



普通高等教育 $\frac{\text{电气工程}}{\text{自动化}}$ 系列规划教材

Simulation of Power Electronics and
Electric Motor Control System

电力电子电机

控制系统仿真技术

◎ 洪乃刚 编著

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育 $\frac{\text{电气工程}}{\text{自动化}}$ 系列规划教材

电力电子电机控制 系统仿真技术

洪乃刚 编著



机械工业出版社

本书以电机控制系统为主线介绍 MATLAB 仿真,介绍了 MATLAB/Simulink 仿真平台和模型库,以及按电路和系统结构图建立仿真模型的方法。内容包括控制系统的计算机辅助分析,电力电子电路和交直流调速系统的建模和仿真。书中模型覆盖了自动控制原理、电机和拖动,以及电力电子技术和电力拖动控制系统等课程内容。本书可作为电气工程、自动化等专业和其他电类专业教材,也可供研究生和工程技术人员学习参考。

本书提供电子课件、全部电路和系统模型,请到 <http://www.cmpedu.com> 本书相关页面上下载。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力电子电机控制系统仿真技术/洪乃刚编著.
—北京:机械工业出版社,2013.8
普通高等教育 电气工程 自动化 系列规划教材
ISBN 978-7-111-42876-3

I. ①电… II. ①洪… III. ①电机-控制系统-系统
仿真-高等学校-教材 IV. ①TM301.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 127699 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:于苏华 责任编辑:于苏华
版式设计:常天培 责任校对:程俊巧
封面设计:张静 责任印制:张楠
北京京丰印刷厂印刷
2013 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷
184mm×260mm·15.25 印张·374 千字
标准书号:ISBN 978-7-111-42876-3
定价:29.80 元

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

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

电力电子和电机拖动控制是电类专业的主要课程，现代电机控制是集电力电子、电机和微处理器控制于一体的复杂系统，电力电子电路和电机的种类多，控制要求不同，为学习、研究、设计和应用都增加了难度。建立在计算机辅助设计基础上的现代仿真技术不需要真实的仪器和设备，在计算机上设计系统并演示系统的运行，不仅对课程学习很有帮助，而且是研究设计的重要手段，掌握仿真技术，将仿真引入教学，对教学改革和创新能力培养有很大意义。

自从《电力电子和电力拖动控制系统的 MATLAB 仿真》和《电力电子、电机控制系统的建模和仿真》两本书出版以来，受到了教师、学生和科技人员的关注，但是这两本科技图书主要是反映电力电子和电力拖动控制系统仿真方面做的一些工作，而且缺少习题和 PPT 课件，不适宜作为教材使用。因此笔者编写了这本教材，希望能为仿真技术在教学中的推广应用发挥更好的作用。

现代自动化的内涵极其丰富，数字控制、网络信息技术改变了自动化的面貌，MATLAB 模型库也在不断更新，现在有关 MATLAB 的论著已经很多。本书从电气工程、自动化专业的教学要求出发，结合教学中的一条主线——电机和拖动控制介绍仿真技术，精选了仿真模型，内容覆盖自动控制原理、电机和拖动，以及电力电子技术和电力拖动控制等课程的仿真应用。

本书第 1 章 MATLAB 及其在自动控制理论中的应用，在 MATLAB 的基础上结合自动控制原理课程介绍了用 MATLAB 命令以传递函数描述系统，画系统根轨迹、伯德图等方法，使学生通过实例学习 MATLAB 命令，也为控制系统提供了计算机辅助分析方法。第 2 章 Simulink 环境和结构图仿真，重点介绍了 MATLAB/Simulink 仿真平台和模型库，以及在 Simulink 仿真平台上根据系统结构图调用模块建立系统仿真模型的方法。结构图是表达控制系统最简洁的方式，使用 Simulink 模块仿真是很实用的技术。第 3 章电力电子模块及其应用介绍了 Simulink 模型库的电力电子模块和变流电路仿真，主要介绍了晶闸管整流电路和直流斩波电路的建模和仿真，关于电力电子逆变器将在第 6 章中结合交流电动机调速介绍。第 4 章变压器和电机模块及其应用中的实例结合了电机和拖动课程内容。第 5 章直流调速、第 6 章交流调速和第 7 章矢量控制是电力拖动控制系统课程的主要内容，涵盖了该课程主要系统的建模。用模型分析和设计系统，将现代仿真技术引入教学是教学创新的一项举措。仿真使复杂的原理变得直观，可以直接反映系统组成部分的功能和控制的效果，是教和学的有益助手，掌握这项技术也可为研究和设计创造良好的条件。

本书提供电子课件和书中全部电路和系统模型，模型在 MATLAB7.1 版基础上设计制作，与新版 MATLAB 基本兼容，模型名与书中图号对应，如 Fig2x31.mdl 即是第 2 章图 2.31 的模型，在 MATLAB 上打开模型，设置模块参数后就可以运行，书中还提供了模型参考参数，方便读者使用。为了避免重复，减少篇幅，本书对涉及的电路和系统原理仅作扼要说明，重点在仿真上，对电路和系统的详细分析可参考有关教材。关于何时开设该课程，笔者

建议可与自动控制原理和电机拖动等课并行开设，根据教学计划选讲一定章节，使学生尽早掌握仿真方法，之后其他系统的仿真可以布置学生自学进行。章晋武、董德智、谢达伟、丁文鹏、徐杰、汤代斌、蔡公华及郝隆等同志为本书模型做过许多工作，在此深表感谢。

洪乃刚 于安徽工业大学

目 录

前言

第 1 章 MATLAB 及其在控制理论中的应用	1
1.1 计算机仿真与 MATLAB	1
1.2 MATLAB 环境	2
1.2.1 MATLAB 主菜单	3
1.2.2 MATLAB 工具栏	4
1.2.3 MATLAB 命令窗口	5
1.2.4 MATLAB 工作间	5
1.3 MATLAB 计算基础	6
1.3.1 常量和变量	6
1.3.2 数组和矩阵的表示和赋值	7
1.3.3 MATLAB 的算术运算	8
1.3.4 MATLAB 的关系运算	8
1.3.5 MATLAB 的逻辑运算	8
1.3.6 MATLAB 的特殊运算符	8
1.3.7 MATLAB 常用函数	9
1.4 MATLAB 程序设计基础	9
1.4.1 表达式、表达式语句和赋值语句	10
1.4.2 流程控制语句	10
1.5 其他 MATLAB 常用命令	12
1.6 MATLAB 的绘图功能	12
1.6.1 图形窗口	12
1.6.2 二维曲线绘图命令 plot	16
1.6.3 三维曲线和曲面	20
1.7 MATLAB 在控制理论中的应用	21
1.7.1 传递函数表示方法	21
1.7.2 求特征方程的根和根轨迹	22
1.7.3 控制系统频域分析	25
1.8 调速系统传递函数分析	27
1.8.1 典型系统分析	27
1.8.2 直流转速闭环控制系统分析	30
本章小结	34
习 题	34
第 2 章 Simulink 环境和结构图仿真	36
2.1 Simulink 系统仿真环境	37
2.1.1 Simulink 环境的进入	37
2.1.2 Simulink 窗口菜单命令	38

2.2 模型库浏览器	40
2.2.1 Simulink 模型库的打开	41
2.2.2 模块的基本操作	42
2.3 Simulink 仿真步骤和模型建立	45
2.3.1 Simulink 仿真步骤	45
2.3.2 模型的保存和调用	48
2.4 Simulink 的仿真算法	48
2.4.1 可变步长类算法	49
2.4.2 固定步长类算法	50
2.5 示波器的使用和数据保存	50
2.5.1 示波器的参数	51
2.5.2 图形缩放	52
2.5.3 浮动示波器	53
2.6 建立子系统模块	53
2.6.1 建立子系统	53
2.6.2 子系统模型的封装	55
2.7 Simulink 在调速系统中的应用	55
2.7.1 PI 调节器建模和特性研究	55
2.7.2 直流转速控制系统动态结构图仿真	60
本章小结	63
习 题	63
第3章 电力电子模块及其应用	65
3.1 电力电子器件模型	66
3.1.1 二极管模型	66
3.1.2 晶闸管模型	67
3.1.3 可关断晶闸管模型	68
3.1.4 电力场效应晶体管模型	68
3.1.5 绝缘栅双极型晶体管模型	69
3.1.6 理想开关模型	70
3.2 桥式电路模块	70
3.2.1 三相桥式不控整流电路模块	70
3.2.2 三相桥式可控整流电路模块	71
3.2.3 通用桥式电路模块	72
3.2.4 三电平变流器模块	74
3.3 驱动模块	74
3.3.1 同步六脉冲发生器	75
3.3.2 PWM 脉冲发生器	76
3.4 晶闸管整流电路仿真	77
3.4.1 单相半波整流电路仿真	77
3.4.2 单相桥式整流电路仿真	80
3.4.3 三相桥式整流电路仿真	84
3.5 直流 PWM 斩波器仿真	85
3.5.1 直流降压斩波器设计	85

3.5.2 直流升压斩波器设计	87
3.5.3 Cuk 升降压斩波电路仿真	90
本章小结	92
习题	92
第4章 变压器和电机模块及其应用	94
4.1 变压器模型	94
4.1.1 单相变压器	94
4.1.2 单相多绕组变压器	95
4.1.3 三相变压器	96
4.1.4 互感线圈	97
4.1.5 变压器模型应用	98
4.2 直流电机模型	100
4.2.1 直流电机模型结构	100
4.2.2 直流电动机模块的使用	102
4.3 交流异步电机模型	106
4.3.1 三相交流异步电机模型	107
4.3.2 异步电动机特性仿真	109
4.4 交流同步电机模型	113
4.4.1 基本型同步电机模型	113
4.4.2 同步电动机模型使用举例	116
4.5 永磁同步电机	121
4.5.1 正弦波永磁电机模型	121
4.5.2 梯形波永磁电机模型	122
本章小结	123
习题	124
第5章 直流调速系统仿真	125
5.1 晶闸管-直流电动机系统模型	125
5.1.1 晶闸管直流开环调速系统模型	125
5.1.2 系统模型参数设置	127
5.1.3 仿真和系统分析	129
5.1.4 谐波分析	132
5.2 转速闭环控制的直流调速系统仿真	134
5.2.1 ASR 采用比例调节器	135
5.2.2 ASR 采用比例-积分调节器	136
5.2.3 带电流截止负反馈的转速闭环调速系统	136
5.3 转速电流双闭环控制直流调速系统仿真	139
5.3.1 按直流双闭环系统动态结构图的仿真	140
5.3.2 使用 SimPowerSystems 模块的直流双闭环系统仿真	142
5.4 直流可逆调速系统建模和仿真	144
5.4.1 直流 PWM 斩波调压可逆调速系统原理	144
5.4.2 PWM 控制模块设计	146
5.4.3 PWM 斩波可逆系统模型和参数	147
5.4.4 双极式控制 PWM 可逆系统仿真	149

5.4.5 受限单极式可逆调速系统仿真	151
5.4.6 转速电流闭环控制直流 PWM-M 可逆系统仿真	152
本章小结	156
习题	156
第 6 章 交流电动机调速系统仿真	157
6.1 SPWM 变频器-异步电动机系统	157
6.1.1 SPWM 变频器-异步电动机系统模型	157
6.1.2 SPWM 变频器-异步电动机系统仿真	158
6.2 恒压频比控制的异步电动机调速系统	162
6.2.1 恒压频比变频调速系统的组成	162
6.2.2 恒压频比控制调速系统模型	162
6.2.3 恒压频比控制调速系统仿真	164
6.3 绕线式异步电动机调速系统	166
6.3.1 绕线式异步电动机串电阻调速系统仿真	166
6.3.2 绕线式异步电动机串级调速系统仿真	167
6.4 永磁同步电动机调速系统仿真	172
6.4.1 梯形波永磁同步电动机调速原理	172
6.4.2 梯形波永磁同步电动机调速系统建模	173
6.4.3 梯形波永磁同步电动机调速系统仿真	175
本章小结	177
习题	177
第 7 章 交流电动机矢量控制系统仿真	178
7.1 三相坐标系/二相坐标系的变换	178
7.1.1 坐标系变换原理	178
7.1.2 坐标系变换模块和使用	179
7.2 异步电动机磁链观察	182
7.2.1 转子磁链的电流模型	182
7.2.2 转子磁链的电压模型	184
7.2.3 转子磁链模型仿真	184
7.3 转差频率控制异步电动机矢量控制系统建模和仿真	187
7.3.1 转差频率控制原理	187
7.3.2 转差频率控制系统模型	188
7.3.3 模型参数和仿真	189
7.4 带转矩内环的转速、磁链闭环矢量控制系统仿真	191
7.4.1 带转矩内环的转速、磁链闭环矢量控制系统原理	191
7.4.2 电流滞环控制型逆变器	192
7.4.3 带转矩内环的转速、磁链闭环矢量控制系统建模和仿真	195
7.5 正弦波永磁同步电动机矢量控制系统仿真	198
7.5.1 正弦波永磁同步电动机矢量控制原理	198
7.5.2 正弦波永磁同步电动机矢量控制系统组成和仿真	198
本章小结	201
习题	201
附录	202

附录 A Simulink 模型库	202
附录 B 电力系统模型库	219
参考文献	233

第 1 章 MATLAB 及其在控制理论中的应用

1.1 计算机仿真与 MATLAB

仿真是用物理的或数学的模型来描述或模仿实际的物体、环境、装置或系统，例如用沙盘推演战场，用水槽模仿水文环境，早年的模拟计算机用电阻、电感、电容和运算放大器等组成的电路来求解数学方程，研究声、光、电，动力学等各种问题。仿真以简单的模型代替实际，成本低、效率高，用模型不仅可以研究现实存在，而且可以推演和预测发展，所以历来受到重视。仿真可分物理模型仿真和数学模型仿真两类，物理模型仿真需要实体装置，相比之下数学模型仿真更省时、省力、节省经费，受到人们青睐，现代仿真主要是指在数学模型基础上的仿真。

以数学模型仿真实际物体或系统，是依据它们有内在的相似的数学规律，但是简单的数学方程可以求解析结果，复杂的、高阶的数学方程就需要用数值解法，现代计算机技术的发展和普及推动了仿真技术的迅速发展，并形成了一个新兴的学科。20 世纪 60 年代出现的控制系统的计算机辅助设计（Computer-Aided Control System Design, CACSD）标志着仿真技术进入了一个新的时期，出现了大量通用的数字仿真软件和语言，MATLAB 就是其中之一。

MATLAB 是“矩阵实验室”（Matrix Laboratory）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，特别受用户的欢迎，所以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，使它的功能越来越强大，在科技和工程界广为应用，是各种科学计算软件中使用频度最高的软件之一。


MATLAB 比较易学，它只有一种数据类型（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，其中常用的就有二三百个，掌握和记忆比较困难。

1993 年 MATLAB 中出现了 Simulink，这是基于框图的仿真平台，Simulink 挂接在 MATLAB 首页面上，它以 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。Simulink 原本是为控制系统仿真而建立的工具箱（Toolbox），在使用中由于它易编程，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；支持线性和非线性系统的仿真，连续系统和离散系统的仿真，以及连续和离散混合系统的仿真，并且系统中可以有多种采样频率（Multirate），也就是不同采样频率的系统可以组合，因此可以仿真规模较大、较复杂的系统。Simulink 提供了不断扩展的、内容丰富的模型库（Simulink Library Browser），为复杂系统的仿真提供了极大方便。Simulink 的直译是仿真链接，在 Simulink 平台上通过拖拉和连接模块就可以绘制仿真对象的模型框图，并对模型进行仿真。在 Simulink 平台上的仿真模型可读性很强，这避免了早期 MATLAB 要使用命令和函数编写仿真程序的麻烦，也不再需要记忆大量 M 函数，受到广大工程技术人员欢迎。现在 MATLAB/Simulink 的版本在不断地升级，1993 年为 MATLAB 4.0/Simulink 1.0 版本，2001 年为 MATLAB 6.1/Simulink 4.1 版本，2002 年推出 MATLAB 6.5/Simulink 5.0 版本，2005 年推出 MATLAB 7.1/Simulink 6.3 版。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放入到 Simulink 中，形成了模块库。模块库实际上就是用 MATLAB 基本语句编写的子程序集。本书仿真是在 MATLAB 7.1/Simulink 6.3 版本基础上进行的，MATLAB 已经不是单纯的“矩阵实验室”，它已经是一个内容丰富的高级计算和仿真平台。模块库有三级树状目录，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，逐级打开模块库浏览器的目录，就可以检索到这些模块库中包含的模块。

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 和 TECSIM International 公司共同开发的。在 Simulink 平台上用电力系统模块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 两个模块库进行的。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，并且可以学习控制系统仿真的方法和技巧，研究电路和系统的原理和性能。本书的仿真基本上在 MATLAB 7.1/Simulink 6.3 版本的基础上进行，但也适用于其他 MATLAB 新版本，在 MATLAB 版本升级中，电力系统模块库 SimPower System Blockset 不断有新模块增加，但是仿真的方法没有大的变化，因此在原版本上开发的系统在新版本上可以通用。由于 Simulink 和 MATLAB 的密切依存关系，在介绍 Simulink 之前需首先介绍 MATLAB。MATLAB 的一些基本命令和函数，尤其 MATLAB 的绘图功能是电力电子和电力拖动控制系统仿真时经常要使用的，但是本书主要是介绍电力电子和电力拖动控制系统的仿真，因此对于 MATLAB，只介绍与本书有关的内容和在自动控制理论中的应用。

1.2 MATLAB 环境

图 1.1 所示为 MATLAB 启动界面，图 1.2 所示为 MATLAB 安装对话框。安装 MATLAB 后，在桌面上双击 MATLAB 快捷键图标即可进入 MATLAB 环境。进入 MATLAB 环境，即打开了的 MATLAB 窗口（见图 1.3）。窗口包括 MATLAB 标题栏、主菜单栏和常用工具栏。在默认显示状态时，工具栏下有三个子窗口，右边上方窗口显示 MATLAB 联机说明书

目录或工作间 (Workspace) 的内容, 两者可以通过子窗口下方的 Launch Pad 和 Workspace 键切换。右边下方窗口显示已被执行过的命令 (Command History)。左方窗口是 MATLAB 的命令窗口 (Command Window), 这是 MATLAB 的主要工作窗口, 在该窗口中提示符 “>>” 后逐行输入 MATLAB 命令, 回车后命令就立即被执行。

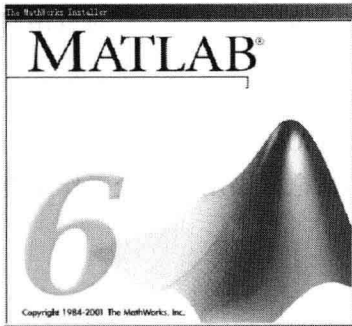


图 1.1 MATLAB 启动界面

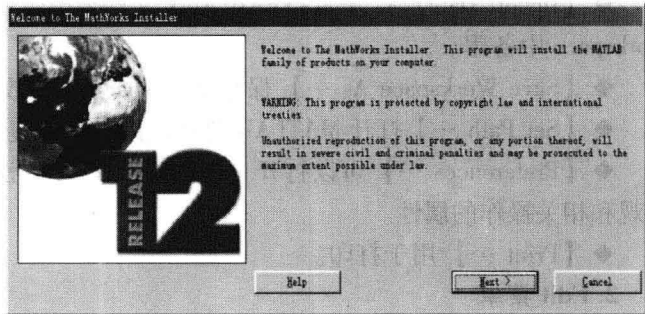


图 1.2 MATLAB 安装对话框

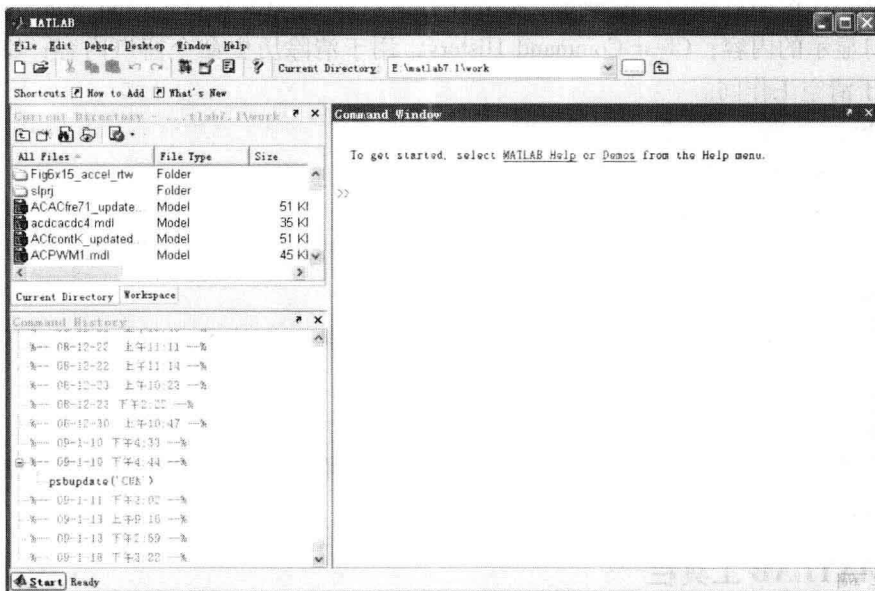


图 1.3 MATLAB 工作环境

1.2.1 MATLAB 主菜单

MATLAB 的主菜单有 File (文件)、Edit (编辑)、Debug (调试)、Desktop (桌面)、Window (视窗) 和 Help (帮助) 五项。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, 因此只选一些主要的进行说明。

1. File 菜单

◆ 【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进行仿真, 这是本书的主要仿真方式。

◆ 【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。

◆ 【Close Command Window】可以切换窗口显示。

◆ 【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 Workspace 中备用。

◆ 【Save Workspace As ...】保存 Workspace 中的数据。

◆ 【Set Path ...】打开 MATLAB 的路径浏览器，搜索 MATLAB 所有文件的路径。

◆ 【Preferences ...】可以打开一个 MATLAB 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。

◆ 【Print ...】用于打印。

2. Edit 菜单

Edit 菜单中包括了【Undo】撤销、【Redo】恢复、【Cut】剪切、【Copy】复制、【Paste】粘贴、【Paste to Workspace...】粘贴到工作间、【Select All】全选、【Delete】清除等命令，这些命令都要在选中目标后才能操作。另外还有窗口命令：Clear Command Window，用于清除命令窗口显示的内容；Clear Command History，用于清除历史命令窗口内容；Clear Workspace，用于清空工作间。

3. Debug（调试）菜单

Debug 菜单提供了开发调试 M 文件的环境和工具。

4. Desktop（桌面）菜单

Desktop（桌面）菜单用于改变桌面上打开的子窗口。

5. Window 菜单


Window 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 菜单

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


1.2.2 MATLAB 工具栏


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


◆  用于打开 MATLAB 的 M 文件（M-file）编辑器，用编辑器编辑一个新的 M-file 文件。




◆  打开一个已经存在的文件，它的默认方式是打开 MATLAB 文件夹 work 中的模型文件。

◆  将选中的文档剪切下来，并放到粘贴板上。

◆  复制选定的文档，放到粘贴板上备用。

◆  将保存在粘贴板上的文档粘贴到指定的位置。

◆  撤消最近的一次操作。

- ◆  恢复最近的一次操作。
- ◆  打开 Simulink 模块库浏览器，进入 Simulink 仿真环境。
- ◆  打开 MATLAB 帮助文件。

1.2.3 MATLAB 命令窗口

MATLAB 命令窗口中有一行提示，单击“[MATLAB Help](#)”可以打开 MATLAB 手册，单击“[Demos](#)”可以打开 MATLAB 的仿真范例，从中获得帮助。

MATLAB 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，在命令窗口中键入一个简单的代数算式： $10.5 + 3 * 4 * (2.1 + 3.4) / 2$ ，回车后得到计算结果 43.5。关于 MATLAB 的命令和基本运算将在后面介绍。

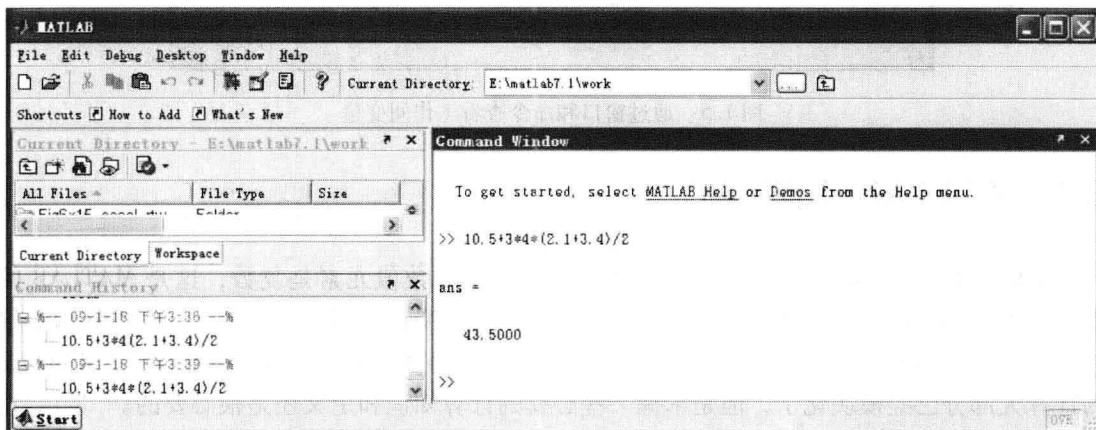


图 1.4 MATLAB 命令窗口

1.2.4 MATLAB 工作间

MATLAB 工作间是用于暂时存放 MATLAB 命令，程序（或命令）中出现的常数和变量以及程序运算结果的一个空间。在进入 MATLAB 环境时，MATLAB 工作间自动同时打开。在运行 MATLAB 程序时，程序中的变量会存放到工作间中，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 `clear` 命令可以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` 命令查看工作间的变量。将左上窗口切换到“Workspace”，通过此窗口同样可以显示工作间的变量及变量大小和类型。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。

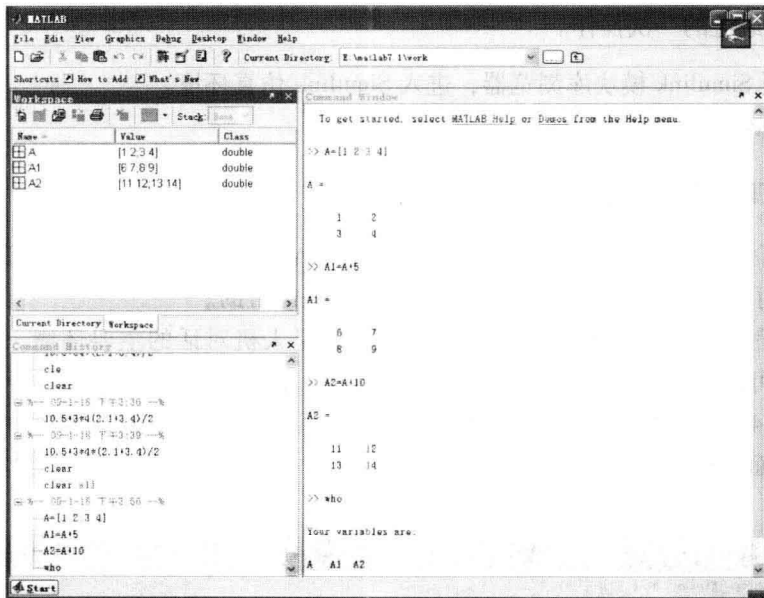


图 1.5 通过窗口和命令查看工作间变量

1.3 MATLAB 计算基础

MATLAB 中计算的主要是数组和矩阵，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，它以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 仿真时，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。

1.3.1 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，复数有实部和虚部，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：

$z = a + bi$ (其中 a、b 为实数，z 为复数)

或

$z = r * \exp(\theta * i)$ (其中 r 为复数的模， θ 为复数的幅角 (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 26 个英文字母之一。
- 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，而且在调用的子程序和函数中起作用。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)	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

1.3.2 数组和矩阵的表示和赋值

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，一列多行的矩阵称为列向量，而 n 维数组一般也就是矩阵了。单个的数或标量则可以看成是 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）是用方括号括起来的一组元素（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。

$p = [\pi, 2 * \pi, 1.3 * \text{sqrt}(3), (1+2) / 5 * 4]$ 以算式表示的数组。

2. n 维数组和矩阵的表示和赋值

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：

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