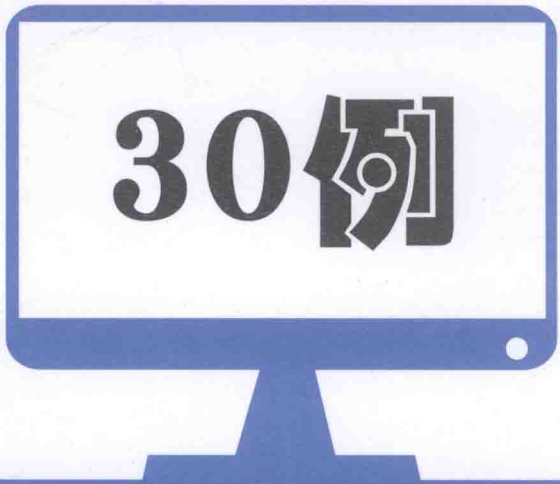


源于实践 例例精彩

MATLAB

工程仿真 与应用



30例

施梨 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

MATLAB 工程仿真 与应用 30 例

施梨 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

MATLAB 一个突出的特点是能够为工程实践提供强大有效的解决方案, 目前已在多个工程领域中得到广泛应用。本书着眼于工程实际, 一方面注重内容的实用性, 不仅详细介绍 MATLAB 工程应用的理论基础, 并且针对每个应用模块给出了典型的应用实例, 使读者在实际练习的过程中能快速提高应用水平; 另一方面结合工程应用的广泛性和集中性, 将全书分为控制、通信、电力电子、结构、热、图像和逻辑七大部分, 每一部分通过 4~6 个实例讲述 MATLAB 在某一个特定领域的工程应用, 从而使读者充分掌握 MATLAB 在多个工程领域的应用方法和应用过程。

随书提供案例源程序、教学视频等配套资源, 读者可登陆华信教育资源网 (www.hxedu.com.cn) 搜索本书免费下载 (须先注册)。

本书主要面向工科类的在校研究生和科研人员, 另外还可作为相关专业技术人员的参考用书。

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

MATLAB 工程仿真与应用 30 例 / 施梨编著. —北京: 电子工业出版社, 2015.5

ISBN 978-7-121-25105-4

I. ①M… II. ①施… III. ①Matlab 软件 IV. ①TP317

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 292696 号

策划编辑: 陈韦凯

责任编辑: 陈韦凯 特约编辑: 蒲 玥

印 刷: 北京京师印务有限公司

装 订: 北京京师印务有限公司

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: 787×1092 1/16 印张: 20.75 字数: 531 千字

版 次: 2015 年 5 月第 1 版

印 次: 2015 年 5 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 54.00 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 是由美国 Mathworks 公司发布的主要面对科学计算、可视化及交互式程序设计的仿真计算环境。它将数值分析、矩阵计算、科学数据可视化及非线性动态系统的建模和仿真等诸多强大功能集成在一个易于使用的视窗环境中,为科学研究尤其是工程设计提供了一种全面的解决方案。本书精心挑选了 30 个工程仿真实例,用于展示 MATLAB 在工程仿真中的广泛应用和解决能力。

在编写本书时,我们努力遵循如下 5 点准则:

(1) 精心选择、安排实例内容。在工程实例选取时,主要选取船舶、飞机、汽车和卫星 4 个具有典型代表的工程对象。这 4 个工程对象系统复杂,代表了现代工程中多学科、多领域融合的方向。

(2) 难度由浅入深,易于理解。本书从 MATLAB 基础知识开始到各种工具箱介绍,使读者逐渐掌握 MATLAB 在工程实践中的多项应用。

(3) 涉及范围广、实例集中。书中介绍了 MATLAB 在控制、通信、电力电子、结构、热、图像和逻辑等多个工程领域的应用,但是实例主要集中在船舶、飞机、汽车和卫星 4 个工程对象,从多个方面展示工程对象的特征,更易于读者理解和掌握。

(4) 理论和实践相结合。书中的每一部分都是由理论基础到工程实际应用,读者既可以全面地了解理论知识,又可以掌握在工程中的使用方法。

(5) 目标和任务明确。每一个实例都介绍本例学习目标及本例小结,使读者在阅读时带着明确的任务,效率更高。

本书内容安排大致如下:

第一部分(第 1 例至第 4 例)为控制工程仿真,在介绍 MATLAB 编程基础和 Simulink 建模基础后,介绍基于 MATLAB 设计控制器的方法,并通过船舶、飞机、汽车和卫星 4 个实例予以介绍。

第二部分(第 5 例至第 8 例)为通信工程仿真,基础知识部分介绍了 MATLAB 通信工具箱、MATLAB 文件操作、串口操作和 S 函数第一部分。在实例部分以车载数字电视调制解调、舰载雷达通信系统、机载 GPS 信号接收及处理建模和 GPS 的 C/A 码及导航电文建模为例,介绍通信工程部分的仿真。

第三部分(第 9 例至第 12 例)为电力电子工程仿真,基础知识部分介绍了 SimPowerSystems 工具箱、Simdriveline 工具箱、RF 工具箱、Simscape 工具箱和 SimElectronics 工具箱基础知识。在实例部分介绍了燃料电池汽车仿真、雷达射频前端电

路仿真、飞机供电系统仿真和重力场卫星加速度计读取电路仿真。

第四部分（第 13 例至第 16 例）为结构工程仿真，基础知识部分介绍了 SimMechanics 工具箱和基于 M 语言的 GUI 设计。实例部分介绍了汽车 Stewart 平台仿真、舰载四杆机构仿真、基于 SolidWorks 的 Stewart 平台三维模型转换和卫星三维建模与有限元仿真。

第五部分（第 17 例至第 20 例）为热工程仿真，基础知识部分介绍了 Simscape 语言、Level-2S 函数和基于 C 语言 S 函数的使用方法。工程实例部分介绍了汽车温度调节系统仿真、船舶温度调节系统和卫星温度调节系统等仿真。

第六部分（第 21 例至第 24 例）为图像工程仿真，基础知识介绍了图像处理工具箱和地图工具箱，工程实例部分介绍了基于图像处理的交通车辆辨识、大型飞机航拍图处理、基于地图工具箱的船舶定位研究和卫星星下点轨迹图生成等仿真。

第七部分（第 25 例至第 30 例）为逻辑系统仿真，基础知识介绍了 Stateflow 工具箱基础知识，工程实例部分介绍了发射终止系统、月球登陆器自动驾驶仪、飞机俯仰轴容错控制、汽车电动车窗升降控制、汽车传动系统和导弹制导系统等仿真。

本书主要由施梨编著，此外，参与编写、修改工作的还有李龙、魏勇、王华、李辉、刘峰、徐浩、李建国、马建军、唐爱华、苏小平、朱丽云、马淑娟、周毅、张玉兰等。

本书编著者在编写过程中一直从读者的角度出发，力求通俗易懂，并充分考虑了当前工程实践的需求，其内容和难度符合广大学生和科研工作者在学习和生产实践中的使用需求。由于编著者水平有限，书中缺点和疏漏在所难免，恳请读者批评指正。

编著者

2015 年 2 月于上海松江

目 录



第一部分 控制工程仿真实例	1
引言——控制工程建模与分析方法	1
第 1 例 船舶运动控制仿真	7
1.1 MATLAB 编程基础	7
1.1.1 变量	7
1.1.2 运算符	11
1.1.3 常用数学函数	12
1.1.4 文件建立	15
1.2 船舶运动动力学及控制器	15
1.3 船舶运动控制器设计及仿真程序	16
1.4 本例小结	21
第 2 例 F-14 战斗机俯仰轴控制仿真	22
2.1 Simulink 建模及仿真基础	22
2.2 F-14 俯仰轴动力学模型	25
2.3 基于 Simulink 的 F-14 俯仰轴仿真模型	26
2.4 本例小结	29
第 3 例 汽车主动悬架控制器设计与仿真	30
3.1 汽车被动悬架系统仿真	30
3.1.1 被动悬架系统动力学模型	31
3.1.2 被动悬架系统 Simulink 模型	32
3.2 汽车主动悬架系统控制器设计	33
3.2.1 主动悬架系统动力学模型	33
3.2.2 主动悬架系统控制器设计及建模仿真	34
3.3 本例小结	37
第 4 例 卫星对地定向姿态控制设计	38
4.1 LMI 工具箱简介	38
4.1.1 LMI 基本概念	38



4.1.2 LMI 求解问题类型	39
4.1.3 LMI 建模求解函数	40
4.2 卫星对地定向动力学模型	42
4.3 控制器设计及仿真	43
4.4 本例小结	45
第二部分 通信工程仿真实例	46
引言——通信系统分类及 MATLAB 通信工具箱简介（上）	46
第 5 例 车载数字电视调制解调设计	56
5.1 MATLAB 通信工具箱简介（下）	56
5.2 车载数字电视调制解调设计	59
5.3 本例小结	63
第 6 例 舰载雷达通信系统仿真	64
6.1 S 函数简介	64
6.2 舰载雷达通信系统建模仿真	67
6.3 本例小结	71
第 7 例 机载 GPS 信号接收及处理过程建模	72
7.1 基于 MATLAB 文件操作简介	72
7.1.1 文件的打开与关闭	72
7.1.2 二进制文件的读/写操作	73
7.1.3 文本文件的读/写操作	74
7.1.4 MATLAB 读 txt 文件	74
7.2 机载 GPS 信号接收及处理建模	75
7.3 本例小结	80
第 8 例 GPS 卫星发射信号模拟	81
8.1 MATLAB 串口操作简介	81
8.2 GPS 的 C/A 码及导航电文建模	83
8.3 本例小结	89
第三部分 电力电子仿真实例	90
引言——SimPowerSystems 简介	90
第 9 例 燃料电池汽车动力系统仿真	96
9.1 Simdriveline 简介	96
9.1.1 SimDriveline 功能概述	96
9.1.2 SimDriveline 工具箱分类	98



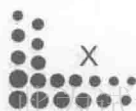
9.1.3 基于 SimDriveline 建模特点	99
9.2 燃料电池汽车仿真	99
9.2.1 燃料电池汽车简介	99
9.2.2 燃料电池汽车仿真电路设计	99
9.2.3 仿真结果及分析	102
9.3 本例小结	103
第 10 例 船舶雷达系统射频前端电路分析	104
10.1 RF 工具箱简介	104
10.1.1 基于 M 语言的 RF 工具箱特点及仿真过程	104
10.1.2 基于 Simulink 的 RF 工具箱分类	108
10.2 雷达射频前端电路设计与仿真	111
10.3 本例小结	112
第 11 例 飞机供电系统设计与仿真	113
11.1 Simscape 工具箱简介	113
11.1.1 Simscape 功能及特点	113
11.1.2 Simscape 分类	114
11.1.3 Simscape 数学方程及仿真流程	115
11.2 飞机供电系统建模与仿真	117
11.2.1 飞机供电系统电路设计	118
11.2.2 仿真结果	121
11.3 本例小结	122
第 12 例 重力场卫星加速度计读取电路设计	123
12.1 SimElectronics 工具箱简介	123
12.1.1 SimElectronics 工具箱特点	123
12.1.2 SimElectronics 工具箱分类介绍	124
12.2 重力场卫星加速度计敏感电路设计与仿真	127
12.2.1 重力场卫星读取电路设计	127
12.2.2 仿真结果及分析	128
12.3 本例小结	131
第四部分 结构工程仿真实例	132
引言——SimMechanics 工具箱简介（上）	132
第 13 例 车载 Stewart 平台建模与仿真	141
13.1 SimMechanics 工具箱简介（中）	141
13.2 车载 Stewart 平台建模与仿真	145



13.3	本例小结	148
第 14 例	舰载雷达四杆机构建模与仿真	149
14.1	SimMechanics 工具箱简介 (下)	149
14.1.1	SimMechanics 工具箱可视化准备工作	149
14.1.2	可视化仿真窗口介绍	150
14.2	舰载雷达四杆机构仿真	152
14.3	本例小结	154
第 15 例	基于 SolidWorks 的机载 stewart 平台建模与仿真	155
15.1	从 CAD 建模工具中输入模型	155
15.1.1	转换步骤	155
15.1.2	生成模型特性	158
15.1.3	转换后模型修改	159
15.2	基于 SolidWorks 的 stewart 平台三维模型转换	160
15.3	本例小结	162
第 16 例	卫星三维建模与有限元分析	163
16.1	基于 M 语言的 GUI 界面设计	163
16.2	卫星三维建模与有限元分析	167
16.3	本例小结	173
第五部分	热工程仿真实例	174
引言	——Simscape 语言简介 (上)	174
第 17 例	车载 stewart 平台建模与仿真	181
17.1	Simscape 语言简介 (中)	181
17.2	汽车温度调节系统仿真	186
17.3	本例小结	189
第 18 例	机载简易温度检测系统	190
18.1	Simscape 语言简介 (下)	190
18.2	机载简易温度检测仿真	194
18.3	本例小结	197
第 19 例	船舶温度调节系统	198
19.1	Level-2 S 函数简介	198
19.1.1	Level-2 S 函数基本特性	198
19.1.2	Level-2 S 函数模板	199
19.2	船舶温度调节系统	202

19.3 本例小结	204
第 20 例 卫星温度调节系统	205
20.1 基于 C 语言的 S 函数简介	205
20.2 卫星温度调节系统建模与仿真	211
20.3 本例小结	213
第六部分 图像工程仿真实例	214
引言——图像处理工具箱介绍（上）	214
第 21 例 汽车图像识别	221
21.1 图像处理工具箱介绍（中）	221
21.1.1 图像合成	221
21.1.2 图像的空间变换	222
21.1.3 邻域和块处理	224
21.2 基于图像处理的交通车辆辨识	225
21.3 本例小结	229
第 22 例 飞机航拍图处理	230
22.1 图像处理工具箱介绍（下）	230
22.1.1 图像分析	230
22.1.2 图像配准	232
22.2 大型飞机航拍图处理	234
22.3 本例小结	241
第 23 例 船舶定位研究	242
23.1 地图工具箱介绍（上）	242
23.1.1 创建地图	242
23.1.2 地理计算	244
23.2 基于地图工具箱的船舶定位研究	247
23.2.1 地图工具箱用于导航基本方法	247
23.2.2 船舶最短路程规划实例	250
23.3 本例小结	253
第 24 例 卫星星下点轨迹仿真	254
24.1 地图工具箱介绍（下）	254
24.1.1 地图投影	254
24.1.2 创建和查看地图	257
24.2 卫星星下点轨迹图生成	261
24.3 本例小结	262

第七部分 逻辑系统仿真实例	263
引言——逻辑系统简介	263
第 25 例 发射终止系统仿真	264
25.1 Stateflow 状态模块与连接模块简介	264
25.1.1 状态模块	264
25.1.2 转移	267
25.2 发射终止系统	269
25.3 本例小结	272
第 26 例 月球登陆器自动驾驶仪仿真	273
26.1 Stateflow 其他模块的概念和基本用法	273
26.1.1 默认转移模块	274
26.1.2 历史节点	275
26.1.3 连接节点	276
26.1.4 盒子模块	278
26.1.5 连接分类	278
26.2 月球登陆器自动驾驶仪仿真	280
26.2.1 数据存储共享系统	281
26.2.2 动力学系统	281
26.2.3 开关逻辑生成系统	282
26.3 本例小结	283
第 27 例 飞机俯仰轴容错控制仿真	284
27.1 基于 Stateflow 建立有限状态机过程	284
27.1.1 建立 Stateflow Chart 内部结构	284
27.1.2 定义输入/输出变量	286
27.2 飞机俯仰轴容错控制仿真	288
27.3 本例小结	290
第 28 例 汽车电动车窗升降控制仿真	291
28.1 Stateflow 运行机理	291
28.1.1 有限状态自动机与 UML 状态图理论概述	291
28.1.2 Stateflow 机制分析与实现思路	293
28.2 汽车电动车窗升降控制仿真	295
28.2.1 指令输入部分	296
28.2.2 车窗动力学与控制部分	297
28.2.3 车窗控制逻辑部分	299
28.2.4 仿真结果	299



28.3	本例小结	300
第 29 例	汽车传动系统仿真	301
29.1	变速箱	302
29.1.1	行星齿轮组	302
29.1.2	离合器和制动带	303
29.2	引擎	304
29.3	液力变矩器	304
29.4	驱动系统及设备	306
29.5	发动机表格	307
29.6	变速逻辑	308
29.7	本例小结	309
第 30 例	导弹制导系统仿真	310
30.1	导弹三自由度动力学	310
30.1.1	三自由度导弹动力学	311
30.1.2	大气模型	313
30.1.3	自动驾驶仪模型	314
30.2	导弹制导系统	314
30.3	目标动力学	316
30.4	仿真结果	316
30.5	本例小结	317

第一部分 控制工程仿真实例



引言——控制工程建模与分析方法

控制工程是处理自动控制系统各种工程实现问题的综合性工程技术。包括对自动控制系统提出要求、进行设计、构造、运行、分析、检验等过程。

它普遍使用频域法和状态空间法。其理论和处理方法涉及多方面，从线性控制到非线性控制，从单变量控制到多变量控制，从连续系统控制到离散系统控制，从定常系统控制到随机系统控制等。控制工程的应用范围早期主要是工业生产过程，如化工、电子、冶金、电气、武器系统和火箭、卫星等，后来扩展到企业管理、城市规划、交通管制、生物控制、社会经济规划等领域。

第一部分选取船舶运动控制、F-14 俯仰轴控制、汽车悬架系统控制和卫星姿态控制为例介绍基于 MATLAB 如何对控制工程进行设计与仿真。其中 MATLAB 提供的控制工程工具箱能为控制工程仿真提供建模和分析提供有力的支持，因此在介绍实例之前首先对其进行介绍。

控制工程工具箱按照功能可分为两部分：建模和分析。

一、建模

为对控制系统进行设计与仿真，首先需要建立控制系统的模型，控制工程工具箱提供了四种建模方式。

1. 状态方程形式

状态方程形式如式 (A1) 所示，该种形式在多变量线性系统中使用较多，便于控制器设计。

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du\end{aligned}\quad (A1)$$

式中 x 是状态变量， u 和 y 分别为输入和输出变量， A, B, C 和 D 具有适当的维数。

控制工程工具箱中建立状态方程的命令是 `ss`，下列程序给出一个建模实例。

```
R= 2.0; % Ohms  
L= 0.5 %; Henrys
```



```

Km = .015; % torque constant
Kb = .015; % emf constant
Kf = 0.2; % Nms
J= 0.02; % kg.m^2
A = [-R/L -Kb/L; Km/J -Kf/J];
B = [1/L; 0];
C = [0 1];
D = [0];
sys_dc = ss(A,B,C,D)

```

在 MATLAB 命令行输入上述程序（读者可在免费提供下载的配书资源中找到相应程序，下同）并运行后，得到：

```

a =
      x1      x2
x1      -4   -0.03
x2     0.75   -10

b =
      u1
x1      2
x2      0

c =
      x1  x2
y1      0   1

d =
      u1
y1      0

```

2. 传递函数形式

传递函数形如式（A2）所示。传递函数在单变量系统中使用较多，是经典控制主要采用的形式。

$$H(s) = \frac{s+2}{s^2+s+10} \quad (\text{A2})$$

式中 s 为拉普拉斯变换算子，关于其定义可参见复变函数相关书籍。

控制工程工具箱中建立状态方程的命令是 `tf`，在 MATLAB 命令行中输入：

```
sys_tf = tf(sys_dc) % sys_dc 是上一个程序建立的状态方程模型
```

即可得到：

```

Transfer function:
      1.5
-----
s^2 + 14 s + 40.02

```

3. 零极点增益形式

零极点增益形式如式（A3）所示。零极点增益形式便于了解系统的零极点分布，便于了解系统性能。

(A3)

$$H(z) = 3 \frac{(z+1+j)(z+1-j)}{(z+0.2)(z+0.1)}$$

控制工程工具箱中建立状态方程的命令是 `zpk`，在 MATLAB 命令行中输入：

```
sys_zpk = zpk(sys_dc) % sys_dc 是与一个程序采用相同的模型
```

即可得到：

```
Zero/pole/gain:
      1.5
-----
(s+4.004) (s+9.996)
```

4. 频域响应数据形式

该方式通过对系统频域响应进行采样得到模型的信息。频域响应数据形式在模型未知或系统辨识中应用较多。如图 A1 所示，通过在系统 $G(\omega)$ 施加输入 $\sin \omega_i t$ ，测得对应的输出 $y_i(t)$ 并保存即得到频域相应的数据形式。

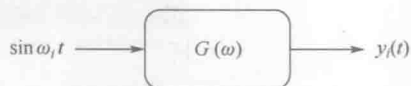


图 A1 频域响应测量方法

注意：四种形式可互换，如 `sys_tf = tf(sys_dc)` 即将状态方程形式转换为传递函数形式。

二、分析

控制工程工具箱提供了 LTI 观测器来进行对系统特性分析。LTI 观测器是一个观测线性系统响应及其他特性的 GUI 工具。LTI 观测器观测的对象为 LTI 对象，LTI 对象可利用前面介绍的建模工具来建立。通过 LTI 观测器可进行以下几方面工作。

- 阶跃响应、脉冲响应、初始状态响应和任意状态响应。
- 伯德图 (Bode)、奈奎斯特图 (Nyquist) 和 Nichols 图 (对数幅相图)。
- 频域相应的极点值。
- 系统零极点图。

通过在 MATLAB 命令行中输入 “`ltiview`” 即可打开 LTI 观测器，如图 A2 所示。基于 LTI 观测器分析系统性能可分为以下几步。

(1) 通过单击 “File|Import...” 即可打开 LTI 对象输入界面，如图 A3 所示。

(2) 在 LTI 对象输入界面中单击要分析的 LTI 对象，这里存在一个 LTI 对象 `sys_dc`，是之前在建模阶段建立的对象，然后单击 “OK” 即出现 `sys_dc` 阶跃响应图，如图 A4 所示。

(3) 在图 A4 中单击右键选择 “Characteristics|Rise Time” 可得到 `sys_dc` 阶跃响应上升时间，如图 A5 所示。

(4) 同样在图 A4 中单击右键选择 “Plot Types|Bode” 可得 `sys_dc` 伯德图，如图 A6 所示。

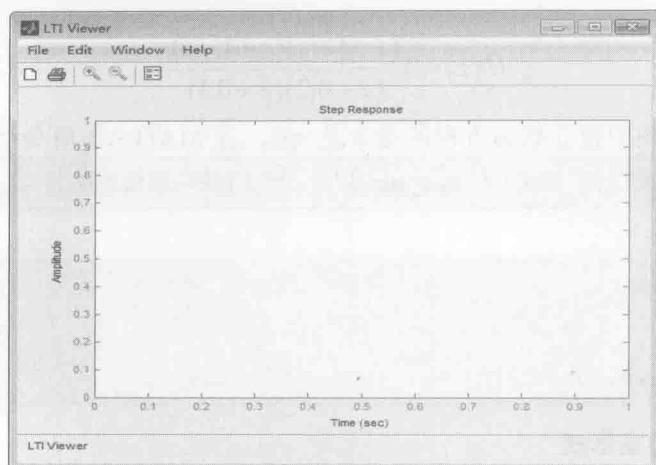


图 A2 LTI 观测器

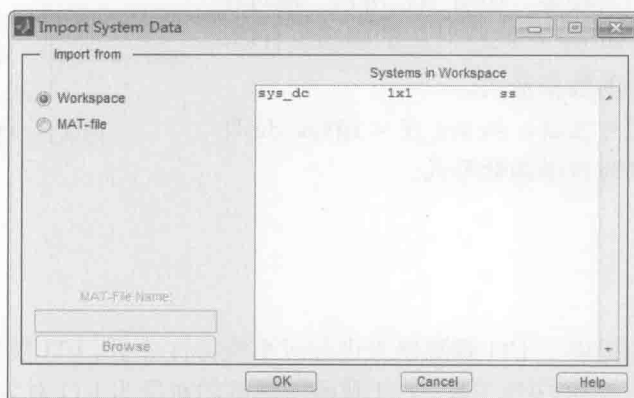


图 A3 LTI 对象输入界面

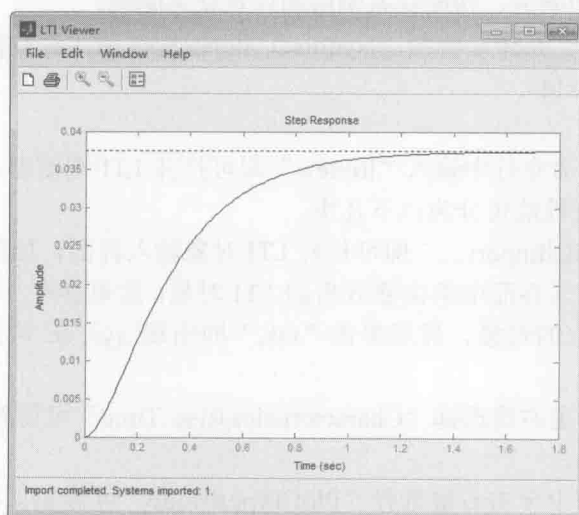


图 A4 sys_dc 阶跃响应图

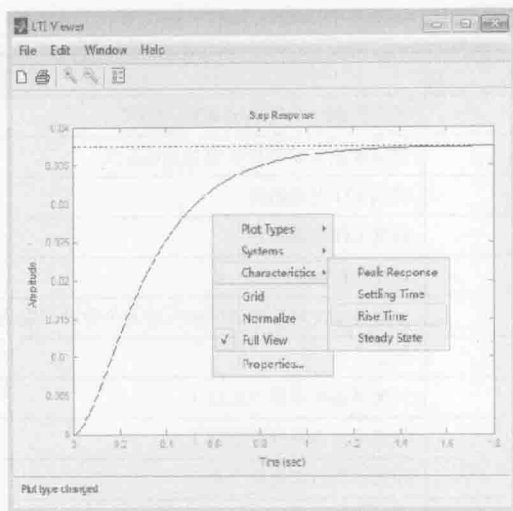


图 A5 sys_dc 阶跃响应上升时间

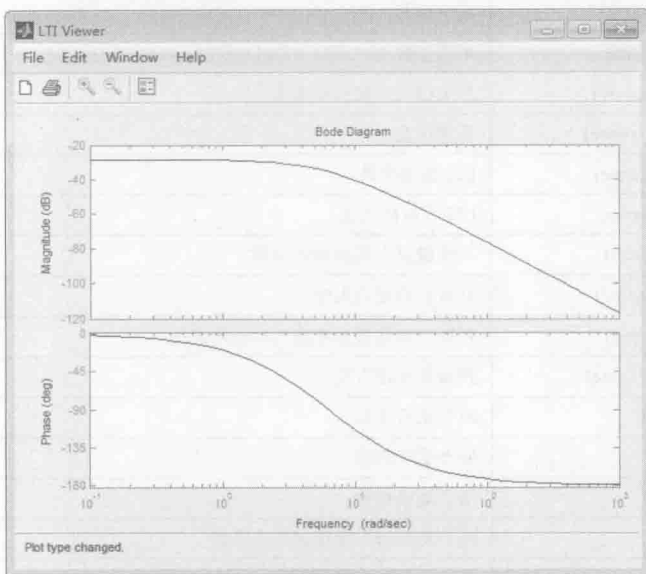


图 A6 sys_dc 伯德图

除 LTI 观测器外，MATLAB 控制工程工具箱还提供了相关函数，用来帮助对系统进行建模分析，表 A1 列出了这方面的部分函数。

表 A1 MATLAB 控制工程工具箱函数命令

函 数	说 明
frd	全 0 矩阵
frestimate	通过估计 Simulink 模型建立 frd 对象
ss	建立控制对象状态方程表达式