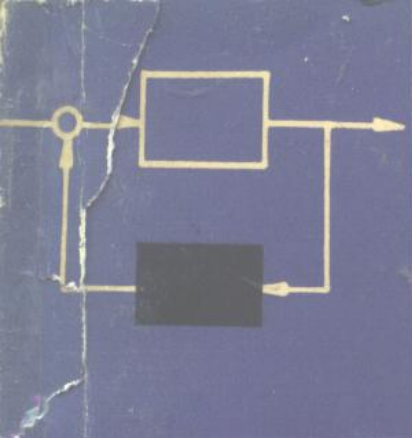
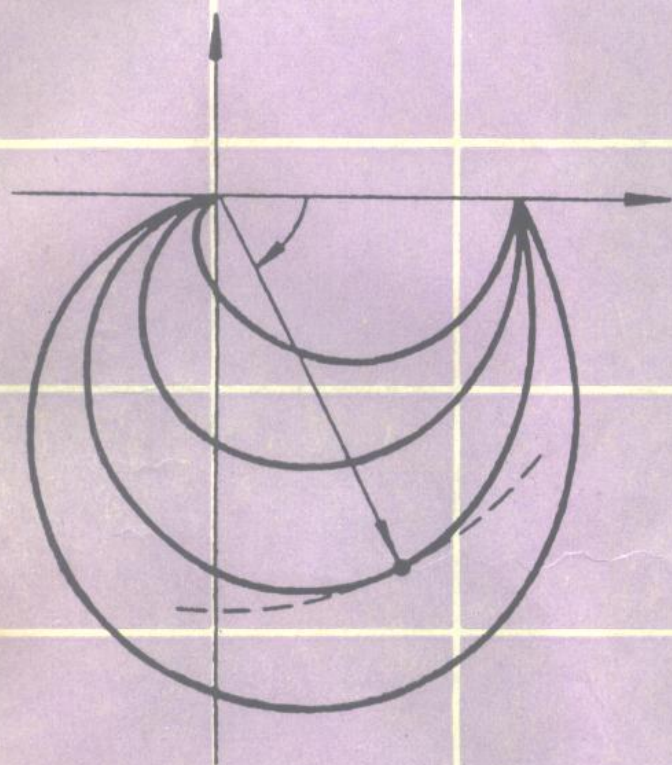




自动控制理论



职工高等学校试用教材

上海科学技术文献出版社

职工高等学校试用教材

自动控制理论

黄午阳 李龙森 编
韩正之 吕乃森

上海科学技术文献出版社

职工高等学校试用教材

自动控制理论

黄午阳 李龙森 编
韩正之 吕乃森

*

上海科学技术文献出版社出版
(上海市武康路2号)

新华书店上海发行所发行
上海商务印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 17.5 字数 436,000

1986年12月第1版 1986年12月第1次印刷

印数: 1—9,000

书号: 15192·456 定价: 3.60元

《科技新书目》120-209

前 言

本书是上海市高教局、上海市教育局、江苏省高教局为十九门课程组织编写的廿九种教材及辅导材料之一。

根据 1983 年 11 月教育部召开的“职工高等工业专科学校基础课程第一期教材建设规划会议”所确定的编写方针和原则，我们从职工大专教育的实际出发，力求做到既反映职工教学的特点，又保证大专水平。

本书是在教育部审定的职工大专“自动控制理论教学大纲”基础上进行编写的，同时，考虑到上海及江苏地区职工教育的实际情况有所变动。

书中主要介绍经典控制理论，并重点讨论了频率特性法。为适应数字系统和计算机控制系统发展的需要，本书对于采样数据控制系统的分析给予了应有的重视。为适应科学技术的发展，以及读者今后进一步学习各种新技术的需要，对现代控制理论中的一些重要概念也作了简明扼要的介绍。

本书经典控制理论部分讲授约 60~70 学时。最后两章的现代控制理论可作为选修内容，讲授约 20 学时。

上海第二工业大学李龙森同志编写了第一、二、五、七章，上海市徐汇区业余大学韩正之同志编写了第三、六两章，苏州市职工大学吕乃森同志编写了第四章，上海第二工业大学黄午阳同志编写了第八、九两章。经典控制理论部分由李龙森同志负责统稿。全书由黄午阳同志负责主编。

本书由上海交通大学电子电工学院教授张仲俊同志审阅，在此表示衷心感谢。

希望本书出版后能收到来自读者的意见和批评，使职工大学的教学质量不断提高。

作 者

目 录

第一章 自动控制的基本概念	1
第一节 控制方式	1
第二节 自动控制系统的组成和类型	1
第三节 自动控制系统的暂态过程与对系统的基本要求	8
习题	13
第二章 线性系统的数学模型	14
第一节 引言	14
第二节 传递函数	19
第三节 方框图及方框图的变换	23
第四节 小结	45
习题	45
第三章 自动控制系统的时域分析	48
第一节 引言	48
第二节 一阶系统的时域分析	48
第三节 二阶系统的时域分析	53
第四节 高阶系统的时域分析	66
第五节 稳定性分析	68
第六节 稳态误差分析	74
第七节 小结	89
习题	90
第四章 频率特性法	92
第一节 引言	92
第二节 频率特性	92
第三节 频率特性的图示方法	97
第四节 典型环节的频率特性	100
第五节 开环系统对数频率特性曲线的绘制	111
第六节 奈奎斯特稳定判据	117
第七节 系统的相对稳定性	125
第八节 闭环频率特性	132
第九节 频率特性与系统时域性能指标间的关系	137
第十节 小结	145
习题	146
第五章 自动控制系统的校正	150
第一节 引言	158

第二节	PID 控制	151
第三节	工程设计方法	166
第四节	反馈校正	174
第五节	小结	179
习题		180
第六章	用描述函数分析非线性系统	182
第一节	引言	182
第二节	非线性特性	182
第三节	描述函数法	185
第四节	用描述函数研究非线性系统的稳定性和自持振荡	189
第五节	小结	193
习题		193
第七章	采样数据控制系统	197
第一节	引言	197
第二节	z 变换	199
第三节	采样定理和保持器	210
第四节	脉冲传递函数	214
第五节	采样数据系统的分析	219
第六节	小结	225
习题		225
*第八章	状态空间分析	228
第一节	系统的状态空间表达式	228
第二节	线性系统状态方程的解	235
第三节	连续时间状态方程的离散化	239
第四节	线性系统的能控性与能观性	242
第五节	状态空间表达式的标准型	247
习题		253
*第九章	最优控制	256
第一节	基本的最优控制问题	256
第二节	具有终端约束的问题	260
第三节	自由终端时间问题	261
第四节	具有二次型代价函数的线性系统	263
第五节	离散时间问题	265
第六节	动态规划	266

第一章 自动控制的基本概念

在对任何一种系统实行控制之前,首先需要确定一个具体的目标。生产管理人员需要保证产品能按时生产;商店管理人员必须控制商品按时进货与及时销售;将军的目标是战胜敌人;控制工程师则是使某个工程系统(例如造纸机、发电厂、卫星跟踪系统等)按照预定的规律运行。尽管不同领域处理不同问题,有不同的目标和方法,但是都需要进行控制,故在“控制的概念”上都是相似的。尽管本书仅涉及工程控制领域,但讨论的概念具有普遍意义。

自动控制是在没有人直接参加的情况下,利用控制装置使被控制对象(例如机器、设备或生产过程)自动地按照预定的规律变化和运行。自动控制理论就是研究自动控制共同规律的技术科学。自动控制理论发展的初期是以反馈控制理论为基础的自动调节原理,随着工业生产和科学技术的发展,目前已成为一门独立的学科——控制论。

在第二次世界大战期间和以后,由于军事和生产的需要,自动控制技术和理论迅速发展,到了四十年代末期,自动控制理论已形成比较完整的体系,并在工程实践中得到成功的应用。这个时期的自动控制理论称为经典控制理论。经典控制理论主要研究单输入-单输出系统的输出控制,它的数学工具是拉普拉斯变换,数学模型是传递函数;主要方法是频率特性法和根轨迹法。五十年代以来,由于宇航技术的发展,复杂的控制系统要求高性能、高精度,经典控制理论已不能满足需要;另一方面,电子计算机技术的飞速发展又在客观上提供了重要而有力的技术手段,这使自动控制理论发展到一个新阶段——现代控制理论。现代控制理论研究多输入-多输出系统的状态控制,它的数学工具是矢量微分方程、矩阵论和近代的一些代数理论,主要方法是状态空间法。目前,现代控制理论已成功地应用于航天、航空、航海及工业生产中。

第一节 控制方式

能对被控制对象的一个或多个物理量(例如位移、速度、温度、电压、电流,甚至某些化合物的成分)进行自动控制的整个系统称为自动控制系统,简称系统。自动控制系统一般由被控对象和控制装置组成。

被控对象(简称对象)是指要求实现自动控制的机器、设备或生产过程,例如飞机、锅炉、机床以及化工生产过程等。而控制装置是指对被控对象起控制作用的设备的总体。

一、约束

在进行控制时通常不可能完全自由,需要考虑所谓“约束”问题,例如生产管理人员不能要求新设备和原材料立即到货;将军要考虑士兵吃饭睡觉的问题;而控制工程师则受到设备性能和测量仪表精度的限止。所有可能的约束是实现控制必须要考虑的。控制工程师为了实现预定的控制质量,必须在约束条件下(即一定的范围内)选择一个适当的控制方式。

首先介绍比较简单的控制方式——开环控制。

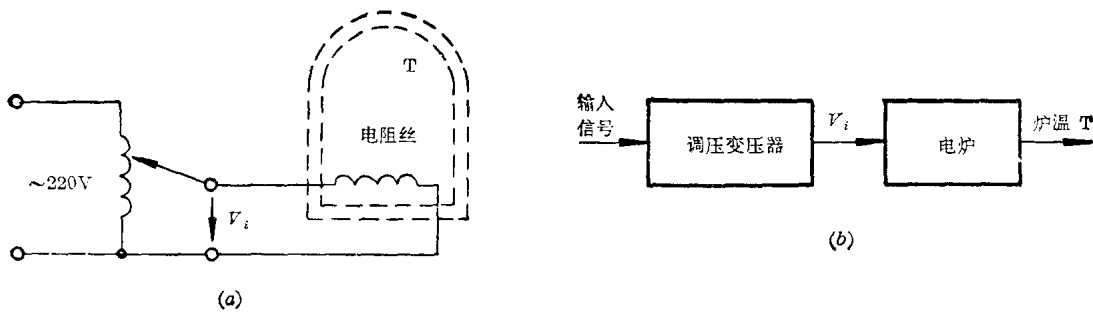


图 1-1 开环控制系统

二、开环控制

图 1-1(a) 是一个用电阻丝加热的电炉温度控制系统。电炉是被控对象, 炉温 T 是要求实现自动控制的物理量, 称为被控制量(或输出量)。旋转调压器的滑臂能改变控制电压 V_i , V_i 称为控制量。随着 V_i 的变化, 对象的被控制量 T 就跟着变化。此系统的方框图如图 1-1(b) 所示。这种系统的被控制量(炉温 T) 对于控制量(电压 V_i) 没有反作用, 称为开环控制系统。开环控制系统的抗干扰性能很差。例如炉门开闭的次数变化、外界环境温度变化、电源电压(220 V) 的波动都能使被控制量 T 偏离希望值。使被控制量偏离希望值的因素统称为扰动(或干扰、噪声)。

图 1-2 表示了一个伺服电动机的速度控制系统。这也是一个开环控制系统。改变直流稳压电源面板上的调节旋钮的位置, 就能控制伺服电动机的角速度 ω 。图中 V_i 是控制量, ω 是被控制量, 伺服电动机是被控制对象。负载转矩 M_s 可以作为扰动。显然, M_s 的变化,

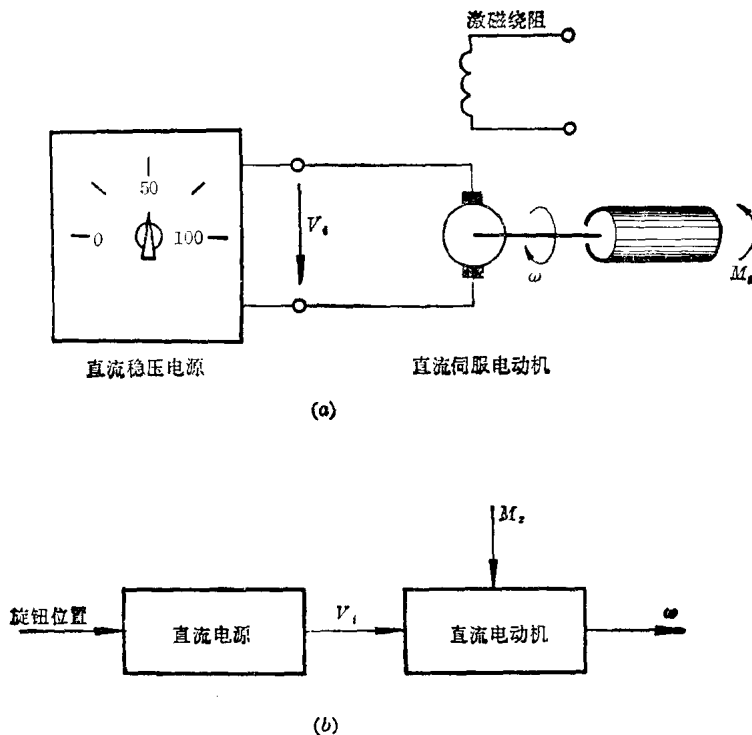


图 1-2 伺服电动机速度控制系统

将使电动机角速度 ω 偏离希望值。如要保持 ω 在希望值上,就需要重新调节旋钮。

开环控制系统的优点是装置简单、调试方便、成本低廉。缺点是抗干扰性能差、控制精度低。

为了消除或减小扰动的影响,可采用反馈控制(或闭环控制)方式。反馈控制建立在负反馈基础上。

三、负反馈的概念

图 1-3 是一个负反馈系统方框图。测量元件对系统的输出(即被控制量)进行测量,测量元件的输出是反馈量 b 。通常,反馈量 b 与被控制量 c 成比例。 r 是系统的输入量,称为给定值。给定值 r 通常与被控制量 c 的希望值成比例。 r 与 b 在比较器里相减,得到偏差 e ,即

$$e=r-b \quad (1-1)$$

偏差 e 经过运算和放大后去控制被控制量 c 。当系统受到扰动 d 的影响,使被控制量 c 偏离希望值,如使 c 下降了,则测量元件的输出 b 也跟着下降,于是偏差 e 就上升,控制量 u 也上升,从而使被控制量趋向希望值。反之,如扰动使被控制量 c 上升,则负反馈也会使 c 趋向希望值。

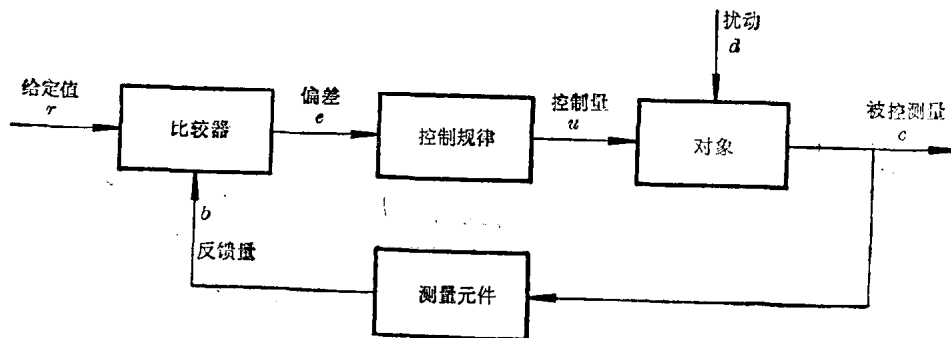


图 1-3 负反馈系统

由于在自动控制系统中采用了负反馈,因而不论造成偏差的原因是外部的扰动还是系统内部参数的变化总是使偏差 e 的绝对值下降,使被控制量趋向希望值。上述这种控制方式称为“反馈控制”或“闭环控制”。我们下面讨论的自动控制都是建立在负反馈基础上的。

四、闭环控制

以电阻丝加热炉的闭环控制系统(图 1-4)为例。图中热电偶是测量元件,它将炉温 T 转换成电压,该电压与给定值电压 r 进行比较(即相减)得到偏差 e (事实上表示了炉温 T 的希望值与实际值之差)经过放大后去驱动伺服电动机,伺服电机带动滑臂 K 以改变控制电压 V ,从而使被控制量 T 向希望值趋近。系统的方框图如图 1-4(b)所示。比较图 1-1 和图 1-4 两个控制系统可以发现:闭环控制系统与开环控制系统最大的差别在于闭环控制系统存在一条从被控制量 T 经过测量元件(热电偶)到系统输入端的通道,这条通道称为反馈通道。另外还有一条前向通道,这条通道从给定值开始,沿着放大器、电动机、调压器直到被控对象电炉和被控制量 T 。

仔细分析图 1-4 的闭环控制系统可以看到它有以下三个重要机能:

- (1) 测量被控制量;
- (2) 将测量被控制量所得的反馈量与给定值进行比较,得到偏差 e ;

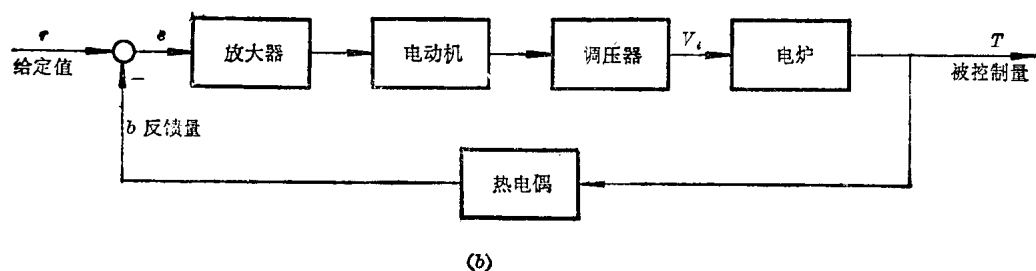
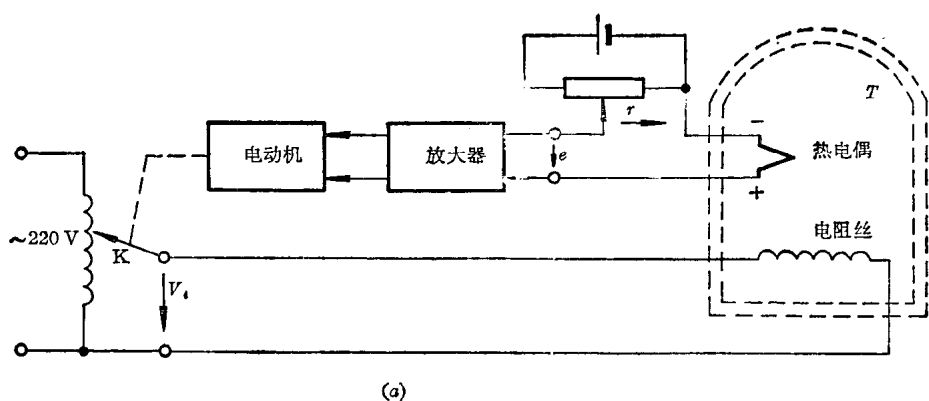


图 1-4 电阻丝加热炉的闭环控制系统

(3) 根据偏差 e 对被控制量进行修正。

综上所述，由于闭环控制系统的输出端(被控制量)和输入端(给定值)之间存在着一反馈通道，即存在负反馈，所以闭环系统具有良好的抗干扰能力(不论这种干扰来自系统的外部扰动，还是系统内部的参数变化)，故控制精度较高。但是，反馈的存在使系统可能产生振荡，给调试工作带来困难。另外闭环系统的装置复杂，成本也较高。

第二个例子是锅炉汽包水位控制系统(图 1-5)。水在蒸汽发生管上水管中被加热，蒸汽和水的混合物由上水管进入汽包。汽包是一个长约 28 m，直径 1.5 m 的横卧的圆筒形容器，作用是分离水和蒸汽。由汽包送出的蒸汽经过过热器加温后，供给高压汽轮机发电机组。分离出来的水通过下水管在锅炉中再次加热。由给水泵使锅炉内的水自然循环。为了维持连续运行，汽包中的水要不断补充。事实上，过热蒸汽在汽轮机中做功后被冷凝成水，再由给水泵通过调节阀打回汽包。为了保证锅炉安全有效地运行，应使汽包水位保持在某指定界限内。正常运行时，汽包中的水约为汽包满容量的一半，但是发电机组的运行条件发生变化，例如用户用电量突然增加(这也是一种扰动)，汽轮机的蒸汽供应量必须相应增加以发出额外电力。在这种情况下，如果供给汽包的给水量不能跟着增加，则汽包中的水就会逐步减少而水位下降，时间过长还会由于过热导致锅炉水管破裂。为了控制汽包中水位在希望值上(或称为镇定值)，系统通过水位传感器 L 测量汽包的 actual 水位，实际水位信号送入控制室与给定水位值进行比较得出偏差，控制室对偏差按预定方案(或控制规律)进行计算、改造后送出信号 x ， x 信号送到给水调节阀调节阀门的开度，从而控制给水量，以使汽包水位向希望值靠近。

第三个例子是卫星跟踪天线系统(图 1-6)。通讯卫星被送入轨道后，最后将固定在地

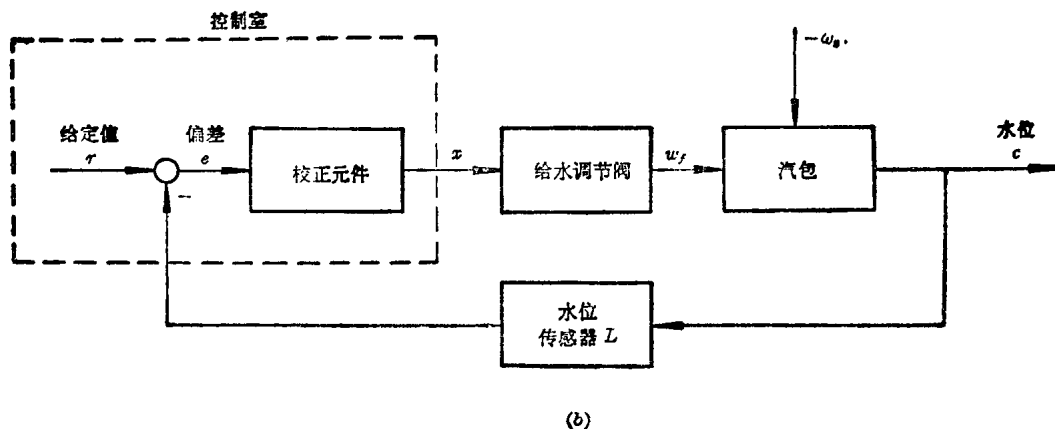
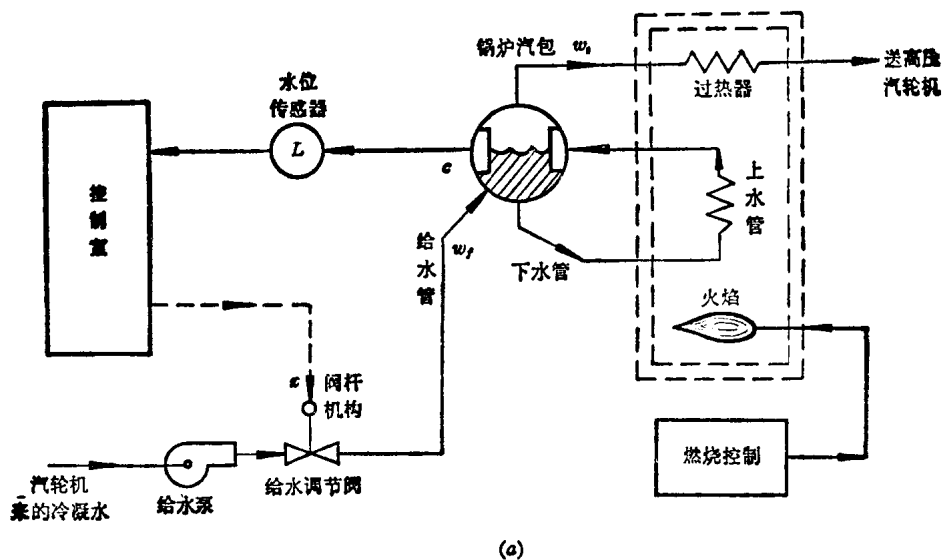


图 1-5 锅炉汽包水位控制系统

面上方的某点,并与地球保持相对静止,这种卫星称为同步卫星。但是事实上卫星的位置还是在不断稍有变动,因而必须使通讯天线跟踪卫星的位置。技术条件要求天线的仰角和方位角的误差在 ± 3 角分(1 角分 $= 9 \times 10^{-4}$ 弧度)以内。

通讯天线上装有四个分立的信号检测器,当天线对准卫星时,每个信号检测器接收到的信号强度相同。如果天线与卫星没有对准,四个检测器接收到的信号强度就不一样,这时跟踪接收器就会把四个信号的差别转换成卫星与天线之间不对准度的电信号,即偏差信号。偏差信号经放大后送往校正元件,校正元件按预定的控制规律对放大的偏差信号进行运算,送出一个控制量 u_1 。 u_1 与测速发电机测得的速度信号 u_2 相减后(注意,这是一个负反馈)得到 u_{e2} 。 u_{e2} 经过功率放大后驱动直流电动机,并经过减速器减速后带动天线旋转,从而使天线对准通讯卫星。需要指出的是:天线的实际位置 θ_0 和卫星的实际位置 θ_1 之间的偏差 e 是由跟踪接收器根据四个分立的信号检测器接收到的信号经过计算以后得到的,而不是预先分别测量 θ_0 和 θ_1 相减所得。图 1-6(b)、(c) 中虚线框中的表示方法仅仅是为便于应用前面已经讨论过的反馈系统的表示方法来处理卫星跟踪天线系统。

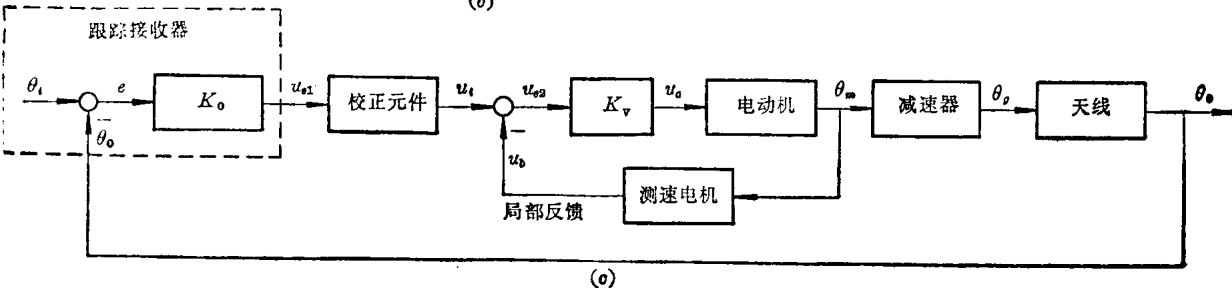
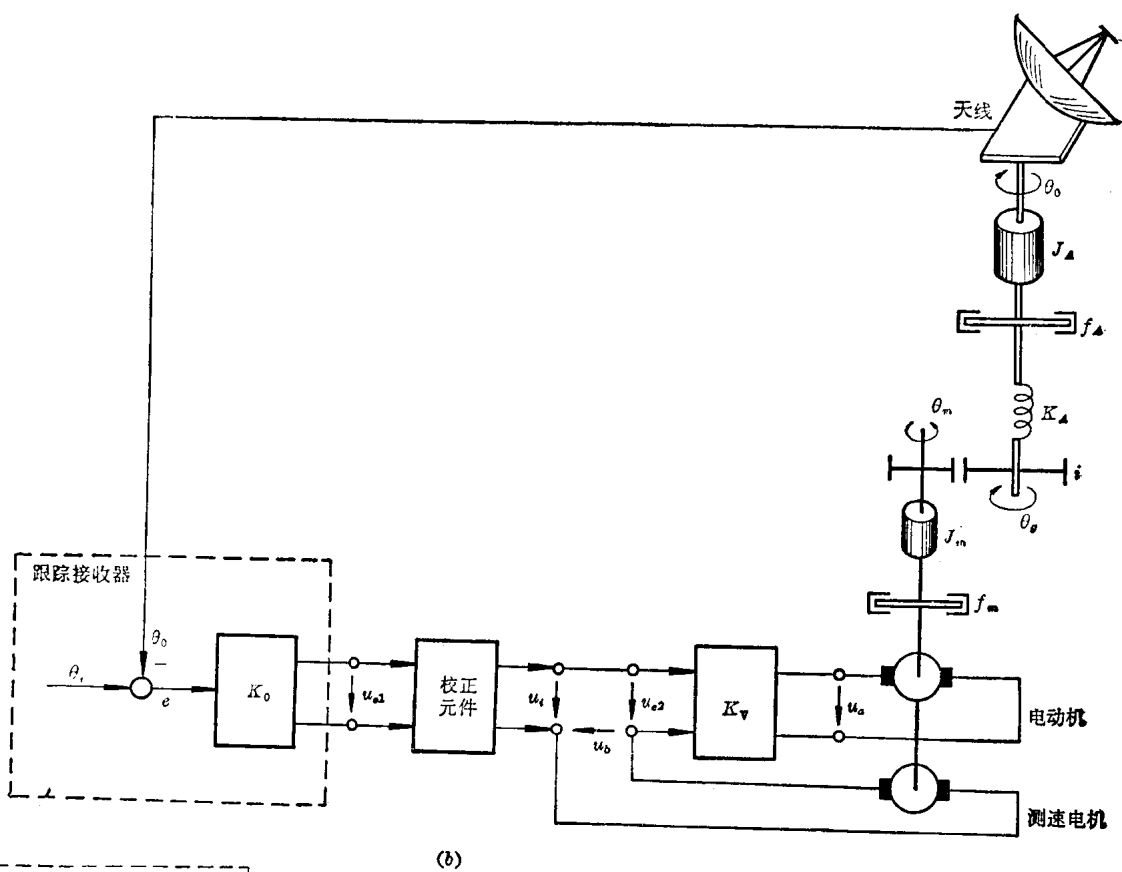
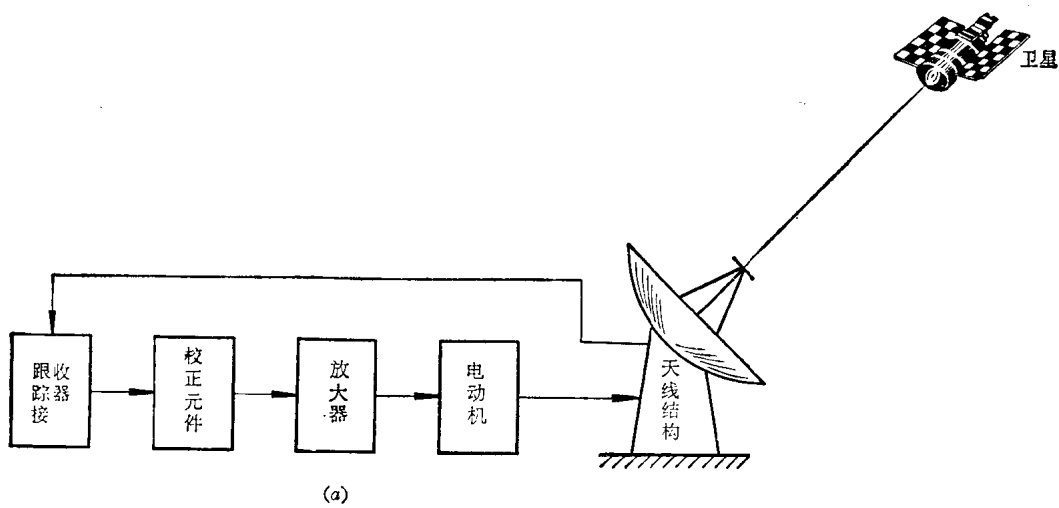


图 1-6 卫星跟踪天线系统

第二节 自动控制系统的组成和类型

一、自动控制系统的组成和术语

图 1-7 为自动控制系统的职能框图。图中给出了构成一个自动控制系统的基本元件。自动控制系统中的基本元件和信号如下:

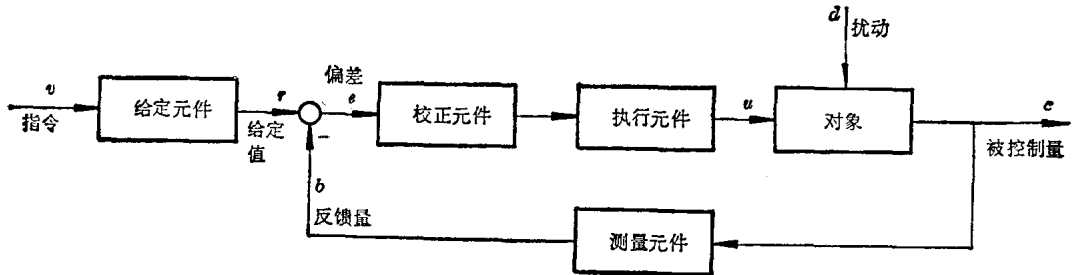


图 1-7 自动控制系统的职能框图

1. 给定值(给定量、参考输入) r : 实际输入到系统的信号,一般正比于指令值。
2. 反馈量 b : 与被控制量 c 成某种函数关系(一般成比例关系),是测量元件的输出信号。反馈量 b 与给定值比较后产生偏差 e 。因为只有量纲相同的量才能进行比较,因此, b 与 r 有相同的量纲。
3. 偏差信号 e : $e=r-b$,由比较器产生。是一个最原始的控制信号,通常为小信号。
4. 控制量 u : 执行机构作用于被控制对象的信号,通常具有一定的功率,并且是能够被对象接受的一种物理量。
5. 被控制量(输出量) c : 系统的被控对象中需要进行控制的物理量,即系统的输出量。它能直接被测量。
6. 指令值 v : 一个输入信号,由控制者确定,与系统本身无关。
7. 扰动量 d : 往往是一个不需要而又难于避免的外部输入信号,它影响被控制量的控制精度。通常它可在多个地方侵入系统。
8. 被控对象(简称对象): 自动控制系统中需要进行控制的机器、设备或生产过程。它接受控制量,输出被控制量。
9. 执行元件: 执行元件产生一个具有一定功率,并能够被对象接受的信号。一般由功率放大器和驱动机构组成。
10. 测量元件: 它对被控制量进行量测,输出反馈量。通常为一比例元件。
11. 校正元件: 为了提高系统的动态性能和稳态性能,需要对偏差信号 e 进行放大、运算,使之按一定的规律变化,这个任务由校正元件完成。
12. 给定元件: 将指令值转换成实际输入控制系统的给定值。

二、自动控制系统的类型

根据不同的分类方法,自动控制系统的类型概括如下:

1. 线性和非线性系统

线性系统: 组成系统的元件特性均为线性的,其输出输入关系都能用线性微分方程描述。该系统的主要特点是具有齐次性和叠加性,系统的稳定性与初始状态无关。

非线性系统：组成系统的元件中有一个或多个元件的特性具有非线性。非线性元件的输出输入特性用非线性微分方程描述。这种系统不能应用叠加原理，其响应形式与初始状态有关。

2. 自动调整系统和随动系统

自动调整系统：系统的输入信号或是一个常量，或是随时间缓慢变化的信号。系统的基本任务是在存在扰动的前提下，使输出量保持在给定的希望值上。自动调整系统也称定值调节系统，或恒值系统。

随动系统：系统的输入信号是一个随时间变化的函数（事先无法预测其变化规律），系统的任务是在存在扰动的前提下，保证输出的被控制量以一定的精度跟随输入信号的变化而变化。随动系统也称为跟踪系统，或伺服系统。

3. 连续数据系统和离散数据系统

连续数据系统：系统各部分的信号都是连续函数形式的模拟量。

离散数据系统：系统的某一处或数处的信号是以脉冲序列或数码形式传递的系统。

第三节 自动控制系统的暂态过程与对系统的基本要求

控制系统的暂态性能可以通过在输入信号作用下系统的过渡过程，即暂态过程来评价。系统的暂态过程不仅与系统的结构和参数有关，还与外加输入信号的形式有关。

一、典型输入信号

作用于自动控制系统的输入信号是多种多样的，既有确定性信号，又有随机性信号。对于不同的输入信号，系统的响应特性不同。为了便于研究，通常选用几种确定性的函数作为典型输入。经常用于工程实际的典型输入信号有下列几种：

1. 单位阶跃函数 单位阶跃函数如图 1-8 所示。它的数学表达式为

$$1(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 1 & t > 0 \end{cases}$$

在 $t=0$ 时， $1(t)$ 的值不定。如果阶跃函数的幅值为 R_p ，则可表为 $R_p \cdot 1(t)$ 。在自动控制系统中，阶跃函数是应用最广的一种典型输入信号，一般用系统对阶跃函数的响应来评价系统的暂态性能。

2. 单位斜坡函数 单位斜坡函数如图 1-9 所示。它的数学表达式为

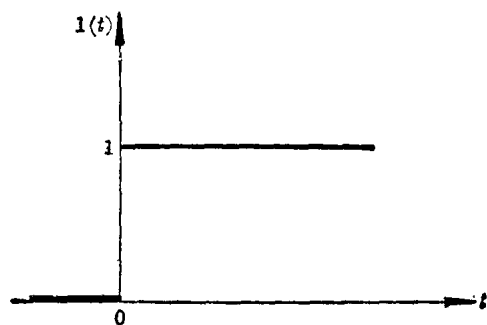


图 1-8 单位阶跃函数 $1(t)$

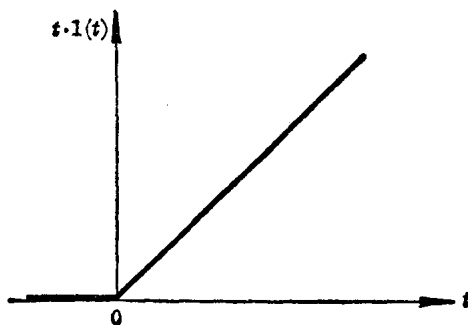


图 1-9 单位斜坡函数

$$t \cdot 1(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ t & t \geq 0 \end{cases}$$

式中的 $1(t)$ 常省略。如果斜坡函数的速度为 R_v , 则斜坡函数可表示为 $R_v t$ 。

3. 单位加速度函数 单位加速度函数如图 1-10 所示。它的数学表达式为

$$\frac{1}{2} t^2 \cdot 1(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ \frac{1}{2} t^2 & t \geq 0 \end{cases}$$

式中的 $1(t)$ 常省略。如果加速度函数的加速度为 R_a , 则加速度函数可表为 $\frac{1}{2} R_a t^2$ 。

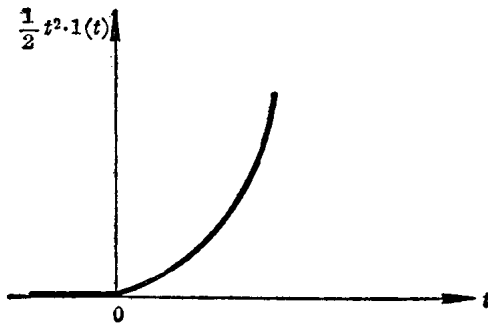


图 1-10 单位加速度函数

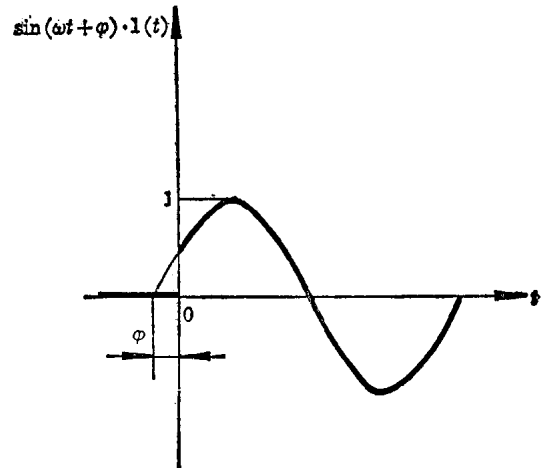


图 1-11 单位正弦函数

4. 单位正弦函数 单位正弦函数如图 1-11 所示。它的数学表达式为

$$\sin(\omega t + \varphi) \cdot 1(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ \sin(\omega t + \varphi) & t \geq 0 \end{cases}$$

式中的 $1(t)$ 常省略。如果正弦函数的幅值为 A , 则正弦函数可表为 $A \sin(\omega t + \varphi)$ 。

5. 单位脉冲函数 单位脉冲函数如图 1-12 所示。它的数学表达式为

$$\delta(t) = \begin{cases} 0 & t \neq 0 \\ \infty & t = 0 \end{cases}$$

图 1-13 所示的矩形脉冲的脉冲面积为 1。当脉冲宽度 $\tau \rightarrow 0$ 时, 其脉冲高度 $1/\tau \rightarrow \infty$ 。所以单位脉冲 $\delta(t)$ 可以看成脉冲面积总是为 1 的, 但脉冲宽度 $\tau \rightarrow 0$ 时的极限情况的矩形脉冲。

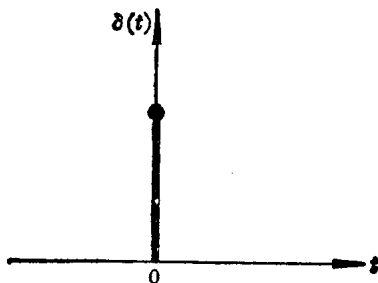


图 1-12 单位脉冲函数

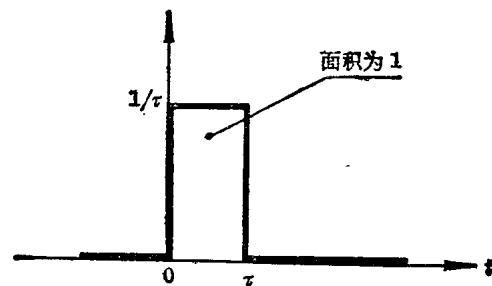


图 1-13 面积为 1 的矩形脉冲

定义

$$\delta(t) = \lim_{\tau \rightarrow 0} \left[\frac{1}{\tau} 1(t) - \frac{1}{\tau} 1(t-\tau) \right]$$

按上式定义, $\delta(t)$ 脉冲的面积为 1。所以脉冲函数不用其幅度的大小来描述脉冲的强弱 [$\delta(t)$ 的幅值为无穷大, 用它描述脉冲的强度是没有意义的], 而用脉冲的面积的大小来描述脉冲的强度。强度为 A 的脉冲函数记为 $A\delta(t)$ 。

因为
$$\delta(t) = \frac{d}{dt} [1(t)]$$

所以单位脉冲还可以看成是单位阶跃函数的导数。反之

$$\int_{-\infty}^t \delta(t) dt = \int_0^t \delta(t) dt = 1(t) \quad (t > 0)$$

单位脉冲函数是一种数学的抽象, 在实际物理系统中是不存在的。但是, 对于实际系统中的这样一些输入信号: 在 $0 < t \leq \tau$ ($\tau \approx 0$) 的持续时间内, 输入信号 $f(t)$ 的积分为

$$A = \int_0^{\tau} f(t) dt$$

如果值 A 对于系统的影响不可忽略, 那么 $f(t)$ 对系统的作用可近似地用 $A\delta(t)$ 代替。

二、系统的暂态过程及基本要求

为了实现自动控制的基本要求, 就要对系统在控制过程中表现出来的性能提出基本要求。通常称在没有外作用时系统处于的某种平衡状态为零状态。当系统受到外作用时, 其输出量(即被控制量)发生变化。由于系统中总含有贮能元件, 因此输出量的变化不可能是瞬时的, 而是要有一个过程, 这个过程在自动控制理论中称为动态过程或暂态过程。例如一个 $R-L-C$ 电路, 在零初始条件下输入单位阶跃函数, 其暂态过程常如图 1-14(b) 所示。

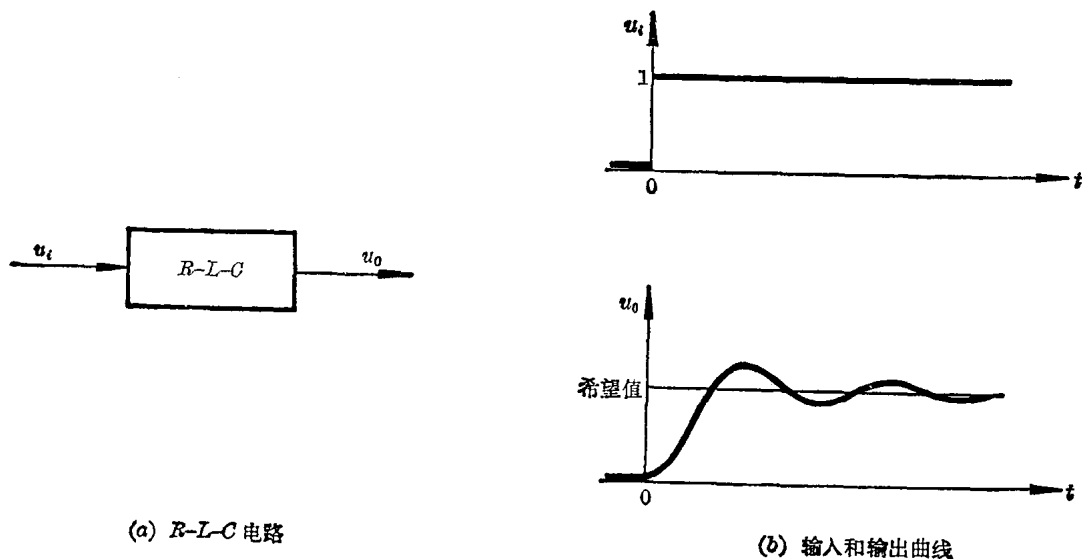


图 1-14 $R-L-C$ 电路的单位阶跃响应

系统暂态过程的性能是自动控制系统质量的重要标志。对系统暂态性能的要求首先是稳定性能。当系统受到外作用时, 例如在给定值输入端输入单位阶跃函数时, 如果系统被控制量的暂态过程随着时间推移而衰减, 直到最后与希望值一致(允许有一定误差), 即如

图 1-14(b)所示,则这样的系统称为稳定系统。不稳定系统其暂态过程是发散的,或表现为等幅振荡,如图 1-15 所示。关于线性定常系统稳定性的严格定义将在第三章给出。

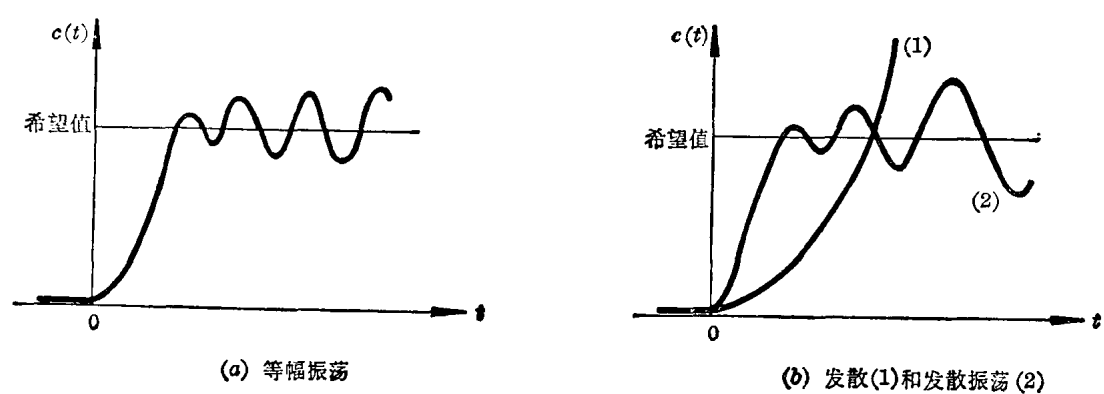


图 1-15 不稳定系统的输出量的过渡过程

不仅要求自动控制系统稳定,而且要求系统具有一定的稳定裕量,或说有一定的相对稳定性。图 1-16 中,系统(a)的稳定性就比系统(b)好;或者说系统(a)的阻尼性能比(b)好。

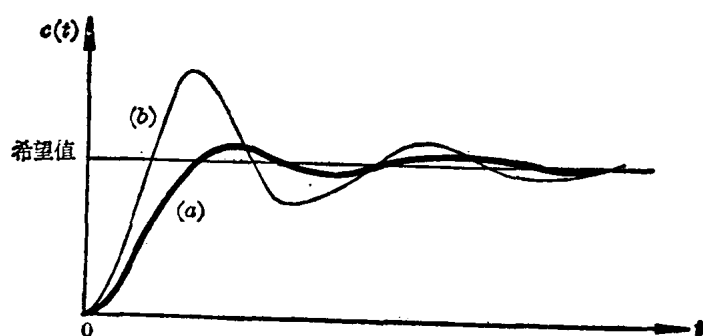


图 1-16 系统稳定性的比较

系统除了稳定性要求以外,还要求具有一定的快速性。所谓快速性就是暂态过程中被控制量上升速度的快慢,以及被控制量趋向希望值的快慢。

暂态过程结束后系统进入稳态。对于稳态,要求被控制量以一定的精度达到希望值。这个“一定的精度”就是系统的稳态误差。系统的稳态误差应满足系统控制精度的要求。

按照给定的任务,设计既满足稳定性要求,又满足稳态误差和快速性要求的自动控制系统,这是本课程的基本任务。

三、自动控制理论的基本体系

在自动控制系统中,所要处理的对象种类繁多,情况复杂。但是,不管怎样复杂的被控制的对象,一旦找到了它的数学模型(例如微分方程)就可以用一般控制理论进行研究、分析、处理。

图 1-17 为自动控制理论的基本体系的方框图。分析和设计系统时系统的动态性能最为重要,因而首先必须知道被控对象的特性。为了便于分析系统的特性可用数学表达式来描述系统,描述系统的数学表达式称为系统的数学模型。求取系统的数学模型时,需要量测系统的特性,对系统进行辨识或计算机模拟。