

MATLAB
开发案例系列图书



MATLAB

与控制系统仿真实践

(第2版)

赵广元 编著

 北京航空航天大学出版社

MATLAB 开发实例系列图书

MATLAB 与控制系统仿真实践

(第 2 版)

赵广元 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书以 MATLAB R2007a 为仿真平台,以清新、简洁的风格介绍了 MATLAB 语言基础及基于 MATLAB 的控制系统仿真。本书在结构上包括上下两篇共 17 章。上篇介绍 MATLAB 语言基础,并简要介绍了 MATLAB GUI 程序设计和 MATLAB 的混合编程知识,共 7 章;下篇介绍控制系统的 MATLAB 仿真,并提供了两个课程设计实例供学习参考,共 10 章。

全书结构清晰,内容翔实,图文并茂,以丰富的实例突出实践性,通过紧密联系实际突出实用性。

本书可作为自动控制等相关专业的教学参考用书,也可作为相关领域工程技术人员和研究人员的参考资料。书中 MATLAB 语言的介绍较为全面,可供 MATLAB 语言入门者学习参考。书中所给综合实例则对相关课程设计、毕业设计等有重要参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

MATLAB 与控制系统仿真实践 / 赵广元编著. -- 2 版.

-- 北京:北京航空航天大学出版社,2012.7

ISBN 978-7-5124-0869-2

I. ①M… II. ①赵… III. ①自动控制系统—系统仿真—Matlab 软件—研究 IV. ①TP273-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 157764 号

版权所有,侵权必究。

MATLAB 与控制系统仿真实践(第 2 版)

赵广元 编著

责任编辑 陈守平

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:20 字数:512 千字

2012 年 7 月第 2 版 2012 年 7 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 978-7-5124-0869-2 定价:34.00 元

感谢来自 MATLAB 中文论坛 (<http://www.ilovematlab.cn/>) 的会员 wh_1125, pipiu0123, obersteinparis 等帮忙发现第 1 版书中的问题并予以指正。感谢论坛会员 ljelly 及其他会员对本书内容和结构安排方面的建议。正是有了大家的帮忙,本书才能做得更好。我们还期待能收到来自大家的更多反馈,使该书在内容及形式上继续完善,成为一本真正实用、好用的书。

赵广元

2012.6

增值服务说明

本书第2版在第1版的基础上,重点加强了该书的配套建设,希望为用户提供更全面的支持。主要工作有:

1. **电子课件。**结合本次修订,更正个别错误后重新免费发布。
2. **程序源代码。**将书中全部程序在 MATLAB R2012a 环境下运行调试,并在出版社网站及在线交流平台免费发布。
3. **实验教材的电子版。**完善教学中的实验教材,其电子版将免费提供给选用本书做教材的教师。
4. **综合试题集。**主要在历年试卷基础上形成,其电子版将免费提供给选用本书做教材的教师。

一些与本书相关的链接:

该书“读者—作者”交流版块:<http://www.ilovematlab.cn/forum-156-1.html>

该书勘误(必读):<http://www.ilovematlab.cn/thread-144915-1-1.html>

该书源程序下载地址:<http://www.ilovematlab.cn/thread-144810-1-1.html>

该书视频下载地址:<http://www.ilovematlab.cn/thread-104230-1-1.html>

该书书码验证地址:<http://www.ilovematlab.cn/book.php>

前 言

MATLAB 被称为 The Language of Technical Computing,它面向理工科不同领域,功能强大、使用方便,而更大的优点在于它的高度开放性。正因如此,MATLAB 在理工多个学科的仿真中成为首选工具。作者结合“MATLAB 语言与控制系统仿真”的教学实践与研究成果,以 MATLAB R2007a 为系统仿真平台,以清新、简洁的风格编写了本书。

1. 本书结构与内容安排

本书在结构上包括上下两篇。上篇为 MATLAB 语言基础,共 7 章;下篇为控制系统的 MATLAB 仿真,共 10 章。

上篇主要内容有:MATLAB 环境认识与操作,MATLAB 语言数据类型和运算符等基础知识,MATLAB 的数学运算与符号运算,MATLAB 语言的程序设计,MATLAB 语言的二维图形、三维图形和符号函数的绘制等绘图基础。同时,以基于 GUI 设计工具 GUIDE 的开发为例简要介绍了 MATLAB GUI 程序设计,初步介绍了 MATLAB 的混合编程知识,并给出了应用 MATLAB® Builder for Java 进行混合编程的实例。

下篇主要内容有:自动控制及其仿真概述;对 MATLAB 仿真集成环境——Simulink 的较全面介绍,包括基本操作与设置、子系统及封装技术和 S-函数的编写等高级应用;基于 MATLAB 的控制系统数学建模包括了不同函数模型的建立及各种系统模型之间的转换,方框图模型的连接化简等;分别从直接判定和图解判定两方面来进行控制系统的稳定性分析;对控制系统的时域分析分别从动态性能指标和稳态性能指标的分析出发进行描述;对控制系统的根轨迹分析及基于根轨迹的系统校正;对控制系统的频域分析与基于频域法的校正;控制系统的 PID 控制器设计主要包括了 PID 控制器的作用分析及设计举例;非线性控制系统分析中首先给出了非线性特性模块的构建举例,之后分别对使用相平面法和描述函数法进行了仿真分析。各章的原理要点起提纲作用,也供回顾之用;同时对所使用的 MATLAB 函数给出简明用法说明。最后一章以两个课程设计综合实例演示了实践教学 MATLAB 的系统仿真应用。

2. 本书的特点

本书结构清晰,内容翔实,图文并茂,并突出以下三点:

第一,适当扩展介绍 MATLAB。上篇对 MATLAB 的介绍除尽可能满足控制系统仿真需要,直接为下篇做铺垫外,作为扩展还简要介绍了 MATLAB GUI 程序设计和 MATLAB 的混合编程知识,这有利于读者更全面地认识 MATLAB。学生在其他课程的学习、参加竞赛以及毕业设计等活动中主动应用了这两部分内容,证明以适当的篇幅进行 MATLAB 的扩展介绍是必要和有效的。

第二,以丰富的实例突出实践。通篇以大量实例展示 MATLAB 操作及其在控制系统仿真中的应用。各章中避免太多理论的重复讲解,而仅适当地对自动控制原理的已有结论作简要介绍。对于不同例题的分析有助于引导读者对自动控制原理的深入理解,避免仅作函数的使用介绍与举例。建议读者在使用本书时最好手头有一本自动控制原理的教材作参考。

第三,紧密联系实际突出应用。通过课程设计综合实例的介绍,突出仿真的实际应用,达

到将书本知识与实际系统设计联系起来的目的。这两篇课程设计报告源于学生课程设计的优秀作品,经进一步整理完善而形成。

3. 本书的适用对象

本书可作为自动控制、机电一体化、计算机仿真等专业的大专院校学生和研究生的教学参考用书,也可作为自动控制相关领域工程技术人员和研究人员的参考资料。本书对MATLAB语言的介绍较为全面,也可供学习使用 MATLAB 语言参考。书中所给综合实例则对相关课程设计、毕业设计等有重要参考价值。

4. 致 谢

本书成稿过程中,在结构安排方面得到陕西师范大学傅钢善教授的指点。对傅老师的指点与鼓励表示诚挚的谢意!

本书成稿后,东北大学人工智能与机器人研究所潘峰博士仔细阅读了主体内容,提出了诸多宝贵意见。作者已按照其意见进行了修改。在此表示感谢!

本书是西安邮电学院课程建设项目(院教[2007]26号)的部分成果。本门课程于2009年被评为校级优秀课程。这里对课程建设小组其他成员的不懈努力表示感谢,对教务处的大力支持表示感谢!

感谢西安邮电学院信息与控制系主任范九伦教授的鼓励与大力支持,感谢自动化实验室全体老师的无私帮助。

本书编写过程中,郑祺、魏美荣、张爱妮等做了部分仿真实验工作,马宏宇、白建华、赵晓莉等做了大量资料查阅、文字校对工作,对他们的辛勤付出表示感谢。

最后特别感谢妻子马泓波博士的全力支持。

书中所有程序的源代码可在北京航空航天大学出版社(<http://www.buaapress.com.cn/>)下载中心下载。同时,北京航空航天大学出版社联合 MATLAB 中文论坛(<http://www.iLoveMatlab.cn>)为本书设立了在线交流版块,网址:<http://www.iLoveMatlab.cn/forum-156-1.html>,有问必答!作者会第一时间在 MATLAB 中文论坛勘误,也会根据读者要求陆续上传更多案例和相关知识链接,还会随着 MATLAB 版本的升级增添必要的内容以满足读者的需求。希望这本不断“成长”的书能最大限度地解决您在学习、研究、工作中遇到的 MATLAB 控制系统仿真相关问题。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中的不足与疏忽之处,敬请读者批评指正。

编 者

2012年6月

- 本书配套电子课件、程序源代码、实验教材电子版、综合试题集,仅提供给订购教材院校的教师,请联系理工事业部免费索取,电子邮箱 goodtextbook@126.com,联系电话 010-82317036。
- 本社教材配套课件及其他增值服务请致电市场部咨询,联系电话 010-82339483。

目 录

上篇 MATLAB 语言基础

第 1 章 MATLAB 环境认识与操作	3
1.1 MATLAB 环境认识	3
1.1.1 命令窗口	3
1.1.2 命令历史记录窗口	5
1.1.3 工作空间	6
1.1.4 帮助窗口	8
1.1.5 图形窗口	10
1.1.6 编辑/调试窗口	11
1.2 MATLAB Notebook 及其使用	11
1.2.1 MATLAB Notebook 的启动	12
1.2.2 Notebook 的菜单命令	12
1.2.3 输出单元的格式控制	13
1.2.4 使用 M-book 模板的技巧	14
本章小结	14
第 2 章 MATLAB 语言基础	15
2.1 MATLAB 语言的常量与变量	15
2.1.1 MATLAB 语言的常量	15
2.1.2 MATLAB 语言的变量	16
2.2 MATLAB 语言的运算符	17
2.2.1 算术运算符	17
2.2.2 关系运算符	17
2.2.3 逻辑运算符	17
2.3 MATLAB 语言的数据类型	18
2.3.1 MATLAB 语言的数据类型概述	18
2.3.2 稀疏矩阵	18
2.3.3 单元数组	22
2.3.4 结构数组	25
2.4 MATLAB 语言的基本语句结构	28

2.4.1 直接赋值语句·····	28
2.4.2 调用函数语句·····	29
本章小结·····	29
第3章 MATLAB 的数值运算与符号运算基础 ·····	30
3.1 数组与矩阵的基本操作·····	30
3.1.1 数组与矩阵的输入·····	30
3.1.2 数组与矩阵元素的操作·····	34
3.1.3 数组与矩阵的输出·····	36
3.2 MATLAB 的基本数值运算·····	37
3.2.1 算术运算·····	38
3.2.2 关系运算·····	42
3.2.3 逻辑运算·····	43
3.2.4 运算优先级·····	44
3.3 MATLAB 的基本符号运算·····	45
3.3.1 符号运算基本函数·····	45
3.3.2 符号代数方程求解·····	46
3.3.3 符号微积分运算·····	48
3.3.4 Laplace 变换及其反变换、Z 变换及其反变换·····	49
本章小结·····	51
第4章 MATLAB 语言的程序设计 ·····	52
4.1 MATLAB 语言的流程结构·····	52
4.1.1 if, else 和 elseif 组成的条件转移结构·····	52
4.1.2 switch, case 和 otherwise 组成的开关结构·····	53
4.1.3 while/for 循环结构·····	54
4.1.4 try 和 catch 组成的试探结构·····	54
4.1.5 MATLAB 程序设计举例·····	55
4.2 MATLAB 函数的编写·····	58
4.2.1 MATLAB 函数基本结构·····	59
4.2.2 MATLAB 函数编写举例·····	60
4.3 MATLAB 程序设计中应注意的问题·····	64
本章小结·····	65
第5章 MATLAB 语言的绘图基础 ·····	66
5.1 二维图形的绘制·····	66
5.1.1 绘制二维图形的基本函数及示例·····	66
5.1.2 图形的修饰及示例·····	68
5.1.3 多图绘制函数及示例·····	73
5.1.4 特殊应用二维图形的绘制·····	78

若您对此书内容有任何疑问,可以凭在线交流卡登录 MATLAB 中文论坛与作者交流。

5.2 三维图形的绘制	80
5.2.1 三维图形绘制函数	80
5.2.2 三维图形绘制举例	80
5.3 图形的图形化编辑	82
5.4 符号函数绘制图形	83
5.4.1 符号函数绘制图形的函数及示例	83
5.4.2 符号函数的图形化绘制方式	84
本章小结	85
第6章 MATLAB GUI 程序设计初步	86
6.1 GUI 设计工具 GUIDE 简介	86
6.1.1 GUIDE 的启动	86
6.1.2 GUI 界面的创建	86
6.2 GUI 程序设计示例	87
6.2.1 “Hello World”程序的设计	87
6.2.2 控制系统典型环节的演示程序	89
本章小结	94
第7章 MATLAB 的混合编程初步	95
7.1 MATLAB 的混合编程形式简述	95
7.2 常用 MATLAB 混合编程方法	95
7.2.1 使用 MATLAB 的 MATLAB Compiler	95
7.2.2 利用 MATLAB 引擎(MATLAB Engine)	96
7.2.3 利用 ActiveX 技术	96
7.2.4 利用 MAT 文件	96
7.2.5 使用 MEX 文件	97
7.2.6 利用 MatrixVB 实现与 Visual Basic 的混合编程	97
7.2.7 利用 MATLAB Builder 系列工具	97
7.3 示例——MATLAB® Builder for Java 应用	98
7.3.1 生成魔方矩阵的演示程序	98
7.3.2 输出函数曲线的演示程序	102
本章小结	105

下篇 控制系统的 MATLAB 仿真

第8章 自动控制及其仿真概述	109
8.1 自动控制系统概述	109
8.1.1 自动控制系统的基本形式及特点	109
8.1.2 自动控制系统的分类	110
8.1.3 对自动控制系统的要求及性能评价	110
8.2 控制系统仿真概述	110

8.2.1	仿真的基本概念	110
8.2.2	仿真的不同分类	111
8.2.3	仿真技术的应用及发展	112
8.2.4	计算机仿真的要素及基本步骤	113
8.2.5	控制系统仿真软件	114
本章小结		114
第9章 MATLAB 的仿真集成环境——Simulink		115
9.1	Simulink 概述	115
9.2	Simulink 的基本界面操作	115
9.3	Simulink 的功能模块及其操作	117
9.3.1	Simulink 的功能模块	117
9.3.2	功能模块的基本操作	121
9.3.3	功能模块的连接操作	124
9.4	Simulink 仿真环境的设置	124
9.5	子系统及封装技术	126
9.5.1	子系统的建立	126
9.5.2	子系统的封装	127
9.6	用 Simulink 建立系统模型示例	129
9.7	Simulink 的高级应用——S-函数的编写	132
9.7.1	S-函数的工作原理	132
9.7.2	S-函数的设计实例	138
本章小结		143
第10章 基于 MATLAB 的控制系统数学建模		144
10.1	控制系统的传递函数模型	144
10.1.1	系统传递函数模型简述	144
10.1.2	传递函数的 MATLAB 相关函数	145
10.1.3	建立传递函数模型实例	146
10.2	控制系统的零极点函数模型	149
10.2.1	零极点函数模型简述	149
10.2.2	零极点函数的 MATLAB 相关函数	149
10.2.3	建立零极点函数模型实例	150
10.3	控制系统的状态空间函数模型	153
10.3.1	状态空间函数模型简述	153
10.3.2	状态空间函数的 MATLAB 相关函数	153
10.3.3	建立状态空间函数模型实例	154
10.4	系统模型之间的转换	156
10.4.1	系统模型转换的 MATLAB 相关函数	156

若您对此书内容有任何疑问，可以凭在线交流卡登录 MATLAB 中文论坛与作者交流。

10.4.2 系统模型之间转换实例	157
10.5 方框图模型的连接化简	161
10.5.1 方框图模型的连接化简简述	161
10.5.2 系统模型连接化简的 MATLAB 相关函数	163
10.5.3 系统模型连接化简实例	163
10.6 Simulink 图形化系统建模实例	166
本章小结	167
第 11 章 控制系统的稳定性分析	168
11.1 系统稳定性的 MATLAB 直接判定	169
11.1.1 MATLAB 直接判定的相关函数	169
11.1.2 MATLAB 直接判定实例	169
11.2 系统稳定性的 MATLAB 图形化判定	172
11.2.1 MATLAB 图形化判定的相关函数	172
11.2.2 MATLAB 图形化判定实例	172
11.3 MATLAB LTI Viewer 稳定性判定实例	174
本章小结	176
第 12 章 控制系统的时域分析	177
12.1 控制系统的动态性能指标分析	177
12.1.1 控制系统的动态性能指标	177
12.1.2 控制系统动态性能指标 MATLAB 求取实例	178
12.2 控制系统的稳态性能指标分析	185
12.2.1 系统的稳态性能指标	185
12.2.2 控制系统稳态性能指标 MATLAB 求取实例	185
12.3 MATLAB 时域响应仿真的典型函数应用	188
12.3.1 MATLAB 时域响应仿真的典型函数	188
12.3.2 MATLAB 时域响应仿真的典型函数应用实例	188
12.4 MATLAB/Simulink 图形化时域分析	192
12.4.1 MATLAB LTI Viewer 时域分析实例	192
12.4.2 Simulink 时域分析实例	194
本章小结	196
第 13 章 控制系统的根轨迹分析与校正	197
13.1 控制系统的根轨迹法分析	199
13.1.1 MATLAB 根轨迹分析的相关函数	199
13.1.2 MATLAB 根轨迹分析实例	199
13.2 控制系统的根轨迹法校正	211
13.2.1 根轨迹法超前校正及基于 MATLAB 的实例	212
13.2.2 根轨迹法滞后校正及基于 MATLAB 的实例	216

13.3	MATLAB 图形化根轨迹法分析与设计	220
13.3.1	MATLAB 图形化根轨迹法分析与设计工具 rltool	220
13.3.2	基于图形化工具 rltool 的系统分析与设计实例	221
	本章小结	223
第14章	控制系统的频域分析与校正	224
14.1	控制系统的频域分析	225
14.1.1	频率特性及其表示	225
14.1.2	MATLAB 频域分析的相关函数	225
14.1.3	MATLAB 频域分析实例	226
14.2	基于频域法的控制系统稳定性能分析	235
14.2.1	频域法的稳定性判定和稳定裕度概述	235
14.2.2	基于频域法的控制系统稳定性判定相关函数	236
14.2.3	MATLAB 频域法稳定性判定实例	237
14.3	控制系统的频域法校正	243
14.3.1	频域法超前校正及基于 MATLAB 的实例	243
14.3.2	频域法滞后校正及基于 MATLAB 的实例	248
14.3.3	频域法滞后-超前校正及基于 MATLAB 的实例	254
	本章小结	260
第15章	控制系统的 PID 控制器设计	261
15.1	PID 控制器概述	261
15.2	PID 控制器作用分析	262
15.2.1	比例控制作用举例分析	262
15.2.2	比例微分控制作用举例分析	263
15.2.3	积分控制作用举例分析	265
15.2.4	比例积分控制作用举例分析	267
15.2.5	比例积分微分控制作用举例分析	269
15.3	PID 控制器设计举例	271
15.3.1	PID 控制器参数整定方法	271
15.3.2	PID 控制器设计举例	273
	本章小结	276
第16章	非线性控制系统分析	277
16.1	非线性系统概述	278
16.2	相平面法	278
16.2.1	相平面法概述	278
16.2.2	基于 MATLAB 的相轨迹图绘制示例	278
16.3	描述函数法	280
16.3.1	描述函数法概述	280

16.3.2 基于 MATLAB 的描述函数法非线性系统分析示例	281
本章小结	283
第 17 章 课程设计综合实例	284
17.1 课程设计作品 1——系统的滞后超前频域法校正	284
17.1.1 设计目的	284
17.1.2 设计任务	284
17.1.3 具体要求	284
17.1.4 设计原理概述	284
17.1.5 设计方案及分析	285
17.1.6 结束语	296
17.1.7 参考文献	296
17.2 课程设计作品 2——系统的根轨迹法超前校正	296
17.2.1 设计目的	296
17.2.2 设计任务	297
17.2.3 具体要求	297
17.2.4 设计原理及 EDA 工具选择	297
17.2.5 系统校正及结果分析	299
17.2.6 结束语	304
17.2.7 参考文献	304
参考文献	305

上 篇

MATLAB 语言基础

第 1 章

MATLAB 环境认识与操作

本章首先认识 MATLAB 环境,同时对所涉及的操作(如寻求帮助、编辑/调试等)进行介绍。此外,还对 Notebook 工具的使用进行了详细介绍。

1.1 MATLAB 环境认识

按照软件说明安装好 MATLAB 后,其启动的初始界面如图 1.1 所示。

从图 1.1 可以发现,MATLAB 的默认界面由 Command Window(命令窗口)、Command History(命令历史记录)窗口和 Workspace(工作空间)等组成。

如果打开 Desktop 下拉菜单(见图 1.2),还可以通过菜单命令调出其他窗口,如 Help(帮助)窗口、Figure(图形)窗口和 Editor/Debugger(编辑/调试)等。下面通过示例进行简要介绍。

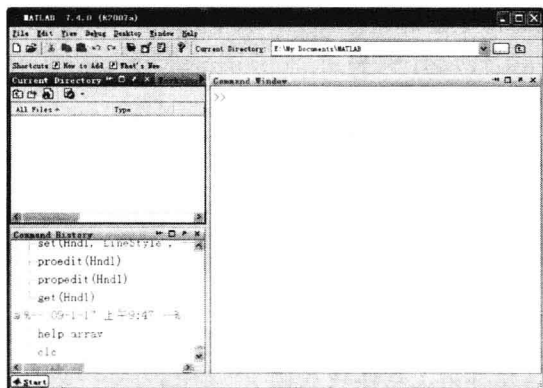


图 1.1 系统初始界面

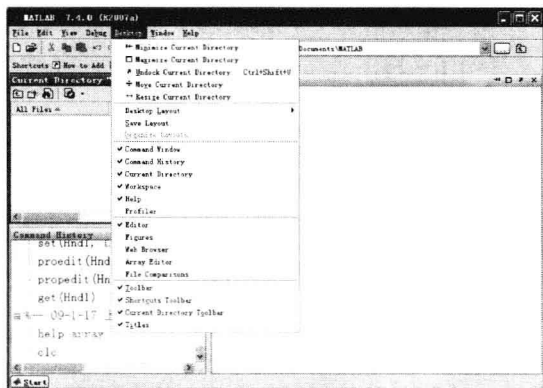


图 1.2 打开 Desktop 下拉菜单的界面

1.1.1 命令窗口

在命令提示符>>后输入合法命令并按 Enter 键,MATLAB 即会自动执行所输入命令并给出执行结果。命令窗口提供了输入命令及输出结果的场所。

【例 1-1】 计算一个半径为 3.2 的圆面积。

```
>> area = pi*3.2^2      % 将运算结果赋值给变量 area

area =

    32.1699
```