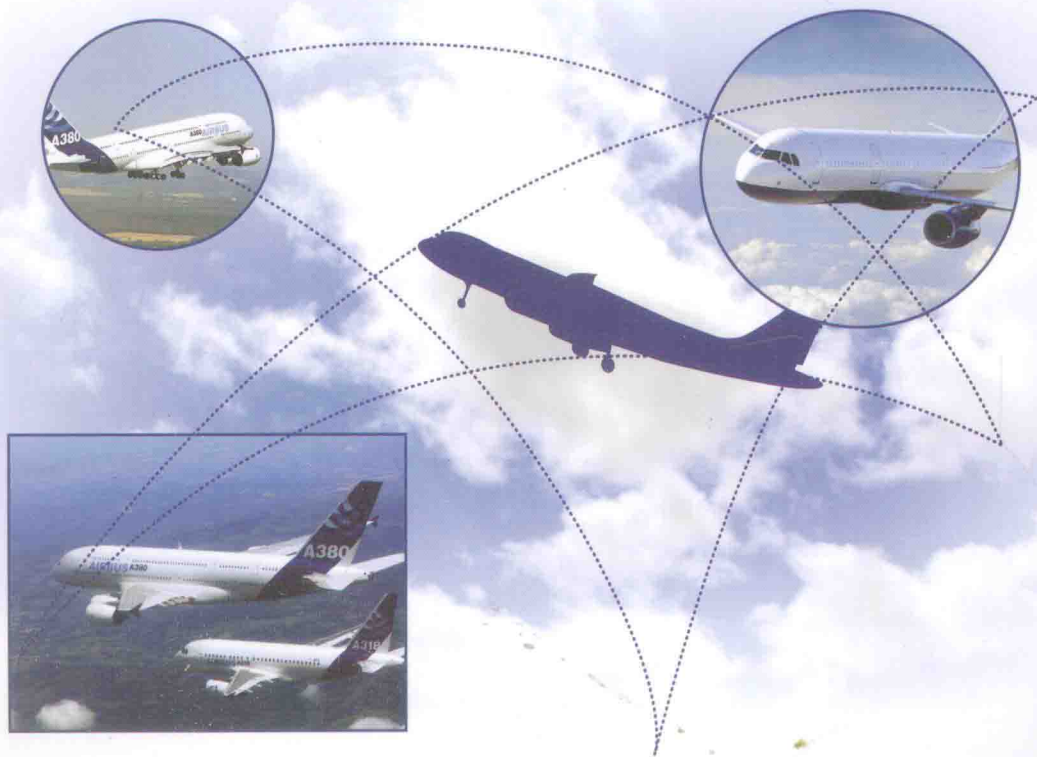


普通高等院校航空专业“十二五”规划教材

航空器控制 理论基础

Elementary Control Theory for Aircraft

胡盛斌
陆文华
编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

普通高等院校航空专业“十二五”规划教材

航空器控制理论基础

胡盛斌 陆文华 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书重点介绍了经典控制理论的基本概念、基本分析和设计方法及其在航空器控制领域的典型应用。主要内容包括控制系统的数学模型、时域分析法、根轨迹法、频率响应法、控制系统的综合校正以及在航空器控制领域的应用等。书中紧密结合MATLAB系统仿真软件,有利于读者加深理解掌握基本理论,并可对相关原理进行仿真验证。

本书尝试将经典控制理论与飞行控制结合起来,便于读者在较短时间内掌握运用经典控制理论对航空器飞行控制进行基本分析和设计。全书力求突出重点,叙述通俗易懂,尽量减小繁琐的数学推导,比较简明实用。

本书可作为航空院校航空器械维修、飞行技术、航空机电、航空发动机等专业涉及自动控制理论课程的教材或参考资料,也可供航空企业工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

航空器控制理论基础 / 胡盛斌, 陆文华编著. — 北京:
国防工业出版社, 2015. 3
普通高等院校航空专业“十二五”规划教材
ISBN 978 - 7 - 118 - 09853 - 2

I. ①航... II. ①胡... ②陆... III. ①航空器 - 自动控制 - 高等学校 - 教材 IV. ①V249. 12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 034936 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 15 3/4 字数 359 千字

2015 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 42.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

传统上,航空类专业的航空器控制理论基础教学,基本上是先上“自动控制理论”课程,再上“飞行控制系统”课程,这样所占学时比较多,而对于一般的航空器械维修、飞行技术等对航空器控制理论要求较低的专业就不太适合了。本书尝试将经典控制理论与飞行控制结合起来,便于读者在较短时间内掌握运用经典控制理论对航空器飞行控制进行基本分析和设计,非常适合作为课时较少、要求不高的有关航空器控制理论的教材。

本书重点介绍了经典控制理论的基本概念、基本分析和设计方法及其在航空器控制领域的典型应用。全书分为8章,包括绪论、控制系统的数学模型、时域分析法、根轨迹法、频率响应法、控制系统的综合校正、控制理论在航空器中的应用以及MATLAB在控制系统分析和设计中的应用。

编者根据多年讲授本课程的经验,力求突出重点,精简篇幅,尽量减小繁琐的数学推导,突出控制理论的基本概念和方法;加强理论与实际的结合,在应用上下功夫,尤其突出将经典控制理论的方法应用于航空器飞行控制领域的具体实际应用中。本书主要特点是:将经典控制理论和飞行控制相结合;在内容上,控制理论部分精选了数学建模、经典控制三大基本方法(时域分析法、根轨迹法、频率响应法)以及系统基本校正;飞行控制部分精选了飞机动力学建模和采用经典控制方法对飞行控制系统进行基本分析和设计。此外,本书还紧密结合MATLAB系统仿真软件,有利于读者加深理解掌握基本理论,并可对相关原理进行仿真验证。

本书由胡盛斌、陆文华共同编写完成,其中第4章~第8章由胡盛斌编写,第1章~第3章由陆文华编写。在编写过程中,参阅了大量的相关文献,在此,对这些参考文献的作者深表感谢。

由于编者的水平有限,书中难免有不足与错误之处,恳请广大读者和专家批评指正。

编者

2014年10月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 自动控制理论及其发展简述	1
1.2 自动控制的基本概念	2
1.2.1 自动控制的基本原理	2
1.2.2 控制系统的基本组成	4
1.2.3 控制系统的基本控制方式	5
1.3 自动控制系统的分类	7
1.3.1 线性系统和非线性系统	7
1.3.2 连续系统和离散系统	8
1.4 对自动控制系统的的基本要求	8
习题	9
第 2 章 控制系统的数学模型	11
2.1 控制系统的微分方程	11
2.1.1 微分方程的建立	11
2.1.2 物理系统的线性近似	12
2.2 拉普拉斯变换	14
2.2.1 拉普拉斯变换定义	14
2.2.2 拉普拉斯变换的基本性质	15
2.2.3 用拉普拉斯变换解线性微分方程	16
2.3 控制系统的传递函数	17
2.3.1 传递函数的基本概念	17
2.3.2 典型环节及其传递函数	21
2.3.3 传递函数的求取	22
2.4 方框图及其等效变换	23
2.4.1 方框图的组成	23
2.4.2 方框图的建立	24
2.4.3 方框图的等效变换和化简	25
2.5 信号流图及梅森公式	30
2.5.1 信号流图的符号及术语	30
2.5.2 信号流图的绘制	31
2.5.3 信号流图的等效变换规则	32

2.5.4	梅森公式及其应用	33
2.6	状态空间模型	35
2.6.1	状态空间模型的基本概念	35
2.6.2	状态空间模型的建立	35
2.6.3	传递函数和状态空间模型间的关系	37
	习题	39
第3章	时域分析法	43
3.1	时域分析基础	43
3.1.1	典型初始状态	43
3.1.2	典型输入信号	43
3.1.3	阶跃响应性能指标	45
3.2	一阶系统时域分析	47
3.2.1	一阶系统数学模型	47
3.2.2	一阶系统的单位阶跃响应	47
3.3	二阶系统时域分析	50
3.3.1	二阶系统数学模型	50
3.3.2	二阶系统单位阶跃响应	51
3.3.3	二阶系统性能指标计算	53
3.4	高阶系统的时域分析	57
3.4.1	高阶系统的动态响应分析	57
3.4.2	闭环主导极点	58
3.5	控制系统的稳定性分析	58
3.5.1	稳定性概念	58
3.5.2	稳定的数学条件	59
3.5.3	劳斯-赫尔维茨稳定判据	60
3.5.4	劳斯稳定判据的应用	65
3.6	控制系统的稳态误差计算	67
3.6.1	误差与稳态误差	68
3.6.2	稳态误差的计算	69
3.6.3	典型信号作用下的稳态误差	72
	习题	75
第4章	根轨迹法	80
4.1	根轨迹法的基本概念	80
4.1.1	根轨迹	80
4.1.2	闭环零极点与开环零极点之间的关系	82
4.1.3	根轨迹方程	84
4.2	绘制根轨迹的基本法则	85

4.3	广义根轨迹	95
4.3.1	参数根轨迹	95
4.3.2	正反馈系统的根轨迹	97
4.3.3	非最小相位系统的根轨迹	98
4.4	系统性能的分析	98
4.4.1	闭环零极点与时间响应	98
4.4.2	系统性能的定性分析	100
	习题	101
第5章	频率响应法	103
5.1	频率特性的基本概念	103
5.1.1	正弦信号作用下的稳态响应	103
5.1.2	频率特性的定义	105
5.2	奈氏图	107
5.2.1	奈氏图的定义	107
5.2.2	典型环节的奈氏图	107
5.2.3	开环奈氏图的绘制	111
5.3	伯德图	115
5.3.1	伯德图的定义	115
5.3.2	典型环节的伯德图	115
5.3.3	开环伯德图的绘制	119
5.3.4	传递函数的频域实验确定	123
5.4	频率域稳定判据	126
5.4.1	奈氏判据的数学基础	126
5.4.2	奈氏判据	128
5.4.3	对数频率稳定判据	132
5.5	稳定裕量	134
5.6	闭环系统的频域性能指标	137
5.6.1	闭环频率特性	137
5.6.2	闭环频域性能指标	137
5.6.3	闭环频域性能指标的计算	138
5.6.4	频域指标与时域指标的关系	139
	习题	141
第6章	控制系统的综合校正	146
6.1	系统校正基础	146
6.1.1	校正的基本概念	146
6.1.2	性能指标	147
6.1.3	校正方式	148

6.1.4	校正设计的方法	149
6.2	串联超前校正	150
6.2.1	超前校正装置及其特性	150
6.2.2	串联超前校正设计	152
6.3	串联滞后校正	156
6.3.1	滞后校正装置及其特性	156
6.3.2	串联滞后校正设计	158
6.4	串联滞后-超前校正	161
6.4.1	滞后-超前校正装置及其特性	161
6.4.2	串联滞后-超前校正设计	164
	习题	167
第7章	控制理论在航空器中的应用	170
7.1	飞行控制系统简介	170
7.2	飞机的动力学建模	172
7.2.1	坐标系	172
7.2.2	作用在飞机上的力和力矩	175
7.2.3	飞机的基本运动方程	176
7.3	PID 控制方法	181
7.3.1	PID 控制的基本概念	181
7.3.2	PID 控制器参数调整	185
7.4	飞行控制系统的分析	187
7.4.1	纵向短周期运动的传递函数	187
7.4.2	飞机纵向姿态控制分析	189
7.4.3	飞机横侧向姿态控制分析	194
7.5	飞行控制系统的设计	195
	习题	198
第8章	MATLAB 在控制系统分析与设计中的应用	200
8.1	MATLAB 语言简介	200
8.1.1	MATLAB 的运行环境	200
8.1.2	MATLAB 帮助系统	201
8.1.3	MATLAB 语言基础	201
8.1.4	MATLAB 图形绘制	204
8.2	MATLAB 用于处理系统数学模型	205
8.3	MATLAB 用于时域分析	211
8.4	MATLAB 用于根轨迹分析	218
8.5	MATLAB 用于频域分析	224
8.6	MATLAB 用于系统校正和设计	230

8.7 Simulink 建模与仿真.....	236
习题	238
附录	240
参考文献.....	242

第 1 章 绪 论

1.1 自动控制理论及其发展简述

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(称控制装置或控制器),使机器、设备或生产过程(统称被控对象)的某个工作状态或参数(即被控量)自动地按照预定的要求变化的控制机制。例如,雷达和计算机组成的导弹发射和制导系统,自动地将导弹引导到敌方目标;无人驾驶飞机按照预定航迹自动升降和飞行;人造卫星准确地进入预定轨道运行并回收等,这一切都是以应用高水平的自动控制技术为前提的。特别是近几十年来,自动控制技术更是广泛应用于机器人控制、导弹制导、宇宙航行以及核动力等高新技术领域中,应用范围现已扩展到生物、医学、环境、经济管理和其他许多社会生活领域中,自动控制已成为现代社会活动中不可缺少的重要组成部分。

自动控制理论是研究自动控制共同规律的技术科学,涉及受控对象、环境特征、控制目标和控制手段以及它们之间的相互作用,主要研究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,为建造高性能的自动控制系统提供必要的理论手段。

最早的自动控制技术的应用,可以追溯到公元前我国古代的自动计时器和漏壶指南车,而自动控制技术的广泛应用则开始于欧洲工业革命时期。1769年,英国人瓦特发明的用于控制蒸汽机转速的飞球离心调速器,被公认是首例最成功应用反馈调节器的自动控制装置。图 1-1 所示为瓦特发明的飞球离心调速器,当负载或蒸汽供给量发生变化时,驱动杆转速就发生变化,飞球离心调速器能够通过离心运动感应到转速的变化来自动调节进气阀门的开度,从而控制蒸汽机的转速。这种完全依靠机械的装置的工作过程是,调速器轴杆通过圆锥齿轮传动和皮带传动与蒸汽机的输出驱动杆连接在一起,当输出转速增大时,飞球由于离心运动而离开轴线,重心上移,于是通过连杆关小阀门,蒸汽机也就会因此减速。

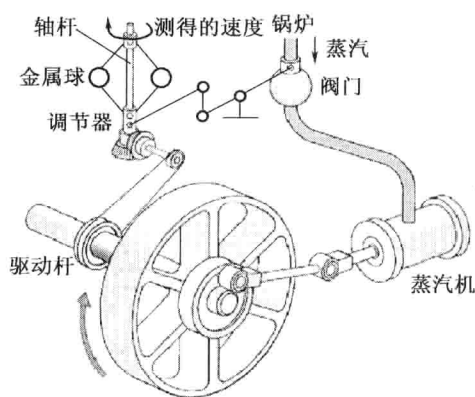


图 1-1 瓦特发明的飞球离心调速器

1868年,以飞球调速器为背景,英国物理学家麦克斯韦研究了反馈系统的稳定性问题,发表了“论调速器”论文。该论文的发表被公认为是自动控制理论的开端,随后,源于物理学和数学的自动控制原理开始逐步形成。1927年诞生的反馈放大器确立了“反馈”在自动控制技术中的核心地位,并且有关系统稳定性和性能品质分析的大量研究成

果也应运而生。

按照发展阶段,自动控制理论一般可分为古典控制理论、现代控制理论和智能控制理论。

古典控制理论也即一般所说的自动控制原理,它是从 20 世纪 20 年代到 40 年代形成的以时域法、根轨迹法和频率法为主要内容的一门独立学科,以传递函数为基础,主要研究单输入单输出、线性定常系统的分析和设计问题。

20 世纪 60 年代,飞速发展的航空航天技术和计算机技术催生了现代控制理论问世。它以状态空间模型为基础,主要研究具有高性能、高精度和多耦合回路的多变量系统的分析和设计问题。

从 20 世纪 70 年代开始,随着计算机技术的不断发展,出现了以模糊控制、神经网络控制以及专家系统等为代表的所谓智能控制理论。目前,控制理论还在继续发展,正朝向以控制论、信息论和仿生学为基础的智能控制理论深入。

1.2 自动控制的基本概念

1.2.1 自动控制的基本原理

自动控制的任務,是在没有人直接参与下,利用控制装置操纵被控对象,使被控量等于给定值。如果给定值以时间函数 $r(t)$ 表示,被控量以 $c(t)$ 表示,则应使被控对象满足

$$c(t) \approx r(t) \quad (1-1)$$

上式就是自动控制任务的数学表达式。

自动控制系统,是指能够完成自动控制任务的设备,主要由控制装置、测量装置、执行装置以及被控对象组成。控制装置如何操纵被控对象,以完成自动控制的任务呢?它与被控对象之间的联系有何特点呢?下面举例说明。

示例 1: 水位控制系统

图 1-2 是水位控制系统示意图,图中(a)为人工控制,(b)为自动控制。水位的高低

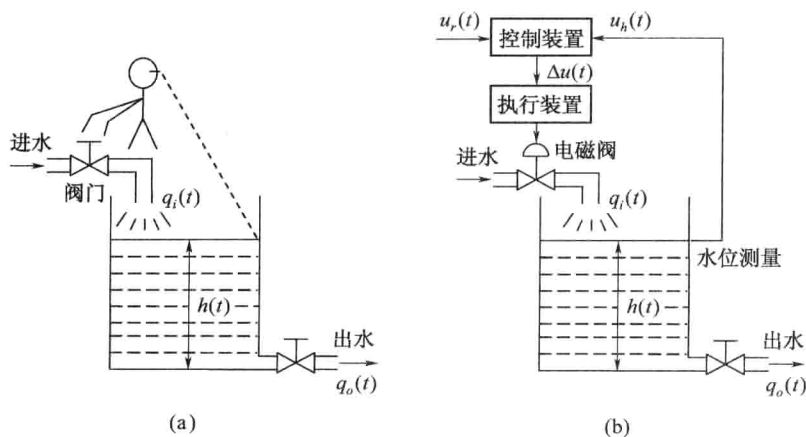


图 1-2 水位控制系统示意图

受到进水量 $q_i(t)$ 和出水量 $q_o(t)$ 的影响,调节进水阀门的开度,可以控制水位的高低。

控制任务:使水位高度 $h(t)$ 满足一定高度要求。

被控对象:水箱系统(含阀门)。

被控量:水位高度 $h(t)$ 。

人工控制的工作原理:图 1-2(a)所示为采用人工控制,靠人眼观察实际水位和要求水位的差值,用手不断调节阀门,以保持水箱内水位的高度满足要求。显然,这种人工控制的实时性和精度都难以满足要求。

水位人工控制系统的原理方框图如图 1-3 所示。

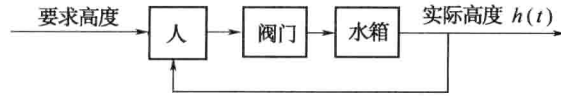


图 1-3 水位人工控制系统的原理方框图

自动控制的工作原理:图 1-2(b)所示为采用自动控制,水位高度的参考电压为 $u_r(t)$,水箱中的水位测量装置将水位高度 $h(t)$ 转换成电压 $u_h(t)$,控制装置输出控制信号 $\Delta u(t) = u_r(t) - u_h(t)$,经执行装置调节电磁阀控制进水量,从而控制水位高度。只要 $\Delta u(t) \neq 0$,系统就进行自动调节,直到水位的高度与要求高度相等为止,这就实现了水位的自动控制。这种自动控制可以节约人力成本,且控制的实时性和精度都比人工控制要好。

水位自动控制系统的原理方框图如图 1-4 所示。

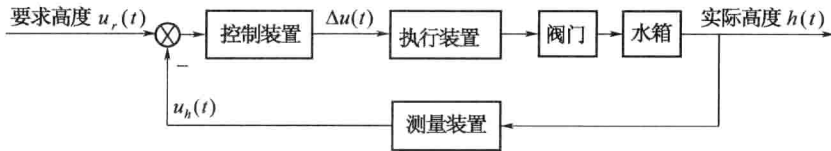


图 1-4 水位自动控制系统的原理方框图

示例 2: 飞机 - 自动驾驶仪系统

飞机自动驾驶仪是一种能保持或改变飞机飞行状态的自动装置。它可以稳定飞行的姿态、高度和航迹;可以操纵飞机爬高、下滑和转弯。飞机与自动驾驶仪组成的自动控制系统称为飞机 - 自动驾驶仪系统。

如同飞行员操纵飞机一样,自动驾驶仪控制飞机飞行是通过控制飞机的三个操纵面(升降舵、方向舵、副翼)的偏转,改变舵面的空气动力特性,以形成围绕飞机质心的旋转转矩,从而改变飞机的飞行姿态和轨迹。

现以比例式自动驾驶仪稳定飞机俯仰角为例进行分析,说明其工作原理。图 1-5 为飞机 - 自动驾驶仪系统稳定俯仰角的原理示意图。

控制任务:在任何扰动(如阵风或气流冲击)作用下,始终保持飞机以给定俯仰角飞行。

被控对象:飞机。

被控量:飞机的俯仰角 θ 。

控制装置:由给定装置、垂直陀螺仪、放大器、舵机、反馈电位器组成的自动驾驶仪起

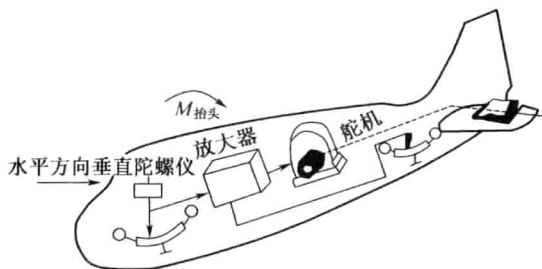


图 1-5 飞机 - 自动驾驶仪系统原理图

控制装置的作用。

工作原理：飞机的俯仰角用垂直陀螺仪测量。当飞机以给定俯仰角水平飞行时，陀螺仪电位器没有电压输出；如果飞机受到扰动，使俯仰角向下偏离期望值，陀螺仪电位器输出与俯仰角偏差成正比的信号，经放大器放大后驱动舵机，一方面推动升降舵面向上偏转，产生使飞机抬头的转矩，以减小俯仰角偏差；同时还带动反馈电位器滑臂，输出与舵偏角成正比的电压并反馈到输入端。随着俯仰角偏差的减小，陀螺仪电位器输出信号越来越小，舵偏角也随之减小，直到俯仰角回到期望值，这时，舵面也恢复到原来状态。

飞机自动驾驶仪稳定俯仰角控制系统的原理方框图如图 1-6 所示。

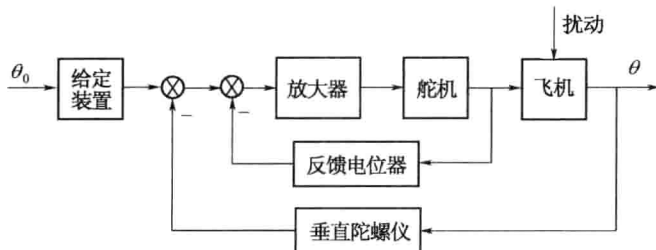


图 1-6 俯仰角控制系统原理方框图

通过上面示例的分析，我们要掌握以下几个方面的问题。

在分析自动控制系统时，它要完成什么样的控制任务？被控对象是什么？哪些物理参量要求控制（即被控量是什么）？控制装置、测量装置以及执行装置由哪些部件来承担？系统的给定值、干扰量是什么？如何判断反馈信号的极性（负反馈，还是正反馈）？掌握由系统的原理图画出系统的结构框图。

为了使自动控制系统能满足工程实际的需要，必须研究自动控制系统的结构和参数与系统性能之间的关系，这也是自动控制原理的主要任务。

1.2.2 控制系统的基本组成

自动控制系统根据具体功能和控制要求的不同，可以有不同的控制装置或不同的结构形式，但从工作原理来看，自动控制系统通常由一些具有不同职能的基本部分构成。图 1-7 所示是一个典型的自动控制系统的基本组成。

测量装置：其职能是检测被控制的物理量，如果这个物理量是非电量，一般要再转换

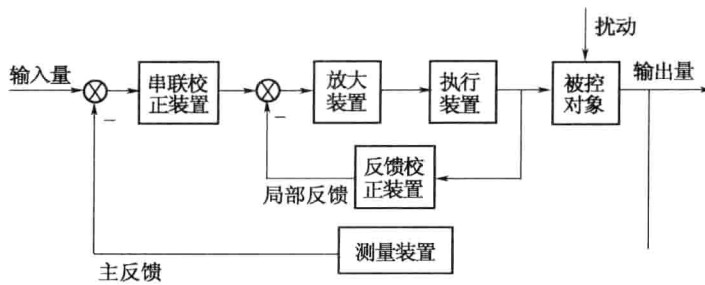


图 1-7 典型自动控制系统的基本组成

为电量。

比较装置：其职能是把测量装置检测的被控量实际值与给定装置给出的输入量进行比较，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、电桥电路等。

校正装置：又称控制装置或控制器，它是结构或参数便于调整的元部件，用串联或反馈的方式连接在系统中，以改善系统的性能。最简单的校正装置是由电阻、电容组成的无源或有源网络，复杂的则用电子计算机。

放大装置：其职能是将比较装置给出的偏差信号进行放大，用来推动执行装置去控制被控对象。电压偏差信号可用集成电路、晶闸管等组成的电压放大级和功率放大级加以放大。

执行装置：其职能是直接推动被控对象，使其被控量发生变化。用来作为执行元件的有阀、电动机、液压马达等。

被控对象：又称控制对象或受控对象，常指需要进行控制的工作机械装置、设备或生产过程，如加热炉、汽车和飞机等。

1.2.3 控制系统的基本控制方式

闭环控制是自动控制系统最基本的控制方式，也是应用最广泛的一种控制方式。除此之外，还有开环控制和复合控制，它们都有其各自的特点和不同的适用场合。近几十年来，以现代数学为基础，引入电子计算机的新的控制方式也有了很大发展，如最优控制、自适应控制、模糊控制等。

1. 开环控制

开环控制是指控制器与被控对象之间只有顺向作用而没有反向联系的控制过程，由开环控制组成的系统称为开环控制系统。其特点是系统的输出量不会对系统的控制作用发生影响。开环控制有两种基本方式，即按给定量控制的开环控制和按扰动控制的开环控制。

图 1-8(a) 所示为按给定量控制的开环控制，其控制作用直接由系统的输入量产生，给定一个输入量，就有一个输出量与之相对应，控制精度完全取决于所用的元件及校准的精度。这种开环控制方式结构简单、调整方便、成本低，但没有自动修正偏差的能力，抗扰动性较差，一般只能用于对控制精度要求不高的场合。

图 1-8(b) 所示为按扰动控制的开环控制，是利用可测量的扰动量，产生一种补偿作

用,以减小或抵消扰动对输出量的影响,这种控制方式也称顺馈控制。这种按扰动控制的开环控制方式是直接从扰动取得信息,并据以改变被控量,因此,其抗扰动性好,控制精度也较高,但它只适用于扰动是可测量的场合。

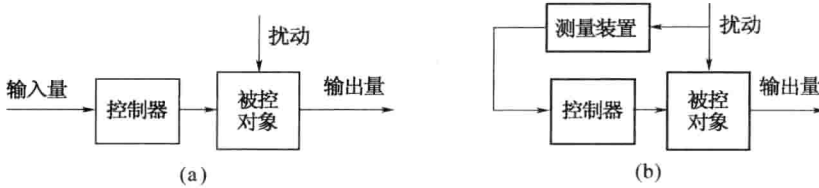


图 1-8 开环控制典型方框图

开环控制系统的主要优点:构造简单,容易维护;成本比相应的闭环控制系统低;一般不存在稳定性问题。主要缺点是无抗干扰能力,控制精度较低。因此,当输出量难以测量,或者出于成本考虑难以精确地测量输出量时,采用开环控制系统比较合适。例如,自动洗衣机一般采用开环控制系统,主要原因是要提供一种测量洗衣机输出品质,即衣服的清洁程度的装置,必将大大提高成本。

2. 闭环控制

闭环控制,又称反馈控制,是指控制器与被控对象之间既有顺向作用又有反向联系的控制过程,由闭环控制组成的系统称为闭环控制系统。闭环控制是一种重要的并被广泛应用的控制方式,自动控制理论主要的研究对象就是用这种控制方式组成的系统。图 1-9 所示为闭环控制典型方框图,其主要特点是:

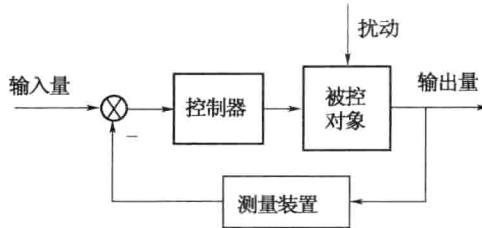


图 1-9 闭环控制典型方框图

(1) 按偏差进行控制,不论什么原因使被控量偏离期望值而出现偏差时,必定会产生一个相应的控制作用去减小或消除这个偏差,使被控量与期望值趋于一致。

(2) 具有抑制任何内、外扰动对被控量产生影响的能力,有较高的控制精度。

(3) 存在稳定性问题,如果系统元件参数配合不当,就会导致系统产生振荡,使系统不能正常工作。

(4) 使用元件多,结构复杂,特别是系统的性能分析和设计比较麻烦。

3. 复合控制

复合控制是开环控制和闭环控制相结合的一种控制方式。它在闭环控制回路的基础上,附加一个输入信号或扰动信号的顺馈通道,用来提高系统的控制精度。复合控制典型方框图如图 1-10 所示,图中(a)、(b)为两种不同的补偿器连接形式,即输入补偿和扰动补偿。复合控制的主要特点:具有很高的控制精度;可以抑制几乎所有的可测量扰动,其中包括低频强扰动;要求补偿器的参数有较高的稳定性。

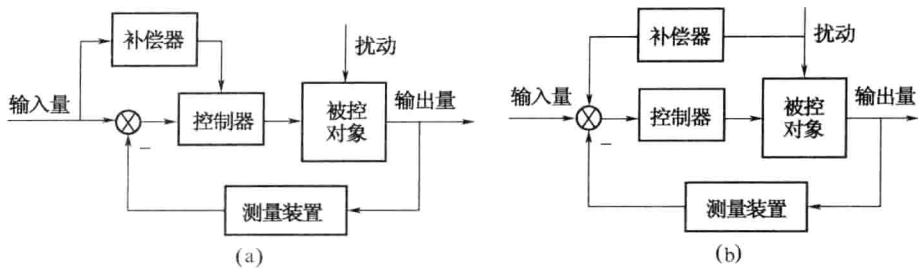


图 1-10 复合控制典型方框图

1.3 自动控制系统的分类

自动控制系统有多种分类方法。例如,按系统特性可分为线性系统和非线性系统、连续系统和离散系统、定常系统和时变系统、确定性系统和不确定性系统等;按输入量变化规律可分为恒值系统、随动系统和程序控制系统等;按控制方式可分为开环控制、反馈控制、复合控制等;按元件类型可分为机械系统、电气系统、机电系统、液压系统、气动系统、生物系统等;按系统功用可分为温度控制系统、压力控制系统、位置控制系统等。一般,为了全面反映自动控制系统的特性,常常将上述各种分类方法组合应用。

1.3.1 线性系统和非线性系统

1. 线性系统

若一个元件的输入与输出特性是线性的,则称该元件为线性元件,否则称为非线性元件。若一个系统中所有元件都是线性元件,系统的运动过程可用一个或一组线性微分方程来描述,则该系统称为线性系统。当线性微分方程的系数都是常数时,称为线性定常系统;当线性微分方程的系数随时间变化而变化时,称为线性时变系统。

线性系统的主要特点是具有齐次性和叠加性。线性定常系统的响应只与输入信号有关,与初始条件无关。

2. 非线性系统

若一个系统中有一个或一个以上非线性元件,则称为非线性系统。非线性系统的数学模型用非线性微分方程来描述,其特点是微分方程的系数与变量有关,或者方程中含有变量及其导数的高次幂或乘积项,例如:

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

非线性系统不具有叠加性。非线性系统的响应既与输入信号有关,也与初始条件有关。

严格地说,实际物理系统中都含有程度不同的非线性元件,如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。由于非线性方程在数学处理上较困难,目前对不同类型的非线性控制系统的研究还没有统一的方法。但对于非线性程度不太严重的元件,可采用在一定范围内线性化的方法,从而将非线性控制系统近似为线性控制系统。

1.3.2 连续系统和离散系统

1. 连续系统

若系统各部分的信号都是时间的连续函数,即信号的大小都是可以取值的模拟量,则称为连续系统。对于线性定常连续系统,按其输入量的变化规律不同又可分为恒值系统、随动系统和程序控制系统。

(1) 恒值系统。若系统的输入量一经整定好就保持恒值,而系统的控制任务就是克服扰动,使输出量保持恒值,此类系统称为恒值系统,也称为镇定系统,又称为调节器。例如,电动机速度控制、恒温、恒压、水位控制等就属于典型的恒值系统。在工业控制中,如果被控量是温度、流量、压力、液位等生产过程参量时,这种控制系统则称为过程控制系统,它们大多数都属于恒值系统。在恒值系统中,输入量可以随生产条件的变化而改变,但是,一经调整后,被控量就应与调整好的输入量保持一致。恒值系统的分析、设计重点就是研究各种扰动对被控对象的影响以及抗扰动的措施。

(2) 随动系统。若系统的输入量是预先未知的随时间任意变化的函数,系统的控制任务就是要求输出量以尽可能小的误差跟随输入量变化,此类系统称为随动系统,又称为跟踪系统。如火炮自动跟踪系统、轮舵位置控制系统等就属于典型的随动系统。在随动系统中,如果输出量是机械位置或其导数时,这类系统称为伺服系统。随动系统的分析、设计的重点就是研究输出量跟随的快速性和准确性。

(3) 程序控制系统。若系统的输入量是按预定规律随时间变化的函数,系统的控制任务就是要求输出量迅速、准确地加以复现,此类系统称为程序控制系统。例如数控伺服系统以及一些自动化生产线等就属于典型的程序控制系统。

程序控制系统和随动系统的输入量都是时间函数,不同之处在于前者是已知的时间函数,后者则是未知的任意时间函数,而恒值控制系统也可视为程序控制系统的特例。

2. 离散系统

若系统中有一处或多处信号为时间的离散函数,如脉冲或数字信号等,则称为离散系统。如一般的计算机控制系统就属于典型的离散系统。若离散系统中既有离散信号又有模拟量,则又称为采样系统。连续信号经过采样开关的采样就可以转换成离散信号。一般来说,在离散系统中既有连续的模拟信号,也有离散的数字信号,离散系统主要采用差分方程来描述。

1.4 对自动控制系统的基本要求

在控制过程中,一个理想的控制系统,始终要求控制系统的被控量跟随给定值的变化而变化,并希望被控量在任何时刻都等于给定值,两者之间没有误差存在。然而,由于实际系统中总是包含惯性或储能元件,同时由于能源功率的限制,使控制系统在受到外作用时,其被控量不可能立即变化,而有一个跟踪过程。通常把系统受到外作用后,被控量随时间变化的全过程,称为动态过程或过渡过程。尽管自动控制系统有不同的类型,对每个系统也都有不同的特殊要求,但是,对每一类系统的动态过程提出的共同基本要求都是一样的,可以归结为稳定性、快速性和准确性,即稳、准、快的要求。