

附光盘

控制系统分析、设计 and 应用

—— MATLAB 语言的应用

何衍庆 姜 捷 编著
江艳君 郑 莹

MATLAB

M A T L A B



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

控制系统分析、设计和应用

——MATLAB 语言的应用

何衍庆 姜 捷 编著
江艳君 郑 莹

化 学 工 业 出 版 社

工业装备与信息工程出版中心

·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

控制系统分析、设计和应用——MATLAB 语言的应用
何衍庆等编著. —北京: 化学工业出版社, 2002.12
ISBN 7-5025-4032-6

I. 控… II. 何… III. 控制系统-计算机辅助设计-
软件包, MATLAB IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 083399 号

控制系统分析、设计和应用

——MATLAB 语言的应用

何衍庆 姜 捷 编著
江艳君 郑 莹

责任编辑: 刘 哲

责任校对: 凌亚男

封面设计: 潘 峰

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 22½ 字数 558 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4032-6/TP·312

定 价: 55.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

自 1984 年 MathWorks 公司推出 MATLAB 以来, 作为一个先进的软件, 它已先后在国内外 2500 多所高校被推广和应用用于教学, 出版的相关书籍多达 400 多种。我国在近 10 年中, 也先后有多所高校开设 MATLAB 课程, 并开始出版有关教材。作为一种数值计算的软件, 由于 MATLAB 语言具有编程方便、操作简单、可视化画面、支持多媒体技术、丰富的多学科工具箱、灵活的图像和文字处理功能、优良的仿真图形环境和人机交互操作环境等优点, 使它在较短时间内在激烈的市场竞争中取得了极大发展。目前, MATLAB 已发表第 6.1 版, 它的 SIMULINK 已发表第 4.1 版。

有关 MATLAB 的书籍, 国内出版已有几十种, 但早期出版物通常是原版技术说明书部分内容的翻译简化版, 近年来虽有结合有关学科的书籍出版, 但结合应用的内容较少, 通常按计算机程序语言的方式编写, 例如按函数格式、字符说明等形式编写, 与示例、与理论均结合较少; 或者以 MATLAB 提供的工具箱为主线, 对有关内容进行介绍, 工具箱有关函数和命令与应用的结合较少。不少教师和读者希望有一本能结合实际应用的 MATLAB 教材。为了满足广大读者的要求, 从实用性和普及与提高相结合出发, 我们编写了本书。

本书以控制系统和控制原理为主线, 以控制原理和系统的实际示例为基础, 介绍 MATLAB 语言的应用。在内容上覆盖了经典控制理论和现代控制理论的基础部分, 在被研究的对象上包括了连续控制系统和离散控制系统, 在研究方法上兼顾了频率响应法、根轨迹法和状态空间法, 在编写论述上包含了系统模型建立、系统特性分析、状态反馈和线性二次型最优等基本内容。同时, 作为 MATLAB 语言的应用, 本书以 MATLAB 的应用程序为主线, 以各种问题的应用为目标, 因此, 在控制理论方面仅提供有关的结论, 而较少涉及控制理论的证明等内容。在编写时, 将 MATLAB 作为一个应用工具, 为此, 从应用的要求出发, 涉及的 MATLAB 工具箱除了 MATLAB、Simulink 外, 还包括控制系统工具箱、优化工具箱、系统辨识工具箱和符号数学工具箱等。

本书分为 10 章, 第 1 章介绍 MATLAB 的基础, 包括第 6 版使用的桌面操作环境、编辑和调试操作环境、图形操作环境和数值计算等内容。第 2 章是控制系统的描述, 介绍控制系统组成、过程类型和模型建立、模型转换和连接等内容。第 3 章对系统的时域响应进行分析, 涉及响应曲线的获得、响应曲线的性能分析等内容。第 4 章用频域分析方法讨论和分析控制系统, 也包括了衰减频率特性、非最小相位系统的分析和多变量频域分析等内容。第 5 章是根轨迹分析方法, 介绍根轨迹绘制和根轨迹分析, 也包括含时滞系统的根轨迹绘制和分析等内容。第 6 章讨论多种设计校正方法, 包括基于根轨迹的校正方法和基于频率特性的校正方法、PID 控制器的设计等, 同时, 介绍了 sisotool 设计工具的使用。第 7 章介绍控制系统的状态空间描述, 主要有状态空间的基本概念、稳定性、可控性和可观测性及状态空间模型的实现等内容。第 8 章讨论状态空间的设计, 包括状态反馈、极点配置、等效反馈传递函数和全阶、降阶观测器设计、Kalman 滤波器设计等。第 9 章介绍最优控制和线性二次型调节器问题等。第 10 章是 Simulink 及其应用, 内容有 Simulink 基本操作、用 MATLAB 操作命令进行控制系统仿真和分析、S 函数的应用及控制系统仿真和动画实现等。

5.6.2.1.4

本书是控制原理和控制系统教材的辅助教材。主要介绍如何用 MATLAB 语言解决控制原理和控制系统分析、设计和应用问题。已有不少书籍介绍 MATLAB, 因此, 本书没有全面介绍 MATLAB 的基本应用知识, 仅介绍了 MATLAB 第 6 版开始使用的桌面操作环境和编辑调试操作环境及图形操作环境等, 对于 MATLAB 的核心内容——矩阵, 也仅介绍了一些基本的内容和与控制系统分析、设计和应用有关的矩阵等, 读者可以参考有关书籍或通过 MATLAB 的求助命令得到有关知识。教学时可根据教学大纲要求增补或删减部分内容, 以适应教学的需要。本书使用 MATLAB 提供的控制系统工具箱、符号运算工具箱、系统辨识工具箱和优化工具箱中部分函数和命令, 大部分函数和命令的使用格式在书中有简单介绍。本书提供了全部例题的原文档, 包括图形文件和 S 函数文件等, 还提供了 60 多个自编函数命令, 介绍了它们使用的格式和应用示例, 并配有光盘。本书可作为高等院校自动化专业本专科学生和相关专业学生的教材, 也可作为工程技术人员和科研人员的参考书。

根据国外著名大学控制原理和控制系统分析及设计教材的内容, 本书在内容的编排上作了部分调整, 减少了经典控制系统分析、设计和应用的篇幅, 对现代控制理论的状态空间分析、设计的内容有所增加, 例如, 增加了状态反馈、最优控制等有关内容, 并提供了相应的基础知识, 以适应现代化教学的要求。此外, 从应用的观点出发, 本书没有局限于仅介绍控制系统工具箱, 而是以实际应用为目标, 从多个层面介绍解决实际问题方法。例如, 将 Simulink 和 MATLAB 结合解决时滞控制系统的分析和应用, 用 sisotool 工具和设计校正方法解决设计问题, 用 LTI Viewer 工具和分析设计方法对控制系统进行分析和研究等; 从工具箱的使用来看, 用符号数学工具箱和控制系统工具箱结合得到控制系统时域解析解、拉氏变换解析解、衰减频率特性等。

本书由何衍庆、姜捷、江艳君、郑莹编著。本书的编写工作得到了我校教务处、信息科学与工程学院和自动化系等各级领导和同事们的支持和关心。在本书的编写过程中还得到裴智轶、朱赞、陈磊、陈积玉、张丽丽、俞钦云、范秀兰等所给予的大力帮助。谨在此一并向他们表示衷心的感谢。

由于编著者水平所限, 加上时间仓促, 错误和不当之处在所难免, 恳请广大读者批评指正。

编著者

2002 年 4 月于华东理工大学

内 容 提 要

本书以控制系统和控制原理为主线,以控制原理和系统的实际示例为基础,介绍 MATLAB 语言在控制系统分析、设计中的应用,内容涉及经典控制理论和现代控制理论的基础部分。主要包括 MATLAB 基础、控制系统描述、时域响应分析、频域分析、根轨迹分析、设计校正方法、状态空间描述和状态空间设计、最优控制和线性二次型调节器问题、Simulink 及其应用等,对控制系统分析、设计和应用等有一定应用价值。

本书附带光盘。盘中包括书中所有程序,以及一些常用子程序,并有实际应用实例和大量的参考资料。

本书是控制原理和控制系统的辅助教材,可作为高等院校自动控制专业本专科学生和相关专业学生的教材,也可作为从事控制系统分析、设计和应用开发的工程技术人员和科研人员的参考书。

目 录

1 MATLAB 基础	1
1.1 概述	1
1.1.1 MATLAB 第 6 版的主要特点	1
1.1.2 本书的主要特点	2
1.2 MATLAB 的桌面操作环境	3
1.2.1 MATLAB 的桌面窗口	3
1.2.2 工具栏和状态栏	8
1.2.3 属性设置	8
1.3 MATLAB 的编辑和调试操作环境	8
1.3.1 主菜单栏及下拉式菜单的功能	8
1.3.2 工具栏、工具图标和状态栏	11
1.3.3 属性设置	11
1.4 MATLAB 的图形操作环境	12
1.4.1 主菜单及下拉式菜单的功能	13
1.4.2 图形属性	15
1.5 数值计算和矩阵运算	18
1.5.1 MATLAB 数值类型	18
1.5.2 符号运算	20
1.5.3 矩阵运算	22
1.5.4 关系运算和逻辑运算	28
1.6 程序、文件和函数	30
1.6.1 程序流的控制	30
1.6.2 文件	33
1.6.3 m 文件剖析器	37
1.6.4 程序调试和诊断	38
习题	40
2 控制系统的描述	42
2.1 控制系统组成和常用术语	42
2.1.1 控制系统组成示例	42
2.1.2 常用术语	42
2.2 建立数学模型的方法	43
2.2.1 机理建模	43
2.2.2 根据输入输出数据建立数学模型	44
2.3 拉氏变换和控制系统描述	54
2.3.1 拉氏变换和拉氏反变换	54

2.3.2	线性时不变系统的描述	56
2.3.3	线性时不变系统的属性	60
2.4	模型转换	61
2.4.1	线性时不变模型的转换	62
2.4.2	连续模型和离散模型之间的转换	64
2.5	模型的连接	67
2.5.1	模型的串联连接	67
2.5.2	模型的并联连接	70
2.5.3	模型的反馈连接	71
2.5.4	模型的添加连接	72
2.5.5	复杂模型的连接	73
	习题	76
3	时域响应分析	79
3.1	系统响应的输入信号	79
3.2	根据模型获得响应曲线	79
3.2.1	拉氏反变换法	79
3.2.2	部分分式展开法	82
3.2.3	直接计算法	84
3.3	响应曲线分析	87
3.3.1	阶跃响应的分析	88
3.3.2	脉冲响应的分析	92
3.3.3	用 LTI Viewer 获得响应曲线和性能指标	93
3.4	稳定性分析	95
3.4.1	直接计算特征根的方法	95
3.4.2	劳斯稳定性判据	96
3.5	误差分析	98
3.5.1	静态误差系数	98
3.5.2	动态误差系数	99
3.6	灵敏度和补灵敏度	100
3.7	离散线性时不变控制系统的分析	102
3.7.1	z 变换和 z 反变换	102
3.7.2	离散控制系统的模型和响应分析	104
3.7.3	离散控制系统的稳定性分析	107
3.7.4	用 LTI Viewer 获得离散控制系统的响应曲线和性能指标	109
3.8	相平面分析	111
3.8.1	相平面的基本概念	111
3.8.2	绘制相平面图	111
3.8.3	相平面分析	113
3.8.4	非线性系统的相平面分析	115
	习题	116

4 频率响应分析	119
4.1 频率响应与传递函数的关系	119
4.2 频率响应的图示法	119
4.2.1 奈魁斯特图	120
4.2.2 伯德图	123
4.2.3 尼柯尔斯图	125
4.3 频率响应分析	127
4.3.1 性能分析	127
4.3.2 稳定性分析	130
4.4 非最小相位系统的频率响应分析	136
4.5 逆奈魁斯特图和系统分析	138
4.5.1 单变量的逆奈魁斯特图	138
4.5.2 多变量频域中的对角优势矩阵	139
4.5.3 格希哥仁定理	140
4.6 离散控制系统的频域分析	141
4.7 衰减频率响应	142
4.7.1 衰减频率响应	142
4.7.2 衰减比判据	145
4.8 描述函数的分析	146
4.8.1 描述函数的基本概念	146
4.8.2 稳定性分析	147
习题	149
5 根轨迹分析	151
5.1 基本原理	151
5.1.1 根轨迹与等增益轨迹	151
5.1.2 零极点与过渡过程的关系	152
5.1.3 二阶系统极点位置与过渡过程的关系	156
5.2 绘制根轨迹	158
5.2.1 根轨迹的起点、终点和分支数	158
5.2.2 根轨迹的分离点或会合点	158
5.2.3 根轨迹的渐近线	159
5.2.4 根轨迹与虚轴的交点	160
5.2.5 确定根轨迹上点的增益	161
5.3 根轨迹分析	162
5.3.1 性能分析	162
5.3.2 稳定性分析	163
5.4 含时滞环节系统的根轨迹	164
5.4.1 根轨迹起点、终点和分支数	164
5.4.2 根轨迹的渐近线	164
5.4.3 根轨迹的分离点或会合点	164

5.4.4	根轨迹与虚轴的交点	164
5.4.5	根轨迹与等衰减比线的交点	164
5.4.6	绘制含时滞环节系统的根轨迹	165
5.5	绘制根轨迹的示例	166
5.6	在 z 平面的根轨迹	169
5.7	特殊情况的处理	170
5.7.1	正反馈控制系统的根轨迹	170
5.7.2	根轨迹族的绘制	171
习题		173
6	设计和校正方法	174
6.1	设计和分析方法	174
6.1.1	增加极点对控制系统的影响	175
6.1.2	增加零点对控制系统的影响	176
6.1.3	开环对数幅频和相频特性与控制品质的关系	176
6.2	超前校正	178
6.2.1	超前校正环节的特性	178
6.2.2	基于根轨迹的超前校正设计	180
6.2.3	基于频率响应的超前校正设计	182
6.3	滞后校正	184
6.3.1	滞后校正环节的特性	184
6.3.2	基于根轨迹的滞后校正设计	185
6.3.3	基于频率响应的滞后校正设计	187
6.4	超前滞后校正	189
6.4.1	超前滞后校正环节的特性	190
6.4.2	超前滞后校正环节的设计	190
6.5	其他校正方法	191
6.5.1	零极点对消	192
6.5.2	反馈校正	192
6.5.3	前馈校正	194
6.6	PID 控制器设计	194
6.6.1	比例、积分和微分控制作用对过程控制品质的影响	195
6.6.2	控制器参数整定	199
6.7	SISO 系统的设计工具	205
6.7.1	系统设计工具 sisotool 的使用方法	205
6.7.2	系统设计工具的使用	214
习题		217
7	状态空间描述	219
7.1	状态空间的基本概念	219
7.1.1	状态、状态变量和状态空间	219
7.1.2	状态方程和输出方程	220

7.1.3	状态方程的求解、传递函数矩阵和状态转移矩阵的计算	221
7.1.4	状态空间中系统的图形描述	223
7.2	稳定性、可控性和可观性	224
7.2.1	稳定性	224
7.2.2	可控性	228
7.2.3	可观性	230
7.2.4	对偶性	232
7.2.5	相似变换和模态矩阵	233
7.2.6	系统状态的典型分解	234
7.3	状态空间模型的描述	236
7.3.1	约当规范型	236
7.3.2	控制器规范型	237
7.3.3	观测器规范型	238
7.3.4	系统的实现	238
	习题	243
8	状态反馈控制和观测器设计	245
8.1	状态反馈	245
8.1.1	状态反馈和输出反馈	245
8.1.2	状态反馈的等效简化	248
8.1.3	状态反馈控制系统的设计	251
8.2	观测器设计	256
8.2.1	全阶观测器的设计	256
8.2.2	降阶观测器的设计	260
8.2.3	观测器在状态反馈控制系统中的应用	262
8.3	Kalman 滤波器设计	265
8.3.1	Kalman 滤波器的递推算法	265
8.3.2	使用 Kalman 滤波器时的注意事项	266
8.3.3	示例	267
8.4	解耦控制系统的设计	269
8.4.1	控制回路的关联	269
8.4.2	相对增益矩阵	271
8.4.3	关联系统的预对角化	273
8.4.4	状态反馈解耦	277
8.5	系统灵敏度分析	278
8.5.1	四种不同情况下的系统灵敏度	278
8.5.2	状态反馈系统的灵敏度分析	280
	习题	282
9	动态最优控制	283
9.1	基本概念	283
9.1.1	目标函数	283

9.1.2	容许控制	284
9.1.3	最优控制问题的一般数学描述	284
9.1.4	最优控制与常规反馈控制的区别	284
9.1.5	动态最优控制的结构和分类	285
9.1.6	变分法的基本概念	286
9.2	最小值原理	287
9.2.1	最小值原理的导入	287
9.2.2	最小值原理	288
9.3	最短时间控制	291
9.3.1	最短时间控制的特点	291
9.3.2	用 Simulink 进行最短时间控制系统的分析	292
9.3.3	最短时间控制系统的设计	293
9.4	线性二次型最优控制	296
9.4.1	线性二次型最优控制的问题和解答	296
9.4.2	加权矩阵的设置	298
9.4.3	线性二次型最优控制系统的稳定性	302
9.5	线性二次型高斯问题	302
	习题	304
10	Simulink 及应用	305
10.1	Simulink 的使用	305
10.1.1	Simulink 基本操作	305
10.1.2	创建遮蔽子系统	319
10.1.3	条件执行子系统	323
10.1.4	子系统的 mdl 文件	327
10.2	采用 MATLAB 命令进行仿真和分析	330
10.2.1	仿真系统打开和关闭的 MATLAB 操作命令	330
10.2.2	设置仿真系统功能模块参数的操作命令	331
10.2.3	设置仿真系统解算器参数的操作命令	333
10.2.4	仿真系统运行结果的分析操作命令	335
10.2.5	仿真系统运行的操作命令	337
10.3	S 函数的设计和应用	337
10.3.1	S 函数的设计	337
10.3.2	S 函数的应用	340
10.4	控制系统的仿真	341
10.4.1	控制系统仿真	341
10.4.2	控制系统仿真的动画效果	342
10.4.3	仪表显示和交互界面设计	344
	习题	348

1 MATLAB 基础

1.1 概述

1.1.1 MATLAB 第 6 版的主要特点

1984 年 Mathworks 公司推出 MATLAB 语言。它是建立在矩阵基础上的一种系统分析和仿真语言。自推出第一版以来,得到了各行各业科技工作者的欢迎,并不断丰富其内容,所包含的工具箱类型不断增加,工具箱功能越来越完善,应用范围越来越广泛。2001 年 Mathworks 公司正式推出 MATLAB 第 6 版和 Simulink 第 4 版。

经过多年的充实和改进, MATLAB 已成为科技工作者分析和研究各类问题的重要工具,它在各行各业正发挥重要作用。我国在 20 世纪 80 年代中期开始,先由部分归国学者引入 MATLAB,并在部分领域使用。其后,大量以 MATLAB 求助资料为蓝本的翻译简化版书籍出版,推动了我国 MATLAB 的研究和应用。随着我国不少高等院校以 MATLAB 作为工具进行教学后, MATLAB 的应用得到了飞速发展。为适应科技发展需要,介绍 MATLAB 在控制系统分析和设计的教材也陆续出版,使其应用更广泛和深入。

MATLAB 第 6 版在增加一些新产品的同时,更新了一些工具箱的内容,例如,数据采集、数据分析和控制系统设计、DSP 和通信等,其计算速度也得到较大改善。MATLAB 第 6 版的主要特点如下。

- 采用全新的桌面操作环境 与 MATLAB 5.x 相比,第 6 版采用了全新的桌面操作环境,该桌面操作环境提供了 MATLAB 命令窗口、命令历史窗口、工作空间窗口、工作空间浏览器、数据编辑器等。它集成了 MATLAB 文件、数值变量工具和辅助工具于同一操作开发环境,使用户能方便地对文件进行浏览,对数据进行操作,能直接获得求助信息,直接进入所需的文件操作路径,获得数据信息等。桌面环境包含的数据编辑器为用户提供了快捷的读写操作和实现数据的转换等功能。

- 采用交互的图形编辑和标注操作环境 第 6 版对图形的编辑和标注操作环境进行了改进和完善。为了加快图形的编辑和标注,采用了优化技术,采用 OpenGL,能方便地编辑和更改图形属性和标注等。

- 改进数值处理方法 第 6 版对数值处理方法进行了不少改进,使操作速度达到原来操作速度的 2~8 倍。例如,为了快速的矩阵计算,优化了 LAPACK 库;为了快速傅里叶变换(FFT)函数的执行,建立了相应的函数库 FFTW;此外,还建立新的微分方程计算方法,如 bvp4c、pdepe 等函数;采用更高精度的 quad 算法等;改进曲线拟合等函数,如第 2 章介绍的非线性曲线的拟合函数等。

- 建立新的数据统计和处理工具 例如,用于快速绘制图形并进行分析,建立了 Filter Design Toolbox, Financial Derivatives Toolbox 等工具箱。

- 在图形处理上采用更先进的算法 实现了二维图形、曲面等透明对象的显示,采用交互的摄像机控制,对图形进行交互的操作。

- 方便对 Java 的操作 可直接从 MATLAB 使用预先建立的 Java 对象,并为使用 Java

建立新的操作界面。例如，用 MATLAB 的函数将 Java 类引入 MATLAB 操作环境，从这些类中建立对象等。

- 提供了与外部仪表的通信 MATLAB 为外部仪表与 MATLAB 之间提供了新的串行接口界面。例如，支持 GPIB 和 VISA 通信协议，可直接与连接到计算机串行口的调制解调器、打印机和仪表进行通信。

- 采用新的图形对象属性编辑界面 MATLAB 增强了图形处理的功能，采用了新的图形对象属性的编辑界面。

- 改进应用程序接口 第 6 版为 Microsoft 公司的可视化工作室提供了相应的应用程序接口 (API) 和有关的 MATLAB 操作码，并提供了与 C/C++ 等语言的接口编辑程序等。

- 采用新的基于 HTML 的求助系统 该求助系统集成在 MATLAB 桌面操作环境中。

Simulink 第 4 版也提供了一些有用的功能，主要包括下列内容：

- 采用图形诊断和调试器，能方便地对 Simulink 的图形进行诊断和调试，例如采用单窗口或多窗口选择等；

- 提供了对矩阵信号的处理功能，大多数的功能模块具有对矩阵信号的处理能力；

- 为快速的 DSP 提供了基于框架的信号处理方法；

- 为大型仿真系统的开发提供信号处理和编辑功能；

- 为用户的数据结构提供 Simulink 数据对象；

- 改进了功能模块库浏览器和图形库浏览器，例如采用功能模块执行标志号等；

- 改进了子系统的建立和组态，例如子系统菜单用于选择功能模块；

- 改进了操作码的生成技术，加快了 Simulink 加速器的执行。

控制系统工具箱第 5 版也有部分改进，主要改进如下：

- 改进控制系统设计工具，原 rltool 设计工具改进成为 sisotool，为补偿器的设计提供了更强的设计功能，例如可直接进行频率特性的分析，可完成多个图形显示等；

- 在 LTI 模型中增加了 frd 系统模型，便于对频率响应的分析和操作；

- 增加了模型的 “InputGroup” 和 “OutputGroup” 属性；

- 改进 LTI 模型，使原来用于 SISO 系统的大多数命令能用于 LTI 数组；

- 采用 iodelay 属性，能对 MIMO 系统中各自时滞进行设置，并使时滞属性支持离散系统的模型；

- 改进 LTI Viewer，增强了原有的 LTI Viewer 功能和 Simulink 的 LTI Viewer 功能，例如，采用数据的标记来显示数据和系统的信息，响应曲线可多达 6 条，能对 Simulink 功能模块线性化，采用改进的网格技术等；

- 改进了部分函数的算法，例如，第 6 版增加了稳定裕度计算的 allmargin 函数，改进了 minreal 函数的计算方法，第 6.1 版增加了带宽 bandwidth 函数等；

- 可直接用符号数字工具输入系统模型等，例如，可输入下列程序：

```
s=tf('s')
```

```
G=(s+2)/(s^2+3*s+1)
```

表示输入的传递函数 $G = \frac{s+2}{s^2+3s+1}$ 。

1.1.2 本书的主要特点

本书是为适应高校自动化专业和相关专业本专科学生的学习而编写的。由于 MATLAB

的基础教材较多,因此本书是控制系统分析、设计和应用教材的辅助教材,主要介绍 MATLAB 在控制系统分析、设计和应用中的问题。同时,它也是工矿企业、科研单位工程技术人员学习 MATLAB 的参考书或继续教育的教材。

本书的主要特点如下。

- 应用性强 本书根据控制系统分析和设计的要求对教材进行了编排,突出应用性。为此,在内容的编排上以控制系统分析、设计和应用的教材为蓝本,环绕分析、设计和应用的问题,采用 MATLAB 工具解决实际问题。

- 覆盖面广 本书以 MATLAB 的控制系统工具箱为主,从实际应用的要求出发,介绍了系统辨识工具箱和优化控制工具箱的部分内容。为了使学生对应用问题的求解有较深的理解,本书还介绍了 MATLAB 的符号数学工具箱,并将它们与实际应用问题结合,使本书的内容更广泛,应用面更宽广。

- 类型多 应用问题的分析和设计可以有多种方法。本书提供了较多的方法,例如,用 MATLAB 计算的方法,用 Simulink 仿真的方法,两者结合的方法等;除介绍了 MATLAB 的函数和命令外,还介绍在控制系统分析、设计和应用中常用的 LTI Viewer 工具和 sisotool 工具;除介绍了 Simulink 的基本功能模块外,还介绍 S 函数和动画制作等技术;除使用 MATLAB 提供的函数外,还提供自编的几十个函数,使问题求解更方便。

作为 MATLAB 语言的应用,本书以 MATLAB 的应用程序为主线,以各种问题的应用为目标,因此,在控制理论方面仅提供有关的结论,而较少涉及控制理论的证明等内容。在编写时,没有介绍大量的理论推导,尤其对经典控制理论介绍较少,但对应用方法等内容安排了较多的示例。为此,从应用的要求出发,将 MATLAB 作为一个应用工具,所涉及的 MATLAB 工具箱除了 MATLAB、Simulink 外,还包括控制系统工具箱、优化工具箱、系统辨识工具箱和符号数学工具箱等。应该指出,对于同一问题,可以有多种解决的方法,本书没有提供全部的解决方法,例如,对某一问题,介绍这种方法,对另一问题,介绍另一种方法,读者应能从中举一反三,领悟到各种解决方法的真谛。

1.2 MATLAB 的桌面操作环境

MATLAB 第 6 版为用户提供了全新的桌面操作环境。启动 MATLAB 后显示如图 1-1 所示桌面操作环境,即主窗口。主窗口分为主菜单栏、工作桌面、状态栏。

主菜单由 File、Edit、View、Web、Window 和 Help 等主菜单组成。工作桌面由操作图标、当前路径显示、当前文件夹浏览器和多个窗口组成。状态栏显示当前的状态。起始窗口和工作空间窗口合用一个窗口区,命令历史窗口和当前路径窗口合用一个窗口区,命令窗口单独作为一个窗口区。合用的窗口区可用键钮进行窗口的切换,也可以在操作桌面同时显示。操作图标除了与 Windows 操作图标相同的以外,还设置了启动 Simulink 的图标和求助图标,如图所示。

1.2.1 MATLAB 的桌面窗口

MATLAB 第 6 版开始,除了提供命令窗口外,还提供了命令历史窗、当前路径窗、起始窗和工作空间窗。

1.2.1.1 命令窗口和主菜单

MATLAB 的命令窗口用于 MATLAB 命令的交互操作。点击图 1-1 中命令窗口的窗口弹出桌面钮,命令窗从桌面弹出,如图 1-2 所示。可以用鼠标拖曳来改变命令窗的窗口大

小。与 MATLAB 以前的版本比较，窗口主菜单增加了，例如，与第 5.1 版比较增加了 View 和 Web，与第 5.3 版比较增加了 Web，此外，下拉式菜单功能也得到增强。

命令窗口的功能如下：

- 提供用户输入命令的操作平台，用户通过该窗口输入命令和数据；
- 提供命令执行结果的显示平台，该窗口显示命令执行的结果。

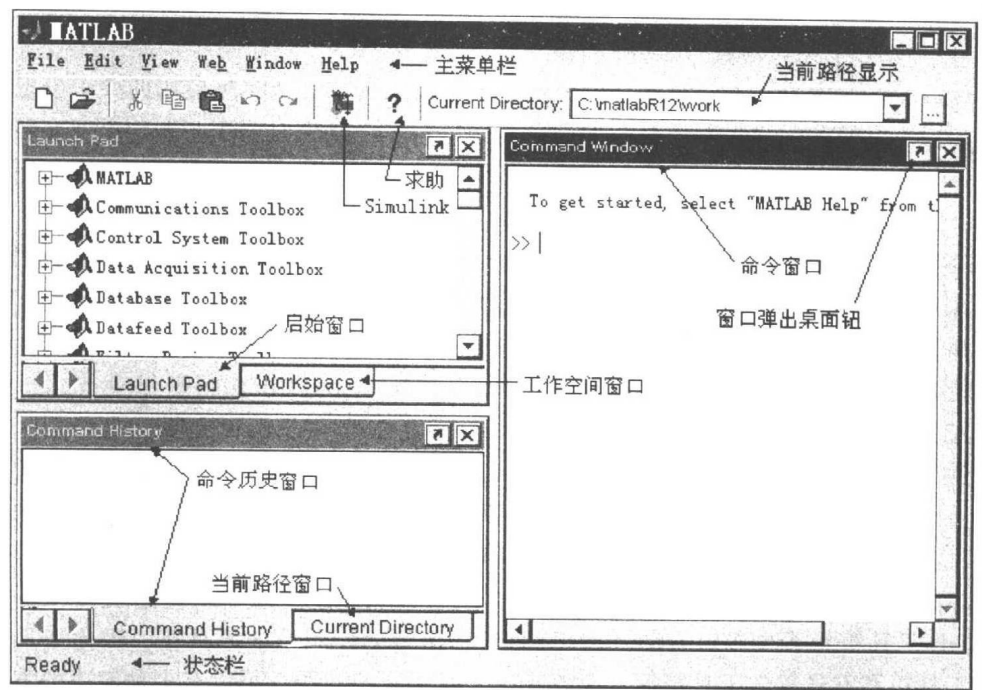


图 1-1 MATLAB 桌面操作环境画面



图 1-2 命令窗口画面

命令窗口的主菜单栏与 MATLAB 的主菜单栏是相同的，当命令窗弹出时，主菜单栏也同时带出。在此简单介绍各主菜单和下拉式菜单的功能。

(1) File 菜单 点击 File 主菜单项或同时按下“Alt + F”键，弹出如图 1-3 所示的文件主菜单下拉式菜单。其中，带下划线的字母表示快捷键，即按该字母键钮的操作来执行有关的功能操作。

- New: 用于建立新的 m 文件、图形、模型和图形用户界面。
- Open...: 用于打开 MATLAB 的 m 文件、fig 文件、mat 文件、mdl 文件、cdr 文件等。该选项后显示的“Ctrl + O”表示该选项也可同时按“Ctrl + O”实现。下面这类显示选

项都具有选中该选项的功能，不另述。

- Close Command Window: 关闭命令窗口。
- Import Data...: 从其他文件导入数据。点击后弹出对话框，选择导入文件的路径和位置。
- Save Workspace As...: 将工作空间的数据存放到相应的路径文件中。
- Set Path...: 设置工作路径。
- Preference...: 设置命令窗的属性。点击该选项，弹出如图 1-4 所示属性画面。

在属性菜单中选择所需设置的选项，则画面右面将显示对应的属性，可在该画面进行属性设置。

- Print...: 打印和打印属性设置。与 Windows 的操作及显示相似。
- Print Selection...: 选中需打印的文件或其他对象，则该选项可选择。用于打印选中的文件对象等。
- Exit MATLAB: 退出 MATLAB 桌面操作环境。

(2) Edit 菜单 点击 Edit 菜单选项，或按“Alt + E”键，弹出编辑主菜单的下拉式菜单，如图 1-5 所示。

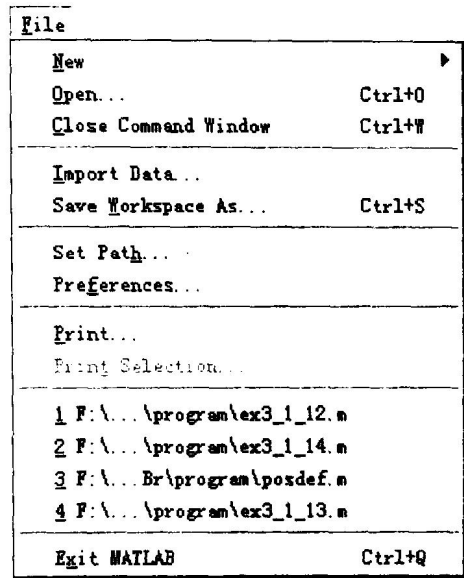


图 1-3 File 的下拉式菜单画面

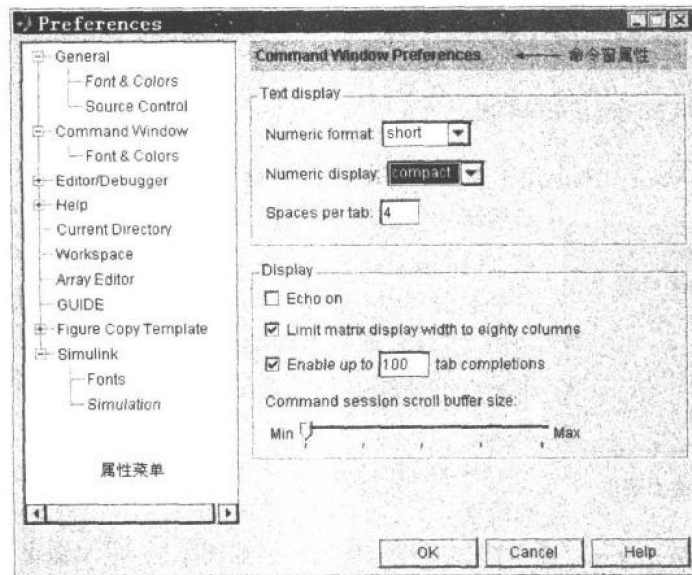


图 1-4 命令窗的属性对话框画面

- Undo: 撤消上一步操作。
- Redo: 重新执行上一步操作。
- Cut: 将选中的对象剪切。
- Copy: 将选中的对象复制。
- Paste: 将剪贴板上的内容粘贴。