

《信息、控制与系统》系列教材

自动控制 理论基础

戴忠达 主编

清华大学出版社

《信息、控制与系统》系列教材

自动控制理论基础

戴忠达 吕 林等 编著

主编 戴忠达

清华大学出版社

内 容 简 介

本书以经典控制理论与现代控制理论相结合的方式讲述自动控制理论的基本原理和基本方法。全书共八章：前五章属于线性定常连续控制系统问题，阐明了自动控制的三个基本问题，即模型、分析和控制；第六章采样离散控制系统是数字控制的理论基础；第七章和第八章分别为非线性控制及最优控制。

本书根据《自动控制理论》的教学大纲编写，可以作为自动控制专业、自动化专业和电类各专业本科生学习《自动控制理论》课程的教材，也可以作为工程和科技人员进修自动控制理论的参考书。

《信息、控制与系统》系列教材

自动控制理论基础

戴忠达 吕 林等 编著

主编 戴忠达



清华大学出版社出版

北京 清华园

中国科学院印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行



开本：787×1092 1/16 印张：36.75 字数：871 千字

1991年1月第1版 1991年1月第1次印刷

印数：0001~6000

ISBN 7-302-00707-1/TP·242

定价：9.75 元

《信息、控制与系统》系列教材

出版说明

《信息、控制与系统》系列教材是一套关于信息、控制和系统学科的基本理论和应用技术的高等学校教材。选题范围包括信号和信息处理、模式识别、知识工程、控制理论、自动化技术、传感技术、自动化仪表、系统理论、系统工程、机器人控制、智能控制、计算机应用和控制等方面。主要读者对象为自动控制、计算机、过程自动化、无线电等系科的高年级大学生和研究生,以及在这些领域和部门工作的科学工作者和工程技术人员。

信息、控制与系统科学是在本世纪上半叶形成和发展起来的新兴学科。它们的应用和影响已经遍及众多的部门和领域,贯穿其中的许多思想和方法已用于经济和社会现象的研究,而以这些学科为理论基础的自动化技术的广泛应用更是实现现代化的重要标志之一。这套系列教材正是在这样的客观要求下,为适应教学和科研工作的需要而组织编著和出版的。它以清华大学自动化系、电机系近年来经过教学实践的新编教材为主,力求反映这些学科的基本理论和最新进展,并且反映清华大学在这些学科中科学研究和教学研究的成果。我们希望这套系列教材,既能为在校大学生和研究生的学习提供较为系统的教科书,也能为广大科技人员提供有价值的参考书。

组编和出版这套系列教材是一次尝试。我们热忱欢迎选用本系列教材的老师、学生和科技工作者提出批评和建议。

《信息、控制与系统》系列教材编委会

一九八七年三月

《信息、控制与系统》系列教材编委会

主 编 常 迥

编 委 常 迥 童诗白 方崇智 韩曾晋 李衍达

郑大钟 夏绍玮 徐培忠

责任编辑 蔡鸿程

前 言

随着工业生产和科学技术的发展,自动控制系统已经普遍出现在人类生活、生产和探索新技术的各个领域中。《自动控制理论基础》就是专门研究有关自动控制系统中的基本概念、基本原理和基本方法的一门课程,也是工科院校自动控制或自动化专业学生必修的技术基础课之一。

目前,有关自动控制原理的教材很多,绝大多数都是将以传递函数为基础的经典调节理论与以状态方程为基础的现代控制理论分开的,本书的特点是两者结合。这种用频域法与时域法及输入输出模式与状态变量模式统一起来去研究控制理论的方法是一种可行的教学法。几年来,我们在清华大学自动化系自动控制专业的学生中讲授过多遍,在实践的基础上,反复修改,写成本书。

从自动控制的三个基本问题——系统的模型、系统的分析和系统的控制出发,本书内容安排依次为:概论,数学模型及系统求解,系统的定性分析,系统的定量分析,系统的校正和控制器的设计,采样离散控制系统,非线性控制系统,最优控制。本书共八章,前五章属于线性定常连续控制系统问题,第六章采样离散控制系统是数字控制的理论基础,它们是本课程的核心内容。在每章教材正文之后都配有示例和习题。

本书的前六章由戴忠达编写,窦曰轩负责其中的示例和习题;后两章由吕林编写,夏飞负责其中的示例和习题;窦曰轩和戴忠达对全书进行了校核和修改。感谢梁德全和刘文煌两同志提供了示例的有关素材。由于编著者的水平有限,加上将“经典控制”与“现代控制”的内容统一编写有一定的难度,因此热诚希望读者对本书的缺点和错误批评指正。

主编 戴忠达

1989年1月

目 录

第一章 自动控制概论	1
1.1 自动控制系统的组成、分类和发展	1
1.2 对控制系统的要求和本书内容简介	7
1.3 小结	8
习题.....	8
第二章 数学模型及系统求解	10
2.1 数学模型的举例和说明	10
2.2 传递函数与系统结构图	17
2.3 信号流图及梅逊公式	24
2.4 系统数学模型的两种模式	28
2.5 模式变换与实现问题	34
2.6 利用传递函数求解输出响应	44
2.7 状态方程的求解	46
2.8 矩阵指数或状态转移矩阵的计算	48
2.9 控制系统计算机仿真简介	59
2.10 小结	65
2.11 示例	66
习题.....	90
第三章 控制系统的定性分析	103
3.1 系统的稳定性	103
3.2 李雅普诺夫稳定判据	109
3.3 劳斯稳定判据	113
3.4 奈魁斯特稳定判据	118
3.5 系统的能控性	125
3.6 系统的能观性	136
3.7 关于系统能控性和能观性的进一步讨论	143
3.8 小结	155
3.9 示例	156
习题.....	164
第四章 控制系统的定量分析	177
4.1 稳态响应及稳态误差	177
4.2 动态响应及其分析	184
4.3 分析动态响应的实用方法之一——根轨迹法	193

4.4	分析动态响应的实用方法之二——对数频率特性法	205
4.5	小结	219
4.6	示例	219
	习题	228
第五章	系统的校正和控制器的设计	237
5.1	状态反馈与极点配置	237
5.2	输出反馈系统的校正方式与常用校正装置的特性	250
5.3	输出反馈系统的根轨迹法校正	259
5.4	输出反馈系统的对数频率特性法校正	270
5.5	输出反馈系统的并联校正和复合控制	277
5.6	解耦控制	279
5.7	状态估计与状态观测器	283
5.8	带观测器的闭环系统的基本特征	293
5.9	小结	298
5.10	示例	299
	习题	317
第六章	采样离散控制系统	330
6.1	引言	330
6.2	信号的采样和保持	331
6.3	z 变换和 z 反变换	335
6.4	差分方程、脉冲传递函数及离散动态方程	348
6.5	采样离散控制系统的数学模型	355
6.6	离散控制系统的性能分析	362
6.7	数字控制器的设计	380
6.8	小结	398
6.9	示例	401
	习题	412
第七章	非线性控制系统	421
7.1	非线性系统概述	421
7.2	描述函数法	426
7.3	相平面法	441
7.4	李雅普诺夫第二方法(直接法)	466
7.5	利用非线性特性改善系统的性能	475
7.6	小结	477
7.7	示例	478
	习题	486
第八章	最优控制	491
8.1	最优控制问题概述	491

8.2 变分法与泛函极值	498
8.3 最优控制问题及其解法	507
8.4 快速最优控制	522
8.5 二次型性能指标的最优控制	527
8.6 离散系统的最优控制	539
8.7 具有二次型性能指标的离散系统的最优控制	547
8.8 小结	553
8.9 示例	554
习题	560
附录	563
附录一 拉普拉斯变换	563
附录二 二次型	565
附录三 系统能控性判据	567
附录四 系统能观性判据	570
附录五 能控标准型与能观标准型	572
附录六 矩阵微分法基本知识	574
参考文献	580

第一章 自动控制概论

自动控制就是应用某种装置(控制器)自动地、有目的地操纵生产机械或过程(被控对象),使之具有预定的工作状态;自动控制理论则是研究有关自动控制共同规律的一门科学。本章首先介绍自动控制系统的组成和分类以及控制理论随着生产和科学进步而发展的简况,其中将涉及到自动控制技术的一些基本概念和有关术语;然后从对控制系统的基本要求出发,说明本书所要论述的主要内容。

1.1 自动控制系统的组成、分类和发展

系统是由一些相互联系和相互制约的环节组成并具有特定功能的整体。每个系统都有输入量和输出量。例如,由控制器和被控对象所组成的整体就叫控制系统(见图 1.1.1)。在这个系统中,控制器接受输入信号 $r(t)$, 产生相应的控制作用 $u(t)$, 去操纵被控对象,使它的输出 $y(t)$ 符合于对系统所提出的性能要求。

当被控对象能由控制器自动操纵时,谓之自动控制系统。根据发展过程,现就自动控制系统的分类和演变叙述如下。

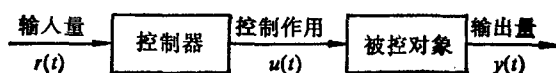


图 1.1.1 控制系统的组成

1.1.1 开环系统和闭环系统

图 1.1.1 是一个开环控制系统的示意图。在开环控制系统中,控制器与被控对象之间只有顺向作用而无反向联系,即控制是单方向进行的;系统的输出量并不影响其控制作用,控制作用直接由系统的输入量产生。图 1.1.2 所示的电动机转速控制系统可以作为开环控制系统的一个实例。直流电动机带动生产机构以一定的转速旋转,其转速由电位器的

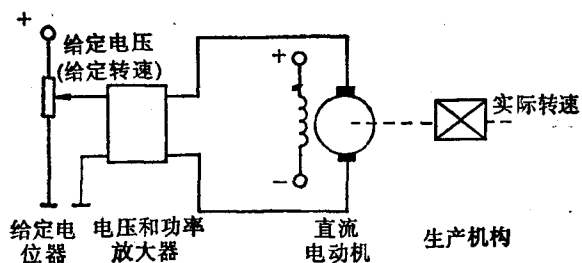


图 1.1.2 电动机转速控制系统

给定电压来决定:改变电位器滑动端的位置,则改变给定电压的大小,放大器的输入、输出和电动机的电枢电压也相应地发生改变,从而自动地决定了电动机转速的高低,以满足生产机构的要求。

开环控制系统比较简单,但其输出量(如电动机的实际转速)不可能精确地对应于输入量(如与电位器给定电压相对应的给定转速),因为周围环境的变化经常会使系统受到扰动。扰动可分

为内扰和外扰：内扰是由于组成系统的元部件参数的变化引起的；外扰则是由系统的动力源或负载变化等外部因素所引起。在一定的输入信号作用之下，这些扰动量都会使系统相应的输出量出现偏差，开环控制系统并不具有调节这种偏差的能力。因此，这种控制系统的准确度或稳态精度是不高的。另外，被控对象总是有惯性的，所以控制系统一般都是动态系统。在动态系统中，当输入量变化时，系统输出量的响应不可能瞬时完成，存在着由一个稳态到另一个稳态的动态响应过程（即过渡过程）。开环控制系统的动态响应不甚好，或者说，开环控制系统的输出量往往不能及时地跟踪输入量的变化而变化。这些都是开环控制系统固有的缺点。

因此，在自动控制系统中，为了克服开环控制系统的缺点，得到快的动态响应和高的稳态精度，人们总是设计带有负反馈的闭环控制系统。负反馈的含意是把系统的输出量直接或者通过测量元件（传感器）引向输入端，与系统的输入量进行比较，然后用它们的差值进行控制。图 1.1.3 就是一个闭环控制系统的示意图。要注意到，加在控制器上的信号并不是系统的输入量，而是它和系统反馈量之间的误差。控制器所产生的控制作用施于被控对象之后，又力图减小或者消除这种误差。

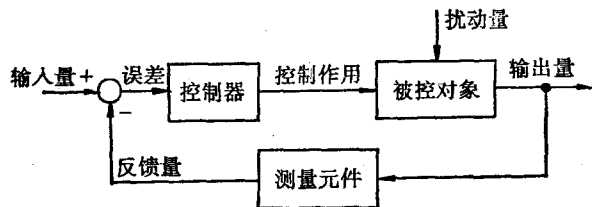


图 1.1.3 闭环控制系统示意图

采用负反馈控制，可以有效地抑制被反馈通道（由输出到输入）所包围的前向通道（由输入到输出）中各种扰动对系统输出量的影响。假设输入量为一给定值，而外加扰动量使输出量减小，那么反馈量也相应地减小，由于输入量未变，因此误差就增大，控制器的控制作用也相应地增大，从而提高了输出量，这就对因扰动而引起的输出量的减小起到了自动调节的作用。反之亦然。所以带有负反馈的闭环控制，能够提高系统的抗扰性（增强其鲁棒性），改善系统的稳态精度。另一方面，由于负反馈的存在，对应于一定输出量的输入量必然加大，因此在到达稳态之前的动态过程中，施于控制器的信号比较大，产生所谓的强激作用。控制作用增大了，这就加快了被控对象的输出量对于输入量的跟踪速度。由此可以看出闭环控制系统的优越性。然而，闭环控制也给系统带来了新的问题：负反馈虽然能够产生校正误差的控制作用，但是，由于系统存在惯性，控制作用所起的控制效果是有时间延迟的，系统得不到及时的校正。如果控制器的强激作用与被控对象的惯性之间匹配不当，则闭环系统还可能产生振荡，甚至不稳定，使得系统不能正常工作。

差就增大，控制器的控制作用也相应地增大，从而提高了输出量，这就对因扰动而引起的输出量的减小起到了自动调节的作用。反之亦然。所以带有负反馈的闭环控制，能够提高系统的抗扰性（增强其鲁棒性），改善系统的稳态精度。另一方面，由于负反馈的存在，对应于一定输出量的输入量必然加大，因此在到达稳态之前的动态过程中，施于控制器的信号比较大，产生所谓的强激作用。控制作用增大了，这就加快了被控对象的输出量对于输入量的跟踪速度。由此可以看出闭环控制系统的优越性。然而，闭环控制也给系统带来了新的问题：负反馈虽然能够产生校正误差的控制作用，但是，由于系统存在惯性，控制作用所起的控制效果是有时间延迟的，系统得不到及时的校正。如果控制器的强激作用与被控对象的惯性之间匹配不当，则闭环系统还可能产生振荡，甚至不稳定，使得系统不能正常工作。

1.1.2 调节系统和随动系统

在自动化领域中，自动控制系统指的就是带有负反馈的闭环控制系统，因而反馈控制原理也就成为自动控制技术中的一个基本原理。为了加深对闭环控制系统的认识，让我们把图 1.1.2 的电动机转速的开环控制系统改造成为图 1.1.4 的电动机转速的闭环控制系统。图中，增加了一个转速负反馈环节：利用测速发电机，把电动机的实际转速信号与给定转速信号进行比较，取其误差进行控制。当给定电位器滑动端的位置一定，电动机和生

产机构就获得了相应的转速。如果由于负载变化而引起电动机和生产机构的转速改变,则测速发电机就会将该转速偏差反映到放大装置的输入端,使其输出产生相应的变化,从而自动地维持电动机和生产机构的转速基本不变。由此,转速负反馈减小了负载扰动对转速的影响,提高了转速调节系统的控制精度。

因此,若当某种控制系统的任务是在输入量为恒值时,能克服扰动量对系统的影响;从而维持输出量相应于输入量的恒定关系,人们就把这种控制系统称之为恒值调节系统。上面所说的转速调节系统就是一例。此外,日常所见的压力调节系统、温度调节系统、水位调节系统、电压调节系统等等,都属于这一类。

另一类闭环控制系统称为随动系统。如图 1.1.5 所示的火炮跟踪系统就是一例。在此系统中,当输入信号给定一个角度时,同位仪检测装置发出一个误差信号,放大装置便有一个相应的输出,致使直流电动机带动火炮的炮架转动;与此同时,反馈装置又把炮架转动的角度送入同位仪检测装置。直至反馈角度的信号与输入角度的信号相等时,误差信号以及放大装置的输出均为零,电动机停止旋转,则火炮炮架也就被控制转动到了给定的角度。

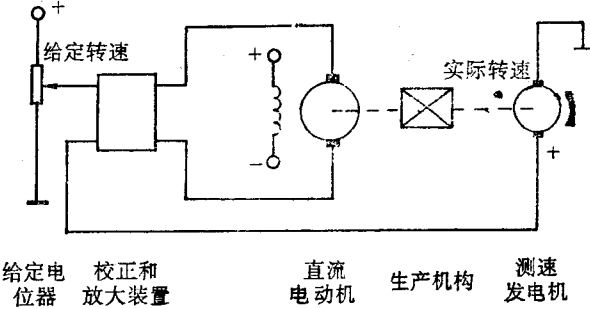


图 1.1.4 电动机转速调节系统

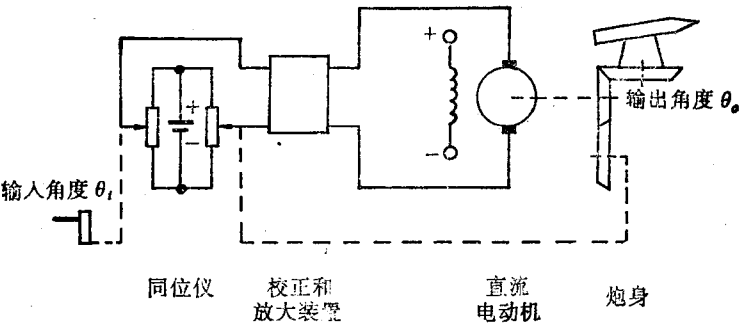


图 1.1.5 火炮跟踪系统示意图

随动系统实质上是一个位置自动调节系统。这种控制系统的任务首先要保证系统输出量的变化能够紧紧跟随其输入量的变化,并要求具有一定的跟随精度。特别要注意的是,在这种系统中,输入量的变化往往是任意的,是不能预先知道的。例如,要使火炮能够命中敌机,就要使炮架的位置能够不断地跟踪敌机,而敌机的飞行方位是任意的,无法预知。在机械加工中,也经常采用随动系统来达到刀架进给量与主轴切削速度之间的相互协调。

当生产机构对自动控制系统提出很高的控制要求时,单独采用开环控制或者闭环控制是有困难的。这时,可以设计一种开环控制和闭环控制相结合的复合控制系统,如图

1.1.6 所示。在这种系统中，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的补偿作用，这样就能使系统达到很高的控制精度。

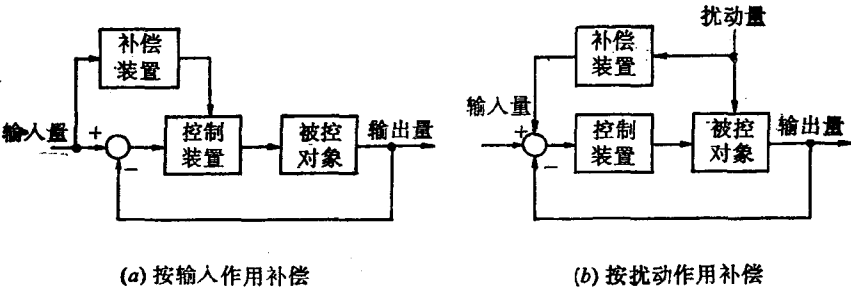


图 1.1.6 复合控制示意图

1.1.3 连续系统和离散系统

所谓连续系统，是指组成系统的各个环节的输入信号和输出信号都是时间的连续信号。上面所举的恒值调节系统和随动系统的例子都属于连续控制系统。一般采用微分方程作为分析连续系统的数学工具。如果控制系统中的信号为离散信号时，则它就属于离散控制系统。离散信号的特征是只有在离散时刻才有数值，而在两个离散时刻之间是没有信号的。脉冲信号和数字信号都属于离散信号。离散系统的动态性能一般要用差分方程来描述。

连续信号经过采样开关的采样，可以转换成离散信号，如图 1.1.7 所示。

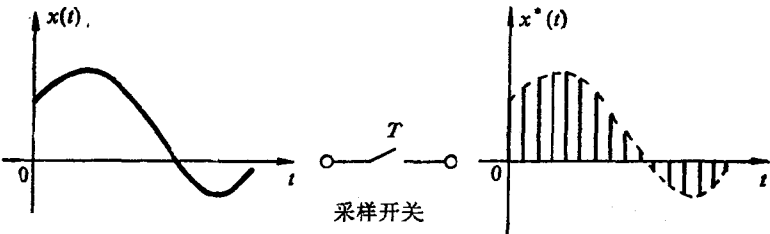


图 1.1.7 连续信号转换为离散信号

如果控制系统中既有连续信号又有离散信号，一般就称之为采样离散控制系统，工业计算机控制系统就是采样离散控制系统的实例，如图 1.1.8。将计算机引入控制系统有一系列的优点：可以计算和存储在不同工作情况下的最优设定值（作为控制系统的输入信号），使系统实现最优控制；可以用软件(程序)方便地实现各种控制规律，以适应系统所提出的性能要求；利用离散信号的传递，可以有效地抑制噪声，从而提

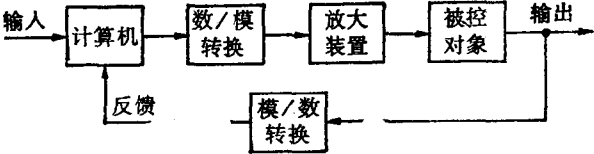


图 1.1.8 计算机控制系统示意图

高系统的抗干扰能力;可以对系统参数和变量进行检测、显示、打印和报警,大大提高了系统的自动化程度;可以分时控制,实现一机多用,提高控制设备的利用率。所以,计算机(特别是微型计算机)控制系统目前正在各个生产领域中被广泛采用。

1.1.4 单输入单输出系统和多输入多输出系统

单输入单输出 (SISO) 系统是指只有一个输入量和一个输出量的控制系统。分析这种系统的方法有时域法和频域法。对比较简单的 SISO 系统,可用低阶的微分方程(或差分方程)来描述,靠手算分析这种系统是有可能的,这就是最初的时域法。对较为复杂的 SISO 系统,会碰到高阶的动态方程,这时用手算将十分麻烦。因此,40 年代前后在控制理论中出现了以传递函数为基础的频率法和根轨迹法。这些方法都避免了人工计算动态方程的困难,而为高阶控制系统的分析提供了实用的方法,因而使控制系统的研究由时域法转到了频域法,形成了一套所谓的“经典控制理论”,至今仍被广泛而成功地应用在控制领域中。它特别适用于分析象单输入单输出那样的控制系统。

60 年代之后,由于工业过程控制和空间宇航技术的发展,控制系统逐渐复杂起来,出现了信号多、回路多、变量多、而且相互之间又有耦合(关联)的所谓多输入多输出(MIMO)系统,又称多变量系统,见图 1.1.9。MIMO 控制系统在生产中的出现,有力地推动了控制理论的发展。因为,在 MIMO 系统中,仅仅研究其输入输出特性已不能满足要求,有时需要从整个系统出发,研究其内部状态的运动规律以及相互之间的关系;另外,这种系统对控制性能的要求也比较高,常常要求系统能在一定的控制约束和某种性能指标下实现最优运行,即所谓最优控制。经典控制理论难以胜任对 MIMO 系统的研究,于是在控制理论中逐渐形成了以状态空间为基础的所谓“现代控制理论”。在现代控制理论中,是用以向量微分方程(或向量差分方程)形式的状态方程来描述系统的。这样,使系统的分析又重新回到了时域法。高维向量状态方程的复杂计算必须依赖于计算机完成,另外;在 MIMO 系统中,为了要满足很高的性能要求,也需要引入计算机作为控制器。由此可见,计算机技术的应用和控制理论的发展是紧密结合、相互促进的。

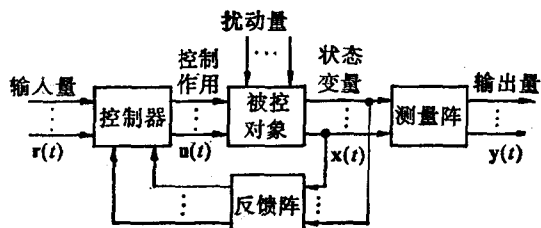


图 1.1.9 多变量系统示意图

1.1.5 线性系统和非线性系统

如果在动态系统中,各环节的输入输出特性都是线性的,那么,系统的性能可以用线性常系数微分(或差分)方程来描述,如

$$\dot{y}(t) + ay(t) + by(t) = cr(t)$$

则称该系统为线性定常系统(或者叫线性时不变系统)。如果描述系统性能的线性方程中的系数不是常数,而是时间的函数,如

$$\dot{y}(t) + a(t)y(t) + b(t)y(t) = c(t)r(t)$$

则称该系统为线性时变系统。例如带钢卷筒或运载火箭,由于卷径变化或燃料消耗,它们的质量和惯性均随时间而变化,这类系统就是时变系统。

众所周知,线性系统的主要特点是可以应用叠加原理来处理输入与输出之间的关系。例如有两个输入同时作用于系统时,可以令第二个输入为零,先计算第一个输入的输出响应;然后令第一个输入为零,再计算第二个输入的输出响应;最后将两次输出响应叠加起来,就等于两个输入同时作用于系统的结果。以传递函数为基础的经典控制理论主要适用于对线性定常控制系统的研究。

在动态系统中,只要有一个元部件的输入输出特性是非线性的,就要用非线性微分方程(或差分方程)来描述其性能。非线性方程的特点是系数与变量有关,例如

$$\ddot{y}(t) + y(t)\dot{y}(t) + y^2(t) = r(t)$$

凡是用非线性方程描述的系统就叫做非线性系统。非线性系统是不能用叠加原理的。严格地说,各种物理系统总具有不同程度的非线性:例如图 1.1.10 所示系统中所应用的放大器和电磁元件的饱和特性;运动部件的死区、间隙和摩擦特性等等。由于非线性方程在数学处理上的困难,至今尚无统一的方法来研究不同型式的非线性系统。在控制系统中,对于非线性不很严重的环节,通常采用在一定范围内使非线性特性线性化的方法,把它近似为线性环节来处理。这样,非线性系统就简化为线性系统了。

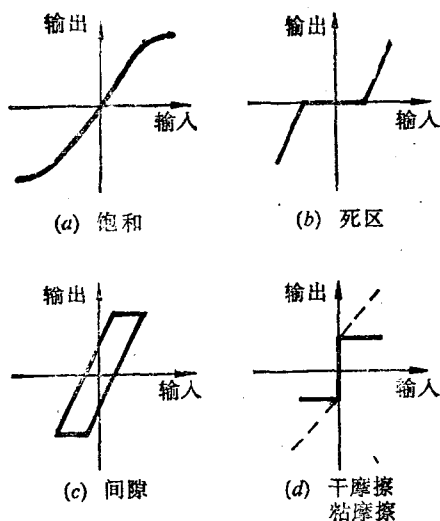


图 1.1.10 常见的非线性特性

1.1.6 确定性系统和不确定性系统

如果被控对象数学模型的结构和参数都是确定的,系统的全部输入信号又均为时间的确定函数,那么系统的输出响应也是确定的,这种系统就称为确定性系统。尽管被控对象是确定的,但是如果系统的输入信号中含有不确定的随机量(例如,负载的随机变化、电源的随机波动、模型和量测噪声的影响等等),这时系统的输出响应必然也是不确定的,那么就称这种系统为不确定性系统,或者叫随机系统。因为随机信号及其响应都不能用一定的时间函数来描述,它们只具有数学统计特性,所以对于随机系统要应用概率统计理论加以研究。如果被控对象本身再是不确定的,那么对于这种随机系统的控制,在运行过程中需要提取有关被控对象的输入输出信息,一边辨识对象的模型参数,一边自动修改控制器的参数,以维持系统的最优运行状态,这就是现代控制工程中的自校正或自适应控制系统。

除了以上几种划分之外,按系统参数特征来划分,还可分为集中参数系统与分布参数系统。前者由常微分方程来描述,后者则要用偏微分方程来描述。当系统中的波动过程或分布参数必须考虑时,就属于分布参数系统。

1.2 对控制系统的要求和本书内容简介

对控制系统的基本要求可以概括为两点:首先,系统必须是稳定的;其次,系统应该具有良好的动态品质和稳态精度。稳定是控制系统能够正常工作的基本前提,而动态品质和稳态精度则是对控制系统动、静态性能优劣的评价。在单输入单输出控制系统中,动态品质指的是系统输出响应的快速性和超调量;而稳态精度则常用输出响应的稳态误差的大小来衡量(见第四章)。在多变量的最优控制系统中,稳态精度和动态品质都被概括在一个性能指标中(见第八章)。

设计控制系统时,必须满足它的动、静态性能指标的要求。但是两者之间常有矛盾:稳态精度很高的系统容易导致动态品质的恶化,甚至不稳定。为了解决这个矛盾,就必须合理地设计控制器,对系统进行校正,这正是控制系统设计的核心内容。

在自动控制理论课程中,对控制系统的研究基本上可以分为系统分析与系统综合两个方面。所谓系统分析,就是在给定系统的条件下,将物理系统抽象成数学模型,然后用已经成熟的数学方法和先进的计算工具(如计算机)来定性地或定量地对系统进行动、静态性能分析。所谓系统综合,就是在已知被控对象和给定性能指标的前提下,寻求控制律,建立一个能使被控对象满足性能要求的系统。由此可见,建立数学模型、系统性能分析和控制器的设计是“自动控制”所要研究的三个基本问题。

控制系统有确定性和随机性两类,《自动控制理论基础》的内容是针对确定性系统的。实际系统虽然都带有某种程度的非线性,但是它们中的大部分完全能用线性模型充分地加以描述;另外,迄今为止,也只有线性系统才具有成熟的一般理论,对非线性系统的一些处理方法也是以线性系统的理论为基础的。因此,自动控制理论的基本内容是以线性定常系统的理论为主的。

本书的第一章是自动控制概论。第二章是数学模型及系统求解:重点介绍用机理分析法和传递函数法建立对象和系统的数学模型、数学模型的两种模式及其变换以及求解系统状态和输出响应的方法。第三章是控制系统的定性分析:内容是有关系统稳定性、能控性和能观性的分析和判断。第四章是控制系统的定量分析:主要介绍稳态响应及稳态误差的计算,动态响应及两种实用分析方法——根轨迹法和对数频率特性法。第五章是系统的校正和控制器的设计:重点内容有利用状态反馈的极点配置法,利用输出反馈的串联校正和并联校正,控制系统中常用的校正电路和典型调节器的特性及实现(第二章到第五章是连续控制系统)。第六章是采样离散控制系统:采样离散控制系统的理论是数字控制系统(计算机控制系统)的基础,其中的主要内容有分析采样离散控制系统的基本数学工具(差分方程、 z 变换和脉冲传递函数、离散状态方程),采样离散控制系统的性能分析(诸如稳定性、能控性和能观性、稳态响应及动态品质)以及数字控制器的综合和设计。第七章是关于非线性控制系统的分析方法:描述函数法、相平面法以及用李雅普诺夫第二方法分析非线性控制系统的稳定性。第八章是关于最优控制系统的理论和应用。

1.3 小 结

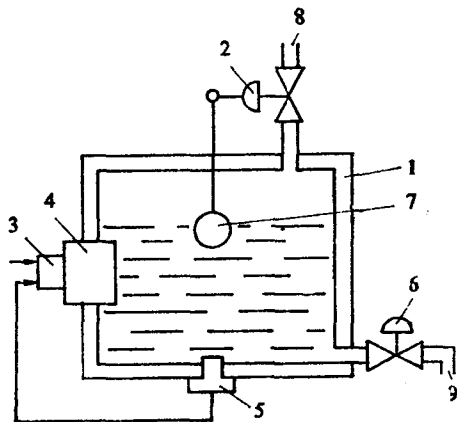
本章是有关自动控制的概论,主要是对控制系统作了一般性的介绍,提出了问题,并没有在理论上仔细讨论。要求大家注意基本概念,例如:什么是开环控制和闭环控制;反馈和前馈的含意及应用;为什么自动控制系统一般都是采用带有负反馈的闭环系统;调节系统和随动系统的共性和特性;SISO 系统和 MIMO 系统的区别;什么样的系统叫多变量系统;采样离散控制系统的特点;采用计算机控制系统的优点;线性系统、时变系统和非线性系统的特征;确定性系统和随机系统的区别;对控制系统的基本要求等等。

习 题

1.1 什么是开环控制系统? 什么是闭环控制系统? 试比较开环控制系统和闭环控制系统的区别及其优缺点。

1.2 试列举几个日常生活中开环控制系统和闭环控制系统的实际例子,画出它们的示意图并说明其工作原理。

1.3 图 E1.1 是一个全自动热水器的示意图。为了保持水箱中水的期望温度,由温控开关接通或者断开电加热器的电源。在使用热水时,水箱中流出热水并补充冷水。试画出这一水温控制系统的原理方框图,并说明若要改变水温,应怎样操作? 另外,当水箱



1. 水箱; 2. 冷水阀门; 3. 温控开关;
4. 电加热器; 5. 测温元件; 6. 热水龙头;
7. 浮子; 8. 冷水进口; 9. 热水出口;

图 E1.1 全自动热水器示意图

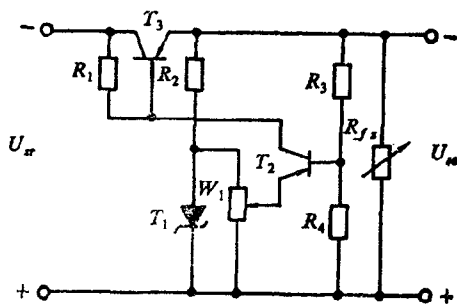


图 E1.2 直流稳压电源原理图

中向外放出热水和向里补充冷水时,系统是如何工作的? 画出对应的方框图

1.4 图 E1.2 是一晶体管直流稳压电源的电路原理图。试将其画成方框图并说明其稳压原理,指出在该电源系统中,哪些元件起着测量、放大及执行的作用。欲改变稳压电源的输出电压,应如何操作?