

第10章 Simulink简介

Simulink是MATLAB软件的重要组成部分，能够进行动态系统的建模、仿真和综合分析，在学术和工业领域的应用越来越广泛。

- Simulink建模的基本概念
- Simulink的基本操作
- Simulink常用的基本模块库
- Simulink中的子系统和封装

仿真的概念

仿真以相似性原理、控制论、信息技术及相关领域的有关知识为基础，以计算机和各种专用物理设备为工具，借助系统模型对真实系统进行试验研究的一门综合性技术。

它利用物理或数学方法来建立模型，类比模拟现实过程或者建立假想系统，以寻求过程的规律，研究系统的动态特性，从而达到认识和改造实际系统的目的。

仿真分类

按照实现方式的不同可以将系统仿真分为如下几类：

(1) 实物仿真：又称物理仿真。它是指研制某些实体模型，使之能够重现原系统的各种状态。早期的仿真大多属于这一类。它的优点是直观形象，至今仍然广泛应用。但是为系统构造一套物理模型，将是一件非常复杂的事情，投资巨大，周期长，且很难改变参数，灵活性差。

(2) **数学仿真**：用数学语言去表述一个系统，并编制程序在计算机上对实际系统进行研究的过程。这种数学表述就是数学模型。数学仿真把研究对象的结构特征或者输入输出关系抽象为一种数学描述(微分方程、状态方程，可分为解析模型、统计模型)来研究，具有很大的灵活性，它可以方便地改变系统结构、参数；而且速度快，可以在很短的时间内完成实际系统很长时间的动态演变过程；精确度高，可以根据需要改变仿真的精度；重复性好，可以很容易地再现仿真过程。

(3) **半实物仿真**：又称数学物理仿真或者混合仿真。为了提高仿真的可信度或者针对一些难以建模的实体，在系统研究中往往把数学模型、物理模型和实体结合起来组成一个复杂的仿真系统，这种在仿真环节中存在实体的仿真称为半实物仿真或者半物理仿真。这样的仿真系统有飞机半实物仿真、射频制导导弹半实物仿真等，并且许多模拟器也属于半实物仿真。

仿真技术的主要用途有如下几点：

- (1) **优化系统设计。**在实际系统建立以前，通过改变仿真模型结构和调整系统参数来优化系统设计。如控制系统、数字信号处理系统的设计经常要靠仿真来优化系统性能。
- (2) **系统故障再现，发现故障原因。**实际系统故障的再现必然会带来某种危害性，这样做是不安全的和不经济的，利用仿真来再现系统故障则是安全的和经济的。
- (3) **验证系统设计的正确性。**
- (4) **对系统或其子系统进行性能评价和分析。**多为物理仿真，如飞机的疲劳试验。
- (5) **训练系统操作员。**常见于各种模拟器，如飞行模拟器、坦克模拟器等。
- (6) **为管理决策和技术决策提供支持。**

仿真软件：

仿真软件是一类面向仿真用途的专用软件，它可能是面向通用的仿真，也可能是面向某个领域的仿真。它的功能可以概括为以下几点：

- (1) 为仿真提供算法支持。
- (2) 模型描述，用来建立计算机仿真模型。
- (3) 仿真实验的执行和控制。
- (4) 仿真数据的显示、记录和分析。
- (5) 对模型、实验数据、文档资料和其它仿真信息的存储、检索和管理(即用于仿真数据信息管理的数据库系统)。

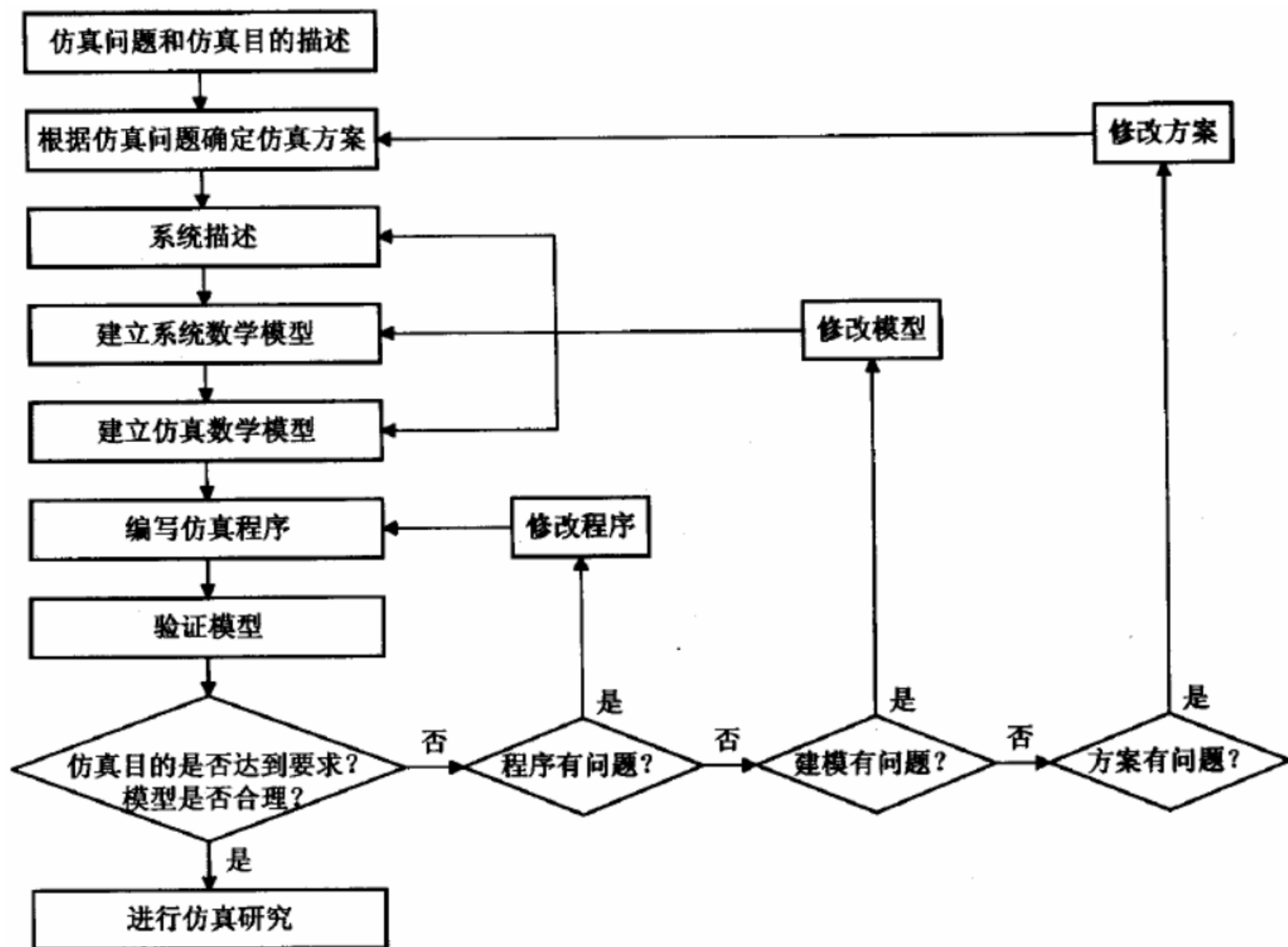
兵棋推演仿真：以对抗方式进行作战过程推演的工具

推演者可充分运用统计学、概率论、数学分析、博弈论等科学方法，通过兵棋推演对作战力量、作战环境、作战行动和结果进行全过程仿真、模拟再现，为制定作战方案、应对突发事件、论证武器装备、教育培训等提供重要参考。



计算机仿真的一般过程：

- (1) 描述仿真问题，明确仿真目的。
- (2) 项目计划、方案设计与系统定义：根据仿真目的确定相应的仿真结构(实时仿真还是非实时仿真，纯数学仿真还是半物理仿真等)，规定相应仿真系统的边界条件与约束条件。
- (3) 数学建模：根据系统的先验知识、实验数据及其机理研究，按照物理原理或者采取系统辨识的方法，确定模型的类型、结构及参数。注意要确保模型的有效性和经济性。
- (4) 仿真建模：根据数学模型的形式、计算机类型、采用的高级语言或其它仿真工具，将数学模型转换成能在计算机上运行的程序或其他模型，也即获得系统的仿真模型。
- (5) 试验：设定实验环境/条件，进行实验，记录数据。
- (6) 仿真结果分析：根据实验要求和仿真目的对实验结果进行分析处理(整理及文档化)。



10.1 Simulink概述

Simulink是MATLAB软件最重要的组件之一，能够进行动态系统建模、仿真和综合分析，提供了交互式图形化环境。在Simulink中，把现实中的每个系统都看成是由输入、输出和状态这3个基本元素组成，并随时间变化的数学函数关系。

10.1.1 Simulink的概念

Simulink是MATLAB中的一种可视化仿真工具，是实现动态系统建模、仿真和分析的一个软件包，被广泛应用于线性系统、非线性系统、数字控制及数字信号处理的建模和仿真中。

Simulink可以用连续采样时间、离散采样时间或两种混合的采样时间进行建模，它也支持多速率系统，即系统中的不同部分具有不同的采样率。

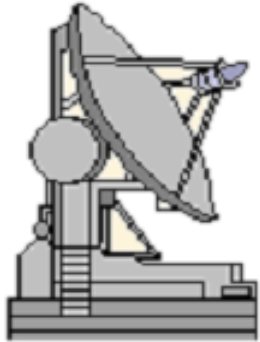
为了创建动态系统模型，Simulink提供了一个建立模型方块图的图形用户接口（GUI），这个创建过程只需单击和拖动鼠标操作就能完成，它提供了一种更快捷、直接明了的方式，而且用户可以立即看到系统的仿真结果。

10.1.2 Simulink的应用和特点

Simulink提供一个动态系统建模、仿真和综合分析的集成环境。在该环境中，无需大量书写程序，而只需要通过简单直观的鼠标操作，就可构造出复杂的系统。

Simulink具有适应面广、结构和流程清晰及仿真精细、贴近实际、效率高、灵活等优点，并基于以上优点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。同时有大量的第三方软件和硬件可应用于Simulink。

Simulink应用领域



通讯与卫星系统



船舶系统



电机系统



控制系统



航空航天系统



电子系统



汽车系统



金融系统

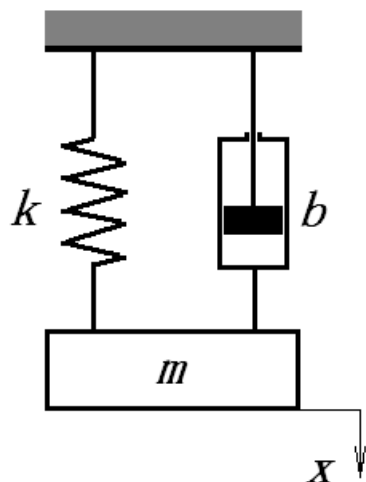


生物系统

10.1.3 Simulink举例

基于微分方程的Simulink建模

【例】在下图所示的系统中，已知质量 $m = 1\text{kg}$ ，阻尼 $b = 2\text{N}\cdot\text{sec}/\text{m}$ ，弹簧系数 $100\text{N}/\text{m}$ ，且质量块的初始位移 $x(0) = 0.05\text{m}$ ，其初始速度 $x'(0) = 0\text{m}/\text{sec}$ ，要求创建该系统的SIMULINK模型，并进行仿真运行。



本例演示：根据物理定理建立微分方程，并以此微分方程创建 Simulink 模型：模块复制、信号的勾画、模块参数的设置、示波器的调整；仿真参数的设置。

弹簧—质量—阻尼系统

(1) 建立理论数学模型

对于无外力作用的“弹簧—质量—阻尼”系统，据牛顿定律可写出：

$$mx'' + bx' + kx = 0$$

代入具体数值并整理，可得

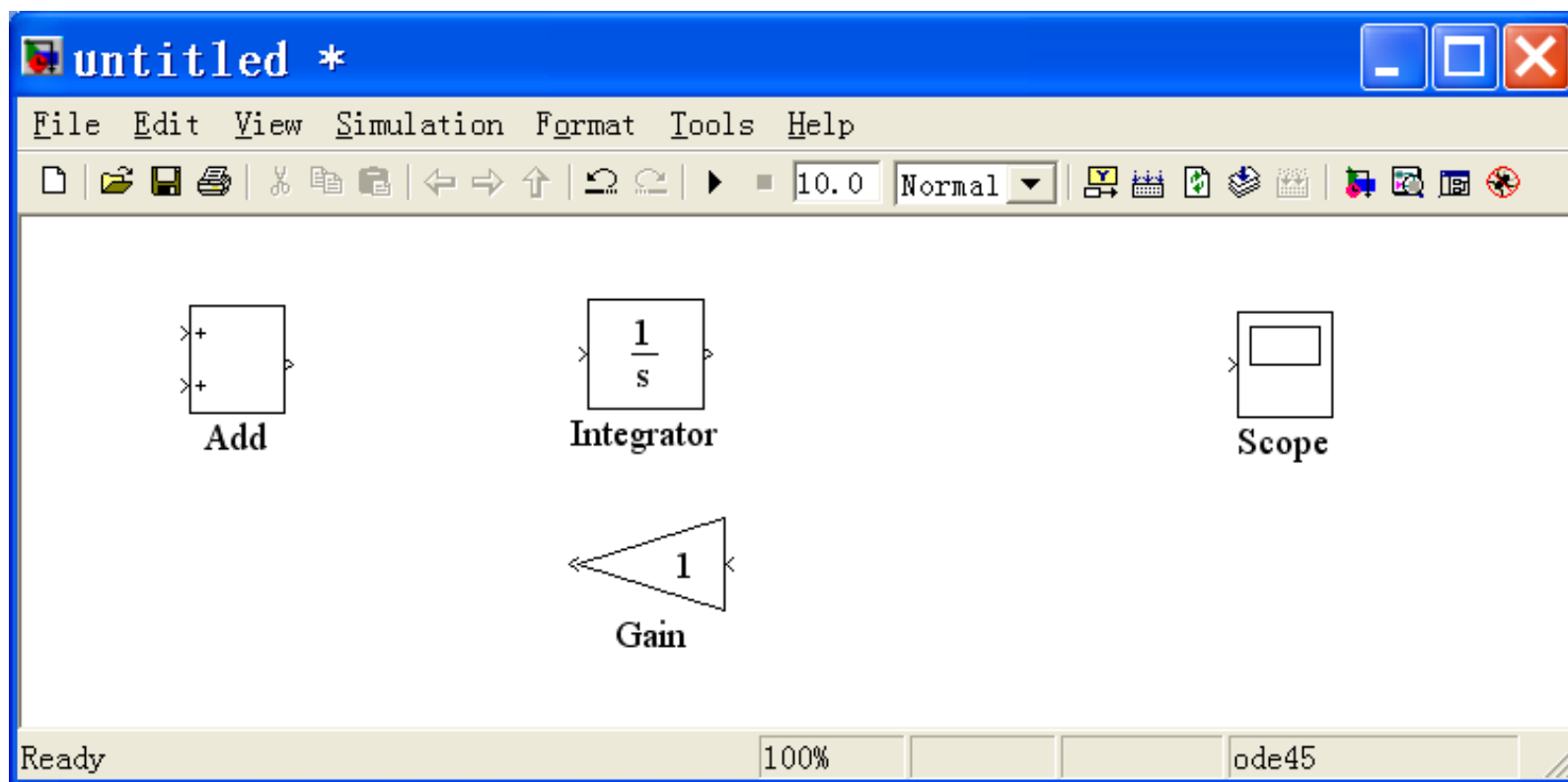
$$x'' = -2x' - 100x$$

(2) 建模的基本思路

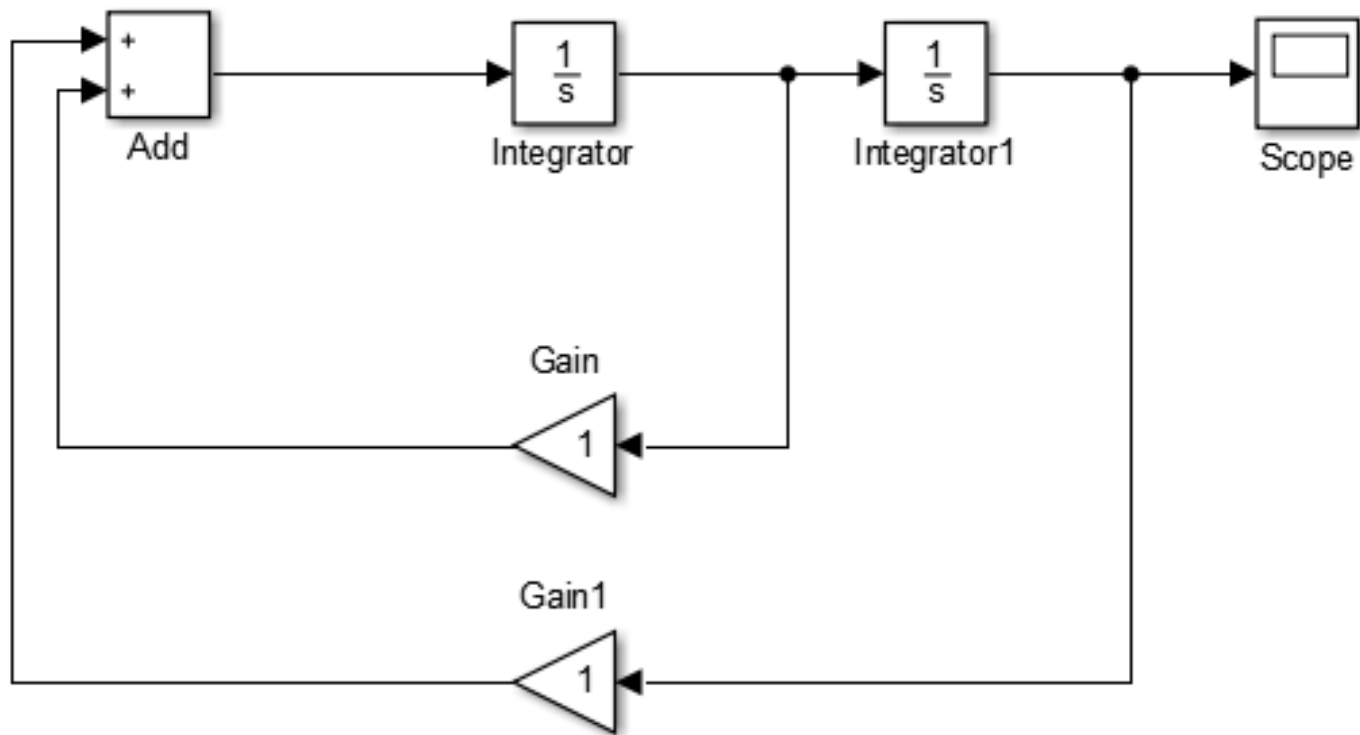
- 1、采用积分模块代替求导模块；
- 2、右侧代数和采用求和模块实现。
- 3、为了观察位移随时间的变化，需要加入”示波器“模块。

(3) 开启空白（新建）模型窗；

(4) 从模型库复制所需模块到空白（新建）模型窗；

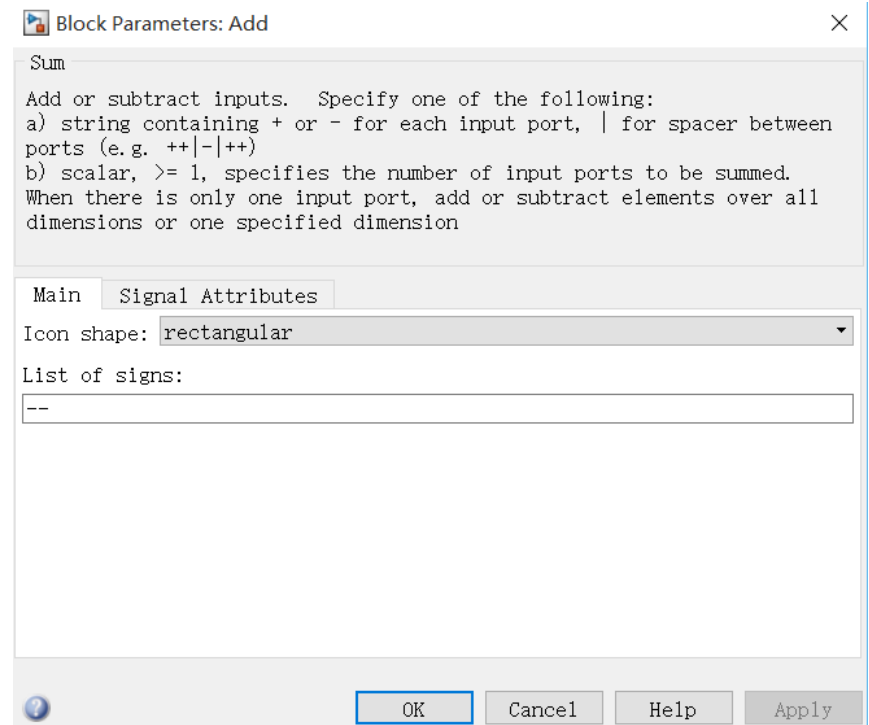
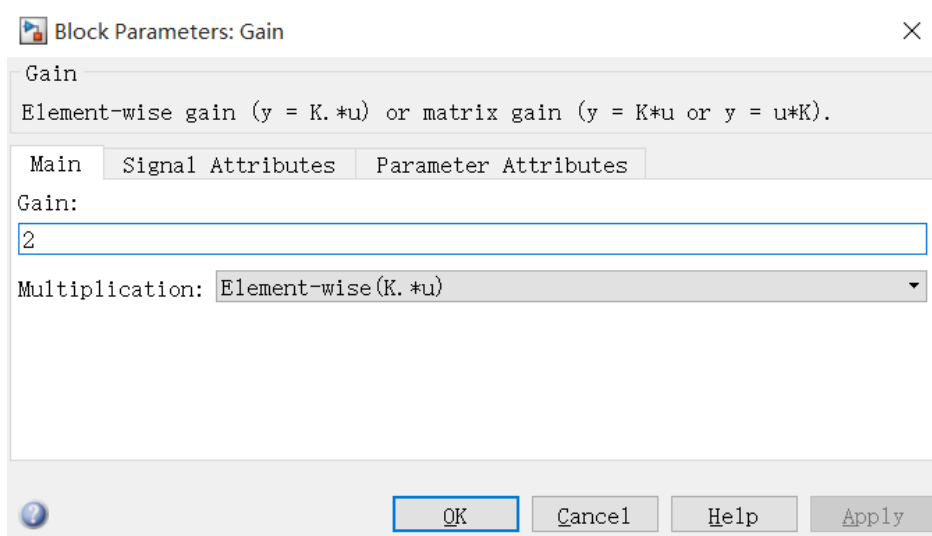


(5) 复制模块并连接模块;



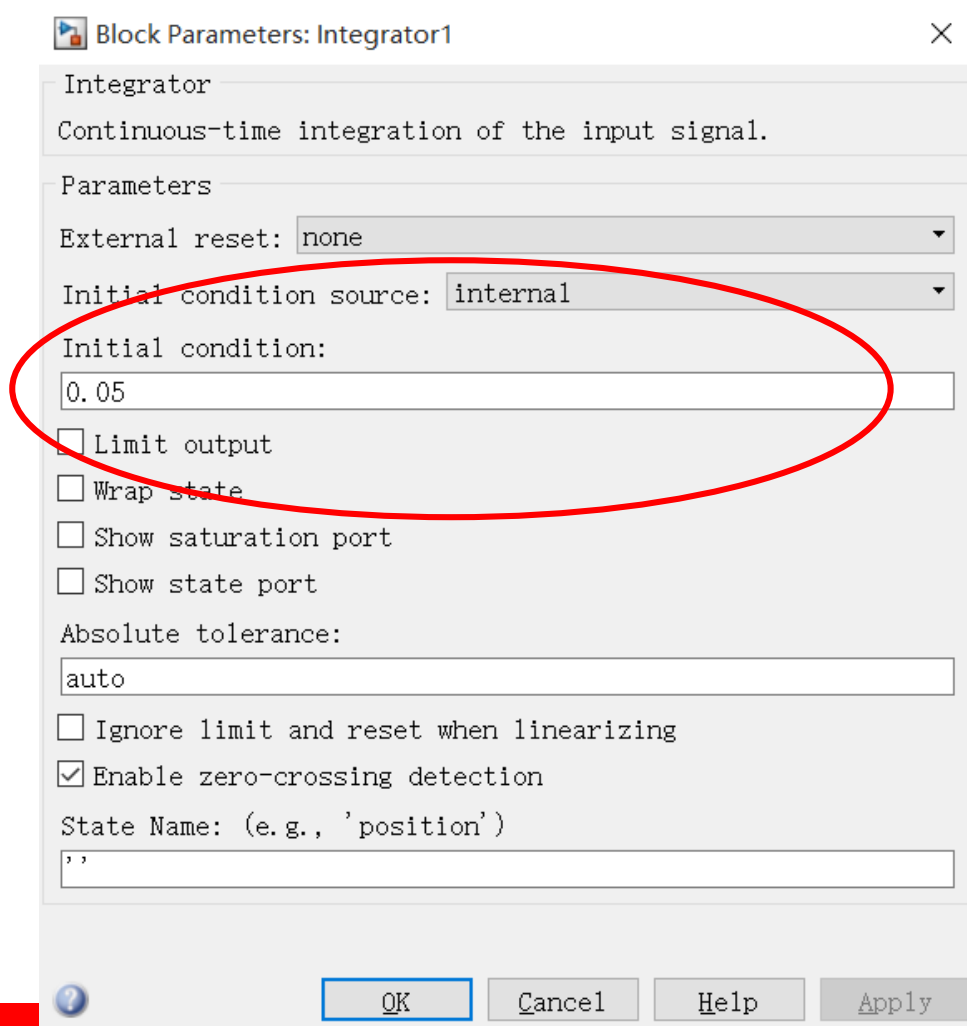
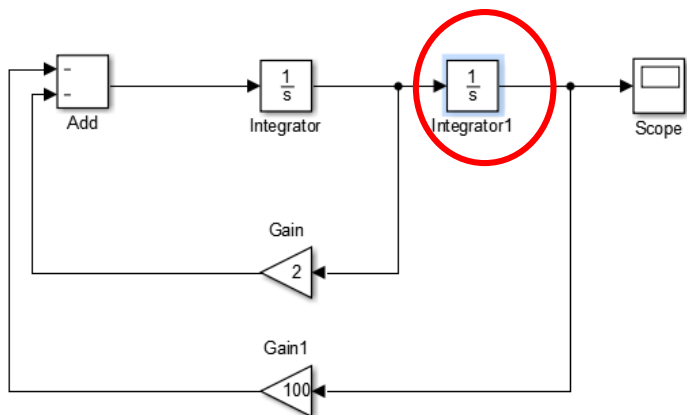
(6) 修改模型参数

增益分别设置为**2**、**100**，加法符号更改为**--**。



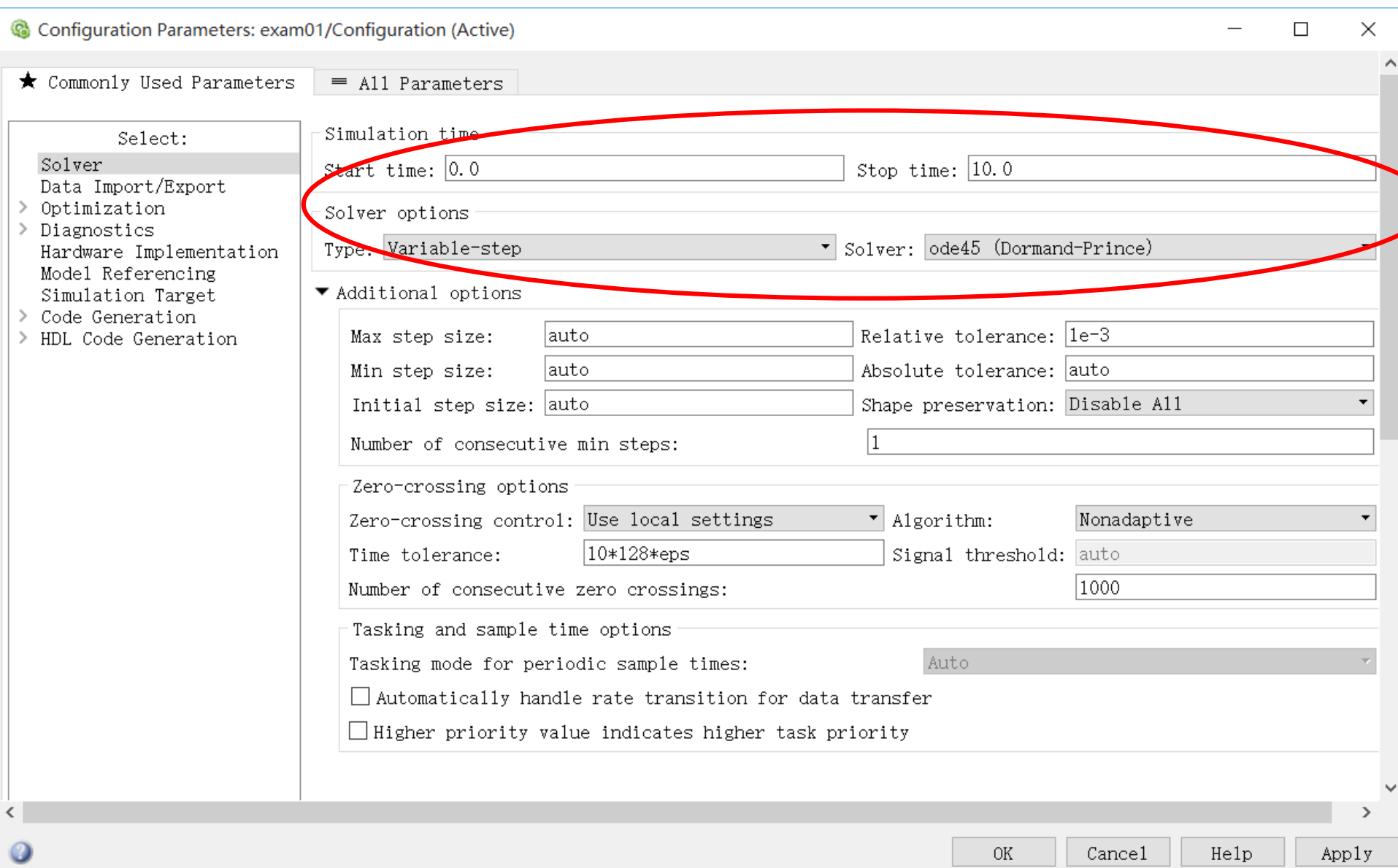
(7) 修改模型参数

双击积分器中，设置初始位移 $x(0)=0.05\text{m}$ 。



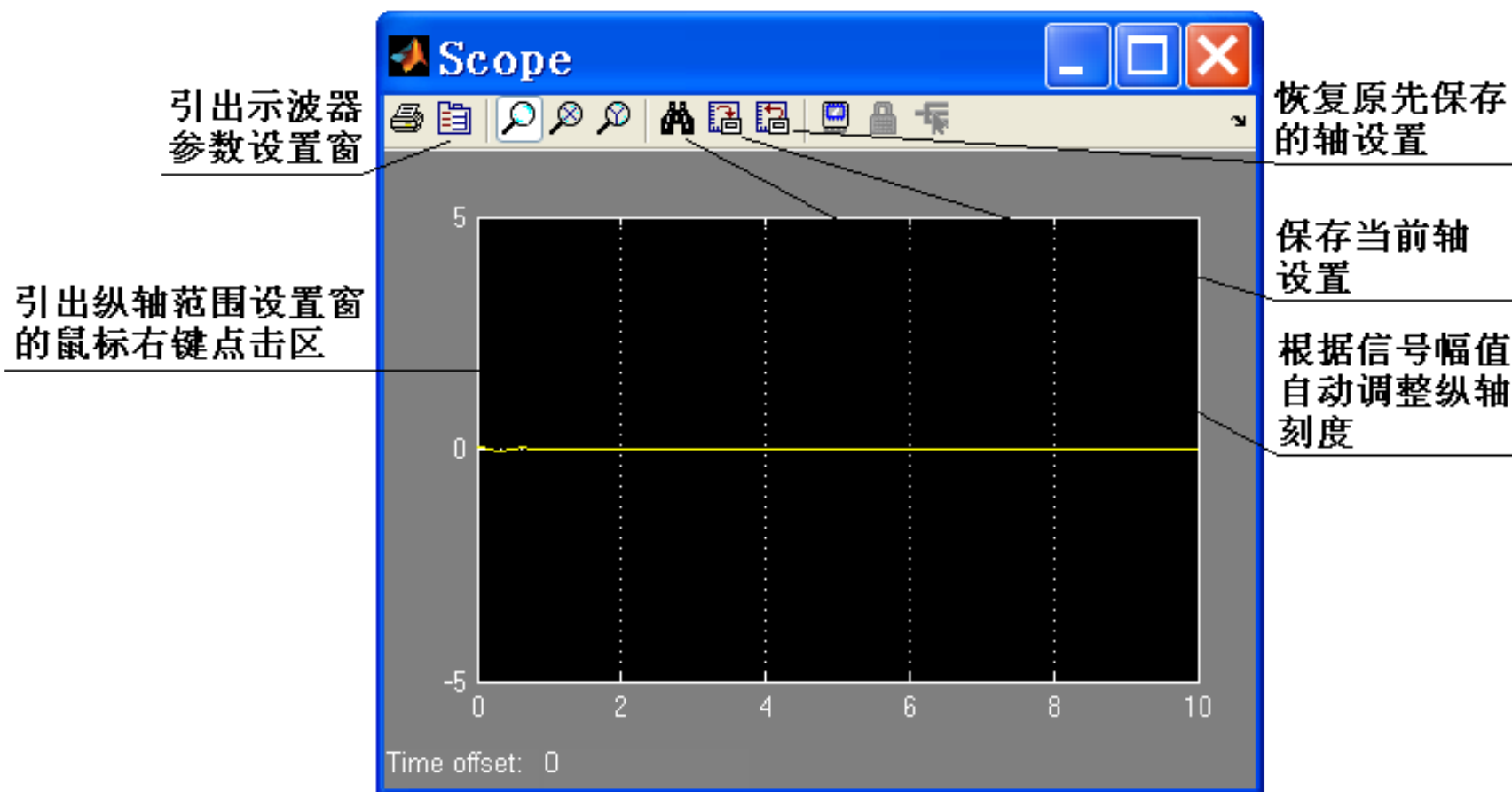
(7) 修改模型参数

仿真解算器采用默认“ode45”，默认变步长，仿真终止时间10.

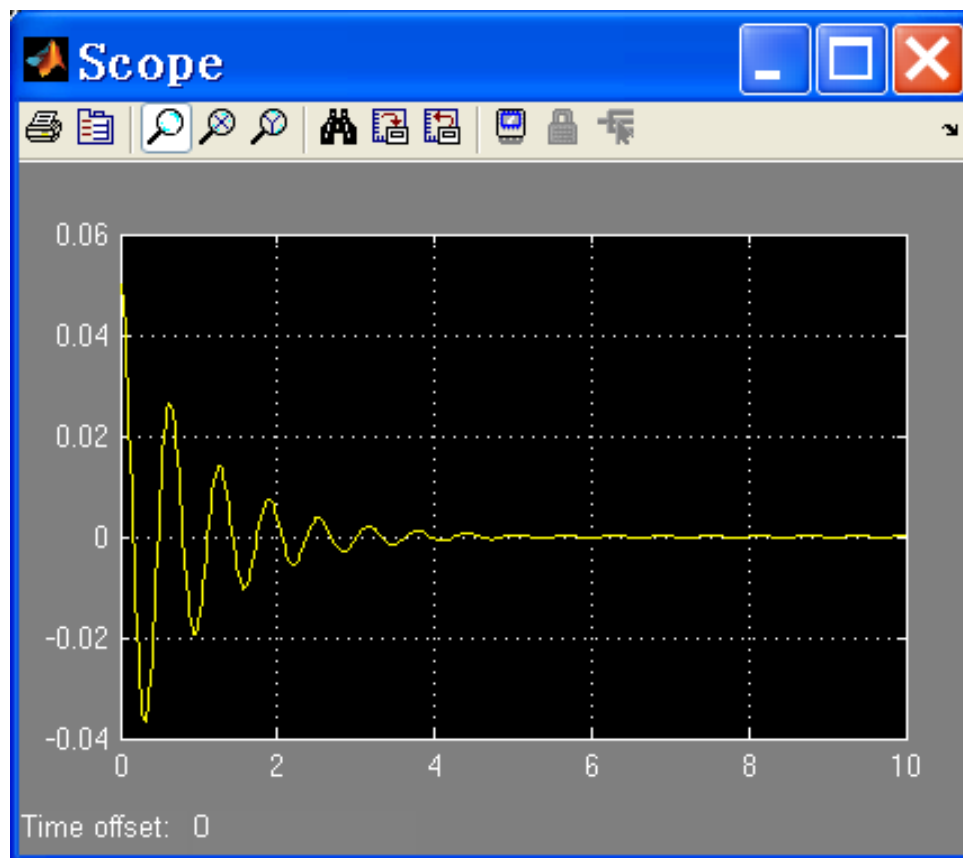


(8) 保存文件exm0801.mdl, 试运行。

双击scope示波器模块, 点击仿真, 在示波器中观察仿真结果。



单击**scope**显示窗上的纵坐标范围自动设置图标，显示图像如下。

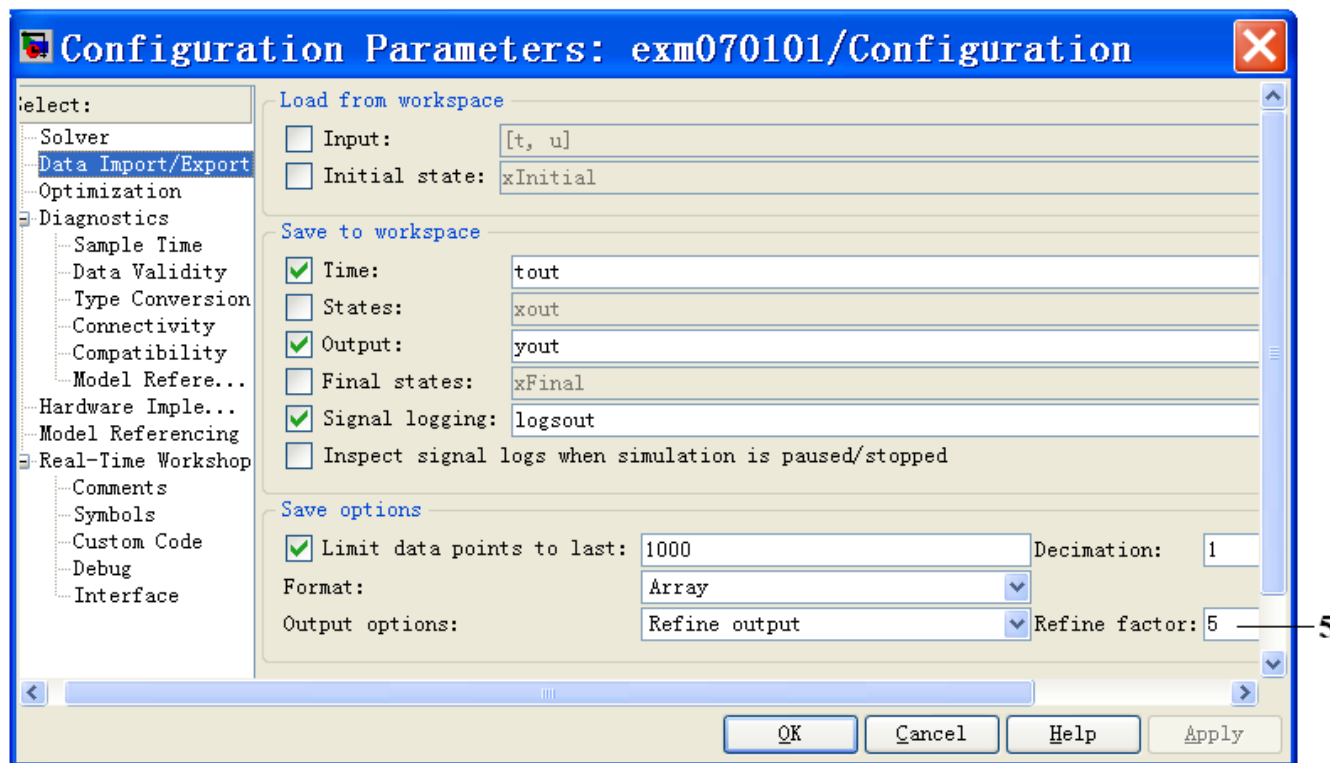


通过观察可以发现：纵坐标的适当范围大致在 $[-0.06, 0.06]$ ，仿真时间取 $[0, 5]$ 即可

(9) 曲线光滑设置

打开仿真参数面板，把Data Import/Export项中的Refine factor从默认值1改为5，ok，完成设置。

再次运行，曲线光滑！



算例总结：

本模型的物理模型是”无外力的弹簧-质量-阻尼系统“。采用的建模方式是微分方程的形式来描述系统，注意没有采用导数的形式，而是采用积分模块得到相应的导数，以”二阶导数“为建模的”起点信号“，然后通过积分模块得到”一阶导数“，在通过积分模块得到”函数本身“，这是基于微分方程创建Simulink模型的一般形式。

所有的能够用微分方程描述的系统都可以用这种方法来建立，如机械、电路系统。

Simulink 的菜单及功能

- File
- Edit
- View
- Simulation
- Format
- Tools
- help

更新的版本软件中：

- 菜单选项有所增加
- 提供了更多地功能

10.2 Simulink的基本操作

利用Simulink建模的过程，可以简单地理解为从模块库中选择需要的模块，然后将这些模块进行连接和属性设置，最后进行系统的运行，并查看仿真结果。

下面对Simulink的基本操作进行详细的介绍，主要包括启动Simulink、模块的操作和属性设置，以及仿真器设置等。

10.2.1 启动Simulink

在进行MATLAB安装时，选择Simulink模块，进行Simulink的安装。在MATLAB 2010a中，Simulink的版本为7.5。

首先启动MATLAB软件，然后再启动Simulink。用户可以单击MATLAB主界面工具栏的按钮，或在命令行窗口输入：
`simulink`，来启动Simulink。

在MATLAB的命令行输入：`help simulink`，来查看Simulink命令行下的函数。

在命令行输入：`demo simulink`，将会打开MATLAB的帮助系统，并显示Simulink的例子程序。

Open...

New

Examples

Recent

untitled.slx

Projects

Source Control...

Archive...

Search

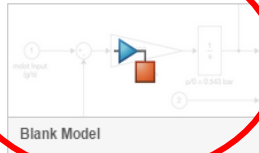
All Templates



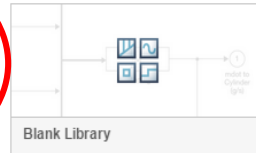
My Templates

[Learn More](#)You have not created any templates. [Learn how to create templates.](#)

Simulink



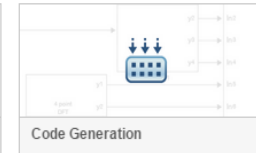
Blank Model



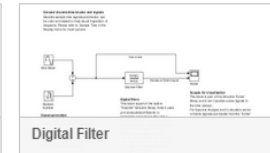
Blank Library



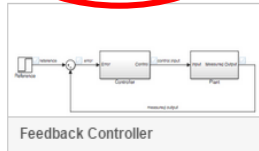
Blank Project



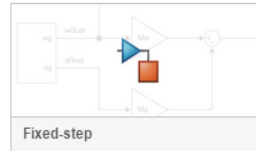
Code Generation



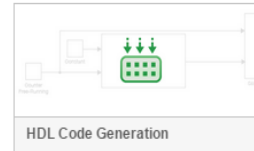
Digital Filter



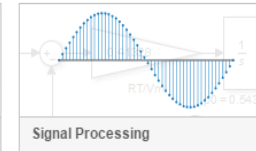
Feedback Controller



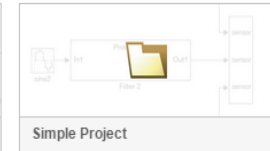
Fixed-step



HDL Code Generation



Signal Processing



Simple Project

Simple Simulation

[Aerospace Blockset](#)[Audio System Toolbox](#)[Communications System Toolbox](#)

Open...

Recent

untitled.slx

Projects

Source Control...

Archive...

New

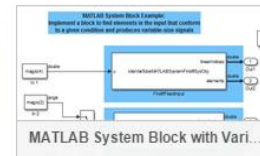
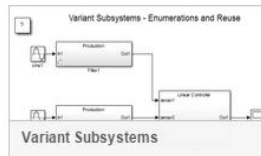
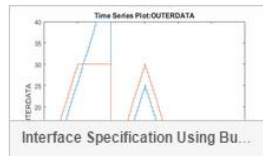
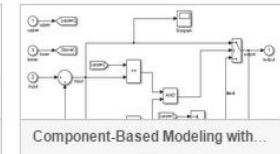
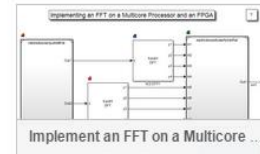
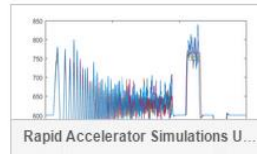
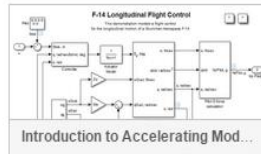
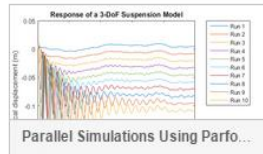
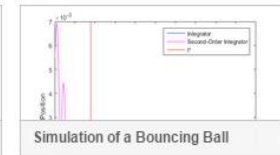
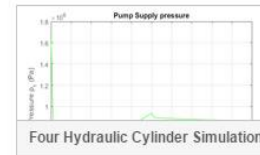
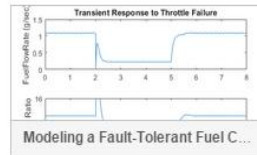
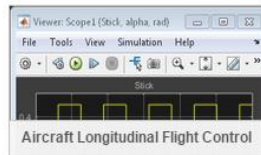
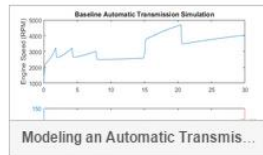
Examples

Explore featured modeling and simulation examples for a head start solving your problem using Simulink.

- › [Simulink Documentation](#)
- › [Getting Started](#)
- › [Blocks and Other Reference](#)
- › [Release Notes](#)

Simulink

[View All](#)



› Aerospace Blockset

[View All](#)

› Audio System Toolbox

[View All](#)

› Communications System Toolbox

[View All](#)

› Computer Vision System Toolbox

[View All](#)

10.2.2 选择模块

分析待仿真系统，确定待建模型的功能需求和结构。

打开Simulink的库浏览器窗口。然后单击Simulink库浏览器窗口工具栏上的New按钮，新建模型文件，并保存为exam.mdl。

在Sources子库中，找到正弦信号模块Sine Wave。可以用鼠标直接将该模块拖入到文件中，也可以在该模块上单击右键并选择Add to exam，或选中该模块后按快捷键Ctrl +I。

在Sources子库中找到常量模块Constant并添加。

在Sinks子库中找到示波器Scope，并添加2个示波器。

在数学库Math Operations中，找到加法Add模块和减法模块Subtract，并添加到模型文件中。

10.2.3 模块的连接

将鼠标放在模块的连线处，鼠标箭头会变成一个**十字叉**，然后单击并按下鼠标左键，拖动鼠标到其它模块的输入口，鼠标箭头变为**双十字叉**后，放开鼠标左键。

模块间的**连线默认为黑色的实线**，如果两个模块间的连线为**红色的虚线**，表示两个模块并没有连接起来。用鼠标单击该线，然后按键盘的Delete键或单击鼠标右键并选择Delete菜单进行删除。

将各模块适当排列，并用信号线将其正确连接。有几点需要注意：

① 在建模之前应对模块和信号线有一个整体、清晰和仔细的安排，这样在建模时会省下很多不必要的麻烦；

② 模块的输入端只能和上级模块的输出端相连接；

③ 模块的每个输入端必须要有指定的输入信号，但输出端可以空置。

10.2.4 模块的基本操作

1、选中模块

在模型文件中，用鼠标单击某个模块来选中该模块，被选中模块的四角处会出现小黑块编辑框。如果想选定多个对象，可以按下Shift键，然后再单击所需选定的模块。也可以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。

2、复制模块

在同一个模型文件中，可以采样如下的方法进行模块的复制：

- 选定该模块，按下鼠标右键，拖动模块到合适的地方，释放鼠标。
- 选定该模块，按住Ctrl键，按住鼠标左键，将模块拖动到合适的地方，释放鼠标。
- 选中该模块，然后使用菜单或工具栏中的Copy和Paste按钮。

3、模块的移动

在同一个模型文件中，选中需要移动的一个或多个模块，然后用鼠标将模块拖到合适的地方。

还可以在不同模型文件移动模块。用鼠标选中要移动的模块，然后之间拖入到其它模型文件中。

如果在移动的同时按下Shift键，则删除原来模型文件中的模块。

4、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。

5、模块的删除

对于不需要的模块，需要进行删除。选中需要删除的模块，然后按键盘上的Delete键进行删除。或选中模块后，单击菜单Edit下的Delete或Cut选项。也可以在选中模块后，单击工具栏中的Cut按钮进行删除。

6、模块的翻转

首先选中模块，选择模型文件中的菜单Format下的Flip Block选项，可以将模块旋转180度。菜单Format下的选项Rotate Block可以将模块旋转90度。

此外，利用Format菜单下的选项，还可以修改模块名，对模块名的字体进行设置，隐藏模块名，模块名的翻转等。

10.2.5 模块参数设置

对于每个模块，都可以用鼠标双击该模块，打开参数设置窗口，对模块进行参数设置。对于正弦信号（Sine Wave），用鼠标双击该模块后，会出现参数设置对话框，其上部为参数说明，仔细阅读可以帮助用户设置参数。正弦信号的参数中：

Amplitude为正弦信号的幅值，设置为1。

Bias为幅值偏移值，设置为0。

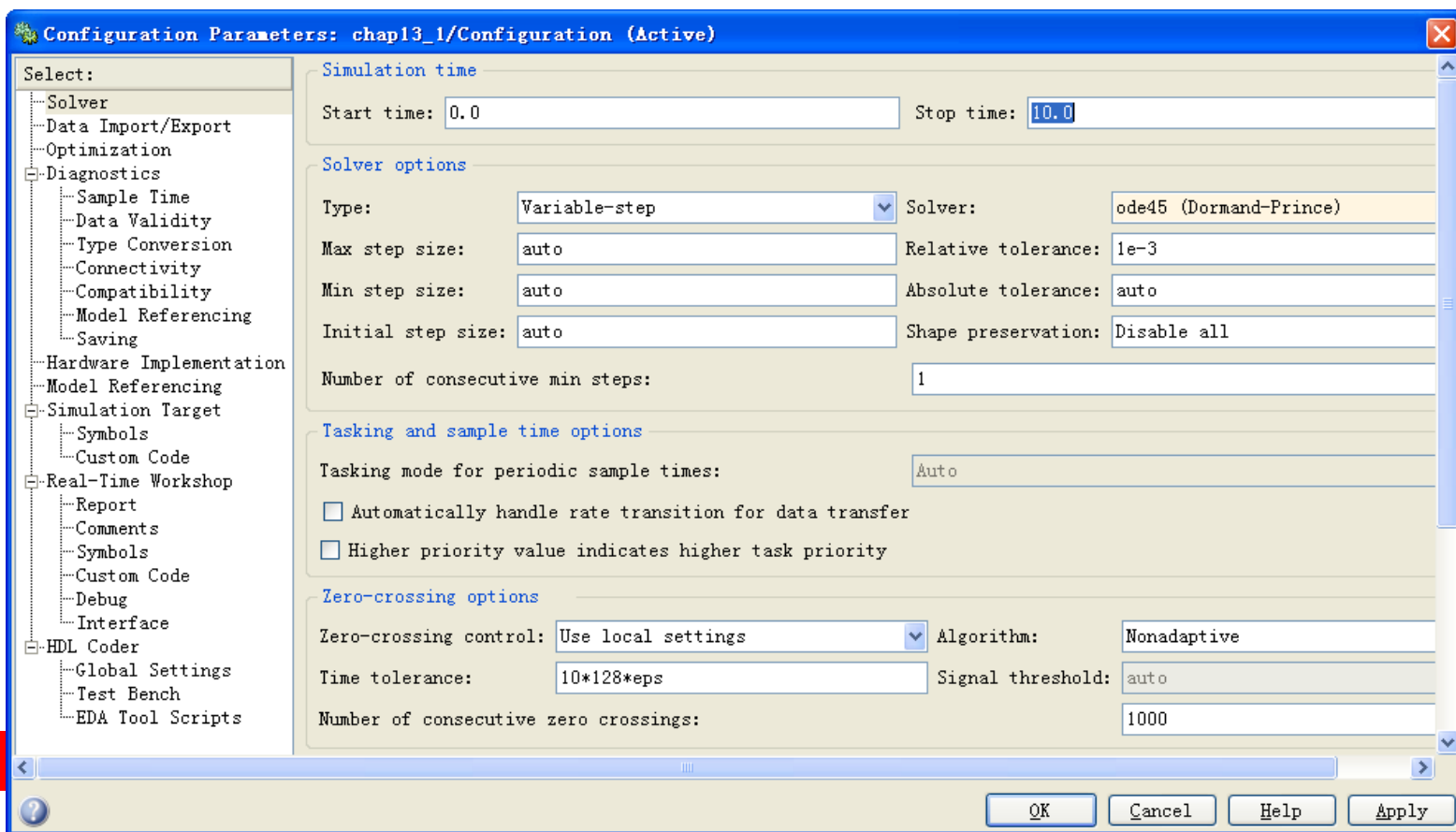
Frequency为正弦频率，设置为5。

Phase为正弦的初相，设置为0。

Sample time为采样时间，设置为0.01。

10.2.6 仿真器设置

在模型文件窗口中，单击菜单Simulation下的Configuration Parameters选项，会出现Simulink仿真器设置窗口。仿真的起始时间为0，终止时间为10秒，求解器Solver默认为ode45。



10.2.7 运行仿真

首先建立仿真模型，然后对各个模块的参数进行设置，以及Simulink仿真器进行设置。最后进行系统的仿真。用户可以单击模型文件exam1.mdl窗口中的菜单Simulation下的Start，或按快捷键Ctrl+T，进行系统的仿真。仿真结束后，单击示波器，可以查看进行加法和减法后的正弦波形。

用户可以单击示波器工具栏中的按钮，来调制纵轴的范围。此外，还可以单击工具栏中的按钮，对示波器的参数进行设置。

10.3 常用的模块库

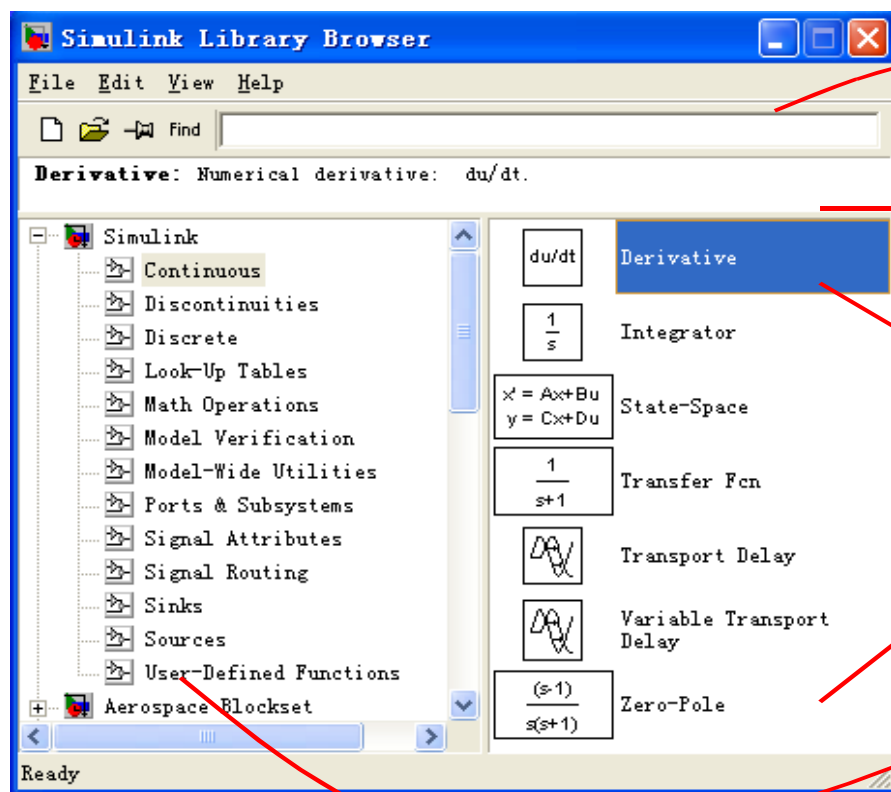
在Simulink模块库浏览器中，Simulink模块包括两类：

一类是Simulink基本模块库，是进行系统建模的基本单元，包含16个子集。

另一类是各个工具箱的模块库，和各个具体应用领域相关。

Simulink 的模块库

Simulink 的模块库能够对系统模块进行有效的管理与组织，可以直接将模块库中的模块拖动或者拷贝到用户的系统模型中，以构建动态系统模型。



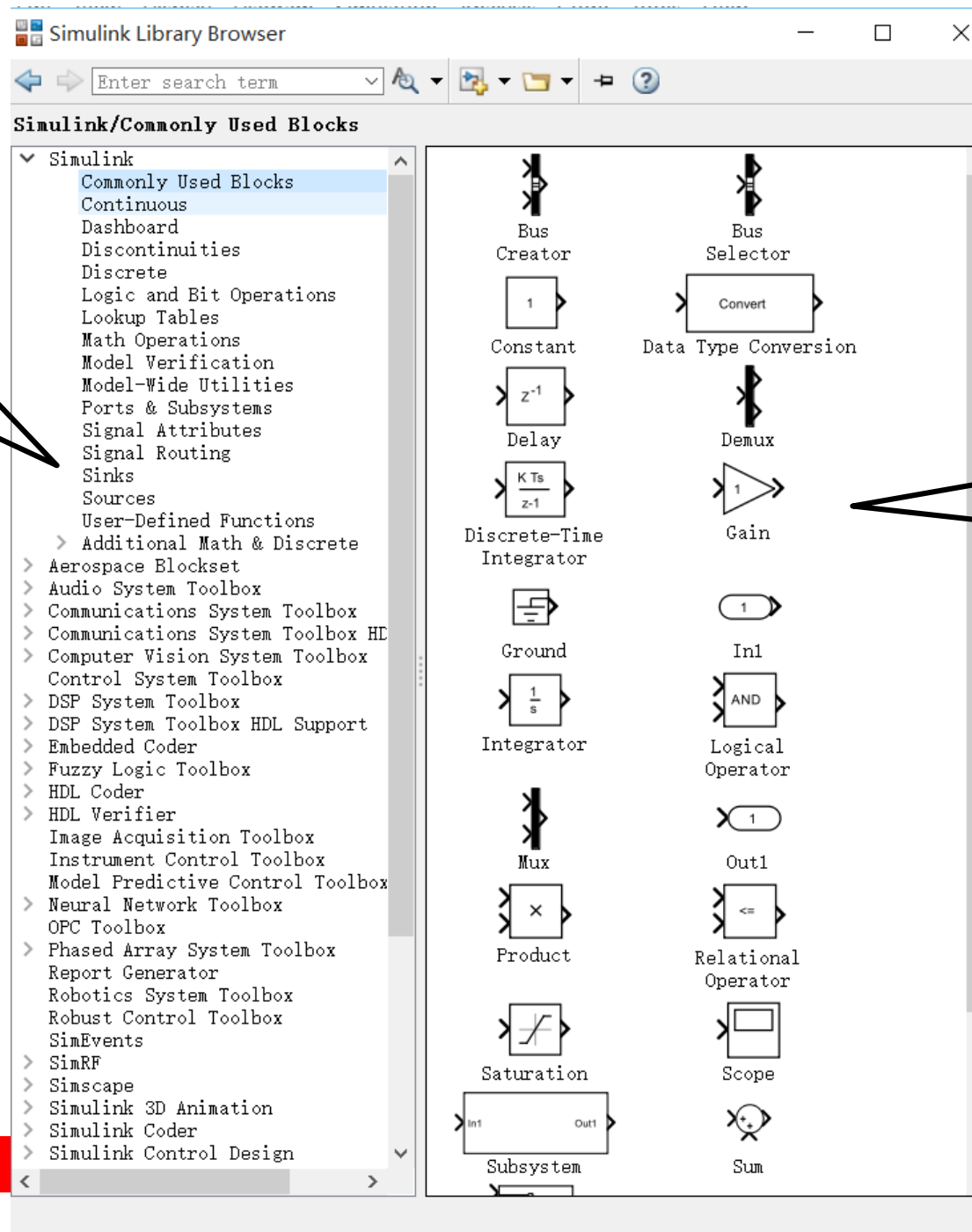
模块搜索

模块描述

系统模块

系统模块库

系统
模块库



模块选
取区

Simulink公共模块库

Simulink中最为基础、最为通用的模块库，它可以被应用到不同的专业领域中。

Simulink模块库按功能分为以下16类子模块库：

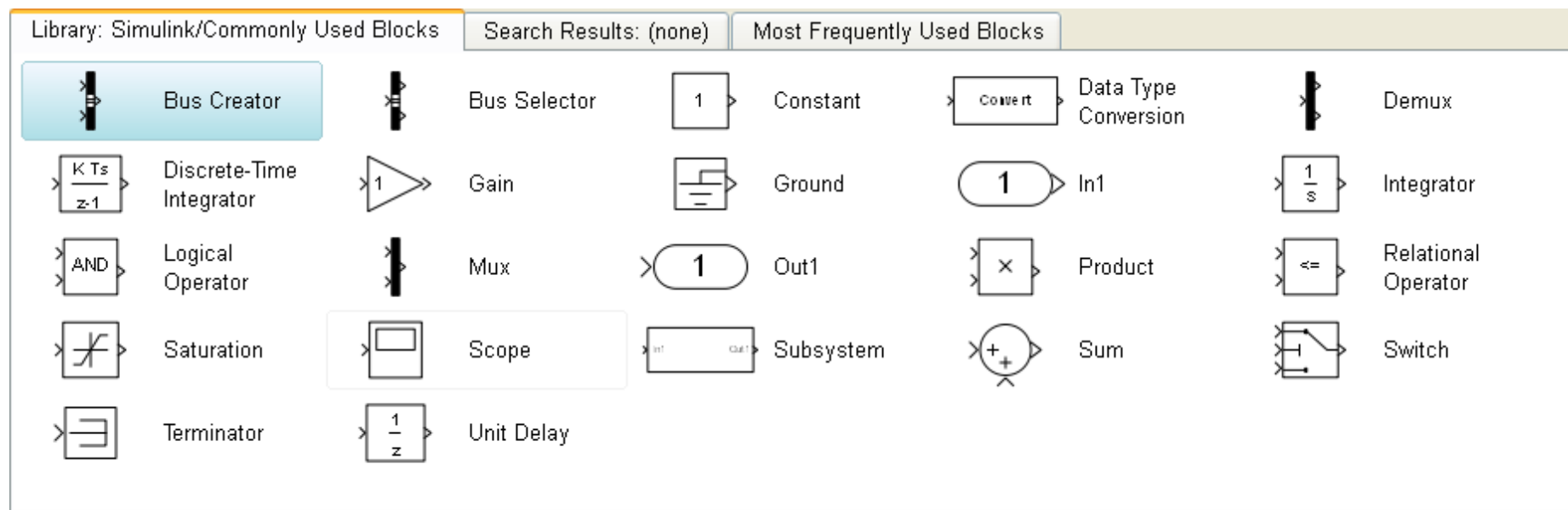
- (1) **Commonly Used Blocks:** 仿真常用模块库
- (2) **Continuous:** 连续系统模块库
- (3) **Discontinuities:** 非线性系统模块库
- (4) **Discrete:** 离散系统模块库
- (5) **Logic and Bit Operations:** 逻辑运算和位运算模块库
- (6) **Lookup Tables:** 查找表模块库
- (7) **Math Operations:** 数学运算模块库
- (8) **Model Verification:** 模型验证模块库
- (9) **Model-Wide Utilities:** 进行模型扩充的实用模块库
- (10) **Ports & Subsystems:** 端口和子系统模块库
- (11) **Signals Attributes:** 信号属性模块库
- (12) **Signals Routing:** 提供用于输入、输出和控制的相关信号及相关处理的模块库
- (13) **Sinks:** 仿真接收模块库
- (14) **Sources:** 仿真输入源模块库
- (15) **User-defined Functions:** 用户自定义函数模块库
- (16) **Additional Math & Discrete:** 附加的数学和离散模块库

Simulink的部分专业模块库

DSP Blockset	数字信号处理工具包
Fixed-Point Blockset	定点运算控制系统仿真工具包
Power System Blockset	电力电动系统工具包
Dials & Gauges Blockset	交互图形和控制面板设计工具包
Communications Blockset	通讯系统工具包
CDMA Reference Blockset CDMA	CDMA通讯系统设计和分析工具包
Nonlinear Control Design Blockset	非线性控制设计工具箱
Motorola DSP Developer's Kit	Motorola DSP开发工具箱
TI DSP Developer's Kit	TI DSP开发工具箱

10.3.1 Simulink常用模块子集

Simulink常用模块子集包括**22**个基本模块，如图所示。





模块名	功 能
Bus Creator	将输入信号合并成向量信号
Bus Selector	将输入向量分解成多个信号，输入只接受从Mux和Bus Creator输出的信号
Constant	输出常量信号
Data conversion	数据类型转换
Demux	将输入向量转换成标量或更小的标量
Discrete-Time Integrator	离散积分器模块
Gain	增益模块
In1	输入模块
Integrator	连续积分器模块
Logical Operator	逻辑运算模块
Mux	将输入的向量、标量和矩阵信号合成
Out1	输出模块




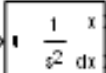
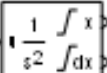

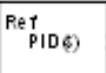
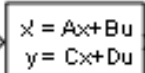
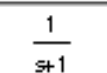



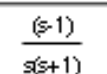


模块名	功 能
Product	乘法器，执行标量、向量或矩阵的乘法
Relational Operator	关系运算，输出布尔类型数据
Saturation	定义输入信号的最大和最小值
Scope	输出示波器
Subsystem	创建子系统
Sum	加法器
Switch	选择器，根据第二个输入信号来选择输出第一个还是第三个信号
Terminator	终止输出，用于防止模型最后的输出端没有接任何模块时报错
Unit Delay	单位时间延迟

10.3.2 连续时间模块子集

连续时间模块子集包括**13**个模块，

Library: Simulink/Continuous Search Results: (none) Most Frequently Used Blocks

 $\frac{du}{dt}$	Derivative	 $\frac{1}{s}$	Integrator	 $\frac{1}{s} \int$	Integrator Limited	 $\frac{1}{s^2} \int$	Integrator, Second-Order
 $\frac{1}{s^2} \int$	Integrator, Second-Order Li...	 PID(s)	PID Controller	 Ref PID(s)	PID Controller (2DOF)	 $\begin{matrix} \dot{x} = Ax + Bu \\ y = Cx + Du \end{matrix}$	State-Space
 $\frac{1}{s+1}$	Transfer Fcn		Transport Delay	 To	Variable Time Delay	 Ti	Variable Transport Delay
 $\frac{(s-1)}{s(s+1)}$	Zero-Pole						




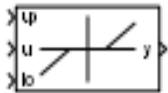



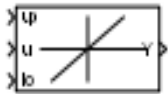


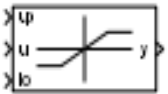

主要的连续时间模块及其功能

模块名	功 能
Derivative	数值微分
Integrator	积分器
State-Space	创建状态空间模型 $dx/dt=Ax+Bu$ $y=Cx+Du$
Transport Delay	定义传输延迟，如果将延迟设置的比仿真步长大，可以得到更精确的结果
Transfer Fcn	用矩阵形式描述的传输函数
Variable Transport Delay	定义传输延迟，第一个输入接收输入，第二个输入接收延迟时间
Zero Pole	用矩阵描述系统零点，用向量描述系统极点和增益

10.3.3 非连续时间模块子集

非连续时间模块子集共有**12**个模块

Library: Simulink/Discontinuities Search Results: (none) Most Frequently Used Blocks

 Backlash	 Coulomb & Viscous Friction	 Dead Zone	 Dead Zone Dynamic
 Hit Crossing	 Quantizer	 Rate Limiter	 Rate Limiter Dynamic
 Relay	 Saturation	 Saturation Dynamic	 Wrap To Zero

主要的非连续时间模块及其功能

模块名	功 能
Coulomb & Viscous Friction	刻画在零点的不连续性, $y = \text{sign} * (\text{Gain} * \text{abs}(x) + \text{Offset})$
Dead Zone	产生死区, 当输入在某一范围取值时输出为0
Dead Zone Dynamic	产生死区, 当输入在当输入在某一范围取值时输出为0, 死区范围在仿真过程中是动态可变的
Hit Crossing	检测输入是上升经过某一值还是下降经过这一值或是固定在某一值, 用于过零检测
Quantizer	按相同的间隔离散输入
Rate Limiter	限制输入的上升和下降速率在某一范围
Rate Limiter Dynamic	限制输入的上升和下降速率在某一范围, 它的范围在仿真过程中是动态可变的

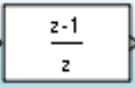
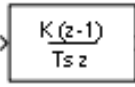
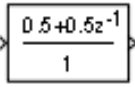
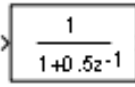

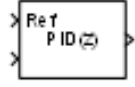

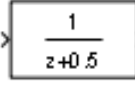
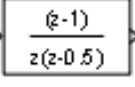





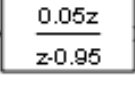
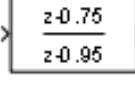
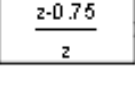


主要的非连续时间模块及其功能

模块名	功 能
Relay	判断输入与某两阈值的大小关系： 当大于开启阈值，输出为on 当小于关闭阈值，输出为off 当在两者之间时输出不变
Saturation	限制输入在最大和最小范围之内
Saturation Dynamic	限制输入在最大和最小范围之内，其范围在仿真过程中是动态可变的
Wrap To Zero	当输入大于某一值时输出0，否则输出等于输入

10.3.4 离散时间模块子集

离散时间模块子集，共包括**19**个模块。

Library: Simulink/Discrete Search Results: (none) Most Frequently Used Blocks

 Difference	 Discrete Derivative	 Discrete FIR Filter	 Discrete Filter
 Discrete PID Controller	 Discrete PID Controller (2D...)	 Discrete State-Space	 Discrete Transfer Fcn
 Discrete Zero-Pole	 Discrete-Time Integrator	 First-Order Hold	 Integer Delay
 Memory	 Tapped Delay	 Transfer Fcn First Order	 Transfer Fcn Lead or Lag
 Transfer Fcn Real Zero	 Unit Delay	 Zero-Order Hold	







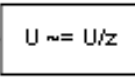
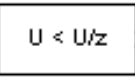


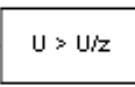
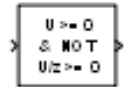






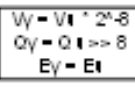
主要的离散时间模块及其功能

模块名	功 能
Difference	离散差分，输出当前值减去前一时刻的值
Discrete Derivative	离散偏微分
Discrete Filter	离散滤波器
Discrete Transfer Fcn	离散传输函数
Discrete-Time Integrator	离散积分器
Integer Delay	整数倍采样周期的延迟
Memory	存储单元，当前输出是前一时刻的输入
First-Order Hold	一阶保持
Zero-Order Hold	零阶保持

10.3.5 逻辑和位操作模块子集

逻辑和位操作模块共包括**19**个基本模块

Library: Simulink/Logic and Bit Operations Search Results: (none) Most Frequently Used Blocks

 Bit Clear	 Bit Set	 Bitwise AND Operator	 Combinatorial Logic
 ≤ 3 Compare To Constant	 ≤ 0 Compare To Zero	 $U \sim= U/z$ Detect Change	 $U < U/z$ Detect Decrease
 $U < 0$ & NOT $U/z < 0$ Detect Fall Negative	 $U \leq 0$ & NOT $U/z \leq 0$ Detect Fall Nonpositive	 $U > U/z$ Detect Increase	 $U \geq 0$ & NOT $U/z \geq 0$ Detect Rise Nonnegative
 $U > 0$ & NOT $U/z > 0$ Detect Rise Positive	 Extract Bits Upper Half	 Interval Test	 Interval Test Dynamic
 AND Logical Operator	 \leq Relational Operator	 $Wy = Vt \cdot 2^{n-8}$ $Oy = 0$ if $n > 8$ $Ey = Et$ Shift Arithmetic	



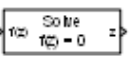
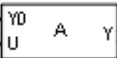













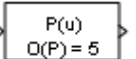



















模块名	功 能
Bit Clear	将向量信号中某一位置设为0
Bit Set	将向量信号中某一位置设为1
Bitwise Operator	对输入信号进行自定义的逻辑运算
Combinatorial Logic	组合逻辑，实现一个真值表
Compare to Constant	定义如何与常数进行比较
Compare to Zero	定义如何与0进行比较
Detect Change	检测输入的变化，如果输入的当前值与前一时刻的值不等，则输出True，否则输出False
Detect Decrease	检测输入是否下降，是则输出True，否则输出False
Detect Fall Negative	若输入当前值是负数，前一时刻值为非负则输出True，否则输出False

模块名	功 能
Detect Fall Nonpositive	如输入当前值是非正，前一时刻值为正数则输出Ture，否则输出False
Detect Increase	检测输入是否上升，是则输出Ture，否则输出False
Detect Rise Nonpositive	若输入当前值是非负，前一时刻值为负数则输出Ture，否则输出False
Detect Rise Nonpositive	若输入当前值是正数，前一时刻值为非正则输出Ture，否则输出False
Extract Bits	从输入中提取某几位输出
Interval Test	检测输入是否在某两个值之间，是则输出Ture，否则输出False
Logical Operator	逻辑运算
Relational Operator	关系运算
Shift Arithmetic	算术平移

10.3.6 数学运算模块子集

Simulink的数学运算模块共包含**37**个基本模块，这些模块用来进行常用的数学运算。

Library: Simulink/Math Operations Search Results: (none) Most Frequently Used Blocks

 Abs	 Add	 Algebraic Constraint	 Assignment	 Bias
 Complex to Magnitude-Angle	 Complex to Real-Imag	 Divide	 Dot Product	 Find Nonzero Elements
 Gain	 Magnitude-Angle to Complex	 Math Function	 Matrix Concatenate	 MinMax
 MinMax Running Resettable	 Permute Dimensions	 Polynomial	 Product	 Product of Elements
 Real-Imag to Complex	 Reciprocal Sqrt	 Reshape	 Rounding Function	 Sign
 Signed Sqrt	 Sine Wave Function	 Slider Gain	 Sqrt	 Squeeze
 Subtract	 Sum	 Sum of Elements	 Trigonometric Function	 Unary Minus
 Vector Concatenate	 Weighted Sample Time Math			



模块名	功 能
ABS	求绝对值
Add	加法运算
Algebraic Constraint	将输入约束为零，主要用于代数等式的建模
Assignment	选择输出输入的某些值
Bias	将输入加一个偏移， $Y=U+Bias$
Complex to Magnitude-Angle	将输入的负数转换成幅度和幅角
Complex to Real-Image	将输入的负数转换成实部和虚部
Divide	实现除法和乘法
Dot Product	点乘
Gain	增益，实现点乘或普通乘法
Magnitude-Angle to Complex	将输入幅度和幅角转换成复数



模块名	功 能
Math Function	实现数学函数运算
Matrix Concatenation	实现矩阵的串联
MinMax	将输入的最小或最大值输出
Polynomial	多项式求值，多项式的系数以数组的形式定义
MinMax Running Resetable	将输入的最小或最大值输出，当有重置信号R输入时，输出被重置为初始值
Product of Elements	将所有输入实现连乘
Real-Image to Complex	将输入的两个数作为一个复数的实部和虚部合成一个复数
Reshape	改变输入信号的维数
Rounding Function	将输入的整数部分输出



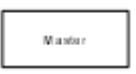

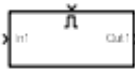
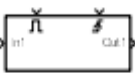






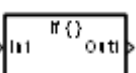
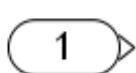


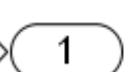

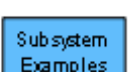

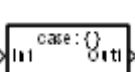

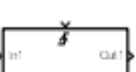



模块名	功 能
Sign	判断输入的符号，若为正输出1，为负输出-1，为零输出0
Sine Wave Function	产生一个正弦函数
Slider Gain	可变增益
Subtract	实现加法或减法
Sum	实现加法或减法
Sum of Elements	将所有输入实现连加求和
Trigonometric Function	实现三角函数和双曲线函数
Unary Minus	一元的求负
Weighted Sample Time Math	根据采用时间实现输入的加法、减法、乘法和除法，只对离散信号适用

10.3.7 端口和子系统模块子集

端口和子系统模块子集共包括**24**个基本模块。

Library: Simulink/Ports & Subsystems Search Results: (none) Most Frequently Used Blocks

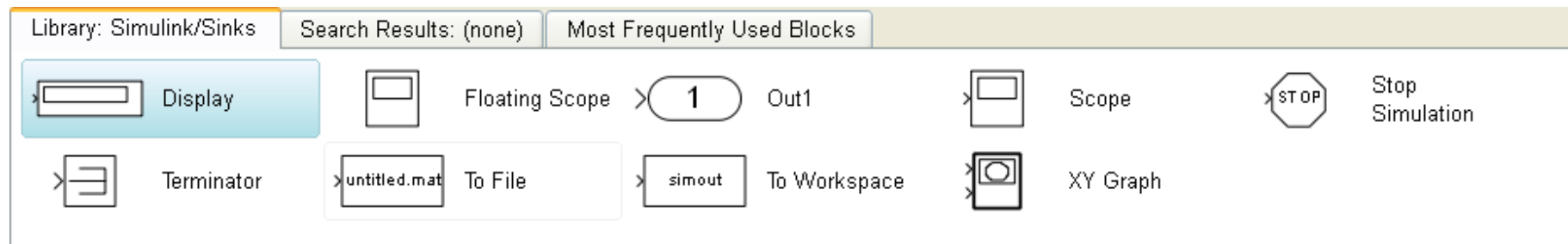
 Atomic Subsystem	 CodeReuseSubsystem	 Configurable Subsystem	 Enable	 Enabled Subsystem
 Enabled and Triggered Subsystem	 For Each Subsystem	 For Iterator Subsystem	 Function-Call Generator	 Function-Call Split
 Function-Call Subsystem	 If	 If Action Subsystem	 In1	 Model
 Model Variants	 Out1	 Subsystem	 Subsystem Examples	 Switch Case
 Switch Case Action Subsystem	 Trigger	 Triggered Subsystem	 While Iterator Subsystem	

模 块 名	功 能
Configurable Subsystem	用于配置用户自建模型库，只在库文件中才可用
Atomic Subsystem	只包括输入/输出模块的子系统模板
CodeReuseSubsystem	只包括输入/输出模块的子系统模板
Enable	使能模块，只能用在子系统模块中
Enabled and Triggered Subsystem	包括使能和边沿触发模块的子系统模板
Enabled Subsystem	包括使能模块的子系统模板
For Iterator Subsystem	循环子系统模板
Function-Call Generator	实现循环运算模板
Function-Call Subsystem	包括输入/输出和函数调用触发模块的子系统模板
If	条件执行子系统模板，只在子系统模块中可用

模 块 名	功 能
If Action Subsystem	由 If 模块触发的子系统模板
Model	定义模型名字的模块
Subsystem	只包括输入/输出模块的子系统模板
Subsystem Examples	子系统演示模块，在模型中用鼠标左键双击该模块图标可以看到多个子系统示例
Switch Case	条件选择模块
Switch Case Action Subsystem	由 Switch Case 模块触发的子系统模板
Trigger	触发模块，只在子系统模块中可用
Triggered Subsystem	触发子系统模板
While Iterator Subsystem	条件循环子系统模板

10.3.8 Sinks模块子集

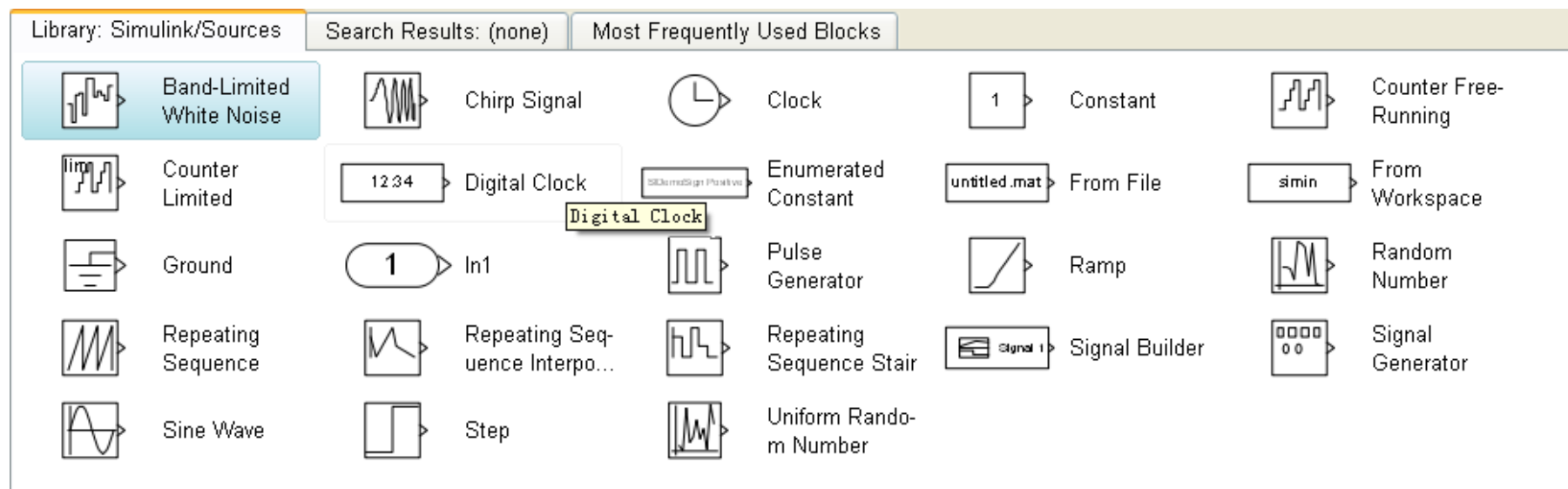
Simulink的Sinks模块子集共包括9个模块。



模 块 名	功 能
Display	显示输入数值的模块
Floating Scope	浮置示波器，由用户来设置所要显示的数据
Stop Simulation	当输入不为零时，停止仿真
To File	将输入和时间写入 MAT 文件
To Workspace	将输入和时间写入 MATLAB 工作空间中的数组或结构中
XY Graph	将输入分别当成 x 、 y 轴数据绘制成二维图形

10.3.9 信号源模块子集

信号源模块子集共包含**23**个基本模块。



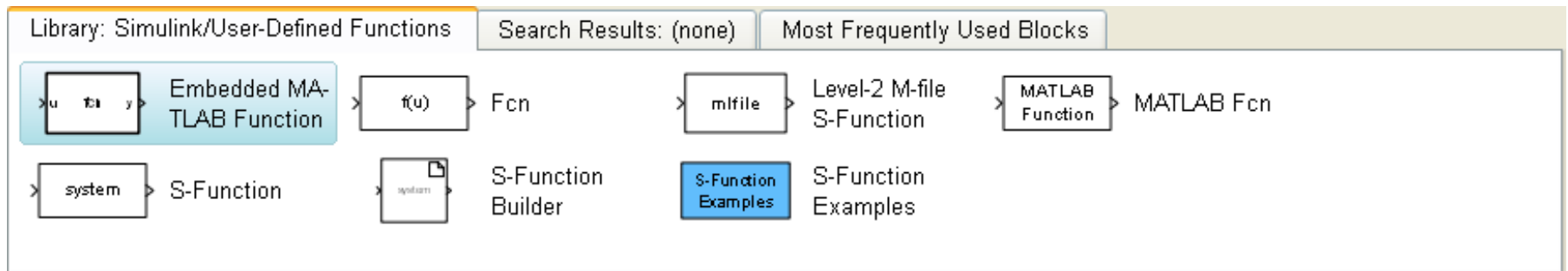


模 块 名	功 能
Band-Limited White Noise	有限带宽的白噪声
Chirp Signal	产生 Chirp 信号
Clock	输出当前仿真时间
Constant	输出常数
Counter Free-Running	自动计数器，发生溢出后又从 0 开始
Counter Limited	有限计数器，当计数到某一值后又从 0 开始
Digital Clock	以数字形式显示当前的仿真时间
From File	从 MAT 文件中读取数据
From Workspace	从 MATLAB 工作空间读取数据
Pulse Generator	产生脉冲信号
Ramp	产生按某一斜率的数据

模 块 名	功 能
★ Random Number	产生随机数
Repeating Sequence	重复输出某一数据序列
Signal Builder	具有 GUI 界面的信号生成器，在模型中用鼠标左键双击模块图标可看到如下图所示的图形用户界面，利用该界面可以直观地构造各种信号
★ Signal Generator	信号产生器
Sine Wave	产生正弦信号
Step	产生阶跃信号
★ Uniform Random Number	按某一分布在某一范围生成随机数

10.3.10 用户定义模块子集

用户定义模块子集包括**6**个基本模块和**S-Function Examples**模块。



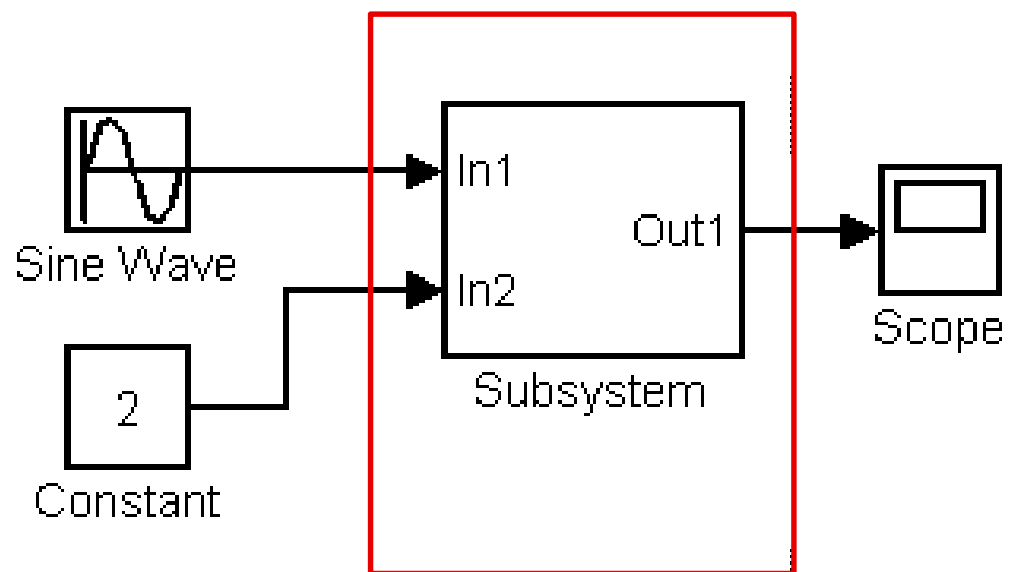
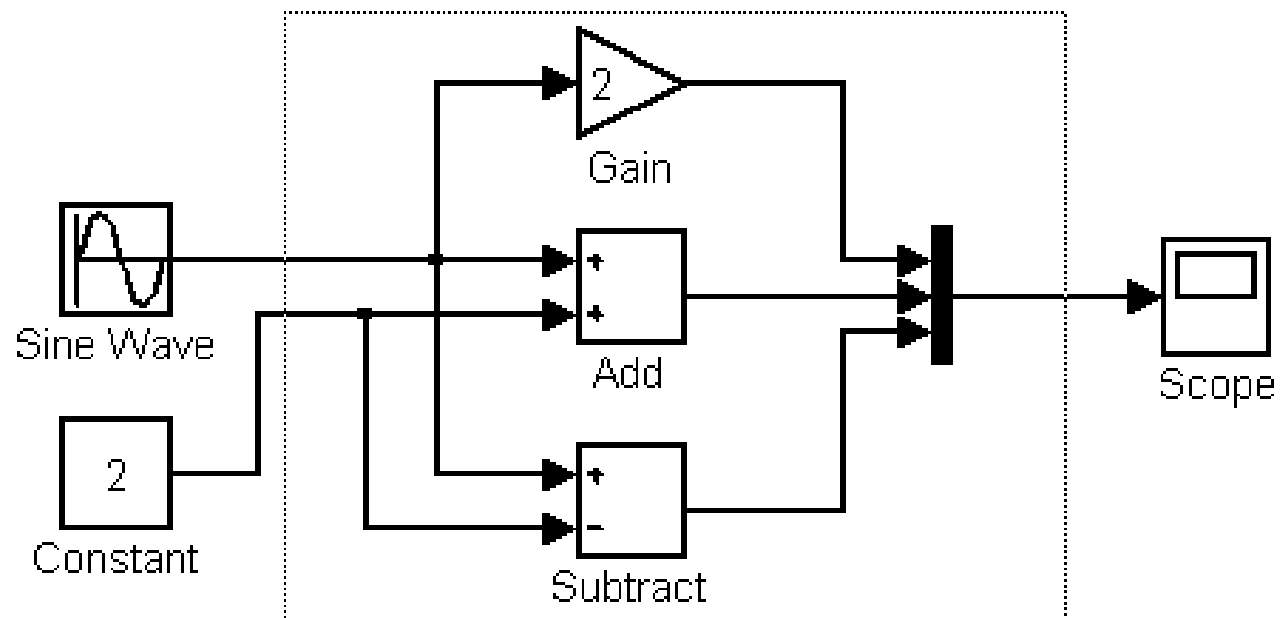
模 块 名	功 能
Fcn	简单的 MATLAB 函数表达式模块
Embedded MATLAB Function	内置 MATLAB 函数模块，在模型窗口用鼠标左键双击该模块图标就会弹出 M 文件编辑器
M-file S-function	用户使用 MATLAB 语言编写的 S 函数模块
MATLAB Fcn	对输入进行简单的 MATLAB 函数运算
S-function	用户按照 S 函数的规则自定义的模块, 用户可以使用多种语言进行编写
S-function Builder	具有 GUI 界面的 S 函数编辑器，在模型中用鼠标左键双击该模块图标可看到如下图所示的图形用户界面, 利用该界面可以方便地编辑 S 函数模块
S-function Examples	S 函数演示模块，在模型中用鼠标左键双击该模块图标可以看到多个 S 函数示例

10.4 子系统及其封装

当模型变得越来越大、越来越复杂时，使用的模块非常多，用户很难轻易读懂所建立的模型。因此，可以将大的模型分成一些小的子系统，每个子系统非常简单、可读性好，能够完成某个特定的功能。通过子系统，可以采样模块化设计方法，层次非常清晰。有些常用的模块集成在一起，还可以实现复用。

建立子系统的方法有2种：

- 第一种方法是采用Simulink模块库的端口和子系统模块子集：
 - a) **Subsystem**模块可以建立子系统
 - b) **Triggered Subsystem**模块用来建立触发子系统，
 - c) **Enabled Subsystem**模块建立使能子系统。
- 另一种方法是把系统模型中已有的一部分模块组合在一起，建立一个子系统。



子系统的封装

子系统可以使设计的模型非常简洁易懂，但是设置各个模块的参数仍然非常繁琐。

通过对子系统进行封装，使用户创建的子系统和Simulink的其它模块一样有自己的图标，用鼠标双击该子系统后会出现用户自定义的属性设置窗口，对子系统中各个模块的参数进行设置。

10.5 Simulink应用示例

10.5.1 一元微分方程的模型

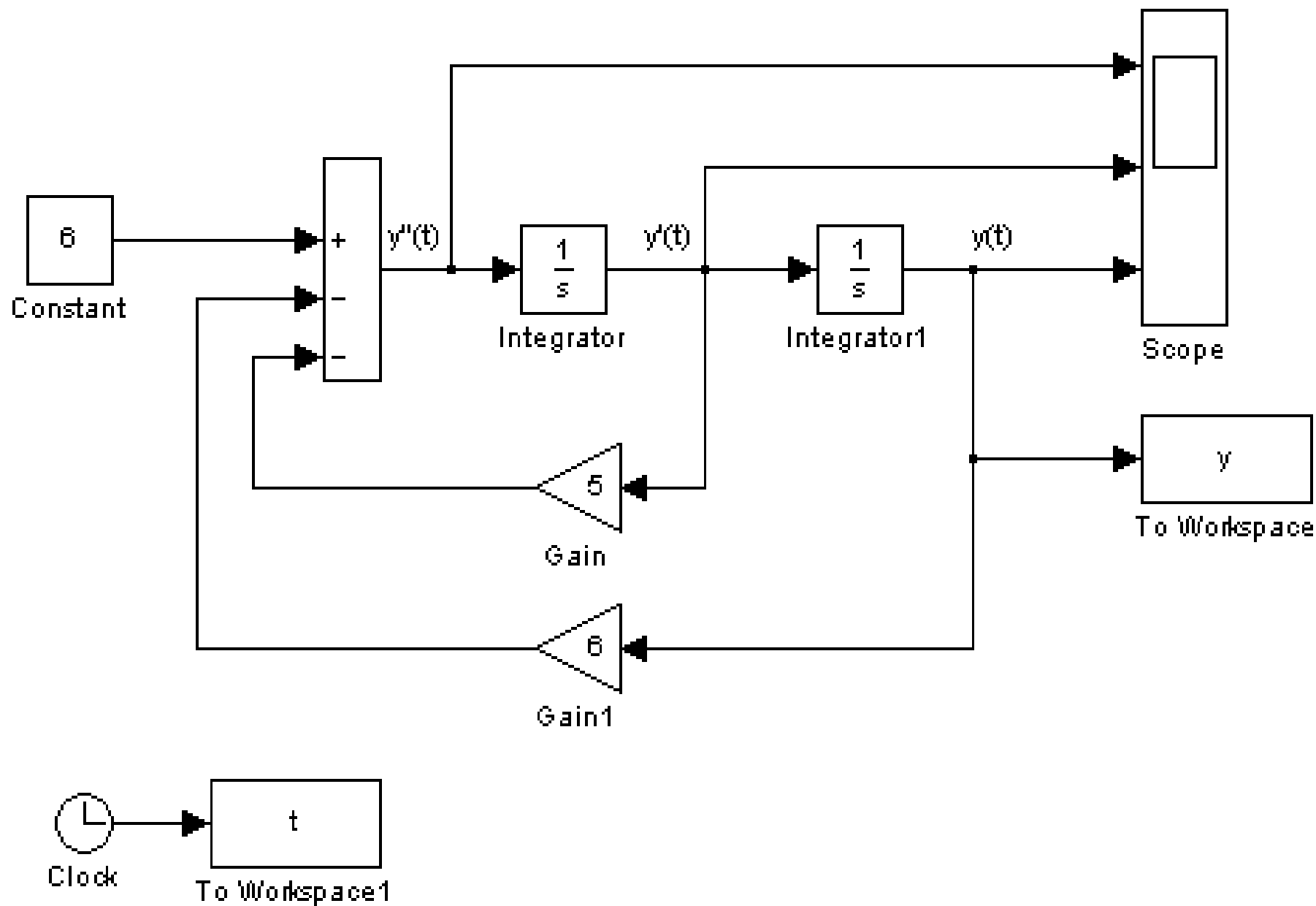
一元微分方程如下所示，试用**Simulink**展现该系统的数学表达，并求得系统的解。

$$y(t)''+5y(t)'+6y(t)=6 \text{ 已知 } y(0)=y(0)'=0$$

该方程的解析解为

$$y(t)=-3e^{-2t}+2e^{-3t}+1$$

Simulink解决方案



'Scope' parameters

General | Data history | Tip: try right clicking on axes

Axes

Number of axes: ☐ floating scope

Time range:

Tick labels: ▼

Sampling

Decimation ▼

OK Cancel Help Apply

'Scope' parameters

General | Data history | Tip: try right clicking on axes

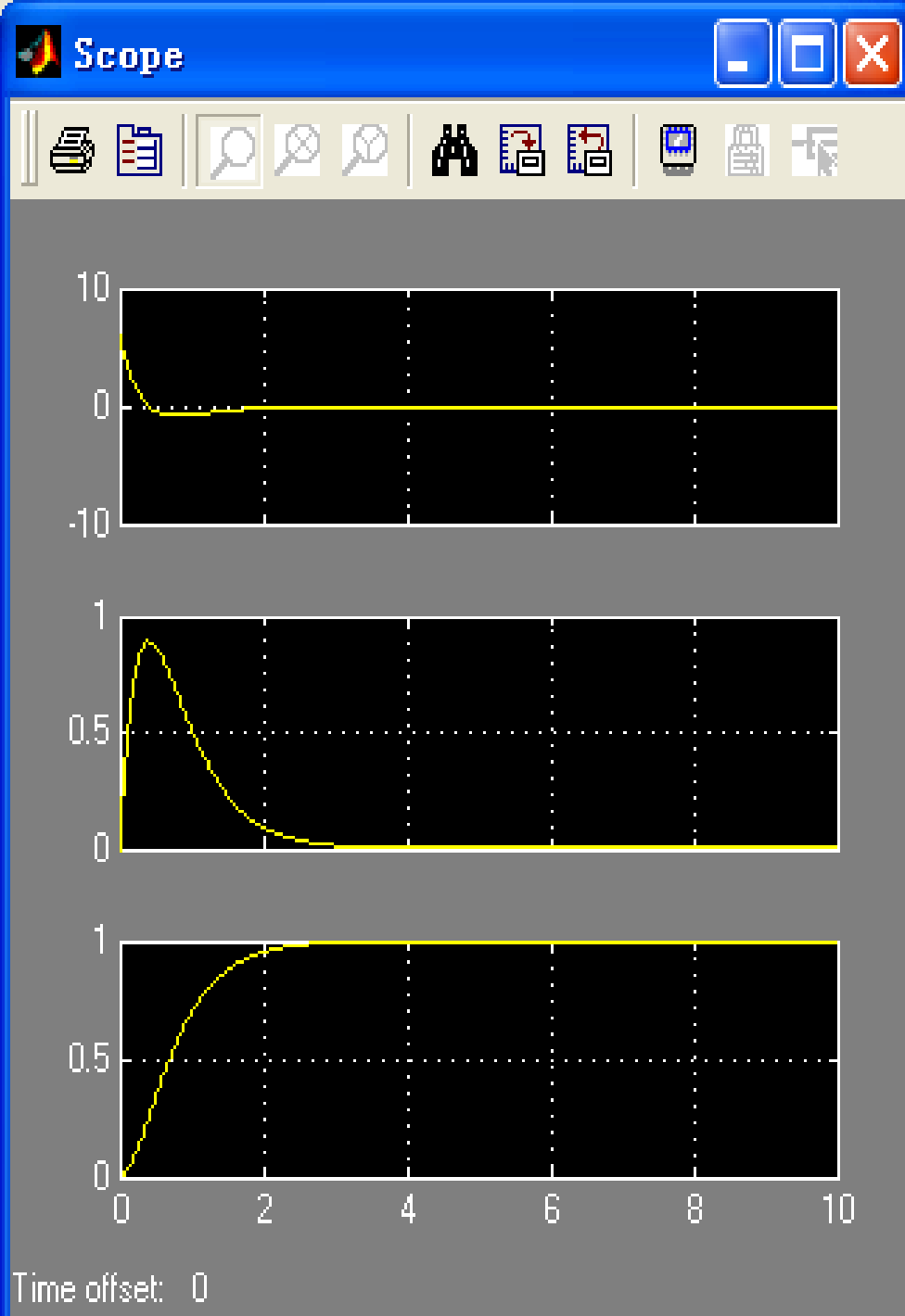
☐ Limit data points to last:

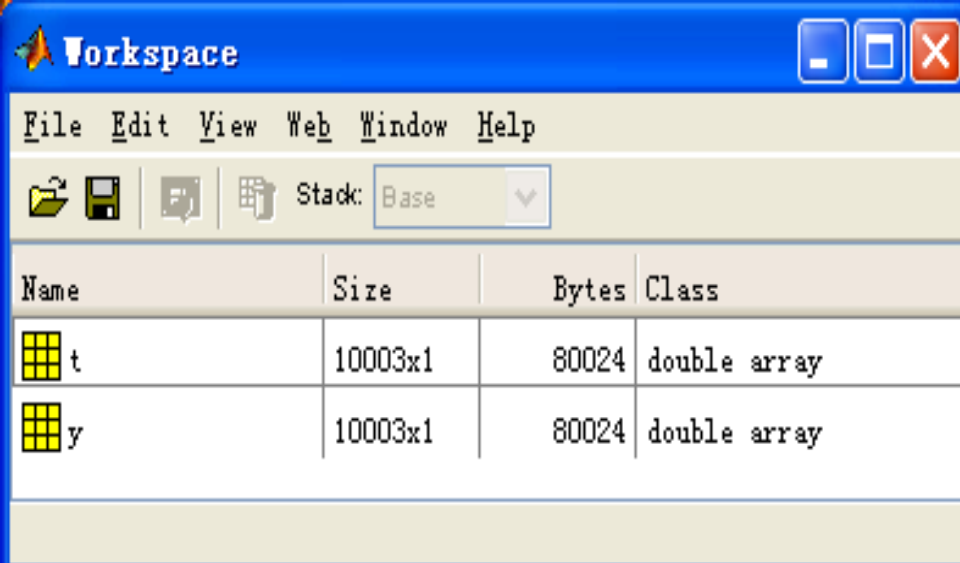
☐ Save data to workspace

Variable name:

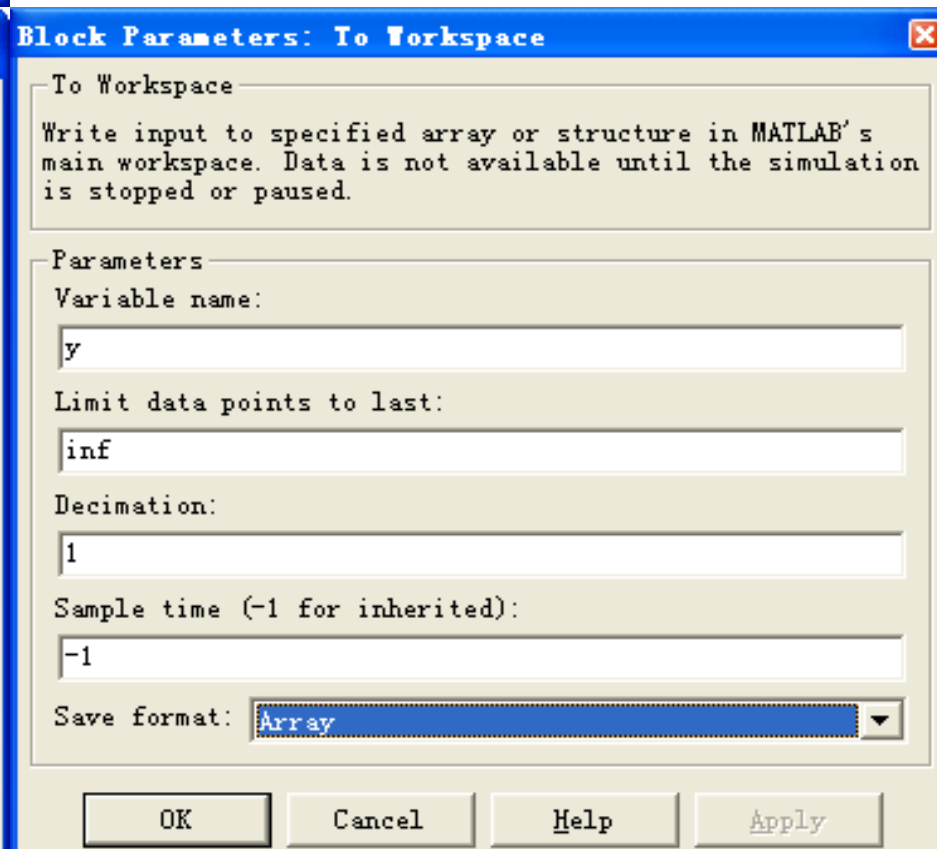
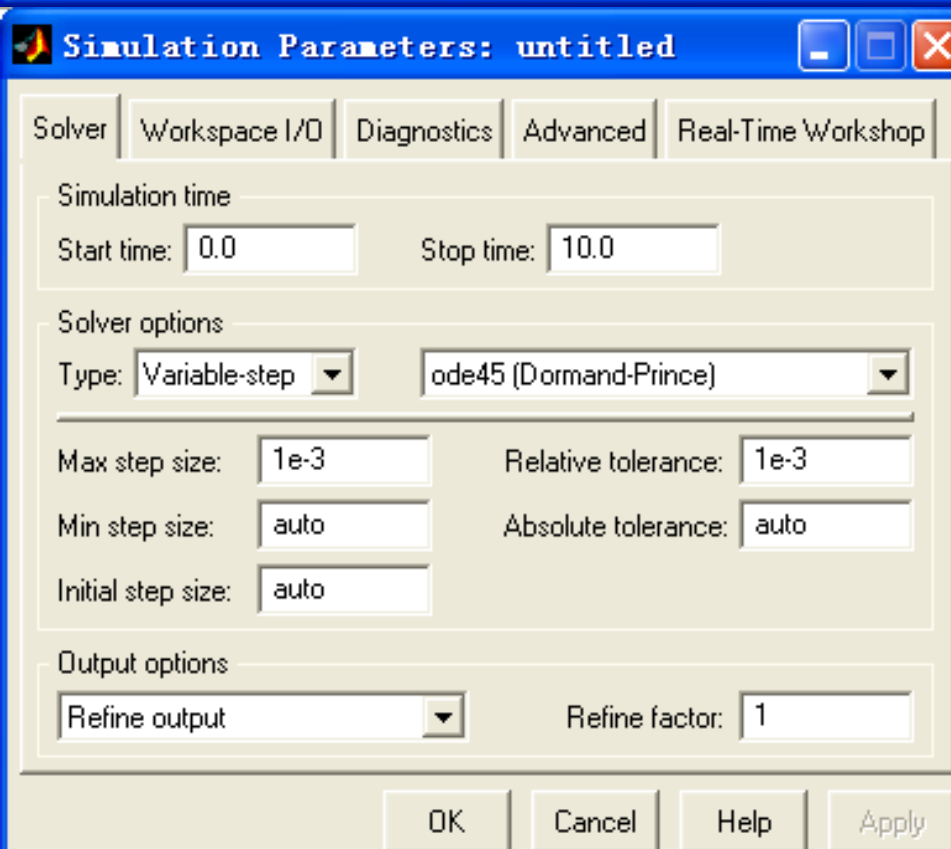
Format: ▼

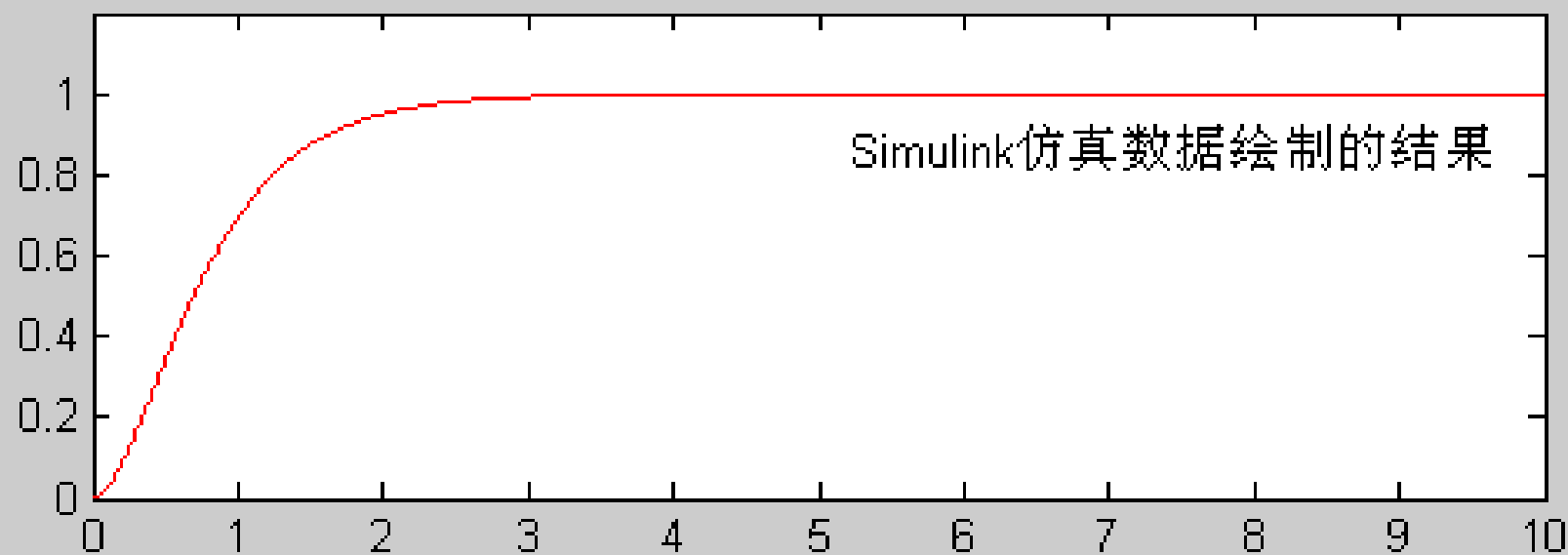
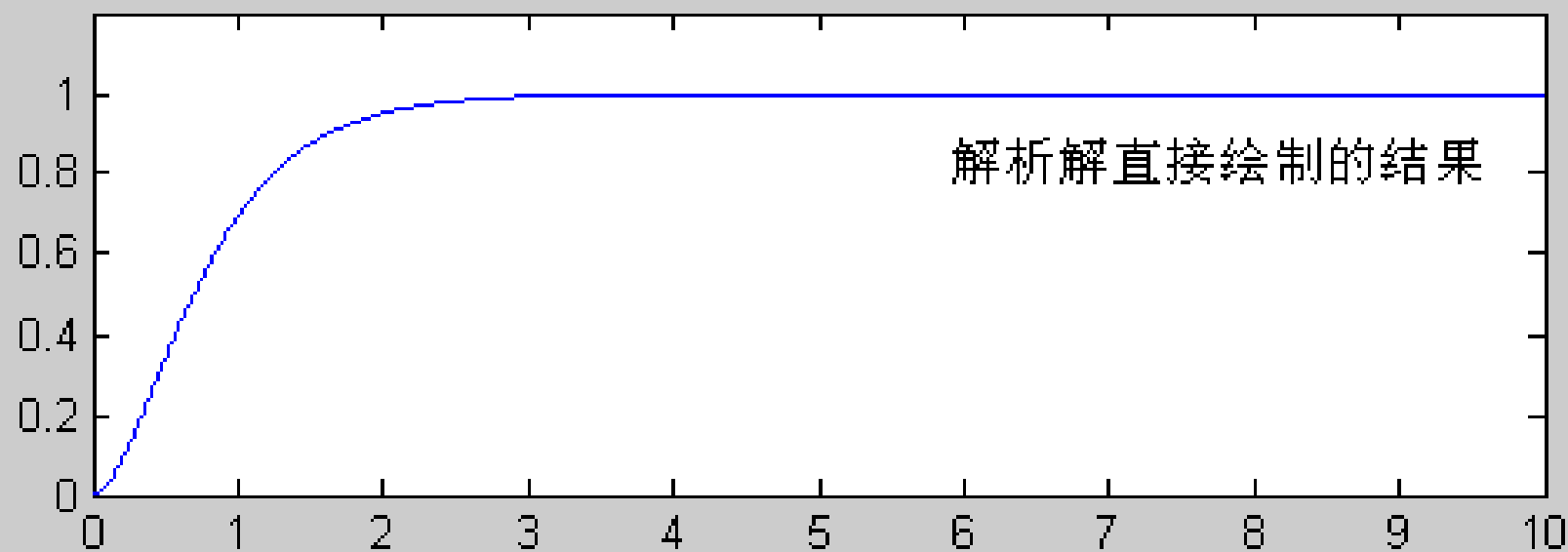
OK Cancel Help Apply





```
tt=0:0.001:10;  
yy=-3*exp(-2*tt)+2*exp(-3*tt)+1;  
subplot(2,1,1); plot(tt,yy);  
axis([0,10,0,1.2]);  
subplot(2,1,2); plot(t,y,'r');  
axis([0,10,0,1.2]);
```





10.5.2 多元微分方程的模型

多元微分方程如下所示，试用**Simulink**展现该系统的数学表达，并求得系统的数值解。

HR神经元系统的动力学方程为：

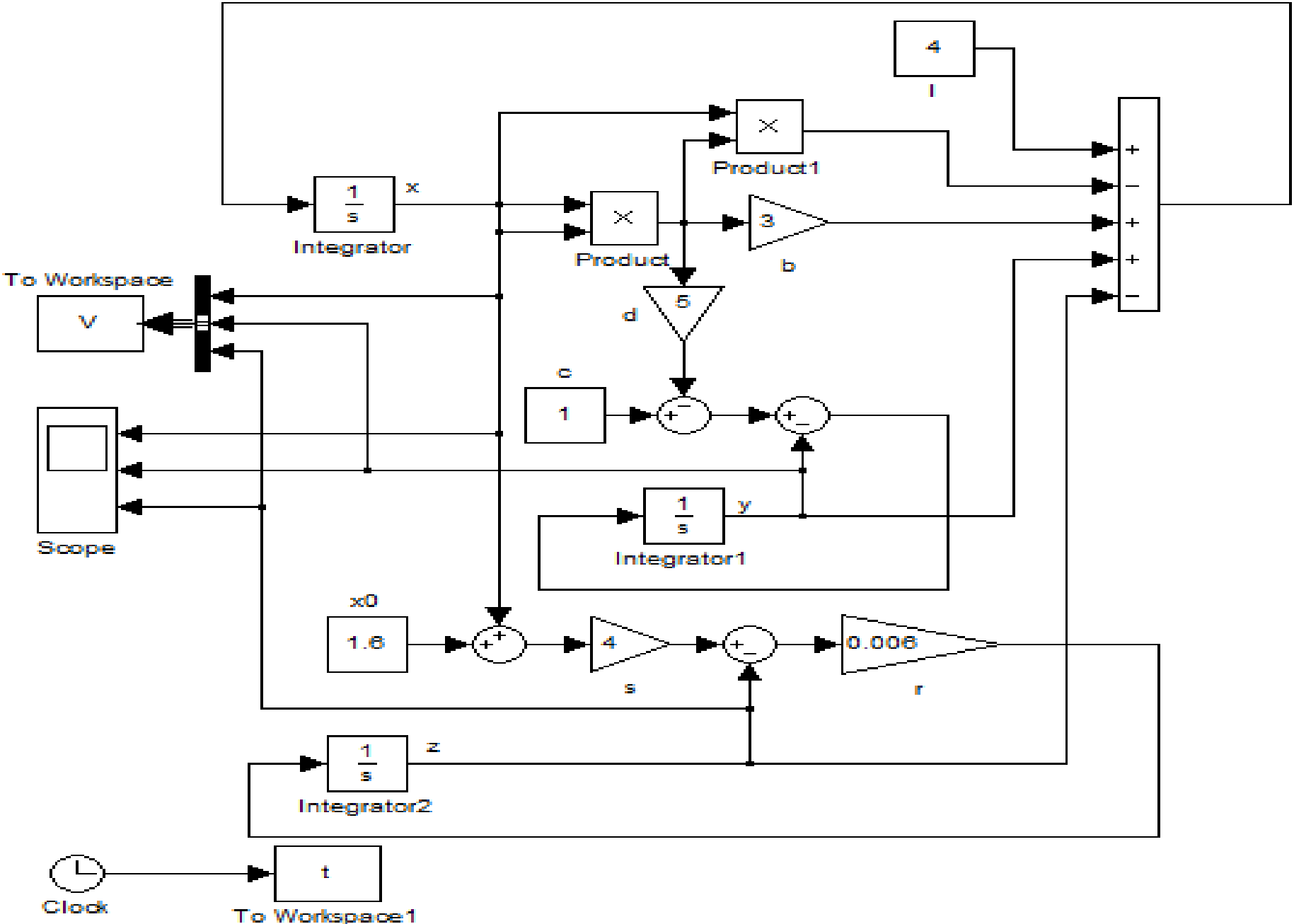
外界刺激电流

$$\begin{cases} x' = y - ax^3 + bx^2 - z + I \\ y' = c - dx^3 - y \\ z' = r[s(x - x_0) - z] \end{cases}$$

其中，**x**代表神经细胞膜电位，**y**是与内电流（例如**Na**离子或**K**离子）相关的恢复变量，**z**表示与**Ca**离子激活的**K**离子相关的慢变调节电流，**I**为外界刺激电流，其它字母为常量（**a=1.0, b=3.0, c=1.0, d=5.0, r=0.006, s=4.0, x₀=-1.6**）。

该模型没有一个固定的边界条件，例如，我们可以假设其起始条件为**[x;y;z]=[0.1,0,0]**。

Simulink解决方案



Simulation time

Start time: 0.0

Stop time: 1000

Solver options

Type: Fixed-step

Solver: ode5 (Dormand-Pri

Fixed-step size (fundamental sample time):

0.01

Tasking and sample time options

Periodic sample time constraint:

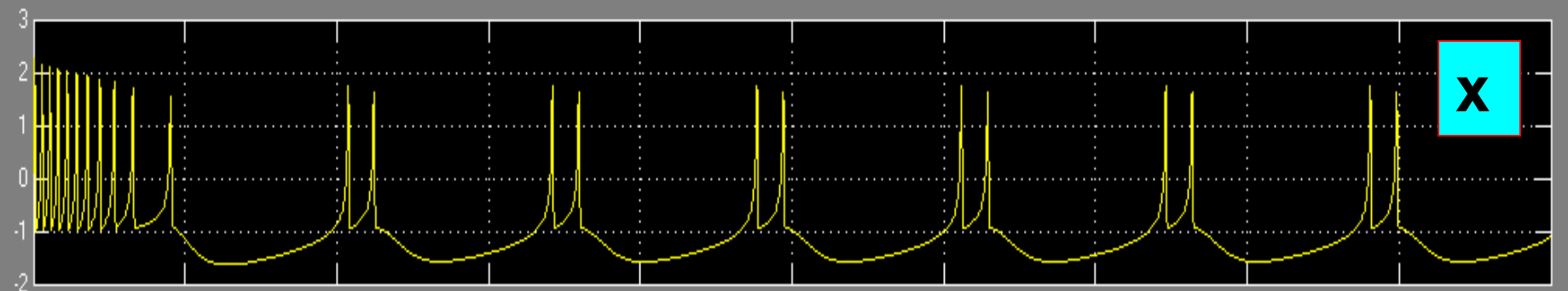
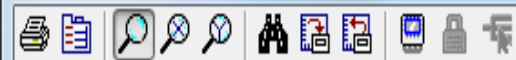
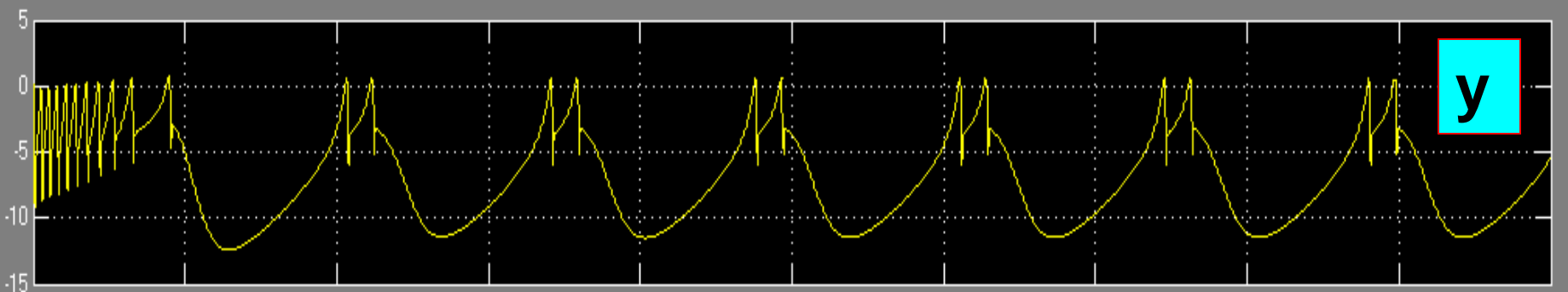
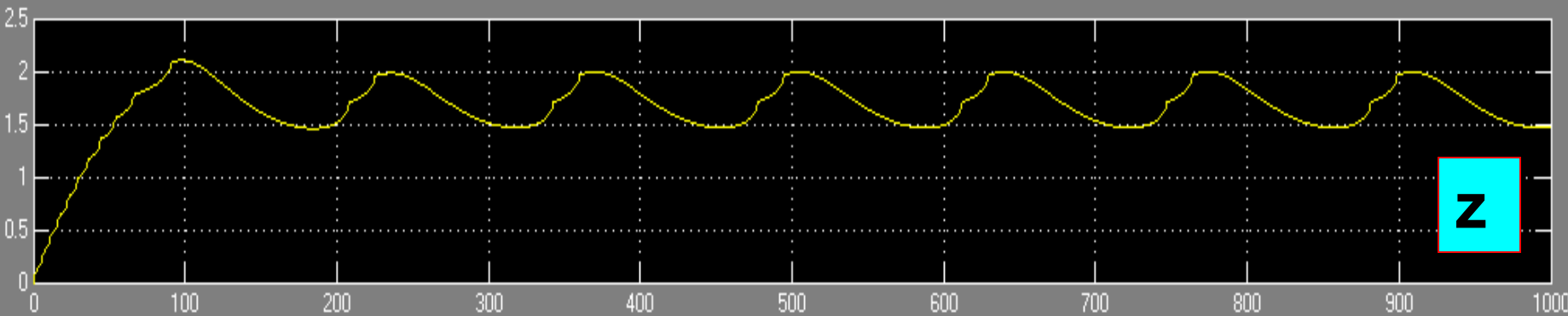
Unconstrained

Tasking mode for periodic sample times:

Auto

☐ Automatically handle rate transition for data transfer☐ Higher priority value indicates higher task priority

$I=1.8$ 条件下的HR神经元输出响应

**x****y****z**

Sink Block Parameters: To Workspace1

To Workspace

Write input to specified array or structure in a workspace. For menu based simulation, data is written in the MATLAB base workspace. Data is not available until the simulation is stopped or paused. For command line simulation using sim command, the workspace is specified using DstWorkspace field in the option structure.

Parameters

Variable name:

t

Limit data points to last:

inf

Decimation:

1

Sample time (-1 for inherited):

-1

Save format: Array

OK

Cancel

Help

Apply

Sink Block Parameters: To Workspace

To Workspace

Write input to specified array or structure in a workspace. For menu based simulation, data is written in the MATLAB base workspace. Data is not available until the simulation is stopped or paused. For command line simulation using sim command, the workspace is specified using DstWorkspace field in the option structure.

Parameters

Variable name:

v

Limit data points to last:

inf

Decimation:

1

Sample time (-1 for inherited):

-1

Save format: Array

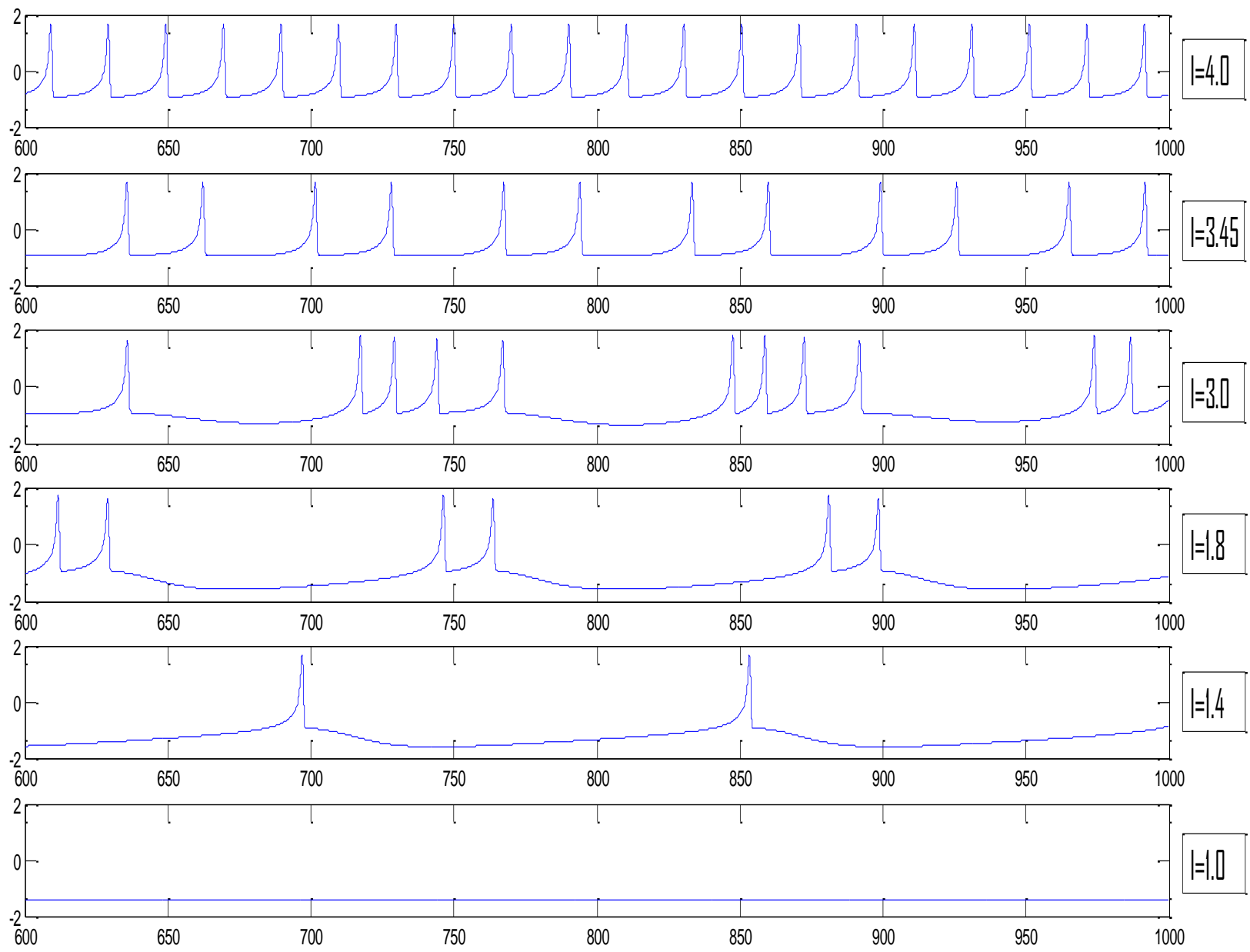
☐ Log fixed-point data as an fi object

OK

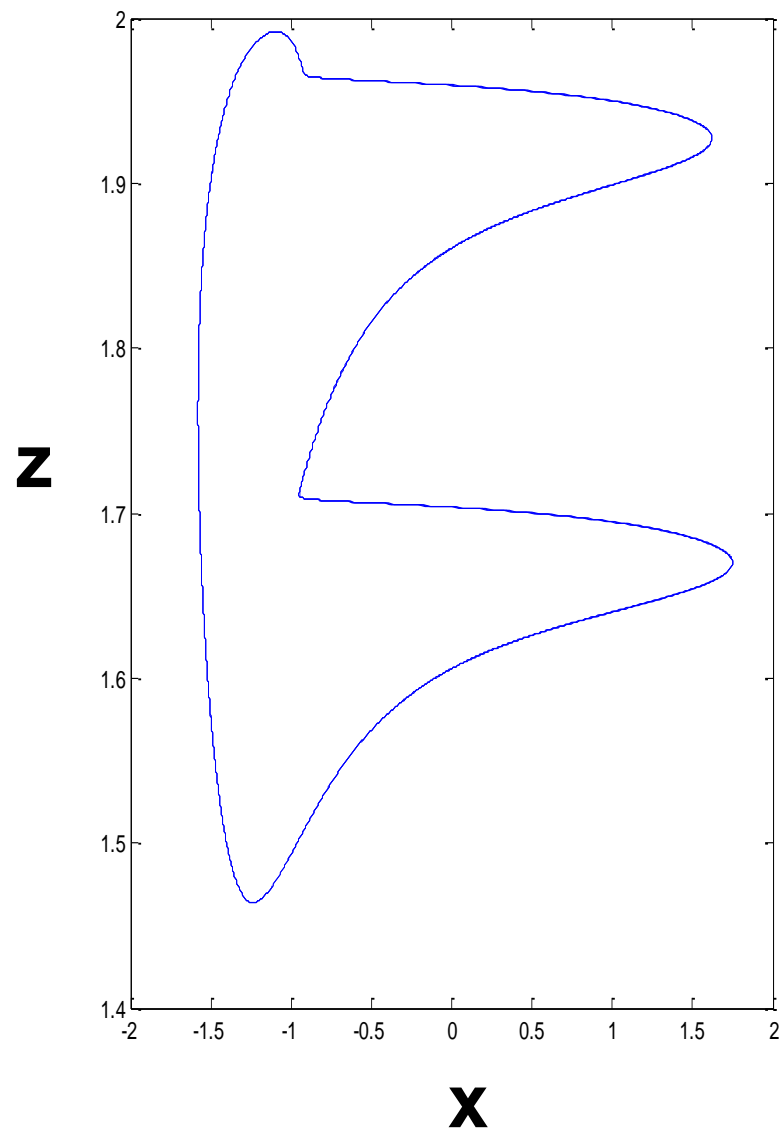
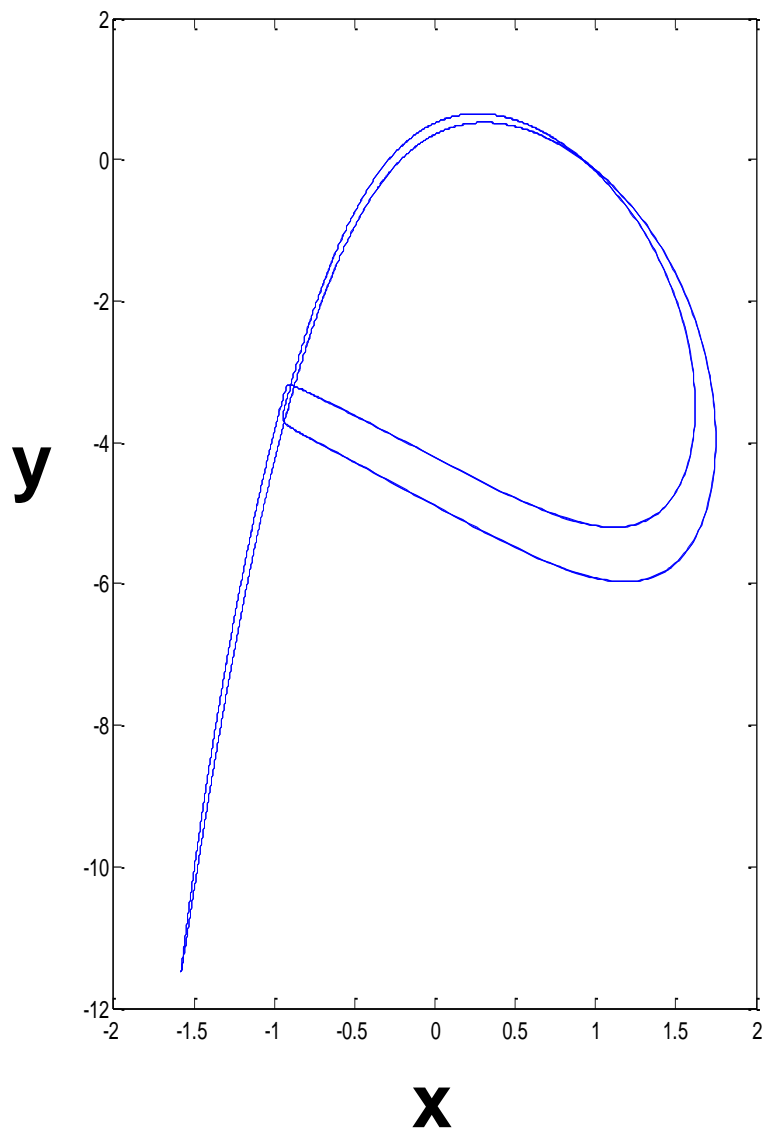
Cancel

Help

Apply



$l=1.8$ 条件下吸引子图



Demos系统例题

Help

File Edit View Go Web Window Help

Help Navigator

Product filter: All Selected Select...

Contents Index Search Demos Favorites

- Getting Started with Demos
- MATLAB
- Toolboxes
- Simulink
 - Features
 - General
 - Tracking a bouncing ball
 - Simple pendulum simulation
 - Spring-mass system simulation
 - Van der Pol equations simulation
 - Quaternion rotation animation
 - Toilet bowl flushing animation
 - Counter demonstration
 - Friction with hard stops model
 - State events
 - Pendulum with one joint
 - Pendulum with two joints
 - Inverted pendulum animation
 - Double spring mass system simulation
 - Thermodynamic model of a house
 - Automotive
 - Aerospace
 - Embedded Target for Motorola MPC555
 - Real-Time Windows Target
 - Real-Time Workshop
 - SimMechanics
 - SimPowerSystems
 - Simulink Performance Tools
 - Simulink Report Generator

New Examples

Explore featured modeling and simulation examples for a head start solving your problem using Simulink.

- Simulink Documentation
- Getting Started
- Blocks and Other Reference
- Release Notes

Simulink

View All

Baseline Automatic Transmission Simulation	Viewer: Script (Doc, Alpha 1x6)	Transient Response to Throttle Failure	Pump Supply Pressure	Simulation of a Bouncing Ball
Modeling an Automatic Transmis...	Aircraft Longitudinal Flight Control	Modeling a Fault-Tolerant Fuel C...	Four Hydraulic Cylinder Simulation	
Response of a 3-DOF Suspension Model	4-DOF Longitudinal Flight Control	Rapid Accelerator Simulations U...	Implement an FFT on a Multicore ...	Component-Based Modeling with ...
Parallel Simulations Using Paro...	Introduction to Accelerating Mod...	Interface Specification Using Bu...	Variant Subsystems - Enumerations and Reuse	Start and Terminate Actions with ...
Time Series Plot OUT/IN DATA	Variant Subsystems	MATLAB System Block with Vari...	Multi-Dimensional Signals in Leg...	

Aerospace Blockset View All

Audio System Toolbox View All

Communications System Toolbox View All

Computer Vision System Toolbox View All

课程结束，祝大家学有所获！

提交作业时间、地点：

2019年4月15号

17:00~18:00

B314教室

