



普通高等教育“十二五”规划教材
电气工程·自动化专业规划教材



张 聚 编著



基于MATLAB的 控制系统仿真及应用



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

国家精品课程配套教材
普通高等教育“十二五”规划教材
电气工程·自动化专业规划教材

TP273
562

基于 MATLAB 的 控制系统仿真及应用

张 聚 编著



電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是国家精品课程配套教材,全面论述基于 MATLAB 及其动态仿真集成环境 Simulink 的控制系统计算机仿真的原理、方法、过程和应用。控制系统计算机仿真的基本概念和原理,系统地介绍 MATLAB 及其动态仿真集成环境 Simulink。全书共 10 章,主要包括:MATLAB 基本应用方法及 Simulink 建模与仿真;基于 MATLAB 的控制系统数学模型、基于 MATLAB 的控制系统运动响应分析、基于 MATLAB 的控制系统运动性能分析、基于 MATLAB/Simulink 的控制系统建模和仿真、基于 MATLAB 的控制系统校正;控制系统仿真技术的应用实例——汽车防抱死制动系统建模与控制仿真、车辆悬架系统的建模和控制仿真、汽车四轮转向控制系统仿真;在本书的最后介绍与实验研究相关的 MATLAB 半实物仿真系统。本书配套电子课件。

本书可作为高等学校自动化和电气信息类专业本科生和研究生教材,也可供从事自动控制及相关专业的工程技术人员学习参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

基于 MATLAB 的控制系统仿真及应用/张聚编著. —北京:电子工业出版社,2012.9

电气工程、自动化专业规划教材

ISBN 978-7-121-17270-0

I. ①基… II. ①张… III. ①自动控制系统—系统仿真—MATLAB 软件—高等学校—教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 118743 号

策划编辑:王羽佳 特约编辑:王 崧

责任编辑:王羽佳

印 刷: 北京中新伟业印刷有限公司
装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 13.5 字数: 346 千字

印 次: 2012 年 9 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 29.90 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

MATLAB 是目前国际上最流行、应用最广泛的科学与工程计算软件,是国内外高校和研究部门进行科学研究的重要工具,是攻读学位的本科生、硕士生和博士生必须掌握的基本技能。在设计研究单位和工业部门, MATLAB 被广泛用于科学研究和解决各种具体问题。广大的工科类大学生熟悉科学与工程计算软件 MATLAB,掌握 MATLAB 的基本应用方法并能够用 MATLAB 来解决各自专业领域内的问题,是非常重要和有意义的。

本书系统地论述了基于 MATLAB 的控制系统仿真技术及其应用。书中既介绍线性控制系统的仿真,也介绍非线性控制系统的仿真;既有连续控制系统的仿真,也有离散控制系统的仿真;既有基于传递函数模型的仿真,也有基于状态空间模型的仿真;既有一般性的仿真方法和技术的介绍,也有具体的应用实例。

全书共分为 10 章,在介绍 MATLAB 基本应用的基础上,阐述了基于 MATLAB 的控制系统数学模型、基于 MATLAB 的控制系统运动响应分析、基于 MATLAB 的控制系统运动性能分析、基于 MATLAB/Simulink 的控制系统建模和仿真,以及基于 MATLAB 的控制系统校正。作为控制系统仿真技术的应用例子,在本书的最后三章,分别介绍了汽车防抱死制动系统建模与控制仿真、车辆悬架系统的建模和控制仿真及汽车四轮转向控制系统仿真的应用实例。在本书的最后介绍与实验研究相关的 MATLAB 半实物仿真系统。

十余年来,本书作者在浙江工业大学自动化系从事自动控制理论、控制系统仿真及计算机控制技术的教学和科研工作,并具体负责“自动控制原理”国家精品课程的建设工作,深切地体会到在自动控制理论教学中引入 MATLAB 的重要性,使得学生对于控制系统的工作原理既有直观的感受,又对控制系统的工作原理理解得更为深入,能够有效地激发和提升学生学习的兴趣,提高学生学习的主动性与自觉性,有助于培养学生的创新能力,有助于把学生从烦琐且具体的细节中解脱出来而侧重于关键性的创造性的逻辑思维活动,有助于提高学生解决实际问题的能力,并有助于缩短理论学习与解决问题之间的距离。

本书作为“自动控制原理”国家精品课程的配套教材,由国家级教学名师、“自动控制原理”国家精品课程负责人王万良教授主审。本书也是浙江工业大学重点教材建设项目,得到学校和教务处的的大力支持。在此,一并表示感谢!王万良教授对于本书体系结构的确定和内容的选择都给予了全面的指导并仔细审阅了全书,在此深表感谢。

本书可以作为高等学校自动化及相关专业教材,并可供有关科技人员参考。本书提供配套电子课件,请登录华信教育资源网(<http://www.hxedu.com.cn>)注册下载。

在本书编写过程中,引用了相关的书籍、文献资料以及学位论文中的有关内容。在书稿的准备过程中,研究生丁靖、秦婷、谢作樟、以及谢碧锋对于书中的例子做了仿真实验并承担了部分书稿的整理和录入工作,在此一并表示感谢。

书中难免存在错误和不足之处,殷切希望广大读者批评指正。

张 聚

于浙江工业大学自动化研究所

目 录

第 1 章	MATLAB 应用基础	1
1.1	MATLAB 简介	1
1.1.1	操作界面介绍	2
1.1.2	帮助系统	4
1.1.3	工具箱	6
1.2	MATLAB 基本使用方法	12
1.2.1	基本要素	12
1.2.2	应用基础	14
1.2.3	数值运算	18
1.2.4	符号运算	22
1.2.5	图形表达功能	25
1.2.6	程序设计基础	33
	习题 1	37
第 2 章	基于 MATLAB 的控制系统数学模型	39
2.1	数学模型的建立	39
2.1.1	传递函数模型	39
2.1.2	状态空间模型	41
2.1.3	零极点增益模型	44
2.1.4	频率响应数据模型	45
2.1.5	模型参数的获取	46
2.2	数学模型的相互转换	47
2.2.1	连续时间模型和离散时间模型的相互转换	47
2.2.2	传递函数模型和状态空间模型的相互转换	48
2.2.3	传递函数模型和零极点增益模型的相互转换	49
2.2.4	状态空间模型和零极点增益模型的相互转换	50
2.2.5	离散时间系统的重新采样	51
2.3	数学模型的连接	58
2.3.1	串联连接	58
2.3.2	并联连接	59
2.3.3	反馈连接	60
	习题 2	61
第 3 章	基于 MATLAB 的控制系统运动响应分析	63
3.1	零输入响应分析	63
3.2	脉冲输入响应分析	65

3.3	阶跃输入响应分析	67
3.4	高阶系统响应分析	68
3.5	任意输入响应分析	73
3.6	根轨迹分析方法	75
3.7	控制系统的频率特性	77
	习题 3	82
第 4 章	基于 MATLAB 的控制系统运动性能分析	85
4.1	控制系统的稳定性分析	85
4.2	控制系统的稳态性能分析	89
4.3	控制系统的动态性能分析	95
	习题 4	100
第 5 章	基于 MATLAB/Simulink 的控制系统建模与仿真	102
5.1	Simulink 模块库	102
5.2	Simulink 基本操作	111
5.3	Simulink 建模与仿真	112
5.4	基于 MATLAB/Simulink 的非线性系统自激振荡的分析	120
	习题 5	127
第 6 章	基于 MATLAB 的控制系统校正	130
6.1	PID 控制器	130
6.2	超前校正	133
6.3	滞后校正	137
6.4	SISO 设计工具	141
	习题 6	148
第 7 章	应用实例 1——汽车防抱死制动系统建模与控制仿真	151
7.1	汽车防抱死制动系统模型	151
7.1.1	整车模型	151
7.1.2	轮胎模型	152
7.1.3	滑移率模型	153
7.1.4	单轮模型	154
7.2	基于单轮模型的 Simulink 仿真	154
第 8 章	应用实例 2——车辆悬架系统的建模和控制仿真	158
8.1	汽车悬架系统模型	158
8.1.1	汽车被动悬架系统状态方程的建立	159
8.1.2	汽车主动悬架系统状态方程的建立	159
8.2	悬架系统模型性能分析及仿真	160
8.2.1	稳定性分析	160
8.2.2	脉冲响应	161

8.2.3	锯齿波响应	163
8.2.4	正弦波响应	164
8.2.5	白噪声路面模拟输入仿真	165
8.2.6	汽车悬架系统的对比分析及评价	167
第 9 章	应用实例 3——汽车四轮转向控制系统的仿真	169
9.1	四轮转向车辆的动力学模型	169
9.2	基于横摆角速度反馈控制的四轮转向系统研究	170
9.2.1	模型的建立	170
9.2.2	控制算法	171
9.2.3	基于 MATLAB/Simulink 仿真	172
9.2.4	操纵稳定性分析	175
9.3	基于最优控制的四轮转向系统研究	175
9.3.1	模型的建立	175
9.3.2	4WS 系统的可控性和能观性分析	176
9.3.3	基于 MATLAB 仿真	176
第 10 章	MATLAB 半实物仿真系统	180
10.1	MATLAB xPC 半实物仿真系统	180
10.1.1	MATLAB xPC 半实物仿真平台架构	180
10.1.2	在 Simulink 中搭建半实物仿真系统框图	187
10.2	用 M 语言编写的算法进行 xPC 半实物仿真实验方法	190
10.2.1	S-Function 模块使用 C 代码进行 xPC 半实物仿真的框架	191
10.2.2	S-Function 模块使用 RTW 工具箱生成 C 文件并内部调用	191
10.2.3	使用嵌入式 MATLAB 函数进行 xPC 半实物仿真方法	193
10.3	显式模型预测控制算法 xPC 半实物仿真实验	194
10.3.1	显式模型预测控制 xPC 半实物仿真平台架构	195
10.3.2	建立显式模型预测控制半实物仿真系统的 Simulink 模型	196
10.3.3	显式模型预测控制半实物仿真系统控制效果	198
10.4	利用 C-MEX 混编技术实现在 MATLAB 环境下操作硬件	200
10.4.1	编写用于驱动和操作硬件的 MEX 文件	200
10.4.2	MEX 文件的测试与应用	204
参考文献		208

第 1 章 MATLAB 应用基础

1.1 MATLAB 简介

MATLAB (Matrix Laboratory, 矩阵实验室) 是由美国 The MathWorks 公司于 1984 年推出的一种科学与工程计算语言, 它广泛地应用于自动控制、数学运算、信号分析、计算机技术、图像信号处理、财务分析、航天工业、汽车工业、生物医学工程、语音处理与雷达工程等各行各业。20 世纪 80 年代初, MATLAB 的创始人 Cleve Moler 博士在美国新墨西哥州立大学讲授线性代数课程时, 构思并开发了 MATLAB。后来, Moler 博士等一批数学家与软件学家组建了 The MathWorks 软件开发公司, 专门扩展并开发 MATLAB。这样 MATLAB 就于 1984 年推出了第一个商业版本, 到 2005 年, MATLAB 已经发展到了版本 7.1。

作为目前国际上最流行、应用最广泛的科学与工程计算软件, MATLAB 具有其独树一帜的优势和特点。

(1) 简单易用的程序语言。尽管 MATLAB 是一门编程语言, 但与其他语言 (如 C 语言) 相比, 它不需要定义变量和数组, 使用更加方便, 并具有灵活性和智能化的特点。用户只要具有一般的计算机语言基础, 很快就可以掌握它。

(2) 代码短小高效。MATLAB 程序设计语言集成度高, 语言简洁。对于用 C/C++ 等语言编写的数百条语句, 若使用 MATLAB 编写, 几条或几十条就能解决问题, 而且程序可靠性高, 易于维护, 可以大大提高解决问题的效率与水平。

(3) 功能丰富, 可扩展性强。MATLAB 软件包括基本部分和专业扩展部分。基本部分包括矩阵的运算和各种变换、代数与超越方程的求解、数据处理与数值积分等, 可以充分满足一般科学计算的需要。专业扩展部分称为工具箱 (Toolbox), 用于解决某一方面和某一领域的专门问题。MATLAB 的强大功能在很大程度上都来源于它所包含的众多工具箱。大量实用的辅助工具箱适合具有不同专业研究方向及工程应用需求的用户使用。

(4) 出色的图形处理能力。MATLAB 提供了丰富的图形表达函数, 可以将实验数据或计算结果用图形的方式表达出来, 并可以将一些难以表达的隐函数直接用曲线绘制出来; 不仅可以方便灵活地绘制一般的一维、二维图像, 还可以绘制工程特性较强的特殊图形。另外, MATLAB 还允许用户使用可视化的方式编写图形用户界面 (Graphical User Interface, GUI), 其难易程度与 Visual Basic 相仿, 从而使用户可以容易地应用 MATLAB 编写通用程序。

(5) 强大的系统仿真功能。应用 MATLAB 最重要的软件包之一——Simulink 提供的面向框图的建模与仿真功能, 可以很容易地构建系统的仿真模型, 准确地进行仿真分析。Simulink 模块库的模块集允许用户在一个 GUI 框架下对含有控制环节、机械环节和电子/电机环节的系统进行建模与仿真, 这是目前其他计算机语言无法做到的。

现在的 MATLAB 已经不仅仅是一个“矩阵实验室”了, 而称为一种具有广泛应用前景

的全新的计算机高级编程语言。特别是图形交互式仿真环境——Simulink 的出现，为 MATLAB 的应用拓宽了更广阔的空间。图 1.1.1 即为 MATLAB 及其产品系列示意图。

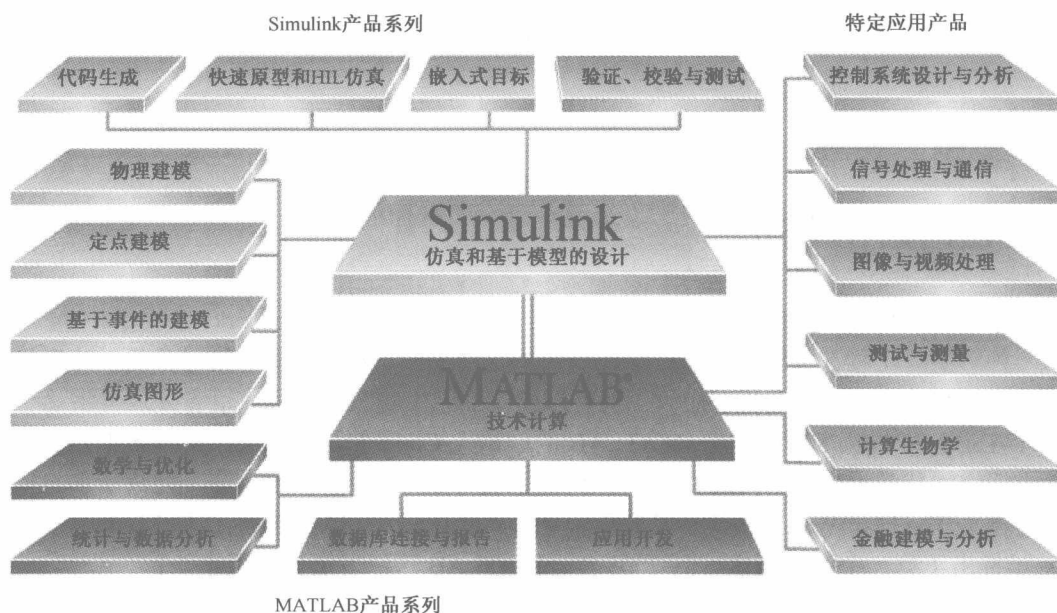


图 1.1.1 MATLAB 及其产品系列示意图

MATLAB 在我国的应用已经有十多年的历史，而自动控制则是其最重要的应用领域之一，自动控制的建模、分析、设计及应用都离不开 MATLAB 的支持。本章基于 MATLAB 7.1，详细介绍 MATLAB 在控制系统的数学建模、运动响应分析、运动性能分析和系统校正中的应用。

1.1.1 操作界面介绍

MATLAB 7.1 含有大量的交互工作界面，包括通用操作界面、工具包专用界面、帮助界面及演示界面等。所有的这些交互工作界面按一定的次序和关系被链接在一个高度集成的工作界面 MATLAB Desktop 中。图 1.1.2 所示为默认的 MATLAB 桌面。桌面上层铺放着三个最常用的窗口：命令窗口（Command Window）、当前目录浏览器（Current Directory）和历史命令窗口（Command History）。在默认情况下，还有一个只能看见窗口名称的工作空间浏览器（Workspace），它被铺放在桌面下层。另外，MATLAB 6.5 及以上版本还在桌面的左下角增加了 Start（开始）按钮。

MATLAB 通用操作界面是 MATLAB 交互工作界面的重要组成部分，涉及内容很多，这里仅介绍最基本和最常用的 8 个交互工作界面。

1. 命令窗口（Command Window）

命令窗口默认情形下出现在 MATLAB 界面的右侧，是进行 MATLAB 操作的最主要的窗口。在命令窗口中可输入各种 MATLAB 命令、函数和表达式，并显示除图形以外的所有运算结果。

2. 历史命令窗口（Command History）

历史命令窗口默认情形下出现在 MATLAB 界面的左下侧，用来记录并显示已经运行过的命令、函数和表达式，并允许用户对其进行选择、复制、重运行和产生 M 文件。

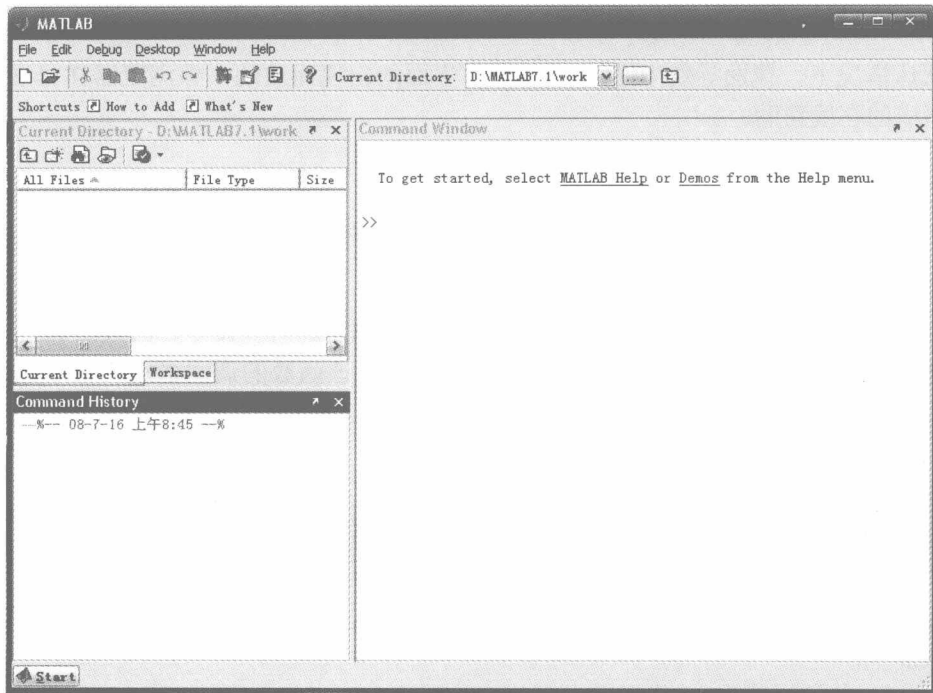


图 1.1.2 默认的 MATLAB 7.1 桌面

3. 当前目录浏览器 (Current Directory)

当前目录浏览器默认情形下出现在 MATLAB 界面的左上侧的前台,用来设置当前目录,可以随时显示当前目录下的.m、.mdl 等文件的信息,并可以复制、编辑和运行 M 文件及装载 MAT 数据文件等。

4. 工作空间浏览器 (Workspace)

工作空间浏览器(又称为内存浏览器窗口)默认情形下出现在 MATLAB 界面的左上侧的后台,用于显示所有 MATLAB 工作空间中的变量名、数据结构、类型、大小和字节数。在该窗口中,可以对变量进行观察、编辑、提取和保存。

5. 数组编辑器 (Array Editor)

在默认情况下,数组编辑器不随操作界面的出现而启动。只有在工作空间窗口中选择数值、字符变量,双击该变量时才会出现数组编辑器窗口,并且该变量会在窗口中显示。用户可以直接在数组编辑器窗口中修改打开的数组,通过设置可以改变数据结构和显示方式。

6. 开始按钮 (Start)

启动 MATLAB 后,可以在 MATLAB 桌面的左下角看见一个 Start 图标按钮,这是在 MATLAB 6.5 及以上版本中新增加的开始按钮。单击按钮,显示的下拉菜单中列出了已安装各类 MATLAB 组件和桌面工具。

7. M 文件编辑/调试器 (Editor/Debugger)

在默认情况下,M 文件编辑/调试器不随操作界面的出现而启动,只有需要编写 M 文件时才启动窗口。M 文件编辑/调试器不仅可以编辑 M 文件,而且可以对 M 文件进行交互式调试;不仅可以处理带.m 扩展名的文件,而且可以阅读和编辑其他 ASCII 码文件。

8. 帮助导航/浏览器 (Help Navigator/Browser)

在默认情况下, 帮助导航/浏览器不随操作界面的出现而启动。该浏览器详尽展示了由超文本写成的在线帮助。

1.1.2 帮助系统

MATLAB 帮助系统包括命令行帮助、联机帮助和演示帮助。

1. 命令行帮助

命令行帮助是一种“纯文本”的帮助方式。MATLAB 的所有命令、函数的 M 文件都有一个注释区。在注释区中, 用纯文本形式简要地叙述了该函数的调用格式和输入/输出变量的含义。该帮助内容最原始, 但也最真切可靠。每当 MATLAB 不同版本中的函数文件发生变化时, 该纯文本帮助也跟着同步变化。

语法:

help %列出所有主要的帮助主题, 每个帮助主题与 MATLAB 搜索路径的一个目录名相对应—

help 主题 %给出指定某主题的帮助, 主题可以是函数、目录或局部路径

示例如下:

```
>> help bode
```

```
BODE Bode frequency response of LTI models.
```

```
BODE(SYS) draws the Bode plot of the LTI model SYS (created with either  
TF, ZPK, SS, or FRD). The frequency range  
and number of points are chosen automatically.
```

```
BODE(SYS,{WMIN,WMAX}) draws the Bode plot for frequencies  
between WMIN and WMAX (in radians/second).
```

```
BODE(SYS,W) uses the user-supplied vector W of frequencies, in  
radian/second, at which the Bode response is to be evaluated.  
See LOGSPACE to generate logarithmically spaced frequency vectors.
```

```
BODE(SYS1,SYS2,...,W) graphs the Bode response of multiple LTI  
models SYS1,SYS2,... on a single plot. The frequency vector W  
is optional. You can specify a color, line style, and marker  
for each model, as in bode(sys1,'r',sys2,'y--',sys3,'gx').
```

```
[MAG,PHASE] = BODE(SYS,W) and [MAG,PHASE,W] = BODE(SYS) return the  
response magnitudes and phases in  
degrees (along with the frequency vector W if unspecified). No plot is  
drawn on the screen.
```

```
If SYS has NY outputs and NU inputs, MAG and PHASE are arrays of  
size [NY NU LENGTH(W)] where MAG(:, :, k) and PHASE(:, :, k) determine  
the response at the frequency W(k). To get the magnitudes in dB,
```

```
type MAGDB = 20*log10(MAG).
```

For discrete-time models with sample time T_s , BODE uses the transformation $Z = \exp(j\omega T_s)$ to map the unit circle to the real frequency axis. The frequency response is only plotted for frequencies smaller than the Nyquist frequency π/T_s , and the default value 1 (second) is assumed when T_s is unspecified.

See also BODEMAG, NICHOLS, NYQUIST, SIGMA, FREQRESP, LTIVIEW, LTIMODELS.

2. 联机帮助

通过单击工具栏上的  图标，或者选择菜单 Help→MATLAB Help，或单击 MATLAB 左下角的 Start 按钮选择 Help 选项，或者在命令窗口中输入 Helpwin 命令，可打开 MATLAB 的帮助导航/浏览器，如图 1.1.3 所示。该浏览器是 MATLAB 专门设计的一个独立帮助子系统，由帮助导航（Help Navigator）和帮助浏览器（Help Browser）两部分组成。

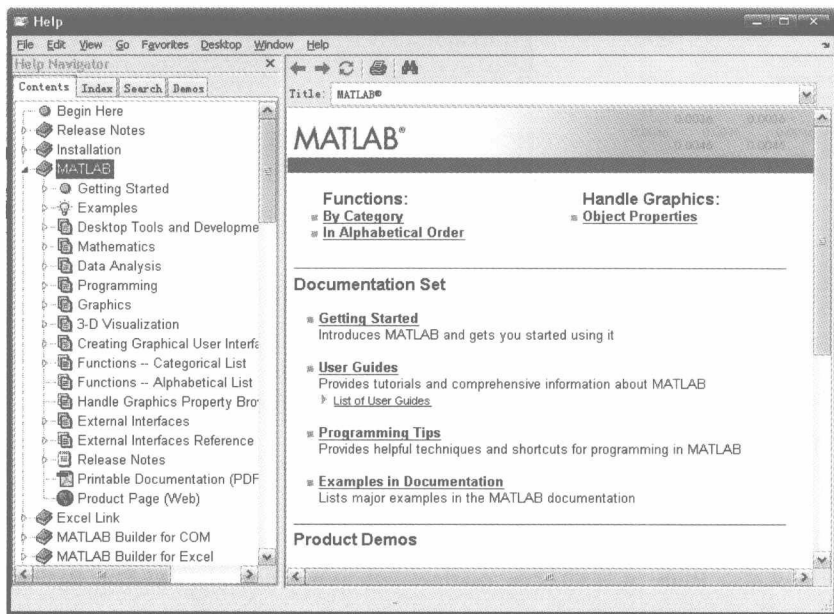


图 1.1.3 帮助导航/浏览器界面

3. 演示帮助

MATLAB 及其工具箱都有很好的演示程序，即 Demos，其交互界面如图 1.1.4 所示。Demos 演示界面操作非常方便，为用户提供了图文并茂的演示实例。

打开 Demos 有以下两种方法：

- (1) 在 MATLAB 命令窗口中运行 demo 或 demos 命令。
- (2) 选择菜单项 Help→Demos，或者单击 Start 按钮并从出现的菜单中选择 Demos 选项。

4. Web 帮助

MathWorks 公司提供了技术支持网站，通过该网站用户可以找到相关的 MATLAB 产品介绍、使用建议、常见问题解答和其他 MATLAB 用户提供的应用程序。

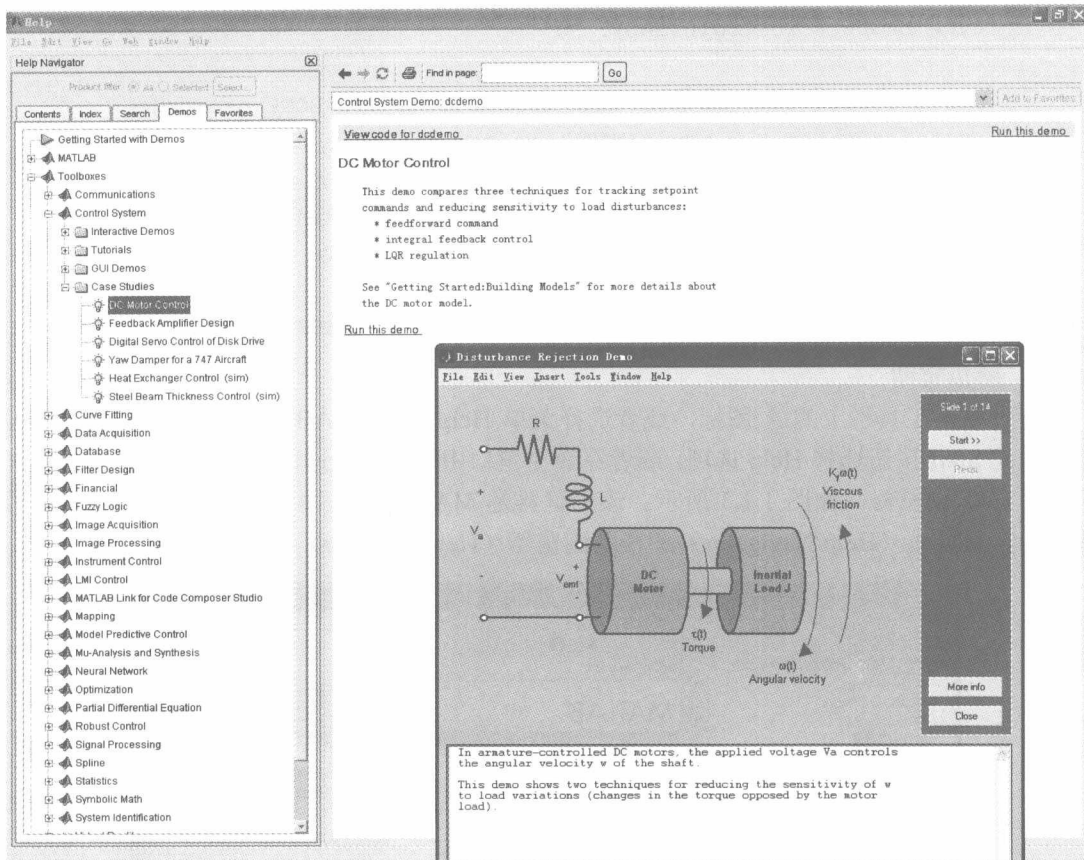


图 1.1.4 演示帮助界面

方法如下:

- (1) 其网址为 <http://www.mathworks.com> 或 <http://www.mathworks.cn>。
- (2) 选择菜单 Help→Web Resources 中的子选项。

5. PDF 帮助

MATLAB 还以便携式文档格式 (Portable Document Format, PDF) 的形式提供了详细的 MATLAB 使用文档。PDF 文件存放在 matlab71/help/pdf-doc 文件夹中。用户还可以从 The MathWorks 公司的官方网站下载。

1.1.3 工具箱

工具箱实际上是用 MATLAB 的基本语句编成的各种子程序集, 用于解决某一方面的专门问题或实现某一类的新算法。MATLAB 有 30 多个工具箱, 大致可分为两类: 功能型工具箱和领域型工具箱。功能型工具箱主要用来扩充 MATLAB 的符号计算功能、图形建模仿真功能、文字处理功能及与硬件实时交互功能, 能用于多种学科。而领域型工具箱是专业性很强的工具箱, 如控制系统工具箱 (Control System Toolbox)、信号处理工具箱 (Signal Processing Toolbox)、财政金融工具箱 (Financial Toolbox) 等。下面简要介绍 MATLAB 工具箱内所包含的主要内容。

1. 通信工具箱 (Communication Toolbox)

提供 100 多个函数和 150 多个 Simulink 模块用于通信系统的仿真和分析。

- 信号编码
- 调制解调
- 滤波器和均衡器设计
- 通道模型
- 同步
- 可由结构图直接生成可应用的 C 语言源代码

2. 控制系统工具箱 (Control System Toolbox)

- 连续系统设计和离散系统设计
- 状态空间和传递函数
- 模型转换
- 频域响应: Bode 图、Nyquist 图、Nichols 图
- 时域响应: 冲激响应、阶跃响应、斜坡响应等
- 根轨迹、极点配置、LQG

3. 财政金融工具箱 (Financial Toolbox)

- 成本、利润分析, 市场灵敏度分析
- 业务量分析及优化
- 偏差分析
- 资金流量估算
- 财务报表

4. 频率域系统辨识工具箱 (Frequency Domain System Identification Toolbox)

- 辨识具有未知延迟的连续和离散系统
- 计算幅值/相位/零点/极点的置信区间
- 设计周期激励信号、最小峰值、最优能量等

5. 模糊逻辑工具箱 (Fuzzy Logic Toolbox)

- 友好的交互设计界面
- 自适应神经、模糊学习、聚类及 Sugeno 推理
- 支持 Simulink 动态仿真
- 可生成 C 语言源代码用于实时应用

6. 高阶谱分析工具箱 (Higher-Order Spectral Analysis Toolbox)

- 高阶谱估计
- 信号中非线性特征的检测和刻画
- 延时估计
- 幅值和相位重构
- 阵列信号处理
- 谐波重构

7. 图像处理工具箱 (Image Processing Toolbox)

- 二维滤波器设计和滤波
- 图像恢复增强

- 色彩、集合及形态操作
- 二维变换
- 图像分析和统计

8. 线性矩阵不等式控制工具箱 (LMI Control Toolbox)

- LMI 的基本用途
- 基于 GUI 的 LMI 编辑器
- LMI 问题的有效解法
- LMI 问题解决方案

9. 模型预测控制工具箱 (Model Predictive Control Toolbox)

- 建模、辨识及验证
- 支持 MISO 模型和 MIMO 模型
- 阶跃响应和状态空间模型

10. u 分析与综合工具箱 (u-Analysis and Synthesis Toolbox)

- u 分析与综合
- H_2 和 H_∞ 无穷大最优综合
- 模型降阶
- 连续和离散系统
- u 分析与综合理论

11. 神经网络工具箱 (Neural Network Toolbox)

- BP、Hopfield、Kohonen、自组织、径向基函数等网络
- 竞争、线性、Sigmoidal 等传递函数
- 前馈、递归等网络结构
- 性能分析及应用

12. 优化工具箱 (Optimization Toolbox)

- 线性规划和二次规划
- 求函数的最大值和最小值
- 多目标优化
- 约束条件下的优化
- 非线性方程求解

13. 偏微分方程工具箱 (Partial Differential Equation Toolbox)

- 二维偏微分方程的图形处理
- 几何表示
- 自适应曲面绘制
- 有限元方法

14. 鲁棒控制工具箱 (Robust Control Toolbox)

- LQG/LTR 最优综合
- H_2 和 H_∞ 无穷大最优综合

- 奇异值模型降阶
- 谱分解和建模

15. 信号处理工具箱 (Signal Processing Toolbox)

- 数字和模拟滤波器设计、应用及仿真
- 谱分析和估计
- FFT、DCT 等变换
- 参数化模型

16. 样条工具箱 (Spline Toolbox)

- 分段多项式和 B 样条
- 样条的构造
- 曲线拟合及平滑
- 函数微分、积分

17. 统计工具箱 (Statistics Toolbox)

- 概率分布和随机数生成
- 多变量分析
- 回归分析
- 主元分析
- 假设检验

18. 符号数学工具箱 (Symbolic Math Toolbox)

- 符号表达式和符号矩阵的创建
- 符号微积分、线性代数、方程求解
- 因式分解、展开和简化
- 符号函数的二维图形
- 图形化函数计算器

19. 系统辨识工具箱 (System Identification Toolbox)

- 状态空间和传递函数模型
- 模型验证
- MA、AR、ARMA 等
- 基于模型的信号处理
- 谱分析

20. 小波工具箱 (Wavelet Toolbox)

- 基于小波的综合和分析
- 图形界面和命令行接口
- 连续和离散小波变换及小波包
- 一维、二维小波
- 自适应去噪和压缩

常用的管理命令及示例如下：

```
>> which Bode
```

```
C:\MATLAB6p5p1\toolbox\control\control\bode.m
```

```
>> cd C:\MATLAB6p5p1\toolbox\control\control
```

```
>> what
```

M-files in the current directory C:\MATLAB6p5p1\toolbox\control\control

Contents	care	damp	dsort	imargin	ltimask	minreal
pade	rmodel	ss2ss	acker	connect	dare	dss
impulse	ltimodels	modred	parallelrss	step	append	
covar	dcgain	esort	initial	ltiprops	ngrid	place
series	zgrid	augstate	ctrb	dkalman	estim	lqr
ltitr	nichols	pzmap				
sgrid	balreal	ctrbf	dlqr	feedback	lqrd	ltiview
nyquist	reg	sigma	bode	ctrlpref	dlyap	filt
lqry	lyap	obsv	rlocfindsisotool	c2d	d2c	
drmodel	freqresp	lsim	margin	obsvf	rlocus	slblocks
canon	d2d	drss	gensig	ltifr	mimofr	ord2
rltool	slview					

MAT-files in the current directory C:\MATLAB6p5p1\toolbox\control\control

ltiexamples

MDL-files in the current directory C:\MATLAB6p5p1\toolbox\control\control

Model_Inputs_and_Outputs	cstextrass
cstblocks	ltiblock

Classes in the current directory C:\MATLAB6p5p1\toolbox\control\control

frd lti ss tf zpk

```
>> lookfor bode
```

BODE Bode frequency response of LTI models.

DBODE Bode frequency response for discrete-time linear systems.

DFRQINT Discrete auto-ranging algorithm for DBODE plots.

FBODE Bode frequency response for continuous-time linear systems.

FREQINT Auto-ranging algorithm for Bode frequency response.

PLOTBODE Plots Bode responses given the plotting data.

PLOTFRSP Plot the frequency response generated by MOD2FRSP as a Bode plot.

CLXBODE Continuous complex frequency response (SIMO).

DCLXBODE Discrete complex frequency response (SIMO).