



普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI PEITAO JIAOCAI

MATLAB ZAI DIANQI GONGCHENG
ZHONG DE YINGYONG SHILI

MATLAB在电气工程 中的应用实例

李维波 编著



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI PEITAO JIAOCAI

MATLAB ZAI DIANQI GONGCHENG
ZHONG DE YINGYONG SHILI

MATLAB 在电气工程 中的应用实例

编著 李维波
主审 毛承雄



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教材。

全书分为两篇共9章，主要介绍数值分析、自动控制、信号与系统、电子电路、电机及其控制、电力电子装置和电力系统中有关 MATLAB 的建模方法和分析技巧。本书既介绍了一些典型模块库中的功能模块的使用技巧、构建方法和设计技术，也讲解了电气工程中涉及的一些重要电路的计算机仿真技术，使初学者能够快速完成各个单元电路的分析、仿真和筛选，包括电气参数的优选和整个功能电路的设计、配合以及全部电路的连接与调试。

本书可作为高等学校电气信息类及相关专业的教材，也可供从事电气信息、计算机仿真方面的工程技术人员和科研人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

MATLAB 在电气工程中的应用实例/李维波编著. —北京: 中国电力出版社, 2009

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教材

ISBN 978-7-5083-8707-9

I. M… II. 李… III. 电气工程—计算机辅助计算—软件包, MATLAB—高等学校—教材 IV. TM—39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 054569 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 http://j.c. cepp. com. cn)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 6 月第一版 2009 年 6 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.75 印张 358 千字

定价 23.60 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

由于计算机及其相关领域技术的发展,加快了系统仿真技术研究步伐,其应用范围不断扩大。MATLAB作为一个典型的计算机软件,提供了动态仿真环境——SIMULINK,其中 Simpower System(电力系统仿真)模块库强大的科学计算能力,简便的绘图功能,可视化的仿真环境,应用于电气工程及其自动化专业非常方便。

在解决大系统和复杂问题的过程中,系统仿真技术是解决工程和非工程领域问题的主要手段之一。MATLAB软件作为电气工程技术人员必须掌握的一门重要工具,帮助科研人员;利用计算机代替人工解决复杂问题。在计算机上,不仅可以方便地建立这些问题的仿真模型,快速且有针对性地修正模型并合理调整模型参数,还可以用简单的拖曳操作构造其相关/相近模型。通过计算机仿真计算,非常容易得到计算结果,并可获得所需变量的直观图形,为科研人员和工程技术人员解决实际工程问题,提供了一种辅助分析与研究的手段。

本书是配合《MATLAB在电气工程中的应用》(简称《应用》)的实例教材,既以《应用》教材为学习基础,又是它的补充与拓展。本书在范例选编方面,既遵循循序渐进原则,又强调各个章节所用范例的完整性和典型性;在内容的设置方面,充分体现了电气工程专业特色,所举范例具有针对性强、种类丰富、解析详细等特点;在范例来源方面,既强调范例的代表性,也注重范例的工程实践性,既突出实例的实用性和可借鉴性,又凸显对读者分析问题和解决问题能力的培养。另外,本书还增加了一些在《应用》中没有介绍却又常用的模块及其使用方法。

为了增加本书的可读性,增强其适应性,本书以MATLAB软件的7.X版本为例进行介绍,先后介绍以下学科/技术中有关MATLAB的建模方法和分析技巧:数值分析、自动控制、信号与系统、电子电路、电机及其控制、电力电子装置和电力系统。本书既介绍了一些典型模块库中的功能模块的使用技巧、构建方法和设计技术,也讲解了电气工程中所涉及的一些重要电路的计算机仿真技术,使初学者能够快速完成各个单元电路的分析、仿真和筛选,包括电气参数的优选和整个功能电路的设计、配合以及全部电路的连接与调试。

通过本书的学习,读者可以较快掌握MATLAB在电气工程及其自动化专业中的应用技巧,熟悉计算机仿真及MATLAB的基本知识,了解计算机仿真技术、MATLAB/SIMULINK主要模块及功能特点,掌握建立所需模型的方法和步骤,学会使用仿真技术和MATLAB进行分析与设计及简单MATLAB/SIMULINK系统的设计方法。

由于编者水平有限,恳请读者和同行批评指正,编者不胜感激。

编 者

2009年4月

目 录

前言

第1篇 基础学习篇

第1章 MATLAB的简单编程实例	1
1.1 简单范例分析	1
1.2 可视化命令函数的使用方法	11
1.3 流控制的命令函数	16
第2章 MATLAB在数值分析方面的应用实例	19
2.1 常用基本函数	19
2.2 微积分的命令函数	20
2.3 求解方程式(组)的命令函数	22
2.4 基本统计的命令函数	25
2.5 矩阵分解运算的命令函数	28
2.6 符号运算的命令函数	32
2.7 乘方运算的命令函数	37
第3章 MATLAB在绘图方面的应用实例	40
3.1 符号函数基本绘图的命令函数	40
3.2 绘制网格图的命令函数	41
3.3 绘制表面图的命令函数	43
3.4 图形后续处理方法	45
3.5 综合应用范例分析	47
第4章 MATLAB在信号与系统中的应用实例	56
4.1 基本命令函数	56
4.2 基本信号的MATLAB表示	62
4.3 信号基本运算的MATLAB实现	68
4.4 MATLAB分析系统的时频域	70
4.5 MATLAB分析和设计滤波器	83

第2篇 应用提高篇

第5章 MATLAB在电子电路中的应用实例	92
5.1 MATLAB对电路描述与建模的一般方法	92

5.2	SIMULINK 搭建数字逻辑电路的方法	96
5.3	MATLAB 在直流稳态电路中的分析方法	98
5.4	MATLAB 在动态电路中的分析方法	100
5.5	MATLAB 在交流稳态电路中的分析方法	104
第 6 章	MATLAB 在自动控制中的应用实例	110
6.1	MATLAB 分析系统的时频域特性	110
6.2	MATLAB 分析系统的复频域特性	115
6.3	MATLAB 分析离散系统的 Z 域特性	118
6.4	MATLAB 分析系统的状态变量	121
6.5	MATLAB 有关控制的特殊应用实例	126
第 7 章	MATLAB 在电机及其控制中的应用实例	134
7.1	利用 SIMULINK 设计典型控制器	134
7.2	介绍 S-function	140
7.3	MATLAB 分析电机模型的四种典型方法	142
7.4	MATLAB 插值处理电机数据的方法分析	152
7.5	MATLAB 分析直流电动机	156
第 8 章	MATLAB 在电力电子装置中的应用实例	163
8.1	SimPowerSystems 模块库介绍	163
8.2	SIMULINK 简单应用范例	169
8.3	SIMULINK 分析三相桥式全控整流电路	171
8.4	SIMULINK 分析 ZVS PWM DC/DC 变换器	183
8.5	SIMULINK 分析变频控制下的电压品质	188
第 9 章	MATLAB 软件在电力系统中的应用实例	197
9.1	利用 SIMULINK 建立电流传感器及其饱和模型	197
9.2	利用 SIMULINK 建立变压器试验模型	206
9.3	利用 SIMULINK 分析传输线的影响特性	210
9.4	利用 SIMULINK 分析有功和无功	219
参考文献	229

第1篇 基础学习篇

本书以 MATLAB 7.1 软件为例,讲解它的基本应用方法和操作技巧,包括一些典型命令、语法特点、使用环境和既定规律,使初学者能够借助本篇的学习,为深入理解后续章节的内容,奠定必要的知识与方法基础。

由于 MATLAB 中有几千个函数,而且很多函数有多种调用方式,想要全面掌握 MATLAB 非常困难,即使只掌握 MATLAB 的基本函数,也不是一件轻松的事。对于初学者,学习 MATLAB 有几点需要引起注意:

(1) 在学习要做到学中练、练中学,这样学习起来容易产生兴趣、上手快。

(2) 尽可能在英文输入状态而非中文输入状态,进行各个 MATLAB 命令的录入和编程工作,以减少不必要的调试错误。

(3) MATLAB 的基本数据结构是矩阵(数组),为更好地学习使用 MATLAB,在遇到问题时,要尽量用矩阵(数组)表示数学模型,因为其在 MATLAB 中易于实现,而且运算速度快。

(4) 熟练掌握 MATLAB 的在线帮助命令。MATLAB 有两种帮助形式:一种在命令窗口使用帮助指令搜索帮助;另一种是使用 MATLAB 的帮助系统,从菜单 help 进入,点击 MATLAB help 即出现该系统。

第1章 MATLAB 的简单编程实例

1.1 简单范例分析

1. 基本提醒

(1) 在 MATLAB 中,百分比符号(%)之后的文字被视为注解(Comments)内容,程序不会执行。

(2) 在 MATLAB 的程序编制过程中,各个标点符号,如逗号“,”、单引号“'”和分号“;”,均需要在英文输入状态中录入,否则会使程序出现一些意想不到的非正常情况。

(3) 认识 MATLAB 中的一般符号,如加(+)、减(-)、乘(*)、除(/)的数学运算符号,以及幂次运算(^)。

(4) “>>”是 MATLAB 的提示符号(Prompt),但在 PC 中文视窗系统下,由于编码方式不同,此提示符号常会消失不见,但这并不会影响 MATLAB 的运算结果。

2. 应用范例

[范例 1-1] 一个系统的传递函数为:

$$H(s) = \frac{7s}{s^2 + 6s + 205}$$

试分析它的零—极点图、伯德图和阶跃响应。

解 其程序 Exam. 1 如下：

```
num = [7 0]; % 定义传递函数的分子部分
den = [1 6 205]; % 定义传递函数的分母部分
%% 绘制零—极点图
figure(1); % 生成图
pzmap(num,den);
%% 绘制伯德图
figure(2); % 生成图
bode(num,den);
%% 绘制阶跃响应图
figure(3); % 生成图
step(num,den);
```

程序 Exam. 1 的执行结果如图 1-1~图 1-3 所示。

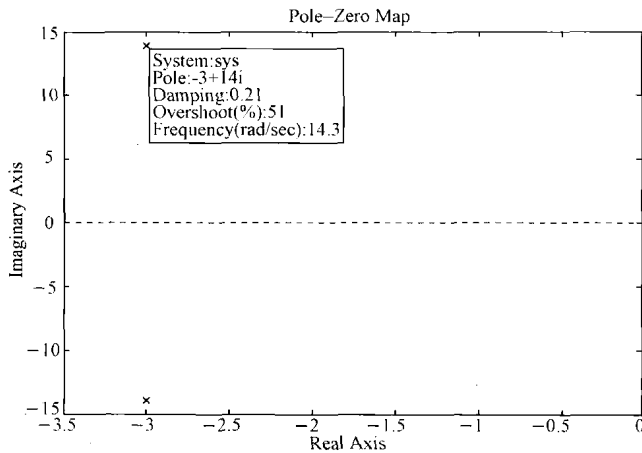


图 1-1 零—极点图

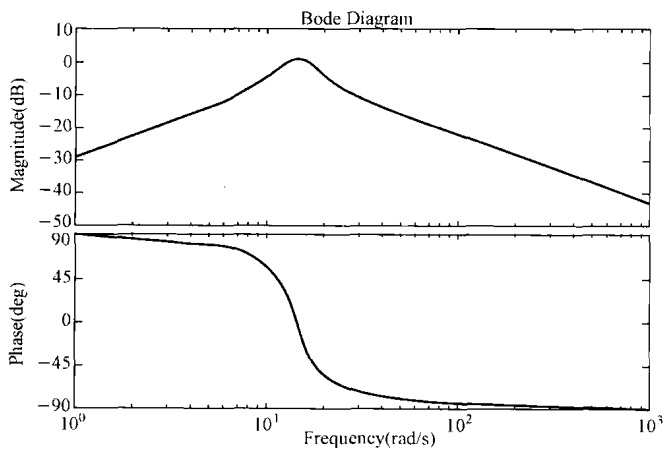


图 1-2 伯德图

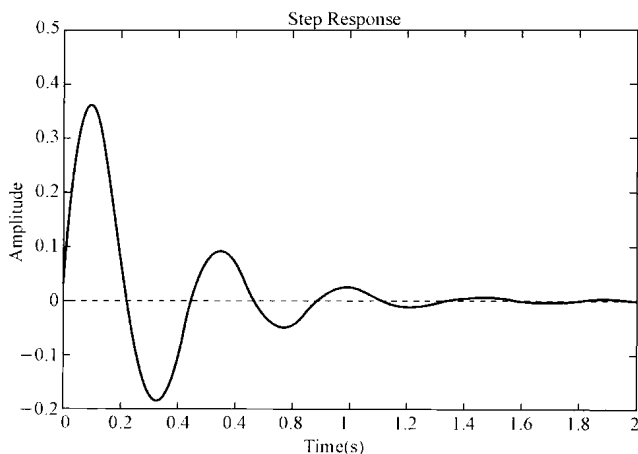


图 1-3 阶跃响应图

[范例 1-2] 以编程为例，讲解系统如何添加标题和卷标、定义 x 和 y 轴的范围。

解 其程序 Exam. 2 如下：

```

%% 定义变量
t = linspace(0,5,201);           % 定义时间变量在 0~5s 范围均分为 201 个
w = logspace(-1,3,201);         % 频率矢量 201 在  $10^{-1} \sim 10^3$  rad/s 间均分为 201 个
num = [7 0];
den = [1 6 205];
[poles,zeros] = pzmap(num,den); % 定义极平面
[mag,angle] = bode(num,den,w);  % 定义相位和角度
[y,x] = step(num,den,t);        % 定义阶跃响应
%% 绘制零一极点图
figure(1);
subplot(2,2,1);                % 绘制零一极点图
plot(real(poles),imag(poles),'x',real(zeros),imag(zeros),'o');
                                % x 表示极点, o 表示零点
                                % 添加标题"零一极点图"
title('零一极点图');
xlabel('实轴');                 % 添加 x 坐标为实轴
ylabel('虚轴');                 % 添加 y 坐标为虚轴
axis([-1.1 0.1 -12 12]);       % 定义 x 和 y 范围
grid;                           % 添加网格线
%% 绘制伯德图的幅值和频率图
subplot(2,2,2);                % 绘制伯德图
semilogx(w,20 * log10(mag));
title('伯德图的幅值和频率图');
ylabel('幅值(dB)');
xlabel('频率(rad/s)');
axis([0.1 1000 -60 0]);
grid;

```

```

%% 绘制阶跃响应图
subplot(2,2,3);
plot(t,y);
title('阶跃响应');
xlabel('时间(s)');
ylabel('幅值');
grid;
%% 绘制伯德图的相角和频率图
subplot(2,2,4);
title('伯德图的相角和频率图');
ylabel('相角(deg)');
xlabel('频率(rad/s)');
axis([0.1 1000 -90 90]);
grid;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

程序 Exam. 2 的执行结果如图 1-4 所示。

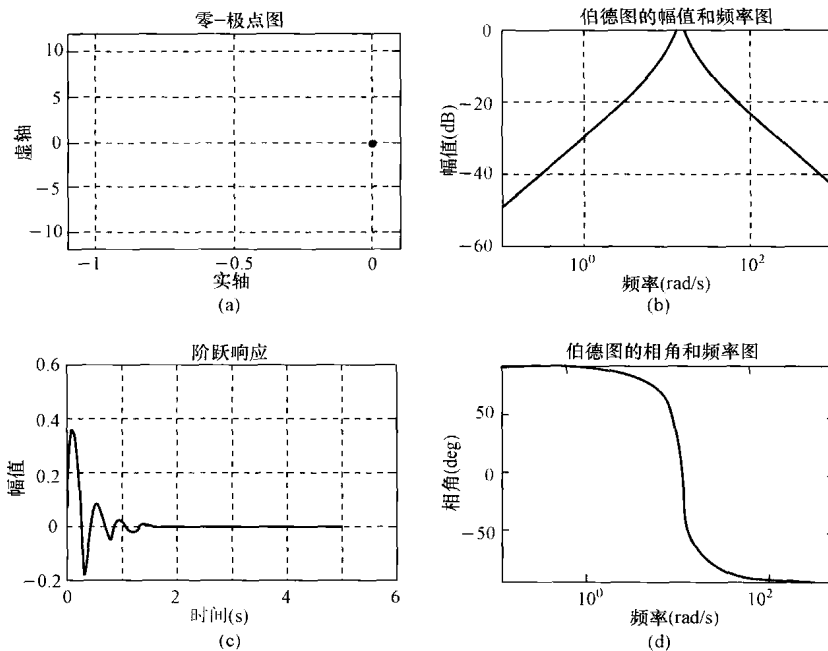


图 1-4 Exam. 2 的执行结果

(a) 零-极点图; (b) 伯德图的幅值和频率图; (c) 阶跃响应; (d) 伯德图的相角和频率图

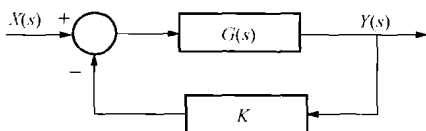


图 1-5 闭环系统框图

[范例 1-3] 根据控制原理, 闭环系统框图如图 1-5 所示。其传递函数为:

$$H(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{G(s)}{1 + KG(s)}$$

求该系统的根轨迹图。

解 为获取该系统的根轨迹图，可以通过编程实现。假设 $H(s)$ 的表达式同 [范例 1-1]，其程序 Exam. 3 为：

```
num = [7 0]; % 定义分子
den = [1 6 205]; % 定义分母
figure(1);
rlocus(num,den); % 绘制根轨迹图
```

程序 Exam. 3 的执行结果如图 1-6 所示。

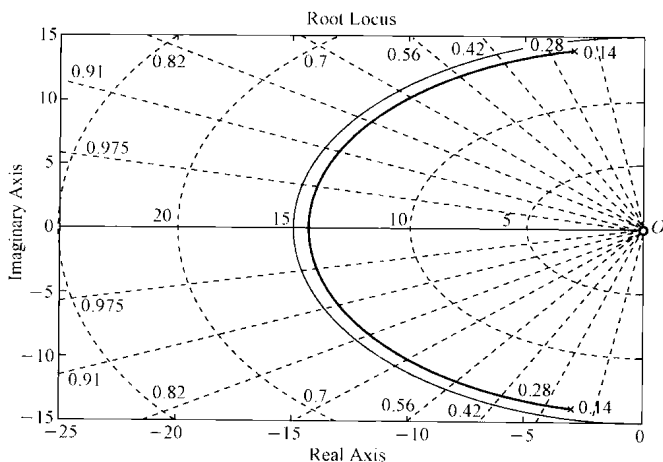


图 1-6 Exam. 3 的执行结果

[范例 1-4] 假设某系统传递函数为：

$$H(s) = \frac{7s}{s^2 + 6s + 205}$$

分析它在输入信号 $x(t)$ 作用下的响应情况。

解 可以通过编程实现，其程序 Exam. 4 为：

```
figure(1);
num = [7 0]; % 定义传递函数的分子部分
den = [1 6 205]; % 定义传递函数的分母部分
t = linspace(0, 10, 401); % 时间矢量
u = sin(0.5 * pi * t); % 给定输入信号
[y,x] = lsim(num,den,u,t); % 计算输出响应
plot(t,y,'r',t,u,'b-'); % 绘制响应曲线(红色)和输入曲线(蓝色)
xlabel('时间(s)');
ylabel('幅值');
legend('y(t)', 'x(t)'); % 标注曲线
```

程序 Exam. 4 的执行结果如图 1-7 所示。

[范例 1-5] 计算 sinc 函数。已知 sinc 函数为

$$f(t) = \text{sinc}(t) = \frac{\sin t}{t} \quad (t = \pm 10\pi)$$

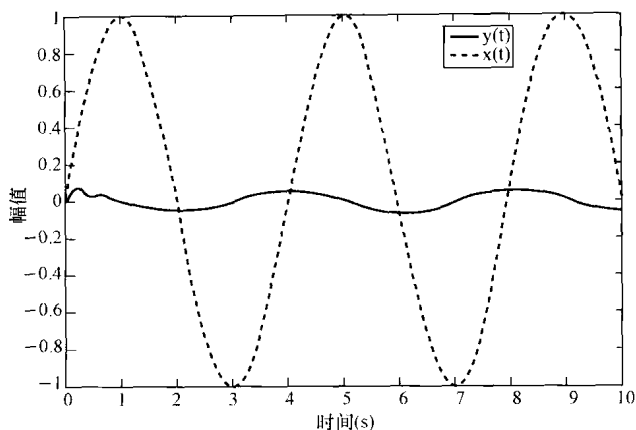


图 1-7 Exam. 4 的执行结果

解 可以通过编程实现，其 Exam. 5 程序为：

```
figure(1);
t = -10 * pi; 0.01 * pi; 10 * pi;           % 定义时间范围向量 t
f = sinc(t/pi);                               % 计算 sinc(t)函数
plot(t,f);                                     % 绘制 sinc(t)的波形
xlabel('时间(s)');
ylabel('幅值');
title('sinc 函数曲线');
```

程序 Exam. 5 的执行结果如图 1-8 所示。

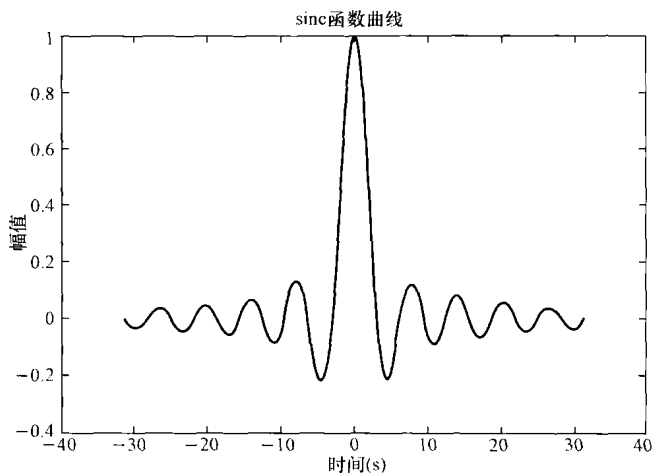


图 1-8 Exam. 5 的执行结果

[范例 1-6] 计算叠加信号函数，这在信号组建、信号模拟方面应用较广。已知函数 $f(t)$ 为：

$$f(t) = 6\sin 18\pi t + 20\cos 20\pi t - 3$$

解 可以通过编程实现，其程序 Exam. 6 为：

```

figure(1);
syms t;                                     % 定义符号变量 t
f = 6 * cos(18 * pi * t) + 20 * cos(20 * pi * t) - 3; % 计算符号函数 f(t)
ezplot(f,[0 pi]);                          % 绘制 f(t)的波形
xlabel('时间(s)');
ylabel('幅值');
title('叠加函数曲线');

```

程序 Exam. 6 的执行结果如图 1-9 所示。

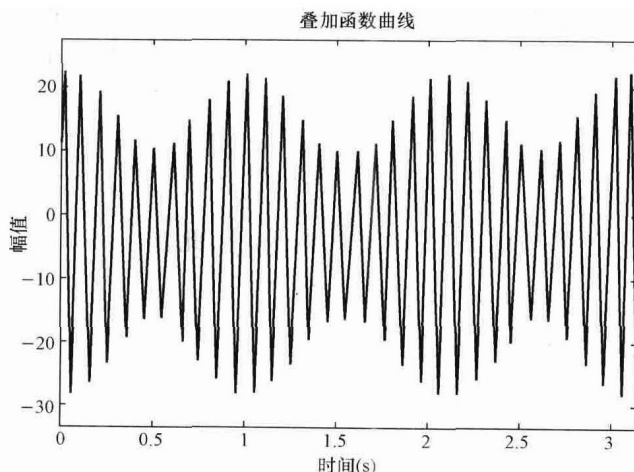


图 1-9 Exam. 6 的执行结果

[范例 1-7] 计算调制信号函数，这在电力电子脉宽调制 (PWM) 中应用较广。已知函数 $f(t)$ 为：

$$f(t) = (12 - 20\sin 3\pi t)\cos 26\pi t$$

解 可以通过编程实现，其程序 Exam. 7 为：

```

figure(1);
syms t;                                     % 定义符号变量 t
f = (12 - 20 * sin(3 * pi * t)) * cos(26 * pi * t); % 计算符号函数 f(t)
ezplot(f,[0 2 * pi]);                      % 绘制 f(t)的波形
xlabel('时间(s)');
ylabel('幅值');
title('调制函数曲线')

```

程序 Exam. 7 的执行结果如图 1-10 所示。

[范例 1-8] 利用 ode45 命令求解微分方程。已知二阶微分方程为：

$$3\ddot{x} + 8\dot{x} + 100x = 0$$

其中， $\dot{x}(0) = 15$ ， $x(0) = 5$ 。

分析 ode45 命令格式为：

```

[t,y] = ode45('ydot',tspan,y0)

```

% ydot:微分方程;tspan:时间范围;
% y0:初始值

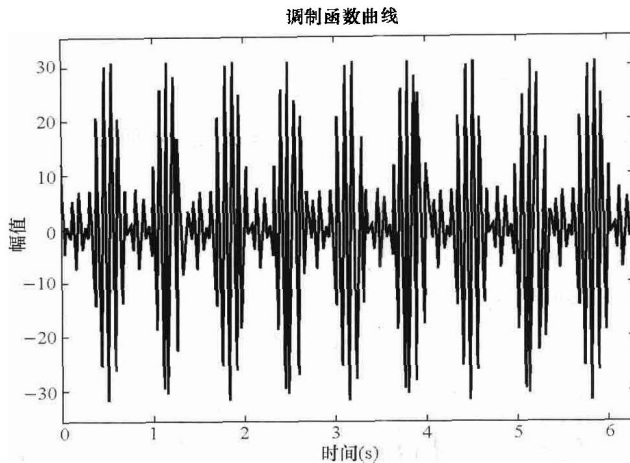


图 1-10 Exam. 7 的执行结果

(1) 由于 ode45 命令要求用状态变量形式表达, 因此有:

$$\begin{cases} Z_1 = x \\ Z_2 = \dot{x} \\ \dot{Z}_2 = -\frac{1}{3}(8Z_2 + 100Z_1) \end{cases}$$

初始条件为:

$$\begin{cases} Z_1(0) = x(0) = 5 \\ Z_2(0) = \dot{x}(0) = 15 \end{cases}$$

(2) 编制 Function 函数 (自定义函数):

```
function f = example8(t,z);
x = z(1); % z1 = x
xd = z(2); % z2 = dx/dt
xdd = -1/3 * (8 * xd + 100 * x); % dz2/dt = d(dx/dt)/dt
f = [xd;xdd];
```

在 MATLAB 命令窗口中键入命令, 便可得到计算结果 (略去执行结果):

```
[t,x] = ode45('example8',[0,3],[5;15])
```

注意:

1) [0, 3] 表示时间间隔; [5; 15] 表示初始条件。

2) 编写标准的自定义函数时, 尽量分以下四部分:

① 函数定义行: `function[out1,out2,...]=filename(in1,in2,...)`, 输入和输出参数个数分别由 `nargin` 和 `nargout` 两个 MATLAB 保留的变量来给出。

② 第一行帮助行: 以 % 开头, 作为 `lookfor` 指令搜索的行。

③ 函数体说明及有关注解: 以 (%) 开头, 用以说明函数的作用及有关内容。如果不希望显示某段信息, 可在它的前面加空行。

④ 函数体: 函数体内使用的除返回和输入变量这些在 `function` 语句中直接引用的变量以

外的所有变量都是局部变量，即在该函数返回之后，这些变量会自动在 MATLAB 的工作空间中被清除掉。如果希望这些中间变量成为在整个程序中都起作用的变量，则可以将它们设置为全局变量。

(3) 建立图 1-11 所示的 SIMULINK 仿真模型，命名为 sim1.mdl。该模型主要包括以下几个模块：

1) Sum 模块：在 Math Operations 模块库中，使用它的默认设置。

2) Gain 模块：在 Commonly Used Blocks 模块库调用，按照图 1-11 先后进行幅值设置，Gain、Gain1 和 Gain2 模块分别为 $-1/3$ 、8 和 100。

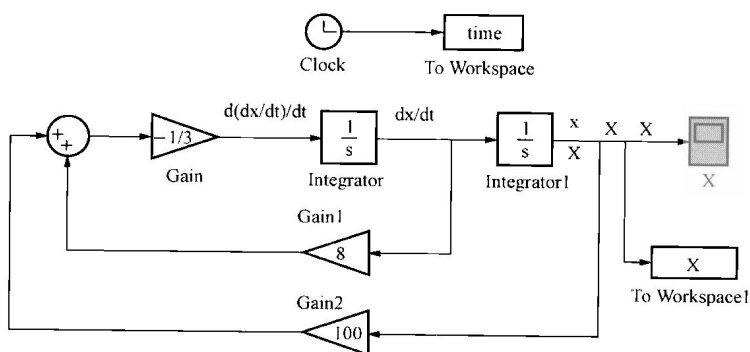


图 1-11 搭建 SIMULINK 仿真模型

3) To Workspace 模块：在 Sinks 模块库调用，变量名为 time，将它的输出存储格式修改为 array，其它为默认参数，如图 1-12 所示。

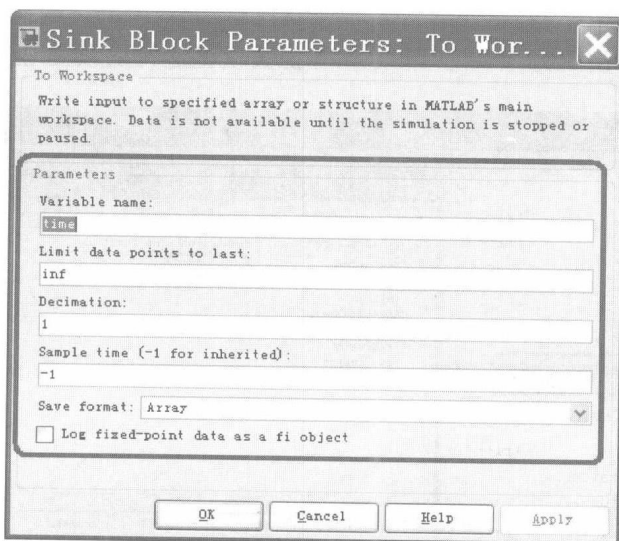


图 1-12 设置 To Workspace 模块参数

4) Integrator 模块：在 Continuous 模块库中调用，按照图 1-11 先后进行初始值设置，Integrator 和 Integrator1 模块的初始值分别为 15 和 5（见图 1-13），其它为默认参数。

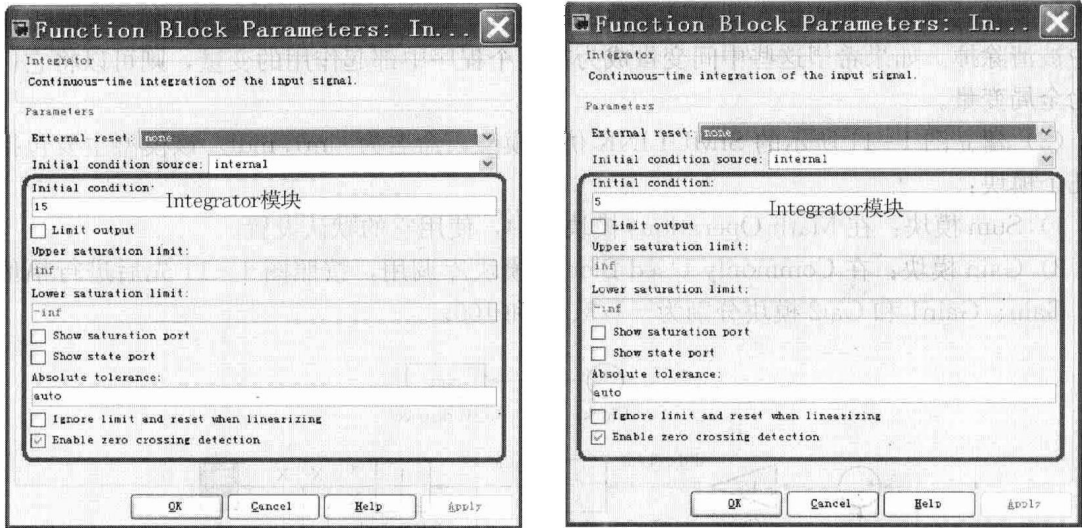


图 1-13 设置 Integrator 模块参数

5) Scope 模块：在 Commonly Used Blocks 模块库中调用，使用它的默认参数。

(4) 编制 M 程序，命名为 plot_ode45.m：

```
clf;
plot(time,X,'linewidth',4);
xlabel('时间 t/s','fontsize',16);
grid on;
title('变量 X 的波形','fontsize',16);
```

(5) 按照图 1-14 所示方式，对 sim1.mdl 仿真模型进行后续处理。

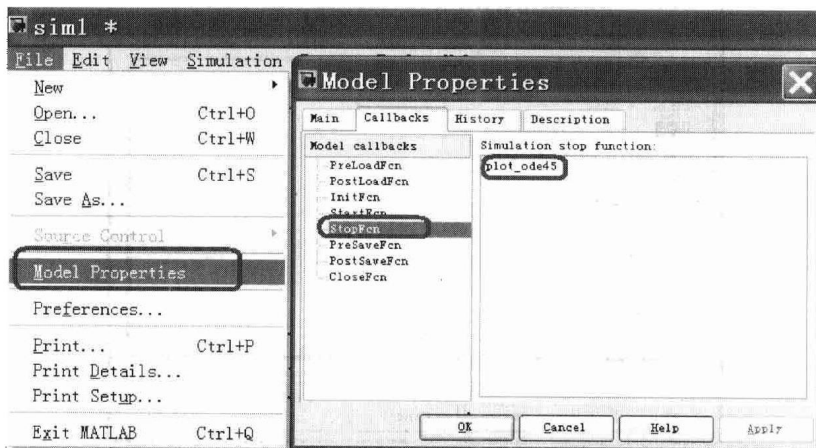


图 1-14 对 sim1.mdl 仿真模型进行后续处理

(6) 设置仿真参数，设置方法如图 1-15 所示。

(7) 仿真结果如图 1-16 所示。

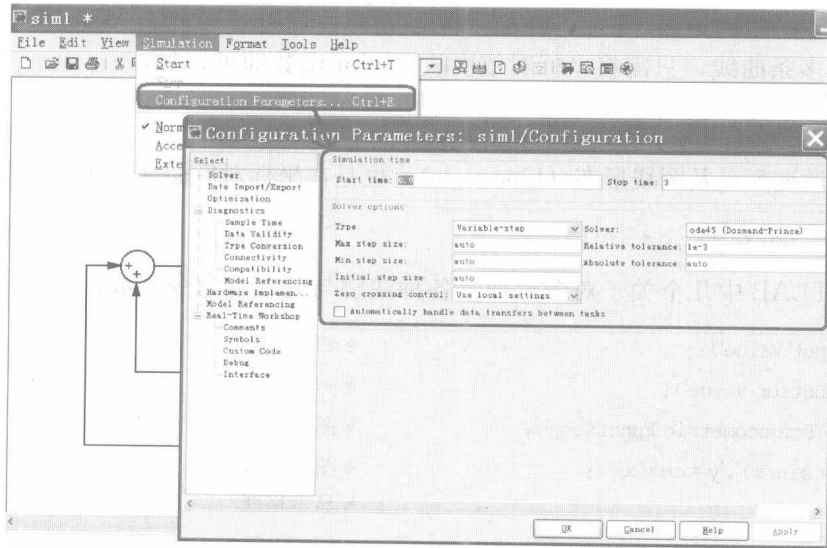


图 1-15 设置仿真参数

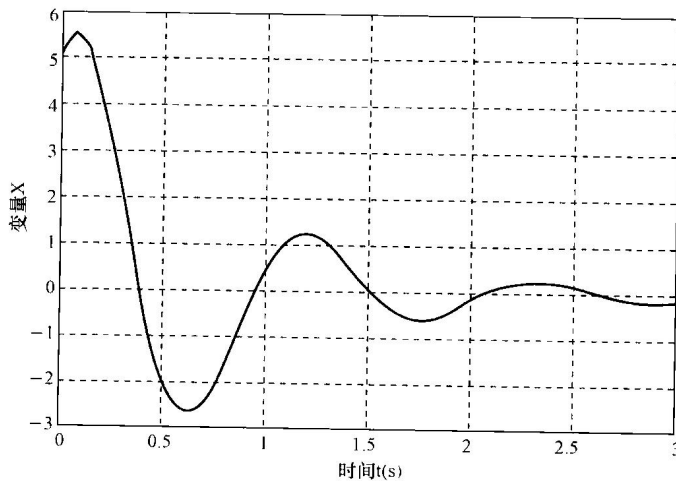


图 1-16 仿真结果

1.2 可视化命令函数的使用方法

MATLAB 不但擅长矩阵与向量（数组）相关的数值运算，也适合用在各种科学问题研究时所需图形的可视化显示（Scientific visualization）。本节将介绍 MATLAB 基本绘图命令，包含一维曲线及二维曲面的绘制、列印及存档。

1. 几个典型命令函数

(1) MATLAB 中几个典型坐标的命令函数：

plot: x 轴和 y 轴均为线性刻度 (Linear scale)

loglog: x 轴和 y 轴均为对数刻度 (Logarithmic scale)

semilogx: x 轴为对数刻度，y 轴为线性刻度