

# 电力电子和电力拖动 控制系统的

# MATLAB 仿真

洪乃刚 等编著



# 电力电子和电力拖动控制 系统的 MATLAB 仿真

洪乃刚 等编著



机械工业出版社

本书介绍了 MATLAB 及其图形仿真界面 SIMULINK 的应用基础知识, 详细介绍了 SIMULINK 模型库的电力电子和电机模块的功能和使用, 并通过大量实例介绍了电力电子电路和交直流调速系统的仿真方法和技巧。

本书可以作为高等学校电力电子技术和电力拖动自动控制系统类课程的教学辅助或选修课教材, 也可供相关专业研究生和工程技术人员学习与参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

电力电子和电力拖动控制系统的 MATLAB 仿真/洪乃刚等编著. —北京: 机械工业出版社, 2006.1

ISBN 7-111-18042-9

I. 电... II. 洪... III. 电力传动 - 控制系统 - 计算机仿真 - 计算机辅助计算 - 软件包, MATLAB IV. TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 146011 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 林春泉 徐明煜 版式设计: 张世琴 责任校对: 李秋荣

封面设计: 陈 沛 责任印制: 杨 曦

北京机工印刷厂印刷

2006 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

1000mm × 1400mm B5 · 8.625 印张 · 333 千字

0 001—4 000 册

定价: 23.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换。

本社购书热线电话 (010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

20 世纪 60 年代发展起来的电力电子技术,使电能可以变换和控制,产生了现代各种高效、节能的新型电源和交直流调速装置,为工业生产,交通运输,楼宇、办公、家庭自动化提供了现代化的高新技术,提高了生产效率和人们的生活质量,使人类社会生产、生活发生了巨大变化。随着新型电力电子器件的研究和开发以及先进控制技术的发展,电力电子和电力拖动控制装置的性能也不断优化和提高,这种变化的影响将越来越大。

电力电子技术和电力拖动控制系统综合了电子电路、电机拖动、自动控制理论、微机原理和应用等多学科的知识,并且是两门实践性和应用性很强的课程。由于电力电子器件自身的开关非线性,给电力电子电路和系统的分析带来了一定的复杂性和困难,一般常用波形分析和分段线性化处理的方法来研究电力电子电路。现代计算机仿真技术为电力电子电路和系统的分析提供了崭新的方法,可以使复杂的电力电子电路、系统的分析和设计变得更加容易和有效,也是学习电力电子技术和电力拖动控制系统的重要手段。

仿真是在计算机平台上虚拟实际的物理系统。早在 20 世纪 50 年代,人们就研究利用计算机的高速计算能力来帮助设计人员进行复杂的设计,以数学模型代替实际的物理器件和装置。到 20 世纪 60 年代随着数字计算机的出现和普及、数值算法的完善,出现了大量通用的数字仿真语言及软件,并产生了控制系统计算机辅助设计软件包(CADCS),CADCS 的出现对控制系统的研究起了巨大的作用。但是使用软件包仿真对大多数用户来说还是件不容易的事情,它需要编写调用软件包的程序,要熟悉各种子程序的功能,对非专业人员来说是困难的。现代的仿真软件,各种功能的子程序已经模块化,利用这些模块就可以方便地连接成给定系统的仿真模型,使它更适合广大工程技术人员的使用,成为科研、设计人员以及学生学习的必备工具和好助手。

现在用于电力电子电路和电力拖动控制系统的仿真软件已有多种,其中最具有影响的当推 PSPICE 和 MATLAB。PSPICE 是美国加州大学伯克利分校推出的集成电路分析程序 SPICE 的微机版,广泛应用于电子电路的设计。早期的 MATLAB 主要用于控制系统的仿真和分析,经过不断扩展已经成为包含通信、电气工程、优化控制等诸多领域的科学计算软件。这两个软件都有很好的人机对话图形界面和丰富的模型库,在近几年的版本中已经都包含了电力电子器件和电机的模型,可以用于电力电子电路和电力拖动控制系统的仿真。笔者认为,这两个软件在电力电子电路和电力拖动控制系统的仿真方面各有特点,PSPICE 的电

#### IV

子元器件模型种类齐全,模型精细,使用它可以从事复杂精巧的大规模集成电路的设计和制造。MATLAB 的电力电子器件使用的是宏模型,主要只是反映器件的外特性,但是它有强大的控制功能,用于系统的仿真更方便。这两者可以说是各有千秋,现在这两种软件也在互相渗透和融合,即 PSPICE 可以连接 MATLAB, MATLAB 也可以连接 PSPICE。本书仿真是在 MATLAB 的基础上进行的,主要考虑是 MATLAB 在科技界使用广泛和在系统仿真上的优势。

笔者在电力电子技术和电力拖动控制系统课程的教学中逐步引入了仿真,对于加深学生对这两门课程的理解,引导学生对电力电子电路和调速控制系统的兴趣方面都起到了良好的作用。掌握了仿真的方法,当学生有一些想法和创造的灵感时,马上可以通过仿真来验证,对培养学生的创新能力无疑是很有意义的,并且可调动学生学习的积极性。实验是这两门课程的重要组成部分,学校实验室的条件毕竟是有限的,也受到学时的限制,我们在仿真的基础上开发了虚拟实验,不足的实验通过虚拟仿真来补充,仿真不受空间、时间和物质条件的限制,学生可以在课外自行上机。电力电子电路和电力拖动控制系统课程设计的结果,我们也由学生自己通过仿真来验证。仿真在促进教学改革、加强学生能力培养方面起到了积极的推动作用,仿真对广大科技工程技术工作者来说也是重要的研究和设计方法。

在这里需要指出的是,仿真也不是一蹴而就的,尽管现在有了很好的仿真软件,但要获得正确的仿真结果,需要对仿真对象有正确的理解,也就是仿真的电路和系统模型要正确,参数设计要合理,并要选择恰当的数值计算方法。在仿真中出现计算不收敛,仿真中断和不能完成模型的初始化过程的情况是常有的事,这时要仔细检查模型是否正确,参数是否合适,有时还需要对模型作一定的调整和修改。出错时软件会给出一定的参考提示,但是这种提示不一定是准确的,仿真的技巧需要在实践中不断积累和提高。

为了节省篇幅,本书对 MATLAB 主要只介绍与电力电子电路和电力拖动控制系统仿真有关的内容,关于 MATLAB 的详细知识请阅读其他文献资料,有关电力电子技术和电力拖动控制系统的原理等本书也仅作简要介绍。

本书在写作过程中得到上海大学的陈伯时教授和西安交通大学的王兆安教授的关心和支持。上海交通大学的杨喜军博士后为本书撰写了第 8 章“提高功率因数的电力变流电路仿真”,将他在研究工作中使用 MATLAB 的成果和经验介绍给大家,为本书增色不少。安徽工业大学的黄松清副教授提出了许多宝贵的建议。在此谨表衷心的感谢。

作者

2005 年 8 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 ..... 3

### 1.3 MATLAB 环境 ..... 3

#### 1.3.1 MATLAB 的主菜单 ..... 4

#### 1.3.2 MATLAB 的工具栏 ..... 5

#### 1.3.3 MATLAB 的命令窗口 ..... 6

#### 1.3.4 MATLAB 的工作间 ..... 6

### 1.4 MATLAB 的计算基础 ..... 7

#### 1.4.1 常量和变量 ..... 8

#### 1.4.2 数组和矩阵的表示和赋值 ..... 9

#### 1.4.3 MATLAB 的算术运算 ..... 10

#### 1.4.4 MATLAB 的关系运算 ..... 10

#### 1.4.5 MATLAB 的逻辑运算 ..... 10

#### 1.4.6 MATLAB 的特殊运算符 ..... 11

#### 1.4.7 MATLAB 常用的函数 ..... 11

### 1.5 MATLAB 程序设计基础 ..... 12

#### 1.5.1 表达式、表达式语句和赋值语句 ..... 13

#### 1.5.2 流程控制语句 ..... 13

##### 1.5.2.1 if 语句 ..... 13

##### 1.5.2.2 while 循环语句 ..... 13

##### 1.5.2.3 for 循环语句 ..... 14

##### 1.5.2.4 switch-case 语句 ..... 14

### 1.6 MATLAB 常用的其他命令 ..... 15

### 1.7 MATLAB 的绘图功能 ..... 16

#### 1.7.1 直角坐标中的二维曲线 ..... 16

#### 1.7.2 多条曲线的绘制 ..... 18

#### 1.7.3 曲线的线型和颜色 ..... 20

#### 1.7.4 MATLAB 的图形窗口 ..... 20

##### 1.7.4.1 设置图形画面参数 ..... 20

##### 1.7.4.2 在图形上添加箭头、线段和文字 ..... 23

### 1.8 电力电子电路波形图的绘制 ..... 24

## 第 2 章 SIMULINK 环境和模型库 ..... 30

### 2.1 系统仿真 (SIMULINK) 环境 ..... 30

#### 2.1.1 SIMULINK 的工作环境 ..... 31

##### 2.1.1.1 SIMULINK 环境的进入 ..... 31

##### 2.1.1.2 SIMULINK 窗口菜单命令 ..... 32

#### 2.1.2 模型库浏览器 ..... 35

##### 2.1.2.1 SIMULINK 模型库的打开 ..... 35

##### 2.1.2.2 有关模块的基本操作 ..... 36

#### 2.1.3 SIMULINK 的仿真步骤 ..... 40

#### 2.1.4 系统模型的保存和调用 ..... 46

#### 2.1.5 SIMULINK 的仿真算法 ..... 46

##### 2.1.5.1 可变步长类算法 ..... 46

##### 2.1.5.2 固定步长类算法 ..... 47

#### 2.1.6 示波器的使用和数据保存 ..... 48

#### 2.1.7 建立子系统和系统模型的封装 ..... 52

##### 2.1.7.1 建立子系统 ..... 52

|                        |    |                        |     |
|------------------------|----|------------------------|-----|
| 2.1.7.2 子系统模型的封装 ..... | 53 | 3.8 多功能桥式电路模型 .....    | 85  |
| 2.2 SIMULINK 模型库中的     |    | 3.9 驱动模型 .....         | 86  |
| 模块 .....               | 54 | 3.9.1 同步 6 脉冲发生器 ..... | 86  |
| 2.2.1 连续系统模块库 .....    | 54 | 3.9.2 12 脉冲发生器 .....   | 88  |
| 2.2.2 离散系统模块库 .....    | 55 | 3.9.3 PWM 脉冲发生器 .....  | 88  |
| 2.2.3 函数与表格模块库 .....   | 55 | 第 4 章 变压器和电动机模型 .....  | 91  |
| 2.2.4 数学运算模块库 .....    | 56 | 4.1 变压器模型 .....        | 91  |
| 2.2.5 非线性系统模块库 .....   | 58 | 4.1.1 单相变压器模型 .....    | 91  |
| 2.2.6 信号与系统模块库 .....   | 59 | 4.1.2 三相变压器模型 .....    | 93  |
| 2.2.7 仪器仪表模块库 .....    | 60 | 4.1.3 互感线圈 .....       | 94  |
| 2.2.8 信号源模块库 .....     | 61 | 4.2 直流电机模型 .....       | 94  |
| 2.2.9 子系统模块库 .....     | 62 | 4.3 交流电机模型 .....       | 100 |
| 2.3 电力系统模型库 .....      | 62 | 4.3.1 三相交流异步电机模型 ..... | 100 |
| 2.3.1 电源模块库 .....      | 63 | 4.3.2 交流永磁同步电机模型 ..... | 103 |
| 2.3.2 电器元件模块库 .....    | 64 | 4.3.3 交流同步电机模型 (基本     | 105 |
| 2.3.3 电机模块库 .....      | 65 | 型) .....               | 105 |
| 2.3.4 电力电子元件模块库 .....  | 67 | 4.3.4 交流电机测量单元 .....   | 108 |
| 2.3.5 连接件模块库 .....     | 68 | 第 5 章 电力电子变流电路的仿       |     |
| 2.3.6 测量仪器模块库 .....    | 69 | 真 .....                | 110 |
| 2.3.7 其他电气模块库 .....    | 70 | 5.1 交流-直流变流器 .....     | 110 |
| 2.3.7.1 控制模块子集 .....   | 70 | 5.1.1 单相桥式全控整流电路       |     |
| 2.3.7.2 测量模块子集 .....   | 71 | 仿真 .....               | 111 |
| 2.3.7.3 三相模型子集 .....   | 72 | 5.1.2 三相桥式全控整流电路       |     |
| 第 3 章 电力电子器件模型 .....   | 75 | 仿真 .....               | 119 |
| 3.1 二极管模型 .....        | 76 | 5.1.3 带电容性负载的三相不       |     |
| 3.2 晶闸管模型 .....        | 77 | 可控桥式整流电路仿              |     |
| 3.3 可关断晶闸管模型 .....     | 78 | 真 .....                | 126 |
| 3.4 电力场效应晶体管模型 .....   | 79 | 5.2 直流-直流变流器 .....     | 129 |
| 3.5 绝缘栅双极型晶体管模         |    | 5.2.1 直流降压变流器设计 .....  | 129 |
| 型 .....                | 80 | 5.2.2 直流升压变流器设计 .....  | 131 |
| 3.6 理想开关模型 .....       | 82 | 5.2.3 桥式直流 PWM 变流器仿    |     |
| 3.7 三相桥式整流电路模型 .....   | 82 | 真 .....                | 133 |
| 3.7.1 三相桥式不可控整流电路      |    | 5.3 直流-交流变流器 .....     | 136 |
| 模型 .....               | 83 | 5.3.1 三相电压源型 SPWM 逆变   |     |
| 3.7.2 三相桥式可控整流电路       |    | 器仿真 .....              | 136 |
| 模型 .....               | 83 |                        |     |

|                                                  |            |                                  |            |
|--------------------------------------------------|------------|----------------------------------|------------|
| 5.3.2 电流跟踪型逆变器仿真                                 | 140        | 调速系统仿真                           | 177        |
| 5.3.2.1 单相跟踪控制逆变器的仿真                             | 142        | 6.4.2.1 逻辑控制无环流直流可逆调速原理和仿真模型     | 177        |
| 5.3.2.2 三相电流跟踪逆变器仿真                              | 143        | 6.4.2.2 逻辑控制器                    | 178        |
| 5.4 交流-交流变流器                                     | 144        | 6.5 H型主电路和直流 PWM-M 可逆调速系统的仿真     | 183        |
| 5.4.1 单相交流调压器仿真                                  | 144        | 6.5.1 H型主电路仿真                    | 184        |
| 5.4.2 三相交流调压器仿真                                  | 148        | 6.5.2 直流 PWM-M 可逆调速系统仿真          | 187        |
| 5.4.3 交-交变频电路仿真                                  | 151        |                                  |            |
| <b>第 6 章 直流调速系统的仿真</b>                           | <b>156</b> | <b>第 7 章 交流调速系统的仿真</b>           | <b>190</b> |
| 6.1 直流电动机开环调速系统仿真                                | 156        | 7.1 交流电动机减压软起动系统仿真               | 190        |
| 6.2 转速闭环控制的直流调速系统仿真                              | 159        | 7.2 转速开环恒压频比控制的交流异步电动机调速系统仿真     | 192        |
| 6.2.1 带转速负反馈的有静差直流调速系统仿真                         | 160        | 7.3 空间矢量的坐标变换                    | 196        |
| 6.2.2 带电流截止负反馈的转速单闭环调速系统仿真                       | 162        | 7.3.1 三相静止坐标系和两相静止坐标系的变换         | 197        |
| 6.3 转速电流双闭环控制的直流调速系统仿真                           | 163        | 7.3.2 两相静止坐标系和两相旋转坐标系的变换         | 197        |
| 6.3.1 按直流双闭环系统动态结构图仿真                            | 164        | 7.3.3 三相静止坐标系和两相旋转坐标系的变换         | 198        |
| 6.3.2 使用 Power System 模块的直流双闭环系统仿真               | 167        | 7.3.4 矢量变换的仿真                    | 199        |
| 6.4 直流可逆调速系统仿真                                   | 169        | 7.4 交流异步电动机的磁链观察                 | 200        |
| 6.4.1 $\alpha = \beta$ 配合控制的有环流直流可逆调速系统仿真        | 170        | 7.4.1 转子磁链计算的电流模型                | 200        |
| 6.4.1.1 $\alpha = \beta$ 配合控制的有环流直流可逆调速系统工作原理    | 170        | 7.4.1.1 在两相静止坐标系上的转子磁链电流模型       | 200        |
| 6.4.1.2 $\alpha = \beta$ 配合控制的有环流直流可逆调速系统的仿真模型   | 172        | 7.4.1.2 按转子磁链定向两相旋转坐标系上的转子磁链电流模型 | 201        |
| 6.4.1.3 $\alpha = \beta$ 配合控制的有环流直流可逆调速系统仿真波形和分析 | 173        | 7.4.2 转子磁链的电压模型                  | 202        |
| 6.4.2 逻辑控制无环流直流可逆                                |            | 7.4.3 转子磁链模型的仿真                  | 203        |

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 7.5 交流异步电动机矢量控制<br>调速系统仿真 .....       | 205 |
| 7.5.1 转差频率控制的异步电动机<br>矢量控制系统仿真 .....  | 205 |
| 7.5.2 带转矩内环的转速、磁链<br>闭环矢量控制系统仿真 ..... | 209 |
| 7.5.3 无速度传感器的矢量控制<br>系统仿真 .....       | 212 |

## 第8章 提高功率因数的电力

|                                             |     |
|---------------------------------------------|-----|
| 变流电路仿真 .....                                | 216 |
| 8.1 谐波污染与电能质量管理 .....                       | 216 |
| 8.2 高功率因数的单相无源<br>AC-DC 变流器 .....           | 218 |
| 8.2.1 单相无源功率因数校正的<br>电路型式 .....             | 219 |
| 8.2.2 谐振电抗器在单相无源 PFC<br>中的仿真分析 .....        | 220 |
| 8.2.3 其他单相无源 PFC 电路的<br>仿真分析 .....          | 222 |
| 8.2.3.1 桥前采用电抗器的串<br>联谐振无源 PFC 电<br>路 ..... | 222 |
| 8.2.3.2 桥后采用电抗器的串<br>联谐振无源 PFC 电<br>路 ..... | 223 |
| 8.3 高功率因数的三相无源<br>AC-DC 变流器 .....           | 224 |
| 8.3.1 三相无源功率因数校正的<br>电路型式 .....             | 225 |
| 8.3.2 基于三相移相电抗器的 12<br>脉波整流器 .....          | 226 |
| 8.3.2.1 移相电抗器在三相无源<br>PFC 中的使用原理 .....      | 226 |
| 8.3.2.2 移相电抗器在三相无源<br>PFC 中的仿真分析 .....      | 227 |

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| 8.3.3 其他三相无源 PFC 电路的<br>仿真分析 .....      | 229 |
| 8.3.3.1 桥后采用单电抗器的<br>三相无源 PFC 电路 .....  | 229 |
| 8.3.3.2 桥前 LC 滤波的三相<br>无源 PFC 电路 .....  | 231 |
| 8.3.3.3 3 次谐波注入的三相<br>无源 PFC 电路 .....   | 232 |
| 8.3.3.4 基于移相变压器的 12<br>脉波整流电路 .....     | 233 |
| 8.4 单位功率因数单相有源<br>AC-DC 变流器 .....       | 235 |
| 8.4.1 单相有源功率因数校正的<br>电路型式 .....         | 236 |
| 8.4.2 传统单相有源功率因数校<br>正电路 .....          | 239 |
| 8.4.2.1 传统单相有源 PFC 电<br>路的工作原理 .....    | 239 |
| 8.4.2.2 传统单相有源 PFC 电<br>路的仿真分析 .....    | 240 |
| 8.4.3 其他单相有源 PFC 的仿真<br>分析 .....        | 242 |
| 8.4.3.1 低端半控桥的单相有源<br>PFC 电路 .....      | 242 |
| 8.4.3.2 双向开关前置的单相<br>有源 PFC 电路 .....    | 243 |
| 8.4.3.3 单向开关前置的单相<br>有源 PFC 电路 .....    | 243 |
| 8.5 有源电力滤波器与单位功<br>率因数可控整流器 .....       | 244 |
| 8.5.1 并联型 APF 与电压源型<br>可控整流器的电路型式 ..... | 245 |
| 8.5.2 并联型有源电力滤波器<br>技术 .....            | 246 |
| 8.5.2.1 并联型有源电力滤波<br>器的工作原理 .....       | 246 |
| 8.5.2.2 单相并联型有源电力滤<br>波器的仿真分析 .....     | 247 |

|                                     |     |                                     |     |
|-------------------------------------|-----|-------------------------------------|-----|
| 8.5.3 其他并联型 APF 和整流器<br>的仿真分析 ..... | 249 | 算法 .....                            | 253 |
| 8.5.3.1 单位功率因数的单相<br>可控整流器 .....    | 249 | 8.6.2 矩阵式整流器的输入电流<br>空间矢量算法 .....   | 256 |
| 8.5.3.2 单位功率因数的三相<br>并联型 APF .....  | 250 | 8.6.3 矩阵式整流器的仿真<br>分析 .....         | 257 |
| 8.5.3.3 单位功率因数的三相<br>可控整流器 .....    | 252 | 8.6.3.1 基于开关函数算法的<br>矩阵式整流器 .....   | 258 |
| 8.6 输入电流位移因数可调的<br>矩阵式整流器 .....     | 253 | 8.6.3.2 基于输入电流空间矢量<br>算法的矩阵式整流器 ... | 262 |
| 8.6.1 矩阵式整流器的开关函数                   |     | <b>参考文献</b> .....                   | 264 |

# 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, 因此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最高的软件。

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。学习 MATLAB 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, 其中常用的有 200 ~ 300 个, 掌握和记忆起来都比较困难。

1993 年出现了 SIMULINK, 这是基于框图的仿真平台, SIMULINK 挂接在 MATLAB 环境上, 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 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, 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框图, 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, 需要熟悉记忆大量 M 函数的麻烦, 对广大工程技术人员来说, 这无疑是最好的福音。现在的 MATLAB 都同时捆绑了 SIMULINK, SIMULINK 的版本也在不断地升级, 从 1993 年的 MATLAB 4.0/SIMULINK 1.0 版到 2001 年的 MAT-

LAB 6.1/SIMULINK 4.1 版, 2002 年即推出了 MATLAB 6.5/SIMULINK 5.0 版。MATLAB 已经不再是单纯的“矩阵实验室”了, 它已经成为一个高级计算和仿真平台。

SIMULINK 原本是为控制系统的仿真而建立的工具箱, 在使用中易编程、易拓展, 并且可以解决 MATLAB 不易解决的非线性、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, 各科学领域根据自己的仿真需要, 以 MATLAB 为基础, 开发了大量的专用仿真程序, 并把这些程序以模块的形式都放入 SIMULINK 中, 形成了模块库。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, 在一级目录下就包含了 SIMULINK 最早开发的数学计算工具箱、控制系统工具箱的内容, 之后开发的信号处理工具箱 (DSP Blocks)、通信系统工具箱 (Comm) 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), 该模块库主要由加拿大 HydroQuebec 和 TECSIM International 公司共同开发。在 SIMULINK 环境下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和 SIMULINK 两个模块库进行。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。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, 是在电力电子电路和电力拖动控制系统的仿真中要经常使用的。但是本书主要是介绍电力电子电路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 的书刊已经很多, 对 MATLAB 更深入的要求, 可以阅读其他介绍 MATLAB 的书籍。

现在因特网上有大量的 MATLAB 资源, 如有关 MATLAB 的新消息, 免费的工具箱下载, 有关 MATLAB 的讨论和讲座等, 读者可以进入这些网站, 以获取更多的信息。有关 MATLAB 的网站很多, 下面列举部分网站供读者参考, 其中包括 <http://matlab.netsh.net>、<http://www.mathworks.com>、<http://mathtools.net>、<http://matlab.myrice.com> (MATLAB 大观园)、<http://www.hirain.com> (恒润科技, MATLAB 国内代理)、<http://matlab.netsh.net> 等。

## 1.2 MATLAB 的安装和启动

MATLAB 6.1 版有两张光盘，将其中的 A 盘（程序盘）插入计算机的光驱，启动光驱，如果操作系统是 Windows 98 或 Windows 2000，系统会自动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，按照对话框的提示，点击 Next 键，即可完成 MATLAB 的安装过程。在安装过程中，需要输入用户名称、公司及产品注册码等。在安装过程中，可以选择安装组件，如果计算机磁盘空间不足，可以减少一些暂时不用组件的安装。

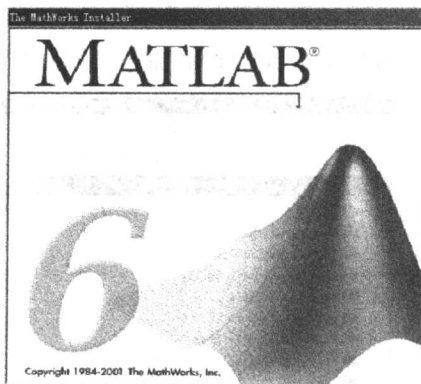


图 1-1 MATLAB 启动界面

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

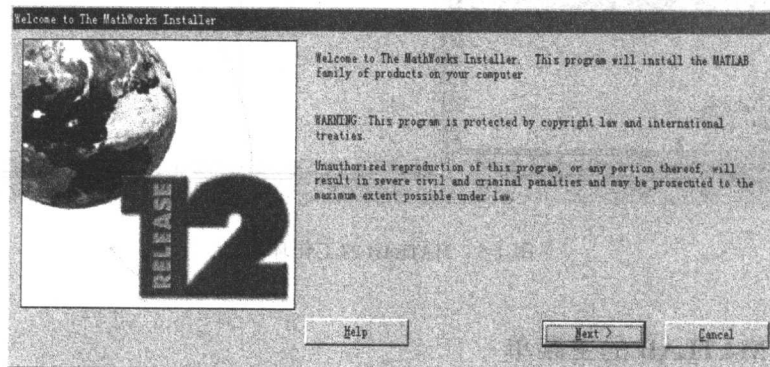


图 1-2 MATLAB 安装对话框

不同版本的 MATLAB 安装过程会略有差异，但大体是相同的。

## 1.3 MATLAB 环境

在桌面上双击 MATLAB 快捷方式图标，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 Launch Pad 和 Workspace 键切换。左边下方窗口将显示已执行的命令（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，回车后，命令就能立即得到执行。

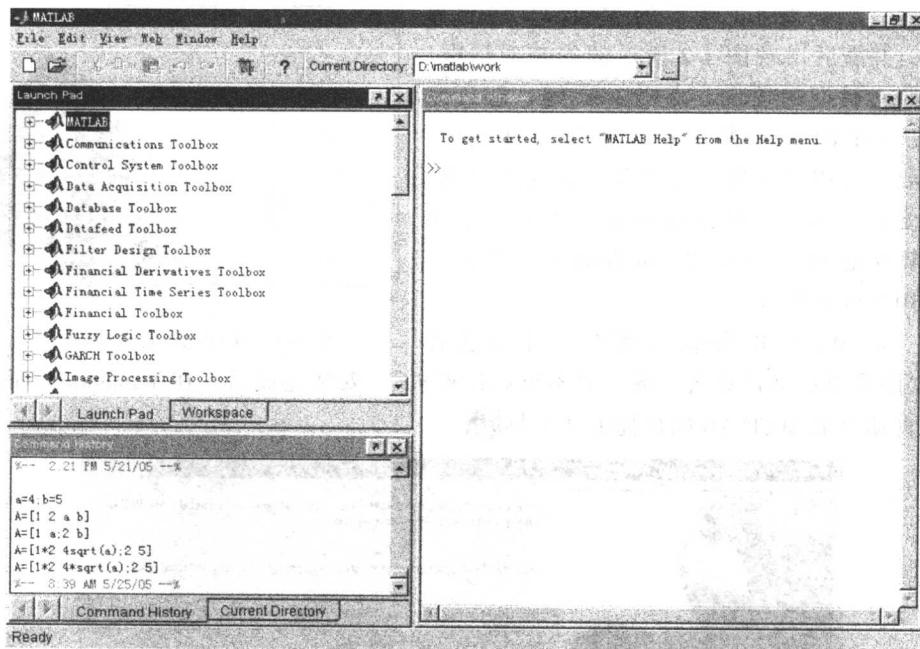


图 1-3 MATLAB 的工作环境

### 1.3.1 MATLAB 的主菜单

MATLAB 的主菜单有 File、Edit、View、Web、Window 和 Help 六项。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，因此只选择一些主要内容进行说明。

#### 1. File（文件）菜单

(1) “New” 创建一个新文件，有三种文件，即 “M-file”、“Figure”、“Model” 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，这是本书介绍的主要仿真方式。

(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”为打开 MATLAB “work”文件夹中带有 .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 ...”为保存工作间（Workspace）中的数据。

(6) “Set Path ...”为打开 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 ...”为打印。

## 2. Edit（编辑）菜单

Edit（编辑）菜单中包括了撤消（Undo）、恢复（Redo）、剪切（Cut）、复制（Copy）、粘贴（Paste）、特殊粘贴（Paste Special...）、全选（Select All）、清除（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（Clear Command Window）显示的内容、清除历史命令（Clear Command History）窗口内容以及清空工作间（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（万维网）菜单

Web（万维网）菜单保存了 Mathworks 公司的三个网址，点击其中之一，即可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 的工具栏上有九个按钮，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

文件的新文件。

(2) 用于打开一个已经存在的文件，它的默认方式是打开 MATLAB work 文件夹中的模型文件。

(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，并放到粘贴板上备用。

(5) 用于将保存在粘贴板上的文档粘贴到指定的位置上。

(6) 用于撤消最近的一次操作。

(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

MATLAB 的命令窗口 (Command Window) 是 MATLAB 的主要工作区，是人机对话的主要环境。在命令窗口中键入各种命令，可以得到相应的结果。图 1-4 所示为在命令窗口中键入了一个简单的代数计算式： $10.5 + 3 \times 4 \times (2.1 + 3.4)/2$ ，回车后得到的计算结果是 43.5。关于 MATLAB 的命令和基本运算将在后面作相应的介绍。

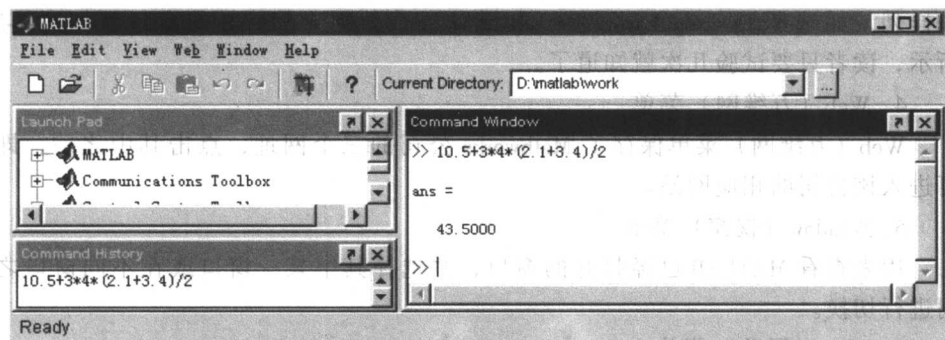


图 1-4 MATLAB 命令窗口

### 1.3.4 MATLAB 的工作间

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，命令 `who` 只给出变量名，命令 `whos` 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` 可以清空工作间中的变量和数据。如图 1-5 所示，右边窗口给出 A、A1、A2 三个变量的赋值，最后用命令 `who` 查看工作间的变量。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大小和类型。在左下窗口则给出了在命令窗口中已经执行过的历史命令。

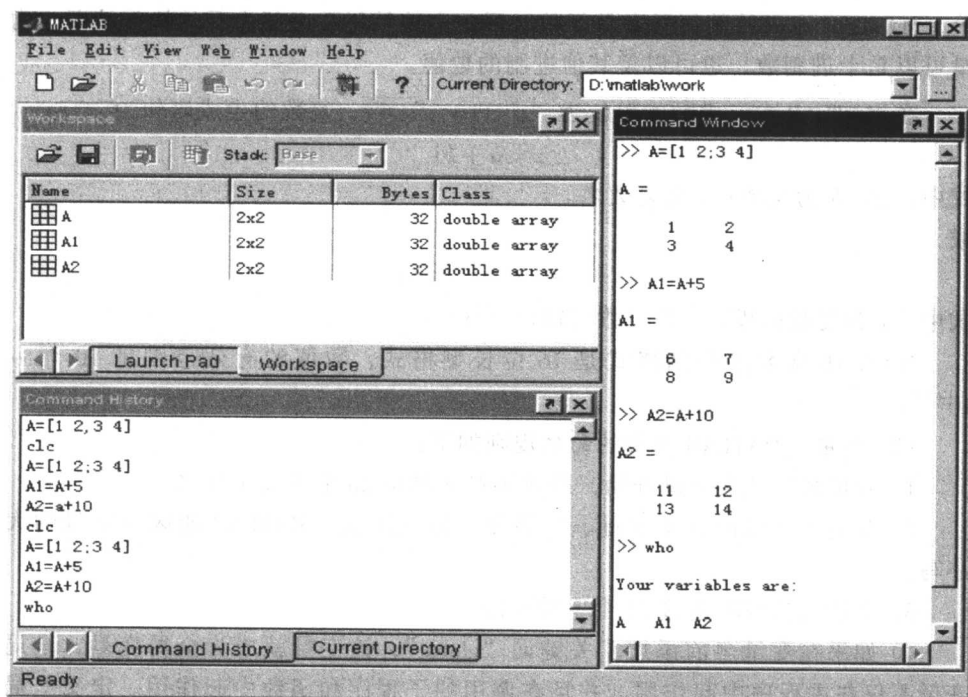


图 1-5 通过窗口和命令查看工作间变量

工作间中的变量和数据可以用“File”菜单中的“Save Workspace As ...”命令进行保存。

## 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