

高等学校试用教材

自动控制理论

上册

华中工学院蔡尚峰 主编

机械工业出版社

822

3

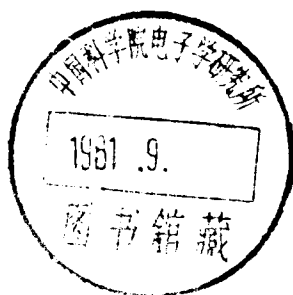
73.822
843

高等学校试用教材

自动控制理论

上册

华中工学院蔡尚峰 主编



机械工业出版社

1109557

0410/32

自动控制理论

(上册)

华中工学院蔡尚峰 主编

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 · 新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 · 印张 $21\frac{1}{4}$ · 字数 516 千字

1980年 8 月北京第一版 · 1981年 5 月北京第二次印刷

印数 18,201—31,200 · 定价 2.20 元

*

统一书号: 15033 · 4888

前 言

本书是根据一九七八年四月一机部在天津召开的高等学校一机部对口专业座谈会确定的教学计划及工业电气自动化专业教材会议上制订的自动控制理论课程教材编写大纲和工业自动化仪表专业教材会议关于本书编写的讨论意见编写的。

本书分上下两册，共十章和两个附录。上册包括第一章至第六章，下册包括第七章至第十章和两个附录。

全书内容包括：线性连续系统、数字-采样系统、非线性系统和最优控制系统等的基本理论及其分析综合方法以及自适应系统的简单介绍。以经典理论为重点，同时对现代控制理论也作了相应的叙述。

本书第一章阐述自动控制系统的概念及其组成以及对系统的要求等。第二章至第七章主要围绕对系统的要求为中心，阐述如何分析和综合线性连续系统。其中，第二章是数学模型及其建立，第三章是系统分析的基本内容和基本方法，第四章至第六章则是各种具体方法，第七章是系统的综合。第八章和第九章则是非线性系统和数字-采样系统，每章均有一定的独立性；既有数学模型的建立，又有系统的分析和综合。第十章是最优控制和自适应系统。每章后面，附有一定数量的习题。

本书编写过程中，力求围绕中心、主干分明、重点突出、由浅入深、联系实际。现代控制理论，作为研究控制系统的一种理论和方法，除了在第六章和第十章集中讲述外，在本书第二、三、七、八、九章中，它和经典理论一起同时讲述，以使读者便于理解现代控制理论和经典理论在研究控制系统中的不同性和联系性，同时便于达到难度适当分散、联系实际的目的。有“*”的章节及例题，各校可根据情况选用。

本书可作为高等院校工业电气自动化专业、工业自动化仪表专业等的试用教材，也可供科研单位、企业工程技术人员参考。

本书由华中工学院蔡尚峰同志主编。参加编写的有李少慧同志（第六章和附录二），王离九同志（第四、五章和第七章的第一至第五节），其他各章由蔡尚峰同志编写。

参加本书编写工作的还有秦忆和蔡乃伦同志。

本书上册，由天津大学卞继仁同志主审，并提了许多宝贵意见。借此表示衷心的感谢。由于编写者水平有限，编写时间仓促，书中肯定存在缺点和错误，希望读者批评指正。

一九七九年九月

目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 自动控制和自动控制系统	1
一、自动控制和自动控制系统	1
二、开环控制系统与闭环控制系统	2
§ 1-2 自动控制系统的类型	4
一、线性系统与非线性系统	5
二、连续系统与离散系统	7
三、确定系统与不确定系统	8
四、单输入单输出系统与多输入多输出系统	9
§ 1-3 对自动控制系统的要求	10
一、对系统的要求	10
二、典型输入信号	10
三、系统的性能指标	13
§ 1-4 本课程的基本任务	15
习题	16
参考资料	17
第二章 系统的数学模型	18
§ 2-1 数学模型	18
§ 2-2 系统微分方程式的建立	19
§ 2-3 线性化	28
一、非线性数学模型的线性化	29
二、反馈控制系统线性化微分方程式的建立	35
§ 2-4 传递函数	37
一、定义	37
二、零点、极点和传递系数	38
§ 2-5 典型环节及其传递函数	41
一、比例环节	41
二、惯性环节	41
三、积分环节	42
四、微分环节	43
五、振荡环节	45
六、延滞环节	45
§ 2-6 系统的结构图和传递函数	47
一、系统的结构图	47
二、环节连接组合的基本形式	48
三、结构图的变换和简化	49

§ 2-7 多输入多输出系统的结构图和传递矩阵	52
一、传递矩阵	52
二、闭环系统的传递矩阵	55
§ 2-8 信号流图	55
一、信号流图及其构造	55
二、几个定义	57
三、信号流图的简化法则	58
四、梅逊增益公式	61
五、已知系统结构图时,梅逊公式的应用	64
§ 2-9 状态变量表达式	66
一、状态变量表达式及其建立	66
二、举例	70
三、状态变量的非唯一性	72
§ 2-10 状态变量表达式和传递函数(或矩阵)	74
一、由状态变量表达式求传递矩阵	74
二、传递矩阵的不变性	75
三、两个系统联接后的状态变量表达式和传递矩阵	76
§ 2-11 由传递函数求状态变量表达式	78
一、单输入单输出系统传递函数的实现	78
二、多输入多输出系统传递矩阵的实现	81
习题	83
参考资料	86
第三章 系统分析	87
§ 3-1 稳态误差	87
一、稳态误差	87
二、稳态误差计算	88
三、主扰动输入引起的稳态误差	91
四、系统静特性变化引起的误差	92
五、关于降低稳态误差问题	92
§ 3-2 稳定性	95
一、稳定性的基本概念	95
二、略普诺夫对稳定性的定义	96
三、线性系统的稳定性	97
四、实际系统按线性化模型判别稳定性问题——略普诺夫第一法	98
五、判别系统稳定性的基本方法	100
§ 3-3 劳斯-赫尔维茨判据	100
一、系统稳定性的初步鉴别	100
二、劳斯判据	101
三、稳定裕量的检验	104
四、应用劳斯判据分析系统参数对稳定性的影响	105
五、应用劳斯判据鉴别延滞系统的稳定性	106
六、赫尔维茨判据	107

§ 3-4 瞬态质量	110
§ 3-5 二阶系统的瞬态质量分析	111
一、二阶系统的阶跃响应	112
二、二阶系统的瞬态响应性能指标	114
三、二阶系统的脉冲响应	117
四、线性定常系统的重要特性	117
五、二阶系统的稳态误差、瞬态性能各指标之间的矛盾	119
§ 3-6 高阶系统的瞬态质量分析	120
一、高阶系统的阶跃响应	120
二、高阶系统的近似分析	121
§ 3-7 卷积积分	121
一、卷积积分	121
二、卷积积分的简单性质	123
§ 3-8 系统的模拟技术	125
一、模拟的含意	125
二、模拟的使用方式	126
三、模拟的类别	126
§ 3-9 电子模拟计算机及其在控制系统研究中的应用	127
一、电子模拟计算机	127
二、电子模拟计算机在控制系统研究中的应用	128
§ 3-10 应用数字计算机求解	135
习题	138
参考资料	140
第四章 根轨迹法	142
§ 4-1 概述	142
§ 4-2 绘制根轨迹的基本条件	142
§ 4-3 以 K_1 为参变量的根轨迹的绘制	145
§ 4-4 以非 K_1 为参变量的根轨迹的绘制	165
§ 4-5 增加开环零、极点对根轨迹的影响	167
一、增加零点的影响	167
二、增加极点的影响	169
§ 4-6 几个参变量的根轨迹族	171
§ 4-7 用计算机绘根轨迹图	173
习题	177
参考资料	179
第五章 频率法	180
§ 5-1 概述	180
§ 5-2 频率特性	180
§ 5-3 用频率特性确定系统在非谐波函数作用下的时间响应	184
§ 5-4 频率特性图示法 (一) 一极坐标图	189
一、典型环节频率特性的极坐标图	189
二、开环系统的极坐标图	194

§ 5-5 控制系统的极坐标图与稳定性	196
一、奈魁斯特稳定判据	196
二、带有延滞环节的线性系统的稳定性	206
三、稳定裕量	207
四、 $G(s)H(s)$ 的附加极点和零点对奈氏曲线形状的影响	209
五、奈氏判据在多环系统中的应用	212
§ 5-6 频率特性图示法(二)—对数坐标图	214
一、对数坐标图	214
二、典型环节的对数幅频特性与对数相频特性	215
三、开环系统的对数坐标图	223
四、最小相位系统	228
§ 5-7 控制系统的对数坐标图与稳态误差	230
一、0型系统	230
二、1型系统	231
三、2型系统	232
§ 5-8 对数坐标图与系统稳定性	232
§ 5-9 对数坐标图与瞬态响应	234
一、对数幅频特性曲线中频段(幅值穿越频率附近)的斜率与瞬态响应的关系	234
二、对数幅频特性曲线的参数与瞬态响应的关系	236
§ 5-10 频率特性与瞬态响应	245
一、二阶系统的时域性能指标与阻尼比的关系	246
二、二阶系统的频域性能指标与阻尼比的关系	246
§ 5-11 闭环幅频特性的求法:等 M 圆(极坐标图)及尼氏图线	250
一、等 M 圆	250
二、应用等 M 圆确定 M_p 、 ω_r 和 ω_b	252
三、应用等 M 圆确定相角裕量	253
四、开环频率特性的对数幅-相图	254
五、尼柯尔斯图线	255
六、应用尼氏图线确定非单位反馈系统的 M_p	258
§ 5-12 传递系数的调整	259
习题	260
参考资料	264
第六章 状态空间法	266
§ 6-1 概述	266
§ 6-2 线性系统齐次状态方程的解法—转移矩阵的求法	267
一、状态转移矩阵	267
二、状态转移矩阵的求法	268
§ 6-3 状态转移矩阵的性质	288
§ 6-4 线性系统非齐次状态方程的解法	289
一、线性系统非齐次状态方程的解法	289
二、伴随方程	292
§ 6-5 关于应用计算机解状态方程问题	294

§ 6-6 系统的脉冲响应	299
一、脉冲响应	299
二、脉冲响应的不变性	299
§ 6-7 能控性和能观测性问题	300
一、能控性	300
二、能观测性	307
三、能控性、能观测性和传递函数的关系	312
四、系统的分解	314
五、能控性和能观测性之间的关系	315
§ 6-8 状态变量表达式变换成能控或能观测标准形问题	316
一、变换成能控标准形	316
二、变换成能观测标准形	320
§ 6-9 系统的稳定性	322
一、按系统矩阵 A 分析线性定常系统的稳定性	322
二、略普诺夫第二法—直接法	323
习题	326
参考资料	330

第一章 绪 论

§ 1-1 自动控制和自动控制系统

在近代,自动控制起着十分重要的作用。应用自动控制,能使空间技术、现代武器、人工智能、自动驾驶等得以飞快发展,顺利实现;使机器设备和管理机构高速高效运行,提高产品质量和劳动生产率,降低成本;并使人们从繁重的体力劳动、手工操作和高温高压有害有毒的工作条件下解放出来。

一、自动控制和自动控制系统

什么叫自动控制?自动控制就是应用控制装置自动地、有目的地控制或操纵机器设备或过程,使之具有一定的状态和性能。被控制的机器设备或物体,称为控制对象;所用的控制装置,常称为控制器。

例 水位自动控制(图1-1)

水位自动控制的目的是维持水箱内水位恒定。当水的流入量与流出量平衡时,水箱水位维持在预定的(希望的)高度上。预定高度或希望高度,由自动控制器刻盘上的指针标定。当水流出量增大或流入量减少(例如水压下降)时,平衡被破坏,水箱水位下降,出现偏差(误差),这偏差由浮子检测出来。自动控制器在偏差作用下,使阀门开大,增大水的流入量,力图维持水位不变。反之,当水流出量减小或流入端水压升高时,水位上升,反向偏差则使阀门开小些,减少水的流入量,从而达到自动控制水箱水位不变的目的。

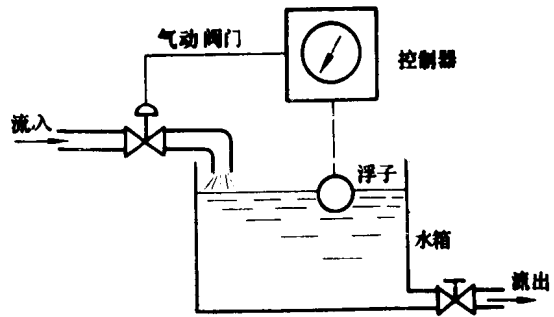


图 1-1 水位自动控制

在本例中,水箱和供水系统就是控制对象。

控制器和控制对象的总合,称为控制系统,两者组合在一起,共同完成一定的任务。图 1-2 表示了两者的关系。系统的输入,是作用于系统的激发信号,其中使系统具有预定性能或预定输出的,称为控制输入、指令输入或参考输入;干扰或破坏系统具有预定性能或预定输出的,称为扰动输入。根据具体情况,扰动输入可有不同的作用点。系统的输出,就是被控制的量,它表征对象或过程的状态和性能。在水位自动控制系统中,控制器刻盘指针标定的希望水位高度为参考输入;水流出量或流入量变化,它阻碍水箱保持一定水位,就是扰动输入;而水箱实际水位高度,即为系统的输出。一定的输入,就有相应的一定的输出,这个系统的输出,常常叫做系统对输入的响应。它是时间的函数。自动控制就是为了一定目

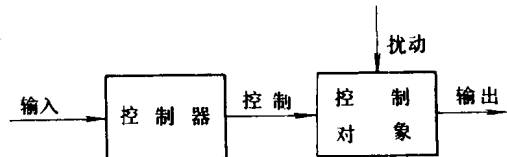


图 1-2 控制系统

的、保证对输入要有满意的响应，也即：

- (1) 保证系统输出具有控制输入指定的数值。
- (2) 保证系统输出尽量不受扰动的影响。

例如上述水位自动控制系统的任务，就是保证水箱水位尽量不受流量影响，保持参考输入规定的输出值不变。

二、开环控制系统与闭环控制系统

自动控制系统有各种各样具体形式，但是总的说来可归纳为两种，即开环控制系统和闭环控制系统。

图 1-3 表示了一台直流电动机转速的开环控制系统。电动机带机器以一定转速旋转，这机器可以是机床或其它设备。电动机的转速由电位器来改变，转动电位器，功率放大器的输入电压改变，经过放大，改变电动机的电枢电压，从而改变电动机转速；不同的电位器位置，就有相应的电动机转速。接到控制指令，自动改变电位器位置，就可自动控制转速，以满足机械加工或其它工作的需要。在此可以看出：

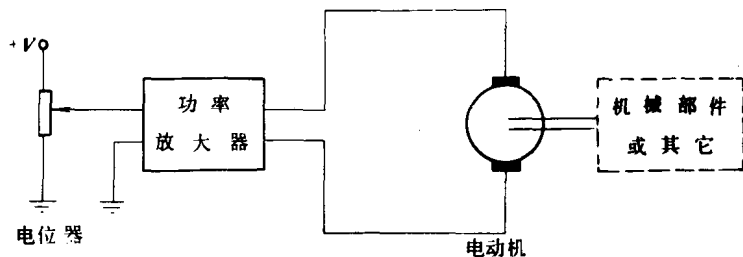


图 1-3 直流电动机转速开环控制

- (1) 电动机的转速由电位器控制；

- (2) 转速对电位器的控制作用没有影响，即没有反作用。这种输出量对输入量（控制作用）没有影响的系统，就叫开环控制系统（或非反馈系统）。

为了清楚地说明系统各元件间的作用关系（或者说，信号传递关系），常用方框图来表示系统。图 1-3 系统的方框图如图 1-4 所示。每个方框的输入，就是输入至该元件的作用量；方框的输出，则为该元件受到输入信号作用后的响应。在图 1-4 中，作用信号是单方向传递的，形成开环，这是所有开环控制系统的特征。

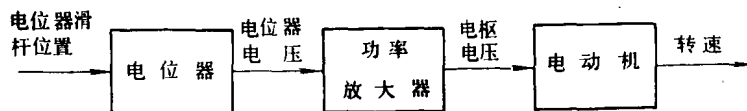


图 1-4 电动机转速开环控制系统方框图

开环控制系统很简单，给定一个输入，便有相应的一个输出，但是输出量不可能有准确的数值，尤其当系统有外界扰动时，变化更大（例如在图 1-3 系统中，功率放大器供电电源电压变化、电动机负载转矩变化，即使电位器位置不变，转速仍将跟着变化）。假如扰动可以预计或测量，则根据扰动大小对系统的输入进行相应的修正或补偿（亦即按扰动控制），可以使系统的输出有较准确的数值。复激直流发电机就是最简单的例子，当负载电流增加，激磁也增加，从而使端电压尽量保持原有水平，但是精度不高。

有时,为了提高开环控制的精度,常应用较精密的元件,数字计算机控制步进电动机便是一例(如图1-5)。由于采用数字脉冲控制元件,动作相当准确,避免或降低了外界扰动的影响,从而使系统输出具有很高的精度。但是元件精密、投资较大。

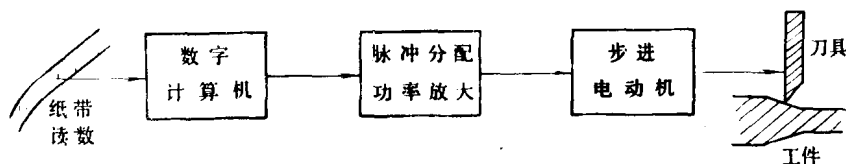


图 1-5 步进电动机开环控制

开环控制精度不高的重要原因是:没有根据系统的实际输出修正输入,以使输出有准确的值。也即输出对输入没有影响。

为了改善开环控制的精度,在人工控制中,就是由人对输入作相应的修正。例如直流电动机用电枢电压控制转速时(如图1-6),人一边监视着作为检测元件的转速表,一边在头

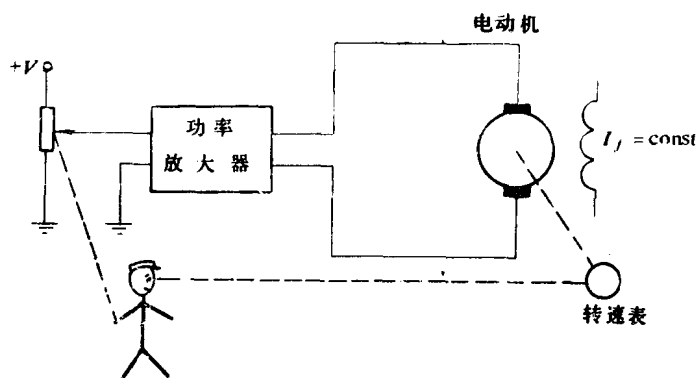


图 1-6 直流电动机转速人工闭环控制

脑里与他希望的转速进行比较,当发现电动机转速高于希望值时,马上操纵电位器使电枢电压减少,降低转速;当发现电动机转速低于希望值时,则使电枢电压增大,提高电动机转速。这样就形成了闭环控制系统(人工闭环控制系统)。这里输出量与输入量进行了比较,根据输出量与输入量的差别实行控制,从而使输出量有较准确的值。输出信号通过人反过来影响控制信号,这就构成了反馈。所以闭环控制系统是反馈控制系统。

但要注意,这里的反馈是负反馈(即按输出与输入的差别进行控制)。否则系统是不能正常工作的。

人工控制在复杂、快速、精确的系统中是不能满足要求的,也不利于减轻劳动强度,故在自动控制系统中,应用自动控制器来全部代替人工操作。如图1-6所示例中,若用电位器电压作为输入(即希望值),用测速发电机代替转速表作为检测(或感觉)元件,再将测速发电机电压(代表转速)送至输入端与电位器电压进行比较,其差值控制放大器(控制器),从而控制电动机转速,这就形成了电动机转速自动闭环控制系统(如图1-7)。电位器位置一定,电动机转速就有一定值。电源变化、负载变化等扰动引起的转速变化,都将使放大器

输出发生相应变化,从而可以自动保证转速不受(或少受)这些扰动的影响,提高控制精度。

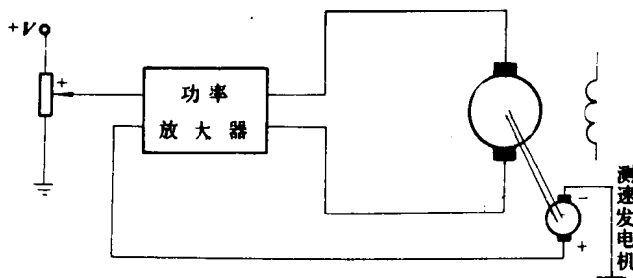


图 1-7 直流电动机转速自动控制

闭环控制系统的典型方框图如图 1-8 所示。图中“ $\otimes$ ”表示比较器(或比较环节),在此输入信号与反馈信号进行比较,其差值输出即为误差信号,它是控制器的输入。可以明显看出,作用信号按闭环传递,系统的输出对控制作用有直接影响(即有负反馈),这些就是闭环控制系统的特征。在复杂系统中,反馈回路可能不止一个,但图 1-8 已经表达了反馈控制系统的典型结构。

反馈的概念是自动控制系统中一个很重要的概念。控制系统中采用负反馈,除了降低系统误差提高控制精度外,象在反馈放大器中一样,还使系统对内部参数的变化不灵敏;这样系统元件参数变化或者非线性的影响将大大降低,对于一定的控制要求,就有可能采用不很精密的成本较低的元件来构成控制系统,这在开环系统中是不能做到的。

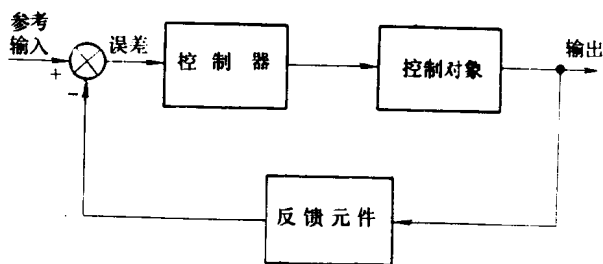


图 1-8 按输出反馈的控制系统方框图

但是,实际系统一般都具有质量、惯性或延滞,它是一个动态系统;因此对于一定的输入,系统的输出或相应的响应往往是振荡的;由于采用了反馈,就有可能使系统振荡加剧,甚至不能工作。反馈改变了控制系统的动态性能,增加了问题的复杂性。对反馈控制系统的讨论和研究,是本书的主要内容。

§ 1-2 自动控制系统的类型

自动控制系统有很多种分类法。例如在 § 1-1,曾按信号传递路径而分为开环与闭环系统。

若按参考输入的特征来分,则可分为:

1. 自动镇定系统 在这种系统中,参考输入为常值,或者随时间缓慢地变化,系统的基本任务是保证在任何扰动作用下,使输出保持恒定的希望的数值。所以这种系统有时叫做

定值控制系统。恒温、恒压、恒速、恒定水位、恒定电压、恒定电流、恒定频率等自动控制系统都属这一类。

2. 随动系统 在这种系统中, 其中一类, 它的参考输入不是时间的解析函数, 如何变化事先并不知道 (随着时间任意变化)。控制系统的任务是在各种情况下保证输出以一定精度跟随着参考输入的变化而变化。所以这种系统, 有时叫做跟踪系统。运动目标的自动跟踪、瞄准和拦截系统, 以及自动测量仪器系统等属于这一类。

还有一类, 它的参考输入随着时间有一定变化规律, 希望系统的输出也随着变化。这类系统, 有的叫做程序控制系统。很多机械加工工业和化学食品工业的过程控制中, 广泛应用着程序控制系统。仿形控制系统、机床数控加工系统、加热炉自动温度控制系统等都属于这一类。

还有按系统所用元件型式, 将控制系统分为机械、电气、气动、液动、生物学系统等等。总之, 可以按照不同特征划分出很多类型。为了便于研究自动控制系统的基本实质, 确定正确的研究方法和所用的数学工具, 在这里将着重再讨论以下几种分类法。

一、线性系统与非线性系统

(一) 线性系统

自动控制系统是一个动态系统, 它的工作状态和性能一般可用微分方程或差分方程来描述。当系统各元件输入/输出特性是线性特性、系统的状态和性能可以用线性微分 (或差分) 方程来描述时, 则称这种系统为线性控制系统。

线性控制系统中各元件的静特性必须是直线, 如图 1-9 b 或 c。线性系统的特点: 可以运用重叠原理。这就是说:

(1) 有几个输入时, 系统的输出等于各个输入时系统输出之和;

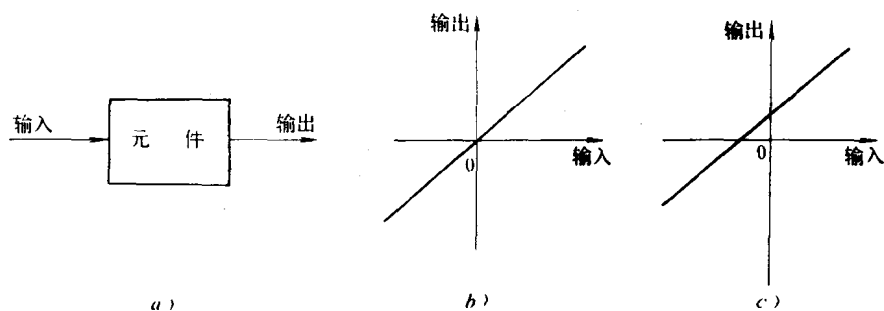


图 1-9 线性元件静特性

(2) 当系统输入增大或缩小多少倍时, 系统输出也增大或缩小多少倍。

从数学上来说: 设一系统的输入为 m , 输出为 y (图 1-10),

$$y(t) = Sm(t) \quad (1-1)$$

S 是运算子。当输入为 $m_1(t)$ 时, 输出为

$$y_1(t) = Sm_1(t)$$

当输入为 $m_2(t)$ 时, 输出为

$$y_2(t) = Sm_2(t)$$

假如, 当输入为

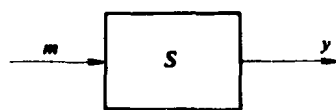


图 1-10 运算子 S

$$m(t) = \alpha m_1(t) + \beta m_2(t)$$

时 (α, β 为常数), 有

$$S[\alpha m_1(t) + \beta m_2(t)] = \alpha S m_1(t) + \beta S m_2(t) \quad (1-2)$$

或

$$y(t) = \alpha y_1(t) + \beta y_2(t) \quad (1-3)$$

则称这一系统为线性系统。图 1-11 表示了它的特征。

微分方程或差分方程的系数为常数、不随时间变化的系统, 称为线性定常系统。对初始条件为零的线性定常系统 $y(t) = S m(t)$, 有

$$y(t \pm \tau) = S m(t \pm \tau) \quad (1-4)$$

式中 τ 为任意常数。这就是说, 线性定常系统的响应只与输入信号的大小有关, 而与什么时刻加输入信号无关; 或者说, 系统的响应曲线形状与时间坐标轴的起点无关。

若微分方程或差分方程的系数是时间的函数, 不同时刻为不同值 (这时, 系统中元件或有一个元件的输入输出静特性是随时间变化的直线), 这种方程称为线性变系数方程, 由这种变系数方程描述的系统, 称为线性时变系统。这时, 式 (1-4) 就不成立。运动着的物体 (如运载工具、发射的火箭、带钢卷筒) 由于燃料消耗、绕卷物增多或其它因素, 它的质量和惯性随时间变化, 控制这些物体运动的系统就是时变系统。又如电子元件的特性参数也会随时间发生变化, 当这些变化不能忽略时, 则应用这些元件的系统的性能, 也将随时间发生变化, 这种系统也是时变系统。

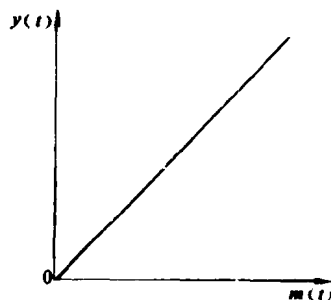


图 1-11 线性系统特性

变系数方程在数学上比常系数方程复杂, 所以若系统中参数随时间变化不大, 可以用常值来对待时, 就常常视为定常系统。

(二) 非线性系统

当系统中只要有一个非线性特性的元件时, 系统就由非线性方程来描述, 方程的系数将随变量大小而变化。用非线性方程描述的系统, 称为非线性系统。

例如系统中应用了具有图 1-12 所示非线性特性的元件时, 它就是非线性系统。重叠原理对非线性系统是无效的。

严格的讲, 实际上是不存在线性系统的, 各种物理系统总是不同程度地具有非线性。例如系统中应用的放大器和铁磁元件有饱和特性, 运动部件有间隙、摩擦或死区, 弹簧有非线性特性等等, 有时甚至为了获得良好的性能, 特地加入非线性元件。但是除了故意加入非线性元件的以外, 当系统的信号或变量变化范围不大, 或者非线性不严重, 甚至为了研究方便, 人为地简化成线性; 这些场合, 实际系统基本上是线性系统, 或者认为是线性系统。这样处理, 主要由于线性系统是用线性方程来描述的, 数学上简单方便, 有相当成熟的线性理论; 而非线性系统是用非线性方程来描述的, 数学上较难处理, 尚无统一的方法来研究不同型的非线性问题。

所以, 虽然实际上很少有线性系统, 但往往把实际系统当作线性系统, 而研究线性系统的线性理论在很多场合获得应用 (同时必须注意, 特别设计的非线性系统有着丰富的内容, 非线性理论也在不断发展着)。

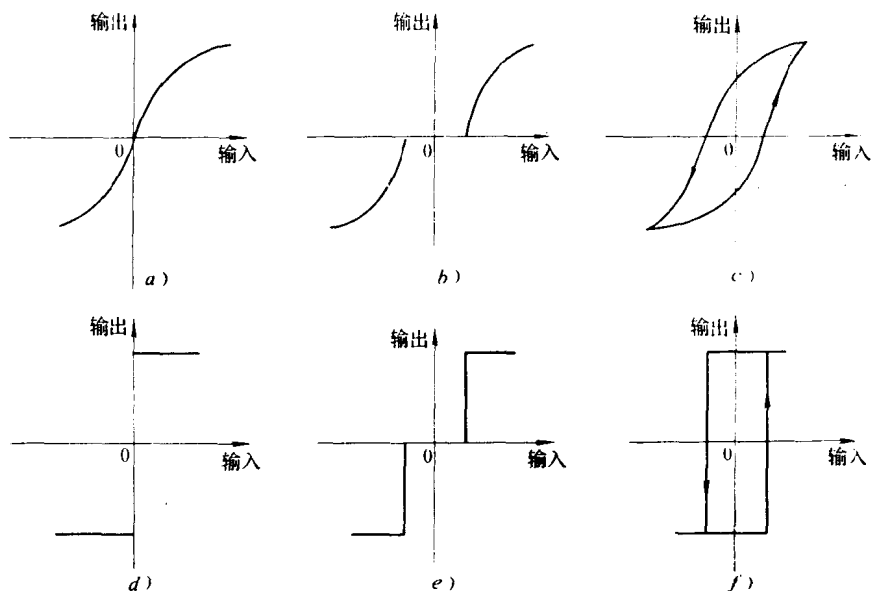


图 1-12 非线性元件静特性举例

图 1-13 是具有继电特性的非线性系统的例子。为了使电动机转速维持一定, 装有离心式调速器, 它随着电动机转动。当电动机转速升高时, 离合器 S 上升, 至一定位置, 它使触点 K 闭合, 附加电阻短接, 励磁增强, 电动机转速下降; 当电动机转速下降至一定值时, 触点打开, 附加电阻接入, 励磁减弱, 转速回升。由于触点工作具有继电特性 (例如图 1-12d 或 f 所示那样), 故这一系统是典型的继电非线性系统。

二、连续系统与离散系统

(一) 连续系统

当系统各元件的输入信号是时间 t 的连续函数, 各元件相应的输出信号也是时间 t 的连续函数时, 这种系统称为连续系统。连续系统的状态和性能一般是用微分方程来描述的, 信号的时间函数允许有间断点 (不连续点), 或者在某一时间范围内为连续函数。图 1-14 所示就是例子, 在此 $t = 0$ 和 $t = t_1$ 为间断点, 而函数在 $0 < t < t_1$ 范围内为连续。

若系统是线性的又是连续的, 它就是线性连续系统。图 1-7 系统中, 若功率放大器是连

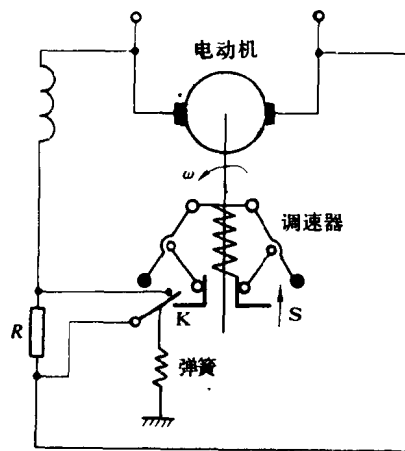


图 1-13 电动机转速继电控制系统

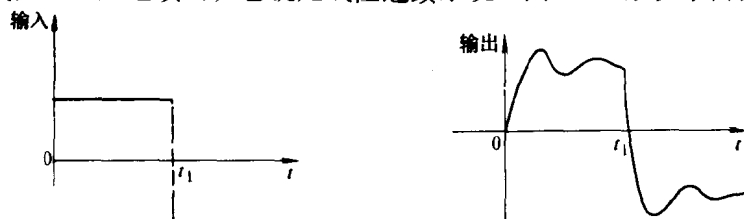


图 1-14 有间断点的连续函数

续工作的话, 这时系统就是连续控制系统。

图 1-15 所示位置随动系统是连续控制系统的又一例子。系统中每部分的信号都是时间的连续函数。参考输入任意变化时, 放大器输入变化, 电动机转动, 被控制的物体随着改变自己的位置, 直至被控制的物体转到参考输入所命令的位置时, 电位器反馈到放大器输入端的电压与参考输入电压相等, 放大器输出为零, 电动机停止转动。当突加一参考输入电压时, 系统各部分信号随时间的变化过程示于图中。

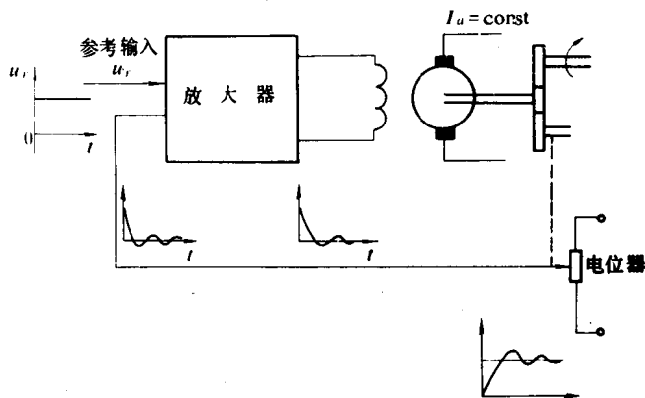


图 1-15 位置随动系统

(二) 离散系统

当系统中只要有一个地方的信号是脉冲序列或数码时, 这种系统称为离散控制系统。它的特点是: 信号在特定的离散的瞬时 $t_1, t_2, \dots$ 上是时间的函数, 两瞬时点之间, 信号是没有确定的 (图 1-16)。

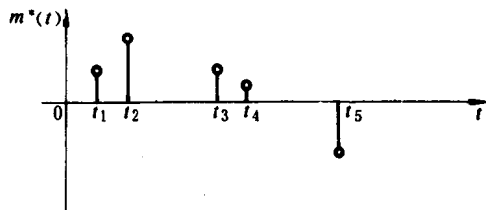


图 1-16 离散时间函数

离散时间信号可由连续信号通过采样开关获得。如图 1-17, 采样开关每隔一定时间短暂闭合一次, 就得离散时间信号脉冲序列 $m^*(t)$ 。具有采样的离散控制系统, 叫做采样控制系统。

以前讲过的步进电动机计算机控制系统 (图 1-5) 就是离散控制系统的例子, 如果再适当地加上反馈, 就成闭环离散控制系统。

离散控制系统的状态和性能, 可用差分方程来描述。若差分方程是线性的, 则系统为线性离散控制系统。

三、确定系统与不确定系统

(一) 确定系统

系统的结构和参数是确定的、已知的, 作

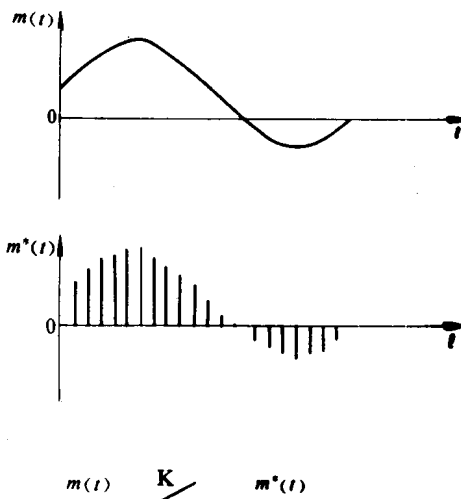


图 1-17 采样