

966253

TP13
2636

高等学校规划教材

出版
381页

自动控制原理

魏泽国 黄 章 唐景肃 王勉华 编



煤炭工业出版社

高等学校规划教材

自动控制原理

魏泽国 黄 章 唐景肃 王勉华 编

煤炭工业出版社

(京) 新登字042号

内 容 提 要

本书是高等学校工业电气自动化专业“自动控制原理”(经典部分)的教材,约80~100学时。全书共分八章,包括自动控制系统的基本概念,自动控制系统的数学模型,时域分析法,根轨迹法,频率分析法,自动控制系统的设计,非线性控制系统的分析和采样控制系统。本书亦可供从事有关自动控制和工业自动化工作的工程技术人员参考。

高 等 学 校 规 划 教 材

自 动 控 制 原 理

魏泽国 黄 章 唐景肃 王勉华 编

责任编辑:胡 玉 雁

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787×1092mm¹/₁₆ 印张 21¹/₄

字数 505 千字 印数 1--5,565

1993年3月第1版 1993年3月第1次印刷

ISBN 7-5020-0693-1/TD·638

书号 3462

定价 5.50元

前 言

1986年4月由煤炭工业出版社出版的《自动控制原理》是煤炭高校统编的第一轮教材,经过几年的使用,受到读者的欢迎,收到了良好的效果。由于该教材是80年代初期编写的,限于时间和经验,在使用中也发现一些不足和需要改进之处。因此中国统配煤矿总公司教育局教材编辑室决定重新编写该教材,并召集煤炭高校教师对编写大纲进行了详细深入的讨论。参加编写大纲讨论会的有中国矿业大学、阜新矿业学院、山东矿业学院、山西矿业学院、焦作矿业学院、淮南矿业学院、河北煤矿建筑学院和西安矿业学院等院校的有关控制理论的任课教师。

在这次编写过程中,充分考虑了与会教师对原教材提出的宝贵意见和建议,吸收了大家多年来在自动控制理论教学中所积累的经验和体会,在保证理论性和系统性的基础上,对控制理论中的重点、难点和易于混淆的内容加强了概念的阐述和不断完善理论层次。为了拓宽专业面,增加了液压等不同物理系统的示例。为了帮助读者进一步深入理解与运用基本理论,还扩充了一些例题和习题。

本书共分八章,其中第一章到第六章讨论线性控制系统的基本概念、基本分析和设计方法;第七章讨论非线性控制系统的分析;第八章讨论采样控制系统。本教材适用于高等院校自动控制原理在80~100学时的控制类有关专业。

本书第一、二、五章由魏泽国编写,第六、七章由黄章编写,第四、八章由唐景肃编写,第三章由王勉华编写,全书由魏泽国主编。初稿经作者会稿讨论,并经修改后定稿。此外,许军、张少军为本书做了一定的工作,在此一并表示感谢。

由于我们的水平和经验有限,在编写过程中仍然可能存在疏漏和欠妥之处,敬请指正。

编 者

1991. 10.

目 录

第一章 自动控制系统的基本概念	1
第一节 自动控制发展简史及本课程的基本内容	1
第二节 基本控制方式	3
第三节 自动控制系统的分类	7
第四节 自动控制系统的组成及术语	8
第五节 对自动控制系统的一般要求	9
习 题	10
第二章 自动控制系统的数学模型	12
第一节 引言	12
第二节 自动控制系统微分方程式的建立	12
第三节 非线性特性的线性化	19
第四节 拉普拉斯变换和传递函数	23
第五节 典型环节及其传递函数	31
第六节 控制系统的方框图及其等效变换	40
第七节 信号流图	48
习 题	54
第三章 时域分析法	58
第一节 引言	58
第二节 典型输入信号及暂态响应性能指标	58
第三节 一阶系统的时域分析	62
第四节 二阶系统的时域分析	64
第五节 高阶系统的单位阶跃响应	73
第六节 系统对任意参考输入信号的暂态响应	75
第七节 自动控制系统的稳定性	77
第八节 自动控制系统的稳态误差	86
习 题	96
第四章 根轨迹法	99
第一节 引言	99
第二节 根轨迹的概念	99
第三节 绘制根轨迹的规则	102
第四节 其它形式的根轨迹	113
第五节 增加开环极零点对根轨迹的影响	120
第六节 利用根轨迹分析系统的暂态响应性能指标	126
习 题	133
第五章 频域分析法	135
第一节 引言	135
第二节 频率特性	135

第三节	典型环节的频率特性	139
第四节	控制系统的频率特性	149
第五节	频率特性与稳定性的关系——奈魁斯特稳定判据	166
第六节	频率特性与稳态响应的关系	176
第七节	频率特性与暂态响应的关系	179
第八节	PID及速度负反馈控制系统的频域法分析	187
习 题		193
第六章	自动控制系统的设计	197
第一节	引言	197
第二节	校正装置	199
第三节	自动控制系统的频率法校正	212
第四节	自动控制系统的根轨迹法校正	229
习 题		237
第七章	非线性控制系统的分析	240
第一节	引言	240
第二节	描述函数的概念及常见非线性元件的描述函数	241
第三节	非线性控制系统的描述函数法分析	251
第四节	相平面的概念及相轨迹的作图方法	255
第五节	非线性控制系统的相平面法分析	268
习 题		276
第八章	采样控制系统	278
第一节	引言	278
第二节	采样过程及采样定理	281
第三节	信号恢复	285
第四节	z 变换	287
第五节	线性差分方程式的解	296
第六节	脉冲传递函数	299
第七节	采样控制系统的时域分析法	306
第八节	采样控制系统的根轨迹分析法和频率法分析	321
第九节	采样控制系统的设计	324
习 题		330
参考文献		332

第一章 自动控制系统的基本概念

第一节 自动控制发展简史及本课程的基本内容

有关自动控制系统的概念和术语将从本章第二节开始介绍,在介绍这些内容之前,首先简略介绍自动控制及自动控制理论(经典部分)的发展简史及本课程的基本内容。

一、自动控制发展简史

很早以前,人类就有关于创造和应用自动控制装置的思想,并且获得了许多成果。由于我国是世界上历史最悠久的文明古国之一,根据已有资料证实,我国是工业和技术中应用自动装置最早的国家。如我国古代东汉时期,著名天文学家张衡创造了世界上第一架自动天文仪(浑天仪)和世界上第一台地震方向测定仪;用现代的观点看,前者应用了补偿原理,以进行水位或流出水量的自动调节;后者是用了“小偏差稳定、大偏差不稳定”的原理和概念。又如三国时期的马钧、南朝时期的祖冲之、北宋时期的燕肃和吴德仁等研制或复制了指南车。根据今人鲍思贺推测,燕肃制成的指南车是应用了扰动补偿的原理来进行方向调节的。

随着产业革命时期的开始,能源的开发和动力的发展对自动控制提出了迫切要求,自动控制技术开始得到了巨大的发展,其中在工业中起重要作用的第一个自动调节装置是1784年瓦特(J. Watt)发明的蒸汽机中的飞球离心调节器*,它是利用飞球来保持蒸汽机的恒速运行,当蒸汽机转速增加时,飞球上升,使汽阀的开启度减小,反之,开启度增大,显然这是利用偏差原理工作的。但后来发现这种速度调节器并不完善,在某些情况下容易产生振荡,这就提出了自动控制系统的稳定性问题。1868年,马克斯威尔(J. C. Maxwell)从描述系统微分方程的解中是否有增长指数函数项解释了这种不稳定现象,并提出了一种判别低阶系统稳定性的代数判据。1877年,英国学者劳斯(Routh)发表了一种判别系统运动稳定性的判据,1895年,瑞士数学家胡尔维茨(Hurwitz)也提出了另一种判别系统运动稳定性的方法,这就是至今在经典控制理论中广为应用的代数稳定判据。它们可以判别高阶线性定常系统的稳定性。直到1940年以前,对自动控制系统的设计,主要是解决系统的稳定性和稳态精度,而对暂态响应的要求则放在次要地位。

在第一、二次世界大战期间,由于军事和军事工业中伺服机械的发展,进一步要求提高控制系统跟踪、定位及补偿能力,特别在第二次世界大战期间,为了设计和建造自动飞机驾驶仪、火炮定位系统、雷达跟踪系统等,这更推动了控制理论的进一步发展,同时发现,设计这些系统的理论有的已经在通信工程领域得到了应用和发展,如美国学者伯莱克(H. S. Black)于1927年创建的反馈放大器理论;美国学者奈魁斯特(H. Nyquist)于1932年提出的频率响应理论;1938年美国伯德(H. W. Bode)提出了奈魁斯特稳定判据的对数形式,他又于1945年发表了用图解法分析和综合线性控制系统的方法,这就构成了自动控制理论中的频率法或称频域法。同时,美国学者伊万斯(W. R. Evans)于1948

* 其原理图见本章图1-13a所示。

年创立了根轨迹法,对用微分方程研究系统提供了一个简单有效的方法,该法不但对频率法的补充,而且在某些情况下,它比频率法更简便和直观。至此,控制理论发展的第一阶段基本完成,并且形成了以频率法和根轨迹法为基础的经典控制理论。

1948年,美国数学家维纳(N. Wiener)首创“控制论”(Cybernetics),他不但指出控制工程和通信工程的密切关系,强调了信息与反馈的普遍意义,还预言控制论不仅可用于物理系统,而且可以推广到生物系统、经济领域和社会过程中去。实际上,维纳的推论和预言正在得到证实。控制理论不但得到了更大的发展。现在已经跨入了现代控制理论阶段(关于现代控制理论的发展简史这里从略)。特别在进入20世纪以来,科学技术的发展突飞猛进,相对论、量子力学和控制论被认为是20世纪上半叶科学技术的三大成果或三大飞跃,连同20世纪下半叶迅速发展起来的微电子技术、计算机技术以及现代控制理论及应用等,它们对科学技术和生产力的发展起了巨大的作用。

从那一时期开始,为了适应控制理论、新技术发展和应用的需要,许多国家相继成立了有关自动控制方面的研究所。高等学校也相继开设了相应的课程,苏联列宁格勒工业大学和莫斯科动力学院分别于1930年和1932年开设了“自动调节理论”和“电机自动调节理论”课程;美国麻省理工学院于1947年开设了“伺服机件原理”;我国交通大学也于1950年开设了“伺服机件原理”课程。从1953年开始,我国一些主要高等工业学校都相继建立了工业企业电气化专业和自动控制专业。至今,不但这些专业早已将自动控制理论定为必修的重要课程,许多非控制类和非电类专业也把自动控制理论列为必修课之一。

自动控制理论是一门涉及范围十分广泛的学科,它不但包含比较丰富的科学技术知识,而且力图揭示各种被控对象、被控过程内在运动的基本规律和系统分析、设计的普遍原理,使人们掌握研究复杂控制问题的一般方法和手段。它的许多成果在理论和应用上都有重要的科学技术和工程实际意义,实际上,自动控制理论和自动化生产的发展水平已经成为衡量一个国家先进程度的重要标志。

自动控制理论分为经典控制理论和现代控制理论两部分:经典控制理论主要指从19世纪中叶马克斯威尔对瓦特的蒸汽机速度调节器稳定性解析开始,到50年代所建立起来的单变量线性反馈控制理论,它是以传递函数描述为基础,以根轨迹法和频率法为研究手段,并主要适用于最小相位系统;而现代控制理论则是从50年代末开始,由于被控对象的复杂化和多样化的演变,以及计算机迅速发展的推动而建立起来的以状态空间描述为基础,以状态空间法为研究手段的多变量控制理论,并能实现一定意义下的最优控制。它们各有特点,各有所长,互为补充,但它们却不能完全互相取代。本书只讨论经典控制理论的内容。

二、本课程的基本内容

自动控制是一门重要的技术基本课程,其基本内容可分为两大方面:一是系统的分析;二是系统的设计。所谓系统的分析,是在已知系统结构和参数情况下,确定系统的稳态和动态性能以及分析系统的抗干扰能力。所谓系统的设计,是按照给定的控制任务,设计一个满足稳态和动态性能要求以及抗干扰性能要求的控制系统,并确定其结构和参数。

对于线性定常系统,分析的方法通常有三种:一是建立在微分方程式基础上的时域分析法,此法物理概念直观,分析计算准确,但对于高阶系统往往是复杂的,特别不容易确定参数变化对系统性能的影响,此法在第三章介绍。二是建立在传递函数基础上的根轨迹法,它是图解解析法,可以比较方便地分析高阶系统的性能,而且能够直观看出系统某一

参数（或两个参数）变化对系统性能的影响，不过准确度比时域法低，但完全可以满足工程需要，此法在第四章介绍。三是建立在频率特性基础上的频域分析法，它也是图解解析法。其突出优点是容易确定高阶系统静态和动态性能，易于确定系统结构和参数变化对系统性能的影响，可以用实验法建立元件或系统的频率特性，对于建立数学模型较困难的系统提供了研究方法。此法所得结果通常也是近似的，但也完全可以满足工程要求，所以应用极为广泛，在第五章介绍。

以上三法可以互相补充和印证，它们之间可以通过微分方程、拉氏变换、富氏变换联系和转换。

线性定常系统的设计通常有两种方法：一是基于频率特性的设计方法；二是基于根轨迹法的设计方法，这些方法都将在本书第六章介绍。

此外，对于非线性控制系统和采样控制系统均将重点放在分析方面，并将分别在第七章和第八章讨论。第一章和第二章分别介绍一些有关自动控制系统的基本概念和自动控制系统的数学模型。

第二节 基本控制方式

在工矿企业生产过程中，为了保证生产的安全性、经济性和产品及生产过程的质量，需要对生产设备或工艺过程进行控制，以使被控制的物理量按要求的规律变化。我们将被控制的设备或过程称为被控对象或被控过程；将被控制的物理量称为被控量；被控量要求的变化规律称为期望值、给定值或输入量。例如加热炉的炉温控制系统中的加热炉为被控对象，炉温是被控量，要求炉温的变化规律是期望值或给定值。但在实际运行中，被控量总是要受到各种因素的影响而偏离期望值，我们将所有使被控量偏离期望值的因素称为干扰或扰动。为了克服干扰的不良影响，需要对被控量加以控制，以使其按要求的规律变化。如果控制作用是人工加入的称为人工控制；如果用电气或机械等装置代替人的控制作用称为自动控制。所以，自动控制就是在没有人经常地直接参与下，利用控制装置使被控对象中的某物理量自动按预定规律变化。例如要求电力网的电压恒定不变、要求矿井提升机按照给定速度图运行、要求采煤机自动维持功率恒定以及要求火炮自动瞄准目标、无人驾驶飞机自动按预定航道飞行等都需要自动控制。若把为完成一定任务的一些部件按一定规律组合成一有机的整体称为系统，则能对被控对象的工作状态进行自动控制的系统可称为自动控制系统，它一般是由控制装置（控制器）和被控对象两大部分组成。

自动控制系统有两种最基本的组成方式，即开环控制和闭环控制方式。

一、开环控制

在控制器和被控对象之间，只有输入量对输出量的控制作用，没有输出量的反作用，称为开环控制，其示意框图如图1-1a所示。

为了进一步了解开环控制的特点，以图1-2a晶闸管供电直流电动机调速系统来说明。其中 u_r 为系统的输入量，电动机的转速为系统的输出量。输入量 u_r 控制着脉冲发生器的脉冲位置，以改变三相全控桥的输出整流电势 e_{da} ，从而改变电动机的转速即系统的输出量 n ，其示意框图如图1-2b所示。当适当改变 u_r 时，可以改变输出 n 为任意期望值。但由于环境和负载等干扰的影响，使被控量 n 将偏离原来的期望值，特别是负载变化的干扰影响最为明显，当负载增大时，转速下降，因此，这是一个不精确的控制系统。开环控制系统

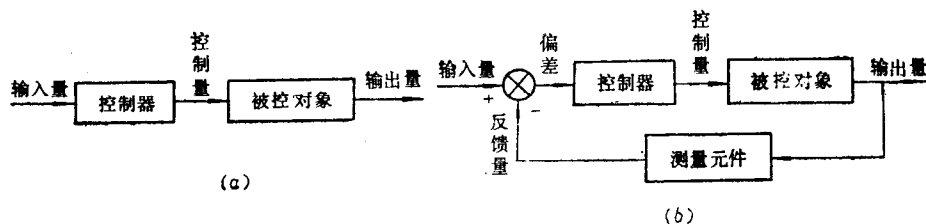


图 1-1 开环控制和闭环控制

a—开环控制；b—闭环控制

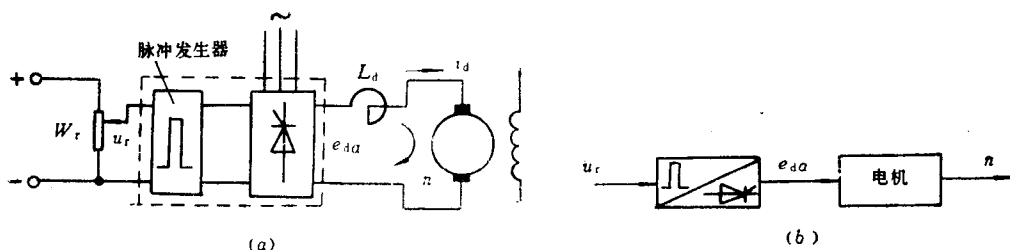


图 1-2 开环控制的例子

a—晶闸管供电直流电动机调速系统开环控制原理图；b—晶闸管供电直流电动机调速系统开环控制示意方框图

的控制精度取决于组成系统元器件的精度和特性调整的精度。它对可能出现的被控量偏离给定值的偏差没有任何修正能力，因此其抗干扰能力较差，控制精度不高，常用在要求不高的场合。

二、闭环控制

在控制器和被控对象之间，既有控制量对输出量的控制作用，又有输出量对控制量的反作用称为闭环控制，如图1-1b所示。

对图1-2a所示的系统，如果要求在有干扰的情况下也能维持输出量转速恒定，可以通过人控制电位器 W_r ，改变输入电压 u_r ，形成人工闭环控制，如图1-3所示。显然人工闭环控制不可能满足快速性和高精度的要求，为此需要用一些装置或元件代替人的作用，如在图1-2a的基础上装测速发电机（见图1-4），将其输出电压分压后的 u_b 与希望值（给定电压） u_r 反向联接（比较），其误差 $e = u_r - u_b$ 加到为提高控制精度而引入的放大器的输入端，放大器的输出量即为控制量 u_k 。这样，人工闭环控制系统就变成了自动控制系统，如图1-4所示。

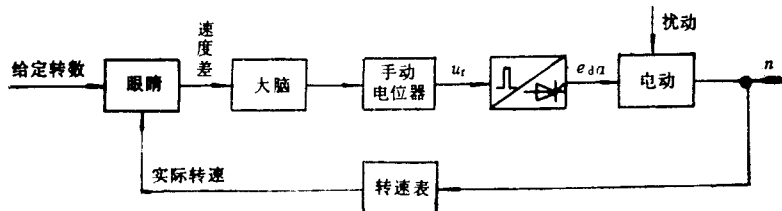


图 1-3 人工闭环控制系统示意图

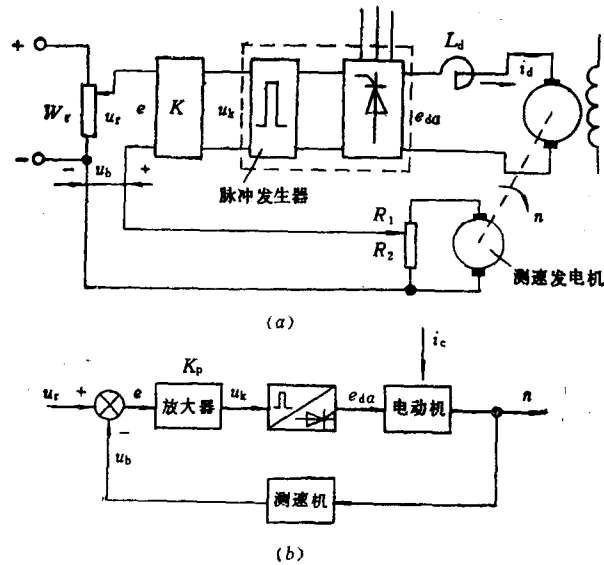


图 1-4 晶闸管直流电动机调速闭环控制系统

a—晶闸管直流电动机闭环控制系统；b—晶闸管直流电动机闭环控制系统示意方框图

在闭环控制系统中，通常把输出量引回到输入端并与输入量进行比较的过程称为反馈，反馈信号与输入信号符号相反称为负反馈；符号相同称为正反馈。在自动控制系统中通常采用负反馈。从输入端到输出端的信号传递通道称为前向（正向、顺向）通道；从输出端引回到输入端的信号传递通道称为反向（反馈、逆向）通道。符号“⊗”为比较环节，比较环节的输出是输入量 u_r 与反馈量 u_b 之差，通常 u_r 取“+”， u_b 取“-”，表示负反馈。具有负反馈的闭环控制系统称为自动控制系统。

开环控制与闭环控制的基本区别在于闭环控制具有反馈控制，反馈控制是自动控制的基本控制规律。它的特点是具有自动修正被控量偏离给定值的能力，因此可以抑制内部和外部干扰所引起的误差，具有较强的抗干扰能力。同时，在组成系统的元、器件的精度不高的情况下，采用反馈控制也可以达到较高的控制精度，所以应用很广。但正是由于引入了反馈作用，系统容易产生振荡甚至不稳定，使系统无法工作，这是闭环控制系统中非常突出的现象，也是本课程要解决的主要问题之一。

三、复合控制

在有些情况下，将开环控制和闭环控制结合起来构成复合控制，往往能取得更好的效果。因为补偿扰动所产生的影响，并非只有采取反馈控制一种方法。当扰动是可以测量时，利用前馈控制也是消除干扰对系统影响的有效方法，而且，它可以在扰动产生不利影响以前就产生补偿作用；而在闭环控制中，只有当输出受到影响后才能产生补偿作用，因此前馈控制有其突出的优点。

前馈控制的概念可以用图1-5说明，它是在图1-4b中引入前馈控制器组成的。前馈控制器用来测量扰动量，并产生控制作用加在系统的输入端，用于补偿扰动对输出的不良影响。但是由于前馈控制是开环控制，受到系统结构精度的限制，所以在一般情况下，不能补偿未被测量的扰动量的影响。因此在前馈控制系统中仍然保留反馈回路，如图1-5所示。

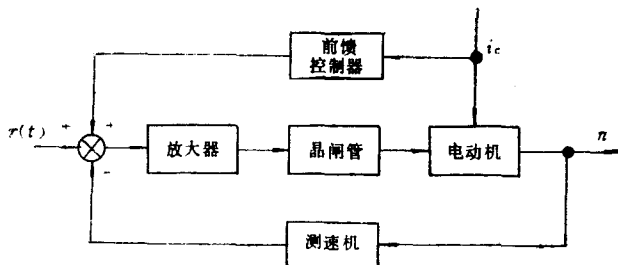


图 1-5 按扰动输入的前馈控制之复合控制系统

它实际上是既有反馈控制又有前馈控制的复合控制系统。此外，为了提高控制精度，还可采用按参考输入前馈控制的复合控制系统，见图3-23a所示。

四、自动控制系统举例

为理解和掌握反馈控制是一种基本的控制规律，再列举两例说明。

图1-6a是一贮槽液面自动控制系统，其中 V_1 为液体流入阀； V_2 是液体流出阀。要求在流过 V_2 的液体流量 q_c 变化时也能保持液面高度 h 不变并等于期望值 h_0 。这是一个恒值控制系统的例子，显然采用开环控制是不能满足要求的。闭环控制的原理图如图1-6a所示，浮子电位器测量液面的实际高度 h ，其值通过浮子电位器滑动触头电压 u_h 表示，它与反映期望高度 h_0 的电压 u_{h0} 进行比较，如果两者不等，说明液面高度 h 不是期望值，此差值即为放大器的输入信号。该信号经放大后驱动电动机，改变 V_1 阀的开启度，调节液体流入量 q_r ，使液面回到期望值，示意方框图如图1-6b所示。显然，这这也是一个负反馈控制系统。

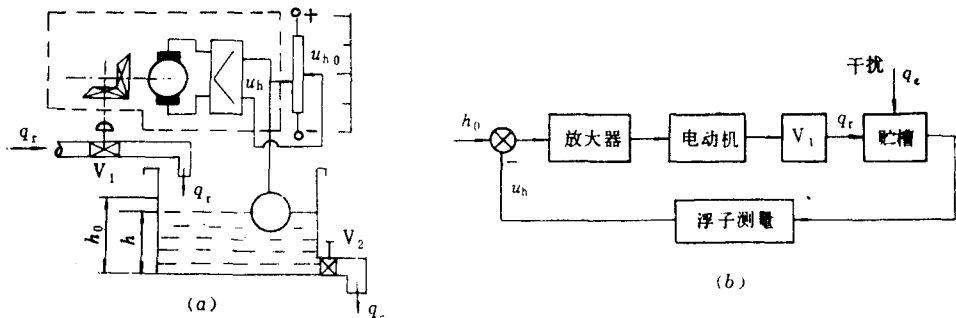


图 1-6 贮槽液面自动控制系统

a—原理图；b—示意框图

图1-7a是一个位置控制系统的例子，其输入量为 θ_i ，输出量为 θ_c 。将输入信号通过一个旋转电位器产生变动的电压，其值与给定位置 θ_i 角度相对应。执行电动机通过齿轮带动负载（假设是导弹发射架）旋转，负载旋转的角度即为系统的输出量 θ_c 。反馈量的检测与变换也是一个旋转的电位器，它可以将输出角度 θ_c 变成相应的电压值，比较环节是电桥电路。当 θ_i 与 θ_c 不等时，说明输出的位置不等于期望的位置，其偏差所对应的电压 e 即为放大器的输入量，经放大后的输出量驱动电动机并使其迅速转动，以减小和消除误差，直至

θ_r 等于 θ_c 系统才静止下来。

该系统是在给定量 θ_r 任意变化时, 要求输出量 θ_c 能够迅速、准确地跟随输入量变化, 这样的系统称为随动系统, 其方框图如图1-7b所示, 这也是一个负反馈控制系统。

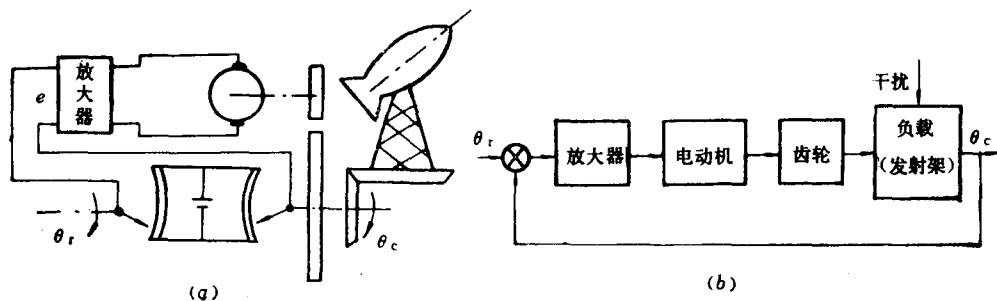


图 1-7 随动控制系统

a—原理图, b—示意框图

第三节 自动控制系统的分类

随着科学技术的不断发展和工农业生产的需要, 自动控制系统发展很快, 类型很多, 并日益复杂和完善。对它们的分类通常是根据不同的观点进行的, 目前常用的分类方法有:

一、线性控制系统和非线性控制系统

按描述系统的数学模型可分为:

1. 线性控制系统

当组成系统的元件的特性都是线性的, 其输入输出关系能用线性微分方程描述的系统称为线性控制系统或线性系统。线性系统可以使用叠加原理。当线性微分方程的系数均为常数时称为线性定常系统或线性时不变系统; 当微分方程的系数是时间的函数称为线性非定常系统或线性时变系统。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. 非线性控制系统

严格地讲, 实际的物理系统中不存在线性系统, 总是或多或少存在着不同程度的非线性特性。为研究问题方便, 当非线性特性不显著或者系统非线性特性区域的工作范围不大, 可将其视为线性的; 或将它们线性化, 然后按线性系统处理。将可以线性化的元件称为非本质非线性特性元件; 将不能线性化的元件称为本质非线性特性元件。系统中只要包含一个本质非线性特性元件, 系统的性能即由非线性微分方程描述, 用这种非线性微分方程描述的系统称为非线性控制系统或称非线性系统。在非线性的系统中, 不能使用叠加原理。非线性微分方程式的求解尚无完整统一的方法, 非线性微分方程的响应既与输入量有关, 也与初始条件有关。

典型本质非线性特性简称非线性特性, 如图1-8所示, 其中 a 是饱和非线性; b 是死区非线性; c 是间隙非线性; d 是继电非线性。

二、连续时间系统与离散时间系统

按系统传递信号的性质可分为:

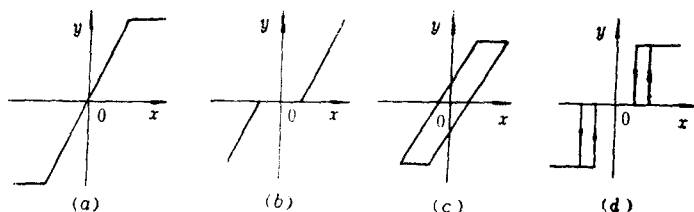


图 1-8 几种非线性特性

1. 连续时间系统

当系统各部分的信号都是连续函数形式的模拟量时，称为连续时间系统或称连续数据系统，简称连续系统。连续系统的性能用微分方程描述，以上举的例子都是连续系统的例子。

2. 离散时间系统

当系统各部分的信号均以脉冲序列或数码的形式传递，称为离散时间系统或离散数据系统，简称离散系统。

离散系统是一个总称，如果系统中使用了采样开关，将连续函数形式的信号转变为离散脉冲序列形式的信号进行控制，这样的系统通常称为采样控制系统或脉冲控制系统。如果使用了数字计算机或数字控制器，离散信号以数码形式传递，这样的系统称为采样数字控制系统，简称数字控制系统。

离散系统的性能用差分方程描述，如果差分方程是线性的称为线性离散系统，如果差分方程为非线性的称为非线性离散系统。

三、随动控制系统和恒值控制系统

按系统输入信号变化规律的不同可分为：

1. 随动控制系统

当系统的输入量变化频繁，且要求系统的输出量以一定的精度跟随输入量变化，这样的系统称为随动系统或跟踪系统，随动系统也称伺服系统。

2. 恒值控制系统

当系统的输入量保持恒定或只随时间做缓慢变化，要求系统具有很好的抗干扰能力以使输出量维持恒定或随时间做缓慢变化，这样的系统称为恒值控制系统或自动调节系统。

此外，分类方法还有：按有无误差分类：有静差系统和无静差系统；按系统功能分类：温度控制系统、位置控制系统等；按系统元件的类型分类：机电系统、液压系统、气动系统、生物系统等；按系统输入输出信号的数量分类：单输入单输出系统和多输入多输出系统，等等。

第四节 自动控制系统的组成及术语

根据不同的被控对象或不同的生产过程，利用相应的控制装置或元件可组成控制不同物理量的自动控制系统。它们虽然种类繁多（如有电、机、液、气、热等等），但都是采用负反馈的基本结构，因此不论哪一种自动控制系统，一般都可以把组成系统的元件按功能分为以下几种形式，并且有如图1-9所示的典型示意方框图，其中的术语及定义如下：

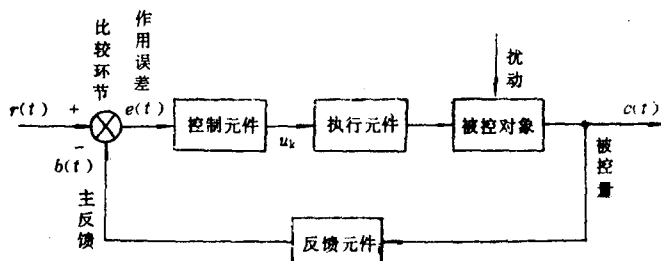


图 1-9 典型自动控制系统的方框图

参考输入 $r(t)$ (简称输入 r) 输入到控制系统的主令信号。

主反馈 $b(t)$ (简称反馈 b) 与输出量成正比或成某种函数关系，量纲与参考输入信号相同的信号。

作用误差 $e(t)$ (简称误差或偏差 e) 是参考输入与主反馈之差的信号。

控制元件 (或称控制器) 接受偏差信号，并对偏差信号进行运算和转换产生所需要的控制量 u_k 。

控制量 u_k 来自控制器，作用到 (广义) 被控对象的信号。

执行元件 实际工程中，需要加入适当的元件才能作用到被控对象，并使其完成预定的任务，该元件称为执行元件。如图1-4中触发整流器就是一个执行元件，只有通过它才能使电动机运行并完成预定任务。

扰动或干扰 除控制信号外，对系统输出量产生影响的其它因素都叫扰动或干扰。

被控对象 (简称对象) 被控制的设备或过程，它能完成预定的动作和任务。

被控量 (或称系统输出 $c(t)$ ，简称输出 c) 是被控制的物理量。

反馈元件 将被控量 (输出) 转换为主反馈量的装置，它可以对被控量进行测量并转换成能与输入信号进行比较的量纲和数值，所以反馈元件也称测量元件。

比较环节 (见图1-9中所示) (相当于误差检测器) 它的输出等于输入和反馈信号之差，箭头有 “+” 号为加，“-” 号为减。

通常将执行元件 (有时也包括反馈元件) 包含在被控对象之内，这时的被控对象是广义被控对象，相应的框图如图1-1b所示。

第五节 对自动控制系统的一般要求

只有自动控制系统的性能满足一定要求时，它才能完成预定的任务。虽然不同的控制系统由于被控对象、工作方式以及要求完成的预定任务不同，使其对控制系统性能的要求也不一样。但通常有三个要求，即稳定性、动态性能和控制精度。

1. 稳定性

当自动控制系统的输入量和扰动量都恒定不变时，被控量也恒定不变，这种状态称为平衡状态或静态、稳态。当输入量和扰动量发生变化时，反馈量与输入量之间将产生新的误差，在该误差的作用下通过控制使被控量或者恢复到原来数值，或者达到新的平衡。由于系统总是存在着惯性，需经一定过程才能达到新的平衡状态。系统从一个平衡状态到另一个平衡状态的过渡过程称为动态过程或暂态过程。动态过程的形式不但与系统的结构和

原
书
缺
页

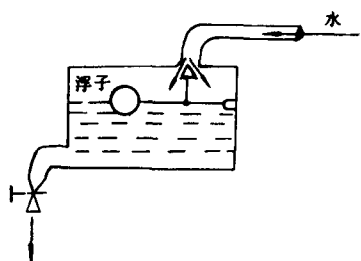


图 1-11 水位控制系统

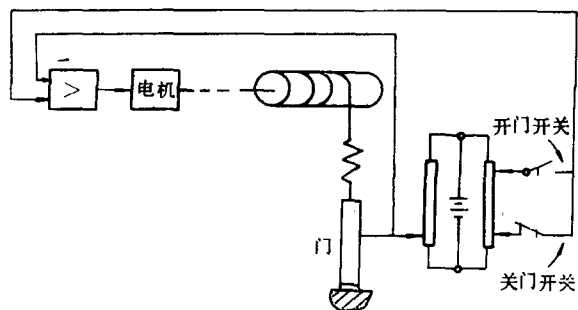


图 1-12 仓库大门自动控制系统

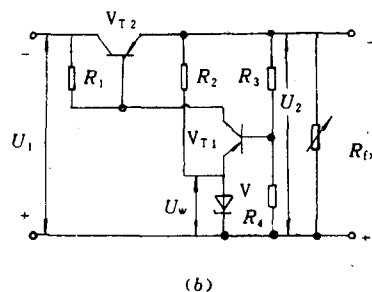
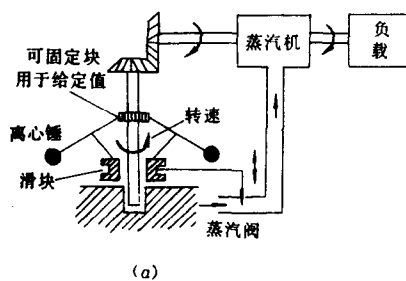


图 1-13 自动控制系统

a—离心式蒸汽机速度调节系统, *b*—晶体管稳压电源

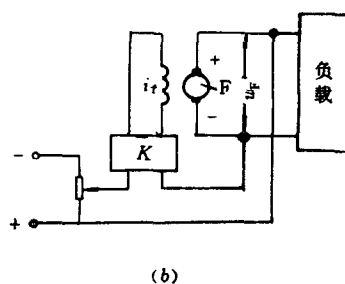
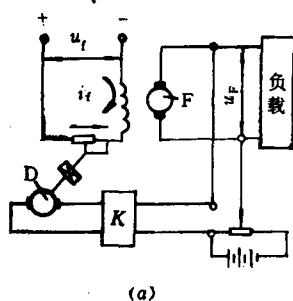


图 1-14 自动调压系统