

控制技术是研究控制共同规律的技术科学。随着科学技术和工程技术的迅速发展，逐步形成了适应时代发展和要求的一门独立学科——控制论。控制论包括工程控制论、生物控制论和经济控制论等。这样，控制理论和技术从工程技术学科领域（如机械、化工、电气、电子、航空、航天、人工智能等）的理论研究及工程应用，渗透到生物学（如生物医药工程等）、社会科学（如经济预测与调控等）等领域，控制技术及其应用在科研工作和日常生活中扮演着越来越重要的角色。在了解控制系统仿真的相关概念之前，首先需要了解一下控制系统的基本概念。

2.1 控制系统的基本概念

什么是控制系统？控制系统是指在没有人直接操作的情况下，利用控制装置使被控制对象（如机器、设备或生产过程）的某一物理量或工作状态自动地按照预定的规律运行或变化。这里的“控制系统”是相对于“人工操控”而言的，例如，人造地球卫星在预定轨道上运行，无人驾驶的飞机自动按预定的航迹飞行，数控机床自动按预定的程序加工零件，化工生产过程中反应塔的温度、流量、物料成分、压力自动保持恒定不变，机器人自动按预定程序在人工不便操作的环境中工作等，都是控制系统的典型应用。

系统是指若干个部件的组合，这些部件组合在一起完成指定的任务。应该指出，系统不局限于物理系统，还可以应用于抽象的动态现象。控制系统就是指能够对被控制对象的工作状态进行控制的系统。

控制系统一般由控制装置和被控制对象组成。被控制对象（简称被控对象）是指要求实现控制的机器、设备或生产过程，例如，人造地球卫星、数控机床、传动电机以及化工生产过程等。控制装置是指对被控对象起控制作用的设备全体，包括测量装置、比较装置、放大装置和执行机构等。控制系统的组成和功能是多种多样的，它可以是只控制一个物理量（如温度、压力、电流等）的简单系统，也可以是包括一个化工流程全部过程的复杂系统；可以是一个具体的工业工程系统，也可以是抽象的社会系统、经济系统乃至生态系统等。控制的基本形式通常有开环控制系统、闭环控制系统和复合控制系统，而复合控制系统就是开环控制系统和闭环控制系统相结合的一种控制方式。这里以电动机为被控对象，简要讨论开环控制系统和闭环控制系统的基本概念。

2.1.1 开环控制系统与闭环控制系统

开环控制系统是指组成系统的控制装置与被控对象之间只有顺向作用，而没有反向联系的控制系統。也就是说，在开环控制系统中，输入端信号与输出端信号之间只有前向通道，不存在由输出端到输入端的反馈回路。

图 2-1 所示的他激直流电动机转速控制系统就是一个开环控制系统。它的任务是控制直流电动机以恒定的转速带动负载工作。

系统的工作原理是：调节电位器的触头，使其输出给定电压 u_r 。经电压放大器和功率放大器后成为电动机的电枢电压 u_a ，送到电动机的电枢端，用来控制电动机转速。在负载恒定的条件下，他激直流电动机的转速 ω 与电枢电压 u_a 成正比，只要通过调节电位器的触头，就可以改变给定电压 u_r ，便可得到相应的电动机转速 ω 。

在本开环控制系统中，直流电动机是被控对象，电动机的转速 ω 是被控量，也称为系统的输出量或输出信号。给定电压 u_r 通常称为系统的给定量或输入量。在本开环控制系统中，只有输入量 u_r 对输出量 ω 的单向控制作用，而输出量 ω 对输入量却没有任何影响和关联，这种系统称为开环控制系统。

直流电动机转速开环控制系统对应的方框图可用图 2-2 来表示。图中用方框代表系统中具有相应功能的元件；用箭头表示元件之间的信号及其传递方向。电动机负载转矩的任何变化，都会使输出量 ω 偏离期望值，导致变化的这种作用称为干扰或扰动，在图 2-2 中可用一个画在直流电动机（被控对象）上的箭头来表示。

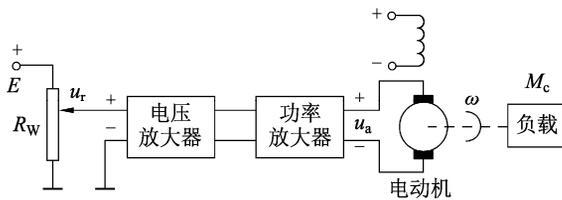


图 2-1 直流电动机转速开环控制系统

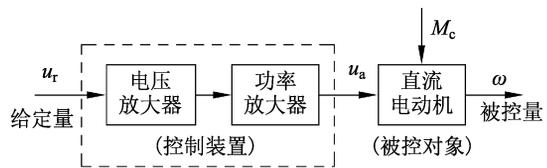


图 2-2 直流电动机转速开环控制系统方框图

开环控制系统控制精度不高和适应性不强的主要原因是缺少从系统输出到输入的反馈回路。若要提高控制精度，就必须把输出量的信息反馈到输入端，通过比较输入值与输出值，产生偏差信号，该偏差信号以一定的控制指标来产生控制作用，逐步减小以至消除这一偏差，从而实现所要求的控制指标。系统的控制作用受输出量影响的控制系统称为闭环控制系统。

在如图 2-2 所示的直流电动机转速开环控制系统中，加入一台测速发电机，并对电路稍做修改，便构成了如图 2-3 所示的直流电动机转速闭环控制系统。

在图 2-3 中，测速发电机由电动机同轴带动，它将电动机的实际转速 ω （系统输出量）测量出来，并转换成反馈电压 u_f ，再连接到系统的输入端，与给定电压 u_r （系统输入量）进行比较，从而得出电压 u_c 。该电压能反映出误差的性质（即误差的大小和正负变化方向），通常称为偏差信号，简称偏差。偏差经放大器放大后成为电动机的电枢电压 u_a ，用以控制电动机转速 ω 。直流电动机转速闭环控制系统的方框图可用图 2-4 表示。

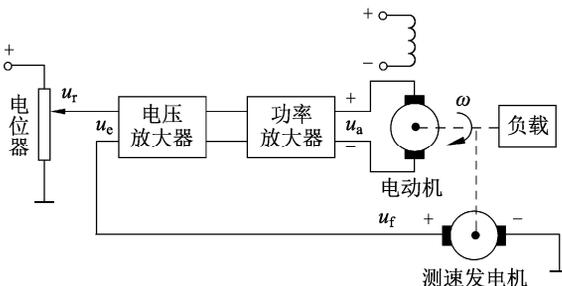


图 2-3 直流电动机转速闭环控制系统

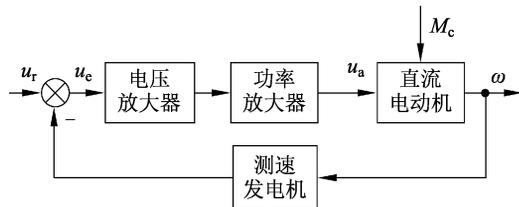


图 2-4 直流电动机转速闭环控制系统方框图

通常把从系统输入量到输出量之间的通道称为前向通道；从输出量到反馈信号之间的通道称为反馈通道。方框图中用符号“⊗”表示比较环节，其输出量等于各个输入量的代数和。因此，在系统方框图中各个输入量均须用正负号表明其极性。图 2-4 清楚地表明：由于采用了反馈回路，使信号的传输路径形成闭合回路，使输出量反过来直接影响控制作用。这种通过反馈回路使系统构成闭环，并按偏差产生控制作用，用以减小或消除偏差的控制系统，称为闭环控制系统，或称反馈控制系统。

必须指出，在系统主反馈通道中，只有采用负反馈才能达到控制的目的。若采用正反馈，将使偏差越来越大，导致系统发散而无法正常工作。闭环系统工作的本质原理是：将系统的输出信号引回到输入端，与输入信号相比较，利用所得的偏差信号对系统进行调节，达到减小偏差或消除偏差的目的。这就是负反馈控制原理，它是构成闭环控制系统的核心。闭环控制是常用的控制方式，通常所说的控制系统，一般都是指闭环控制系统。

一般来说，开环控制系统结构比较简单，成本较低。开环控制系统的缺点是控制精度不高，干扰抑制能力差，而且对系统参数变化非常敏感。一般用于可以不考虑外界影响或精度要求不高的场合，如洗衣机、步进电机的控制等。

在闭环控制系统中，不论是输入信号的变化、干扰的影响，还是系统内部参数的变化，只要变化的量在闭环内，就可以通过反馈使被控量偏离给定值，从而产生相应的作用去消除偏差。因此，闭环控制抑制干扰能力很强，与开环控制相比，系统对参数变化不敏感，可以选用不太精密的元件构成较为精密的控制系统，获得比较满意的动态特性和控制精度。但是采用反馈装置需要添加元件，造价较高，同时也增加了系统的复杂性。如果系统的结构参数选取不适当，控制过程可能会变差，甚至出现振荡或发散等不稳定的情况。因此，如何分析系统，合理选择系统的结构参数，从而获得满意的系统性能，是控制系统设计必须要研究和解决的问题。

2.1.2 闭环控制系统组成结构

任何一个闭环控制系统都是由被控对象和控制器构成的。闭环控制系统根据被控对象和具体用途不同，可以有各种不同的结构形式。图 2-5 是一个典型闭环控制系统方框图。除被控对象外，控制装置通常是由测量元件、比较元件、放大元件、执行机构、校正元件以及给定元件组成。这些功能元件分别承担相应的职能，共同完成控制任务。

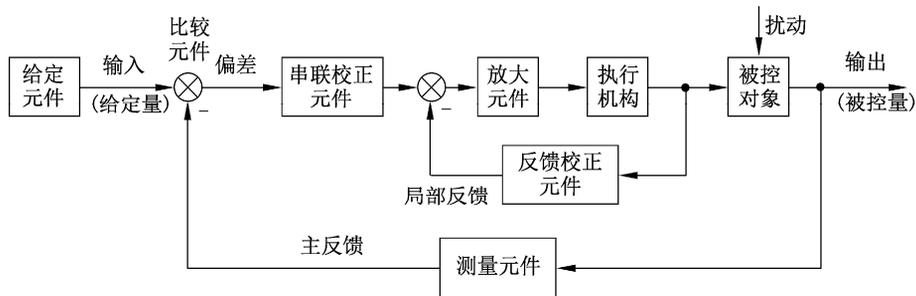


图 2-5 典型闭环控制系统方框图

被控对象：一般是指生产过程中需要进行控制的工作机械、装置或生产过程。

被控量：描述被控对象工作状态的、需要进行控制的物理量。

给定元件：用于产生给定信号或控制输入信号。

测量元件：用于检测被控量或输出量，产生反馈信号。如果测出的物理量属于非电量，那么一般要转换成电量以便传输和处理。

比较元件：用来比较输入信号和反馈信号之间的偏差。它可以是一个差动电路，也可以是一个物理元件，如电桥电路、差动放大器、自整角机等。

放大元件：用来放大偏差信号的幅值和功率，使之能够驱动执行机构来调节被控对象输出，如功率放大器。

执行机构：用于直接对被控对象进行操作，调节被控量，阀门、伺服电动机等。

校正元件：用来改善或提高系统的性能。常用串联或反馈的方式连接在系统中，如 RC 网络、测速发电机等。

2.1.3 反馈控制系统性能指标

对于反馈控制系统，在给定信号 $R(t)$ 的作用下，系统输出量 $C(t)$ 的变化情况用跟随性能指标来描述。对于不同变化方式的给定信号，其输出响应是不一样的。通常，反馈控制系统性能指标是指在初始条件为 0 的情况下，以系统对单位阶跃输入信号的输出响应（称为单位阶跃响应）为依据提出的，典型的单位阶跃响应曲线如图 2-6 所示。具体的跟随性指标有下述几项。

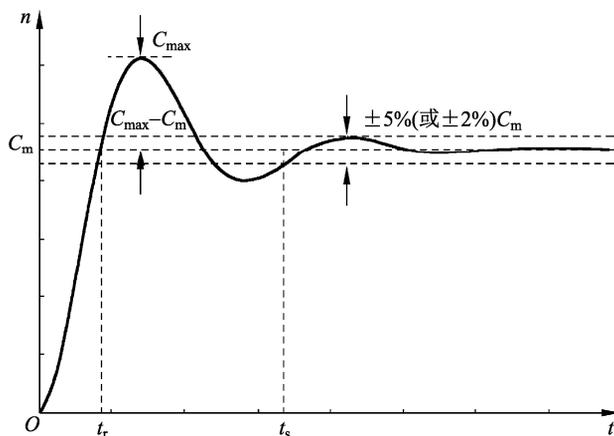


图 2-6 典型的单位阶跃响应曲线

1. 上升时间 t_r

单位阶跃响应曲线从 0 起第一次上升到稳态值 C_m 所需的时间称为上升时间，它表示动态响应的快速性。

2. 超调量 δ

动态过程中，输出量超过输出稳态值的最大偏差与稳态值之比，用百分数表示，称为超调量。超调量用来说明系统的相对稳定性，超调量越小，说明系统的相对稳定性越好，即动态响应比较平稳。

3. 调节时间 t_s

调节时间又称过渡过程时间，它衡量系统整个动态响应过程的快慢。原则上它应该是系统从给定信号阶跃变化起，到输出量完全稳定下来为止的时间。对于线性控制系统，理论上要到 $t=\infty$ 才能真正稳定。在实际应用中，一般将单位阶跃响应曲线衰减到与稳态值的误差进入并且不再超出允许误差带（通常取稳态值的 $\pm 5\%$ 或 $\pm 2\%$ ）所需的最小时间定义为调节时间。

控制系统在稳态运行中,如果受到外部扰动(如负载变化、系统结构变化),就会引起输出量的变化。输出量变化多少?经过多长时间能恢复稳定运行?这些问题反映了系统抵抗扰动的能力。一般以系统稳定运行中突加阶跃扰动 N 以后的过渡过程作为典型的抗扰过程,如图2-7所示。常用的抗扰性能指标有最大动态变化量、恢复时间。

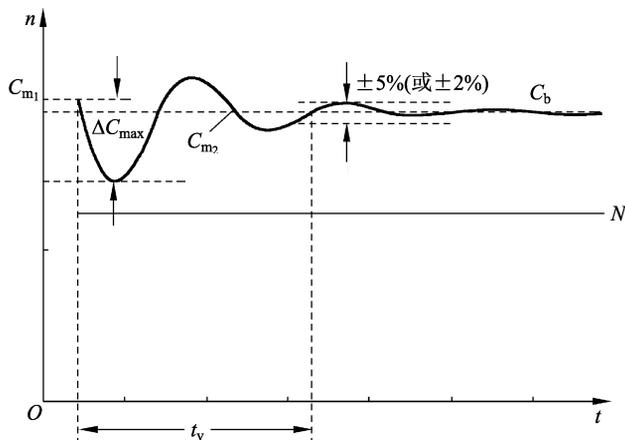


图 2-7 突加扰动的过渡过程和抗扰性能指标

4. 最大动态变化量

系统稳定运行时,突加一定数值的扰动所引起的输出量的最大变化,用原稳态值输出 C_{m1} 的百分数表示,称为最大动态变化量。输出量在经历动态变化后逐渐恢复,达到新的稳态值 C_{m2} , $C_{m1} - C_{m2}$ 是系统在该扰动作用下的稳态误差(即静差)。

5. 恢复时间 t_v

从阶跃扰动作用开始,到输出量基本上恢复稳态,与新稳态值 C_{m2} 误差进入某基准值 C_b 的 $\pm 5\%$ 或 $\pm 2\%$ 范围之内所需的时间,定义为恢复时间 t_v 。其中, C_b 称为抗扰指标中输出量的基准值,视具体情况选定。

上述动态指标都属于时域上的性能指标,它们能够比较直观地反映出生产要求。但是,在进行工程设计时,作为系统的性能指标还有一套频域上的提法。根据系统开环频率特性提出的性能指标为相角裕量 γ 和截止频率 ω_c ;根据系统的闭环幅频特性提出的性能指标为闭环幅频特性峰值 M_r 和闭环特性通频带 ω_b 。相角裕量 γ 和闭环幅频特性峰值 M_r 反映系统的相对稳定性,开环特性截止频率 ω_c 和闭环特性通频带 ω_b 反映系统的快速性等。

2.2 自动控制系统分类

自动控制系统的形式是多种多样的,用不同的标准进行划分,就有不同的分类方法。常见的有如下几种。

2.2.1 线性系统和非线性系统

按系统是否满足叠加原理,可以将系统分为线性系统和非线性系统。由线性元件组成的系统称为线性系统,系统的运动方程能用线性常系数微分方程描述。线性系统的主要特点是系统满足齐次性和叠加性,

系统的响应与初始状态无关,系统的稳定性与输入信号无关。

如果控制系统中含有一个或一个以上非线性元件,这样的系统就属于非线性控制系统。非线性系统不满足叠加原理,系统响应与初始状态和外作用都有关。实际的物理系统都具有某种程度的非线性,但在一定范围内通过合理简化,大量的物理系统都可以用线性系统来近似描述,其精度满足工程要求。

2.2.2 离散系统和连续系统

如果系统中各部分的信号都是连续函数形式的模拟量,则这样的系统就称为连续系统。如果系统中有一处或几处的信号是离散信号(脉冲序列或数码),则这样的系统就称为离散系统(包括采样系统和数字系统)。计算机控制系统就是离散控制系统的典型例子。

2.2.3 恒值系统、随动系统和程序控制系统

按给定信号的形式不同,可将系统划分为恒值控制系统和随动控制系统。

恒值控制系统也称为定值系统或调节系统,恒值控制系统的控制输入是恒定值,要求被控量保持给定值不变。例如,液位高度控制系统、直流电动机匀速控制系统等。

随动控制系统也称为伺服系统,随动控制系统的控制输入是变化规律未知的时间函数,系统的任务是使被控量按同样的规律变化,并与输入信号的误差保持在规定范围内。例如,函数记录仪、自动火炮控制系统等。

程序控制系统的给定信号按预先规定的程序确定,要求被控量按相应的规律随控制信号变化。例如,金属表面热处理的升、降温控制,机械加工中的数控机床等。

2.3 控制系统仿真基本概念

控制系统仿真是一门涉及控制理论、计算数学与计算机技术的综合性新型学科。这门学科的产生及发展几乎是与计算机的发明及发展同步进行的。它包含控制系统分析、综合、设计、检验等多方面的计算机运算处理。计算机仿真基于计算机高速而精确的运算,以实现各种功能。

2.3.1 计算机仿真基本概念

系统:系统是物质世界中相互制约又相互联系着的、以期实现某种目的的一个运动整体。“系统”是一个很大的概念,通常研究的系统有工程系统和非工程系统。工程系统有电力系统、机械系统、水力、冶金、化工、热力学系统等。非工程系统有宇宙、自然界、人类社会、经济系统、交通系统、管理系统、生态系统、人口系统等。

通常用下列术语来描述所要研究的系统。

实体:存在于系统中的具有确定意义的物体,即组成系统的具体对象。例如,直流电动机转速闭环控制系统中的控制器、功率放大器及直流电动机等都是实体。

属性:实体所具有的每一项有效特征。例如,直流电动机的转速、电枢电流、励磁电压等。

活动:系统内部发生的变化过程称为内部活动,系统外部发生的对系统具有影响的任何过程都称为外部活动。例如,直流电动机的励磁电压的变化、电枢电流的变化等均为内部活动;直流电动机的外加负载的变化就是外部活动。



视频讲解

事件：使系统状态发生变化的行为。例如，在一个由购票顾客和售票员构成的售票系统中，可以定义“顾客到达”为一类事件，而这类事件的发生引起了系统的状态售票员的状态从“闲”变成“忙”，或者引起系统的另一个状态——排队的人数发生变化。

模型：对所研究的系统在某些特定方面的抽象。通过模型对原型系统进行研究，将具有更深刻、更集中的特点。模型分为物理模型和数学模型两种。数学模型可分为机理模型、统计模型与混合模型。

模型通常作为实际系统的一种简化，实际系统的输入和输出都应在模型中表示出来。所以，模型的输入在特征上应当与实际系统一致，这是由研究目的决定的，而它们的输出可能存在较大区别，这取决于模型的精度，模型仅仅是系统的一种抽象和简化。系统和模型都可以被认为是输入输出之间的函数映射关系时，模型的输出就可以用来预测或推断系统的输出。系统与模型的关系如图 2-8 所示。

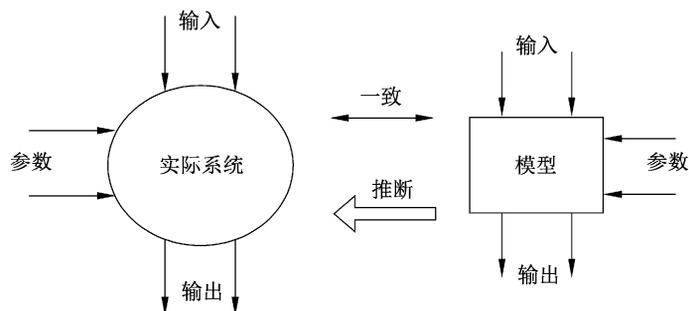


图 2-8 系统与模型的关系

系统仿真：以系统数学模型为基础，以计算机为工具对系统进行实验研究的一种方法。要对系统进行研究，首先要建立系统的数学模型。对于一个简单的数学模型，可以采用分析法或数学解析法进行研究，但对于复杂的系统，则需要借助于仿真的方法来研究。那么，什么是仿真呢？顾名思义，仿真就是模仿真实的事物，也就是用一个模型（包括物理模型和数学模型）来模仿真实的系统，对其进行实验研究。用物理模型来进行仿真一般称为物理仿真，它主要是应用几何相似及环境条件相似来进行。而由数学模型在计算机上进行实验研究的仿真一般称为计算机仿真。计算机仿真就是指把系统的数学模型转化为仿真模型，并编成程序在计算机上投入运行、实验的全过程。

2.3.2 控制系统仿真

控制系统仿真是系统仿真的一个重要分支，它辅助完成控制系统的建模、分析，以及控制器设计、验证的功能。设计自动控制理论、计算数学、计算机科学以及系统科学的新型学科。

控制系统仿真就是以控制系统模型为基础，采用控制系统模型代替实际控制系统，以计算机为工具，完成对控制系统的仿真、分析、评估和预测的一种方法和技术。

2.3.3 控制系统计算机仿真基本过程

控制系统计算机仿真是研究控制系统的一种高级方法。下面通过一个具体的实例来说明如何利用计算机仿真来研究系统。

【例 2-1】如图 2-9 所示的 RLC 电路系统，取 $L=1\text{H}$ 、 $C=1\text{F}$ ，考虑系统在单位阶跃输入情况下，讨论系统不产生振荡时电阻 R 的取值，其中 R 的取值大于 0.1Ω 。

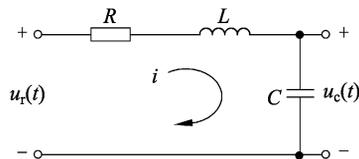


图 2-9 RLC 电路系统



视频讲解

1. 问题的描述

要求研究的问题是：当 $L=1\text{H}$, $C=1\text{F}$ 时，分析系统在输入作用 $u_r(t)=1(t)$ 的作用下，要使响应不发生振荡，通过计算机仿真研究 R 应在什么范围内取值。

2. 建立系统的数学模型

(1) 根据电学中的基尔霍夫定律，可写出原始方程

$$L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) + \frac{1}{C} \int i(t) dt = u_r(t) \quad (2-1)$$

(2) 式 (2-1) 中 i 是中间变量，它与输出有如下关系：

$$u_c(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt \quad (2-2)$$

(3) 消去式 (2-1)、式 (2-2) 的中间变量 i 后，便得输入与输出的微分方程式

$$LC \frac{d^2 u_c(t)}{dt^2} + RC \frac{du_c(t)}{dt} + u_c(t) = u_r(t) \quad (2-3)$$

(4) 将式 (2-3) 转换成状态方程及输出方程形式

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{R}{L} & -\frac{1}{LC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{LC} \end{bmatrix} u_r(t) \quad (2-4)$$

$$u_c(t) = [1 \quad 0] \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} \quad (2-5)$$

(5) 将第 (4) 步所得方程转换成离散状态方程及输出方程，用于计算机仿真编程

$$\begin{bmatrix} x_1((k+1)T) \\ x_2((k+1)T) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1(kT) \\ x_2(kT) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{R}{L} & -\frac{1}{LC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(kT) \\ x_2(kT) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{LC} \end{bmatrix} u_r(kT)T \quad (2-6)$$

$$u_c((k+1)T) = x_1((k+1)T) \quad (2-7)$$

式中， T 为采样周期。

3. 仿真程序编写和程序调试

为了使式 (2-6) 和式 (2-7) 所表示的仿真模型能够在计算机上运行，必须用编程语言加以描述，即编写仿真程序，并进行调试。采用 MATLAB 语言进行编程，程序如下：

```
>> clear all
>> L=1; % 输入 RLC 电路的电感值
>> C=1; % 输入 RLC 电路的电容值
>> R=input('请输入 R 的电阻值 (Ω) : '); % 输入 R 的电阻值 (Ω)
>> t=0;
>> T=0.001; % 设置系统采样时间 T 的值
>> A=[0 1; -R/L -1/(L*C)]; % 计算系统状态方程矩阵的值
>> B=[0 1/(L*C)]';
>> tmax=60; % 设置系统的仿真总时间 tmax
>> x=[0,0]'; % 设置状态变量初值
>> Y=0; % Y 为记录输出
>> H=t; % H 用于记录 t 的值
>> while (t<tmax)
>> xs=x+(A*x+B)*T; % 计算离散状态方程
```

```

>> y=xs(1); %计算离散输出方程
>> t=t+T;
>> Y=[Y;y]; %记录 y 和 t 的值
>> H=[H;t];
>> x=xs;
>> end
>> plot(H,Y,'k'); %绘制输出曲线

```

运行结果如图 2-10 所示。

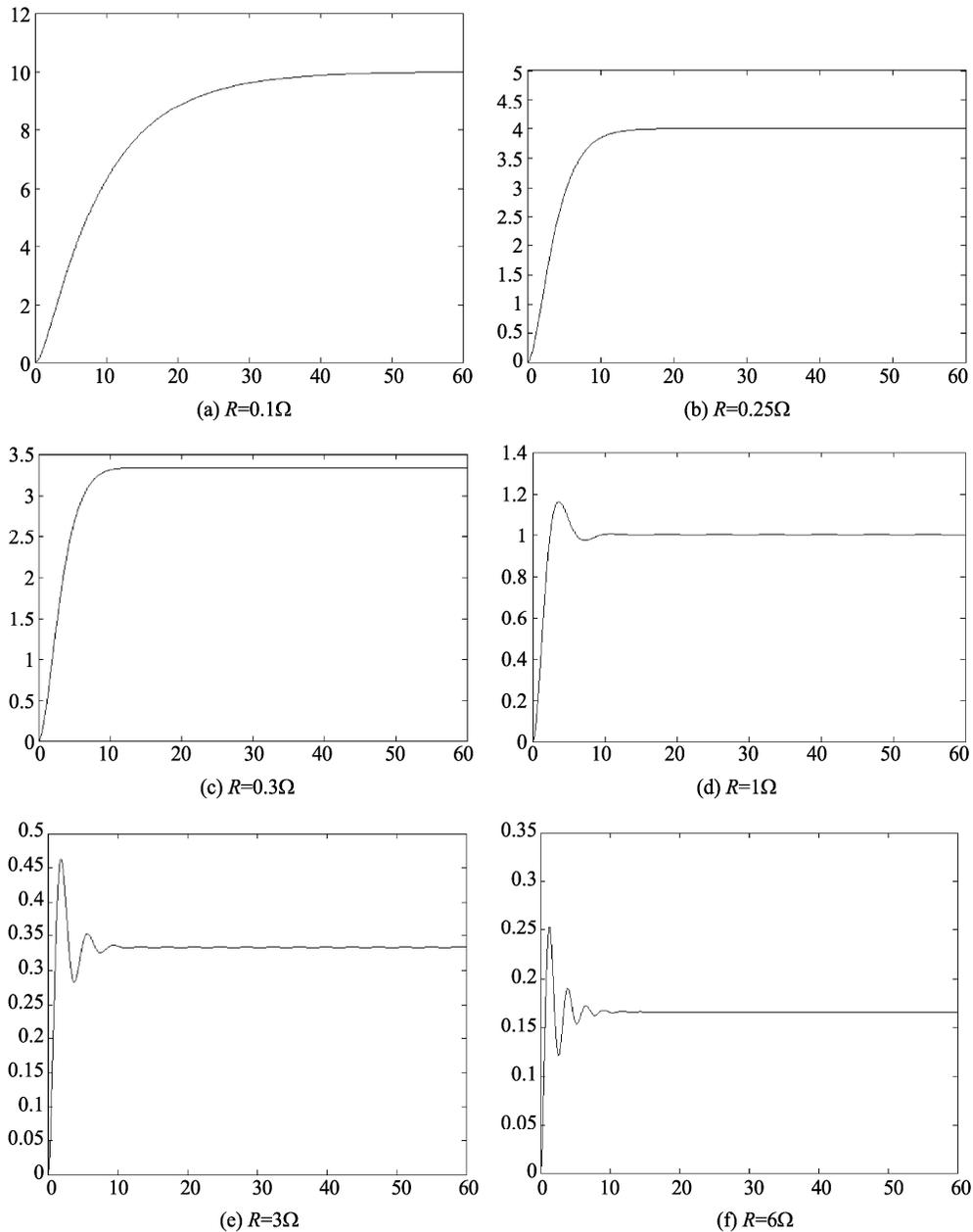


图 2-10 RLC 电路系统的单位阶跃响应曲线

4. 仿真模型的验证

为了使仿真研究更加有效,一般需要比较仿真程序运行所获得的数据与实际系统在相同条件下运行所观测到的数据,以确认数学模型的准确性。由于模型是基于物理定律建立起来的,所以假设模型是正确的。

5. 进行仿真试验,分析仿真结果

为了确定 R 在大于 0.1Ω 的范围内,系统的阶跃响应不发生振荡,首先取 $R=0.1\Omega$ 进行一次试验,响应曲线如图 2-10 (a) 所示,此时系统响应不发生振荡。然后增大 R 的取值,取 $R=0.25\Omega, R=0.3\Omega, R=1\Omega, R=3\Omega, R=6\Omega$, 分别得到仿真曲线如图 2-10 (b)、图 2-10 (c)、图 2-10 (d)、图 2-10 (e)、图 2-10 (f) 所示,结合二阶系统的特点,根据以上仿真试验结果的分析,可以初步得出粗略的取值范围为:当 R 在区间 $[0.1, 0.3]$ 上取值时,系统响应不会发生振荡。更精确的 R 取值范围需要更多的仿真结果和分析。

通过上面的例子,可以得出计算机仿真研究时的一般步骤,具体如下。

1) 确定仿真目的和基本需求

确定仿真要解决的问题并给出明确的说明,给出仿真的研究对象。

2) 建立研究对象的数学模型

对实际系统进行简化或抽象,用数学的形式对系统的行为、特征等进行描述,保持模型的物理机理及信息传递与实际系统的一致性和相似性。所得到的数学模型是仿真的重要依据。将数学模型通过一定的方式转换成能在计算机上实现和运行的数学模型,即为计算机仿真模型。

3) 仿真程序编写和程序调试

编写计算机仿真模型的程序,并进行调试。这个任务要结合所选用的程序设计语言来进行。

4) 仿真模型的验证

仿真模型的验证是指计算机仿真模型与数学模型的一致性检验,即检验计算机仿真模型是否与实际系统在一定条件下,其精度足以满足要求。

5) 进行仿真试验,分析仿真结果

这个过程包括仿真试验设计、参数选取、运行仿真模型,并根据试验结果对实际系统的运行得出预测性结论等。

计算机仿真的基本步骤如图 2-11 所示。

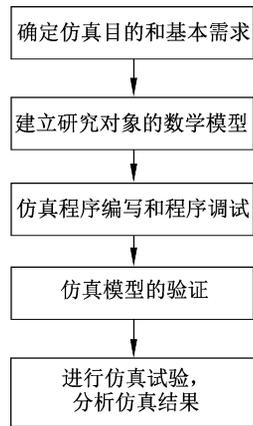


图 2-11 计算机仿真的基本步骤

2.3.4 计算机仿真技术发展趋势

计算机仿真技术已经被广泛应用于各种工程和非工程领域。通过仿真研究,可以预测系统的特性及外界干扰对系统的影响,从而为制定控制方案和控制决策提供定量依据。

虽然仿真是近几十年特别是计算机出现之后才迅速发展起来的一门综合性技术学科,但应用仿真技术的一些方法已经有了悠久的历史。仿真学科形成于 20 世纪 40 年代。在第二次世界大战末期,对火炮和飞行控制动力学的研究,促进了模拟机仿真技术的发展。1946 年第一台通用数字计算机的问世及 1948 年电子微分器的研制成功,开创了计算机仿真的新纪元。20 世纪 50 年代中期开始出现数字仿真,并在以后的一段时间内得到了迅速发展。20 世纪 50 年代末至 20 世纪 60 年代初,由于导弹技术和航天技术的需要,出现了仿真专用的混合计算机,混合仿真的发展处于领先地位。20 世纪 60 年代至 20 世纪 70 年代是数字仿真技术和混合仿真技术互相竞争的时期,几乎所有先进国家都建立了混合仿真试验基地。20 世纪 70 年

代以后,随着采用超大规模集成电路的微型计算机的大量投入应用,计算机的内存容量计算速度及其他性能有了显著的提高,价格大大降低,从而促进了数字仿真技术的飞速发展。近20年来,大量适合于在微型机上运行的仿真软件的出现,更为推广和普及仿真技术注入了新的力量。与此同时,基于并行处理的全数字仿真计算机系统已经面世。目前,全数字仿真已逐步取代了混合计算机仿真。

国际上设有专门的计算机仿真协会——国际仿真数学和仿真计算机协会(International Association for Mathematics and Computers in Simulation, IAMCS),我国也于1989年成立了系统仿真学会。国内外高等学校的理、工科专业都普遍开设了计算机仿真类的课程。

近年,计算机仿真技术有了许多突破性的进展。结合问题领域的扩展和仿真支持技术的发展,系统仿真方法学致力于更自然地描述事物的属性特征,寻求使模型研究者更自然地参与仿真活动的方法,催生了一批关于仿真的新研究热点,如面向对象仿真、定性仿真、智能仿真、分布交互仿真、可视化仿真、多媒体仿真、虚拟现实仿真等前沿技术。仿真的应用领域也不断扩大,已经从航空、航天转向冶金、化工、电力及其他工业生产部门,从工程领域转向生物、生态、经济及管理等非工程领域。计算机仿真技术已经成为一般科技工作者和工程技术人员都可以方便使用的先进技术手段。

2.4 MATLAB 中控制相关的工具箱

MATLAB 工具箱是采用 MATLAB 语言编写的实现特定功能的工具,其中与控制相关的基础工具箱主要有6个。

- 控制系统工具箱(Control system toolbox),提供了一般的经典和现代的控制系统设计方法,包括根域分析法、轨迹方法、频率域方法、极点配置法、线性二次型最优控制设计等。除了包含丰富的 M 函数,该工具箱还提供了线性时不变系统分析器(LTI Viewer)和单输入单输出设计工具(SISO Tool)。
- 系统辨识工具箱(System identification toolbox),提供了许多用于辨识和建模的专用函数。
- 模型预测控制工具箱(Model predictive control toolbox),主要用于解决大规模、多变量的过程控制问题。
- 鲁棒控制工具箱(Robust control toolbox),提供了用于多变量控制系统设计和分析的许多算法。
- 神经网络工具箱(Neural network toolbox),提供了神经网络设计和模拟的工具,包括大多数已提出的网络结构,如BP、Hopfield、自组织、径向基网络等。
- 模糊逻辑工具箱(Fuzzy logic toolbox),提供了图形化界面的模糊逻辑推理设计方法。

习 题

1. 什么是控制系统?
2. 什么是开环控制系统?开环控制系统控制精度不高的原因是什么?
3. 结合典型闭环控制系统的方框图,解释各部分的含义。
4. 说明控制系统的跟随性指标含义。
5. 什么是恒值系统、随动系统和程序控制系统?
6. 说明计算机仿真研究的一般步骤。