

- ▶ 精品课程配套教材
- ▶ 21世纪应用型人才培
养“十三五”规划教材
- ▶ “双创”型人才培养优秀教材

控制 工程基础

KONGZHI
GONGCHENG JICHU



主编◇孙书蕾 李 红 倪元相

西北工业大学出版社

- ▶ 精品课程配套教材
- ▶ 21世纪应用型人才培养“十三五”规划教材
- ▶ “双创”型人才培养优秀教材

控制 工程基础

KONGZHI
GONGCHENG JICHU

主 编 孙书蕾 李 红 倪元相
副主编 陈兴燕 赵秀婷 徐广晨 权 悦
张 星 刘 毅 郑凯旋 李文艺
李 梅

西北工业大学出版社

【内容简介】本书是为了适应机械工程机械类专业机械工程控制基础这门课的教学需要而编写，本书除有传统的机械工程控制基础所有的：控制的基本概念；数学模型的建立和拉普拉斯变换；系统的时域分析；系统的频域分析；系统稳定性的基本概念和常用判据；系统的综合与校正；根轨迹方法。

本书可作为机械类相关专业采用，也可供相关工程技术人员作为参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

控制工程基础 / 孙书蕾, 李红, 倪元相主编. —西安: 西北工业大学出版社, 2018. 6
ISBN 978-7-5612-6080-7

I. ①控… II. ①孙… ②李… ③倪… 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 (2018) 第 150901 号

策划编辑: 付高明

责任编辑: 杨丽云

出版发行: 西北工业大学出版社

通信地址: 西安市友谊西路 127 号 邮编: 710072

电 话: (029) 88493844 88491757

网 址: www.nwpup.com

印刷者: 北京俊林印刷有限公司

开 本: 787mm×1 092mm

印 张: 16

字 数: 380 千字

版 次: 2018 年 6 月第 1 版

2018 年 6 月第 1 次印刷

定 价: 38.00 元

前 言

因为学生学习课程种类和数量的增加, 机械工程控制基础的学时不断压缩, 比如很多学校不再开设复变函数课程, 这样造成学生学习这门课感到很吃力。本书考虑到上述情况, 尽量把控制理论所涉及的复变函数和常微分方程的知识讲清楚。

本书的特色和价值:

(1) 尽量把数学基础概念讲清楚, 很多教材往往把高深的数学知识删掉, 以为可以让学生接受, 实质是学生反而不知其所以然, 故本书尽量把复变函数和常微分方程的知识讲清楚。

(2) 考虑的计算机控制的发展, 本书在传统的机械工程控制基础知识上, 增加了离散控制和状态变量分析法两章。

(3) 采用 MATLAB 语言作为辅助工具, 进行适当的仿真和辅助设计, 增强学习效果。

(4) 侧重在机械工程方面的应用, 满足应用型人才的教學要求。

本书共七章, 由孙书蕾、李红、倪元相担任主编, 赵秀婷、陈兴燕、徐广晨、权悦、张星、刘毅、郑凯旋、李文艺、李梅担任副主编, 编写分工如下: 第 2、4、6 章由孙书蕾、李红、徐广晨编写; 第 1、3、7 章由倪元相、陈兴燕、权悦、张星编写; 第 5 章由赵秀婷、刘毅、郑凯旋、李文艺、李梅编写; 全书由孙书蕾和赵秀婷统稿。

本书在编写过程中, 收到贵州理工学院机械工程学院重点课程(机械工程控制基础)和贵州省科学技术基金(黔科合基础[2016]1063号)的资助, 并得到很多教师的帮助, 在此一并表示感谢。

由于水平有限, 书中难免存在缺点和错误, 敬请广大读者批评指正。

编 者

2018 年 1 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 控制理论的发展历程	3
第三节 自动控制系统的分类及基本要求	5
第四节 反馈控制系统的基本组成	8
第五节 MATLAB 在控制系统中的应用	10
第六节 控制工程基础研究对象和课程的主要内容	11
第七节 自动控制的应用实例	12
习题	13
第二章 控制系统的数学模型	15
第一节 控制系统的运动方程式	15
第二节 非线性运动方程的线性化	21
第三节 拉普拉斯变换与反变换	24
第四节 传递函数	33
第五节 MATLAB 简介及基础	42
习题	56
第三章 系统的时域响应分析	58
第一节 时域响应概述	58
第二节 典型的输入信号和性能指标	60
第三节 一阶系统的时域响应	63
第四节 二阶系统的时域响应	66
第五节 欠阻尼系统的时域性能指标	74
第六节 高阶系统的时域响应	77
第七节 系统的稳态误差	78
第八节 应用 Matlab 进行时域分析	84
习题	90
第四章 系统的频率特性分析	92
第一节 系统对非周期信号的响应	95
第二节 频率特性	98
第三节 频率特性的极坐标图	101

第四节	奈奎斯特稳定判据及稳定裕度	113
第五节	频率特性的对数坐标图(Bode图)	128
第六节	用开环频率特性分析系统的性能	142
第七节	用闭环频率特性分析系统的性能	153
第八节	应用MATLAB进行频域分析	157
习题		164
第五章	控制系统的稳定性	169
第一节	稳定性的概念及系统稳定的条件	169
第二节	劳斯稳定判据	171
第三节	霍尔维茨稳定判据	174
第四节	奈奎斯特稳定判据	175
第五节	伯德稳定性判据	186
第六节	系统的相对稳定性	188
第七节	应用MATLAB进行系统稳定性分析	192
习题		194
第六章	系统的分析与校正	196
第一节	系统综合分析与校正概述	196
第二节	控制系统的串联校正	199
第三节	反馈和顺馈校正	209
第四节	PID校正	211
习题		215
第七章	根轨迹法分析系统	216
第一节	根轨迹的概念	216
第二节	绘制根轨迹的基本条件	217
第三节	绘制根轨迹的基本规则	221
第四节	广义根轨迹	232
第五节	线性系统的根轨迹分析法	237
第六节	应用Matlab绘制系统的根轨迹	240
习题		243
附录		245
附录1	Matlab 2017a 安装教程(win10 64-bit)	245
附录2	留数	248
参考文献		250

第一章 绪 论

随着科学技术的进步,自动控制技术和理论已发展成为现代社会不可缺少的重要组成部分。自动化技术几乎渗透到国民经济的各个领域及社会生活的各方面,是当代发展最迅速、应用最广泛、最引人注目的高科技,是推动新的技术革命和新的产业革命的关键技术。在某种程度上说,自动化是现代的同义词。自动控制技术的应用不仅使生产过程实现自动化,从而提高了劳动生产率和产品质量,降低生产成本,提高经济效益,改善劳动条件,使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,对人类征服自然、探索新能源、发展新技术具有十分重要的作用。

自动控制理论是研究有关自动控制系统组成、分析和设计的一般理论,是研究自动控制共同规律的技术科学。学习和研究自动控制理论是为了探索自动控制系统中变量的运动规律和改变这种运动规律的可能性和途径,为建立高性能的自动控制系统提供必要的理论依据。目前,工程技术人员和科学工作者,都比较重视控制理论的学习。

控制工程基础主要阐述自动控制技术的基础理论。机械工程控制基础是控制论与机械工程技术理论相结合的一门交叉学科,侧重介绍机械工程的控制原理,密切结合工程实际,是一门技术基础课。

第一节 概 述

所谓控制是指为达到某种目的,对某一对象所进行的操作。在日常生活中,控制无处不在,如温度控制、人口控制和压力控制等。在机械系统中,任何技术设备、机器和生产过程都必须按照预定的要求运行。例如,发电机要正常供电,就必须维持其输出电压恒定,尽量不受负荷变化和原动机转速波动的影响;数控机床要加工出高精度的零件,就必须保证其刀架的位置准确地跟随指令进给;热处理炉要提供合格的产品,就必须严格控制炉温等。其中发电机、机床、烘炉就是用于工作的机器设备;电压、刀架位置、炉温是表征这些机器设备工作状态的物理量;而额定电压、进给的指令、规定的炉温就是对以上物理量在运行过程中的要求。通常,把这些工作的机器设备称为被控对象或被控量,对于要实现控制的目标量,如电压、刀架位置、炉温等称为控制量,而把所希望的额定电压、电机的转速、规定的炉温等称为目标值或希望值(或参考输入)。因此,控制的基本任务可概括为使被控对象的控制量等于目标值。

系统,是由相互制约的各个部分组成的具有一定功能的整体。为了实现各种复杂的控制任务,首先要将被控对象和控制装置按照一定的方式连接起来,组成一个有机体。该有机体称为控制系统。控制系统分为人工控制和自动控制。控制任务由人来完成,称为人工控制。

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(称为控制装置或控制器)操纵被控对象,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。在控制系统中,主要采取自动控制技术。自动控制技术在现代科学技术的许多领域中起着越来越重要的作用。例如,人造卫星准确地进入预定轨道运行并顺利回收;钢铁冶炼炉的温度维持恒定;通信领域的程控交换机对电话进行自动转接和信息交换;火炮的自动瞄准系统将敌方目标自动锁定;汽车的无人驾驶系统等。这一切都是以高水平的自动控制技术为前提的。

以液位控制系统为例,进一步说明控制系统的相关概念以及人工控制与自动控制的差异。图 1-1 所示为液位人工控制系统。为了保证水箱水位达到目标水位,可通过人工调节水阀来控制水量,通过人眼观察水箱的实际水位,将实际水位与目标水位进行比较,得到偏差,根据偏差大小和方向再进行调节控制。被控对象是水箱,被控量是水位,控制器是水阀,目标水位是给定值。

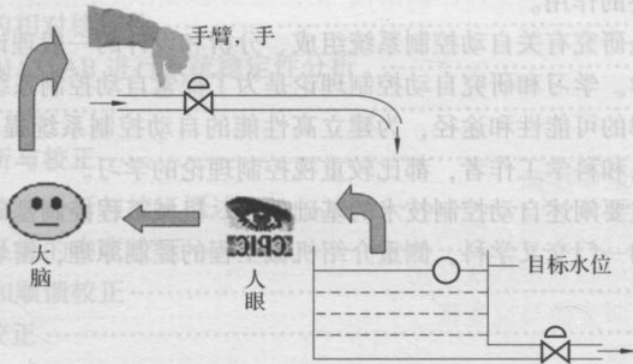


图 1-1 液位人工控制系统

图 1-2 所示为液位自动控制系统,常用于化工和制药行业中,控制任务是保持水箱内液位高度在目标水位的位置。被控对象为水箱,被控量是液位。当液位恰好在目标位置时,浮子(测量元件)的位置就是箱内液面的实际位置,它与电位器(比较元件)的滑动端相连。电位器的中点接地(零电位),滑动端正处于中点位置,电位器没有输出电压,电动机(执行元件)不转动,经入水阀(执行元件)流入的流量等于经出水阀流出的流量,液面高度保持不变。当水箱内的液面位置偏离目标水位时,浮子带动电位器的滑动端偏离中点,于是电位器就输出一个偏差电压,作用于电动机上,随着电动机的旋转,带动减速器调节入水阀门的开度,从而调节流入的液量,最终使液面高度回到目标值。此时浮子使电位器回到中点,偏差电压为零,电动机停止转动。其中出水阀的开度变化是导致水箱内液面高度变化的扰动因素。

综上所述,控制系统的工作原理可归纳如下:

- (1) 通过测量元件检测输出量的实际值。
- (2) 将输出量的实际值与给定值进行比较,得到偏差信号。
- (3) 用偏差产生控制调节作用消除偏差。

研究控制系统应首先解决以下四个问题: ①控制目的, ②受控对象, ③被控制量, ④输

出信号的检测。

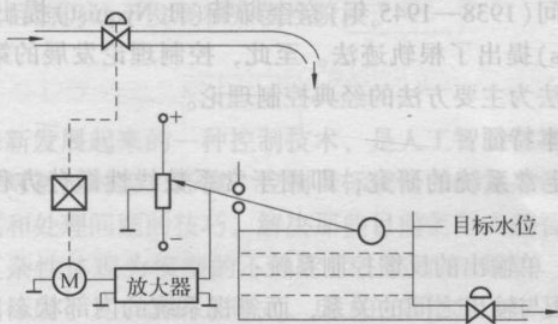


图 1-2 液位自动控制系统

显然，自动控制是以一般系统为对象，广泛地使用控制方法进行控制系统的理论设计；而机电控制系统就是应用自动控制工程学的研究成果，把机械作为控制对象，研究怎样通过采用一定的控制方法来适应对象特性变化，从而达到期望的性能指标。

第二节 控制理论的发展历程

自动控制理论是研究自动控制共同规律的技术科学，既是一门古老的、已成熟的学科，又是一门正在发展的、具有强大生命力的新兴学科。数控机床按照预定程序自动的对工件进行切削加工；化学反应中的温度或流量及压力自动的维持恒定；雷达和计算机组成的火炮或导弹的发射和制导系统，自动的将炮弹或导弹引导到敌方目标；轧钢机按照预定的轧制速度和板材厚度自动的变化轧辊速度和压下装置的位移；人造卫星准确地进入预先计算好的轨道和位置，自动地保持正确的姿态运行并准确回收。这些都是以高水平的自动控制技术为前提的。

从 1868 年马克斯威尔(J. C. Maxwell)提出低阶系统稳定性判据至今 100 多年里，自动控制理论可分为下述四个主要发展阶段：

第一阶段：经典控制理论(或古典控制理论)的产生、发展和成熟；

第二阶段：现代控制理论的兴起和发展；

第三阶段：大系统控制理论的兴起和发展阶段；

第四阶段：智能控制发展阶段。

1. 经典控制理论

控制理论的发展初期，是以反馈理论为基础的自动调节原理，主要用于工业控制。第二次世界大战期间，为了设计和制造飞机及船用自动驾驶仪、火炮定位系统、雷达跟踪系统等基于反馈原理的军用装备，进一步促进和完善了自动控制理论的发展。

1868 年，马克斯威尔(J. C. Maxwell)提出了低阶系统的稳定性代数判据。

1895 年，数学家劳斯(Routh)和赫尔威茨(Hurwitz)分别独立地提出了高阶系统的稳定性

判据,即 Routh 和 Hurwitz 判据。

第二次世界大战期间(1938—1945年)奈奎斯特(H. Nyquist)提出了频率响应理论 1948年,伊万斯(W. R. Evans)提出了根轨迹法。至此,控制理论发展的第一阶段基本完成,形成了以频率法和根轨迹法为主要方法的经典控制理论。

经典控制理论的基本特征:

- (1)主要用于线性定常系统的研究,即用于常系数线性微分方程描述的系统的分析与综合;
- (2)只用于单输入,单输出的反馈控制系统;
- (3)只讨论系统输入与输出之间的关系,而忽视系统的内部状态,是一种对系统的外部描述方法。

应该指出的是,反馈控制是一种最基本最重要的控制方式,引入反馈信号后,系统对来自内部和外部干扰的响应变得十分迟钝,从而提高了系统的抗干扰能力和控制精度。与此同时,反馈作用又带来了系统稳定性问题,正是这个曾一度困扰人们的系统稳定性问题激发了人们对反馈控制系统进行深入研究的热情,推动了自动控制理论的发展与完善。因此从某种意义上讲,古典控制理论是伴随着反馈控制技术的产生和发展而逐渐完善和成熟起来的。

2. 现代控制理论

由于经典控制理论只适用于单输入、单输出的线性定常系统,只注重系统的外部描述而忽视系统的内部状态。因而在实际应用中有很大局限性。

随着航天事业和计算机的发展,20世纪60年代初,在经典控制理论的基础上,以线性代数理论和状态空间分析法为基础的现代控制理论迅速发展起来。

1954年贝尔曼(R. Belman)提出动态规划理论。

1956年庞特里雅金(L. S. Pontryagin)提出极大值原理。

1960年卡尔曼(R. K. Kalman)提出多变量最优控制和最优滤波理论。

在数学工具、理论基础和研究方法上不仅能提供系统的外部信息(输出量和输入量),而且还能提供系统内部状态变量的信息。它无论对线性系统或非线性系统,定常系统或时变系统,单变量系统或多变量系统,都是一种有效的分析方法。

3. 大系统控制理论

20世纪70年代开始,现代控制理论继续向深度和广度发展,出现了一些新的控制方法和理论。如①现代频域方法,以传递函数矩阵为数学模型,研究线性定常多变量系统;②自适应控制理论和方法,以系统辨识和参数估计为基础,在实时辨识基础上在线确定最优控制规律;③鲁棒控制方法,在保证系统稳定性和其他性能基础上,设计不变的鲁棒控制器,以处理数学模型的不确定性。

随着控制理论应用范围的扩大,从个别小系统的控制,发展到若干个相互关联的子系统组成的大系统进行整体控制,从传统的工程控制领域推广到包括经济管理、生物工程、能源、运输、环境等大型系统以及社会科学领域。

大系统控制理论是过程控制与信息处理相结合的系统工程理论,具有规模庞大、结构复

杂、功能综合、目标多样、因素众多等特点。它是一个多输入、多输出、多干扰、多变量的系统。大系统控制理论目前仍处于发展和开创性阶段。

4. 智能控制

智能控制是近年来新发展起来的一种控制技术，是人工智能在控制上的应用。智能控制的概念和原理主要是针对被控对象、环境、控制目标或任务的复杂性提出来的，它的指导思想是依据人的思维方式和处理问题的技巧，解决那些目前需要人的智能才能解决的复杂的控制问题。被控对象的复杂性体现为模型的不确定性、高度非线性、分布式的传感器和执行器、动态突变、多时间标度、复杂的信息模式、庞大的数据量，以及严格的特性指标等。智能控制是驱动智能机器自主地实现其目标的过程，对自主机器人的控制就是典型的例子而环境的复杂性则表现为变化的不确定性和难以辨识。

智能控制是从“仿人”的概念出发的。一般认为，其方法包括学习控制、模糊控制、神经网络控制、和专家控制等方法。

第三节 自动控制系统的分类及基本要求

一、自动控制系统的分类

由于控制技术的广泛应用以及控制理论自身的发展，使得控制系统具有各种各样的形式，从不同的角度出发，分类的方式也不相同。

1. 开环控制系统和闭环控制系统

(1) 开环控制系统。概念：如果控制系统的输出量对系统没有控制作用，这种系统称为开环控制系统(见图 1-3)。即控制器与被控对象间只有顺序作用而无反向联系且控制单方向进行。

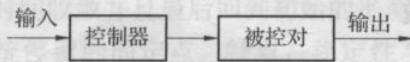


图 1-3 开环控制系统

优点：简单、稳定、可靠。若组成系统的元件特性和参数值比较稳定，且外界干扰较小，开环控制能够保持一定的精度。

缺点：精度通常较低、无自动纠偏能力。

(2) 闭环控制。闭环控制系统(见图 1-4)特点：输出端和输入端之间存在反馈回路，输出量对控制过程有直接影响。

闭环的作用：应用反馈，减少偏差。

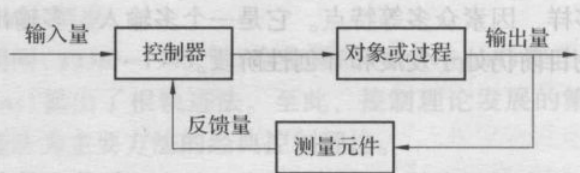


图 1-4 闭环控制系统

优点：精度较高，对外部扰动和系统参数变化不敏感。

缺点：存在稳定、振荡、超调等问题，系统性能分析和设计麻烦。

(3)半闭环控制。特点：反馈信号通过系统内部的中间信号获得。

2. 按输入量的特征分类

(1)恒值控制系统。系统输入量为恒定值。控制任务是保证在任何扰动作用下系统的输出量为恒值。如恒温箱控制、电网电压、频率控制等。

在工业控制中，若被控量是温度、压力、流量、液位等生产过程参量时，这种控制系统称为过程控制系统，它们多数属于恒值控制系统。

(2)程序控制系统。输入量的变化规律预先确知，输入装置根据输入的变化规律，发出控制指令，使被控对象按照指令程序的要求而运动。如数控加工系统。

(3)随动系统(伺服系统)。输入量的变化规律不能预先确知，其控制要求是输出量迅速、平稳地跟随输入量的变化，并能排除各种干扰因素的影响，准确地复现输入信号的变化规律。如仿形加工系统、火炮自动瞄准系统等。

3. 按系统中传递信号的性质分类

(1)连续控制系统。系统中各部分传递的信号为随时间连续变化的信号。连续控制系统通常采用微分方程描述。

(2)离散(数字)控制系统。系统中某一处或多处的信号为脉冲序列或数字量传递的系统。离散控制系统通常采用差分方程描述。

4. 线性系统和非线性系统

(1)线性控制系统。组成系统的元器件的特性均为线性(或基本线性)，可用线性常微分方程描述其输入与输出关系的系统，即

$$a_0 \frac{d^n}{dt^n} y(t) + a_1 \frac{d^{n-1}}{dt^{n-1}} y(t) + \dots + a_n y(t) = b_0 \frac{d^m}{dt^m} u(t) + b_1 \frac{d^{m-1}}{dt^{m-1}} u(t) + \dots + b_m u(t)$$

当系数 $(a_0, \dots, a_n; b_0, \dots, b_m)$ 都是常数时，称为定常或时不变或自治系统；当系数 $(a_0, \dots, a_n; b_0, \dots, b_m)$ 至少有一个是随时间变化时，称为时变或非自治系统。线性系统(见图 1-5)的主要特点是具有齐次性和叠加性。

即有若输入 u_1 时，输出为 y_1 ，输入 u_2 时，输出为 y_2 ，则输入为 $a_1 u_1 + a_2 u_2$ 时，输出为 $a_1 y_1 + a_2 y_2$ 。

(2)非线性系统。系统中只要有一个元部件的输入-输出特性是非线性的系统,用非线性微分(或差分)方程描述其特性,如图1-6所示,输入输出呈非线性。

非线性方程的特点是系数与变量有关,或方程中含有变量及其导数的高次幂或乘积项。即

$$y(t)+y(t) \cdot y(t)+y(t)+y^2(t)=u(t)$$

严格地说,实际物理系统中都含有程度不同的非线性元部件,但只要非线性不严重,能用线性系统理论和方法对待的系统均可称为线性系统。

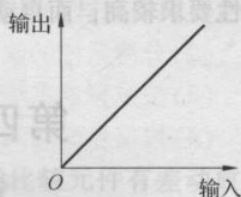


图 1-5 线性系统

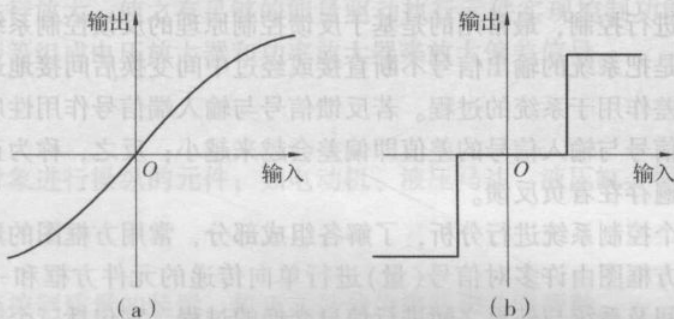


图 1-6 非线性系统

二、系统的状态行为

系统的状态行为是指输出量受输入量的影响在时间方向上表现出来的不同状态。

具体的讲是指当扰动量或给定量的变化规律发生变化时,输出量偏离输入量,其产生的偏差经反馈作用,使系统经历一个短暂的过渡过程,又将趋于原来给定量或按照新的给定值稳定下来,即系统经历了由原来平衡状态过渡到新的平衡状态的过程,这里,把控制量(输出)处于相对稳定的状态称为静态或稳定,而把控制量处于变化状态的过程称为动态、暂态、瞬态。

稳定性是指系统在没有外加信号激励条件下,能否最终停留在一个固定的位置上。输出量偏离平衡状态后应该随着时间收敛并且最后回到初始的平衡状态。稳定性的要求是系统工作的首要条件。平衡点:系统停留的固定点。特点:稳定性与外加输入无关,由系统结构决定。

快速性是指当系统输出量与给定的输入量之间产生偏差时,消除这种偏差的快速程度。一般用过渡过程的时间来描述,它是反映暂态响应的一个指标。过渡过程:系统从开始运动到回到平衡点稳定下来的过程,也叫动态过程、暂态响应。

准确性是指在系统稳定后被控制量与期望值接近程度的描述,或称为静态精度。它是反映系统稳态响应的一个性能指标。同一系统稳、准、快是相互制约的。由于受控对象的具体情况不同,各种系统对它们的侧重也不同。例如随动系统对快速性要求较高,而自动调整系统对稳定性提出较严格的要求。

由于受控对象的具体情况不同,因此各种系统对它们的侧重也不同。例如随动系统对快

速性要求较高，而自动调整系统对稳定性提出较严格的要求。

第四节 反馈控制系统的基本组成

自动控制系统主要由控制装置和被控对象两部分组成。被控对象的输出量也即被控量是被严格控制的物理量，如速度、压力、液位、温度等一般被要求保持为某一固定值；当然也有要求按一定规律变化的情况，如飞行轨迹、记录曲线等。控制装置通过各种控制原理和控制方式对被控对象进行控制，最常用的是基于反馈控制原理的反馈控制系统。

所谓反馈，就是把系统的输出信号不断直接或经过中间变换后间接地返回到输入端，与输入端比较形成偏差作用于系统的过程。若反馈信号与输入端信号作用性质相反称之为负反馈，负反馈的反馈信号与输入信号的差值即偏差会越来越小；反之，称为正反馈。在日常生活及工程实践中普遍存在着负反馈。

为了便于对一个控制系统进行分析，了解各组成部分，常用方框图的形式说明控制系统的工作原理。系统方框图由许多对信号(量)进行单向传递的元件方框和一些连线组成，表征了系统各元件之间及系统与外界之间进行信息交换的过程。它包括三个基本的单元，元件方框、相加点、分支点。其中元件方框中写入元、部件的名称，进入箭头表示其输入信号；引出箭头表示其输出信号。比较点(相加点)表示两个或两个以上的信号进行相加或相减运算。“+”表示信号相加；“-”表示信号相减。引出点(分支点)表示信号的引出或信号的分支，箭头表示信号的传递方向，线上标记信号的名称。图 1-7 所示为反馈控制系统的基本组成。

1. 给定环节

所谓给定环节是用于给出输入信号的环节，以确定被控对象的目标值，控制输出量变化规律。给定环节发出的信号可以是电量、非电量、数字量、模拟量等各种形式的信号。

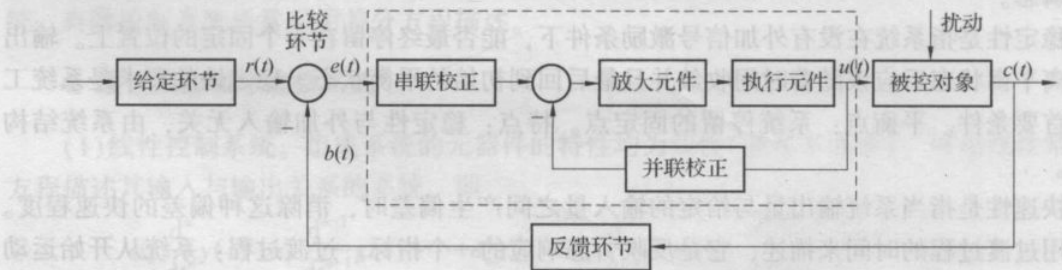


图 1-7 反馈控制系统的基本组成

2. 反馈元件

测量被控制量(输出量)，产生反馈信号。为便于传输，反馈信号通常为电信号，这样就不可避免的应用到各类传感器。在机械、液压、气动、机电等系统中存在着内在反馈，这

种反馈无须专门的反馈元件，是系统内部各参数相互作用产生的，如作用力与反作用力之间形成的直接反馈。

3. 比较元件

对给定信号和反馈信号进行比较，产生偏差信号的环节。常用的比较元件有差动放大器、机械差动装置、电桥电路等。

4. 放大元件

对偏差信号进行放大，使之有足够的能量驱动执行元件实现控制功能。通常用晶体管、集成电路、晶闸管等组成电压放大器和功率放大器来放大偏差信号。

5. 执行元件

直接对受控对象进行操纵的元件；如电动机、液压马达、液压缸、伺服阀等。

6. 校正元件

用以改善系统控制质量的装置。校正元件分为串联和并联两种。

控制系统中比较元件、放大元件、执行元件和反馈元件等共同起控制作用，统称为控制器，如图 1-8 所示。

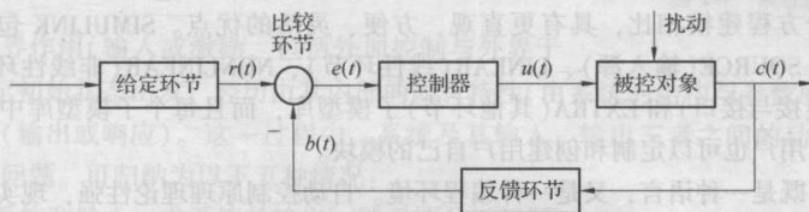


图 1-8 反馈控制系统的基本组成

在实际的控制系统中，扰动总是不可避免的，扰动分为内部扰动和外部扰动，但在控制系统中，扰动集中表现在控制量与被控量的偏差上，因此，可以将控制系统的扰动等效为对控制对象的干扰。

由上述分析可知，自动控制系统中的变量主要有以下几种：

输入信号：（输入量、控制量、给定量）是指控制输出量变化规律的信号；

输出信号：（输出量、被控制量、被调节量）输出是输入的结果，它的变化规律通过控制应与输入信号之间保持有确定的关系；

反馈信号：输出信号经反馈元件变换后加到输入端的信号称反馈信号；

偏差信号：输入信号与主反馈信号之差；

误差信号：输出量实际值与希望值之差；

扰动信号：偶然的无法加以人为控制的信号；

自动控制系统方框图的绘制步骤。

- (1)分析控制系统的工作原理,找出被控对象。
- (2)分清系统的输入量、输出量。
- (3)按照控制系统各环节的定义,找出相应的各个环节。
- (4)按信息流动的方向将各个环节用元件方框和带箭头的连线连接起来

第五节 MATLAB 在控制系统中的应用

MATLAB 是目前控制系统计算机辅助设计实用且有效的工具。它有先进和流行的控制策略工具箱,如鲁棒控制、 μ -分析与综合、神经网络、模糊预测控制、非线性控制设计、模糊逻辑工具箱等。可以说目前理论界和工业界广泛应用和研究的控制算法,几乎都可以在 MATLAB 中找到相应的工具箱。

MATLAB 的工具箱里,软件内容丰富,系统门类齐全。其中, SIMULINK 仿真工具是一个用来对动态系统进行建模、仿真和分析的软件包,它支持连续、离散及两者混合的线性和非线性系统,也支持具有多种采样频率的系统。在 SIMULINK 环境中,利用鼠标就可以在模型窗口中直观地“画”出系统模型,然后直接进行仿真。它为用户提供了方框图进行建模的图形接口,采用这种结构画模型就像用户用手和纸来画一样容易。它与传统的仿真软件包微分方程和差分方程建模相比,具有更直观、方便、灵活的优点。SIMULINK 包含有 SINKS(输入方式)、SOURCE(输入源)、LINEAR(线性环节)、NONLINEAR(非线性环节)、CONNECTIONS(连接与接口)和 EXTRA(其他环节)子模型库,而且每个子模型库中包含有相应的功能模块。用户也可以定制和创建用户自己的模块。

MATLAB 既是一种语言,又是一种编程环境。自动控制原理理论性强,现实模型在实验室较难建立,因此利用 SIMULINK 进行仿真实验,可以加深学习者对课程的理解,调动学习的积极性,同时大大提高深入思考问题的能力和创新能力。而自动控制系统的的设计很大程度上还依赖于实际系统的反复实验、调整的普遍现象。利用 MATLAB 软件中的 SIMULINK 仿真工具实现对自动控制系统建模、分析与设计、仿真,能够直观、快速地分析系统的动态性能、和稳态性能,并且能够灵活地改变系统的结构和参数,通过快速、直观的仿真达到系统的优化设计。

1. 反馈元件

反馈控制量(输出量),

第六节 控制工程基础研究对象和课程的主要内容

一、课程研究对象

机械工程控制论研究机械工程中广义系统的动力学问题。

系统(广义系统)是指按一定的规律联系在一起的元素的集合。主要包括元素及元素间联系两大要素。系统的特性不但与构成系统的元素有关还与系统结构及构成系统的元素间的联系有关。所以广义系统是具备系统要素的一切事物或对象。例如机器系统、生命系统、社会系统、生产系统、思维、学习等。机械工程中的广义系统如元件、部件、仪器、设备、加工过程、测量、车间、部门、工厂、企业、企业集团等。

系统与外界的交互作用有两种,一种是外界作用于系统,一般表现为输入或是干扰。系统对外界的作用也即系统的输出(响应)。系统框图如图 1-9 所示。系统的组成元素也可以是一个系统(子系统),整个系统又可以是更上一层系统的组成元素。

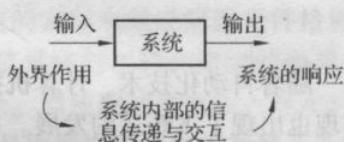


图 1-9 系统框图

系统在外界作用(输入或激励、包括外加控制与外界干扰)下,从一定初始状态出发,经历由其内部的固有特性(由系统的结构与参数所决定)所决定的动态历程(输出或响应)。这一过程中,系统及其输入、输出三者之间的动态关系即为系统的动力学问题。可归纳为以下五种情况:

- (1) 已知系统和输入,求系统的输出,即系统分析问题;
- (2) 已知系统和系统的理想输出,设计输入,即最优控制问题;
- (3) 已知输入和理想输出时,设计系统,即最优设计问题;
- (4) 输出已知,确定系统,以识别输入或输入中的有关信息,此即滤波与预测问题;
- (5) 已知系统的输入和输出,求系统的结构与参数,即系统辨识问题。

二、课程主要内容

控制工程基础是一门关于控制理论和控制技术的基础理论学科,它将经典控制理论的理论知识与具体工程实践相结合,是机械设计制造及自动化、材料成型与控制工程等机械类专业和相关专业的必修课。

课程内容主要包括绪论、系统的数学模型、时域响应分析、系统的频率特性分析、系统的稳定性、系统的分析与校正、根轨迹法分析系统七个模块组成。

(1) 绪论。主要介绍工程控制论的研究对象及任务、系统及其模型、反馈的概念及分类、系统的分类及对控制系统的基本要求等。

(2) 系统的教学模型。主要介绍数学模型的概念及系统微分方程的建立、传递函数及系