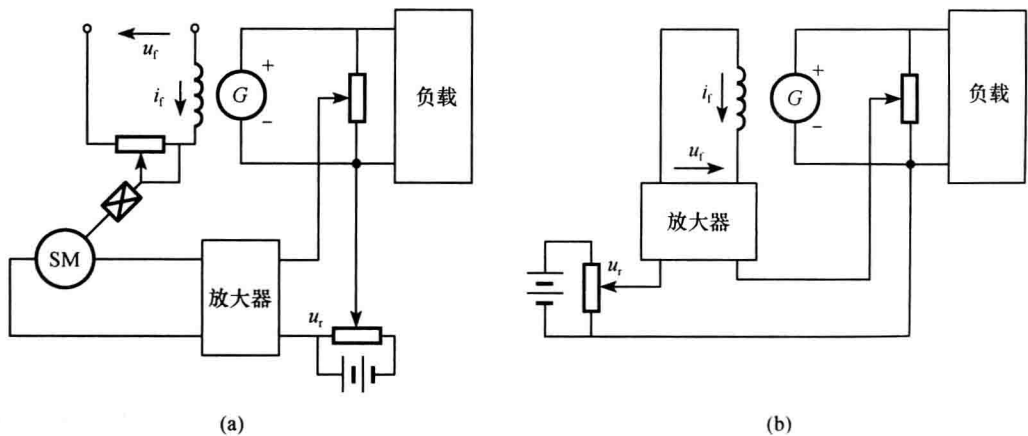


图 1.15 习题 1-7 图

1-8 图 1.16 为一调速系统的示意图。图中 R_D 为电枢电阻, L_D 为电枢电感,励磁电流 i_f 恒定。电机空载运行时,一定的设定电压 u_r 对应一定的电动机转速。当负载增加时,电枢电流 i_D 随之增大,电枢电流在电阻 R_D 上的压降会引起电机转速的下降。如图 1.16 所示,在电机主回路中串入一个小的采样电阻 R 来测量电枢电流,用反馈的方法减少电机转速的下降。试问由采样电阻 R 引入的是电枢电流的正反馈还是负反馈? 系统的工作原理如何?

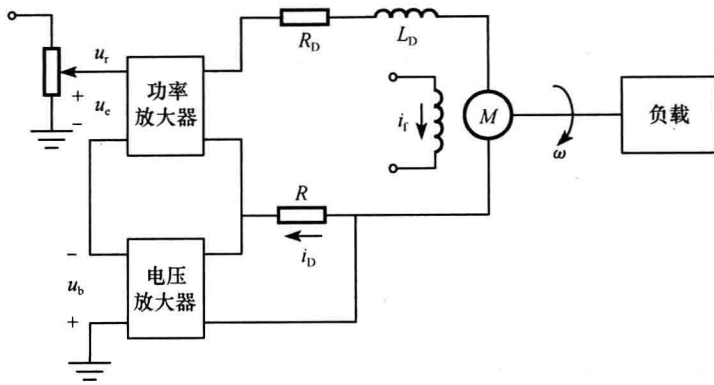


图 1.16 习题 1-8 图

1-9 图 1.17 是谷物湿度控制系统示意图。在谷物磨粉生产过程中,要先给谷物加水,以得到希望的湿度。图中,谷物输送装置按一定流量通过加水点,加水量用自动阀门控制。在加水过程中,谷物流量、加水前谷物湿度以及水压都是对谷物湿度控制的扰动作用。为了提高控制精度,系统中采用了加水前谷物湿度扰动的补偿控制和谷物湿度的反馈控制,试绘制系统的方框图。

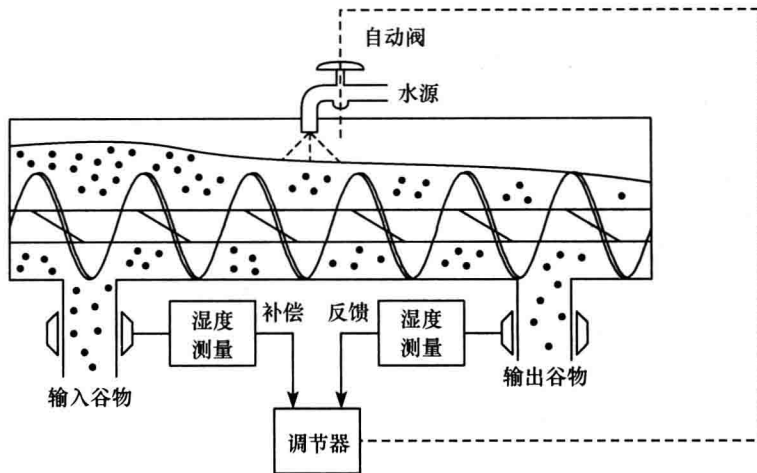


图 1.17 习题 1-9 图

1-10 张力控制系统如图 1.18 所示,它可以使输送带不产生堆积或被拉断。如图 1.18 所示,输送带左

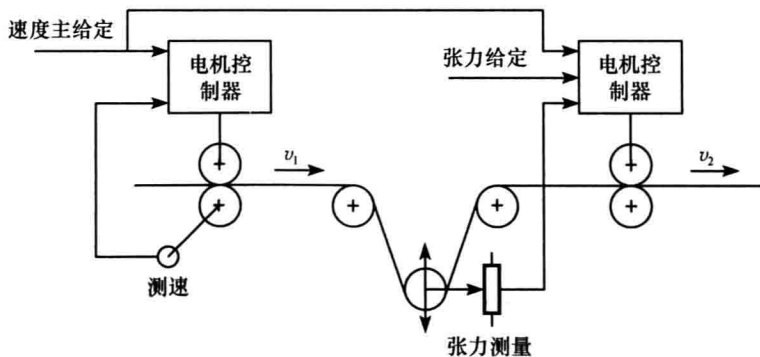


图 1.18 习题 1-10 图