

3.1 Simulink 简介

Simulink 是美国 Mathworks 公司推出的 MATLAB 中的一种可视化仿真工具。Simulink 是一个模块图环境,用于多域仿真以及基于模型的设计。它支持系统设计、仿真、自动代码生成以及嵌入式系统的连续测试和验证。Simulink 提供图形编辑器、可自定义的模块库以及求解器,能够进行动态系统建模和仿真。

Simulink 与 MATLAB 集成之后能够在 Simulink 中将 MATLAB 算法融入模型,还能将仿真结果导出至 MATLAB 做进一步分析。Simulink 应用领域包括工业自动化、复杂系统建模、复杂系统仿真、信号处理、电力电子、航空航天等方面。

3.1.1 Simulink 的特点

Simulink 具有适应面广、结构和流程清晰及仿真精度高、方法直观、效率高、灵活等优点,基于以上优点,Simulink 已被广泛应用于控制理论和数字信号处理的复杂仿真和设计。其特点具体表现在如下几方面。

(1) 适应面广。可构造的系统包括:线性、非线性系统;离散、连续及混合系统;单任务、多任务离散事件系统。

(2) 易于扩充。Simulink 具有丰富的可扩充的预定义模块库。

(3) 结构和流程清晰,使用简单。Simulink 的模块以图形方式呈现,交互式的图形编辑器来组合和管理直观的模块图,采用分层结构,既适于自上而下的设计流程,又适于自下而上逆程设计。通过 Model Explorer 导航、创建、配置、搜索模型中的任意信号、参数、属性,生成模型代码。

(4) 可访问 MATLAB 从而对结果进行分析与可视化,定制建模环境,定义信号参数和测试数据。

(5) 仿真更为精细。它提供的许多模块更接近实际,易于使用者对

工程问题更精确的仿真。

(6) 提供 API 用于与其他仿真程序的连接或与手写代码集成,模型内码更容易向 DSP、FPGA 等硬件移植。

3.1.2 Simulink 的工作环境

Simulink 的工作环境由菜单、工具栏、模型浏览器窗口、模型框图窗口以及状态栏组成,如图 3-1 所示。

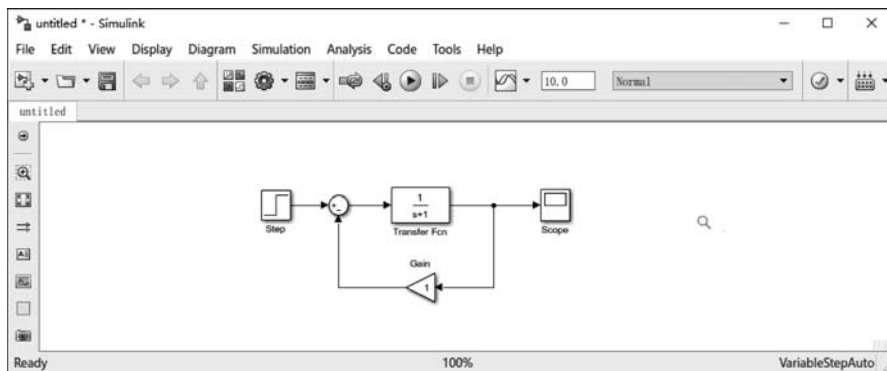


图 3-1 Simulink 的工作环境窗口

Simulink 的模型窗口中的部分常用菜单的使用说明如表 3-1 所示。

表 3-1 Simulink 的模型窗口常用菜单表

菜单名	菜单项	使用说明
File	New→Model	创建新模型
	Model properties	模型的属性
	Preferences	Simulink 界面的默认设置选项
	Print...	打印模型
	Close	关闭当前 Simulink 窗口
	Exit MATLAB	退出 MATLAB 系统
Edit	Create subsystem	创建子系统
	Mask subsystem...	封装子系统
	Look under mask	查看封装子系统的内部结构
	Update diagram	更新模型框图的外观
View	Go to parent	显示当前系统的父系统
	Model browser options	模型浏览器设置
	Block data tips options	鼠标指针位于模块上方时显示模块内部数据
	Library browser	显示库浏览器
	Fit system to view	自动选择最合适的显示比例
	Normal	以正常比例显示模型

续表

菜 单 名	菜 单 项	使 用 说 明
Simulation	Start/Stop	启动/停止仿真
	Pause/Continue	暂停/继续仿真
	Simulation Parameters...	设置仿真参数
	Normal	普通 Simulink 模型
	Accelerator	产生加速 Simulink 模型
Display	Text alignment	标注文字对齐工具
	Flip name	翻转模块名
	Show/Hide name	显示/隐藏模块名
	Flip block	翻转模块
	Rotate Block	旋转模块
	Library link display	显示库链接
	Show/Hide drop shadow	显示/隐藏阴影效果
	Sample time colors	设置不同的采样时间序列的颜色
	Wide nonscalar lines	粗线表示多信号构成的向量信号线
	Signal dimensions	注明向量信号线的信号数
	Port data types	标明端口数据的类型
	Storage class	显示存储类型
Tools	Data explorer...	数据浏览器
	Simulink debugger...	Simulink 调试器
	Data class designer	用户定义数据类型设计器
	Linear Analysis	线性化分析工具

3.1.3 Simulink 仿真基本步骤

启动 Simulink 后,就可以进行 Simulink 仿真了,其仿真的基本过程如下:

- (1) 打开一个空白的 Simulink 模型窗口,根据要仿真的系统框图,在该模型窗口中选择模块,构建仿真模型。
- (2) 设置模块参数。
- (3) 设置仿真参数。
- (4) 启动仿真。
- (5) 观测仿真结果,分析结果,修改模型参数直至满足仿真精度要求。

3.2 模型的创建

根据要仿真的系统框图,构建系统仿真的模型时,涉及如下概念和常用操作。



视频讲解

3.2.1 模型概念和文件操作

Simulink 是一种强有力的仿真工具,它能让使用者在图形方式来模拟真实动态系统进行模型的建立。Simulink 这种通过图形化的模块进行模型的搭建,使得 Simulink 的模型具有层次性,通过底层子系统可以构建上层主系统。

Simulink 建模具有如下特点:

(1) 方便建立动态的系统模型并进行仿真。Simulink 是一种图形化的仿真工具,用于对动态系统建模和控制规律的研究制定。由于支持线性、非线性、连续、离散、多变量和混合式系统结构,Simulink 几乎可分析任何一种类型的真实动态系统。

(2) 能以直观的方式建模。利用 Simulink 可视化的建模方式,可迅速地建立动态系统的框图模型。只需在 Simulink 元件库中选出合适的模块并放置到 Simulink 建模窗口,通过信号线连接就可以了。Simulink 标准库拥有众多可用于构成各种不同种类的动态模型系统。模块包括输入信号源、动力学元件、代数函数和非线性函数、数据显示模块等。Simulink 模块可以被设定为触发和使能的,用于模拟大模型系统中存在条件作用的子模型的行为。

(3) 方便地定制模块元件和用户代码。Simulink 模块库是可制定的,能够扩展以适应使用者自定义的系统环节模块。用户也可以修改已有模块,重新设定对话框,甚至换用其他形式的弹出菜单和复选框。Simulink 允许使用者把自编的 C、FORTRAN、Ada 代码直接植入 Simulink 模型中。

(4) 可以快速、准确地进行设计模拟。Simulink 优秀的积分算法给非线性系统仿真带来了极高的精度。先进的常微分方程求解器可用于求解刚性和非刚性的系统、具有时间触发或不连续的系统 and 具有代数环的系统。Simulink 的求解器能保证连续系统或离散系统的仿真精度。Simulink 还为用户准备一个图形化的调试工具,以辅助用户进行系统开发。

(5) 可以分层次地表达复杂系统。Simulink 的分级建模能力使得体积庞大、结构复杂的模型构建也简便易行。根据需要,各种模块可以组织成若干子系统。在此基础上,整个系统可以按照自上向下或自下向上的方式搭建。子模型的层次数量完全取决于所构建的系统,不受软件本身的限制。为方便大型复杂结构系统的操作,Simulink 还提供了模型结构浏览的功能。

(6) 实现了交互式的仿真分析。Simulink 的示波器可以动画和图像显示数据,运行中可调整模型参数进行 What-if 分析,能够在仿真运算进行时,同步监视仿真结果。这种交互式的特征可以帮助使用者快速地评估不同的算法,进行参数优化。由于 Simulink 完全集成于 MATLAB,在 Simulink 下计算的结果可以方便地保存到 MATLAB 工作空间中,因而就能为 MATLAB 所具有的众多工具提供数据。

Simulink 文件操作主要涉及新建仿真模型文件和打开仿真模型文件。

新建仿真模型文件的几种操作方法:在 MATLAB 的命令窗口选择菜单 File→New→

Model; 在 Simulink 模块库浏览器窗口选择菜单 File→New→Model, 或者单击工具栏的  图标; 在 Simulink 模型窗口选择菜单 File→New→Model, 或者单击工具栏的  图标。

打开仿真模型文件的几种操作方法: 在 MATLAB 的命令窗口输入不加扩展名的文件名, 该文件必须在当前搜索路径中; 在 MATLAB 的命令窗口选择菜单 File→Open, 或者单击工具栏的  图标打开文件; 在 Simulink 模块库浏览器窗口选择菜单 File→Open, 或者单击工具栏的  图标打开 .xls 文件; 在 Simulink 模型窗口中选择菜单 File→Open, 或者单击工具栏的  图标打开文件。

3.2.2 模块操作

1. 对象的选定

选定单个对象: 选定对象只要在对象上单击, 被选定的对象的四角处都会出现小框用于拖动。

选定多个对象: 如果选定多个对象, 可以按下 Shift 键, 然后再单击所需选定的模块; 或者用鼠标拉出矩形虚线框, 将所有待选模块框在其中, 则矩形框中所有的对象均被选中, 如图 3-2 所示。

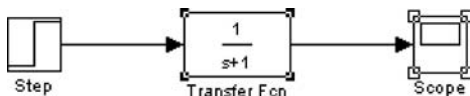


图 3-2 选定多个对象

选定所有对象: 如果要选定所有对象, 可以选择菜单 Edit→Select all 命令。

2. 模块的复制

不同模型窗口之间的模块复制: 选定模块, 用鼠标将其拖到另一模型窗口, 或使用菜单/工具栏的 Copy 和 Paste 命令, 或使用菜单/工具栏中的 Copy 和 Paste 按钮。

在同一模型窗口内的模块复制: 选定模块, 按下鼠标右键, 拖动模块到合适的地方, 释放鼠标; 或按住 Ctrl 键, 再用鼠标将对象拖动到合适的地方, 释放鼠标, 如图 3-3 所示。

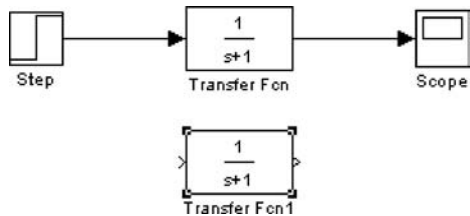


图 3-3 在同一模型窗口内的模块复制

3. 模块的移动

在同一模型窗口移动模块：选定需要移动模块，用鼠标将模块拖到合适的地方。当模块移动时，与之相连的连线也随之移动。

在不同模型窗之间移动模块：在用鼠标移动的同时按下 Shift 键。

4. 模块的删除

要删除模块，先选定待删除模块，按 Delete 键；或用菜单 Edit→Clear 或 Cut 命令；或用工具栏的 Cut 按钮。

5. 改变模块大小

选定需要改变大小的模块，出现小黑块编辑框后，用鼠标拖动编辑框，可以实现放大或缩小。

6. 模块的翻转

为了系统模型结构美观清晰，常需要对模块进行翻转。

模块翻转 180°：选定模块，选择菜单 Format→Flip Block 可以将模块旋转 180°；还可以选定模块后，直接用 Ctrl+I 快捷键实现翻转。

模块翻转 90°：选定模块，选择菜单 Format→Rotate Block 可以将模块旋转 90°，如果一次翻转不能达到要求，可以多次翻转来实现，如图 3-4 所示；还可以选定模块后，直接用 Ctrl+R 快捷键实现翻转。

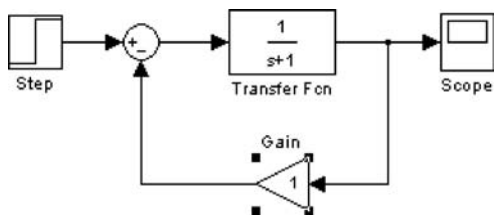


图 3-4 模块的翻转

7. 模块名的编辑

修改模块名：单击模块下面或旁边的模块名，出现虚线编辑框就可对模块名进行修改。

模块名字体设置：选定模块，选择菜单 Format→Font 命令，打开字体对话框设置字体。

模块名的显示和隐藏：选定模块，选择菜单 Format→Hide/Show name 命令，可以隐藏或显示模块名。

模块名的翻转：选定模块，选择菜单 Format→Flip name 命令，可以翻转模块名。

8. 常用的模块

连续系统模块是构成连续系统的环节,常用的连续系统模块如表 3-2 所示。

表 3-2 常用的连续系统模块表

名 称	模 块	使用 说明
Integrator		积分环节
Derivative		微分环节
State-Space		状态方程模型
Transfer Fcn		传递函数模型
Zero-Pole		零-极点增益模型
Transport Delay		把输入信号按给定的时间做延时

离散系统模块是用来构成离散系统的环节,常用的离散系统模块如表 3-3 所示。

表 3-3 常用的离散系统模块表

名 称	模 块	使用 说明
Discrete Transfer Fcn		离散传递函数模型
Discrete Zero-Pole		离散零极点增益模型
Discrete State-Space		离散状态方程模型
Discrete Filter		离散滤波器
Zero-Order Hold		零阶保持器
First-Order Hold		一阶保持器
Unit Delay		采样保持,延迟一个周期

3.2.3 信号线操作

1. 模块间的连线

先将光标指向一个模块的输出端,待光标变为十字形状后,按下鼠标左键并拖动,直到另一模块的输入端。

2. 信号线的引出

信号线的引出: 将光标指向信号线的分支点,右击,光标变为十字形状,拖动鼠标直到分支线的终点,释放鼠标; 或者按住 Ctrl 键,同时按下鼠标左键拖动鼠标到分支线的终点,如图 3-5 所示。

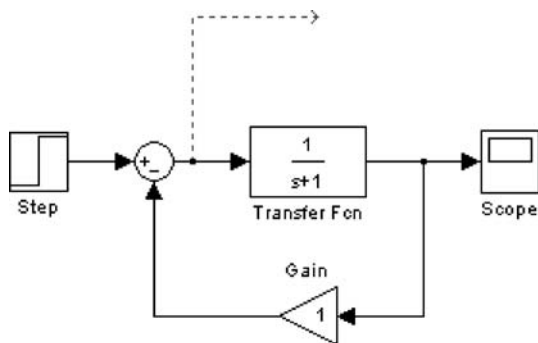


图 3-5 信号线的引出

3. 信号线文本注释

添加文本注释: 双击需要添加文本注释的信号线,则出现一个空的文字填写框,在其中输入文本。

复制文本注释: 单击需要复制的文本注释,按下 Ctrl 键同时移动文本注释,或者用菜单和工具栏的复制操作。

4. 在信号线中插入模块

如果模块只有一个输入端口和一个输出端口,则该模块可以直接被插入一条信号线中。

3.2.4 对模型的注释

添加模型的注释: 在需要做注释区的中心位置双击,就会出现编辑框,在编辑框中就可以输入注释内容。

注释的移动: 在注释内容处单击,当出现文本编辑框后,用鼠标就可以拖动该文本编辑框实现注释的移动。

3.2.5 常用的信源

信源模块是用来向模块提供输入信号。常用的信源模块如表 3-4 所示。

表 3-4 常用的信源模块表

名 称	模 块	使 用 说 明
Constant		恒值常数
Step		阶跃信号
Ramp		斜坡信号
Sine Wave		正弦信号
Signal Generator		信号发生器
From File		从文件获取数据作为下级模块输入
From Workspace		从当前工作空间定义的矩阵读取数据
Clock		仿真时钟,输出每个仿真步点的时间
In		输入模块

3.2.6 常用的信宿

信宿模块是用来接收模块信号的,常用的信宿模块如表 3-5 所示。

表 3-5 常用的信宿模块表

名 称	模 块	使 用 说 明
Scope		示波器
Display		实时数值显示
XY Graph		X-Y 关系图
To File		将数据保存为文件

续表

名 称	模 块	使用 说明
To Workspace		将数据输出到工作空间
Stop Simulation		输入不为零时终止仿真(常与关系模块配合使用)
Out		输出模块

3.2.7 仿真的配置

在模型窗口选择菜单 Simulation→Simulation parameters 命令,会打开参数设置对话框,如图 3-6 所示。

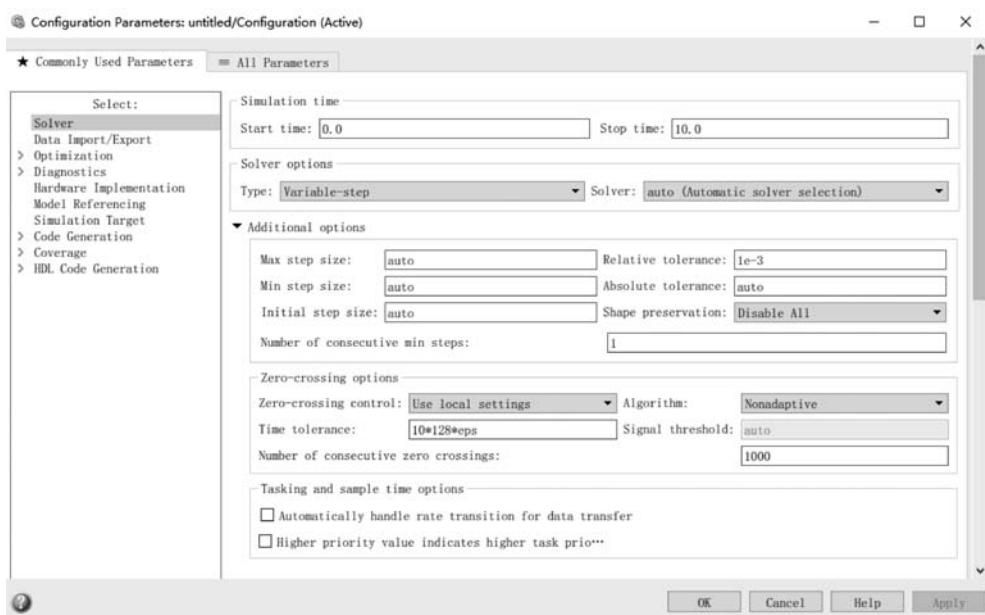


图 3-6 求解器 Solver 参数设置

需要设置的选项主要是仿真开始和结束的时间,选择解法器,并设定它的参数,选择输出项。

仿真时间: 注意这里的时间概念与真实的时间并不一样,只是计算机仿真中对时间的一种表示,比如 10 秒的仿真时间,如果采样步长定为 0.01,则需要执行 1000 步;若把步长减小,则采样点数增加,那么实际的执行时间就会增加。一般仿真开始时间设为 0,而结束时间视不同的仿真要求来确定。执行一次仿真要耗费的时间依赖于很多因素,包括模型的

复杂程度、解法器及其步长的选择、计算机 CUP 的速度等等。

仿真步长：用户在 Type 后面的第一个下拉选项框中指定仿真的步长选取方式,可供选择的有 Variable-step(变步长)和 Fixed-step(固定步长)方式。变步长模式可以在仿真的过程中改变步长,提供误差控制和过零检测。固定步长模式在仿真过程中提供固定的步长,不提供误差控制和过零检测。用户还可以在第二个下拉选项框中选择对应模式下仿真所采用的算法。

变步长模式解法器有 ode45、ode23、ode113、ode15s、ode23s、ode23t、ode23tb 和 discrete。默认情况下,具有状态的系统用的是 ode45;没有状态的系统用的是 discrete。

ode45 采用显式四阶-五阶 Runge-Kutta 公式来求解微分方程。它是一个单步求解器。也就是说,它在计算输出时,仅仅利用前一步的计算结果。对于绝大多数问题,在第一次仿真时可选择 ode45。

ode23 采用显式二阶-三阶 Runge-Kutta 公式来求解微分方程。对于宽误差容限和存在轻微刚性的系统,该解法器比 ode45 更有效。ode23 也是单步求解器。

ode23s 是基于一个二阶改进的 Rosenbrock 公式的解法器。因为它是一个单步求解器,所以对于宽误差容限,可以用它解决。

ode23t 是使用“自由”内插式梯形规则来实现的解法器。如果问题是适度刚性的,而且需要没有数字阻尼的结果,可以考虑采用该求解器。

ode23tb 是使用 TR-BDF2 来实现的解法器。即基于隐式 Runge-Kutta 公式,其第一级是梯形规则步长,第二级是二阶反向微分公式,两级计算使用相同的迭代矩阵,与 ode23s 相似,适用于宽误差容限。

discrete(变步长)是 Simulink 在检测到模型中没有连续状态时所选择的一种求解器。

定步长求解可以选择的求解器有 ode5、ode4、ode3、ode2、ode1 和 discrete。

- ode5 是 ode45 的一个定步长版本。
- ode4 是基于四阶 Runge-Kutta 公式的求解器。
- ode3 是 ode23 求解器的定步长版本。
- ode2 是采用 Heun 方法的求解器。
- ode1 是采用 Euler 方法的求解器。
- discrete(定步长)是不执行积分的定步长求解器,它适用于没有状态的模型,以及对过零点检测和误差控制不重要的模型。

选择 SimulationParameters 对话框的 Diagnostics 标签可以用来指明在仿真期间遇到一些事件或者条件时希望执行的动作。对于每一事件类型,可以选择是否需要提示消息,是警告消息还是错误消息。警告消息不会终止仿真,而错误消息则会中止仿真的运行。

一致性检查是一个调试工具,用它可以验证 Simulink 的 ODE 求解器所做的某些假设,它的主要用途是确保 s 函数遵循 Simulink 内建模块所遵循的规则。一致性检查会导致求解速度大幅度下降,所以一般应将它设为关闭状态。使用一致性检查可以验证 s 函数,并有助于查找导致意外仿真结果的原因。

根据需要选择输出模式(Output options),可以达到不同的输出效果。

可以设置 Simulink 从工作空间输入数据、初始化状态模块,也可以把仿真的结果、状态模块数据保存到当前工作空间。包括从工作空间装载数据(Load from workspace),保存数据到工作空间(Save to workspace),选中 Time 栏后,模型将把时间变量以在右边空白栏填写的名称(默认名为 tout)存放于工作空间。选中 States 栏后,模型将把其状态变量以在右边空白栏填写的名称(默认名为 xout)存放于工作空间。如果模型窗口中使用输出模块 Out,那么必须选中 Output 栏,并填写在工作空间中的输出数据变量名,默认名为 yout。若选中 Final state 栏则将向工作空间以在右边空白栏填写的名称(默认名为 xFinal)存放最终状态值。

3.2.8 启动仿真

执行菜单 Simulation→Start 命令,仿真立即启动,这时 Start 变为 Stop。若要停止仿真,可执行菜单 Simulation→Stop 命令,仿真运行立即停止。若要使仿真运行暂停,可执行菜单 Simulation→Pause 命令,这时 Pause 变为 Continue。若要使仿真继续运行,则选择 Continue。

3.3 子系统与封装

1. 建立子系统

建立如图 3-7(a)所示的控制系统模型,然后将控制系统中的整个被控对象建立为一个子系统。

在模型窗口中,将控制系统中的整个被控对象用鼠标左键拖出的虚线框框住,右击选择 Edit→Create subsystem 命令,则系统如图 3-7(b)所示。

双击图 3-7(b)中的子系统 Subsystem,则会出现封装的被控对象子系统的内部模型窗口,如图 3-7(c)所示。可以看到,子系统模型除了如图 3-7(a)所示虚线框框住的模块,还自动添加了一个输入模块 In1 和一个输出模块 Out1。

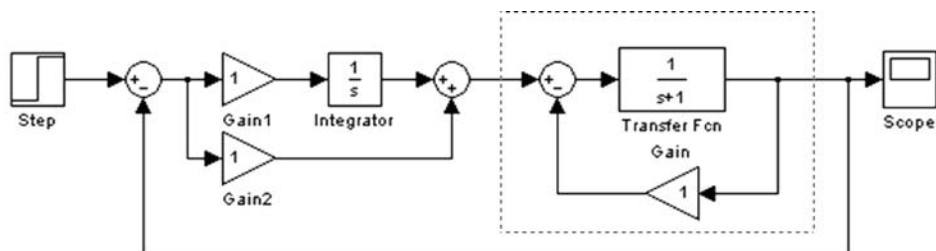
2. 子系统的封装

封装子系统的步骤如下:

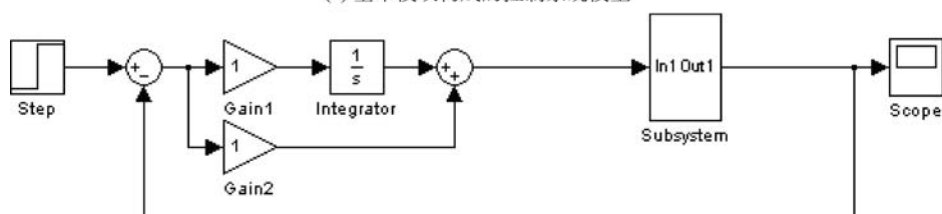
- (1) 选中子系统双击打开,给需要进行赋值的参数指定一个变量名。
- (2) 选择菜单 Edit→Mask subsystem 命令,出现封装对话框。
- (3) 在封装对话框中的设置参数,主要有 Icon、Parameters、Initialization 和 Documentation 4 个选项卡。

Icon 选项卡:用于设定封装模块的名字和外观,如图 3-8 所示。

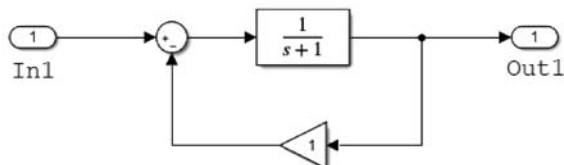
- Drawing commands 栏:用来建立用户化的图标,可以在图标中显示文本、图像、图



(a) 基本模块构成的控制系统模型



(b) 被控对象封装为子系统的控制系统模型



(c) 封装的被控对象子系统的内部模型

图 3-7 子系统建立

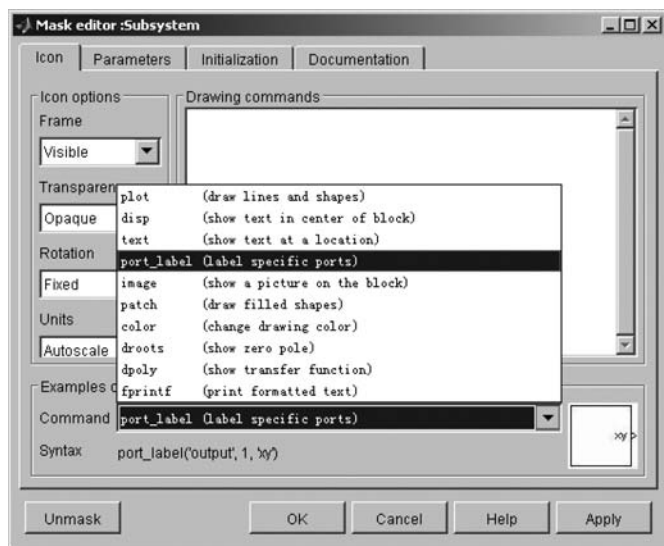


图 3-8 Icon 参数设置

形或传递函数等。在 Drawing commands 栏中的命令如图 3-8 中 Examples of drawing commands 的下拉列表所示,包括 plot、disp、text、port_label、image、patch、color、droots、dploy 和 fprintf。

- Icon options 栏：用于设置封装模块的外观。

Parameters 选项卡：用于输入变量名称和相应的提示,如图 3-9 所示。

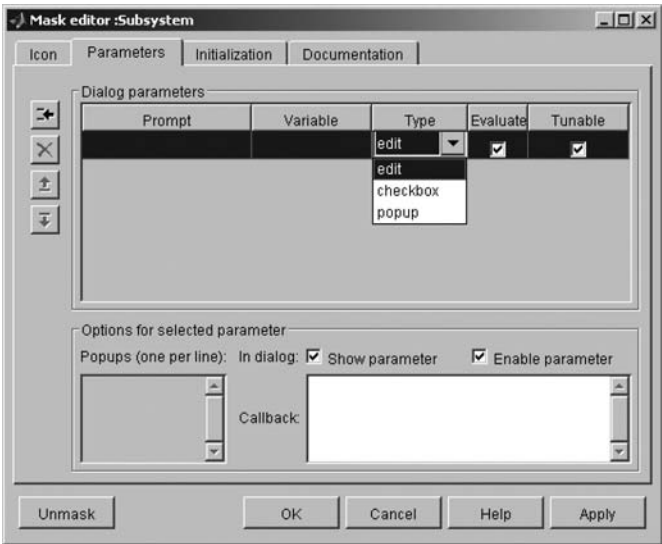


图 3-9 Parameters 参数设置

Add 、Delete 、Move up  和 Move down  按钮分别用于添加、删除、上移和下移输入变量。

Dialog parameters 参数如下所述。

- Prompt：指定输入变量的含义,其内容会显示在输入提示中。
- Variable：指定输入变量的名称。
- Type：给用户设计编辑区的选择。Edit 提供一个编辑框；Checkbox 提供一个复选框；Popup 提供一个弹出式菜单。
- Evaluate：用于配合 type 的不同选项提供不同的变量值,有两个选项 Evaluate 和 Literal,其含义如表 3-6 所示。
- Tunable：用于确定参数在仿真时是否可以修改,选中时,在仿真时可以修改。

表 3-6 Assignment 选项的不同含义

选 项	on	off
Edit	输入的文字是程序执行时所用的变量值	将输入的内容作为字符串
Checkbox	输出 1 和 0	输出为 on 或 off
Popup	将选择的序号作为数值,第一项则为 1	将选择的内容当作字符串

Options for selected parameter 选项如下所述。

- Popup: 当 type 选择 Popup 时,用于输入下拉菜单项。
- Callback: 用于输入回调函数。

Initialization 选项卡: 用于初始化封装子系统。

Documentation 选项卡: 用于编写与该封装模块对应的 Help 和说明文字, 分别有 Mask type、Mask Description 和 Mask help 栏。

- Mask type 栏: 用于设置模块显示的封装类型。
- Mask description 栏: 用于输入描述文本。
- Mask help 栏: 用于输入帮助文本。

3.4 Simulink 仿真示例

【例 3-1】 创建一个在阶跃信号激励下, 二阶系统 $\frac{1}{s^2 + s + 1}$ 的响应仿真模型, 通过示波器观察输出。

步骤如下:

(1) 在 MATLAB 的命令窗口运行 Simulink 命令, 或单击工具栏中的  图标, 就可以打开 Simulink 模块库浏览器 (Simulink Library Browser) 窗口, 如图 3-10 所示。

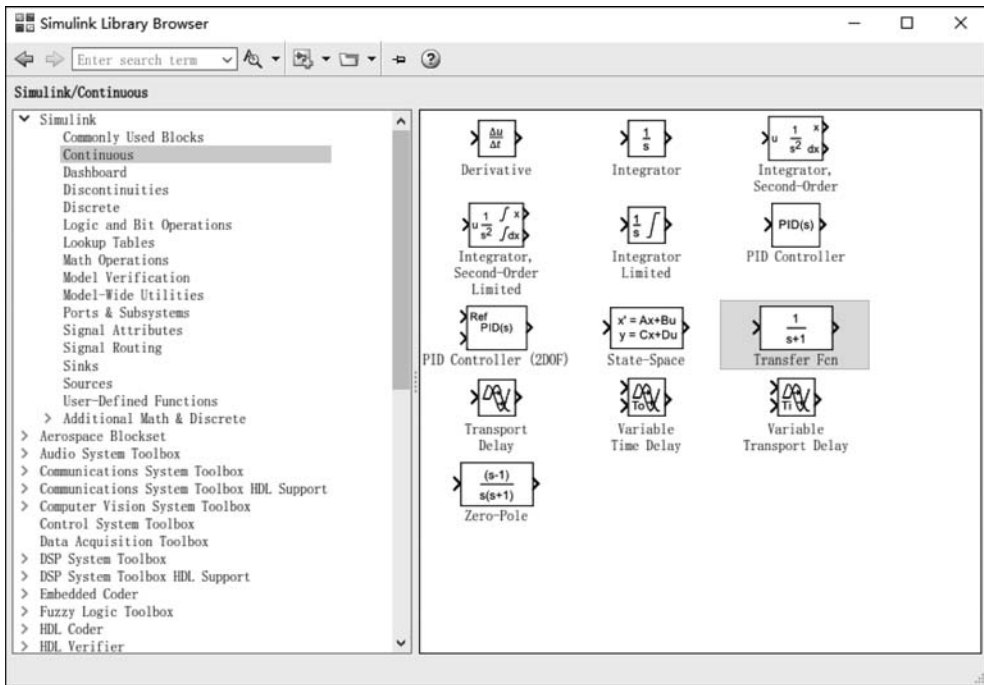


图 3-10 模块库浏览器

(2) 单击工具栏上的  图标或选择菜单 File→New→Model 命令,新建一个名为 untitled 的空白模型窗口。

(3) 在图 3-10 的右侧子模块窗口中,单击 Source 子模块库前的“+”号(或双击 Source),或者直接在左侧模块和工具箱栏单击 Simulink 下的 Sources 子模块库,便可看到各种输入源模块。

(4) 单击所需要的输入信号源模块 Step(阶跃信号),如图 3-11 所示,将其拖放到的空白模型窗口 untitled,则 Step 模块就被添加到 untitled 窗口;也可以用鼠标选中 Step 模块,右击,在快捷菜单中选择 add to 'untitled'命令,将 Step 模块添加到 untitled 窗口。

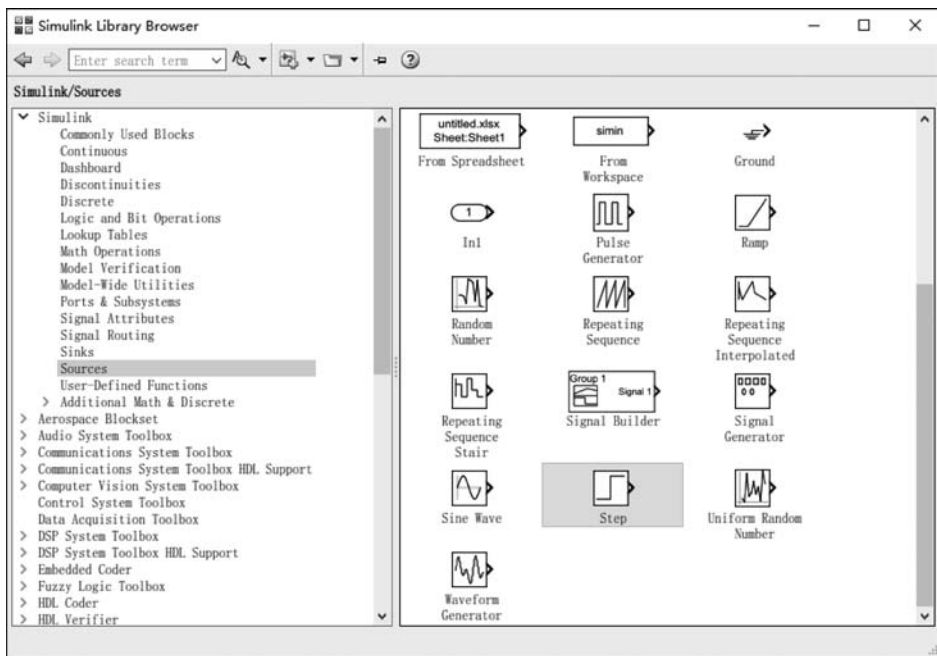


图 3-11 选择阶跃输入信号

(5) 用同样的方法分别打开连续系统模块 Continuous,选择其中的 Transfer Fcn 模块(传递函数模块)拖放到 untitled 窗口中。接收模块库 Sinks,选择其中的 Scope 模块(示波器)拖放到 untitled 窗口中。

(6) 在 untitled 窗口中,用鼠标指向 Step 右侧的输出端,当光标变为十字形状时,按住鼠标拖向 Transfer Fcn 的输入端,然后用鼠标指向 Transfer Fcn 右侧的输出端,按住鼠标拖向 Scope 模块的输入端,松开鼠标按键,就完成了两个模块间的信号线连接,一个简单模型已经建成。

(7) 双击 Transfer Fcn 模块,按指定的二阶系统传递函数 $\frac{1}{s^2 + s + 1}$,根据分子和分母多项式的系数输入模型,如图 3-12 所示。

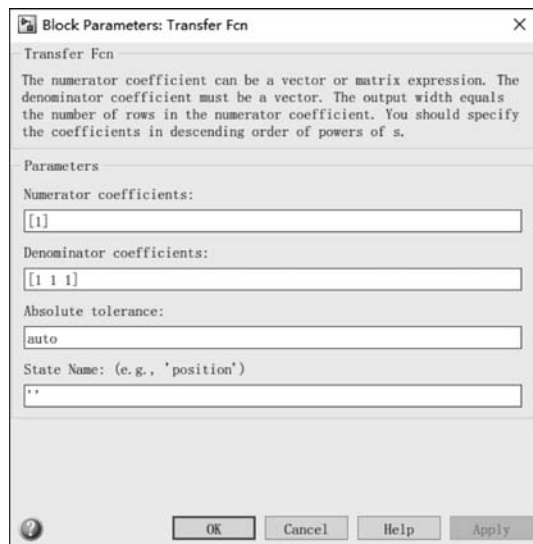


图 3-12 传递函数模型参数设置

(8) 最终生成的仿真模型如图 3-13 所示。然后就可以进行仿真了,单击 untitled 模型窗口中开始仿真图标 ,或者选择菜单 Simulink→Start 命令,则仿真开始。双击 Scope 模块,出现示波器显示屏,可以看到黄色的二阶系统的响应曲线如图 3-14 所示。

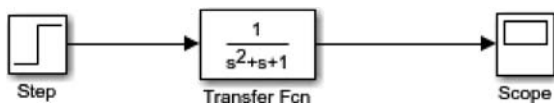


图 3-13 二阶系统的仿真模型

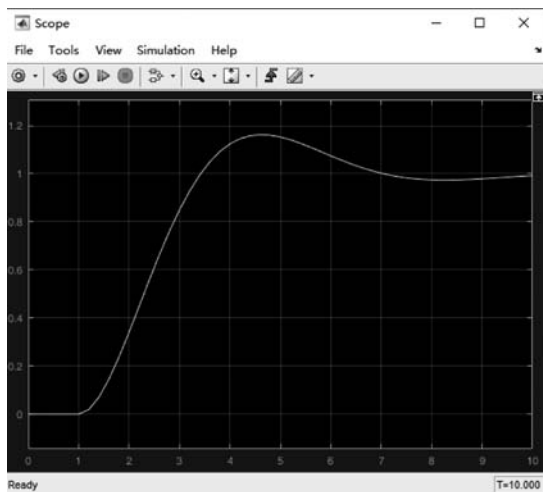


图 3-14 二阶系统的响应曲线

(9) 保存模型,单击工具栏的 图标,可将该模型保存为 ch3_lt01.mdl 或 ch3_lt01.slx 文件,其中后缀为 .mdl 的文件可兼容低版本 MATLAB。

习题

1. 建立被控对象为 $\frac{3s+9}{s^3+3s+1}$ 单位负反馈的 PI 控制系统, 并采用阶跃信号作为输入, 示波器观察输出。
2. 构建如图 3-15 所示系统, 并保存。

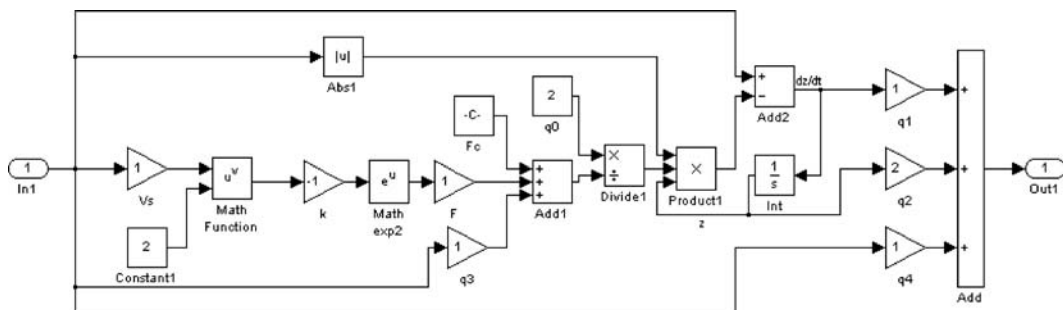


图 3-15 习题 2 系统模型

3. 试采用 MATLAB 函数得到习题 2 的传递函数。