

自动控制原理

主编 王军

副主编 舒欣梅 薛洁

参编 邵明 车畅

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书以经典控制理论为主,同时介绍了现代控制理论基础部分内容。全书共分 10 章,主要包括控制系统的基本概念、控制系统的数学模型、时域分析法、根轨迹法、频域分析法及系统的校正;同时,阐述了线性控制系统的状态空间分析与综合设计方法、非线性控制系统的分析方法,介绍了自动控制原理在自动控制系统中的应用。

本书适用于测控类、电气工程自动化本科专业的“自动控制原理”的教材,也可作为其他电类专业的本科教材,并可供从事自动化工作的工程技术人员作参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理 王摇军主编—重庆:重庆大学出版社,

2012.01

摇(测控技术与仪器专业本科系列教材)

摇 I 王摇军—摇 II 摇...摇 III 摇自动控制理论—高等学校—教材

IV 摇 I 摇...摇 II 摇...摇 III 摇自动控制理论—高等学校—教材
IV 摇 I 摇...摇 II 摇...摇 III 摇自动控制理论—高等学校—教材

摇中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 012345 号

自动控制原理

主 编 王摇军

副主编 舒欣梅 薛摇洁

责任编辑 彭摇宁 摇高鸿宽 版式设计 彭摇宁

责任校对 任卓惠 摇摇摇 责任印制 张摇策

*

重庆大学出版社出版发行

出版人 张鸽盛

社址 重庆市沙坪坝正街 8 号重庆大学(南区)内

邮编 401332

电话:(023) 23204400 23204401

传真:(023) 23204401 23204402

网址:www.cqup.com.cn

邮箱:zhuo@zhuo.com.cn(市场营销部)

全国新华书店经销

重庆川渝彩色印务有限公司印刷

*

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 12.5 摇字数 300千字

2012 年 01 月第 1 版 2012 年 01 月第 1 次印刷

印数 1—10000

定价 25.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

本书是根据全国高等院校测控技术与仪器专业《自动控制理论》教材编写大纲的要求编写的,是一本面向高等学校测控技术与仪器专业及其他机电类专业的本科教材。

本书的内容以经典控制理论为主,同时扼要地介绍了现代控制理论基础部分内容。为了在有限的篇幅内,使读者能系统地学习控制理论中最基本的内容和方法,本书力求重点突出,层次分明,理论联系实际,贯彻“少而精”的原则,尽量避免烦琐的数学推导和定理证明。内容编排上以对控制系统进行分析与综合的体系为线索。首先对控制系统的基本概念作必要的叙述,继而讨论实际系统在时域和复域中数学模型的建立方法及其结构图的表示方法。在此基础上,给出线性控制系统的时域分析法、根轨迹法、频域分析法及设计校正方法。由于计算机控制技术的发展以及非线性控制在工程中的大量应用,用适当篇幅介绍线性离散控制系统的理论及应用和非线性控制系统的分析方法。为使学生具有一定的现代控制理论的知识,最后阐述线性控制系统的状态空间分析与综合设计方法。最后一章增加 MATLAB 在自动控制原理中的应用,使学生学会用 MATLAB 软件来快速分析和解决问题。

为了便于学生加深对概念的理解和理论的消化,每章附有足够的例题和习题。本书各部分内容所占全书比例为:经典控制理论的线性部分和离散部分为 1/3,非线性部分为 1/4,现代控制理论部分为 1/4。本书授课学时为 72 学时左右,其中理论部分为 54 学时,实验课为 18 学时。

本书由西华大学王军主编,西华大学舒欣梅和昆明工业大学薛洁副主编,河南工业大学邵明和西华大学车畅参编。第 1 章和第 2 章由王军编写,第 3 章和第 4 章由舒欣梅编写,第 5 章和第 6 章由薛洁编写,第 7 章由邵明编写,第 8 章由舒欣梅(8.1 节)和邵明(8.2 节和 8.3 节)共同编写,第 9 章和第 10 章由车畅编写。同时,感谢四川省教育厅重点项目(12ZD0001)和四川省教育厅教改项目(12JY0001)的支持。

摇摇由于编者水平有限,书中难免有不少疏漏和不当之处,请读者不吝指教,我们将不胜感激。

编摇者
圆园年 月

目 录

第 1 章 自动控制系统概述	1
1.1 开环控制与闭环控制	1
1.2 自动控制系统的分类	2
1.3 对自动控制系统的基本性能要求	2
习题 1	2
第 2 章 控制系统的数学模型	3
2.1 控制系统的微分方程	3
2.2 控制系统的传递函数	3
2.3 系统动态结构图	3
习题 2	3
第 3 章 时域分析法	4
3.1 典型输入信号和时域性能指标	4
3.2 一阶系统的时域分析	4
3.3 二阶系统的时域分析	4
3.4 高阶系统的时域分析	4
3.5 系统的稳定性分析	4
3.6 系统的稳态特性分析	4
习题 3	4
第 4 章 根轨迹法	5
4.1 根轨迹法的基本概念	5
4.2 绘制根轨迹的基本条件和规则	5
4.3 特殊根轨迹	5
4.4 用根轨迹法分析系统性能	5
习题 4	5

第 缘章 频率分析法	愿猿
缘缘 频率特性	愿猿
缘缘 典型环节的频率特性	愿远
缘缘 系统开环频率特性图的绘制	怨苑
缘缘 频域稳定性判据	员愿
缘缘 开环频率特性与系统动态性能的关系	员远
缘缘 系统的闭环频率特性	员缘
缘 习题 缘	员愿
第 远章 控制系统的校正	员猿
远缘 系统校正的基本概念	员猿
远缘 串联超前校正	员源
远缘 串联滞后校正	员怨
远缘 串联超前—滞后校正	员员
远缘 期望特性的校正	员源
远缘 孕调节器	员远
远 习题 远	员圆
第 苑章 采样控制系统的分析	员员
苑缘 信号的采样与复现	员员
苑缘 扎变换与 反扎变换	员源
苑缘 采样控制系统的数学模型	员愿
苑缘 采样系统性能分析	员源
苑 习题 苑	员员
第 愿章 控制系统的状态空间分析与设计	员源
愿缘 控制系统的状态空间描述	员源
愿缘 线性定常系统状态方程的解	员圆
愿缘 线性定常系统的能控性和能观性	员源
愿缘 线性定常系统的极点配置	员怨
愿缘 状态观测器	员圆
愿缘 李雅普诺夫稳定性分析	员苑
愿 习题 愿	员圆
第 怨章 非线性系统的分析	圆源
怨缘 控制系统的非线性特性	圆源
怨缘 相平面法	圆愿

传递函数描述法	107
习题	107
第 4 章 MATLAB 软件在控制系统分析和综合中的应用	
4.1 MATLAB 简介	108
4.2 控制系统的数学描述	108
4.3 MATLAB 在时域分析中的应用	109
4.4 MATLAB 在根轨迹中的应用	109
4.5 MATLAB 在频域分析中的应用	109
4.6 MATLAB 在现代控制理论中的应用	109
附录	110
参考文献	110

第 1 章

自动控制系统概述

所谓自动控制,是指在没有人直接参与的情况下,利用外加的设备或装置,使机器、设备或生产过程的某个工作状态或参数自动地按照预定的规律运行。例如,导弹能够准确地命中目标,人造卫星能按预定的轨道运行并返回地面,宇宙飞船能准确地在月球着陆,并重返地球,都是由于自动控制技术迅速发展的结果。随着数学理论、计算机技术和电子技术等的迅速发展,自动控制技术不仅广泛应用在空间、工业、交通管理、环境卫生等领域,而且它的概念和分析方法也渗透到其他领域,如经济、政治等领域。

自动控制的广泛应用不仅使生产设备或过程实现自动化,极大地提高了劳动效率和产品的质量,改善了劳动条件,而且在人类征服大自然、探索新能源、发展空间技术和改善人们生活方面都将起着十分重要的作用。自动控制系统的种类很多,被控制的物理量各种各样,如压力、温度、湿度、流量、频率、物位和成分等方面的控制。

自动控制原理是研究自动控制技术的理论基础,是一门理论性较强的工程科学。根据自动控制技术的发展阶段,自动控制理论一般可分为经典控制理论和现代控制理论两部分。

经典控制理论的内容主要以传递函数为基础,研究单输入单输出一类自动控制系统的分析和设计问题。由于发展较早,现已成熟。相当成功地解决了大量工程实际问题,因此,它是研究自动控制系统的重要理论基础。

现代控制理论的内容主要以状态空间法为基础,研究多输入多输出、定常数或变参数、线性或非线一类自动控制系统的分析和设计问题。随着现代科学技术的发展,已出现最优控制、最佳滤波、模糊控制、系统辨识和自适应控制等一些新的控制方式。因此,它也是研究庞大的系统工程和模仿人类的智能控制等方面必不可少的理论基础。

本书对两大部分都给予了介绍,重点阐述经典控制理论。

开环控制与闭环控制

开环控制系统

自动控制系统有两种最基本的形式,即开环控制和闭环控制。开环控制是一种最简单的控制方式。其特点是:在控制器与被控对象之间只有正向控制作用而没有反馈控制作用,如图 1-1 所示。这种控制系统结构简单,系统的精度主要取决于元器件的精度和调整的精度。

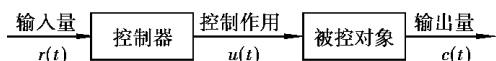


图 1-1 开环控制系统框图

当系统内部干扰和外部干扰影响不大、精度要求不高时,可采用开环控制方式。但是,当系统在干扰作用下,输出一旦偏离了原来预定值,由于系统没有输出反馈,对控制量没有任何作用。因此,系统没有消除或减少偏差的功能,这是开环控制最大缺点,从而限制了它的应用范围。

下面举例说明。图 1-2 是开环直流调速系统。图中 U_g 为给定参考输入,它经触发器和晶闸管整流后产生直流电动机的供电电压 U_d ,使电机产生期望的转速 ω 。但是若电动机负载、电网电压或激励电流只要稍有变化,电动机转速 ω 会随之而变化,不能维持 U_g 所对应期望转速 ω ,显然该系统无抗干扰能力。

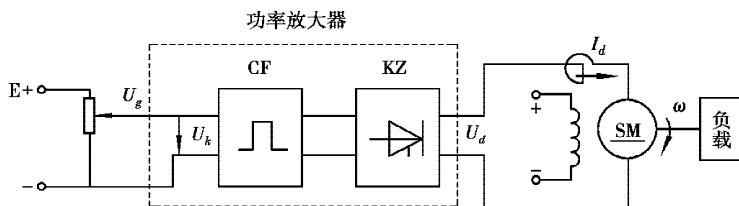


图 1-2 开环直流调速系统

闭环控制系统

若将系统的输出量反馈到它的输入端,并与参考输入(又称给定输入)进行比较,则构成闭环控制。如图 1-3 所示为闭环控制系统的示意图。闭环控制的特点是:在控制器与被控对象之间,不仅存在着正向作用,而且存在着反馈作用,即系统的输出量对控制量有直接影响。若反馈信号与输入信号相减,则称为负反馈;反之,若相加,则称为正反馈。输入信号与反馈信号之差,称为偏差信号。偏差信号作用于控制器上,使系统的输出量趋向于给定的数值。闭环控制的实质,就是利用负反馈的作用来减小系统的误差,因此,闭环控制又称为反馈控制。

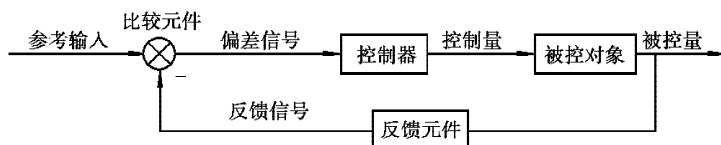


图 1-3 闭环控制系统框图

如图 1-1 所示为闭环直流调速系统。图中 U_g 是测速发电机, 通过它不断地对输出转速进行检测, 并将测得的结果反馈到输出端与参考输入相减, 产生偏差信号 ΔU , 经放大器驱动执行机构, 使输出转速完全按照参考输入的要求变化。该控制系统如果受到外界或内部扰动, 可以通过负反馈产生的偏差作为控制信号, 去消除输出量与其期望值之间的误差, 这种控制原理称为反馈控制原理。例如, 当电动机负载增大时, 使电动机流过的电流 I_d 上升, 电枢电阻压降增大, 导致电动机转速 ω 下降, 从而测速电机输出电压 U_g 减小, 偏差电压 ΔU 上升, 经放大后使触发脉冲前移, 晶闸管整流输出电压 U_d 上升, 从而补偿了由于负载增大所造成的电机转速下降, 使转速 ω 近似保持不变。

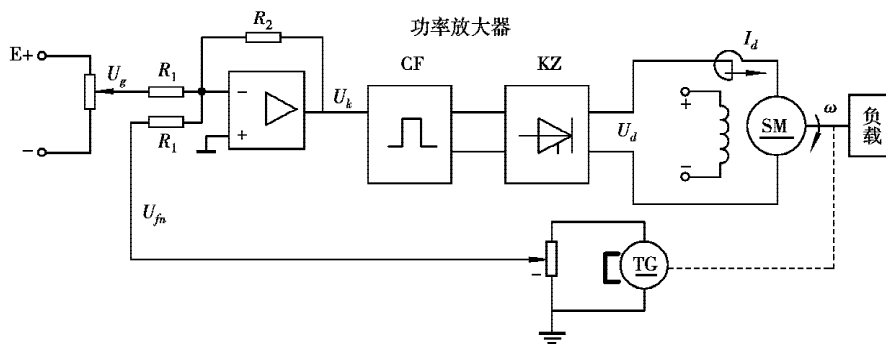


图 1-1 闭环直流调速系统

在工业生产中, 按照偏差控制的闭环系统种类繁多, 尽管它们完成的控制任务不同, 具体结构不一样, 但是, 从检出偏差、利用偏差信号对控制对象进行控制, 以减小或纠正输出量的偏差这一控制过程来看却是相同的。归纳起来, 开环控制系统与闭环控制系统区别如下:

① 在开环系统中, 从控制信号来看, 只有输入量对输出量产生控制作用; 从控制结构上来看, 只有从输入端到输出端从左向右的信号传递通道(该通道称为前向通道)。而闭环控制系统中除前向通道外, 还必须有从输出端到输入端的信号传递通道, 使输出信号也参与控制作用, 该通道称为反馈通道。闭环控制系统就是由前向通道和反馈通道组成的。

② 为了检测偏差, 必须直接或间接地检测出输出量, 并将其变换为与输入量相同的物理量, 以便与给定量比较, 得出偏差信号。因此, 闭环系统必须有检测环节, 给定环节和比较环节。

③ 闭环控制系统是利用偏差量作为控制信号来纠正偏差的, 因此, 系统中必须具有执行纠正偏差这一任务的执行结构。闭环系统正是靠放大的偏差信号来推动执行结构, 进一步对控制对象进行控制。只要输出量与给定量之间存在偏差, 就存在控制作用, 并设法纠正这一偏差。由于反馈控制系统是利用偏差信号作为控制信号, 自动纠正输出量与其期望值之间的误差, 因此可以构成精确的控制系统。

本书着重研究闭环控制系统。下面再以水位控制系统为例, 说明开环和闭环控制系统的工作原理及应用。

在水位控制系统中, 被控量是水池的水位高度, 出水流量 $Q_{出}$ 为干扰量, 如图 1-2 所示。图 1-2(a) 为开环控制系统, 事先固定进水阀和出水阀的位置, 使水位在期望的高度上, 只要进水量 $Q_{进}$ 等于出水量 $Q_{出}$, 就可保持期望水位高度。一旦出水量 $Q_{出}$ 变化, 就不能保持期望水位高度了。图 1-2(b) 为负反馈闭环控制系统, 水位高度由浮子测出, 通过杠杆控制进水阀位置, 水

位越高,进水量 Q_1 越小,使水位下降回到期望高度。图 1-1-1 为正反馈闭环控制系统,水位越高,进水量 Q_1 越大,使水位继续升高。可见正反馈闭环控制系统将无法保证水池的水位高度恒定。

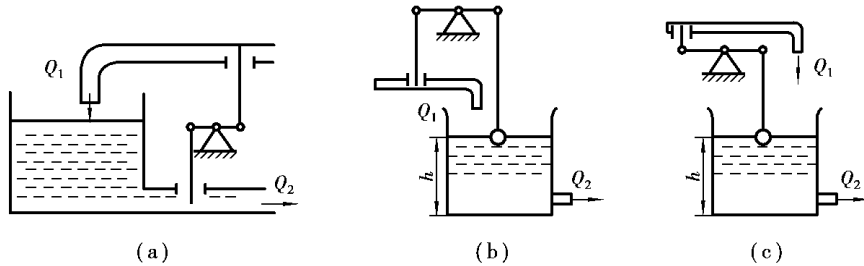


图 1-1-1 水池水位控制系统图

1-1-2 闭环控制系统的框图组成和术语定义

对于任何一个控制系统,尽管控制系统由不同的元件组成,系统的功能也不一样,但相同的工作原理决定了它们必然具有类似的结构,都可以用一些基本框图和符号来表示。一般来说,一个闭环系统由以下基本元件(或装置)组成。

(1) 测量元件

对系统输出进行测量并反馈到输入端,也称为敏感元件。

(2) 比较元件

对系统输出量与输入量进行比较后得到偏差(误差)信号,起信号的综合作用。

(3) 放大元件

对微弱的偏差信号进行放大和变换,输出有足够功率和要求的物理量。

(4) 执行机构

根据放大后的偏差信号,对被控对象执行控制任务,使被控对象与期望值趋于一致。

(5) 被控对象

指自动控制系统根据需要进行控制的机器、设备或生产过程,而被控对象内要求实现自动控制的物理量称为被控制量或系统输出量。

(6) 校正装置

对系统的参数或结构进行调整,用于改善系统框图。

图 1-1-2 是一个典型的自动控制系统基本组成图。图中系统的基本元件和被控对象用方框表示,信号传输方向用箭头表示,“ \ominus ”号表示输入信号与反馈信号相减,即负反馈,“ \oplus ”号表示正反馈。

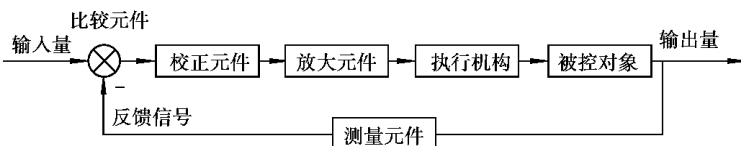


图 1-1-2 典型的自动控制系统基本组成图

一个复杂的控制系统也可能有多个反馈信号(除被控制量的反馈信号外,还有其他的反馈

信号)组成多个闭合回路。只有一个反馈通道的系统称为单回路系统,有两个或两个以上反馈通道的系统称为多回路系统。系统输出经过测量装置反馈到输入端的通道称为主反馈通道。前向通道与主反馈通道一起构成主回路。

此外,系统的输入变量有时也不止一个,可能有多个输入变量。具有多个输入变量的系统称为多输入系统;反之,只有一个输入变量的系统称为单输入系统。

1.2 自动控制系统的分类

自动控制系统的种类较多,应用范围很广,性能与结构各异,因此可以从不同角度进行分类。下面将阐述主要几种常用的分类方法。

1.2.1 线性控制系统与非线性控制系统

根据控制系统元件的特性分类系统可分为线性控制系统与非线性控制系统。

(1) 线性控制系统

当控制系统各元件的输入输出特性是线性特性,控制系统的动态过程可以用线性微分方程(或线性差分方程)来描述。则称这种控制系统为线性控制系统。线性控制系统的特点是可以应用叠加原理,当系统存在几个输入信号时,系统的输出信号等于各个输入信号分别作用于该系统时系统输出信号之和。

如果描述系统的线性微分方程的系数是不随时间而变化的常数,则这种线性控制系统称为线性定常系统,这种系统的响应曲线只取决于输入信号的形状和系统的特性,而与输入信号施加的时间无关。若线性微分方程的系数是时间的函数,则这种线性系统称为线性时变系统,这种系统的响应曲线不仅取决于输入信号的形状和系统的特性,而且和输入信号施加的时刻有关。本书将主要讨论线性定常系统。

(2) 非线性控制系统

当控制系统中有一个或一个以上的非线性元件时,系统的特性就要用非线性方程来描述,由非线性方程描述的系统称为非线性控制系统。在控制系统中,常见的非线性元件有饱和非线性、死区非线性、磁滞非线性和继电器特性非线性等。

非线性控制系统不能应用叠加原理。严格地讲,实际的控制系统都存在着不同程度的非线性特性,但大部分的非线性特性当系统变量变化范围不大时,可对非线性特性进行“线性化”处理,这样就可应用线性控制理论进行分析和讨论。但是,如果在系统中能正确地使用非线性元件,有时可以收到意想不到的控制效果。因此,近年来在实际应用系统中引入非线性特性以改善控制系统的质量,已取得了非常成功的经验。

1.2.2 按给定值信号的特点分类

(1) 恒值控制系统

若自动控制系统的任务是保持被控量恒定不变,即被控量在控制过程结束时,被控量等于给定值。这是生产过程中用得最多的一种控制系统。例如,发电机电压控制、电动机转速控制、电力网的频率(周波)控制和各种恒温、恒压、恒液位等控制都是属于恒值控制系统。

(四) 随动控制系统

给定信号随时间的变化规律事先不能确定的控制系统,称为随动控制系统。随动控制系统的任务是在各种情况下快速、准确地使被控量跟踪给定值的变化。例如,自动跟踪卫星的雷达天线控制系统、工业控制中的位置控制系统、工业自动化仪表中的显示记录等均属于随动控制系统。

(五) 程序控制系统

在程序控制系统中,它的给定值按事先预定的规律变化,是一个已知的时间函数,控制的目的是要求被控量按确定的给定值的时间函数来改变。例如,机械加工中数控机床、加热炉自动温度控制系统等均属于程序控制系统的范畴。

1.2.2 按控制系统信号的形式分类

(一) 连续控制系统

当控制系统中传递的信号都是时间的连续函数,这种系统称为连续控制系统。连续控制系统又常称作为模拟量控制系统(相对于数字量信号控制系统而言)。目前,大部分控制系统都是连续控制系统。本书将主要研究连续控制系统。

(二) 离散控制系统

控制系统在某处或几处传递的信号是脉冲系列或数字形式,在时间上是离散的,称为离散控制系统。离散控制系统的主要特点是:在系统中采用采样开关,将连续信号转变成离散信号。如果用计算机或数字控制器,离散信号是以数码形式传输的系统,称为数字控制系统。由于被控制量是模拟量,因此这种系统中有模数转换器(ADC)和数模转换器(DAC)。图 1.2.2 是典型计算机控制系统的方框图。本书将在第 4 章介绍。

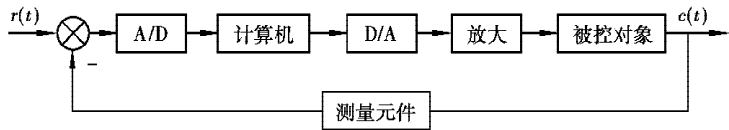


图 1.2.2 典型计算机控制系统的方框图

自动控制系统的分类方法还有很多,例如,根据控制系统的输入和输出信号的数量来分,有单输入单输出系统和多输入多输出系统;根据控制器采用常规的模拟量控制器还是采用计算机控制,则可分为常规控制系统和计算机控制系统;根据不同的控制理论分支设计的新型控制系统,则可分为最优控制系统、自适应控制系统、预测控制系统、模糊控制系统和神经网络控制系统等。

1.2.3 对自动控制系统的基本性能要求

当自动控制系统受到各种干扰(扰动)或人为要求给定值(参考输入)改变时,被控量就会发生变化,偏离给定值。通过系统的自动控制作用,经过一定的过渡过程,被控量又恢复到原来的稳态值或稳定到一个新的给定值。这时系统从原来的平衡状态过渡到一个新的平衡状态,故把被控量在变化中的过渡过程称为动态过程或暂态过程,而把被控量处于平衡状态时称

为静态或稳态。对于一个自动控制系统的性能要求可以概括为三个方面：稳定性、快速性和准确性。

4.1.1 稳定性

一个自动控制系统最基本的要求是系统必须是稳定的，不稳定的控制系统是不能工作的。所谓稳定性，是指系统受到扰动作用后偏离原来的平衡状态，在扰动作用消失后，经过一段过渡时间能否恢复到原来的平衡状态或足够准确地回到原来的平衡状态的性能。若系统能恢复到原来的平衡状态，则称系统是稳定的，否则称系统是不稳定的。一个稳定的系统，当内部参数稍有变化或初始条件改变时，仍能正常工作。因此，要求系统具有一定的稳定余量。

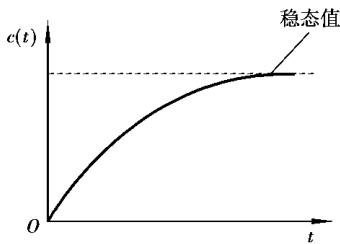
如何判断系统是稳定的，有很多科学家提出了稳定判据（如劳斯稳定判据、赫尔维茨稳定判据、奈奎斯特稳定判据、李雅普诺夫稳定判据和伯德定理等），本书将在后续章节中详细介绍。

4.1.2 快速性

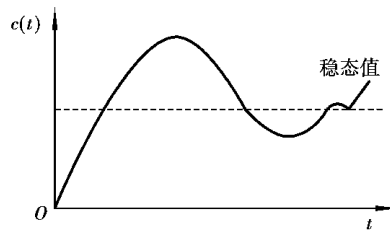
自动控制系统除了要求满足稳态性能之外，还应满足动态过程的性能要求，在具体介绍自动控制系统的动态过程要求之前，先认识控制系统的动态过程（动态特性）的类型。自动控制系统被控量变化的动态特性一般有以下几种：

（1）单调过程

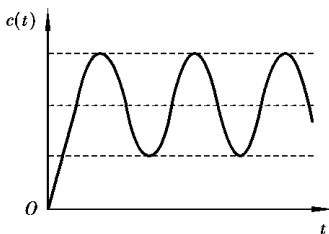
被控量呈现单调变化（即没有“正”、“负”的变化），缓慢地到达新的平衡状态（新的稳态值），如图 4-1(a) 所示。一般这种动态过程具有较长的动态过程时间（即到达新的平衡状态所需的时间）。



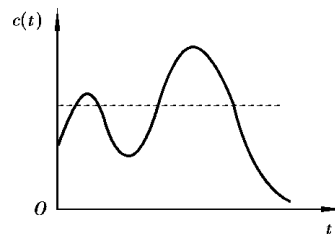
(a) 单调过程



(b) 衰减振荡过程



(c) 等幅振荡过程



(d) 发散振荡过程

图 4-1 自动控制系统的被控量的动态特性

(圆) 衰减振荡过程

被控量 糟贼的动态过程是一个振荡过程,但是振荡的幅度不断在衰减,到过渡过程结束时,被控量会达到新的稳态值。这种过程的最大幅度称为超调量,如图 员愿 遭所示。

(猿) 等幅振荡过程

被控量 糟贼的动态过程是一个持续等幅振荡过程,始终不能达到新的稳态值,如图 员愿 糟所示。这种过程如果振荡的幅度较大,生产过程不允许,则认为是一种不稳定的系统;如果振荡的幅度较小,生产过程可以允许,则认为是一种稳定的系统。

(源) 发散振荡过程

被控量 糟贼的动态过程不但是一个振荡的过程,而且振荡的幅度越来越大,以致会大大超过被控量允许的误差范围,如图 员愿 凿所示为一种典型的不稳定过程,设计自动控制系统要绝对避免产生这种情况。

一般来说,自动控制系统如果设计合理,其动态过程多属于图 员愿 遭的情况。为了满足生产过程的要求,则要求控制系统的动态过程不仅是稳定的,并且希望过渡过程时间(又称调整时间)越短越好,振荡幅度越小越好,衰减得越快越好。但是存在一定的矛盾,如果要求过渡过程时间很短,可能使动态误差(偏差)过大。合理的设计应该兼顾这两方面的要求。

员愿 准确性

准确性又称稳态精度。系统在过渡过程结束后实际输出与给定期望值之间的偏差,称为稳态误差。稳态误差越小,系统的控制精度越高。稳态误差是衡量控制系统性能好坏的另一项重要指标。设计者的任务之一就是要求控制系统被控量的稳态误差(偏差)为零或在允许的范围之内。对于一个好的自动控制系统来说,一般要求稳态误差越小越好,最好稳态误差为零。但在实际生产过程中,往往做不到完全使稳态误差为零,只能要求稳态误差越小越好。一般要求稳态误差在被控量额定值的 圆象 ~ 缘象。

由于被控对象具体情况的不同,不同的控制系统对上面提出的 猿个方面基本要求的侧重点也各有不同。例如,恒值控制系统对稳定性的要求严格,随动控制系统对快速性的要求较高。而且,对同一个系统,以上 猿个方面的性能要求往往是相互制约的。例如,提高系统的快速性,会使系统强烈振荡,若改善平稳性,控制过程又可能延缓,甚至会影响稳态精度。分析和解决这些问题,正是控制理论研究的主要内容。

习 题 员

员愿 试举出几个日常生活中的开环控制系统和闭环控制系统的实例,并说明它们的工作原理。

员愿 开环控制系统和闭环控制系统各有什么优缺点?

员愿 反馈控制系统的动态过程有哪几种类型?生产过程希望的动态特性是什么?

员愿 对自动控制系统基本的性能要求是什么?最主要的要求是什么?

员愿 如图 员愿 所示为仓库大门控制系统,试说明大门自动开启和关闭的工作原理,如果大门不能全开或全关,则应如何进行调整?

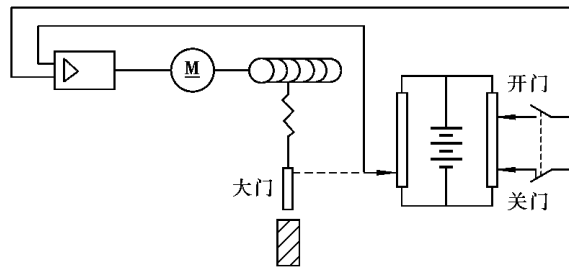


图 1-1-1 摇仓库大门控制系统

图 1-1-2 所示为一电位器位置随动系统，输入量为给定转角 $\theta_{\text{则}}$ ，输出量为随动系统的随动转角 $\theta_{\text{循}}$ ， R_p 为圆盘式滑动电位器， $运$ 为功率放大器。说明：

- (1) 该系统由哪些环节组成？各起什么作用？试用框图表示出该系统的组成和结构。
- (2) 该系统是有差系统，还是无差系统？
- (3) 说明当输入转角 $\theta_{\text{则}}$ 变化时输出转角 $\theta_{\text{循}}$ 的跟随过程。

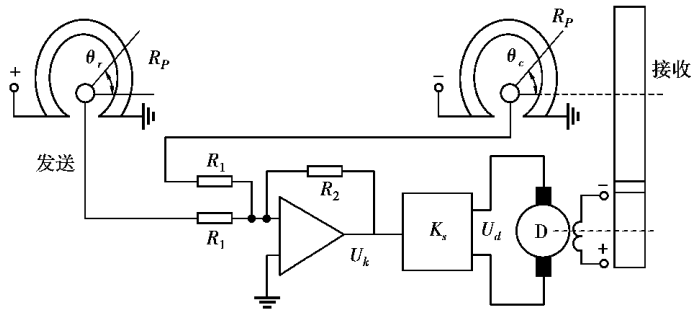


图 1-1-2 电位器位置随动系统

第 2 章

控制系统的数学模型

在分析和设计控制系统前,首要的问题是建立系统的数学模型。控制系统的数学模型就是描述系统中各变量间关系的数学表达式。由于系统变量有静态和动态两种关系,因此系统模型也相应分为静态模型和动态模型。在静态条件下,各变量随时间变化缓慢,对时间的导数可忽略不计,这时的代数方程称为静态数学模型。当系统中的变量对时间的导数不可忽略时,系统处于运动状态或称为动态。描述动态系统中各变量间关系的数学模型称为动态模型。

控制理论研究的是动态系统。动态系统数学模型的基础是微分方程,它主要适用于系统的时间域分析。此外系统的数学模型还有多种形式,如复数域中的传递函数、动态结构图,频率域中的频率特性等。本章研究的是微分方程、传递函数和动态结构图的建立和应用。

建立系统的数学模型有两种方法:解析法和实验法。解析法是根据系统所遵循的客观规律(物理、生物、化学等规律),经数学推导出数学模型。实验法是在系统的输入端,人为地施加某种测试信号,然后分析其输出响应,并用适当的数学模型去逼近。本章只介绍用解析法建立数学模型的方法。

2.1 建立控制系统的微分方程

2.1.1 建立系统微分方程的一般步骤

通常一个系统是由若干个环节连接而成的,每个环节的输入量和输出量之间的关系都可以用一个微分方程来表示,将每个环节的微分方程求出后,再联立消除中间变量,便可求出整个系统的微分方程。

列写系统微分方程的一般步骤:

① 根据要求确定系统的输入量和输出量。

② 根据各环节在系统中的工作要求及其所遵循的基本客观规律,分别列写相应的微分方程,并构成微分方程组。

③ 消除中间变量,并将方程标准化。即将与输入量有关的各项写在方程的右边,与输出量