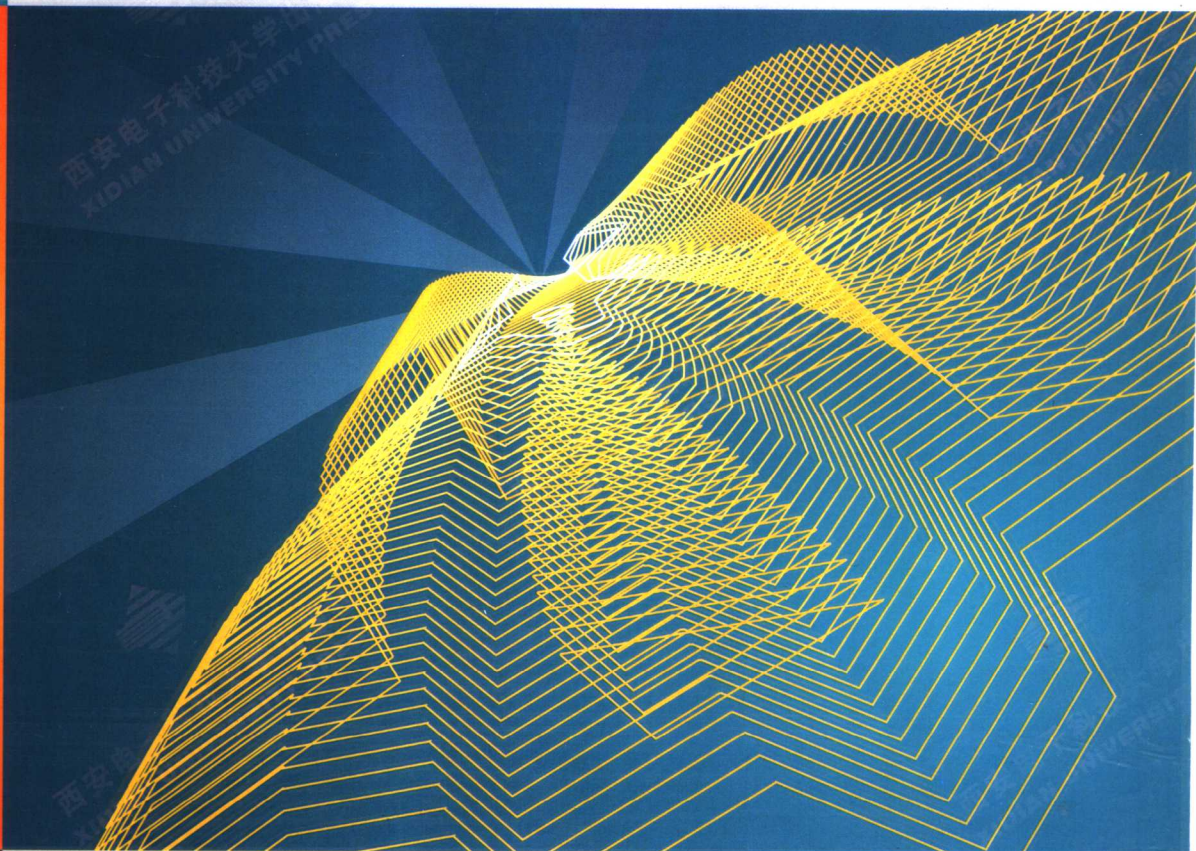


SIMULINK

Simulink

动态系统建模 与仿真基础



□ 李颖 朱伯立 张威 编

西安电子科技大学出版社
[http:// www.xduph. com](http://www.xduph.com)

Simulink 动态系统 建模与仿真基础

李颖 朱伯立 张威 编

西安电子科技大学出版社

2004

内 容 简 介

本书介绍的是 MathWorks 公司最新版本 MATLAB Release 13 SP1 中的 Simulink5.1 软件包。全书共分 12 章, 从 Simulink 的基本概念开始, 系统全面地介绍了 Simulink 软件包中动态系统建模、仿真、分析和调试的方法, 包括连续系统、离散系统和混合系统, 书中给出了大量例程, 说明 Simulink 中各种功能的实现途径。

本书适用于初学 Simulink 的工程设计人员和从事控制工程或系统工程方面工作的工程师和研究人员, 还可作为工科高等院校师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

Simulink 动态系统建模与仿真基础 / 李颖等编.

—西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.7

ISBN 7-5606-1415-9

I. S... II. 李... III. 计算机辅助计算—软件包, Simulink IV. TP391.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 054094 号

策 划 毛红兵

责任编辑 张 友 毛红兵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http: //www.xduph.com

E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 20

字 数 475 千字

印 数 1~4000 册

定 价 26.00 元

ISBN 7-5606-1415-9/TP·0755

XDUP 1686001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

前 言

MathWorks 公司创建于 1984 年，该公司推出的 MATLAB 软件，一直以其强大的功能在同类数值计算软件中独领风骚。目前，MATLAB 软件的最新版本 6.5.1，即 MATLAB Release 13 SP1，已经发展为多学科、跨平台的功能强大的软件包，在全球 100 多个国家和地区拥有数以百万计的正式用户。

在过去几年中，Simulink 已经成为院校和工程领域中广大师生及研究人员用来建模和仿真动态系统的软件包。Simulink 鼓励人们去尝试，可以用它轻松地搭建一个系统模型，并设置模型参数和仿真参数。由于 Simulink 是交互式的应用程序，因此在仿真过程中，可以在线修改仿真参数，并立即观察到改变后的仿真结果。

利用 Simulink，可以建立更趋于真实的非线性模型，如考虑摩擦中的各个因素、空气阻力、齿轮的传动损耗以及其他描述真实世界中各种现象的干扰因素。安装了 Simulink 的计算机就如真正的建模和系统分析实验室一样，在这个实验室中，可以分析汽车离合器系统的动作过程、飞机机翼的抖动方式、经济学中的货币规律以及其他可以用数学方式描述的动态系统，这是非常重要的。因为在真实世界中的系统不可能都是线性系统，更多的系统需要考虑各种复杂的非线性环节，对系统的真实建模对于分析结论的正确性及系统设计都具有非常重要的意义。正因为如此，全球数以万计的工程人员都使用 Simulink 创建模型并寻找解决实际问题的方法，掌握 Simulink 已经成为专业技术人员必不可少的一项技能。

本书介绍的是目前最新的 MATLAB Release 13 SP1 版本下的 Simulink5.1 软件包。

全书共分 12 章，从各个方面介绍了 Simulink 软件包的强大功能：

第 1 章：Simulink 基础。介绍什么是 Simulink，以及 Simulink 的主要特性，并引导读者建立一个简单的 Simulink 模型，同时还介绍了如何保存和打印 Simulink 模型。

第 2 章：Simulink 模块操作。介绍构成 Simulink 模型的基本要素——模块，包括在模型中模块操作的各种方式。

第 3 章：Simulink 信号操作。介绍 Simulink 中的信号概念，以及如何判别不同的信号类型，如何在模型中标识信号等。

第 4 章：Simulink 动态系统建模。介绍在 Simulink 中建立动态系统模型的要素，以及如何在 Simulink 中实现动态系统的数学模型，并给出模型创建过程中的注意事项。

第 5 章：Simulink 仿真设置。介绍如何根据用户模型设置模型仿真中的各种参数，包括仿真时间、仿真算法、仿真步长和误差容限，这是 Simulink 仿真中非常重要的一部分。

第 6 章：Simulink 动态系统仿真。介绍了 Simulink 仿真动态系统的过程，还详细说明了如何在 Simulink 中仿真连续系统、离散系统、混合系统和多速率系统模型，并给出建模实例说明动态系统建模和仿真的实现过程。

第 7 章：高级仿真概念。介绍如何在 Simulink 中利用仿真的高级选项仿真模型，以获得更准确的仿真结果，包括：过零检测、代数环、高级积分器和仿真参数对话框的高级选项设置。

第8章：使用命令行仿真。介绍如何在 MATLAB 命令窗口中利用 Simulink 的仿真命令仿真系统模型，如果用户想要重复运行仿真或者分析、比较在不同参数下的仿真结果，那么利用命令行进行仿真则更有优势。

第9章：使用子系统。子系统是 Simulink 中的一个重要概念，这里介绍了 Simulink 中子系统的分类，即虚拟子系统和非虚拟子系统。本章还给出了例程说明如何在 Simulink 中创建条件执行子系统，以及如何创建类似 C 语言的控制流子系统。

第10章：封装子系统。用户可以利用 Simulink 中的封装子系统功能建立自定义的用户模块，本章以实例说明如何利用封装编辑器创建自定义模块和可配置子系统。

第11章：Simulink 调试器。调试器是调试模型和查找模型错误的重要工具，本章介绍了 Simulink 中的调试器类型，以及如何利用不同类型的调试器调试模型，并显示仿真信息和模型信息。

第12章：编写 M 语言 S-函数。S-函数是系统函数，它扩展了 Simulink 的功能。本章介绍了什么是 S-函数，并给出实例说明了编写连续状态、离散状态和混合状态的 M 语言 S-函数的方法。

在本书的编写过程中，作者收集了国内外大量的、最新的权威资料，结合了 MathWorks 公司中国独家代理商——北京九州恒润科技有限公司多年来在 MATLAB 软件应用以及培训教学方面的经验。本书适用于从事理工科学习和研究的各行各业的工程设计人员、大专院校的教师和学生，也可供研究人员学习 Simulink 工具时使用。

如果中国国内的用户需要购买 MATLAB 软件，请按照下列地址与北京九州恒润科技有限公司联系：

■ 公司总部

- 地址：北京市西城区北三环中路 27 号商房大厦 430 室
- 邮编：100029
- 电话：010-82011456
- 传真：010-62073600

■ 上海办事处

- 地址：上海市徐汇区漕宝路 70 号光大会展中心 D 座 505 室
- 邮编：200235
- 电话：021-64325413/5/6
- 传真：021-64325144

■ 成都办事处

- 地址：成都市人民南路一段 86 号城市之心大厦 23 楼 N 座
- 邮编：610016
- 电话：028-86203381/2/3
- 传真：028-86203381

北京九州恒润科技有限公司的互联网地址：www.hirain.com。

北京九州恒润科技有限公司的技术论坛：www.hirain.com/forum/。

在本书的编写过程中，得到了西安电子科技大学出版社毛红兵编辑的大力支持，同时也得到了 MathWorks 公司中国独家代理商——北京九州恒润科技有限公司的鼎力协助，在这里对他们表示衷心的感谢。

由于时间仓促，书中难免存在一些不妥之处，诚望广大读者谅解，并且提出宝贵的意见和建议，以便我们在再版时改进。

作者
2004年4月

目 录

第 1 章 Simulink 基础	1	2.6.2 显示模块执行顺序	29
1.1 Simulink 简介	1	2.7 查表编辑器	29
1.2 运行 Simulink 演示程序	2	2.7.1 编辑查询表数值	29
1.2.1 运行房屋热力学系统演示模型	2	2.7.2 显示 N-D 表	30
1.2.2 房屋热力学系统模型说明	3	2.7.3 绘制 LUT 表	31
1.2.3 其他的 Simulink 演示程序	4	2.7.4 编辑自定义 LUT 模块	31
1.3 建立一个简单的 Simulink 模型	5	2.8 鼠标和键盘操作概述	32
1.4 保存 Simulink 模型	8	第 3 章 Simulink 信号操作	34
1.5 打印及 HTML 报告	10	3.1 信号基础	34
1.5.1 打印模型	10	3.1.1 信号属性及分类	34
1.5.2 生成模型报告	11	3.1.2 确定输出信号的维数	37
1.6 打印边框编辑器	13	3.1.3 确定信号及参数维数准则	38
1.6.1 用户接口	13	3.1.4 输入和参数的标量扩展	39
1.6.2 设计打印边框	13	3.1.5 设置信号属性	39
1.6.3 打印边框示例	15	3.2 显示信号	40
第 2 章 Simulink 模块操作	17	3.2.1 显示信号属性	40
2.1 模块操作	17	3.2.2 信号标签	41
2.1.1 Simulink 模块类型	17	3.2.3 信号标签的传递	42
2.1.2 自动连接模块	18	3.2.4 操作信号标签	43
2.1.3 手动连接模块	19	3.3 信号组操作	43
2.2 改变模块外观	20	3.3.1 创建信号组	43
2.2.1 改变模块方向	20	3.3.2 编辑信号组	45
2.2.2 操纵模块名称	21	3.3.3 编辑信号	45
2.2.3 指定方块图颜色	22	3.3.4 编辑波形	47
2.3 设置模块参数	22	3.3.5 设置输入信号的时间范围	50
2.3.1 设置模块特定参数	23	3.3.6 向工作区输出信号组数据库	50
2.3.2 来自工作区的模块参数	23	3.3.7 用信号组仿真	50
2.4 标注方块图	24	3.3.8 仿真选项对话框	51
2.4.1 编辑标注	24	第 4 章 Simulink 动态系统建模	53
2.4.2 在标注中使用 TeX 格式命令	25	4.1 创建动态系统模型的要害	53
2.5 模块属性对话框	26	4.1.1 方块图	53
2.6 控制和显示模块执行顺序	28	4.1.2 系统函数	54
2.6.1 指定模块优先级	28		

4.1.3	状态	54	5.6.3	装载和保存状态	88
4.1.4	模块参数	56	5.7	输出信号的显示	88
4.1.5	模块采样时间	57	5.7.1	使用 Scope 模块和 XY Graph 模块	88
4.1.6	用户模块	57	5.7.2	使用悬浮 Scope 模块和 Display 模块	90
4.1.7	系统和子系统	57	5.7.3	使用返回变量	92
4.1.8	信号	58	5.7.4	使用 To Workspace 模块	93
4.1.9	模块方法和模型方法	58			
4.1.10	仿真算法	59			
4.2	Simulink 开放式动态系统建模	60	第 6 章 Simulink 动态系统仿真		95
4.3	动态系统数学模型分类	61	6.1	Simulink 动态系统仿真过程	95
4.3.1	常微分方程	61	6.1.1	模型编译阶段	95
4.3.2	差分方程	63	6.1.2	模型链接阶段	96
4.3.3	代数方程	64	6.1.3	仿真循环阶段	97
4.3.4	组合系统	65	6.1.4	求解器的分类	98
4.4	建立方程模型	66	6.2	离散系统仿真	100
4.4.1	建立代数方程模型	66	6.2.1	差分方程的实现	100
4.4.2	建立简单的连续系统模型	69	6.2.2	指定采样时间	101
4.4.3	避免无效循环	70	6.2.3	采样时间的传递	102
4.4.4	建模提示	71	6.2.4	确定离散系统的步长	103
			6.2.5	多速率系统	105
			6.2.6	线性离散系统	106
第 5 章 Simulink 仿真设置		72	6.3	连续系统仿真	108
5.1	仿真基础	72	6.3.1	微分方程的实现	108
5.1.1	设定仿真参数	72	6.3.2	线性连续系统	109
5.1.2	控制仿真执行	73	6.4	混合系统仿真	115
5.1.3	交互运行仿真	74	6.5	模型离散化	118
5.2	设置仿真参数	74	6.5.1	模型离散化 GUI	118
5.2.1	仿真时间设置	74	6.5.2	查看离散化模型	122
5.2.2	仿真算法设置	75	6.5.3	从 Simulink 模型中离散化模块	123
5.3	设置仿真步长	78	6.6	诊断仿真错误	124
5.3.1	最大步长	78	6.6.1	仿真诊断查看器	124
5.3.2	初始步长	78	6.6.2	创建用户仿真错误消息	126
5.3.3	最小步长	79	6.7	改善仿真性能和精度	127
5.4	设置误差容限	79	6.7.1	提高仿真速度	127
5.4.1	设置误差容限	79	6.7.2	改善仿真精度	128
5.4.2	步长计算	80			
5.5	设置输出选项	81	第 7 章 高级仿真概念		129
5.6	工作区输入/输出设置	83	7.1	过零检测	129
5.6.1	从基本工作区中装载输入	83	7.1.1	过零检测的工作方式	129
5.6.2	把输出结果保存到工作区	86			

7.1.2	使用过零检测	130	9.2.2	触发子系统	181
7.1.3	关闭过零检测	133	9.2.3	触发使能子系统	186
7.2	处理代数循环	135	9.2.4	创建交替执行子系统	187
7.2.1	代数约束	135	9.3	控制流语句	190
7.2.2	非代数的直接馈通环	137	9.3.1	If-Else 控制流语句	190
7.2.3	切断代数环	138	9.3.2	Switch 控制流语句	193
7.2.4	高亮显示代数环	138	9.3.3	While 控制流语句	195
7.3	高级积分器	140	9.3.4	For 控制流语句	200
7.3.1	积分器参数对话框	140	9.3.5	比较 Statefolw 和控制流语句	203
7.3.2	创建自重置积分器	143			
7.3.3	在使能子系统间传递状态	145	第 10 章	封装子系统	206
7.4	仿真参数的高级选项	147	10.1	封装子系统概述	206
7.4.1	仿真错误诊断设置	147	10.1.1	封装特征	206
7.4.2	仿真性能优化设置	149	10.1.2	封装举例	207
			10.2	封装编辑器	211
第 8 章	使用命令行仿真	154	10.2.1	Icon 选项页的设置	211
8.1	通过命令行仿真	154	10.2.2	Parameters 选项页的设置	214
8.1.1	基本命令行语法——sim 命令	154	10.2.3	Initialization 选项页的设置	217
8.1.2	设置仿真选项——simset 命令	158	10.2.4	Documentation 选项页的设置	218
8.1.3	获取模型属性——get_param 命令	160	10.3	创建封装模块的动态对话框	219
8.1.4	设置模型参数——set_param 命令	162	10.3.1	设置封装模块对话框参数	220
8.1.5	确定模型状态	162	10.3.2	预定义封装对话框参数	220
8.2	模型线性化	163	10.4	自定义库操作	224
8.2.1	连续系统模型线性化	163	10.4.1	建立和使用库	225
8.2.2	离散系统模型线性化	165	10.4.2	库连接状态	226
8.2.3	线性化模型分析	165	10.4.3	显示库关联及信息	228
8.3	寻找平衡点	166	10.4.4	把用户库添加到 Simulink 库 浏览器中	228
8.4	编写模型和模块的回调函数	170	10.5	可配置子系统	229
8.4.1	跟踪回调函数	170	10.5.1	创建可配置子系统	229
8.4.2	创建模型回调函数	171	10.5.2	映射 I/O 端口	230
8.4.3	创建模块回调函数	171			
第 9 章	使用子系统	173	第 11 章	Simulink 调试器	234
9.1	创建子系统	173	11.1	调试器概述	234
9.1.1	Simulink 子系统定义	173	11.1.1	启动调试器	234
9.1.2	创建子系统	175	11.1.2	调试器的图形用户接口	235
9.1.3	浏览层级子系统	176	11.1.3	调试器的命令行接口	235
9.2	创建条件执行子系统	177	11.1.4	调试器命令	236
9.2.1	使能子系统	178	11.2	调试器控制	237

11.2.1	连续运行仿真	237	附录	281
11.2.2	继续仿真	238	附录 A 模型和模块参数	281
11.2.3	单步运行仿真	239	A.1 模型参数	281
11.3	设置断点	241	A.2 共用模块参数	284
11.3.1	设置无条件断点	241	A.3 专用模块参数	285
11.3.2	设置有条件断点	243	A.4 封装参数	294
11.4	显示仿真信息	244	附录 B 模型和模块回调函数	295
11.4.1	显示模块 I/O	244	B.1 模型回调函数	295
11.4.2	显示代数环信息	246	B.2 模块回调函数	295
11.4.3	显示系统状态	246	附录 C Simulink 模块简介	297
11.4.4	显示积分信息	247	C.1 输入源模块库(Sources)	297
11.5	显示模型信息	247	C.2 接收模块库(Sinks)	298
11.5.1	显示模型中模块的执行顺序	247	C.3 连续系统模块库(Continuous)	299
11.5.2	显示模块	248	C.4 离散系统模块库(Discretes)	300
			C.5 数学运算模块库 (Math Operations)	300
第 12 章	编写 M 语言 S-函数	251	C.6 信号路由模块库 (Signal Routing)	302
12.1	什么是 S-函数	251	C.7 信号属性模块库 (Signal Attributes)	303
12.1.1	S-函数的定义	251	C.8 非线性模块库(Discontinuous)	303
12.1.2	S-函数的工作方式	252	C.9 查询表模块库 (Look-Up Tables)	304
12.2	在模型中创建 S-函数	254	C.10 用户定义函数模块库(User-Defined Functions)	304
12.2.1	在模型中使用 S-函数	254	C.11 模型验证模块库 (Model Verification)	305
12.2.2	向 S-函数中传递参数	255	C.12 端口和子系统模块库(Ports & Subsystems)	306
12.2.3	何时使用 S-函数	256	C.13 模型实用模块库(Model-Wide Utilities)	307
12.3	S-函数的概念	256	附录 D MATLAB 可用的 TeX 字符集	307
12.3.1	直接馈通	256	附录 E 北京九州恒润科技有限公司简介	308
12.3.2	动态设置数组维数	257		
12.3.3	设置采样时间和偏移量	258		
12.4	编写 M 语言 S-函数	259		
12.4.1	M 文件 S-函数模板	259		
12.4.2	定义 S-Function 模块特征	261		
12.5	M 文件 S-函数范例	261		
12.5.1	无状态 M 文件 S-函数	261		
12.5.2	连续状态 S-函数	267		
12.5.3	离散状态 S-函数	272		
12.5.4	混合系统 S-函数	278		

第1章 Simulink 基础

本章向读者介绍 Simulink 的基本知识,目的是希望读者通过阅读本章能够对 MATLAB 中的 Simulink 软件包有一个感性认识,本章的主要内容包括:

- ★ Simulink 简介 介绍什么是 Simulink, 以及利用 Simulink 可以完成的工作
- ★ 运行 Simulink 演示程序 介绍如何启动 Simulink, 并以 Simulink 中的房屋热力学系统演示程序为例简要说明 Simulink 模型的功能及运行方式
- ★ 建立简单的 Simulink 模型 引导读者自己建立一个简单的 Simulink 模型, 了解 Simulink 模型的基本构建方式
- ★ 保存 Simulink 模型 介绍 Simulink 模型文件的类型, 以及如何将 Simulink 模型保存在不同的 Simulink 版本下
- ★ 打印模型及报告 介绍如何打印 Simulink 中的层级模型, 以及如何生成模型报告
- ★ 打印边框编辑器 介绍如何设计打印边框, 以及如何打印带有打印边框的模型方块图

1.1 Simulink 简介

Simulink 实际是一个动态系统建模、仿真和分析的软件包,它是一种基于 MATLAB 的框图设计环境,支持线性系统和非线性系统,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,也就是系统中的不同部分具有不同的采样速率。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),这个创建过程只需要单击和拖动鼠标操作就能完成。利用这个接口,用户可以像用笔在草纸上绘制模型一样,只要构建出系统的方块图即可,这与以前的仿真软件包要求解算微分方程和编写算法语言程序不同,它提供的是一种更快捷、更直接明了的方式,而且用户可以立即看到系统的仿真结果。

Simulink 中包括了许多实现不同功能的模块库,如 Sources(输入源模块库)、Sinks(输出模块库)、Math Operations(数学模块库),以及线性模块和非线性模块等各种组件模块库。用户也可以自定义和创建自己的模块,利用这些模块,用户可以创建层次化的系统模型,可以自上而下或自下而上地阅读模型,也就是说,用户可以查看最顶层的系统,然后通过双击模块进入下层的子系统查看模型,这不仅方便了工程人员的设计,而且可以使自己的模型方块图功能更清晰,结构更合理。

创建了系统模型后,用户可以利用 Simulink 菜单或在 MATLAB 命令窗口中键入命令的方式选择不同的积分方法来仿真系统模型。对于交互式的仿真过程,使用菜单是非常方便的,但如果要运行大量的仿真,使用命令行方法则非常有效。例如,执行蒙特卡洛仿真或

想要扫描某一范围的参数值，可以在命令行中输入变参数值，观察参数值改变后的系统输出。此外，利用示波器模块或其他显示模块，用户可以在仿真运行的同时观察仿真结果，而且还可以在仿真运行期间改变仿真参数，并同时观察改变后的仿真结果，最后的结果数据也可以输出到 MATLAB 工作区进行后续处理，或利用命令行命令在图形窗口中绘制仿真曲线。

Simulink 中的模型分析工具包括线性化工具和调整工具，这可以从 MATLAB 命令行获取。MATLAB 及其工具箱内还有许多其他的适用于不同工程领域的分析工具，由于 MATLAB 和 Simulink 是集成在一起的，因此任何时候用户都可以在这两个环境中仿真、分析和修改模型。

Simulink 系统建模的主要特性是：

- 框图式建模。Simulink 提供了一个图形化的建模环境，通过鼠标单击和拖拉操作进行框图式建模；
- 支持非线性系统；
- 支持混合系统仿真，即系统中包含连续采样时间和离散采样时间；
- 支持多速率系统仿真，即系统中存在以不同速率运行的组件；
- MATLAB 与 Simulink 集成在一起，因此，无论何时在任何环境下都可以建模、分析和仿真用户模型。

1.2 运行 Simulink 演示程序

Simulink 提供了一些模型演示程序，这是 Simulink 自带的程序范例，这些演示模型分别介绍了利用 Simulink 模块搭建的不同功能的系统模型，这里以房屋热力学系统模型为例介绍系统模型的组成及功能，以使读者对 Simulink 有一个基本认识。



1.2.1 运行房屋热力学系统演示模型

首先运行 MATLAB，在 MATLAB 的命令窗口内键入 thermo 命令：

```
>> thermo
```

该命令启动 Simulink 并打开名称为“thermo”的热力学系统模型窗口，如图 1-1 所示。

图 1-1 显示的是房屋热力学系统模型的全貌，在模型图的最右侧有一个标注为 Thermo plots(系统曲线图)的模块，它实际上实现的就是示波器功能，双击该模块，可以打开示波器。在这个例程中，示波器中显示的是 Indoor vs. Outdoor Temp(室内与室外温度)和 Heat Cost(加热费用)两条曲线。

为了仿真这个模型系统，首先设置仿真参数，这里就用模型中已设置好的仿真参数进行仿真。选择 **Simulation** 菜单下的 **Start** 命令，或者单击 Simulink 工具栏上的“开始”按钮，系统开始按照模型中设置的参数进行仿真，仿真结果曲线显示在示波器中。当打开加热器时，系统会自动计算加热所需要的费用，并将加热费用(Heat Cost(\$))曲线在示波器中显示出来，而室内温度(Indoor Temp)也同时显示在示波器中。若要停止仿真，可选择 **Simulation** 菜单下的 **Stop** 命令，或者单击 Simulink 工具栏上的“停止”按钮。仿真结束后，选择 **File** 菜单下的 **Close** 命令关闭模型。

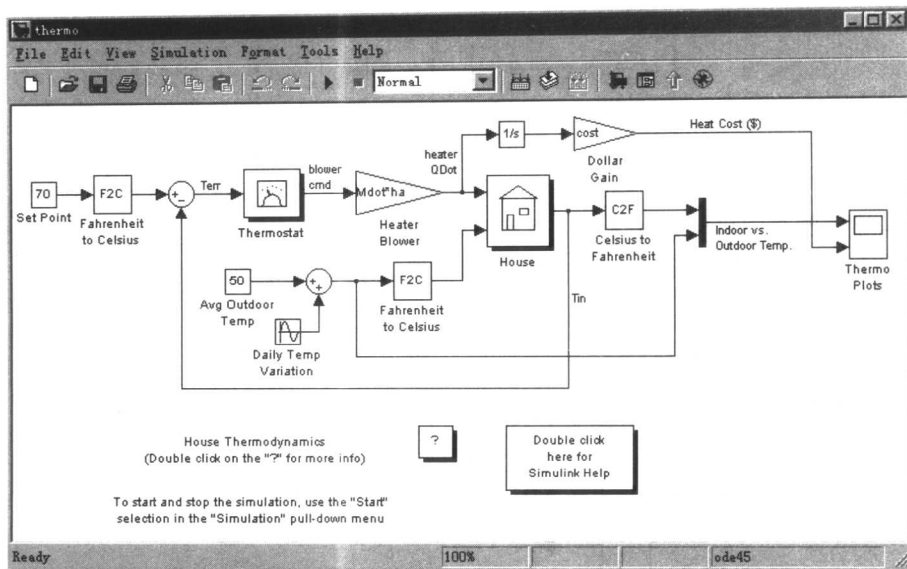


图 1-1 房屋热力学系统模型

1.2.2 房屋热力学系统模型说明

演示程序使用简单的模型建立了房屋的热力学系统模型，该模型使用 Simulink 中子系统模型的概念来简化模型图，并创建了可再使用系统。

Simulink 中的子系统是一组由 Subsystem(子系统)模块表示的模块组，房屋热力学系统模型包括 5 个子系统：Thermostat(恒温器)子系统、House(房屋)子系统和 Temp Convert(温度转换)子系统(该子系统由三个子系统组成，其中两个子系统将华氏温度转换为摄氏温度，另一个子系统将摄氏温度转换为华氏温度)。

图 1-2 显示的是房屋子系统模型，双击 House 模块可以打开该子系统，在这个子系统中，内部温度和外部温度均传送到该子系统，并由该子系统经过转换后更新和输出内部温度。

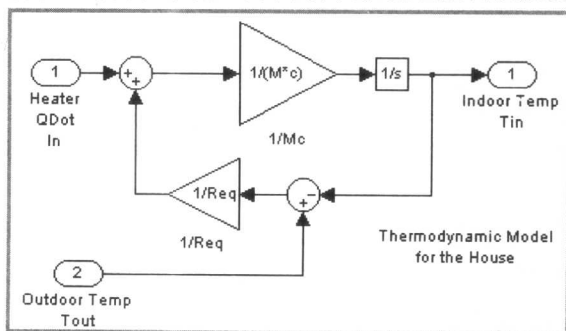


图 1-2 房屋子系统

图 1-3 显示的是恒温器子系统模型。模型中的恒温器(Thermostat)系统设置为 70°F，这个温度受户外温度的影响，并按照幅值为 15°F，基值温度为 50°F 的正弦波变化，这个模型模拟了每天的温度波动。双击 Thermostat 模块打开子系统，该子系统由一个继电器模块组成，该模块将模块输入与阈值相比较，并输出指定的“打开”值和“关闭”值，它实际上控制了加热器系统的打开和关闭时间。

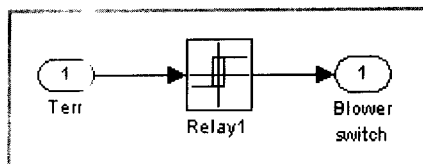


图 1-3 恒温器子系统

图 1-4 显示的是温度转换子系统，双击 Fahrenheit to Celsius 模块打开该子系统，这个子系统将外部温度和内部温度由华氏温度转换到摄氏温度，转换公式为

$$C = \frac{5}{9}(F - 32)$$

其中，F 为华氏温度，C 为摄氏温度。

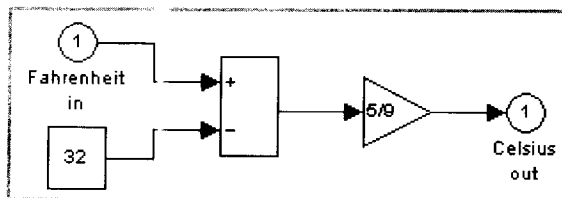


图 1-4 温度转换子系统(F2C)

房屋热力学系统是一个很典型的系统，它包括了模型创建过程中通常需要完成的一些工作，主要有：

- (1) 运行模型仿真时需要指定仿真参数，并利用 Start 命令开始仿真；
- (2) 用户可以把一组相关的模块组包含在一个模块中，这个模块称为子系统模块；
- (3) 在 thermo 模型中，所有的子系统都利用封装特性创建了自定义图标，用户也可以利用封装特性为模块创建自定义的图标，并设计模块对话框；
- (4) Scope 模块与实际的示波器模块一样可以显示图形输出。

读者可以试一试下面的几种方法，看看模型的不同参数是如何影响响应曲线的：

- 每个 Scope 模块包含一个或多个信号显示区域和控制，用户可以选择显示的信号范围，将信号区域放大，执行其他的任务，在显示区域内，水平轴是时间轴，垂直轴表示的是信号值。

- 标有 Set Point(在模型的左上角)的 Constant(常值)模块设置所希望的温度值，打开该模块，并将温度值重新设置为 80°F，看看室内温度和加热费用是如何变化的，也可以调整室外温度(Arg Outdoor Temp 模块)，看看它对仿真结果有何影响。

- 打开标有 Daily Temp Variation(每日温度变化)的 Sine Wave(正弦波)模块，改变 Amplitude(幅值)参数，调整每日的温度变化值，观察输出曲线的变化。

1.2.3 其他的 Simulink 演示程序

Simulink 还提供了许多其他的演示程序，用以说明 Simulink 中的各种建模和仿真概念，用户可以从 MATLAB 的命令窗口中打开这些演示程序。

首先在 MATLAB 命令窗口的左下角单击 Start 按钮，打开 Start 菜单，如图 1-5 所示。在菜单中选择 Demos 命令，MATLAB 的帮助浏览器会显示 Simulink 的 Demos 选项面板，单击 Simulink 显示演示程序的目录，双击这些条目就可以启动相应的演示程序，如图 1-6 所示。

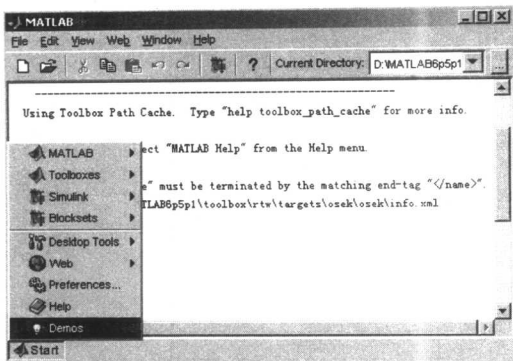


图 1-5

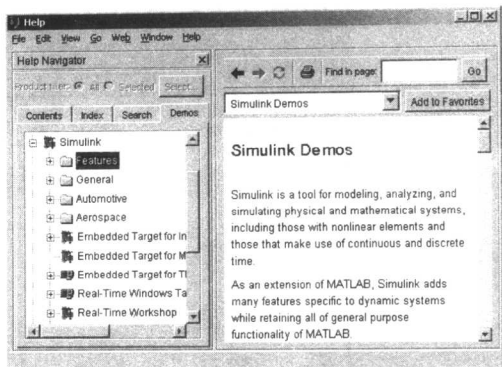


图 1-6

1.3 建立一个简单的 Simulink 模型

本节引导读者自己创建一个如图 1-7 所示的简单的 Simulink 模型，模型中的输入是一个正弦波信号，该信号经过增益器放大 5 倍。

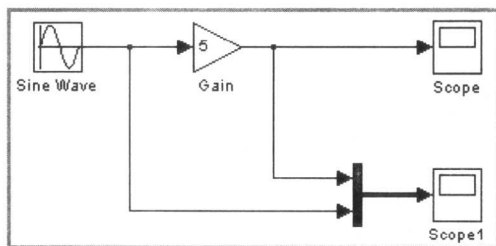




图 1-7

图 1-7 中用两个示波器显示波形，标注为 Scope 的示波器用来显示经过放大后的正弦波信号，标注为 Scope1 的示波器显示原正弦波信号和经过放大后的正弦波信号的比较波形。

为了创建系统模型图，首先在 MATLAB 命令窗口中键入 Simulink 命令，或者单击工具条上的“Simulink”按钮 ，打开 Simulink 库浏览器，如图 1-8 所示。

从图中可以看到，Simulink 库浏览器是一个以树状结构排列的浏览器，在 Simulink 目录下列举的是 Simulink 的模块库，不同功能的模块分类存放在各个模块库中，关于 Simulink 模块库中各模块的功能，读者可以参看附录 C。

接下来，在 Simulink 库浏览器的工具条上选择“新建”按钮 ，打开一个空白的模型创建窗口，如图 1-9 所示。

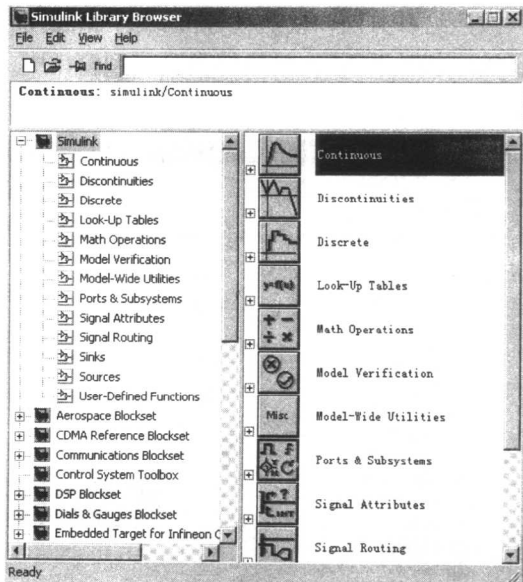


图 1-8

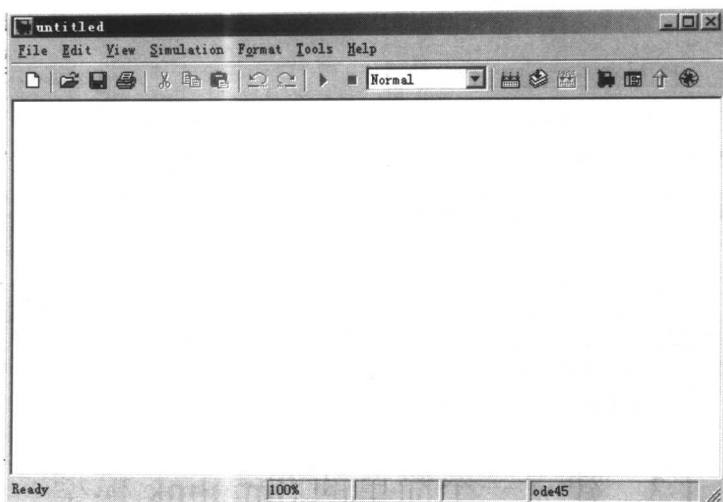


图 1-9

为了创建图 1-7 所示的模型，需要在 Simulink 模块库中选择如下模块：

- Sine Wave 模块 (Sources 库)
- Scope 模块(Sinks 库)
- Gain 模块(Math Operations 库)
- Mux 模块(Signals Routing 库)

现在，将模块拷贝到模型窗口中。在 Simulink 库浏览器中单击 Sources 库，选中 Sine Wave(正弦波)模块，如图 1-10 所示，或者在 Sources 库上单击鼠标右键，打开 Simulink/Sources 库窗口，选中 Sine Wave 模块，如图 1-11 所示，单击并拖动鼠标将 Sine Wave 模块拖动到模型窗口中，如图 1-12 所示，然后释放鼠标。

按照这种方法，依次在 Sinks 库、Math Operations 库和 Signals Routing 库中将 Scope 模块、Gain 模块和 Mux 模块拷贝到模型窗口中，并移动模块将其排列在适当位置，如图 1-13 所示。

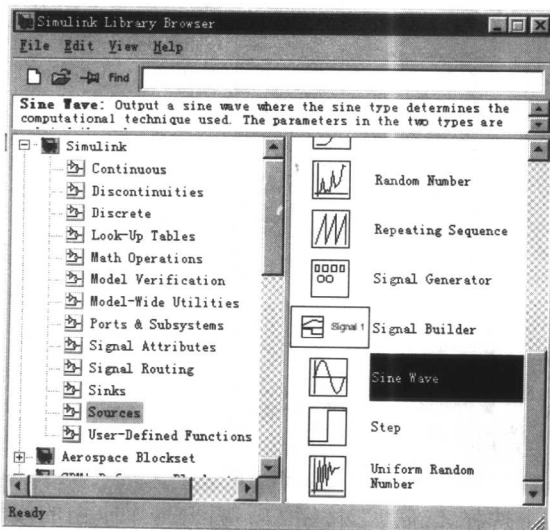


图 1-10

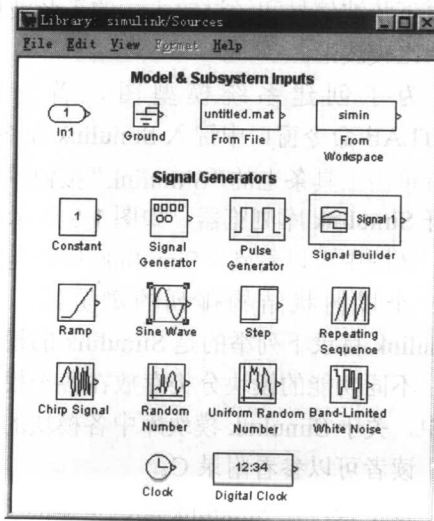


图 1-11

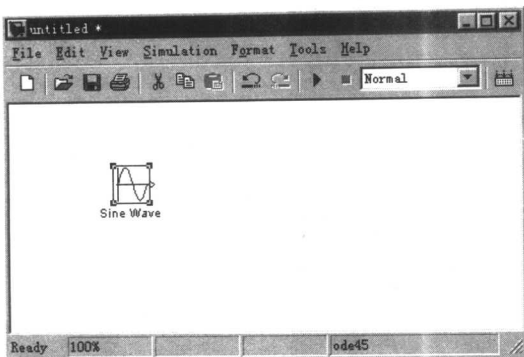


图 1-12

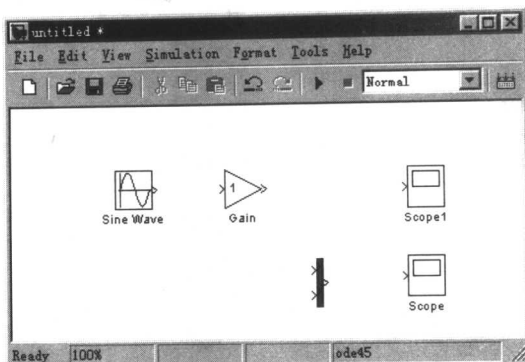



图 1-13

在连接模块之前，先介绍一下模块上的“>”符号，该符号用来表示进出模块的信号端口，其中，指向模块的“>”符号表示模块的输入端口，指出模块的“>”符号表示模块的输出端口，信号由输出端口传出，并经由“信号线”传递到下一个模块的输入端口，当模块被连接后，端口符号就会自动消失。

将鼠标光标定位在 Sine Wave 模块的输出端口，按住鼠标按钮并拖动光标至 Gain 模块的输入端口，释放鼠标，这时两个模块就用一个带有单箭头的线段连接起来了，如图 1-14 所示。

对于分支信号线的连接，例如，Mux 模块有两个输入端口，分别接收原正弦波信号和经过放大的正弦波信号，这样在传送这两个信号的信号线上就应该分别引出分支信号线。先选中连接 Sine Wave 模块和 Gain 模块的连线，然后按住 Ctrl 键并在连线的任意位置上单击鼠标，鼠标光标变成“十”字，拖动光标至 Mux 模块的输入端口，这时会发现，鼠标绘制的分支线是虚线，如图 1-15 所示，在 Mux 的输入端口处释放鼠标，连接为实线，按照这样的方法再连接另一个分支线，最后绘制的模块方框图如图 1-7 所示。

现在就可以仿真运行这个模型了，单击 Simulation 菜单下的 Simulation parameters 命令打开仿真参数对话框，如图 1-16 所示，在这个对话框内设置仿真参数，这里使用对话框的缺省设置，缺省时的仿真时间为 10 s。

单击工具条上的“开始”按钮  运行仿真，同时打开 Scope 和 Scope1 示波器观察输出波形，最后的输出波形如图 1-17 所示。

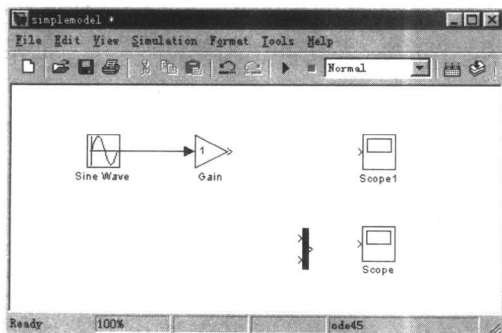


图 1-14

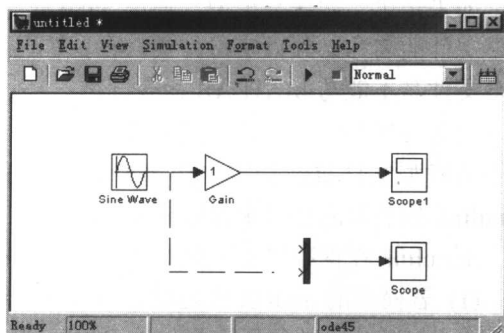


图 1-15