

高职电子类  
精品教材

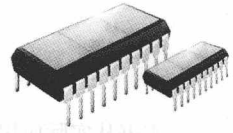
# 自动控制原理 分析及应用

徐梅 编著

ZIDONG KONGZHI YUANLI  
FENXI JI YINGYONG

中国科学技术大学出版社

TP13  
162



高职电子类  
精品教材

# 自动控制原理 分析及应用

ZIDONG KONGZHI YUANLI  
FENXI JI YINGYONG

徐梅 编著



太原工业学院图书馆



B0635666

中国科学技术大学出版社

## 内 容 简 介

本书从实际应用出发,以职业技能为导向,根据“理论够用、重在实践”的原则,删繁就简,以自动控制理论和控制系统为主线,在数学基础、控制理论、工程应用及 MATLAB 仿真方面具有系统性和统一性,适于高职高专自动化、机电、计算机、电气及信息类专业使用,也可作为电气工程及自动化、检测技术与自动化装置等高职、成人高校自动控制类专业教学用书,还可供从事自动控制系统工程的技术人员参考。

自动控制原理分析及应用  
徐梅编著

### 图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理分析及应用/徐梅编著. —合肥:中国科学技术大学出版社,2012. 6  
ISBN 978-7-312-02999-8

I. 自… II. 徐… III. 自动控制理论—高等学校—教材 IV. TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 119829 号



**出版** 中国科学技术大学出版社  
安徽省合肥市金寨路 96 号,邮编:230026  
网址:<http://press.ustc.edu.cn>

**印刷** 合肥华星印务有限责任公司

**发行** 中国科学技术大学出版社

**经销** 全国新华书店

**开本** 787 mm×1092 mm 1/16

**印张** 15.75

**字数** 403 千

**版次** 2012 年 6 月第 1 版

**印次** 2012 年 6 月第 1 次印刷

**定价** 28.00 元

# 前 言

自动控制作为技术改造和技术发展的重要手段,除了在国防、空间科技等尖端领域里不可或缺外,在机电工程、冶金、化工、能源、轻工、交通管理、环境保护、农业等领域中的作用也日益突出。自动控制原理是自动控制技术的理论基础,其研究的对象是自动控制系统,研究的中心问题是控制工程的动态规律性,是自动化仪表、元件、控制装置和系统等工程专业的专业理论基础,其应用几乎遍及电类及非电类的各个工程技术学科,是高等工科院校电气信息类专业的一门重要的技术基础课程。

随着科学的进步,为适应自动化学科的发展,培养出基础扎实、知识面宽、具有创新意识和创新能力、适应社会发展需要的综合性技术人才,优化整体教学体系的教学改革形势,优化高职教学人才培养过程,加强素质培养,促进各学科与专业的交叉与渗透,按照“理论够用、重在实践”的原则,在总结作者多年高职高专教学经验和课程教学改革成果的基础上,参考国内外自动控制理论及应用的发展,作者编写了此书。

学习自动控制理论的主要目的在于应用,本书以自动控制理论和控制系统为主线,重在培养学生对控制系统的分析能力、工程实践能力和创新能力,遵循认知规律,比较全面地介绍了自动控制的基本原理、工程分析与设计方法及自动控制系统的应用,使学生清晰地建立起反馈控制系统的基本概念,初步学会利用经典控制理论的方法分析和设计自动控制系统。本书在内容组织上删繁就简,力求做到重点突出,并增加了 MATLAB 在控制系统分析和计算方面的应用,以培养学生现代化的分析与设计能力。此系淮南联合大学“自动控制原理”课程建设研究项目的优秀成果。

为了方便教师教学,本书还配备了电子课件和习题参考答案,配套资料可以在中国科学技术大学出版社网站中免费下载,解压后使用。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请专家和广大读者给予批评指正。

编 者

2012年2月



# 目 录

前 言 .....	( i )
第 1 章 自动控制系统的认知 .....	( 1 )
1.1 自动控制系统的概念 .....	( 1 )
1.2 自动控制的基本方式 .....	( 4 )
1.3 自动控制系统的组成及类型 .....	( 7 )
1.4 自动控制系统的性能指标 .....	( 9 )
本章小结 .....	( 11 )
思考与练习题 .....	( 11 )
第 2 章 线性系统数学模型的建立 .....	( 13 )
2.1 系统的微分方程 .....	( 13 )
2.2 非线性数学模型的线性化 .....	( 16 )
2.3 传递函数 .....	( 18 )
2.4 典型环节的数学模型 .....	( 20 )
2.5 方框图 .....	( 23 )
2.6 系统闭环传递函数的求取 .....	( 32 )
实验 1 典型环节的模拟 .....	( 34 )
本章小结 .....	( 38 )
思考与练习题 .....	( 39 )
第 3 章 线性系统的时域分析法 .....	( 41 )
3.1 典型输入信号和时域性能指标 .....	( 41 )
3.2 一阶系统的时域分析 .....	( 45 )
3.3 二阶系统的时域分析 .....	( 47 )
3.4 高阶系统分析 .....	( 52 )
3.5 线性系统的稳定性分析及代数判据 .....	( 54 )
3.6 系统的稳态特性分析 .....	( 60 )
实验 2 二阶系统的阶跃响应特性 .....	( 68 )
实验 3 线性系统稳定性的研究 .....	( 70 )
实验 4 线性系统静态误差实验 .....	( 72 )
本章小结 .....	( 75 )
思考与练习题 .....	( 75 )
第 4 章 线性系统的频域分析法 .....	( 79 )
4.1 频率特性的基本概念 .....	( 79 )

4.2	系统的极坐标图 .....	(83)
4.3	系统的对数坐标图 .....	(91)
4.4	用频率法分析系统的稳定性 .....	(101)
4.5	控制系统的相对稳定性分析 .....	(107)
4.6	频域性能指标与时域性能指标的关系 .....	(113)
	实验5 控制系统频率特性仿真研究 .....	(115)
	本章小结 .....	(116)
	思考与练习题 .....	(117)
<b>第5章</b>	<b>控制系统的校正与设计 .....</b>	<b>(120)</b>
5.1	引言 .....	(120)
5.2	基本控制规律分析 .....	(123)
5.3	常用校正装置及其特性 .....	(126)
5.4	采用频率法进行串联校正 .....	(131)
5.5	反馈校正及其参数确定 .....	(142)
	实验6 控制系统校正装置的应用(设计性) .....	(143)
	本章小结 .....	(145)
	思考与练习题 .....	(145)
<b>第6章</b>	<b>线性离散控制系统 .....</b>	<b>(147)</b>
6.1	离散控制系统概述 .....	(147)
6.2	采样过程及信号复现 .....	(149)
6.3	离散控制系统的数学模型 .....	(153)
6.4	离散控制系统性能分析 .....	(165)
	本章小结 .....	(173)
	思考与练习题 .....	(174)
<b>第7章</b>	<b>自动控制系统应用举例 .....</b>	<b>(177)</b>
7.1	直流调速系统概述 .....	(177)
7.2	单闭环调速系统 .....	(182)
7.3	转速、电流双闭环直流调速系统 .....	(188)
7.4	脉宽调制(PWM)调速控制系统 .....	(192)
	本章小结 .....	(197)
	思考与练习题 .....	(197)
<b>第8章</b>	<b>控制系统的MATLAB仿真 .....</b>	<b>(198)</b>
8.1	MATLAB简介 .....	(198)
8.2	经典控制系统分析中常用命令简介 .....	(207)
8.3	MATLAB在时域系统分析中的应用 .....	(210)
8.4	MATLAB在频域系统分析中的应用 .....	(217)
8.5	应用MATLAB进行离散系统分析 .....	(224)
	本章小结 .....	(227)
	思考与练习题 .....	(227)

附录 拉普拉斯变换及应用 .....	(228)
F1 拉普拉斯变换的概念 .....	(228)
F2 拉氏变换的性质 .....	(230)
F3 拉氏变换的逆变换及其性质 .....	(235)
F4 拉氏变换的应用举例 .....	(238)
F5 拉氏变换的基本性质与相关知识 .....	(240)
参考文献 .....	(243)

# 第 1 章 自动控制系统的认知

自动控制的研究对象是自动控制系统,本章简要介绍了有关自动控制的一般概念,从控制任务、控制方式及控制过程等方面阐述了自动控制系统的组成、分类和对控制系统的基本要求。本章学习目标为:

- (1) 了解基本概念——自动控制、开环控制系统、闭环控制系统;
- (2) 通过学习,能分析闭环系统的动态过程;
- (3) 了解自动控制系统的几个类型;
- (4) 了解对自动控制系统的的基本要求。

## 1.1 自动控制系统的一般概念

### 1.1.1 自动控制在国民经济中的作用

20 世纪中叶以来,随着科技的发展,自动控制技术的作用越来越重要。

在生产和科学的发展过程中,自动控制起着重要的作用。目前,自动控制被广泛地应用于现代工业、农业、国防和科学技术领域中。可以这样说,一个国家在自动控制方面的水平,是衡量它的生产技术和科学技术水平先进与否的一项重要标志。自动控制涉及的范围很广,包括:

- (1) 军事领域:如导弹制导、飞机驾驶系统等。
- (2) 航天技术:如航天飞机遨游太空,登月飞船准确地在月球上着陆并能重返地球,人造卫星按预定轨迹运行并返回地面等。
- (3) 工业生产:如对压力、温度、湿度、流量、频率、燃料成分比例等方面的控制以及全自动生产线等。
- (4) 现代农业生产:如温室自动温控系统、自动灌溉系统等。
- (5) 经济与社会生活的其他领域:如汽车自动导航控制系统、刹车防抱死系统、现代化的室温调节装置等。

虽然我们将要涉及的全部是自动控制的工程应用方面,但它的概念已经扩大到其他领域,如经济、政治等领域。生产的自动化、管理的科学化,大大改善了劳动条件、增加了产量、提高了产品质量。近十几年来,计算机的广泛应用,使自动控制理论更加迅速地向前发展,使自动控制技术所能完成的任务更加复杂,自动控制水平大大提高。电子技术和计算机技术的迅猛发展,为自动控制技术安上了翅膀,自动控制技术将在愈来愈多的领域发挥愈来愈



重要的作用。因此,各个领域的工程技术人员和科研人员,都必须具备一定的自动控制知识。

### 1.1.2 经典控制理论与现代控制理论

根据自动控制技术发展的不同阶段,自动控制理论通常分为“经典控制理论”和“现代控制理论”两大部分。

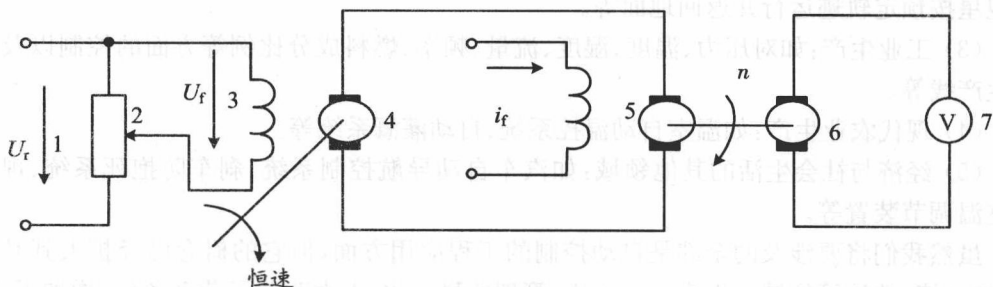
经典控制理论是以传递函数为基础,研究单输入—单输出类定常系统的分析与设计。例如,工程上的伺服系统与恒值系统的自动控制。频率响应法和根轨迹法是经典控制理论的核心。由这两种方法设计出来的系统是稳定的,并且或多或少地满足一组适当的性能要求。一般来说,这些系统是令人满意的,但它们不是某种意义上的最佳系统。

现代控制理论是20世纪60年代在古典控制理论基础上随科学的发展和工程实践的需要迅速发展起来的,是在自动控制理论认识上的一次飞跃,而不是经典控制理论的简单延伸和推广。它以状态空间法为基础,研究多输入—多输出、时变、非线性、高精度、高效能等控制系统的分析与设计问题。例如,最优控制、最佳滤波、系统辨识与自适应控制等理论。其重要标志为状态空间法,形成的几个分支为:线性系统理论、最优控制理论、系统辨识与自适应控制、大系统理论和特大系统理论。现代控制理论的近期应用已经扩展到非工程系统,诸如生物系统、生物医学系统、经济系统和社会经济系统。

自动控制理论正随着技术和生产的发展而不断发展,而它反过来又成为高新技术发展的重要理论根据和推动力。虽然现代控制理论的内容很丰富,与经典控制理论相比较,能解决更多、更复杂的控制问题,但对于单输入—单输出线性定常系统而言,用经典控制理论来分析和设计仍是最实用、最方便的。本书所介绍的内容是经典控制理论部分,它在工程实践中用得最多,也是进一步学习自动控制理论的基础。

### 1.1.3 人工控制

在人直接参与的情况下,利用控制装置使被控制对象和过程按预定规律变化的过程,称为人工控制。将有人参与的控制系统称为人工控制系统。下面以直流电动机调速系统为例加以说明(图1-1)。



1. 给定电压; 2. 电位计; 3. 励磁绕组; 4. 直流发电机; 5. 直流电动机; 6. 测速发电机; 7. 电压表

图 1-1 直流电动机调速系统

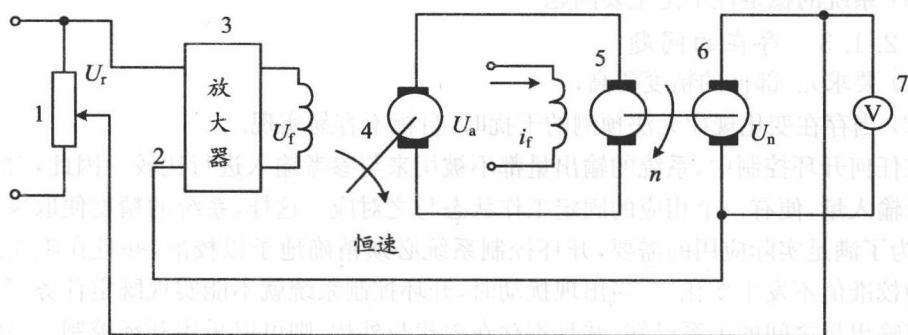
首先,人们将 6 测得的转速  $n$  与希望的转速  $n_r$  比较,看它们是否相等,若不等,看是偏高,还是偏低,偏差是多少。所谓比较,就是人在脑子里进行一个简单的减法运算,即把通过测量仪器测得的实际转速  $n$  与脑子里记忆的希望值  $n_r$  相减,其偏差为  $\epsilon$ 。然后,根据偏差  $\epsilon$  的大小和正负来改变图 1-1 中的 2 或 1,从而改变了  $U_f$  或  $U_r$ ,使实际输出转速  $n$  接近或等于希望值  $n_r$ 。由此可见,人在控制过程中主要完成了测量、比较和执行这三种作用。

显然,在负载变化较小、转速变化不大的场合,采用人工控制是可以完成的。但是人工控制系统有许多缺点,甚至有时也是不可能实现的。首先,人工控制系统的控制精度不高,或者说控制精度完全取决于操作者的经验;其次,由于有些控制过程动作极快,人的反应不能适应;再则,有些场合如高温、放射性等对人体有危害的领域,人无法直接参与控制。因此,为了进一步改善控制系统的性能,必须应用机械、电气、液压等自动化装置来代替人对一些物理量自动地进行控制,这样人工控制系统就发展成了自动控制系统。

### 1.1.4 自动控制

自动控制就是在无人直接参与的情况下,利用控制装置使被控制对象和过程自动地按预定规律变化的控制过程。所谓自动控制系统是由控制装置和被控制对象所组成,它们以某种相互依赖的方式结合成为一个有机整体,并对被控制对象进行自动控制。下面仍以以前例来说明如何用控制装置来实现自动控制。

如图 1-2 所示,直流电动机 5 的转速由测速发电机 6 测量,并通过电压表 7 显示。与电动机转速对应的测速发电机电压  $U_n$  经反馈线回送到系统的输入端并和给定电压  $U_r$  相比较,其差值  $e$  经放大器 3 放大,直流发电机 4 两端电压为  $U_a$ ,这个电压施加在电动机 5 电枢两端使电动机按预定的转速旋转。当转速对应的测速发电机电压  $U_n$  偏离给定值  $U_r$  时, $U_r$  与  $U_n$  之差将为  $e \pm \Delta e$ ,这个变化后的偏差电压经放大器使发电机两端电压  $U_a$  就相应升高或降低,从而使电动机的转速恢复到给定的数值。



1. 电位计; 2. 反馈线; 3. 放大器; 4. 直流发电机; 5. 直流电动机; 6. 测速发电机; 7. 电压表

图 1-2 直流电动机调速系统

## 1.2 自动控制的基本方式

根据自动控制系统的构成形式,一般可分为以下几种基本控制方式。

### 1.2.1 开环控制

#### 1.2.1.1 定义

开环控制指控制装置与被控制对象之间只有正方向作用,而没有反向联系的控制过程。在开环系统中,不需要对输出量进行测量,也不需要将输出量反馈到系统输入端与输入量进行比较。其结构图如图 1-3 所示。

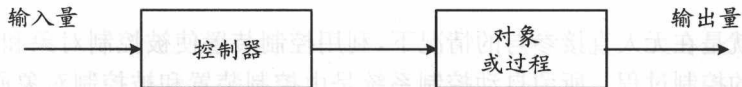


图 1-3 开环控制系统

例如,洗衣机就是开环控制系统的例子。浸湿、洗涤和漂洗过程在洗衣机中是依次进行的,在洗涤过程中,无需对其输出信号即衣服的清洁程度进行测量。

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。

#### 1.2.1.2 特点

- (1) 输出不影响输入,对输出不需测量,通常较易实现;
- (2) 组成系统的元、部件精度高,系统精度才能高;
- (3) 系统的稳定性不是主要问题。

#### 1.2.1.3 存在的问题

- (1) 要求元、部件的精度要高;
- (2) 当存在变化规律无法预测的干扰时,目标不容易实现。

在任何开环控制中,系统的输出量都不被用来与参考输入进行比较。因此,对应于每一个参考输入量,便有一个相应的固定工作状态与之对应。这样,系统的精度便取决于校准的精度(为了满足实际应用的需要,开环控制系统必须精确地予以校准,并且在工作过程中保持这种校准值不发生变化)。当出现扰动时,开环控制系统就不能实现既定任务了。如果输入量与输出量之间的关系已知,并且不存在内扰与外扰,则可以采用开环控制。沿时间坐标轴单向运行的任何系统都是开环系统,例如,采用时基信号的交通信号灯,自动生产线等就是开环控制的另两个例子。

### 1.2.2 闭环控制

#### 1.2.2.1 定义

闭环控制指控制装置与被控制对象之间既有正方向的作用,又有反方向联系的控制

过程。

把输出量直接或间接地反馈到系统的输入端,形成闭环,参与控制,这种系统叫闭环控制系统。

在闭环系统中,需对输出量进行测量,图 1-4 所示为其结构图。闭环系统有小功率随动系统、雷达控制系统等。显然,闭环系统为反馈系统,据反馈极性的不同,反馈可分为通过反馈使偏差增大的正反馈和通过反馈使偏差减小的负反馈。一般无特殊说明,下面我们所讲的反馈系统均为负反馈系统。

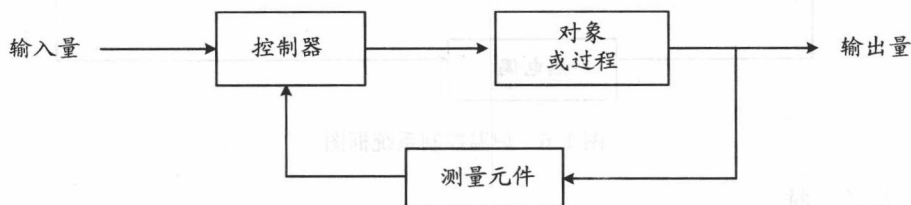
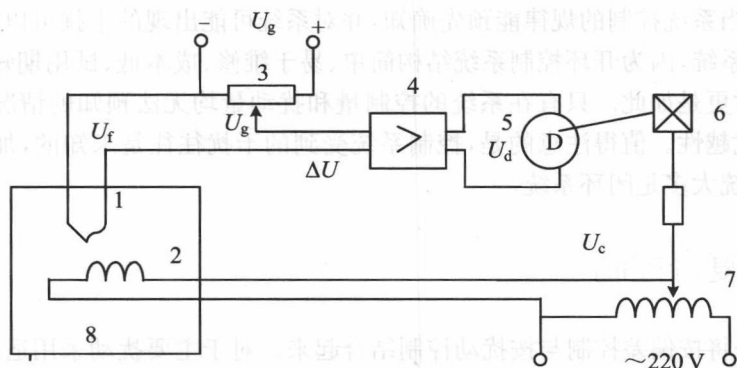


图 1-4 闭环控制系统

反馈:把取出的输出量送回输入端,并与输入信号相比较产生偏差信号的过程,称为反馈。若反馈的信号与输入信号相抵消,使产生的偏差越来越小,则称为负反馈;反之,则称为正反馈。

反馈控制:就是采用负反馈并利用偏差进行控制的过程。由于引入了被反馈量的反馈信息,使得整个控制过程成为闭合的,因此反馈控制也称为闭环控制。

输入信号和反馈信号之差,称为偏差信号。偏差信号加到控制器上,以减小系统的误差,并使系统的输出量趋于所希望的值。换句话说,“闭环”这个术语的涵义,就是应用反馈作用来减小系统的误差。下面以炉温控制系统为例加以说明(图 1-5、图 1-6)。



1. 热电偶; 2. 电阻丝; 3. 电位器; 4. 放大器; 5. 可逆电动机; 6. 减速机; 7. 调压器; 8. 炉子

图 1-5 炉温控制系统原理示意图

系统分析:

受控对象——炉子;被控量——炉温;给定装置——电位器;测量元件——热电偶;

干扰——电源  $U$ 、外界环境、加热物件;执行机构——可逆电动机。

工作过程:

静态  $\Delta U = 0$ ;



动态  $\Delta U \neq 0$ ;

工件增多(负载增大)  $\uparrow \rightarrow T \downarrow \rightarrow U_f \downarrow \rightarrow \Delta U \uparrow \rightarrow U_a \uparrow \rightarrow U_c \uparrow \rightarrow T \uparrow$ ;

工件减少(负载减小)  $\downarrow \rightarrow T \uparrow \rightarrow U_f \uparrow \rightarrow \Delta U \downarrow \rightarrow U_a \downarrow \rightarrow U_c \downarrow \rightarrow T \downarrow$ 。

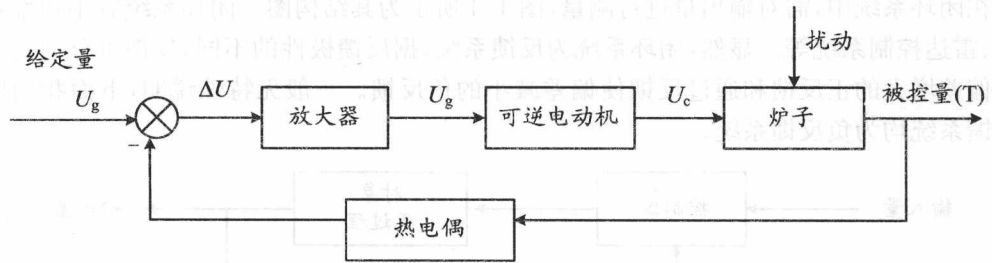


图 1-6 炉温控制系统框图

### 1.2.2.2 特点

- (1) 输出影响输入,所以能削弱或抑制干扰;
- (2) 低精度元件可组成高精度系统;
- (3) 因为可能发生超调、震荡,故闭环控制的稳定性很重要。

### 1.2.2.3 闭环控制与开环控制的比较

闭环控制:为按偏差控制,可以抑制内、外扰动对被控制量产生的影响。精度高、结构复杂,设计、分析麻烦。

开环控制:是顺向作用,没有反向的联系,没有修正偏差能力,抗扰动性较差。结构简单、调整方便、成本低,分为按给定量控制和按扰动控制。按扰动控制的开环控制可产生一定的补偿作用,适用于扰动可测量的场合,在精度要求不高或扰动影响较小的情况下,这种控制方式有一定的实用价值。

一般来说,当系统控制的规律能预先确知,并对系统可能出现的干扰可以做到有效抑制时,应采用开环系统,因为开环控制系统结构简单、易于维修、成本低、试用期短,特别当被控制量很难测量时更是如此。只有在系统的控制量和扰动量均无法预知的情况下,闭环系统才有其明确的优越性。值得注意的是,控制系统受到的干扰往往是未知的,加之其他原因,所以,常见的系统大多是闭环系统。

## 1.2.3 复合控制

复合控制是将按偏差控制与按扰动控制结合起来。对于主要扰动采用适当补偿装置实现扰动控制;同时,再组成反馈控制系统实现按偏差控制,以消除其余扰动产生的偏差。

## 1.3 自动控制系统的基本组成及类型

### 1.3.1 闭环控制系统的基本组成

闭环控制系统是由各种结构不同的系统部件组成的。从完成“自动控制”这一职能看,一个控制系统必然包含被控对象和控制装置两个部分,控制装置由具有一定职能的各种基本元件组成,如图 1-7 所示。比较元件、放大元件、执行元件和反馈元件等共同起着控制作用,为控制器部分。图 1-7 还包括了扰动信号,扰动信号是由于系统内部元器件参数的变化或外部环境的改变而造成的,不管是何种扰动,其最终结果都是导致输出量即被控制量发生偏移,因此直接将扰动信号集中表示在控制对象上。

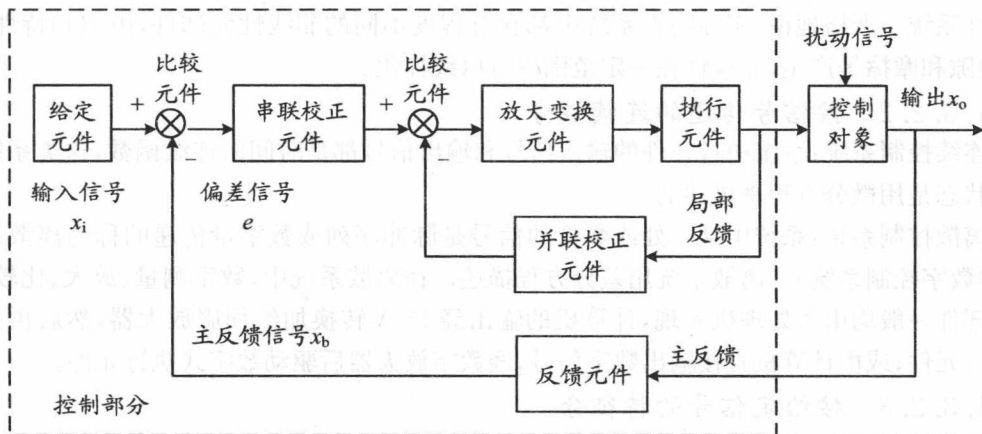


图 1-7 典型闭环控制系统的一般组成

图 1-7 中,信号沿箭头方向从输入端到达输出端的传输通路称前向通路;系统输出量经测量元件反馈到输入端的传输通路称主反馈通路。前向通路与主反馈通路共同构成主回路。此外,还有局部反馈通路以及由它构成的内回路。包含一个主反馈通路的系统称单回路系统;有两个或两个以上反馈通路的系统称多回路系统。在不同系统中,结构完全不同的元部件都可以具有相同的职能。组成系统的元部件按职能分类主要有以下几种:

**测量元件:**其职能是测量被控制的物理量,通常是一些用电量来测量非电量的元件,即传感器。

**给定元件:**其职能是给出与期望的被控量相对应的系统输入量(即参变量)。

**比较元件:**把测量元件检测的被控量实际值与给定元件给出的参变量进行比较,求出它们之间的偏差。常用的比较元件有差动放大器、机械差动装置和电桥等。

**放大元件:**将比较元件给出的偏差进行放大,用来推动执行元件去控制被控对象,如电压偏差信号,可用电子管、晶体管、集成电路、晶闸管等组成的电压放大器和功率放大器加以放大。

执行元件:直接推动被控对象,使其发生变化。用来作为执行元件的有阀、电动机、液压马达等。

校正元件:即补偿元件,又称校正装置,它是结构或参数便于调整的元件,用串联或反馈的方式连接在系统中,以改善系统性能。最简单的校正元件是由电阻、电容组成的无源或有源网络,复杂的则需要使用电子计算机。

## 1.3.2 自动控制系统的分类

自动控制系统的分类方法较多,常见的有以下几种。

### 1.3.2.1 按系统的数学描述分

线性系统:系统各元件的输入、输出特性是线性的,系统的状态和性能可以用线性微分方程来描述。若微分方程的系数均为常数,称为线性定常控制系统,为本书主要讨论对象;若微分方程的系数为时间的函数,称为线性时变系统。

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,这类系统就称为非线性系统。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,由饱和特性、死区、间隙和摩擦等产生,非线性在一定范围内可以线性化。

### 1.3.2.2 按信号传递的连续性分

连续控制系统:系统中各元件的输入信号和输出信号都是时间的连续函数,这类系统的运动状态是用微分方程来描述的。

离散控制系统:系统中某一处或数处的信号是脉冲序列或数字量传递的称为离散系统(也称数字控制系统)。离散系统用差分方程描述。在离散系统中,数字测量、放大、比较、给定等部件一般均由微处理机实现,计算机的输出经 D/A 转换加给伺服放大器,然后再去驱动执行元件;或由计算机直接输出数字信号,经数字放大器后驱动数字式执行元件。

### 1.3.2.3 按给定信号的特征分

恒值控制系统:参考输入量是一个常值,要求被控量亦等于一个常值。如温度控制系统(恒温箱)、压力控制系统、液位控制系统等。

随动系统:这类系统的参考输入量是预先未知的随时间任意变化的函数,要求被控制量以尽可能小的误差跟随参考输入量的变化。在随动系统中,扰动的影晌是次要的,系统分析、设计的重点是研究被控制量跟随的快速性和准确性。如函数记录仪、火炮自动跟踪系统、舵舵位置控制系统等。在随动系统中,如果被控制量是机械位置(角位置)或其导数时,这类系统称之为伺服系统。

程序控制系统:这类控制系统的参考输入量是按预定规律随时间变化的函数,要求被控制量迅速、准确地复现。如机械加工使用的数控机床。

程序控制系统和随动系统的参考输入量都是时间的函数,不同之处在于程序控制系统是已知的时间函数,随动系统是未知的任意的时间函数,而恒值控制系统可视为程序控制系统的特例。

此外,还可按照系统部件的物理属性分为机械、电气、机电、液压、气动、热力等控制系统。根据系统的被控制量,又可分为位置、速度、温度等控制系统。为了全面反映系统的特点,常常将上述分类方法结合应用。

## 1.4 自动控制系统的性能指标

为了实现自动控制,必须对控制系统提出一定的要求。对于一个闭环控制系统而言,当输入量和扰动量均不变时,系统输出量也恒定不变,这种状态称为平衡状态或静态、稳态。显然,系统在稳态时的输出量是我们关心的,当输入量或扰动量发生变化,反馈量将与输入量之间产生新的偏差,通过控制器的作用,从而使输出量最终稳定,即达到一个新的平衡。但由于系统中各环节总存在惯性,系统从一个平衡点到另一个平衡点无法瞬间完成,即存在一个过渡过程,称为动态过程或暂态过程。过渡过程的形式不仅与系统的结构和参数有关,也与参考输入和外加扰动有关。一般有单调过程、衰减振荡过程、等幅振荡过程等形式,如图 1-8 所示。

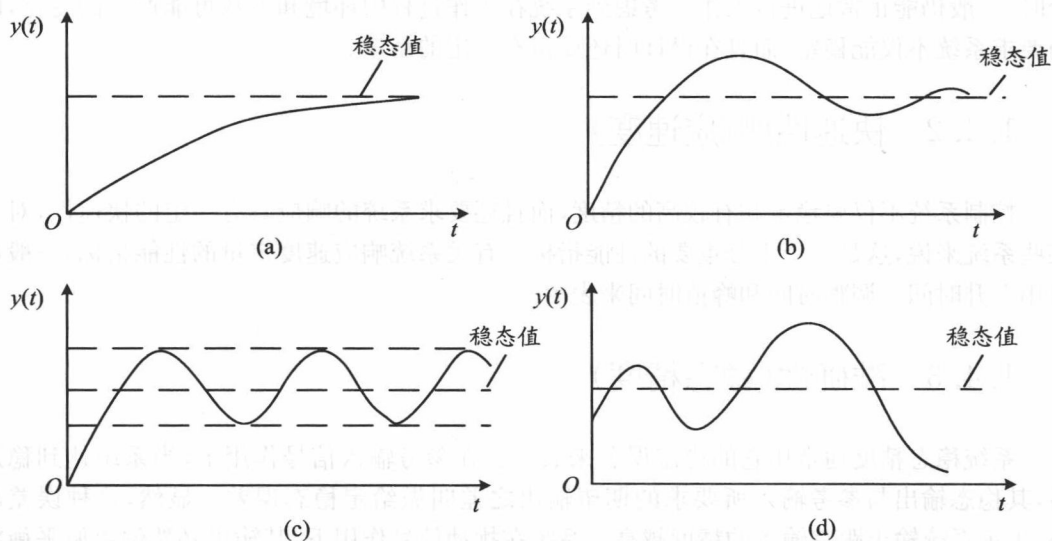


图 1-8 自动控制系统被控量变化的动态特性

### 1. 单调过程

被控量  $y(t)$  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 1-8(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)。

### 2. 衰减振荡过程

被控量  $y(t)$  的动态过程是一个振荡过程,振荡的幅度不断地衰减,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 1-8(b)所示。

### 3. 等幅振荡过程

被控量  $y(t)$  的动态过程是一个持续等幅振荡过程,始终不能到达新的稳态值,如图 1-8(c)所示。这种过程如果振荡的幅度较大,超出生产过程的允许范围,则认为是一种不稳定的系统;如果振荡的幅度较小,在生产过程的允许范围内,可认为是一种稳定的系统。



#### 4. 渐扩振荡过程

被控量  $y(t)$  的动态过程不但是一个振荡过程,而且振荡的幅值越来越大,以致会大大超过被控量允许的误差范围,如图 1-8(d)所示,这是一种典型的不稳定过程,设计自动控制系统时要绝对避免产生这种情况。

自动控制系统其动态过程多属于图 1-8(b)的情况。控制系统的动态过程不仅要是稳定的,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。通过上面的分析可知,对于一个自动控制系统,需要从如下三方面进行评价。

##### 1.4.1 稳定性

稳定性是对控制系统最基本的要求。系统稳定一般指当系统受到扰动作用后,系统的被控制量偏离了原来的平衡状态,但当扰动撤离后,经过一定时间,系统仍能返回到原来的平衡状态,则称系统是稳定的。一个稳定的系统,在其内部参数发生微小变化或初始条件改变时,一般仍能正常地进行工作。考虑到系统在工作过程中环境和参数可能产生的变化,因而要求系统不仅能稳定,而且在设计时还要留有一定的裕量。

##### 1.4.2 快速性(响应速度)

控制系统不仅要稳定和有较高的精度,而且还要求系统的响应具有一定的快速性,对于某些系统来说,这是一个十分重要的性能指标。有关系统响应速度量化的性能指标,一般可以用上升时间、调整时间和峰值时间来表示。

##### 1.4.3 准确性(稳态精度)

系统稳态精度通常用它的稳态误差来表示。在参考输入信号作用下,当系统达到稳态后,其稳态输出与参考输入所要求的期望输出之差叫做给定稳态误差。显然,这种误差越小,表示系统输出跟踪输入的精度越高。系统在扰动信号作用下,其输出必然偏离原平衡状态,但由于系统自动调节的作用,其输出量会逐渐向原平衡状态方向恢复。当达到稳态后,系统的输出量若不能恢复到原平衡状态时的稳态值,由此所产生的差值称为扰动稳态误差。这种误差越小,表示系统抗扰动的能力越强,其稳态精度也越高。如数控机床的加工误差小于 0.02 mm,一般恒速、恒温控制系统的稳态误差都在给定值的 1%以内。

由于被控对象运行目的不同,各类系统对上述三方面性能要求的侧重点是有差异的。例如,随动系统对快速性和稳态精度的要求较高,而恒值控制系统一般却侧重于稳定性能和抗扰动的能力。在同一个系统中,上述三个方面的性能要求通常也是相互制约的。例如,为了提高系统的快速性和准确性,就需要增大系统的放大能力,而放大能力的增强,必然促使系统动态性能变差,甚至会使系统变得不稳定。反之,若强调对系统动态过程平稳性的要求,系统的放大倍数就应较小,从而导致系统稳态精度降低和动态过程变慢。由此可见,系统动态响应的快速性、高精度与系统稳定性之间存在着矛盾,在系统设计时须针对具体的系统要求,均衡考虑各指标,这正是本书所要研究的内容。