

第 1 章 自动控制的一般概念

自动化技术几乎渗透到国民经济的各个领域及社会的各个方面，是当代发展最迅速、应用最广泛的技术，是推动新的技术革命和产业革命的关键技术。从某种程度上来说，自动化是现代化的代名词。自动控制原理是研究分析、设计自动控制系统的基本方法。本章主要介绍自动控制的一般概念、自动控制系统的组成和分类、对控制系统的要求及系统分析与设计工具。

1.1 自动控制与自动控制系统

所谓自动控制，是指在没有人直接参与的情况下，利用外加的设备和装置，使机器设备或生产过程的某个工作状态或参数自动地按照预定的规律运行。将完成自动控制所需的物理部件构成的有机整体称为自动控制系统。

在自动控制系统中，外加的设备或装置称为控制器或控制装置，机器设备或生产过程统称为控制对象，被控制的工作状态或参数称为被控量或输出量。输出的期望值为给定量，即输入量。妨碍控制量对被控量进行正常控制的所有因素称为扰动量。给定量和扰动量都是控制系统的输入量。自动控制的任務就是使系统按照给定量所设定的规律运行。

自动控制系统的种类较多，被控制的物理量也是各种各样，如温度、压力、流量、电压、转速和位移等。组成这些控制系统的元、部件虽然有较大的差异，但是系统的基本结构却相类同，且一般都是通过机械、电气和液压等方法来代替人工控制。为了解自动控制系统的结构，下面分析图 1.1-1 所示的水池液位控制系统。

图 1.1-1 中 F_1 为出水阀， F_2 为进水阀，控制要求希望液位等于 h_0 。当人参与控制时，就要不断地将实际液位与希望液位做比较，根据比较的结果，决定进水阀 F_2 开度是增大还是减小，以达到维持液位不变的目的。

图 1.1-2 为人参与该系统控制的方框图。由图 1.1-2 可见，人在参与控制中起以下 3 方面的作用。

- (1) 测量实际液位 h_1 ——用眼睛。
- (2) 将测得实际液位 h_1 与希望液位 h_0 相比较——用脑。
- (3) 根据比较的结果，即按照偏差的正负去决定控制的动作——用手。

显然，如果用自动控制去代替上述的人工控制，那么在自动控制系统中必须具有上述 3 种职能机构，即测量机构、比较机构和执行机构。如果将图 1.1-1 改为图 1.1-3 所示的液位自动

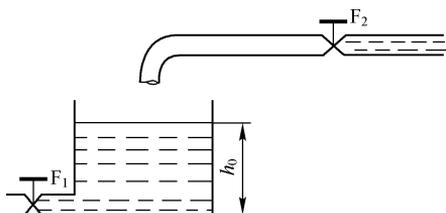


图 1.1-1 水池液位控制系统

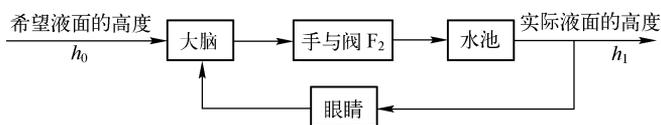


图 1.1-2 液位人工控制系统的方框图

控制系统，就可以实现不论经出水阀 F_1 流出的流量如何变化，系统总能自动地维持其液位高度在允许的偏差范围之内。

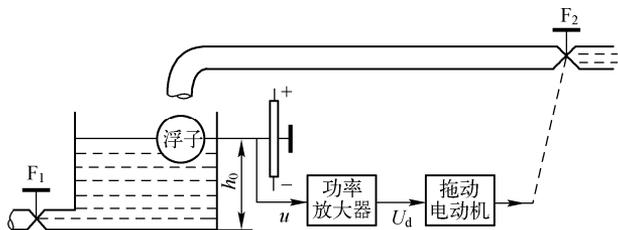


图 1.1-3 液位自动控制系统

假设水池液位因 F_1 阀开度的增大而降低，则系统立即产生一个与降落液位成比例的误差电压 u ，该电压经放大器放大后供电给进水阀的拖动电动机，使阀 F_2 的开度也相应地增大，从而使水池的液位恢复到所希望的高度。

图 1.1-3 所示的液位控制系统由以下 5 个部分组成：

- (1) 被控对象——水池。
- (2) 测量元件——浮子。
- (3) 比较机构——浮子的希望位置与实际位置之差。
- (4) 放大机构——提高系统的控制精度。
- (5) 执行元件——驱动被控对象，以改变被控制的量。

以上 5 个部分也是一般自动控制系统的基本组成单元。此外，为了改善控制系统的动、静态性能，通常还需在系统中引入某种形式的校正装置。

为了使控制系统的表示既简单又明了，在控制工程中可用方框图的形式直观地表示系统的输入量与输出量之间的关系。图 1.1-4 是水池液位自动控制系统的方框图，图中箭头方向表示信号传递方向。



图 1.1-4 水池液位自动控制系统的方框图

1.2 自动控制的方式

1.2.1 开环控制与闭环控制

控制系统按其结构可分为开环控制系统、闭环控制系统和复合控制系统。

1. 开环控制

若系统中的信号只从控制装置向被控对象传递，而无反向传递，即信号传递路径不构成闭合回路，这类控制称为开环控制，相应的控制系统称为开环控制系统，如图 1.2-1 所示。

由图 1.2-1 可见，这种控制系统的特点是结构简单，所用的元件少，成本低，系统容易稳定。然而，由于开环控制系统既不要对它的被控量进行检测，又没有将被控量反馈到

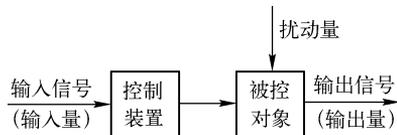


图 1.2-1 开环控制系统方框图

系统的输入端和参考输入相比较，所以当系统受到干扰作用后，被控制量一旦偏离了原有的平衡状态，系统就没有消除或减小误差的功能，这是开环控制系统的“致命”缺点。

图 1.2-2(a) 为一个开环直流调速系统，对应的系统方框图如图 1.2-2(b) 所示。图中 U_g 为给定的参考输入，它经触发器和晶闸管整流装置转变为相应的直流电压 U_d ，并给直流电动机供电，使之产生一个 U_g 所期望的转速 n 。但是，当电动机的负载、交流电网的电压以及电动机的励磁稍有变化时，电动机的转速就会随之变化，不能再维持 U_g 所期望的转速。

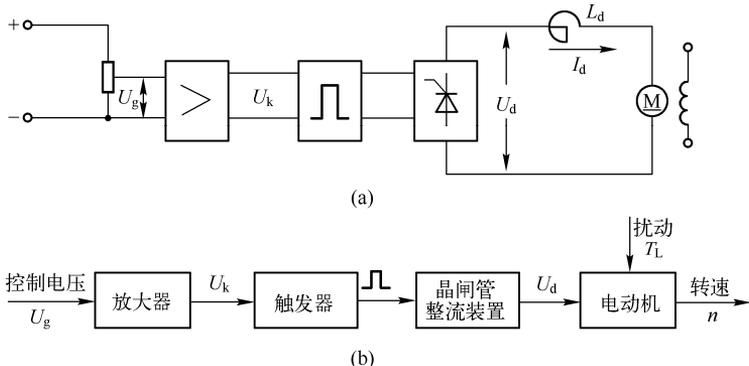


图 1.2-2 开环直流调速系统

2. 闭环控制

在控制系统中，通过测量装置检测输出量，并与输入信号进行比较，进而使控制装置按照二者的偏差来调节输出量，此类控制方式称为闭环控制。此时系统中存在信号的反向传递，通过测量装置使信号流构成闭合回路。闭环控制又称为反馈控制或偏差控制，相应的控制系统称为闭环控制系统，如图 1.2-3 所示。

图 1.2-4(a) 为一个闭环直流调速系统，对应的系统方框图如图 1.2-4(b) 所示。本系统中用测速发电机 TG 检测输出量——电动机 M 转速 n ，并将其转换成反馈电压 U_{fn} ，然后反馈到输入端，与给定电压 U_g 相比较。其偏差经过运算放大器放大后，用来控制晶闸管整流装置输出电压 U_d 和电动机的转速 n 。当电位器滑动端在某一位置时，电动机就以指定的转速运转。

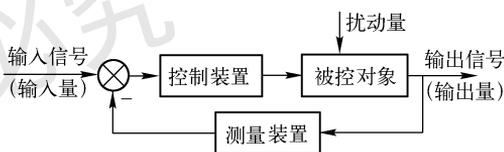


图 1.2-3 闭环控制系统的方框图

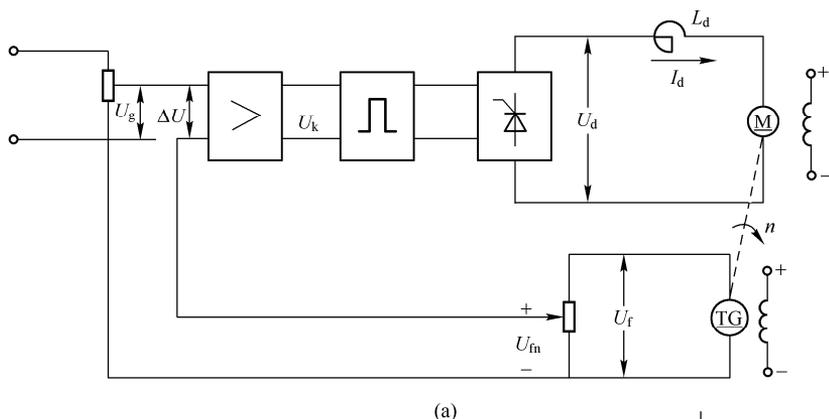
如果由于外部或内部扰动(例如由于负载突然增加)使电动机转速降低，那么这一速度变化将由测速发电机检测出来。此时反馈电压相应降低，与给定电压比较后，偏差电压增大，再经过运算放大器放大后，将使晶闸管整流装置输出电压 U_d 升高，从而减小或消除电动机的转速偏差。调节过程如下：

$$\left. \begin{matrix} T_L \uparrow \\ u_{\sim} \downarrow \end{matrix} \right\} \rightarrow n \downarrow \rightarrow U_{fn} \downarrow \rightarrow \Delta U = (U_g - U_{fn}) \uparrow \rightarrow U_k \uparrow \rightarrow U_d \uparrow \rightarrow n \uparrow$$

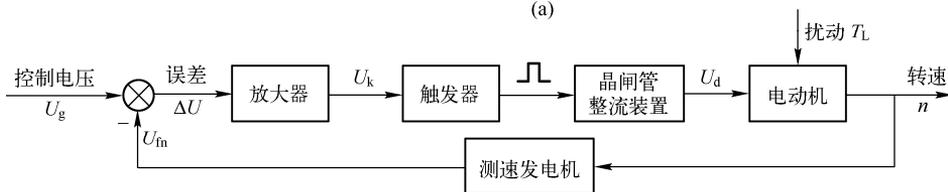
闭环控制系统具有如下特点：

(1) 由于系统的控制作用是通过给定量与反馈量的偏差进行的，所以这种控制称为偏差控制或反馈控制。

(2) 这类控制系统具有两种传输信号的通道。由给定量至被控量的通道称为前向通道，由被控量至系统输入端的通道称为反馈通道。



(a)



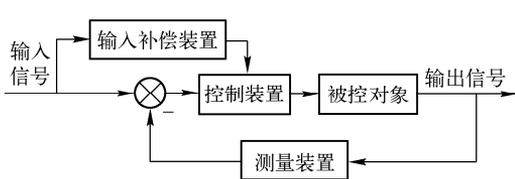
(b)

图 1.2-4 闭环直流调速系统

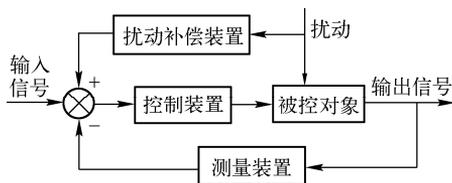
(3) 不论取什么物理量进行反馈，作用在反馈环内前向通道上扰动所引起的被控量的偏差值，经系统调节和控制，都会得到减小或消除，使得系统的被控量基本不受该扰动的影响。正是由于这种特性，使得闭环控制系统在控制工程中得到了广泛的应用。

3. 复合控制

反馈控制是在外部的给定量及扰动量作用下，系统的被控量发生变化后才做出相应调节和控制的，若系统中有些环节有较大的惯性，或有纯滞后特性，其控制作用则难以及时影响被控量，因而影响控制质量的提高。为了克服此缺点，出现了前馈补偿控制，它将给定量或扰动量直接折算到系统输入端，对控制量的大小进行修正，即在偏差产生之前就进行了防止偏差产生的控制。在图 1.2-5(a)中通过输入补偿装置来实现对输入信号的补偿控制，在图 1.2-5(b)中，在扰动信号可测时，通过扰动补偿装置来实现对扰动信号的补偿控制。在前馈补偿控制方式中，由于被控量对控制过程不产生任何影响，故它属于开环控制。前馈补偿控制与反馈控制相结合，就构成了复合控制。复合控制有两种基本形式：按输入前馈补偿的复合控制和按扰动前馈补偿的复合控制，如图 1.2-5 所示。



(a) 按输入补偿的前馈复合控制



(b) 按扰动补偿的前馈复合控制

图 1.2-5 复合控制示意图

1.2.2 闭环控制系统的组成

闭环控制是自动控制系统中应用广泛的一种控制方式。一般闭环控制系统的组成如图 1.2-6 所示。

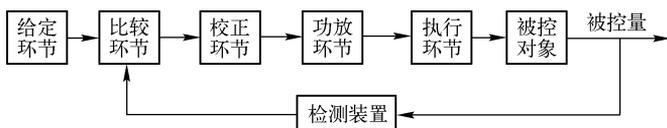


图 1.2-6 闭环控制系统组成方框图

- 给定环节是设定给定值的装置，为控制系统设定一定输入信号以决定系统的期望输出，如电位器可以给出恒值输入信号。数字给定装置可以给出较精确的恒值信号或序列值信号。
 - 比较环节将给定环节输出的给定值与检测装置测量的输出值(反馈值)进行比较，从而产生期望值与实际值的偏差，通常用给定值减去反馈值，以使闭环系统构成负反馈。常用的比较环节的元件有差分放大器、机械差动装置、电桥电路等。
 - 校正环节按某种规律对偏差信号进行运算，用运算的结果控制执行机构以改善被控制系统的性能。
 - 功放环节的作用是提升控制信号的功率，以驱动执行机构。
 - 执行环节的作用是控制被控对象的行为以改变其输出值。用来作为执行机构的元件有：阀、电动机、液压马达等。
 - 检测装置用来检测被控量，如热电偶、测速发电机等，并将其转换为与给定量相同的物理量。因为检测装置的误差无法通过闭环控制得到修正，故实际系统对检测装置要求较高。
 - 被控对象受控制器输出量的控制，其输出就是系统的被控量。
- 在控制系统中，常把比较环节、校正环节合在一起称为控制器。

1.3 自动控制系统的分类

自动控制系统按不同分类方法可分为多种类型。常见的分类方法有以下几种。

1. 按元件特性分类

自动控制系统按其主要元件的特征方程的输入输出特性，可以分为线性控制系统和非线性控制系统。

(1) 线性控制系统

若组成系统的元件的输入输出特性都具有线性特性，则称这种系统为线性控制系统。这种系统输入与输出之间的关系，一般用微分方程、传递函数或状态方程来描述。用线性微分方程描述，其一般形式为

$$\begin{aligned}
 & a_n \frac{d^n c(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} c(t)}{dt^{n-1}} + \cdots + a_1 \frac{dc(t)}{dt} + a_0 c(t) \\
 & = b_m \frac{d^m r(t)}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} r(t)}{dt^{m-1}} + \cdots + b_1 \frac{dr(t)}{dt} + b_0 r(t)
 \end{aligned}$$

式中， $c(t)$ 是系统输出量； $r(t)$ 是系统输入量。 a_0 、 a_1 、 \cdots 、 a_n ， b_0 、 b_1 、 \cdots 、 b_m 是常数时，称为定常系统；如果是随时间变化的，则称为时变系统。

线性系统的特点是满足叠加性和齐次性。叠加性指当多个输入信号同时作用于系统时，其总输出等于各个输入信号单独作用时所产生输出的总和。齐次性指系统输入增大或缩小 n 倍，则系统输出也同时增大或缩小 n 倍。例如，当输入为 $r_1(t)$ 和 $r_2(t)$ 时，如果输出量分别为 $c_1(t)$ 和

$c_2(t)$ ，则当输入量为 $r(t) = ar_1(t) + br_2(t)$ 时，输出量为 $c(t) = ac_1(t) + bc_2(t)$ 。

(2) 非线性控制系统

系统中只要有一个元件的输入输出特性是非线性的，则称这种系统为非线性控制系统。这种系统输入与输出之间的关系，要用非线性微分方程描述。非线性微分方程的特点是系数与变量有关，或者方程中含有变量及其导数的高次幂或乘积项，例如

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

严格地讲，线性控制系统实际上是不存在的，因为构成系统的实际元件都不同程度地存在非线性特性。例如，系统中应用的放大器，当超过一定应用范围时，就会出现饱和特性；弹簧有非线性特性；甚至有时为了改善系统的性能和节约费用，有意采用非线性元件等。但是，在工程上有时为了简化分析和设计工作，对一些非线性元件，在一定的条件下进行简化和近似处理后，当作线性元件对待，使系统成为工程意义上的线性控制系统。

2. 按系统内信号形式分类

按照自动控制系统中信号的传递方式，可将自动控制系统分为连续控制系统和离散控制系统。

(1) 连续控制系统

若系统各部分的信号都是时间 t 的连续函数，则这类系统称为连续控制系统。这类系统通常用微分方程来描述。

(2) 离散控制系统

在信号传递过程中，只要有一处的信号是脉冲序列或数字编码时，这类系统就称为离散控制系统。离散控制系统的特点是：信号在特定离散时刻 ($t = kT$) 中，是时间的函数，而在上述离散时刻之间，信号不传递。离散控制系统采用差分方程描述。

随着计算机应用技术的发展，为数众多的自动控制系统都采用计算机作为控制手段。在计算机引入控制系统之后，控制系统就由连续系统变成离散控制系统。

3. 按系统给定信号形式分类

按照给定信号的特征可将系统分为以下三种类型。

(1) 定值(恒值)控制系统

定值控制系统中的给定值是恒定不变的，希望输出维持在某一特定值上。系统主要任务就是当被控量受到某种干扰而偏离期望值时，通过自动调节作用，使它尽可能地恢复到期望值。工业生产过程中广泛应用的温度、压力、流量等参数控制，多半是采用定值控制系统来实现的。

(2) 随动(伺服)系统

随动系统的输入信号是预先不知道的随时间任意变化的函数，要求输出量跟随给定量变化。例如火炮自动瞄准系统、导弹的制导系统。

(3) 程序控制系统

这类系统的输入信号不是常数，而是按照预先知道的时间函数变化，并要求被控量随之变化。如热处理炉温度控制系统中的升温、保温、降温等过程，都是按照预先设定的规律(程序)进行控制的。又如数控机床、全自动洗衣机等。

4. 按系统输入和输出信号的数目分类

按照控制系统的输入信号和输出信号的数目，可分为单输入单输出(SISO)系统和多输入多输出(MIMO)系统。

单输入单输出(SISO)系统通常称为单变量系统,这种系统只有一个输入(不包括扰动输入)和一个输出信号。

多输入多输出(MIMO)系统通常称为多变量系统,这种系统有多个输入和多个输出信号。

5. 按系统的参数是否随时间变化分类

按控制系统的参数是否随时间变化,可分为定常系统和时变系统。

定常系统中的参数不随时间变化。实践中遇到的系统,大多数是属于这类系统,或可以合理地近似成这类系统。

如果系统中的参数是时间 t 的函数,则这类系统称为时变系统。

1.4 对自动控制系统的基本要求

1. 对自动控制系统性能的基本要求

可以归结为稳定性、快速性和准确性。

(1) 稳定性

对恒值系统要求当系统受到扰动后,经过一定时间的调整能够回到原来的期望值。

对随动系统,被控制量始终跟踪参考量的变化。

稳定性是对系统的基本要求,不稳定的系统不能实现预定任务。稳定性通常由系统的结构和参数决定,与外界因素无关。

(2) 快速性

对过渡过程的形式和快慢提出要求,一般称为动态性能。稳定高射炮射角随动系统,虽然炮身最终能跟踪目标,但如果目标变动迅速,而炮身行动迟缓,仍然抓不住目标。

(3) 准确性

用稳态误差来表示。如果在参考输入信号作用下,当系统达到稳态后,其稳态输出与参考输入所要求的期望输出之差叫做给定稳态误差。显然,这种误差越小,表示系统的输出跟随参考输入的精度越高。

由于被控对象具体情况的不同,各种系统对上述三方面性能要求的侧重点也有所不同。例如随动系统对快速性和稳态精度的要求较高,而恒值系统一般侧重于稳定性能和抗扰动的能力。在同一个系统中,上述三方面的性能要求通常是相互制约的。例如为了提高系统的动态响应的快速性和稳态精度,就需要增大系统的放大能力,而放大能力的增强,必然促使系统动态性能变差,甚至会使系统变为不稳定。反之,若强调系统动态过程平稳性的要求,系统的放大倍数就应较小,从而导致系统稳态精度的降低和动态过程的缓慢。由此可见,系统动态响应的快速性、高精度与动态稳定性之间是一对矛盾。

2. 本课程的任务

本课程所要研究的两大课题:

(1) 对于一个具体的控制系统,如何从理论上对它的动态性能和稳态精度进行定性的分析和定量的计算。

(2) 根据对系统性能的要求,如何合理地设计校正装置,使系统的性能能全面地满足技术上的要求。

1.5 自动控制系统的分析与设计工具

MATLAB 是一种数值计算型科技应用软件, 其全称是 Matrix Laboratory(矩阵实验室)。与 Basic, Fortran, Pascal, C 等编程语言相比, MATLAB 具有编程简单、直观, 用户界面友善, 开放性能强等优点, 因此自面世以来, 很快就得到了广泛应用。

现今的 MATLAB 拥有了更丰富的数据类型、更友善的用户界面、更加快速精美的可视图形、更广泛的数学和数据分析资源, 以及更多的应用开发工具。

这里主要介绍 MATLAB 在控制器设计、仿真和分析方面的功能, 即 MATLAB 的控制工具箱。在 MATLAB 工具箱中, 常用的有如下 6 个控制类工具箱。

(1) 系统辨识工具箱(system identification toolbox)

该工具箱提供了进行系统模型辨识的工具, 其主要功能包括:

① 参数化模型辨识。有 AR、ARX、状态空间和输出误差等模型类辨识工具。

② 非参数化模型辨识。

③ 模型验证。对辨识模型进行仿真并将真实输出数据与模型预测数据进行比较, 计算响应的残差。

④ 递推参数估计。针对各种参数模型, 利用递推估计方法获得模型参数。

⑤ 各类模型的建立和转换。

⑥ 集成多种功能的图形用户。以图形交互方式实现各类模型的选择和建立, 输入输出数据的加载和预处理, 以及模型估计。

(2) 控制系统工具箱(control system toolbox)

该工具箱主要处理以传递函数为主要特征的经典控制和以状态空间为主要特征的现代控制中的主要问题。为控制系统, 尤其是 LTI 线性定常系统的建模、分析和设计提供了一个完整的解决方案。其主要功能如下:

① 系统建模。建立连续或离散系统的状态空间, 传递函数, 零极点增益模型, 并实现任意两者之间的转换; 通过串联、并联、反馈连接及一般的框图连接, 建立复杂的系统模型; 通过多种方式实现连续时间系统的离散化, 离散时间系统的连续化及重采样。

② 系统分析。既支持连续和离散系统, 也适用于 SISO 和 MIMO 系统。在时域分析方面对系统的单位脉冲响应、单位阶跃响应、零输入响应及更一般的任意输入响应进行仿真; 在频域分析方面, 对系统的伯德图(Bode)、奈奎斯特图(Nyquist)进行计算和绘制。

该工具箱还提供了一个框图式操作界面工具——LTI 观测器, 可支持 10 种不同类型的系统响应分析, 大大简化系统分析和图形绘制的过程。

③ 系统设计。计算系统的各种特性, 如可控和可观测 Gramain 矩阵、系统零极点、李雅普诺夫方程、稳定裕度、阻尼系数, 以及根轨迹的增益选择等; 支持系统的可控和可观测标准型实现、最小实现、降阶实现, 以及输入延时的 Pade 设计; 对系统进行极点配置、观测器设计以及 LQ 和 LQG 最优控制等。

另一个框图式操作界面工具——SISO 系统设计工具, 可用于单输入单输出反馈控制系统的补偿器校正设计。

(3) 鲁棒控制工具箱(robust control toolbox)

该工具箱提供鲁棒分析和设计的工具有:

① 模型建立和转换工具。建立增广状态方程和传递函数模型, 进行多变量系统双线性变换等。

② 鲁棒分析工具。进行特征根轨迹、奇异值、结构奇异值分析等。

③ 鲁棒综合工具。进行频率加权 LQG 综合, LQG/LTR, H_{∞} 综合等。

④ 鲁棒模型降价工具。实现均衡降价, 最优 Hankel 范数近似降价(具有加性误差界),

Schur 均衡截断降价(具有加性误差界), Schur 均衡随机截断降价(具有加性误差界)等。

(4) 模型预测控制工具箱(model predictive control toolbox)

该工具箱提供了一系列函数, 用于模型预测控制的分析、设计和仿真。这些函数的主要类型如下:

① 系统模型辨识。通过多变量线性回归方法计算 MISO 脉冲响应模型, 由 MISO 脉冲响应模型生成 MIMO 阶跃响应模型, 对测量数据尺度化等。

② 模型建立和转换。建立模型预测工具箱使用的 mod 模型, 以及状态空间模型与 mod 模型、阶跃响应模型、脉冲响应模型之间的转换。

③ 模型预测控制器设计和仿真。有面向阶跃响应模型的预测控制器设计和仿真, 以及面向 MPC-mod 模型的设计和仿真。

④ 系统分析。有计算模型预测控制系统频率响应、极点和奇异值功能。

(5) 模糊逻辑工具箱(fuzzy logic toolbox)

模糊逻辑工具箱具有如下 5 个方面的功能:

① 易于使用的图形化设计。模糊逻辑工具箱提供了建立和测试模糊逻辑系统的一整套功能函数, 包括可视化定义语言变量及其隶属度函数、模糊推理方式选择函数、模糊推理规则编辑函数、对整个模糊推理逻辑系统管理以及交互式观察模糊推理过程和输出结果函数。

② 支持模糊逻辑中的高级技术。自适应神经——模糊推理(adaptive neural-fuzzy inference system, ANFIS), 以及用于模式识别的模糊聚类技术。

③ 集成的仿真和代码生成。实现与 Simulink 的无缝连接, 通过 Real-Time Workshop2.1 生成 ANSIC 源代码, 实现模糊系统的实时应用。

④ 独立允许的模糊推理机。完成模糊逻辑系统的设计后, 将设计结果以 ASCII 码文件保存; 利用模糊推理机, 实现模糊系统的独立运行, 或者作为其他应用的一部分运行。

(6) 非线性控制设计模块(nonlinear control design blocket)

该工具箱以 Simulink 模块的形式, 在交互式模型输入环境下, 集成了基于图形界面的非线性系统建模、控制器优化设计和仿真功能。其主要功能和特点如下:

① 控制器参数优化计算。自动将系统的性能指标转化为一个约束优化问题, 并调用 MATLAB 优化工具箱的有关函数进行优化计算。

② 图形化交互式用户界面。控制器的优化参数和性能指标约束选择通过图形交互界面输入, 控制器的优化过程和结果通过实时性能曲线显示。

③ 任意选择优化参数和指标。设计和仿真控制设计模块提供了优化参数选择的对话框, 用户可以选择其他 Simulink 模块的任意变量作为控制器优化参数; 系统性能指标的选择可通过系统时域性能曲线以可视化的方式实现。

④ 支持不确定性系统的鲁棒设计。通过设计和仿真控制设计模块, 用户可以指定系统模块中变量的不确定性边界, 实现满足鲁棒性能指标的非线性控制系统设计。

⑤ 与 Simulink 集成, 进行控制系统优化设计和仿真。每个 Simulink 设计框图都可看作一个特殊的 Simulink 模块, 可添加到非线性系统的 Simulink 仿真框图中对其连接的信号进行约束。

本章小结

本章介绍了控制系统的组成和工作原理，以及控制系统中有关的名词、术语的含义，如被控对象、被控量、控制器、系统输入量、输出量、偏差、反馈等。

控制系统按其是否存在反馈可分为开环控制系统和闭环控制系统。闭环控制系统又称为反馈控制系统，其主要特点是系统输出量经测量后反送到系统输入端构成闭环，并且由偏差产生控制作用，控制的结果是使被控量朝着减小偏差或消除偏差的方向运动。

在分析系统的工作原理时，应注意系统的各组成部分具有的职能以及在系统中如何完成它的作用，并能用方框图进行分析。方框图是分析控制系统的基础。

按不同的分类方法，对应地可把自动控制系统划分为多种类型。常见的分类有：定值(恒值)控制系统、随动(伺服)系统与程序控制系统；线性控制系统与非线性控制系统；连续控制系统与离散控制系统；定常系统与时变系统；单输入单输出(SISO)系统与多输入多输出(MIMO)系统。

对自动控制系统的基本要求是：稳定性、快速性和准确性。稳定性是前提，不稳定则其他指标无从谈起。快速性反映系统动态过程的快慢。准确性反映系统的静态性能。

最后介绍 MATLAB 在控制器设计、仿真和分析方面的功能，即 MATLAB 的控制工具箱。在 MATLAB 工具箱中，常用的有如下 6 个控制类工具箱：系统辨识工具箱(system identification toolbox)、控制系统工具箱(control system toolbox)、鲁棒控制工具箱(robust control toolbox)、模型预测控制工具箱(model predictive control toolbox)、模糊逻辑工具箱(fuzzy logic toolbox)和非线性控制设计模块(nonlinear control design blocket)。

习题

1-1 何谓自动控制？典型自动控制系统由哪些环节组成？各环节在自动控制系统中起什么作用？

1-2 负反馈控制系统的特点是什么？指出反馈在自动控制系统中的作用。

1-3 试比较开环控制系统与闭环控制系统的优缺点。

1-4 图 T1-1 所示为仓库大门自动控制系统的示意图，试说明该控制系统的工作原理，并画出其方框图。

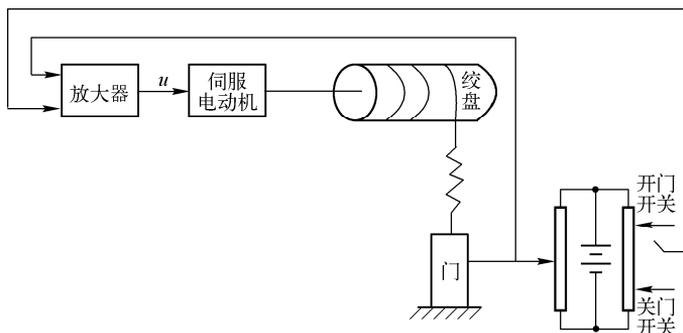


图 T1-1 习题 1-4 图

1-5 图 T1-2 所示为电炉温度控制系统示意图，试分析系统保持电炉温度恒定的工作过程，指出系统的被控对象、被控量以及各元件的作用，最后画出系统方框。

1-6 图 T1-3 所示为一个角位置随动系统。系统的任务是控制工作机械角位置 θ_c 随时跟踪手柄转角 θ_t 。试分析其工作原理，并画出系统方框图。

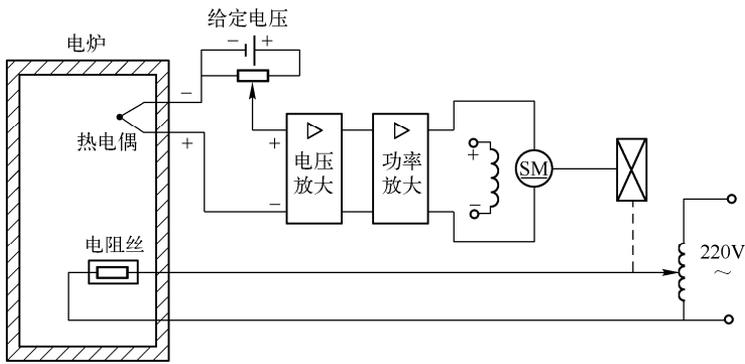


图 T1-2 习题 1-5 图

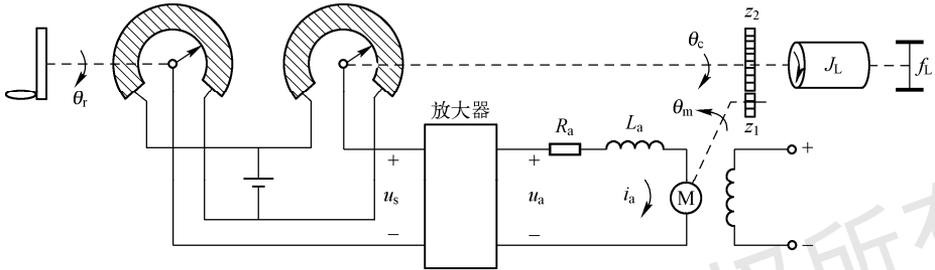


图 T1-3 习题 1-6 图

1-7 下列各式是描述系统的微分方程，其中 $c(t)$ 为输出量， $r(t)$ 为输入量，试判断哪些是线性定常或时变系统，哪些是非线性系统。

- (1) $\frac{d^3 c(t)}{dt^3} + 3\frac{d^2 c(t)}{dt^2} + 6\frac{dc(t)}{dt} + 10c(t) = \frac{dr(t)}{dt} + 2r(t)$
- (2) $t\frac{dc(t)}{dt} + c(t) = r(t) + 5\frac{dr(t)}{dt}$
- (3) $c(t) = 5 + r^2(t) + t\frac{d^2 r(t)}{dt^2}$
- (4) $c(t) = r(t) \cos \omega t + 6$
- (5) $c(t) = r^2(t)$
- (6) $c(t) = 3r(t) + 6\frac{dr(t)}{dt} + 5\int_{-\infty}^t r(\tau) d\tau$
- (7) $c(t) = \begin{cases} 0, & t < 8 \\ r(t), & t \geq 8 \end{cases}$