

附DVD

电力电子、电机控制系统的 建模和仿真

DIANLI DIANZI、DIANJI KONGZHI XITONG DE
JIANMO HE FANGZHEN

洪乃刚 编著



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

电力电子、电机控制系统的 建模和仿真

洪乃刚 编著



机械工业出版社

本书以 MATLAB 为基础,介绍了 MATLAB 电气系统模型库模块及其功能,并以实例介绍了电力电子和电机控制系统的建模和仿真方法,内容包括 AC/DC、DC/DC、DC/AC、AC/AC 的各种变换电路,直流调速系统和交流调速系统等。为了适应现代数字化控制系统的发展,本书在连续系统的建模仿真外,还介绍了采样离散系统的建模和仿真方法。

本书附有仿真模型光盘,最大限度地为读者学习提供了方便。

本书可用于高等学校电类专业的选修课教材,也可供研究生和技术研究人员参考和使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力电子、电机控制系统的建模和仿真/洪乃刚编著. —北京:机械工业出版社,2010.1

ISBN 978-7-111-29137-4

I. 电… II. 洪… III. ①电力电子学-系统建模②电力电子学-计算机仿真③电机-控制系统-系统建模④电机-控制系统-计算机仿真 IV. TM1-39 TM301.2-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 217081 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:林春泉 责任编辑:赵玲丽 版式设计:张世琴

封面设计:鞠杨 责任校对:陈立辉 责任印制:洪汉军

北京市朝阳展望印刷厂印刷

2010年2月第1版第1次印刷

184mm×260mm·17印张·415千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-29137-4

ISBN 978-7-89451-416-5 (光盘)

定价:33.00 (含1CD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

销售二部:(010) 88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

电力电子和电力拖动控制系统的仿真越来越受到业内各方面人士的关注，它不仅是教学和学习的重要手段和工具，在研究及工程设计中也发挥了越来越重要的作用。用仿真来代替实际系统的试验，在计算机上研究和设计系统，这不仅省时、省力，降低成本和缩短研发周期，并且还可以获得更丰富、详细的数据资料。仿真就是要讲究“真”，使在计算机上建立的模型能完全反映实际的物理系统，随着众多学者卓绝的工作和现代计算机性能的提高，这一目标已经可以实现。2006年作者出版了《电力电子和电力拖动控制系统的 MATLAB 仿真》，在这几年中 MATLAB 发生了很大变化，模型库更新的速度很快，电力电子系统的仿真功能愈来愈强，几乎各种复杂的电力电子电路和交直流调速系统都可以通过仿真来研究，作者也做了一些新的工作，在这基础上撰写了本书，书中的模型也按新版 MATLAB 做了更新。

《电力电子和电力拖动控制系统的 MATLAB 仿真》一书的模型是在 MATLAB 6.1 版本基础上做的，现在显然是不够了，在 MATLAB 6.5 版本以上，原有的模型可能打不开，或者打开后不能运行，这是因为新旧 power system 器件模型库有很大变化，其中主要的变化是老版本中 power system 模块都使用 SIMULINK 的信号接口，而 MATLAB 6.5 版本以后的电路元器件模块改用了电路接口，这使原来在低版本上做的模型在新版本上不能直接使用，需要用“psbupdate”命令转换，并且转换后的模型还需要进行调整，即高版本对低版本不完全兼容，带来了使用上的不方便，这也是需要重写本书的原因之一，本书在 MATLAB 7.1 版本上完成。

现在电力电子和电力拖动的控制都是微机和数字化的，因此本书在连续系统的仿真外增加了采样离散系统的仿真。在 MATLAB 7.0 版本之后，Simpower system 增加了一个 Application Libraries 模型库，库中包含了常见的各种直流和交流调速系统模块，模型采用了采样和离散控制，本书选择其中一些主要的模块进行了介绍和剖析，为读者研究微机控制的数字化系统提供范例。

《电力电子和电力拖动控制系统的 MATLAB 仿真》出版后，许多读者反映按照书中介绍所构建的模型在运行时仍有困难，这往往是模块参数设置的问题，参数设置对模型很重要，考虑到这一点，作者在本书中提供了参考的参数，但是因为电力电子电路的相似性，为了避免过多的重复，使内容显得很繁琐，在书中前面介绍过的内容在书后面再用到时就简略了，这使仅对某一模型感兴趣的读者感到不便，例如调节器是调速系统常用的模块，在直流调速系统中作了介绍，在交流系统中就不再重复。为了更好地促进电力电子系统的仿真研究和方便读者，本书附了一张光盘，提供了书中介绍的 40 余个仿真模型。模型在 MATLAB 7.1 版本基础上制作，直接调用输入模块参数就可以运行，这是作者多年工作的积累，提供读者学习和研究使用，希望能起到抛砖引玉的作用。

本书由洪乃刚编著，研究生章晋武、董德智、谢达伟、丁文鹏、徐杰、汤代彬、王红然、蔡公华、郝隆等也参与了本书的编写，并为本书仿真模型做了大量工作，在此深表感谢。

《电力电子和电力拖动控制系统的 MATLAB 仿真》出版后收到众多读者来信，对读者的热烈响应表示衷心的感谢，对于一些读者的求助，因为学识和时间关系未能一一作答，在此也表示歉意，对于本书的不到之处，欢迎读者批评指正，联系邮箱 hongnaigang@ahut.edu.cn。

洪乃刚
2009年6月
于安徽工业大学

目 录

前言

第 1 章 MATLAB 基础	1
1.1 MATLAB 介绍	1
1.2 MATLAB 的安装和启动	2
1.3 MATLAB 环境	3
1.3.1 MATLAB 的主菜单	3
1.3.2 MATLAB 的工具栏	4
1.3.3 MATLAB 的命令窗口 (Command Window)	5
1.3.4 MATLAB 的工作间 (Workspace)	5
1.4 MATLAB 的计算基础	6
1.4.1 常量和变量	6
1.4.2 数组、矩阵的表示和赋值	7
1.4.3 MATLAB 的算术运算	8
1.4.4 MATLAB 的关系运算	8
1.4.5 MATLAB 的逻辑运算	8
1.4.6 MATLAB 的特殊运算符	9
1.4.7 MATLAB 常用的函数	9
1.5 MATLAB 程序设计基础	10
1.5.1 表达式、表达式语句和赋值语句	10
1.5.2 流程控制语句	11
1.6 其他 MATLAB 的常用命令	12
1.7 MATLAB 的绘图功能	13
1.7.1 直角坐标中的二维曲线	13
1.7.2 多条曲线的绘制	14
1.7.3 曲线的线型和颜色	15
1.7.4 MATLAB 的图形窗口	16
1.8 电力电子电路波形图的绘制	19
第 2 章 SIMULINK 环境和模型库	23
2.1 系统仿真 (SIMULINK) 环境	23
2.1.1 SIMULINK 的工作环境	24
2.1.2 模型库浏览器 (SIMULINK Library Browser)	27
2.1.3 SIMULINK 的仿真步骤	32
2.1.4 系统模型的保存和调用	36
2.1.5 SIMULINK 的仿真算法	37
2.1.6 示波器 (Scope) 的使用和数据保存	38
2.1.7 建立子系统	41
2.2 SIMULINK 模型库中的模块	43
2.2.1 连续系统子模块库	43
2.2.2 离散系统模块库	44
2.2.3 函数与表格模块库	45
2.2.4 数学运算模块库	45
2.2.5 非线性模块库	47
2.2.6 信号与系统模块库	47
2.2.7 仪器仪表模块库	49
2.2.8 信号源模块库	49
2.2.9 子系统模块库	50
2.3 电力系统模型库	50
2.3.1 电源模块库	51
2.3.2 电器元件模块库	52
2.3.3 电机模块库	54
2.3.4 电力电子元件模块库	56
2.3.5 测量仪器模块库	56
2.3.6 其他电气模块库	57
2.3.7 应用举例模型库	61
第 3 章 电力电子器件模型	66
3.1 二极管模型	67
3.2 晶闸管模型	68
3.3 可关断晶闸管模型	69
3.4 电力场效应晶体管模型	69
3.5 绝缘栅双极型晶体管模型	70
3.6 理想开关模型	71
3.7 三相桥式整流电路模块	72
3.7.1 三相桥式不控整流电路模块	72
3.7.2 三相桥式可控整流电路模块	72
3.8 通用桥式电路模块	73
3.9 三电平变流器模块	75
3.10 驱动模块	76

3.10.1 同步六脉冲发生器	76	6.2.2 带电流截止负反馈的转速单闭环 调速系统仿真	153
3.10.2 十二脉冲发生器	77	6.3 转速电流双闭环控制的直流调速 系统仿真	154
3.10.3 PWM 脉冲发生器	78	6.3.1 按直流双闭环系统动态结构图的 仿真	155
第4章 变压器和电动机模型	80	6.3.2 使用 power system 模块的直流双闭环 系统仿真	158
4.1 变压器模型	80	6.4 直流可逆调速系统的仿真	159
4.1.1 单相变压器模型	80	6.4.1 $\alpha = \beta$ 配合控制的有环流可逆调速 系统	160
4.1.2 单相多绕组变压器	81	6.4.2 逻辑控制无环流直流可逆调速系统 仿真	166
4.1.3 三相变压器模型	82	6.5 直流 PWM-M 可逆调速系统	171
4.1.4 互感线圈	83	6.5.1 H 型主电路的仿真	171
4.2 直流电机模型	84	6.5.2 双极式控制直流 PWM-M 可逆调速 系统仿真	173
4.3 交流电机模型	89	6.5.3 受限单极式直流 PWM-M 可逆调速 系统仿真	174
4.3.1 三相交流异步电动机模型	90	第7章 交流调速系统的仿真	178
4.3.2 交流同步电机模型 (基本型)	92	7.1 交流异步电动机性能的仿真 研究	178
4.3.3 永磁同步电机模型	94	7.1.1 异步电动机连接正弦电压工作	178
4.3.4 磁阻电机模型	96	7.1.2 PWM 变频器-电动机系统仿真	180
4.3.5 交流电机测量单元	98	7.2 交流电动机减压软起动系统 仿真	182
第5章 电力电子变流电路的仿真	100	7.3 转速开环恒压频比控制的交流 异步电动机调速系统仿真	184
5.1 交流-直流变换器	100	7.4 矢量坐标变换的仿真	188
5.1.1 单相桥式全控整流电路仿真	100	7.4.1 三相静止坐标系和两相静止坐标系的 变换	188
5.1.2 三相桥式全控整流电路仿真	109	7.4.2 两相静止坐标系和两相旋转坐标系的 变换	188
5.1.3 不控整流电路和电容性负载仿真	115	7.4.3 三相静止坐标系和两相旋转坐标系的 变换	189
5.2 直流-直流变换器	120	7.4.4 矢量坐标变换的仿真	190
5.2.1 直流降压变换器设计	120	7.5 交流异步电动机的磁链观察	191
5.2.2 直流升压变换器设计	122	7.5.1 转子磁链计算的电流模型	191
5.2.3 Cuk 升降压变换电路仿真	124	7.5.2 转子磁链的电压模型	192
5.2.4 桥式直流 PWM 变换器仿真	124	7.5.3 转子磁链模型的仿真	193
5.2.5 AC/DC/AC/DC 开关电源的仿真	127	7.6 交流异步电动机矢量控制调速	
5.3 直流-交流变换器	130		
5.3.1 三相电压型 SPWM 逆变器仿真	130		
5.3.2 电流跟踪型逆变器仿真	132		
5.4 交流-交流变换器	136		
5.4.1 单相交流调压器仿真	137		
5.4.2 三相交流调压电路仿真	139		
5.4.3 交-交变频电路的仿真	142		
第6章 直流调速系统的仿真	147		
6.1 直流电动机开环调速系统的 仿真	147		
6.2 转速闭环控制的直流调速系统 仿真	150		
6.2.1 带转速负反馈的有静差直流调速 系统	150		

系统的仿真	196	8.3 四象限斩波控制直流调速系统	227
7.6.1 转差频率控制的异步电动机矢量控制 系统仿真	196	8.3.1 Four-Quadrant Chopper DC Drive 模块	227
7.6.2 带转矩内环的转速、磁链闭环矢量 控制系统仿真	199	8.3.2 模型结构	230
7.6.3 无速度传感器的矢量控制系统 仿真	202	8.4 三相异步电动机磁场定向矢量 控制系统	236
7.7 永磁同步电动机的仿真	205	8.4.1 转速控制器	237
7.7.1 正弦波永磁同步电动机变频调速 系统仿真	205	8.4.2 定向控制器	238
7.7.2 梯形波永磁同步电动机变频调速 系统仿真	207	8.4.3 模块应用举例 AC3	239
第8章 离散控制调速系统仿真	210	8.5 三相异步电动机直接转矩控制 系统	243
8.1 两象限三相整流器直流调速系统 模块	210	8.5.1 转矩和定子磁链计算	244
8.1.1 模块参数	211	8.5.2 磁通和转矩滞环控制器	245
8.1.2 两象限三相整流器直流调速系统 模型	213	8.5.3 磁链选择器	245
8.1.3 模块应用举例 DC3	219	8.5.4 开关表	246
8.2 四象限晶闸管控制直流调速系统 模块	221	8.5.5 开关控制模块	247
8.2.1 离散的 $\alpha = \beta$ 有环流控制可逆 系统	221	8.5.6 模块应用举例 AC4	249
8.2.2 离散的无环流控制可逆系统	223	8.6 三相异步电动机空间矢量控制 系统	251
		8.6.1 转速控制器模块	253
		8.6.2 矢量控制模块	253
		8.6.3 模块应用举例 AC2	257
		参考文献	261

第 1 章 MATLAB 基础

1.1 MATLAB 介绍

MATLAB 是一种科学计算软件。MATLAB 是 Matrix Laboratory (矩阵实验室) 的缩写, 这是一种以矩阵为基础的交互式程序计算语言。早期的 MATLAB 主要用于解决科学和工程的复杂数学计算问题。由于它使用方便、输入便捷、运算高效、适应科技人员的思维方式, 并且有绘图功能, 有用户自行扩展的空间, 特别受到用户的欢迎, 使它成为在科技界广为使用的软件, 也是国内外高校教学和科学研究的常用软件。

MATLAB 由美国 Mathworks 公司于 1984 年开始推出, 历经升级, 到 2001 年已经有了 6.0 版, 现在 MATLAB 6.1、6.5、7.0 版本都已相继面世。早期的 MATLAB 在 DOS 环境下运行, 1990 年推出了 Windows 版本。1993 年, Mathworks 公司又推出了 MATLAB 的微机版, 充分支持在 Microsoft Windows 界面下的编程, 它的功能越来越强大, 在科技和工程界广为传播, 是各种科学计算软件中使用频率较高的一种软件。

MATLAB 比较易学, 它只有一种数据类型 (即 64 位双精度二进制), 一种标准的输入输出语句, 它用解释方式工作, 不需要编译, 一般入门后经过自学就可以掌握。如果有不清楚的地方, 可以通过它的帮助 (help) 和演示 (demo) 功能得到启示。MATLAB 学习的难点在于它有大量函数, 这些 MATLAB 函数仅基本部分就有 700 多个, 其中常用的就有 200 ~ 300 个, 掌握和记忆比较困难。

1993 年出现了 SIMULINK, 这是基于框图的仿真平台, SIMULINK 挂接在 MATLAB 环境中, 以 MATLAB 的强大计算功能为基础, 以直观的模块框图进行仿真和计算。在 SIMULINK 环境中提供了各种仿真工具, 尤其是它不断扩展的、内容丰富的模块库 (SIMULINK Library Browser), 为系统的仿真提供了极大便利。在 SIMULINK 平台上, 拖拉和连接典型模块就可以绘制仿真对象的模型, 并对模型进行仿真。在 SIMULINK 平台上, 仿真模型的可读性很强, 这就避免了在 MATLAB 窗口使用 MATLAB 命令和函数仿真时, 需要记忆大量 M 函数的麻烦, 对广大工程技术人员无疑是最好的福音。现在的 MATLAB 都同时捆绑了 SIMULINK, SIMULINK 的版本也在不断地升级, 从 1993 年 MATLAB 4.0/SIMULINK 1.0 版到, 2001 年 MATLAB 6.1/SIMULINK 4.1 版, 2002 年推出从 MATLAB 6.5/SIMULINK 5.0 版本, 2005 年推出了 MATLAB 7.1/SIMULINK 6.3 版。本书仿真是在 MATLAB 7.1/SIMULINK 6.3 版的基础上进行, 到本书出版时, MATLAB 又有了更新的版本。现在 MATLAB 已经不是单纯的“矩阵实验室”, 它已经是一个高级的计算和仿真平台。

SIMULINK 原本是为控制系统的仿真而建立的工具箱 Toolbox, 在使用中, 它很易编程、易拓展, 并且可以解决一般难以解决的非线性、变系数等问题; 它能支持连续系统和离散系统的仿真, 支持连续离散混合系统的仿真, 也支持线性和非线性系统的仿真, 并且支持多种采样频率 (Multirate) 系统的仿真, 也就是不同的系统能以不同的采样频率组合, 这样就可

以仿真较大、较复杂的系统。因此，各学科领域根据自己的仿真需要，以 MATLAB 为基础，开发了大量的专用程序，并把这些程序以模块的形式都放入到 SIMULINK 中，形成了模块库 SIMULINK Library Browser。SIMULINK 的模块库实际上就是用 MATLAB 基本语句编写的子程序集，现在 SIMULINK 模块库有三级树状的子目录，在一级目录 SIMULINK 下，包含了最早开发的数学计算工具箱和控制系统工具箱的内容，以及之后开发的信号处理工具箱（DSP Blockset）、通信系统工具箱（Communication Blockset）等等也并行列入模块库的一级子目录，逐级打开模块库浏览器（SIMULINK Library Browser）的目录，就可以看到这些模型库中包含的模块。

从 SIMULINK 4.1 版开始有了电力系统模块库（Power System Blockset），该模块库主要是由加拿大 HydroQuebec 公司和 TECSIM International 公司共同开发的。在 SIMULINK 环境下用电力系统模型库的模块可以方便地进行 RLC 电路、电力电子电路、电机控制系统和电力系统的仿真。本书中电力电子和电力拖动控制系统的仿真就是在 MATLAB/SIMULINK 环境下，主要使用电力系统模块库 SimPower System Blockset 和 SIMULINK 进行的。通过电力电子电路和电机控制系统的仿真，不仅展示了 MATLAB/SIMULINK 的强大功能，并且学习了控制系统仿真的方法和技巧，可以深入地研究电路和系统的原理和性能。由于 SIMULINK 和 MATLAB 的密切依存关系，在介绍 SIMULINK 之前，必须首先介绍 MATLAB。MATLAB 的一些基本命令和函数，尤其是 MATLAB 的绘图功能，是电力电子和电力拖动控制系统仿真经常要使用的。但是，本书主要介绍电力电子和电力拖动控制系统的仿真，因此对 MATLAB 只介绍与本书有关的内容。MATLAB 功能强大，有关 MATLAB 的书籍已经很多，如果读者有对 MATLAB 更深入了解的要求，可以阅读其他有关 MATLAB 的书籍。

1.2 MATLAB 的安装和启动

MATLAB 光盘插入光驱后启动，如果操作系统是 Windows98 或 Windows2000 等，系统会自动地进入和运行安装程序，出现图 1-1 所示的 MATLAB 启动界面，并随后出现图 1-2 所示的安装对话框，按对话框的提示，按“Next”键即可完成 MATLAB 的安装。在安装过程中需要输入用户名称、公司及产品注册码等。在安装中可以选择安装组件，如果磁盘空间不足，可以减少一些暂时不用的组件。

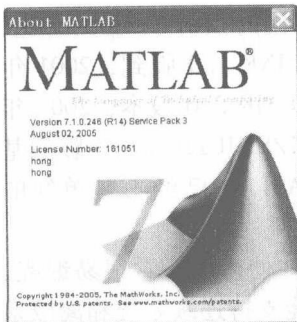


图 1-1 MATLAB 启动界面

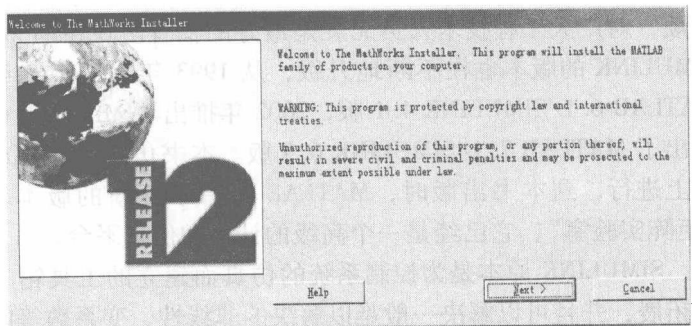


图 1-2 MATLAB 安装对话框

在 MATLAB 安装结束时，可以选择“立即重新启动计算机”或“暂不重新启动计算机”。安装完成后，在 Windows 桌面上会自动生成 MATLAB 快捷键图标。

不同 MATLAB 版本的安装过程会有不同，但大体是相同的。

1.3 MATLAB 环境

在桌面上双击 MATLAB 快捷键图标或者在开始菜单里点击“MATLAB”的选项，即可进入 MATLAB 环境。进入 MATLAB 环境，即打开了 MATLAB 窗口（见图 1-3）。环境包括 MATLAB 标题栏、主菜单栏和常用工具栏。在默认显示状态时，在工具栏下有三个子窗口，左边上方窗口显示 MATLAB 联机说明书目录或工作间的内容，两者可以通过子窗口下方的“Current Directory”和“Workspace”键切换。左边下方窗口显示已执行的命令（Command History）。右方窗口是 MATLAB 的命令子窗口，这是 MATLAB 的主要工作窗口，在这个窗口中，在提示符“>>”后逐行输入 MATLAB 命令，按回车键后命令就能立即得到执行。

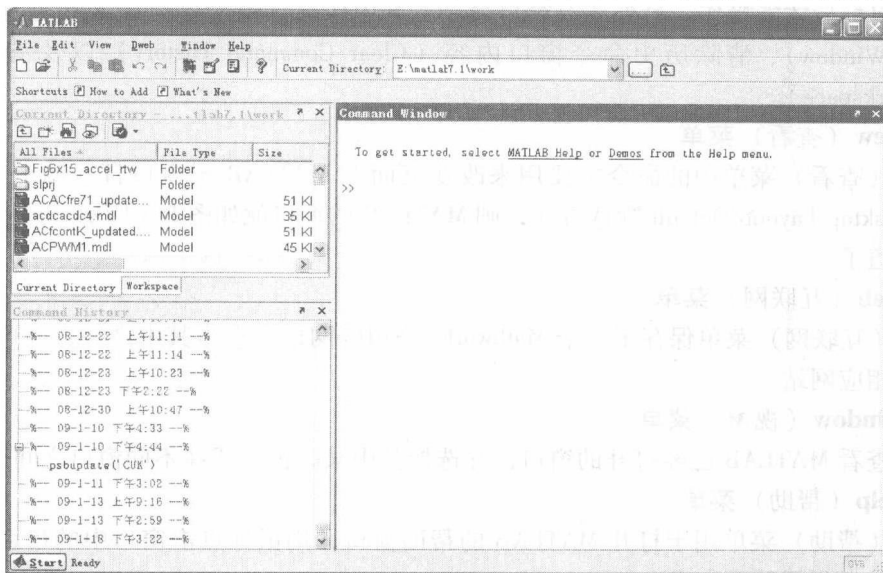


图 1-3 MATLAB 的工作环境

1.3.1 MATLAB 的主菜单

MATLAB 的主菜单有 File、Edit、View、Web、Window 和 Help 6 项。点击菜单命令，就会显示下拉子菜单的内容。这些菜单的内容与其他应用程序的菜单区别不大，因此下面只选择一些主要的来说明。

1. File（文件）菜单

1) “New”：创建一个新文件，有多种文件“M-file”、“Figure”、“Model”等可选。选择“Model”即可进入 Simulink 环境，以绘制仿真模型方式对电路和系统仿真，这是本书的主要仿真方式。

2) “Open”：打开一个名为“work”的文件夹，这是 MATLAB 默认的保存文件的地方。

只要文件保存时没有另外指定文件保存的路径，MATLAB 系统就将文件保存在“work”文件夹中。

3) “Close Command Window”：点击该项可以切换窗口显示。

4) “Import Data”：打开 MATLAB/work 文件夹中带 .mat 后缀的数据文件，并将数据放到工作间 (Workspace) 中备用。

5) “Save workspace As…”：保存工作间 (workspace) 中的数据。

6) “Set Path…”：打开 MATLAB 的路径浏览器，搜索 MATLAB 所有文件的路径。

7) “Preferences…”：可以打开一个 MATLAB 的参数设置对话框，供用户改变工作环境的外观和相关操作的属性。

8) “Print…”：打印。

2. Edit (编辑) 菜单

Edit (编辑) 菜单中包括了撤销 (Undo)、恢复 (Redo)、剪切 (Cut)、复制 (Copy)、粘贴 (Paste)、(Paste Special…)、全选 (Select All)、消除 (Delete) 等命令，这些命令都要在选中目标后才能操作。另外还有窗口命令，其中包括清除命令窗口显示的内容 (Clear Command Window)、清除历史命令窗口内容 (Clear Command History) 以及清空工作间 (Clear Workspace)。

3. View (查看) 菜单

View (查看) 菜单中的命令主要用来改变桌面上 MATLAB 子窗口打开的个数和排列，如选择 Desktop Layout/Default 默认方式，则 MATLAB 的窗口就如图 1-3 所示，读者只要试验几次就知道了。

4. Web (互联网) 菜单

Web (互联网) 菜单保存了三个 Mathworks 公司的网址，点击其中之一，即可联网进入该公司的相应网站。

5. Window (视窗) 菜单






用来查看 MATLAB 已经打开的窗口，并选择其中某一窗口或在不同窗口之间进行切换。





6. Help (帮助) 菜单

Help (帮助) 菜单用于打开 MATLAB 的帮助窗口，用鼠标点击窗口中的帮助主题或浏览器，可以得到帮助的内容。

1.3.2 MATLAB 的工具栏

在 MATLAB 的工具栏上有 9 个主要按钮，为用户提供了常用命令的快捷方式，其功能如下：

- 1)  用于打开 MATLAB 的 M 文件 (M-file) 编辑器，用编辑器编辑一个 M-file 新文件。
- 2)  用于打开一个已经存在的文件，它的默认方式是打开 MATLAB 中文件夹 work 中的模型文件。
- 3)  用于将选中的文档剪切下来，并放到粘贴板上。
- 4)  用于复制选定的文档，放到粘贴板上备用。
- 5)  用于将保存在粘贴板上的文档粘贴到指定的位置上。

- 6)  用于撤销最近的一次操作。
- 7)  用于恢复最近的一次操作。
- 8)  用于打开 SIMULINK 模块库浏览器，进入 SIMULINK 仿真环境。
- 9)  用于打开 MATLAB 帮助文件。

1.3.3 MATLAB 的命令窗口 (Command Window)

MATLAB 命令窗口有一行提示 “To get started, select MATLAB Help or Demos from the Help menu”，点击词 “MATLAB Help”，可以打开 MATLAB 手册，点击 “Demos”，可以打开 MATLAB 的仿真举例，从而获得帮助。

MATLAB 的命令窗口是 MATLAB 的主要工作区，是人机对话的主要环境。在命令窗口键入各种命令，可以得到相应的结果。如图 1-4 所示在命令窗口中键入了一个简单的代数算式： $10.5 + 3 \times 4(2.1 + 3.4)/2$ ，按回车键后得到计算结果是 43.5。关于 MATLAB 的命令和基本运算，将在后面作相应的介绍。

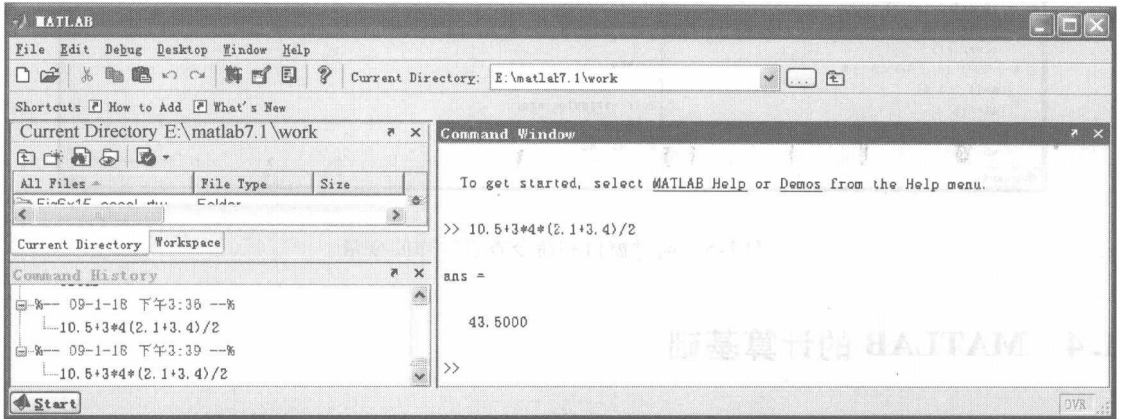


图 1-4 MATLAB 命令窗口

1.3.4 MATLAB 的工作间 (Workspace)

MATLAB 的工作间 (Workspace) 是暂时存放 MATLAB 命令或程序的运行结果以及程序 (或命令) 中出现的常数和变量的一个空间。在进入 MATLAB 环境时，MATLAB 工作间 (Workspace) 就自动同时打开。在运行 MATLAB 程序时，程序中的变量就会存放到工作间中，程序运行的结果也以变量的形式保存在工作间中。

工作间的变量可以在窗口中看到，也可以用命令 “who” 或 “whos” 查看当前工作间中的所有变量。其中 “Who” 命令只给出变量名，“whos” 命令不仅给出变量名，还同时给出变量的大小和数据类型。用命令 “clear” 可以删除清空工作间中的变量和数据。如图 1-5 所示，右边窗口给 A、A1、A2 三个变量赋值，最后用 “who” 命令查看了工作间的变量。将左上窗口切换到 “workspace”，通过此窗口可以显示工作间的变量及变量的大小和类型。在左下窗口则给出了在命令窗口已经执行过的历史命令。

工作间中的变量和数据可以用 “File” 菜单中的 “Save workspace As ...” 命令保存。

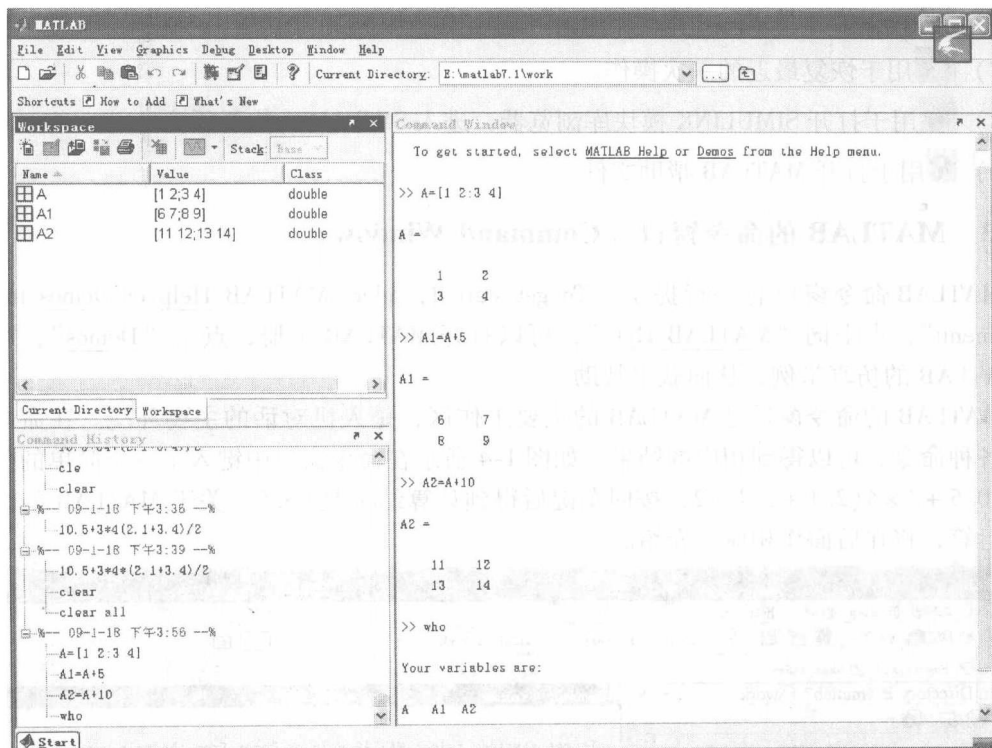


图 1-5 通过窗口和命令查看工作间变量

1.4 MATLAB 的计算基础

MATLAB 的计算主要是数组和矩阵的计算，并且定义的数值元素是复数，这是 MATLAB 的重要特点。函数是计算中必不可少的，MATLAB 函数的变量不需要事先定义，它已在命令语句中首次出现而自然定义，这在使用中很方便。使用 MATLAB/SIMULINK 仿真，MATLAB 的计算大部分已经模块化了，但是掌握一些必要的计算知识和定义还是很必要的。

1.4.1 常量和变量

MATLAB 数值计算的数据有常量和变量两种，变量和常量都可以用标识符来表示和辨别，这些标识符也就是变量名，变量在数值计算前必须首先赋值。

(1) 常量 MATLAB 的常量有实数和复数两类，复数又有实部和虚部两部分，MATLAB 定义的数值元素是复数，因此实数是复数虚部为零的特殊情况。常量可以是十进制数，也可以用其他数制表示。

在 MATLAB 中，虚数的单位为“i” ($i = \sqrt{-1}$)，复数的生成语句为：

$$z = a + bi$$

式中， a 、 b 为实数； z 为复数名。

或

$$z = r * \exp(\theta * i)$$

式中, r 为复数的模; θ 为复数的复角 (弧度)。

MATLAB 常数的存储格式是 16 位长型格式, 数值的有效范围是 $10^{-308} \sim 10^{+308}$ 。

(2) 变量 MATLAB 变量的命名规则是:

- 1) 变量名以英文字母开始, 即首字符必须是英文 26 个字母之一。
- 2) 变量名可以由英文字母、数字和下划线组成, MATLAB 能区分字母的大小写。
- 3) 变量名长度不超过 31 个字符长度。

4) 如果在变量名前添加了关键词 “global”, 该变量就成为全局变量, 全局变量不仅在主程序中起作用, 在调用的子程序和函数中也起作用。定义全局变量必须在主程序的首行, 这是一般惯例。

MATLAB 有一些规定的常量和变量, 这些常量和变量见表 1-1。

表 1-1 MATLAB 规定的常量和变量

常量和变量名	说 明
ANS(或 ans)	默认变量名, 用于应答最近一次的操作、运算结果
i 或 j	虚数单位
pi	圆周率 π
eps	浮点数的相对误差
realmax	最大的实正数
realmin	最小的实正数
INF(或 inf)	无穷大
NaN(或 nan)	表示不定值(即 0/0)
nargin	函数实际输入的参数个数
nargout	函数实际输出的参数个数

1.4.2 数组、矩阵的表示和赋值

数组是指按一定次序排列的数, 矩阵是由 $m \times n$ 个数, 按 m 行和 n 列排列而成的“表”。数组可以是一维的, 也可以是 n 维的, 因此一维数组可以看成是一行多列的矩阵, 是矩阵的特殊情况, 一般也称为行向量, 而一系列多行的矩阵称为列向量, n 维数组一般也就是矩阵了。单个的数或标量可以看成是 1×1 的矩阵, 所以数、数组都可以用矩阵表示, MATLAB 也以矩阵作为运算的基本单元。MATLAB 既支持数组的运算也支持矩阵的运算, 但是数组与矩阵的运算有很大的不同, 数组的运算对数组中每个元素都执行相同的操作, 而矩阵的运算则按线性代数的法则进行。

(1) 一维数组的表示和赋值 一维数组 (行向量) 是用方括号括起的一组元素 (或数), 元素之间用空格或逗号分隔, 组成数组的元素可以是具体的数值、变量名或算式。举例如下:

$$x = [1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6]$$

x 为数组名, 1、2、3、4、5、6 为组成数组的元素, 元素之间以空格分隔。

$$y = [7, 8, 9, 1 + 2i, 3 + 4i]$$

数组元素包含复数, 元素间以逗号分隔。

$$z = [1, 2, 3, a, b, c]$$

包含变量的数组，a、b、c 为变量名。

$$p = [\pi, 2 * \pi, 1.3 * \sqrt{3}, (1 + 2) / 5 * 4]$$

以算式表示的数组。

(2) n 维数组、矩阵的表示和赋值 n 维数组或矩阵的表示和赋值的规则是矩阵或数组的元素列入方括号 [] 中：每行的元素间用空格或逗号分隔，行与行之间用分号或回车键隔开。如

$$A = [1 \ 2 \ 3; 4 \ 5 \ 6; 7 \ 8 \ 9]$$

A 为矩阵名，方括号内表示一个 3×3 的矩阵。

矩阵内的元素可以是数值、变量或者表达式。如

$$B = [1, 2, 3; a, b (a + b) / 2]$$

1.4.3 MATLAB 的算术运算

MATLAB 的算术运算符见表 1-2。

表 1-2 MATLAB 的算术运算符

算术运算符	说明	算术运算符	说明
+	加	\	矩阵左除
-	减	./	数组左除
*	矩阵乘	/	矩阵右除
.*	数组乘	./	数组右除
^	矩阵乘方	'	矩阵转置
.^	数组乘方	.'	数组转置

1.4.4 MATLAB 的关系运算

所谓关系运算是指两个元素之间的比较，关系运算的结果只可能是 0 或 1。0 表示该关系式不成立，即为“假”；1 表示该关系式成立，即为“真”。MATLAB 的关系运算有 6 种，见表 1-3。

表 1-3 MATLAB 的关系运算符

关系运算符	说明	关系运算符	说明
==	等于	<	小于
~=	不等于	>=	大于等于
>	大于	<=	小于等于

1.4.5 MATLAB 的逻辑运算

逻辑量只有 0 (假) 和 1 (真) 两个值，逻辑量的基本运算有：与 (&)、或 (|) 和非 (~) 三种。有时也包括异或运算 (xor)，异或运算可以通过三种基本运算组合而成。基本逻辑运算的真值见表 1-4。

表 1-4 基本逻辑运算的真值表

逻辑运算	A = 0		A = 1	
	B = 0	B = 1	B = 0	B = 1
A&B	0	0	0	1
A B	0	1	1	1
~A	1	1	0	0
xor(A,B)	0	1	1	0

1.4.6 MATLAB 的特殊运算符

MATLAB 有一些特殊运算符在命令和计算中使用, 这些特殊运算符见表 1-5。要指出的是, 这些特殊运算符在英文状态下输入有效, 在中文状态下输入则无效。

表 1-5 MATLAB 的特殊运算符

特殊运算符	说 明
:	冒号, 输入行向量, 从向量、数组、矩阵中取指定元素、行和列, 大矩阵中取小矩阵
;	分号, 用于分隔行
,	逗号, 用于分隔列
()	圆括号, 用于表示数学运算中的先后次序
[]	方括号, 用于构成向量和矩阵
{ }	大括号, 用于构成单元数组
.	小数点或域访问符
..	父目录
...	用于语句末端, 表示该行未结束
%	用于注释
!	用于调用操作系统命令
=	用于赋值

1.4.7 MATLAB 常用的函数

MATLAB 的函数极为丰富, 这里仅列举一些常用的数学函数 (见表 1-6)

表 1-6 常用的数学函数

分类	函数	说明	分类	函数	说明
三角函数	sin	正弦	三角函数	sec	正割
	cos	余弦		csc	余割
	tan	正切		cot	余切
	asin	反正弦		asec	反正割
	acos	反余弦		acsc	反余割
	atan	反正切		acot	反余切
	atan2(x,y)	4 象限反正切		sech	双曲正割
	sinh	双曲正弦		csch	双曲余割
	cosh	双曲余弦		coth	双曲余切
	tanh	双曲正切		asech	反双曲正割
	asinh	反双曲正弦		acsch	反双曲余割
	acosh	反双曲余弦		acoth	反双曲余切
	atanh	反双曲正切			