

自动控制理论基础

雷曙光 张柳 编



广州民航职业技术学院机务系

自动控制理论基础

雷曙光 张柳 编

广州民航职业技术学院机务系

前 言

根据学院发展的总体规划和教研工作部署,为加强民航机务专业学科建设,提高教学质量,逐步编写一套符合要求、对口实用、自成风格的专业系列教材,机务工程系针对飞机电子设备维修专业教材短缺的问题,根据该专业教学计划编制了《自动控制技术基础》教学大纲编写了《自动控制技术基础》高职教育教材。

本教材在重新修订的过程中,依据民航机务专业的特点和学院教学的要求,增改了部分内容,并调整了部分章节的次序,增加了例题和习题的数量,以帮助读者进一步深入理解与运用基本理论。本教材注重物理概念的阐述,理论联系实际,立足于技术内容的系统性和完整性,以便于读者进行自学。

本书共分为七章,其中,第一章自动控制的一般要求、第二章自动控制系统的数学模型、第三章时域分析法和附录拉普拉斯变换由雷曙光老师编写;第四章根轨迹法、第五章频率响应法、第六章非线性系统分析和第七章离散系统理论由张柳老师编写。课程的教学时数应根据该专业学制的不同而定,并已在相应的教学大纲中明确。

本书主要作为民航机务电子专业基础课程教材,亦可作民航机务人员基础执照培训自动控制部分教学选用。

本书在编写过程中,由机务工程系主任张建荣高级工程师和田巨老师提出许多宝贵意见,在此提出感谢。

由于水平有限,在编写过程中难免出现不当之处,希望广大读者不吝指正。

编 者

2001年5月

目 录

第一章 自动控制的一般概念	1
§ 1-1 引言	1
§ 1-2 自动控制系统的组成	2
§ 1-3 自控系统的基本类型	6
§ 1-4 自动控制系统示例	13
§ 1-5 控制系统的性能	18
习 题	24
第二章 自动控制系统的数学模型	28
§ 2-1 引言	28
§ 2-2 系统的微分方程	31
§ 2-3 系统的传递函数	43
§ 2-4 系统的结构图	53
§ 2-5 信号流图	69
§ 2-6 自动控制系统的传递函数	77
§ 2-7 典型环节的传递函数	80
习 题	83
第三章 时域分析法	89
§ 3-1 典型控制过程及性能指标	89
§ 3-2 一阶系统分析	92
§ 3-3 二阶系统分析	97
§ 3-4 高阶系统分析	114
§ 3-5 稳定性与稳定判据	118
§ 3-6 稳态误差分析	127
习 题	138
第四章 根轨迹法	145
§ 4-1 根轨迹方程	145
§ 4-2 绘制根轨迹的基本法则	150
§ 4-3 广义根轨迹	162
§ 4-4 用根轨迹分析系统性能	168

第五章 频率响应法.....	174
§ 5—1 频率特性的基本概念.....	174
§ 5—2 频率特性的表示方法.....	176
§ 5—3 典型环节的频率特性.....	177
§ 5—4 系统开环频率特性绘制.....	185
§ 5—5 用频率法分析系统的稳定性.....	190
§ 5—6 用频率法分析系统的稳态性能.....	197
§ 5—7 用开环频率特性分析系统的动态性能.....	199
§ 5—8 用闭环频率特性分析系统性能.....	203
习 题.....	206
第六章 离散系统理论.....	209
§ 6—1 离散控制系统的基本概念.....	209
§ 6—2 信号采样和保持的数字描述.....	215
§ 6—3 Z变换理论.....	222
§ 6—4 离散系统的数学模型.....	232
§ 6—5 离散系统的稳定性与稳态误差.....	247
第七章 非线性系统分析.....	252
§ 7—1 控制系统中的典型非线性特性.....	252
§ 7—2 描述函数法.....	255
§ 7—3 用描述函数法分析非线性系统.....	265
§ 7—4 改善非线性系统性能的方法.....	276
附 录.....	282
附录 A 拉普拉氏变换.....	282
习 题.....	295

第一章 自动控制的一般概念

§ 1-1 引言

一、自动控制及其作用

自动控制在人类社会的发展中起着及其重要的作用。今天,随着控制论的发展和完善、计算机水平的不断提高,自动控制技术在现代生活诸如工农业生产、交通运输、国防和宇航等各个领域得到了广泛地应用。同时,自动控制的概念及其分析方法也正在向其它领域不断渗透;政治、经济领域中的各种体系,人体的各种功能,自然界中的各种生物系统都可以认为是一种自动控制系统,运用自动控制理论对其中的问题加以研究和解决,人类对它们的控制能力也在逐步得到提高。

所谓自动控制,是指在没有人直接参与的情况下,利用控制装置对被控制对象进行控制,使被控制对象(机器、设备或生产过程)的某一物理量(物理参数)自动地按照预定的规律运行(或变化)。

例如,人们利用自动控制使发电机在正常供电时输出电压保持恒定;烘烤炉炉温的控制;数控车床按预定程序自动地切削工件;跟踪雷达和指挥仪组成的防空系统使火炮自动地瞄准目标;无人驾驶飞机按预定航迹自动飞行等等,都是应用自动控制技术的结果。

自动控制技术的大量采用,使人们在提高产品质量、降低生产成本、提高劳动生产率、实现企业自动化的同时,把人们从繁重的体力劳动和单调重复的脑力劳动中解放出来,而计算机技术在自动控制领域的应用,为自动控制技术的发展提供了更加美妙的前景。

二、自动控制理论

自动控制理论是研究自动控制规律的一门科学,它的发展可以追溯到我国古代时期。早在两千年以前,我国劳动人民就已发明了指南车;宋代研制的水运仪象台,这些都是应用了自动控制的典型例子。而在 1788 年由瓦特发明的蒸汽机飞球调速器则是自动控制系统在工业上最初的应用。

自动控制理论最初的发展是以反馈理论为基础的自动调节原理。1868 年,马克斯威尔发表了有关反馈控制理论的第一篇论文《论调节器》,紧接着,赫尔维茨、劳斯和李雅普诺夫提出了几个重要的稳定性判据,对自动控制理论做出了重要的贡献。

从本世纪三、四十年代开始,由于生产上单机自动化的需要,以解决反馈系统的稳定性和工作特性的分析与设计问题为主,发展形成了经典控制理论。1932 年,奈奎斯特

提出了根据频率响应法得出的稳定判据，随之，波特、霍尔等人对频率响应法的日趋完善相继做了大量的研究工作。第二次世界大战促使控制理论得到蓬勃发展。截止到 1948 年——根轨迹法理论的提出，使自动控制技术形成了一套比较完整的经典控制理论体系。

经典控制理论主要以单输入——单输出的线性定常系统作为研究对象，数学模型采用以拉氏变换为基础建立起来的传递函数，其主要方法包括时域响应法、频率特性法和根轨迹法。经典控制理论比较直观，物理概念比较强，发展比较成熟完整，因此在工程实践中得到了广泛的应用，直到现在，它仍然是工程设计的重要方法和控制理论发展的基础。

五十年代末、六十年代出，伴随着空间技术的发展和日益复杂的工业控制，现代控制理论在经典控制理论的基础上发展起来。

现代控制理论以多输入——多输出的非线性及时变（非定常）系统作为研究对象，基于状态空间法、贝尔曼动态规划法和卡尔曼滤波技术等方法实现最优控制、最优滤波和自适应控制的理论和方法，克服了经典控制理论的很多局限性，为控制技术的发展开辟了更加宽广的道路。

目前，计算机技术的突飞猛进，计算机控制广泛应用，不断为自动控制理论的进一步发展开拓着更加美妙的前景。

§ 1-2 自动控制系统的组成

一、自动控制系统的组成

自动控制系统是指能够自动地对被控制对象的某一物理量（或工作状态）进行控制的系统。一般来说，自动控制系统由控制装置和被控制对象组成。控制装置（亦称为控制器）是指对被控制对象起控制作用的机器和设备。被控制对象（简称被控对象）是指需要实现自动控制的机器、设备和仪表。例如利用自动驾驶仪对飞机进行控制，使飞机安全的飞往目的地，则自动驾驶仪是对飞机进行自动控制的控制装置，飞机则是被控制对象。

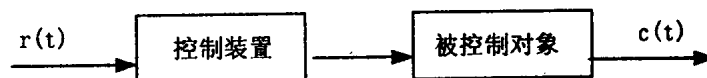


图 1-1 基本控制系统

自动控制系统可以用图 1-1 的简单方块图来表示。一般的，外界对系统的作用称为系统的输入量（以时间函数 $r(t)$ 表示），而系统的输出量 $c(t)$ 是由输入量 $r(t)$ 通过自

控系统各元件来控制,并产生相应的变化。所以输入量 $r(t)$ 又称为给定值,输出量 $c(t)$ 又称为被控量。例如,汽车方向盘的角位置控制其前轮的方向,方向盘的位置是输入量(给定值) $r(t)$,前轮的方向是输出量(被控量) $c(t)$ 。

由此来看,自动控制的任务是在给定值的作用下,通过控制装置对被控对象的控制,来使输出量 $c(t)$ 反应给定值 $r(t)$ 的变化。

二、自动控制系统的基本信号和基本元件

通过前面的论述,使我们认识到,自动控制系统应该是控制装置和被控制装置的总体。

在现实生活中,有很多关于自动控制系统的例子。简单的来说,人本身其实就是一个具有高度复杂的控制系统,在大脑与身体其它肌体和器官的配合下,人可以完成很多复杂的动作,例如,人可以用手准确地去拿放在桌上的书、笔等物。当人去拿书时,大脑送出一个信号令手执行任务,这时,眼睛连续观测手的位置,并将这个信息送入大脑。然后,由大脑判断手对于书的偏差,并根据其大小发出命令控制手臂的移动,使偏差减小。只要这个偏差存在,上述过程就要反复进行。一旦手拿到书,偏差减小为零,人便完成了用手拿书的控制过程。在这个控制过程中,手是被控对象,被控量是手的位置,通过眼睛、大脑和手臂的作用,最终使手的位置和书的位置相一致。这个控制过程可以用图 1—2 所示的方块图表示。

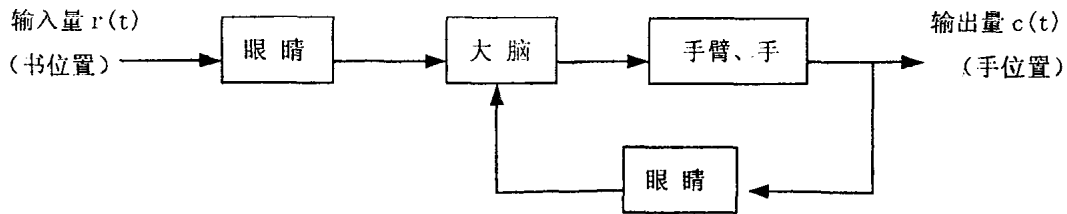


图 1—2 人作为自控系统的方块图

从这个方块图可以看出,眼睛在不断的观测手的位置并反应到大脑来进行判断,手与大脑之间形成了从输出到输入的反向联系,这种联系称为反馈,而大脑根据反馈的信号与输入的信号的偏差来控制手臂的移动,并使偏差继续减小直至全部消除,这种控制方式称为负反馈控制,由于它也是利用偏差进行控制的,所以又称为按偏差的控制。

为了实现对被控制对象的控制,自动控制系统中必须配置具有人的眼睛、大脑和手臂功能的装置,在自动控制系统中,这些装置分别被称为测量元件、比较元件和执行元件,统称为控制装置(控制器),用来对被控量进行测量和反馈。

除了上述所介绍的几个基本元件之外,自动控制系统还包括其它诸如给定元件、校正元件、放大元件等基本元件。

自动控制系统的基本结构可以用图 1—3 所示的方块图表示其组成元件和各元件之间信号的传递关系。

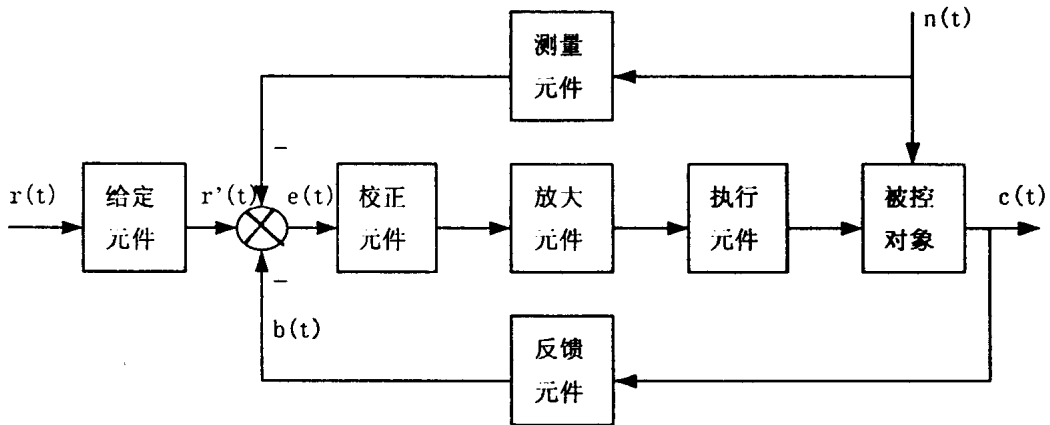


图 1—3 自动控制系统的基本结构

从图 1—3 可以看出，自动控制系统中的基本信号包含有：输入量 $r(t)$ 、参考输入量 $r'(t)$ 、反馈量 $b(t)$ 、被控量 $c(t)$ 、偏差量 $e(t)$ 、干扰量 $n(t)$ 和中间变量。

输入量 $r(t)$ 也称为给定值或指令信号，它是一个加给自控系统的外部控制信号，使该系统产生特定的输出。一般的控制系统都是由输入量 $r(t)$ 产生控制作用以控制被控量 $c(t)$ 的变化。例如图 1—2 所示的例子中，该系统的输入量应是书位置。

参考输入量 $r'(t)$ 输入量 $r(t)$ 经过给定元件转换所得的信号，它是输入到系统环路的外部信号，并与反馈量 $b(t)$ 进行比较产生偏差量 $e(t)$ ，参考输入量 $r'(t)$ 必须与反馈量 $b(t)$ 具有相同的量纲。

反馈量 $b(t)$ 由反馈通路中的反馈元件所测得的系统的输出量或经过变换以后的物理量。

被控量 $c(t)$ 被控对象的输出量，即系统的输出，是一个表征被控对象工作状态的物理量。例如在随动系统中，要求被控量等于输入信号或者按照一定规律变化的物理量。

偏差量 $e(t)$ 在不考虑系统干扰量 $n(t)$ 的情况下，由图 1—3 可以看出： $e(t) = r'(t) - b(t)$ ，它是参考输入量 $r'(t)$ 与反馈量 $b(t)$ 在比较元件中形成的偏差值，是在自控系统中真正起控制作用的信号；它经过控制装置产生控制作用来控制被控量 $c(t)$ 的变化。

干扰量 $n(t)$ 在自动控制系统中，除了输入量 $r(t)$ 外，我们把凡是能够引起被控量 $c(t)$ 变化的其它有害输入量统称为干扰量。干扰量 $n(t)$ 是自控系统不希望的外作用，它总是会影响输入量对被控量的控制，因此在自控系统中，我们总是力求减小干扰量对系统输出的影响。如电源电压的波动、环境温度、压力的变化、飞行中气流的扰动以及负载的变化等，都是现实中存在的干扰量。我们通常所说的系统输入量，一般是指有用的输入信号，即给定值 $r(t)$ 。

中间变量 在自控系统中，各元件之间的输出量被称为中间变量。

一般来说，一个完整的自控系统是由以下基本元件（或基本装置）组成。

给定元件 在自控系统中，将给定值（系统的输入量） $r(t)$ 转换为与反馈量 $b(t)$ 进行比较的参考输入量 $r'(t)$ 的装置称为给定元件。

比较元件 对系统的反馈量 $b(t)$ 与参考输入量 $r'(t)$ 进行加减运算，得到偏差信号 $e(t)$ 的装置，起着对信号进行综合的作用。这个作用往往是由比较电路或由反馈元件兼而完成的，这时这些装置统称为误差检测器。

反馈元件 检测系统的输出量 $c(t)$ 并将其转换为反馈量 $b(t)$ 的元件。

校正元件 是自控系统的附加元件。作为校正元件，其参数或结构应该便于调整，来改善系统的某些控制性能。

放大元件 将偏差信号 $e(t)$ 和其它微弱的小信号进行放大的装置。

执行元件 根据系统放大后的偏差信号，对被控对象进行控制，使被控量 $c(t)$ 与系统希望的输出趋于一致的元件。

被控对象 指需要对它的某个特定的物理量（系统的输出量，即被控量 $c(t)$ ）进行控制的设备或过程。被控对象是控制系统的核心部分，它的特性对控制系统的性能具有重要的影响。

测量元件 在系统中起着感受或测量干扰量 $n(t)$ 的作用，并把它转换为参与比较的信号的装置，如飞机上的很多传感器和测量仪表都可视为测量元件。

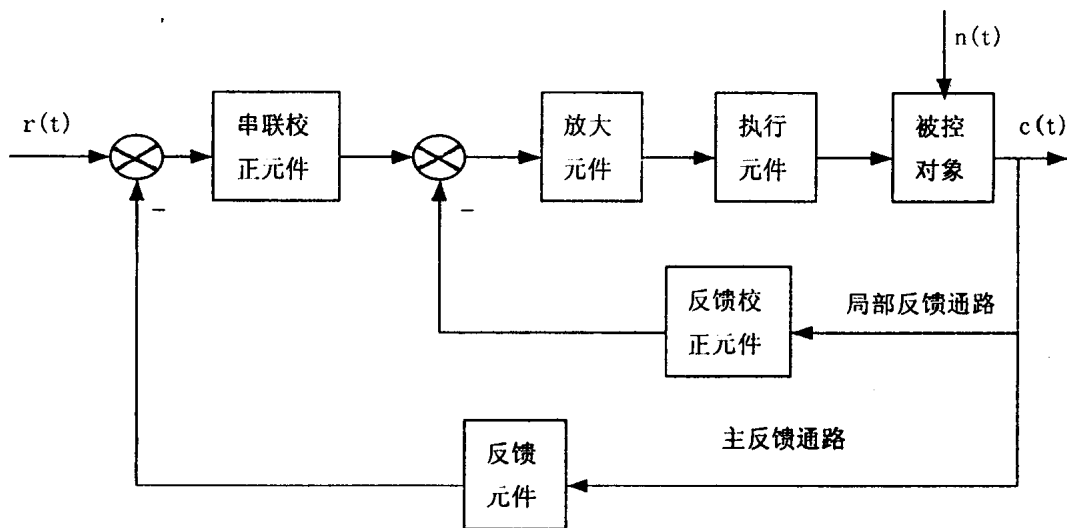


图 1-4 自动控制系统方块图

由图 1—3 可以看出，自控系统的信号总是沿着箭头指示的方向进行传输，我们把信号从输入端沿箭头方向到达输出端的传输通路称为前向通路；系统输出量经由反馈元件反馈到系统输入端的传输通路称为主反馈通路，前向通路与主反馈通路一起，构成主反馈回路。

综合来看，除被控对象外，上述元件都是为实现自动控制而起作用，故如前面提出

过的，它们共同被称为控制装置，因此，自动控制系统由控制装置和被控对象两大部分组成。

当然，一个具体的控制系统，并不一定都要具备上述所有的组成部分，具体的物理元件有时也可能起到几个元件的作用，例如比较元件、放大元件、校正元件可能只是一个物理元件。如图 1-4 所示的自控系统基本结构，与图 1-3 所示的系统相比较，具有一个由反馈校正元件组成的局部反馈通路，与前向通路一起组成局部反馈回路，因此该系统是一个多环系统，但同时又缺少如图 1-3 系统中的给定元件、测量元件。

判断一个反馈是不是主反馈，主要看它是否满足下面两个条件：（1）系统的输出量经反馈通路加到系统的输入端；（2）该反馈信号与系统输入（或参考输入）具有相同的量纲。凡是满足以上两个条件的是主反馈回路，否则均为局部反馈回路。

主反馈回路和局部反馈回路在系统中，各自起着不同的作用：在主反馈回路中，主反馈信号与系统的输入（或参考输入）形成偏差，然后经控制器对被控制对象实施控制；而局部反馈回路作用是为改善系统的动态特性而设立。

§ 1-3 自控系统的基本类型

自动控制系统的分类方法有很多种。按照系统输入信号的形式，可分为恒值控制系统、程序控制系统和随动系统；按系统内信号传输的形式，可分为连续系统和离散系统（数字系统或计算机系统）；按系统组成元件的输入输出特性来分类，可分为线形系统和非线性系统或定常系统或时变系统；按照系统控制的基本方式或有无反馈存在可分为开环控制系统、闭环控制系统和复合控制系统。一般的，为了全面反映自动控制系统的特特点，上述各种分类方法常常组合应用。

一、按照系统输入信号的形式分类

1、恒值控制系统 系统的输入量保持不变的自控系统。系统的控制目的在于尽可能的克服干扰量的影响，使系统的输出量（被控量）为一个恒定值。有时恒值控制系统又称为调节系统。例如各种恒速、恒压、恒温系统。

2、程序控制系统 系统的输入量按照事先编好的程序或随时间按一定的规律变化的系统，输出量也随之产生相应的变化。这类系统叫作程序控制系统。例如飞机自动着陆系统、热处理炉的温度控制系统和一些过程控制系统。

3、随动控制系统 输入量是预先未知的、随时间任意变化的系统称为随动系统。系统的控制作用在于能使系统的输出量（被控量）以尽可能小的偏差相应输入量的变化而变化。随动控制系统常常用在位置（或速度或加速度）自动跟踪的控制系统中，因此，有时也称为伺服机构或伺服系统。例如飞机上的制导系统、雷达天线系统、位置（或速度或加速度）自动跟踪的控制系统等等。

二、按系统内信号传输的形式分类

1、连续控制系统 如果通过系统各处的信号均为时间的连续函数，则这种系统称为连续控制系统。连续控制系统的参数是分布参数时，要使用偏微分方程来描述；当其可简化为集中参数时，就可用常微分方程（简称微分方程）来描述。

2、离散控制系统 如果通过系统的信号只要有一处是脉冲序列或数字信号，则这种系统称为离散控制系统或数字控制系统。它可用差分方程来描述。

三、按系统组成元件的输入输出特性分类

1、线性系统 系统中各组成元件的输入输出特性都是线性的，因而系统可以用线性方程（即一次方程）来描述时，这种系统称为线性系统。如果线性方程中的系数都是常数，则由该方程所描述的系统称为线性定常系统。如果线性方程的系数中只要有一个是时间（自变量）的函数，则由该方程所描述的系统称为线性时变系统。

线性系统的基本特点就是具有线性性质，即

(1) 齐次性 当系统的输入变化多少倍时，系统的输出也相应变化多少倍。

(2) 叠加性 当有几个输入同时但不一定在同一处作用与系统时，系统的总输出等于各个输入单独作用时的输出之和。

设有线性微分方程式为

$$\ddot{c}(t) + \dot{c}(t) + c(t) = f(t)$$

若 $f(t)=f_1(t)$ 时，方程式的解为 $c_1(t)$ ，而 $f(t)=f_2(t)$ 时，方程式的解为 $c_2(t)$ ，即有

$$\ddot{c}_1(t) + \dot{c}_1(t) + c_1(t) = f_1(t)$$

$$\ddot{c}_2(t) + \dot{c}_2(t) + c_2(t) = f_2(t)$$

则当 $f(t)=f_1(t)+f_2(t)$ 时，可验证得出，原方程式的解为 $c(t)=c_1(t)+c_2(t)$ ，这就是叠加性。而当 $f(t)=af_1(t)$ 时，其中 a 为常数，则方程式的解为 $c(t)=ac_1(t)$ ，这就是齐次性。

通常，将齐次性和叠加性合起来称为叠加原理。因此，又可以说，线性系统的基本特性就是满足叠加原理。

2、非线性系统 系统中只要有一个组成元件的输入输出特性是非线性，因而系统需要用非线性方程来描述时，这种系统称为非线性系统。

实际上，组成系统的各元件的输入输出特性，总是不同程度地存在着非线性关系。严格说来，实际系统都是非线性系统。

虽然含有非线性特性的系统可以用非线性微分方程来描述，由于它的求解是比较困难的，一般采用计算机来进行数值计算。但是有些非线性特性可以在一定工作范围内用线性模型近似，称为非线性系统的线性化。线性化的方法是多种的：例如对于具有饱和特性的放大器，在小信号输入时，输入输出特性可看作是线性的，视为线性元件来处理；

机械系统中，在有润滑剂的情况下，往往可以忽略很小的干摩擦，而只考虑与速度成比例的粘性摩擦，近似的当作一个线性系统来处理；至于在工程实践中采用小偏差法来进行非线性特性的线性化问题，我们将在 § 2-1 节中作简单的介绍。

图 1-5 列出了几种典型的非线性特性供读者参考。

四、按自动控制的基本方式分类

1、开环控制系统

所谓开环控制是控制装置与被控制对象之间只有顺向作用而没有反向联系的控制过程，因而，开环控制系统的输出量不影响系统的输入量，其特征是输出量和输入量之间缺乏一个环节，即反馈通路。方块图如图 1-6 所示。

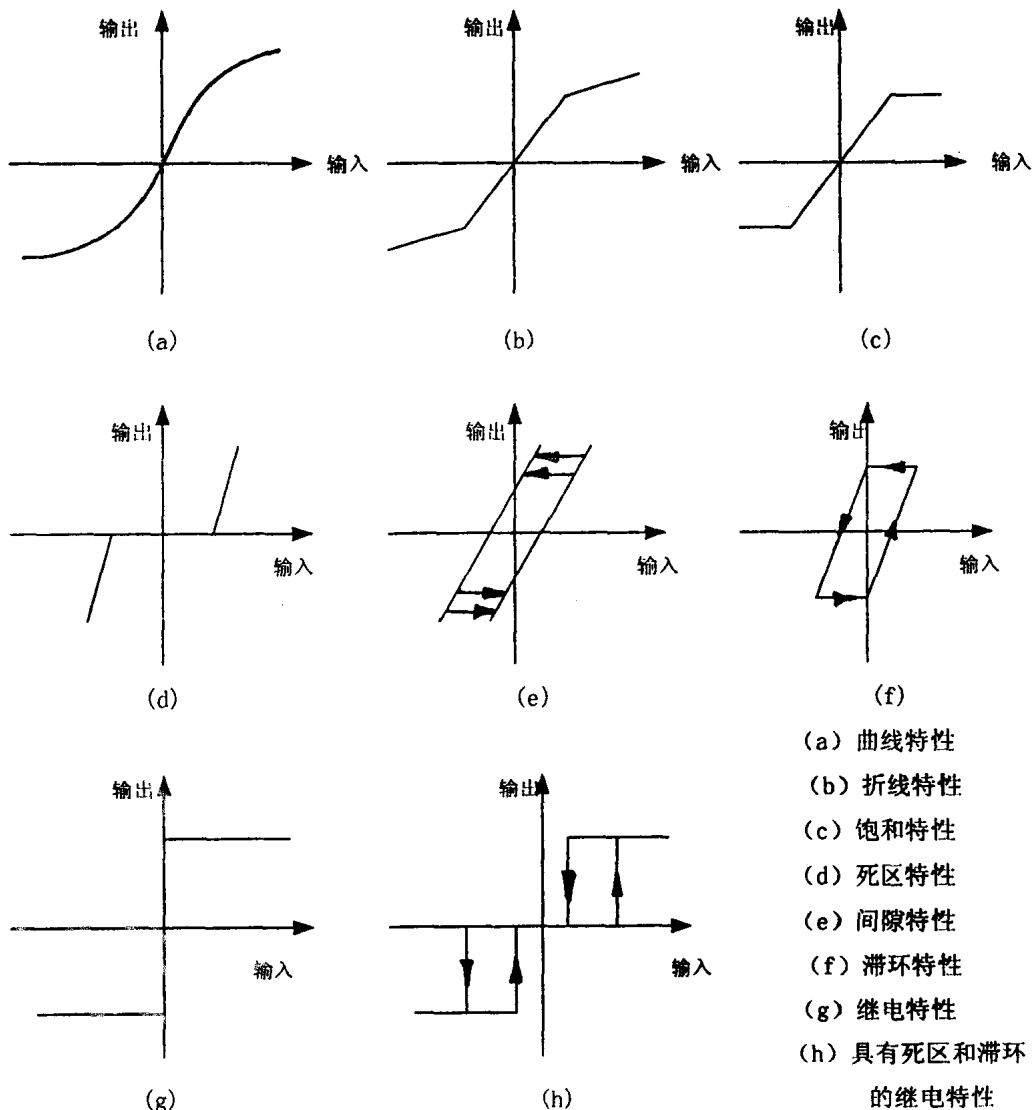


图 1-5 几种典型的非线性特性

图 1-7 所示的电加热炉就是一个开环控制系统，方块图如图 1-8 所示。炉子是被控对象，炉温是要求实现自动控制的物理量（即被控量 $c(t)$ ）。电阻丝的开关 K 受时间继电器控制，按照预先规定的时间（即输入信号）接通或断开电源 E ，对炉温进行控制，使其保持在希望值得一定范围内。开关 K 和电阻丝对被控量 $c(t)$ 起控制作用，故总称为控制装置。开关的接通或断开时间，一般是参照在正常情况下炉温可以达到希望值的正确数据来确定的。十分可能的是，当环境条件变化以后，实际炉温或许高于、或许低于所希望的值，出现偏差。而炉温偏离希望时时，开关的接通或断开时间不会相应改变，因此，这种开环控制系统不具有修正被控量与希望值之间偏差的能力。

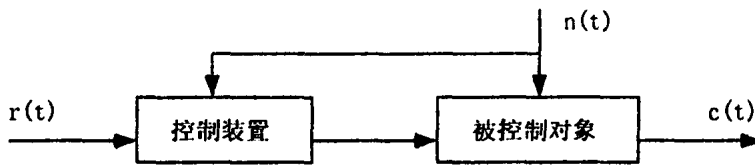


图 1—6 开环控制系统方块图

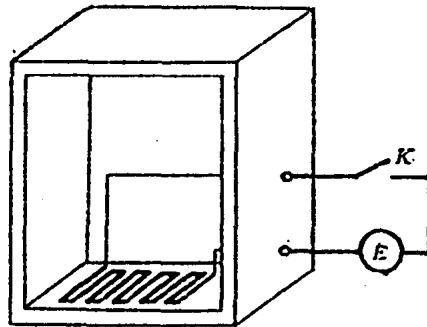


图 1—7 电加热炉

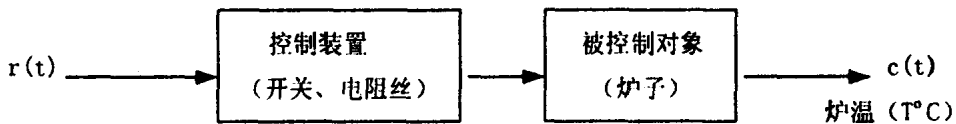


图 1—8 电加热炉方块图

因此，对于开环控制系统来说，系统的结构比较简单，但存在较大的缺陷。当被控对象和控制装置受到干扰，或工作过程中的系统的某些特性参数发生变化，都会直接影响被控量 $c(t)$ ，而无法进行自动补偿。因此，系统的控制精度难于得到保证。从另一种

意义上来说,这将意味着若要使自控系统达到很高的控制精度,则对被控对象和其控制装置本身的精度要求提高,系统的成本也会大大的提高。

其次,由图 1-6 可以看出,开环控制系统可以利用干扰信号产生控制作用,以补偿干扰对被控量的影响,此方法称为按干扰补偿。而干扰信号是经测量元件和执行元件至被控对象的,是单向传递的,因而也包含在开环控制的范围。

在进行按干扰补偿时,开环控制系统只能对一些可测量的干扰或者变化规律已知的干扰进行补偿。对于不可测量的干扰,开环控制系统本身是无法补偿的。由于开环控制的抗干扰能力差,它的使用范围具有一定的局限性。

开环控制系统只能使用在控制精度比较低的控制系统中,但由于开环控制结构简单、成本低、工作易稳定且容易实现,在现实生活中也得到了比较广泛的应用。例如自动洗衣机,因为清洁的时间完全由操作者的判断和估计来实现,而不管衣服清洁的程度如何,因而是一个开环系统。工厂中加工零件的数控车床以及交通指挥的红绿灯转换等等,一般也都采用了开环控制系统。

2、闭环控制系统

闭环控制是指控制装置与被控对象之间既有顺向作用,又有反向联系的控制过程。方块图如图 1-9 所示。

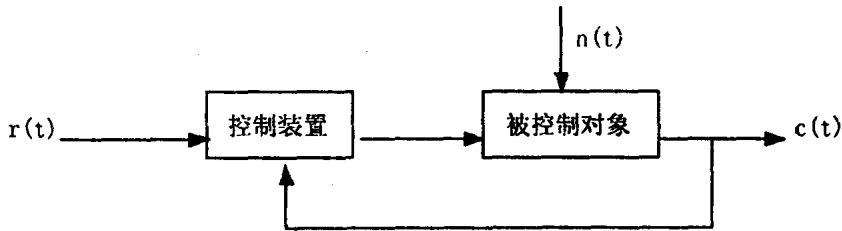


图 1—9 闭环控制系统方块图

在闭环控制系统中,控制信号往复循环,沿前向通路和反馈通路形成的回路进行传送,故闭环控制又称为反馈控制。反馈控制是自动控制系统中最基本的控制方式,在工程中得到了广泛的应用。图 1—2 所示的手拿书的动作实际上就是利用闭环控制的过程来完成的。

图 1—10 所示是一个可以自动修正炉温偏离的电加热炉。利用接触式水银温度计来控制电阻丝电源的通断,水银温度计的两个触点 a 和 b 接在常闭继电器的线圈电路中,他们随着水银柱的天年升降而接通或断开,从而控制继电器触点 K,以便切断或接通电阻丝电源 E_2 ,当炉温高于希望值时,则由于水银柱升高,触点 a 和 b 接通,使继电器启动触电 K 而切断电阻丝电源 E_2 ,停止加热;当炉温低于希望值时,则由于水银柱降低,触点 a 和 b 断开,触电 K 接通电阻丝电源 E_2 ,加热使炉温升高至希望的温度值。调整水银温度计触点的位置,可以改变炉温的希望值。

闭环控制的电加热炉可用图 1—11 所示方块图表示。图中,炉温(即被控量)由温

度计测量并与希望值进行比较,一旦出现偏差,即通过继电器和电阻丝对炉温进行控制,以消除偏差,保持恒温。在此,炉子是被控对象,控制装置是温度计、继电器和电阻丝组成。与开环控制的电加热炉相比,由于采用了接触式水银温度计,可以不断地对炉温进行测量和比较,从而根据炉温的实际偏离进行控制,提高了系统的抗干扰能力。

在闭环控制中,被控量一般是由反馈装置反馈到系统的输入端,然后由比较装置将它与输入量进行综合比较得到偏差来使控制装置对被控对象进行控制的,称为按偏差控制。因此,在自控系统中,闭环控制也称为反馈控制或按偏差控制。只有利用负反馈原理组成的闭环控制才能实现自动控制的任务,如电加热炉闭环控制系统中,负反馈能使炉温对于希望值的偏离逐渐减小,反之,如果是正反馈的话,将使炉温偏离越来越大,从而不能达到自动控制的目的。

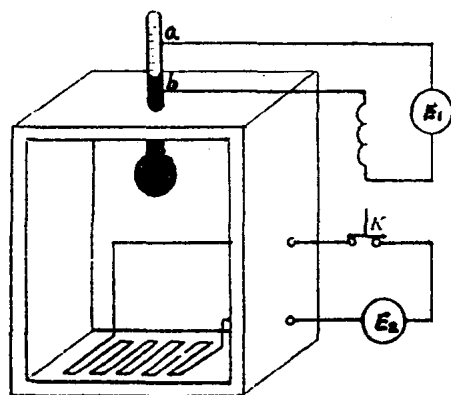


图 1—10 电加热炉闭环控制系统

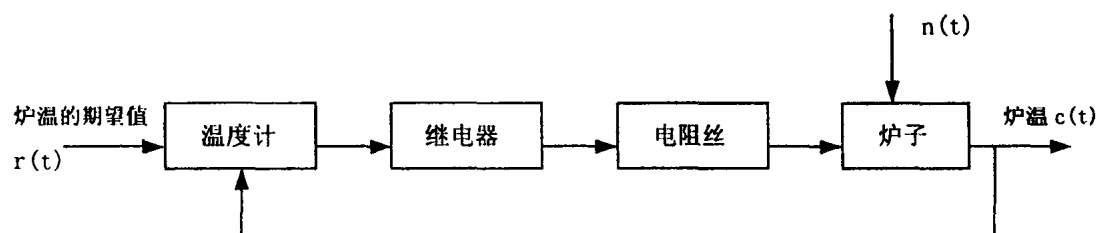


图 1—11 电加热炉系统方块图

因此,闭环控制控制的基本思想在于:当系统给定输入量后,和输出的反馈量在比较元件中得到偏差量,而偏差量通过控制装置起控制作用,力图减小偏差而使输出接近、等于或跟随输入,以实现自动控制的目的。

由于负反馈的存在，使闭环控制系统比开环控制系统有更高的稳态控制精度。不仅如此，负反馈还在减小系统参数变化和非线性对系统性能的影响，改进系统过渡过程的性能方面起着很大的作用。首先，系统利用偏差量来起控制作用，只要当实际输出由于扰动而偏离期望值时，闭环控制系统本身就可能有自行纠偏的能力，所以闭环控制可采用精度不太高、价格比较低的元件来构成精确的控制系统。其次，闭环控制能够抵消所有的干扰对系统的影响，对于干扰比较大且不能预知其变化规律或不可测的场合，闭环控制都有很好的补偿作用。

当然，也由于负反馈的存在，闭环控制系统的组成一般比较复杂，而且负反馈能够造成系统振荡的加强，甚至当系统的某些参数在调配不当时，由于反馈通路的影响，会出现输出发散的不稳定现象，使系统增加了复杂性。自动控制系统设计的重要课题之一，就是要解决闭环控制中的这个“振荡”或“发散”的问题。关于系统稳定性的问题，在后续的章节里，我们可以利用控制理论的知识对其进行分析和研究，并指出解决的途径。

如果要求实现复杂且精度较高的控制任务，可将开环控制和闭环控制方式适当结合起来，组成一个比较经济且性能较好的控制系统——复合控制系统。

3、复合控制系统

复合控制就是利用开环控制和闭环控制相结合的一种控制方式。实质上，它是在闭环控制回路的基础上，附加一个输入量或干扰量的顺馈通路，来提高系统的控制精度。顺馈通路通常由对输入量的补偿装置或对干扰量的补偿装置组成，分别称为按输入量补偿和按干扰量补偿的复合控制系统，如图 1-12 所示。

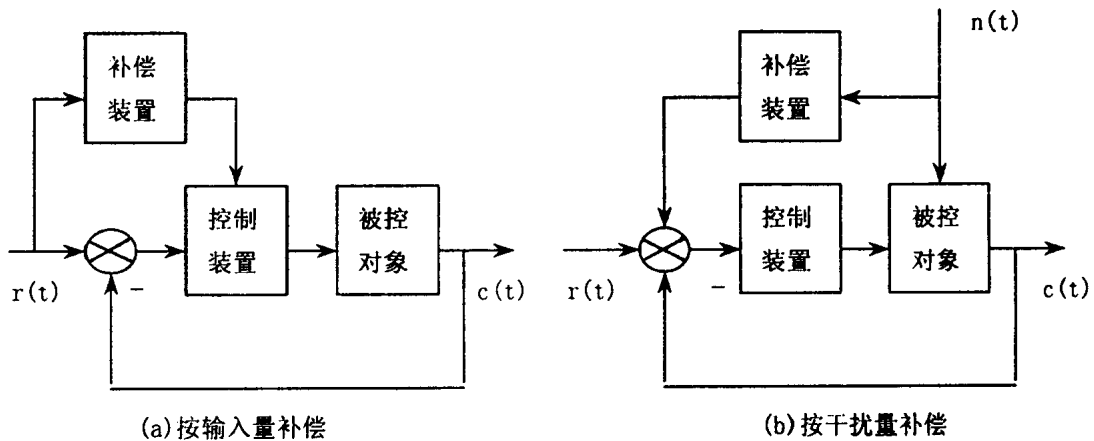


图 1-12 复合控制典型方块图

通常来说，按输入量补偿的补偿装置可提供一个系统输入量的微分作用，并作为顺馈控制信号，与原输入量一起对被控对象进行控制，以提高系统的跟踪精度。按干扰量补偿的补偿装置，能够在可测量的干扰对系统的不利影响产生之前，提供一个控制作用以抵消干扰对系统输出的影响。