



高等学校电子与电气工程及自动化专业“十一五”规划教材



电力系统的MATLAB/ SIMULINK仿真与应用

编著 王 晶 翁国庆 张有兵
主审 刘 健



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校电子与电气工程及其自动化专业“十一五”规划教材

电力系统的 MATLAB/SIMULINK 仿真与应用

编著 王 晶 翁国庆 张有兵

主审 刘 健

西安电子科技大学出版社

2008

内 容 简 介

本书将 MATLAB 工具与电力系统理论知识相结合,对 MATLAB/SIMULINK 在电力系统中的仿真与应用做了详细介绍。全书共分 8 章。第 1 章对 MATLAB/SIMULINK 进行了概述。第 2 章介绍了 MATLAB 的程序设计基础。第 3 章对 SIMULINK 的应用基础进行了阐述。第 4 章和第 5 章分别通过大量详尽的实例对电力系统主要元件和电力电子电路进行了说明。第 6 章和第 7 章讨论了利用 MATLAB/SIMULINK 构建复杂电力系统并进行稳态、暂态仿真,以及高压电力系统电力装置仿真的具体方法。第 8 章对利用模块集成和 S 函数编程两种定制非线性模块的方法进行了介绍。

本书可作为高等院校电气工程专业高年级本科生教材,也可作为电气工程专业研究生、电力工程技术人员和 FACTS 领域广大科研工作者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统的 MATLAB/SIMULINK 仿真与应用 / 王晶, 翁国庆, 张有兵编著.

—西安: 西安电子科技大学出版社, 2008.11

高等学校电子与电气工程及自动化专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2071-8

I. 电… II. ①王… ②翁… ③张… III. 电力系统—计算机辅助计算—软件包, MATLAB、SIMULINK—高等学校—教材 IV. TM7-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 091007 号

策 划 毛红兵

责任编辑 张 梁 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: xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2008 年 9 月第 1 版 2008 年 9 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 20.25

字 数 473 千字

印 数 1~4000 册

定 价 29.00 元

ISBN 978-7-5606-2071-8/TM·0049

XDUP 2363001-1

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。

高等学校

自动化、电气工程及其自动化、机械设计制造及其自动化专业

“十一五”规划教材编审专家委员会名单

主任：张永康

副主任：姜周曙 刘喜梅 柴光远

自动化组

组长：刘喜梅（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

韦力 王建中 巨永锋 孙强 陈在平 李正明
吴斌 杨马英 张九根 周玉国 党宏社 高嵩
秦付军 席爱民 穆向阳

电气工程组

组长：姜周曙（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

闫苏莉 李荣正 余健明
段晨东 郝润科 谭博学

机械设计制造组

组长：柴光远（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

刘战锋 刘晓婷 朱建公 朱若燕 何法江 李鹏飞
麦云飞 汪传生 张功学 张永康 胡小平 赵玉刚
柴国钟 原思聪 黄惟公 赫东锋 谭继文

项目策划：马乐惠

策划：毛红兵 马武装 马晓娟

前 言

近年来, MATLAB 已成为科学研究和工程设计中最重要的工具之一。在欧美大学里, 诸如应用代数、数理统计、自动控制、数字信号处理、模拟与数字通信、时间序列分析、动态系统仿真等课程的教科书都把 MATLAB 作为授课内容。这几乎成了 20 世纪 90 年代教科书与旧版教科书的标志性区别。为适应计算机辅助教学的发展趋势, 国内许多工科院校的电气相关专业也开设了类似于“MATLAB 及系统仿真”等相关课程作为学生的专业选修课程。

1998 年 Mathworks 公司推出电力系统模块集(Power System Block)后, 该功能逐渐被电力系统的研究者所接受, 使得 MATLAB/SIMULINK 在电力系统方面的应用日趋成熟。

笔者任教于浙江工业大学信息工程学院电气系, 一直担任电气工程专业“MATLAB 及系统仿真”课程的教学工作。作为主讲教师, 笔者非常强烈地想使这门课程的教学能紧密结合电力这一专业基础, 即教学内容应该是 MATLAB 及系统仿真技术在电力领域的应用, 而不是泛泛的 MATLAB 及系统仿真的通用基础知识, 但一直没有合适教材。2004 年初, 笔者围绕 MATLAB/SIMULINK 在电力系统中的仿真应用这一主题, 根据自己多年在电力系统仿真中的经验, 开始编写针对电气工程专业本专科生用的 MATLAB 仿真教材, 试图向读者全面、系统地介绍 MATLAB/SIMULINK 在电力系统仿真中的使用方法。本书的多媒体课件已经在浙江工业大学信息工程学院电气系试用了三年, 学生反映良好。

本书共 8 章, 主要内容包括: 概述、MATLAB 编程基础、SIMULINK 应用基础、电力系统主要元件等效模型、电力电子电路仿真分析、电力系统稳态与暂态仿真、高压电力系统的电力装置仿真、定制模块。

本书的第 2、3 章由翁国庆编写, 第 1、4~6、8 章由王晶编写, 第 7 章由张有兵和王晶共同编写。在本书的编写过程中, 哈尔滨工业大学博士孙向飞、俞红祥、司大军分别对第 4~6 章提出了不少宝贵意见和建议, 笔者受益匪浅, 在此谨致谢忱。

因编者水平有限, 书中错误和不妥之处仍在所难免, 尚希广大读者不吝指正。

编者联系方式: 电话 0571-88320713, 电子邮箱 kmhelen@zjut.edu.cn。

王 晶
2008 年 6 月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 电力系统常用仿真软件简介.....	1
1.2 MATLAB/SIMULINK 概述.....	2
1.2.1 MATLAB/SIMULINK 发展简史.....	2
1.2.2 MATLAB/SIMULINK 产品分类.....	5
1.2.3 MATLAB/SIMULINK 的特点.....	7
1.3 简单电路演示.....	9
习题.....	15
第 2 章 MATLAB 编程基础	16
2.1 MATLAB 的工作环境.....	16
2.1.1 MATLAB 程序主界面.....	16
2.1.2 文本编辑窗口.....	20
2.2 MATLAB 语言的基本元素.....	21
2.2.1 变量.....	21
2.2.2 赋值语句.....	21
2.2.3 矩阵及其元素的表示.....	23
2.3 矩阵的 MATLAB 运算.....	27
2.3.1 矩阵的代数运算.....	27
2.3.2 矩阵的关系运算.....	30
2.3.3 矩阵的逻辑运算.....	31
2.4 MATLAB 的程序流程控制.....	32
2.4.1 循环控制结构.....	32
2.4.2 条件转移结构.....	33
2.5 M 文件的编写.....	34
2.5.1 命令文件.....	34
2.5.2 函数文件.....	37
2.6 MATLAB 的图形绘制.....	39
2.6.1 二维图形的绘制.....	40
2.6.2 三维图形的绘制.....	47
2.6.3 图形对象属性设置.....	50
2.7 MATLAB 编程仿真与应用.....	52

2.7.1 简单电路仿真中的应用.....	52
2.7.2 电力信号分析处理中的应用.....	55
习题.....	56
第 3 章 SIMULINK 应用基础	59
3.1 SIMULINK 仿真环境.....	59
3.1.1 SIMULINK 模块库浏览器.....	59
3.1.2 SIMULINK 仿真平台.....	60
3.2 SIMULINK 的基本操作.....	62
3.2.1 模块及信号线的基本操作.....	62
3.2.2 系统模型的基本操作.....	64
3.2.3 子系统的建立与封装.....	64
3.3 SIMULINK 系统建模.....	70
3.4 SIMULINK 运行仿真.....	74
3.4.1 运行仿真过程.....	74
3.4.2 仿真参数的设置.....	75
3.4.3 示波器的使用.....	77
3.5 SIMULINK 模块库.....	80
3.5.1 标准 SIMULINK 模块库.....	80
3.5.2 电力系统模块库.....	81
3.6 SIMULINK 系统仿真应用.....	83
3.6.1 一般控制系统中的仿真应用.....	83
3.6.2 简单电路系统中的仿真应用.....	86
习题.....	90
第 4 章 电力系统主要元件等效模型	92
4.1 同步发电机模型.....	92
4.1.1 同步发电机等效电路.....	92
4.1.2 简化同步电机模块.....	93
4.1.3 同步电机模块.....	97
4.2 电力变压器模型.....	106
4.2.1 三相变压器等效电路.....	106
4.2.2 双绕组三相变压器模块.....	107
4.2.3 互感线圈.....	115
4.2.4 其它.....	116
4.3 输电线路模型.....	116
4.3.1 输电线路等效电路.....	117
4.3.2 RLC 串联支路模块.....	117
4.3.3 PI 型等效电路模块.....	118

4.3.4 分布参数线路模块.....	119
4.4 负荷模型.....	125
4.4.1 静态负荷模块.....	125
4.4.2 三相动态负荷模块.....	126
4.4.3 异步电动机模块.....	126
4.4.4 直流电机模块.....	133
习题.....	136
第 5 章 电力电子电路仿真分析.....	138
5.1 电力电子开关模块.....	138
5.1.1 二极管模块.....	139
5.1.2 晶闸管模块.....	141
5.1.3 可关断晶闸管模块.....	145
5.1.4 电力场效应晶体管模块.....	148
5.1.5 绝缘栅极双极性晶体管模块.....	152
5.1.6 理想开关模块.....	156
5.2 桥式电路模块.....	160
5.2.1 三电平桥式电路模块.....	160
5.2.2 通用桥式电路模块.....	163
5.3 驱动电路模块.....	168
5.3.1 同步 6 脉冲发生器.....	168
5.3.2 同步 12 脉冲发生器.....	172
5.3.3 PWM 脉冲发生器.....	178
习题.....	184
第 6 章 电力系统稳态与暂态仿真.....	187
6.1 Powergui 模块.....	187
6.1.1 主窗口功能简介.....	187
6.1.2 稳态电压电流分析窗口.....	189
6.1.3 初始状态设置窗口.....	190
6.1.4 潮流计算和电机初始化窗口.....	191
6.1.5 LTI 视窗.....	192
6.1.6 阻抗依频特性测量窗口.....	193
6.1.7 FFT 分析窗口.....	194
6.1.8 报表生成窗口.....	196
6.1.9 磁滞特性设计工具窗口.....	196
6.1.10 计算 RLC 线路参数窗口.....	198
6.2 电力系统稳态仿真.....	199
6.2.1 连续系统仿真.....	199

6.2.2	离散系统仿真	204
6.2.3	相量法仿真	208
6.3	电力系统电磁暂态仿真	209
6.3.1	断路器模块	209
6.3.2	暂态仿真分析	214
6.4	电力系统机电暂态仿真	219
6.4.1	输电系统的描述	220
6.4.2	单相故障	222
6.4.3	三相故障	223
	习题	223
第 7 章	高压电力系统的电力装置仿真	227
7.1	输电线路串联电容补偿装置仿真	227
7.1.1	系统描述	227
7.1.2	初始状态设置和稳态分析	230
7.1.3	暂态分析	231
7.1.4	频率分析	234
7.1.5	母线 B2 故障时的暂态分析	236
7.2	基于晶闸管的静止无功补偿装置仿真	238
7.2.1	系统描述	239
7.2.2	SVC 的稳态和动态特性	241
7.2.3	TSC1 换相失败的仿真	243
7.3	基于 GTO 的静止同步补偿装置仿真	244
7.3.1	系统描述	244
7.3.2	STATCOM 的稳态和动态特性	247
7.4	基于晶闸管的 HVDC 系统仿真	249
7.4.1	系统描述	249
7.4.2	直流和交流系统的频率响应	252
7.4.3	系统启/停的稳态和阶跃响应	253
7.4.4	直流线路故障	254
7.4.5	逆变器交流侧 a 相接地故障	255
7.5	基于 VSC 的 HVDC 系统仿真	256
7.5.1	系统描述	256
7.5.2	动态特性仿真	260
第 8 章	定制模块	263
8.1	定制非线性模块	263
8.1.1	非线性电感模块	263
8.1.2	定制非线性电阻元件	271

8.1.3 定制模块库	274
8.2 S 函数的编写及应用	275
8.2.1 S 函数模块	275
8.2.2 S 函数的编写	276
附录 A SIMULINK 仿真平台菜单栏	285
附录 B SIMULINK 仿真平台工具栏	288
附录 C SIMULINK 模块库	290
附录 D SimPowerSystems 模块库	300
参考文献	311

第1章 概 述

1.1 电力系统常用仿真软件简介

电力系统是一个大规模、时变的复杂系统，在国民经济中有非常重要的作用。电力系统数字仿真已成为电力系统研究、规划、运行、设计等各个方面不可或缺的工具，特别是电力系统新技术的开发研究、新装置的设计、参数的确定更是需要通过仿真来确认。

目前常用的电力系统仿真软件有：

(1) 邦纳维尔电力局(Bonneville Power Administration, BPA)开发的 BPA 程序和 EMTP(Electromagnetic Transients Program)程序；

(2) 曼尼托巴高压直流输电研究中心(Manitoba HVDC Research Center)开发的 PSCAD /EMTDC (Power System Computer Aided Design/Electromagnetic Transients Program including Direct Current)程序；

(3) 德国西门子公司研制的电力系统仿真软件 NETOMAC (Network Torsion Machine Control)；

(4) 中国电力科学研究院开发的电力系统分析综合程序 PSASP(Power System Analysis Software Package)；

(5) MathWorks 公司开发的科学与工程计算软件 MATLAB(Matrix Laboratory, 矩阵实验室)。

电力系统分析软件除了以上几种，还有美国加州大学伯克利分校研制的 PSPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis)、美国 PTI 公司开发的 PSS/E、美国 EPRI 公司开发的 ETMSP、ABB 公司开发的 SYMPOW 程序和美国 EDSA 公司开发的电力系统分析软件 EDSA 等。

以上各个电力系统仿真软件的结构和功能不同，它们各自的应用领域也有所侧重。EMTP 主要用来进行电磁暂态过程数字仿真，PSCAD/EMTDC、NETOMAC 主要用来进行电磁暂态和控制环节的仿真，BPA、PSASP 主要用来进行潮流和机电暂态数字仿真。

近年来，MATLAB 由于其完整的专业体系和先进的设计开发思路，在多个领域都有广泛的应用。

在国际学术界，MATLAB 已经被确认为准确、可靠的科学计算标准软件。在许多国际一流学术刊物上(尤其是信息科学刊物)，都可以看到 MATLAB 的应用。

在欧美大学里，诸如应用代数、数理统计、自动控制、数字信号处理、模拟与数字通

信、时间序列分析、动态系统仿真等课程的教科书都把 MATLAB 作为授课内容。这几乎成了 20 世纪 90 年代教科书与旧版教科书的标志性区别。在这些学校里, MATLAB 是攻读学位的本科生、硕士生、博士生必须掌握的基本工具。

在设计研究单位和工业部门, MATLAB 被认为是进行高效研究和开发的首选软件工具。如美国 National Instruments 公司的信号测量、分析软件 LabVIEW, Cadence 公司的信号和通信分析设计软件 SPW 等, 它们直接建筑在 MATLAB 之上, 或者以 MATLAB 为主要支撑。又如 HP 公司的 VXI 硬件, TM 公司的 DSP, Gage 公司的各种硬卡、仪器等都接受 MATLAB 的支持。MATLAB 在全球现在有超过 50 万的企业用户和上千万的个人用户, 广泛地分布在航空航天、金融财务、机械化工、电信、教育等各个行业。

1998 年 MathWorks 公司推出了 MATLAB 5.2 版本, 针对电力系统设计了电力系统模块集(Power System Block, PSB)。该模块集包含大量电力系统的常用元器件, 如变压器、线路、电机和电力电子等, 功能也比较全面, 逐渐被电力系统的研究者接受, 并将它作为高效的仿真分析软件。

1.2 MATLAB/SIMULINK 概述

1.2.1 MATLAB/SIMULINK 发展简史

1. MATLAB 发展简史

20 世纪 70 年代中期, Cleve Moler 和他的同事们在美国国家科学基金的资助下研发了称为 LINPACK 和 EISPACK 的 FORTRAN 子程序库。LINPACK 是解决线性方程问题的 FORTRAN 子程序集合, EISPACK 是对特征值问题进行求解的子程序集合。它们一起代表了当时最具影响力的矩阵计算软件。

20 世纪 70 年代后期, 当时已经成为新墨西哥大学计算机科学系系主任的 Cleve, 希望在他的线性代数授课课程中使用 LINPACK 和 EISPACK 软件。但是他并不想增加学生的编程负担, 因此, 设计了一组调用 LINPACK 和 EISPACK 库程序的“通俗易懂”的接口, 并且命名为 MATLAB, 其基本的数据单元是一个维数不加限制的矩阵。在 MATLAB 下, 矩阵的运算变得非常容易。因此, 一两年后, MATLAB 在应用数学团体中流行起来。

1983 年的春天, Cleve 到斯坦福大学进行访问, MATLAB 深深吸引住了身为工程师的 John Little。John Little 敏锐地觉察到 MATLAB 在工程领域的广阔前景, 于是同年, 他和 Cleve Moler、Steve Bangert 一起用 C 语言开发了第二代 MATLAB 专业版, 由 Steve Bangert 主持开发编译解释程序; Steve Kleiman 完成图形功能的设计; John Little 和 Cleve Moler 主持开发各类数学分析的子模块, 撰写用户指南和大部分的 M 文件。

1984 年, Cleve Moler 和 John Little 成立了 MathWorks 公司, 发行了 MATLAB 1.0(基于 DOS 的版本), 正式把 MATLAB 推向市场。MATLAB 的第一个商业化版本是同年推出的基于 DOS 的 MATLAB 3.0, 该版本已经具有数值计算和数据图示化的功能。通过不断的改进, MATLAB 逐步发展成为一个集数值处理、图形处理、图像处理、符号计算、文字处理、数学建模、实时控制、动态仿真、信号处理为一体的数学应用软件。

1990年推出的MATLAB 3.5版是第一个可以兼容在DOS和Windows下运行的版本,它可以在两个窗口上分别显示命令行计算结果和图形结果。

1992年, MATLAB的第一个完全意义上的Windows版本MATLAB 4.0问世,从此告别DOS版。MATLAB 4.x有了很大的改进,首先是推出了SIMULINK;此外,1993年, MathWorks 公司从加拿大滑铁卢大学购得 Maple 的使用权,以 Maple 为“引擎”开发了 Symbolic Math Toolbox 1.0。MathWorks 公司此举加快结束了国际上数值计算、符号计算孰优孰劣的长期争论,促成了两种计算的互补发展新时代。同时, MathWorks 公司瞄准应用范围最广的 Word,运用 DDE 和 OLE 构造了 Notebook,实现了 MATLAB 与 Word 的无缝连接,从而为专业科技工作者创造了融科学计算、图形可视、文字处理于一体的高水准环境。

1997年推出的MATLAB 5.0版本支持更多的数据结构,如单元数据、数据结构体、多维数组、对象与类等,使其成为一种更方便、更完美的编程语言。1999年初推出的MATLAB 5.3版在很多方面又进一步改进了MATLAB语言的功能,随之推出的全新版本的最优化工具箱和SIMULINK 3.0版达到了很高的档次。MATLAB 5.x较MATLAB 4.x无论是界面还是内容都有长足的进展,其帮助信息采用超文本格式和PDF格式,在Netscape 3.0和IE 4.0及以上版本、Acrobat Reader中均可以方便地浏览。

2000年10月底推出了全新的MATLAB 6.0正式版(Release 12),在操作界面上有了很大改观,同时还给出了程序发布窗口、实时信息窗口和变量管理窗口等,为用户的使用提供了很大的方便;在计算内核上抛弃了其一直使用的LINPACK和EISPACK,而采用了更具优势的LAPACK软件包和FFTW系统,速度变得更快,数值性能也更好;在用户图形界面设计上也更趋合理;与C语言接口及转换的兼容性也更强。现在的MATLAB支持各种操作系统,它可以运行在十几个操作平台上,其中比较常见的有基于Windows 9X/NT、OS/2、Macintosh、Sun、UNIX、Linux等平台的系统。现在的MATLAB再也不是一个简单的矩阵实验室了,它已经演变成为一种具有广泛应用前景的全新的计算机高级编程语言,其功能也越来越强大,并不断地根据科研需求提出了新的解决方法。

2006年9月, MATLAB R2006b正式发布。从这时开始, MathWorks 公司每年进行两次产品发布,时间分别在每年的3月和9月,而且每一次发布都涵盖产品家族中的所有模块,包括产品的新特征、bug的修订和新产品模块的发布。例如,符号R2006b中,2006表示发布年度,b表示是每年的第2个版本(9月版),每年的第1个版本(3月版)用a表示。

现在因特网上有大量的MATLAB资源,比如Mathworks公司的主页<http://www.mathworks.com> MATLAB大观园<http://matlab.myrice.com>、MATLAB国内代理公司恒润科技<http://hirain.com>等,读者可以从这些网站上获取更多版本更新信息。

2. SIMULINK 发展简史

SIMULINK是MathWorks公司开发的又一个产生重大影响的软件产品。为了准确地分析控制系统的复杂模型,1990年MathWorks公司为MATLAB提供了崭新的控制系统模型图形输入与仿真工具,并命名为SIMULAB,它以工具箱的形式挂在MATLAB 3.5版上。SIMULAB包括仿真平台和系统仿真模型库两部分,主要用于仿真以数学函数和传递函数表

达的系统,它是 20 世纪 70 年代开发的连续系统仿真程序包(CCS)的继续。该软件发布后很快就在控制领域得到了广泛的使用。但是,因为其名字与著名的软件 SIMULA 类似,所以 1992 年改名为 SIMULINK (Simulation Link),意思是仿真链接。

该软件有两个特别明显的功能:仿真与链接。也就是说,可以直接利用鼠标在模型窗口中画出所需要的控制系统模型,然后再利用该软件提供的功能来对控制系统直接进行模拟。很明显,这种做法使得一个原本很复杂的系统变得相当容易输入。SIMULINK 的出现,使得 MATLAB 在控制系统仿真以及电脑辅助设计(CAD)中的应用开创了崭新的一页。

现在的 SIMULINK 都直接捆绑在 MATLAB 之上,版本也从 1993 年的 MATLAB4.0/Simulink 1.0 版升级到了 2007 年的 MATLAB 7.3/Simulink 6.6 版,并且可以针对任何能够用数学描述的系统进行建模,例如航空航天动力学系统、卫星控制制导系统、通讯系统、船舶及汽车动力学系统等,其中包括连续、离散、条件执行、事件驱动、单速率、多速率和混杂系统等。由于 SIMULINK 的仿真平台使用方便、功能强大,因此后来拓展的其它模型库也都共同使用这个仿真环境,成为了 MATLAB 仿真的公共平台。

3. SimPowerSystems 库发展简史

SimPowerSystems 库是 SIMULINK 下面的一个专用模块库,是在 SIMULINK 环境下进行电力、电子系统建模和仿真的先进工具。它建立在加拿大的 Hydro-Quebec 电力系统测试和仿真实验室的实践经验基础之上,并由 Hydro-Quebec 和 TECSIM International 公司共同开发而成,功能非常强大。SimPowerSystems 库提供了一种类似电路建模的方式进行模型绘制,在仿真前自动将仿真系统图变化成状态方程描述的系统形式,然后在 SIMULINK 下进行仿真分析。它为电路、电力电子系统、电机系统、发电、输变电系统和配电计算提供了强有力的解决方法,尤其是当设计开发内容涉及控制系统设计时,优势更为突出。

1998 年,当时以 Power System Blockset(PSB)命名的电力系统模块集跟随 MATLAB 5.2 一同推出。该模块集中包含电力系统常见的元器件和设备,以直观易用的图形方式对电力系统进行模型描述,并可与其它 SIMULINK 模块相连接,进行一体化的系统级动态分析。

2002 年, MATLAB 推出了 R13 版本,将 Power System Blockset 更名为 SimPowerSystems,当年的版本号为 2.3。

2003 年 9 月推出的 SimPowerSystems 3.0 有了较大的改进。它明确定义了 SIMULINK 端口与电力线路端子端口之间的区别,并专门为电力系统物理建模提供了相关端子端口,强调不得将电力端口连接到 SIMULINK 的输入和输出端口;规定 SimPowerSystems 3.0 中的模块可以只有端子端口,也可以只有 SIMULINK 端口,还可同时兼有二者;对早期 SimPowerSystems 和 Power System Blockset 版本中的分析命令进行重新命名。

2004 年 9 月推出的 SimPowerSystems 4.0 对 SIMULINK 进行了扩展,提供了可适合基本电子电路和具体电力系统的建模与仿真工具。这些工具可以对发电、输电和配电以及机电能量转换的过程进行高效建模。SimPowerSystems 4.0 提供了新的应用程序库,其中包括电气驱动模型、柔性交流输电系统(FACTS)模型和适合普通风能发电系统的分布式能源模型。

表 1-1 为 MATLAB、SIMULINK 和 SimPowerSystems 的版本号以及对应的发布时间。

表 1-1 MATLAB、SIMULINK 和 SimPowerSystems 的版本号以及对应的发布时间

时 间	MATLAB	SIMULINK	SimPowerSystems
1984	MATLAB		
1993	MATLAB 4.2	SIMULIB	
1996	MATLAB 5.0.1 (R08)		
1997	MATLAB 5.1 (R09)	SIMULINK 2.0	
1998	MATLAB 5.2 (R10)	SIMULINK 2.2	Power System Blockset 1.0
1999.1	MATLAB 5.3 (R11)	SIMULINK 3.0	Power System Blockset 1.1
1999.11	MATLAB 5.3.1 (R11.1)	SIMULINK 3.0.1	
2000	MATLAB 6.0 (R12)	SIMULINK 4.0	Power System Blockset 2.1
2001	MATLAB 6.1 (R12.1)	SIMULINK 4.1	Power System Blockset 2.2
2002	MATLAB 6.5 (R13)	SIMULINK 5	SimPowerSystems 2.3
2003.2	MATLAB 6.5.1 (R13 SP1)	SIMULINK 5.1	SimPowerSystems 3.0
2004.6	MATLAB 7.0 (R14)	SIMULINK 6.0	SimPowerSystems 3.1
2004.9	MATLAB 7.0.1 (R14 SP1)	SIMULINK 6.1	SimPowerSystems 4.0
2005.3	MATLAB 7.0.4 (R14 SP2)	SIMULINK 6.2	SimPowerSystems 4.0.1
2005.9	MATLAB 7.1 (R14 SP3)	SIMULINK 6.3	SimPowerSystems 4.1.1
2006.3	MATLAB 7.2 (R2006a)	SIMULINK 6.4	SimPowerSystems 4.2
2006.9	MATLAB 7.3 (R2006b)	SIMULINK 6.5	SimPowerSystems 4.3
2007.3	MATLAB 7.3 (R2007a)	SIMULINK 6.6	SimPowerSystems 4.4

1.2.2 MATLAB/SIMULINK 产品分类

1. MATLAB/SIMULINK 产品

MATLAB 产品家族可以用图 1-1 表示。

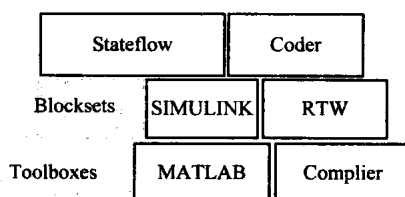


图1-1 MATLAB产品家族

图中，Compiler 是一种编译工具，它能够将那些利用 MATLAB 提供的编程语言(M 语言)编写的函数文件编译生成为函数库、可执行文件 COM 组件等。这样就可以扩展 MATLAB 功能，使 MATLAB 能够同其它高级编程语言，例如 C/C++ 语言进行混合应用，取长补短，以提高程序的运行效率，丰富程序开发的手段。

Stateflow 是一个交互式的设计工具，它基于有限状态机的理论，可以用来对复杂的事件驱动系统进行建模和仿真。

Real-Time Workshop(RTW)和 Coder 是两种主要的自动化代码生成工具，这两种代码生成工具可以直接将 SIMULINK 的模型框图和 Stateflow 的状态图转换成高效优化的程序代

码。利用 RTW 生成的代码简洁、可靠、易读。目前 RTW 支持生成标准的 C 语言代码，并且具备了生成其它语言代码的能力。整个代码的生成、编译以及相应的目标下载过程都可以自动完成，用户需要做的仅仅是使用鼠标点击几个按钮即可。MathWorks 公司针对不同的实时或非实时操作系统平台，开发了相应的目标选项，配合不同的软硬件系统，可以完成快速控制原型(Rapid Control Prototype)开发、硬件在回路的实时仿真(Hardware-in-Loop)、产品代码生成等工作。

在 MATLAB 产品家族中，MATLAB 工具箱是整个体系的基座，它是一个语言编程型(M 语言)开发平台，提供了体系中其它工具所需要的集成环境(比如 M 语言的解释器)。同时由于 MATLAB 对矩阵和线性代数的支持，使得工具箱本身也具有强大的数学计算能力。目前 MATLAB 产品的工具箱有四十多个，分别涵盖了数据采集、科学计算、控制系统设计与分析、数字信号处理、数字图像处理、金融财务分析以及生物遗传工程等专业领域。

图 1-2 所示为 MATLAB/SIMULINK 的主要产品及其相互关系。

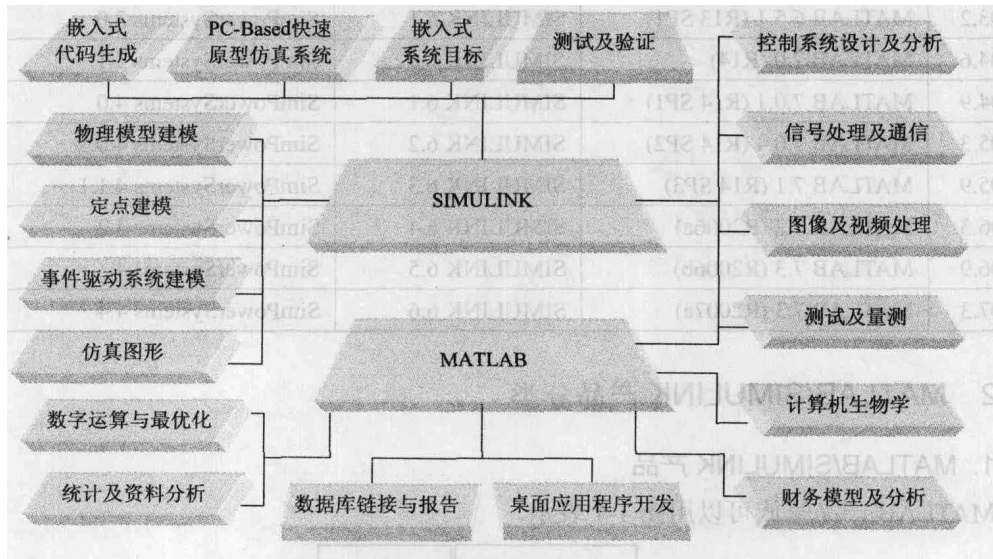


图 1-2 MATLAB/SIMULINK 的主要产品及其相互关系

2. SimPowerSystems 库产品

SimPowerSystems 4.0 中含有 130 多个模块，分布在 7 个可用子库中。这 7 个子库分别为“应用子库(Application Libraries)”、“电源子库(Electrical Sources)”、“元件子库(Elements)”、“附加子库(Extra Library)”、“电机子库(Machines)”、“测量子库(Measure-ments)”和“电力电子子库(Power Electronics)”。此外，SimPowerSystems 4.0 中还含有一个功能强大的图形用户分析工具 Powergui 和一个废弃的“相量子库”(Phasor Elements)。这些模块可以与标准的 SIMULINK 模块一起，建立包含电气系统和控制回路的模型，并且可以用附加的测量模块对电路进行信号提取、傅里叶分析和三相序分析。应用子库中含有适合于普通风能发电系统的分布式能源模型、特种电机模型和 FACTS 模型。电源子库中含有交流电压源、直流电压源、受控电压源和受控电流源模型。元件子库中含有 RLC 支路和负载、线性和饱和变压器、断路器、传输线模型、物理端口模型。电机子库中包含详细或简化形式的异步电机、同步电机、永磁同步电机、直流电机、励磁系统、水力

与蒸汽涡轮—调速系统模型。电力电子子库中含有二极管、简化/复杂晶闸管、GTO、开关、MOSFET、IGBT 和通用桥式电路模型。测量子库中含有电压、电流、电抗测量模块，以及万用表测量模块。附加子库中包含内容较多，主要和系统离散化、控制、计算和测量有关，包括 RMS 测量、有效和无功功率计算、傅里叶分析、HVDC 控制、轴系变换、三相 V-I 测量、三相脉冲和信号发生、三相序列分析、三相 PLL 和连续/离散同步 6/12 脉冲发生器等。

这些模块，有些将在后面几章中进行介绍，但是大多数模块还需要读者对照 MATLAB 提供的帮助文件进行学习。

1.2.3 MATLAB/SIMULINK 的特点

1. MATLAB 的特点

自从 MathWorks 公司推出 MATLAB 后，MATLAB 以其优秀的数值计算能力和卓越的数据可视化能力很快在数学软件中脱颖而出。随着版本的不断升级，它在数值计算及符号计算功能上得到了进一步完善。

MATLAB 的特点可概括为以下七点：

(1) 提供了便利的开发环境。MATLAB 提供了一组可供用户操作函数和文件的具有图形用户界面的工具，包括 MATLAB 主界面、命令窗口、历史命令、编辑和调试、在线浏览帮助、工作空间、搜索路径设置等可视化工具窗口。

(2) 提供了强大的数学应用功能。MATLAB 可进行包括基本函数、复杂算法、更高级的矩阵运算等非常丰富的数学应用功能，特别适合矩阵代数领域。它还具有许多高性能数值计算的高级算法，库函数极其丰富，使用方便灵活。

(3) 编程语言简易高效。MATLAB 提供了和 C 语言几乎一样多的运算符，灵活使用 MATLAB 的运算符将使程序变得极为简短。MATLAB 既具有结构化的控制语句(如 for 循环、while 循环、break 语句和 if 语句)，又有面向对象编程的特性。MATLAB 程序书写形式自由，利用丰富的库函数避开繁杂的子程序编程任务，压缩了一切不必要的编程工作。程序限制不严格，程序设计自由度大，并且有很强的用户自定义函数的能力。

(4) 图形功能强大。在如 FORTRAN 和 C 等一般编程语言里，绘图都很不容易。但 MATLAB 提供了丰富的绘图函数命令，使得用户数据的可视化非常简单。MATLAB 还具有较强的编辑图形界面的能力，用户可方便地在可视化环境下进行个性化图形编辑和设置。

(5) 提供了功能强大的工具箱。MATLAB 包含两个部分：核心部分和各种可选的工具箱。核心部分中有数百个核心内部函数。工具箱又分为两类：功能性工具箱和学科性工具箱。功能性工具箱主要用来扩充其符号计算功能、图示建模仿真功能、文字处理功能以及与硬件实时交互功能。功能性工具箱用于多种学科。学科性工具箱专业性比较强，如 control、signal processing、communication、powersys toolbox 等。这些工具箱都是由相关领域内的专家编写的，所以用户无需编写自己学科范围内的基础程序，直接可以进行高、精、尖的研究。

(6) 应用程序接口功能强大。MATLAB 提供了方便的应用程序接口，用户可以使用 C 或 FORTRAN 等语言编程，实现与 MATLAB 程序的混合编程调用。

(7) MATLAB 的缺点。和其它高级程序相比，MATLAB 程序的执行速度较慢。由于