

3.1 自动控制的核心概念

自动控制，是指在无人直接参与的情况下，利用控制装置（控制器）使被控对象(如生产过程中的位移、速度、温度，电力系统中电压、电流、功率等物理量或某些化合物的成分等)，依照预定的规律进行运动或变化。这种能对被控制对象的工作状态进行控制的系统称为**自动控制系统**。它一般由控制装置和被控对象组成。

3.1.1 开环控制系统

是一种最简单的控制方式，在控制器和控制对象间只有正向控制作用，系统的输出量不会对控制器产生任何影响，如图 3.1 所示。在该系统中，对于每一个输入



图 3.1

量，就有一个与之对应的工作状态和输出量，系统的精度仅取决于元器件的精度和特性调整的精度。这类系统结构简单，成本低，容易控制，但是控制精度低，因为如果在控制器或控制对象上存在干扰，或者由于控制器元器件老化，控制对象结构或参数发生变化，均会导致系统输出的不稳定，使输出值偏离预期值。正因为如此，开环控制系统一般适用于干扰不强或可预测，控制精度要求不高的场合。

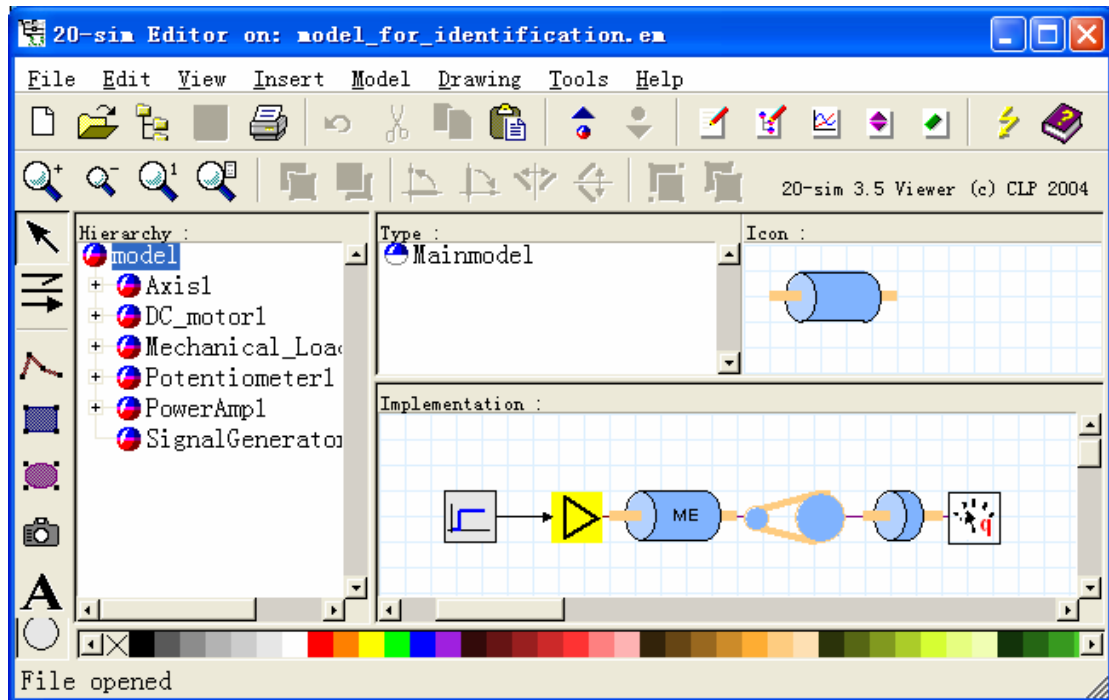


图 3.2

3.1.2 闭环控制系统

如果在控制器和被控对象之间，不仅存在正向作用，而且存在着反向的作用，即系统的输出量对控制量具有直接的影响，那么这类控制称为闭环控制，将检测出

来的输出量送回到系统的输入端，并与输入信号比较，称为反馈。因此，闭环控制又称为反馈控制，其控制结构如图 3.3



图 3.3

在这样的结构下，系统的控制器和控制对象共同构成了前向通道，而反馈装置构成了系统的反馈通道。

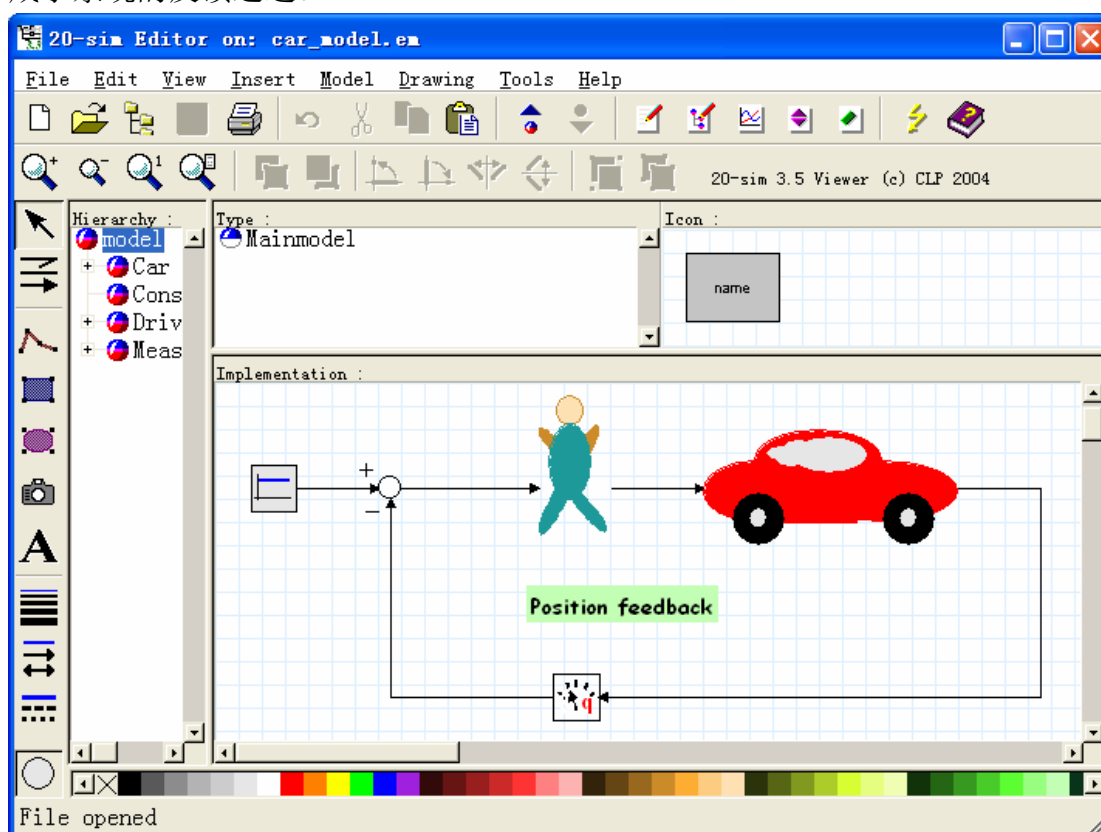


图 3.4

3.1.3 反馈

在控制系统中，反馈的概念非常重要。在图 3.3 中，如果将反馈环节取得的实际输出信号加以处理，并在输入信号中减去这样的反馈量，再将结果输入到控制器中去控制被控对象，我们称这样的反馈为**负反馈**；反之，若由输入量和反馈量相加作为控制器的输入，则称为**正反馈**。

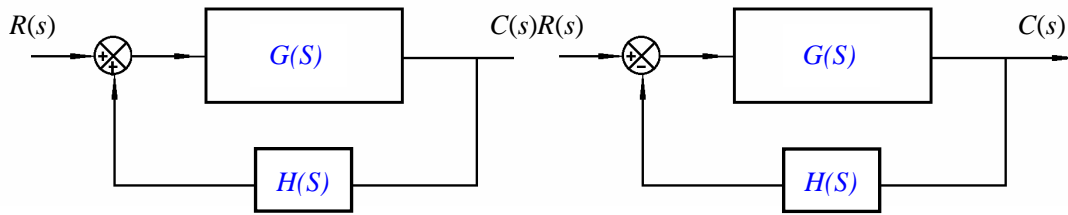


图 3.5 控制系统的正反馈结构图

图 3.6 控制系统的负反馈结构图

在一个实际的控制系统中，具有正反馈形式的系统一般是不能改进系统性能的，而且容易使系统的性能变坏，因此不被采用。而且有负反馈形式的系统，它通过自动修正偏离量，使系统趋向于给定值，并抑制系统回路中存在的内扰和外扰的影响，最终达到自动控制的目的。通常，反馈控制就是指负反馈控制。

3.1.4 稳定性

稳定性是对控制系统最基本的要求。所谓系统稳定，一般指当系统受到扰动作用后，系统的被控制量偏离了原来的平衡状态，但当扰动撤离后，经过若干时间，系统若能返回到原来的平衡状态，则称系统是**稳定的**。

系统的稳定性又分两种情况：一是大范围内稳定，即起始偏差可以很大，系统仍稳定。另一种是小范围内稳定，即起始偏差必须在一定限度内系统才稳定，超出了这个限定值则不稳定。对于线性系统，如果在小范围内是稳定的，则它一定也是在大范围内稳定的。而对非线性系统，在小范围内稳定，在大范围内就不一定是稳定的。本章所研究的稳定性问题，是线性系统的稳定性，因而是大范围内的稳定性问题。

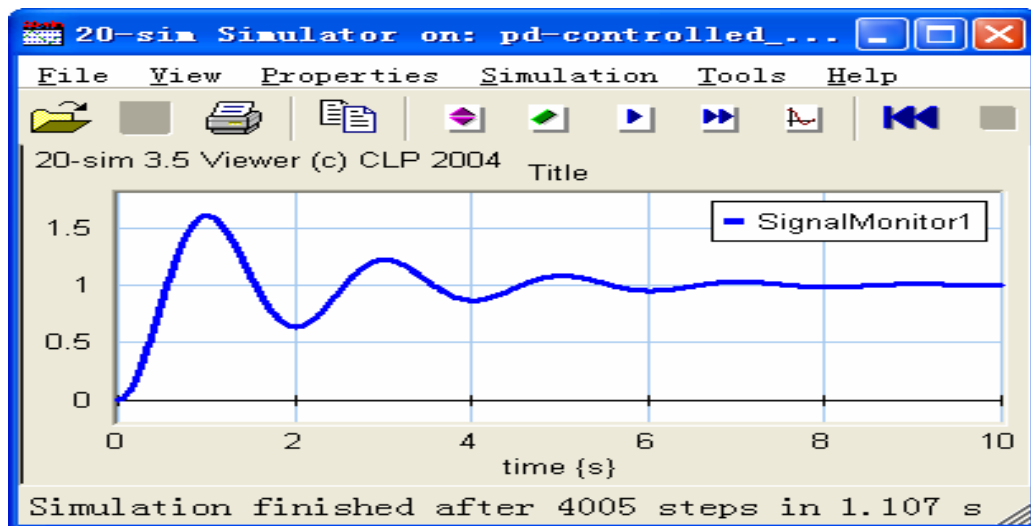


图 3.7

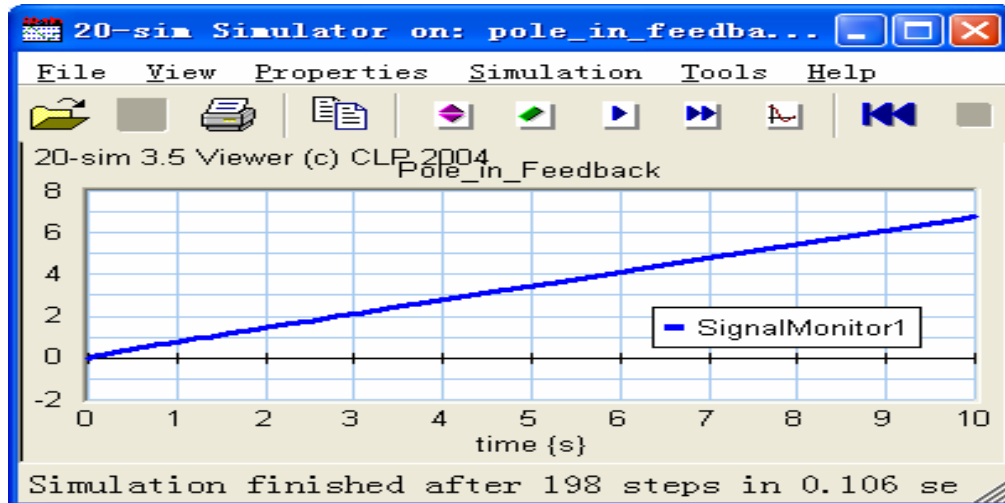


图 3.8

一般来说，系统的稳定性表现为其时域响应的收敛性，如果系统的零输入响应和零状态响应都是收敛的，则此系统就被认为是总体稳定的。不难证明，对于线性定常系统，零输入响应稳定性和零状态响应稳定性的条件是一致的。所以线性定常系统的稳定性是通过系统响应的稳定性来表达的。

3.1.5 传递函数

在控制理论中，为了描述线性定常系统的输入-输出关系，最常用的函数是所谓的传递函数。传递函数的概念只适用于线性定常系统，在某些特定条件下也可以扩充到一定的非线性系统中去。

线性定常系统的传递函数，定义初始条件为零时，输出量的拉普拉斯变换与输入量的拉普拉斯变换之比。

设有一线性定常系统，它的微分方程是

$$\begin{aligned}
 & a_0^{(n)}y + a_1^{(n-1)}y + \dots + a_{n-1}y + a_n y \\
 & = b_0^{(m)}x + b_1^{(m-1)}x + \dots + b_{m-1}x + b_mx \quad (2-1)
 \end{aligned}$$

式中 y 是系统的输出量， x 是系统的输入量。初始条件为零时，对方程 (2-1) 两端进行拉普拉斯变换，就可以得到该系统的传递函数为：

$$\text{传递函数} = G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0s^m + b_1s^{m-1} + \dots + b_{m-1}s + b_m}{a_0s^n + a_1s^{n-1} + \dots + a_{n-1}s + a_n} \quad (2-2)$$

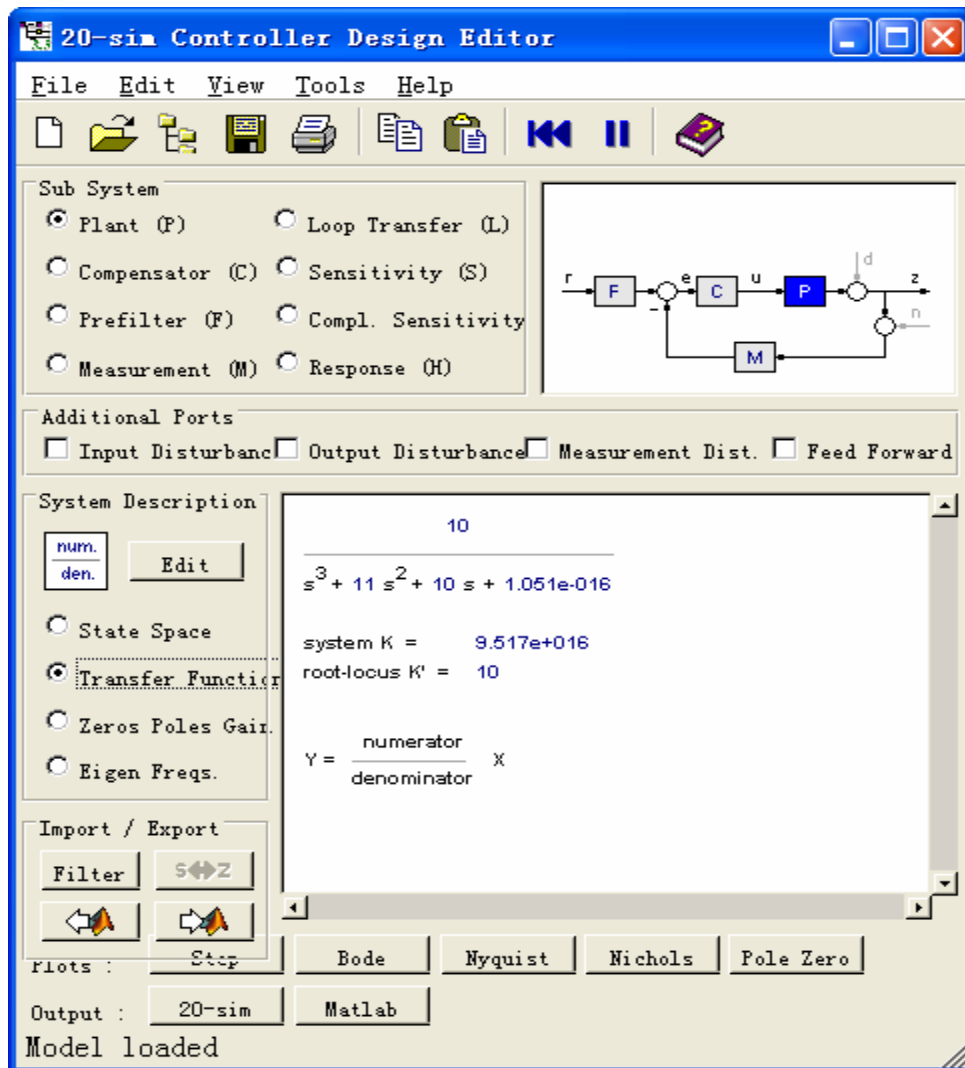


图 3.9

传递函数是一种以系统参数表示的线性定常系统的输入量与输出量之间的关系式，它表达了系统本身的特性，而与输入量无关。传递函数包含着联系输入量与输出量所必需的单位，但它不能表明系统的物理结构（许多物理性质不同的系统，可以有相同的传递函数）。

传递函数分母中 s 的最高阶数，就是输出量最高阶导数的阶数。如果 s 的最高阶数等于 n ，这种系统就叫 n 阶系统。

3.1.6 线性控制系统和非线性控制系统

若组成控制系统的元件都具有线性特性，则称这种系统为**线性控制系统**。这种系统的输入与输出间的关系，一般用微分方程、传递函数来描述，也可以用状态空间表达式来表示。线性系统的主要特点是具有齐次性和适用叠加原理。如果线性系统中的参数不随时间而变化，则称为**线性定常系统**；反之，则称为线性时变系统。

在控制系统中，至少要一个元件具有非线性特性，则称该系统为非线性控制系统。非线性系统一般不具有齐次性，也不适用叠加原理，而且它的输出响应和稳定性与其初始态有很大关系。

严格地说，绝对的线性控制系统(或元件)是不存在的，因为所用的物理系统和元件在不同的程度上都具有非线性特性。为了简化对系统的分析和设计，在一定的条件下，可以用分析线性系统的理论和方法对它进行研究。

