

面向 **21** 世纪

高等学校信息工程类专业规划教材

信号与系统实验

(MATLAB版)

党宏社 编



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

内 容 简 介

本书是参照“信号与系统”课程的教学大纲进行编写的,并按照解决实际问题的方式组织内容,以专题实验的形式出现,每个实验都给出了相关原理的介绍和所用 MATLAB 函数,程序都用 M 文件的形式给出;同时,每个部分都提供了一定数量的练习和思考题,既可适应不同学生的需要,又能便于教师根据各校情况进行取舍。

本书可作为电子信息类或电气信息类相关专业学生学习“信号与系统”、“自动控制原理”等课程的实验指导书或参考书,也可作为其他学生学习和掌握 MATLAB 工具的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统实验:MATLAB 版/党宏社编.

—西安:西安电子科技大学出版社,2007.1

面向 21 世纪高等学校信息工程专业规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 1766 - 4

I. 信… II. 党… III. 信号系统—计算机辅助计算—软件包, MATLAB—高等学校—教材
IV. TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 147927 号

策 划 毛红兵

责任编辑 曹 昞 毛红兵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com> E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西光大印务有限责任公司

版 次 2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 11.25

字 数 263 千字

印 数 1~4000 册

定 价 14.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 1766 - 4

XDUP 2058001 - 1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

随着科学技术的迅速发展,社会要求高等学校培养的大学生既要有扎实的理论基础,又要受过严格的工程技术训练。通过教学过程中的实验环节,可以不断地提高学生分析和解决实际问题的能力。仿真实验作为一种科学研究手段和实物实验的补充,具有不受设备和环境条件限制,不受时间、地点限制,不需要增加投资,也不需要维护和修理设备等特点,因而越来越多地受到了人们的重视,也有了多种仿真分析的通用工具。MATLAB(矩阵实验室)作为一种编程语言和可视化工具,它具有一系列丰富的功能,可解决工程、科学计算和数学中的许多问题,是目前高等院校与科研院所广泛使用的优秀的应用软件。该软件功能强大,界面直观,语言自然,使用方便,在信号处理、系统识别、自动控制、非线性系统、模糊控制、优化技术、神经网络、小波分析等领域已得到了广泛的应用。

作者在多年的科研工作中,深切地感受和体会到 MATLAB 这个工具的强大和实用,也了解到 MATLAB 作为一个通用的工具和语言,在教学、科研和工程应用中的广泛性,因此,很有必要让学生了解和掌握 MATLAB 这个通用的仿真工具,这就是本书的主要写作目的。同时,通过本书学生可以随时随地进行实验,加深对所学知识的理解,为后续课程(如数字信号处理等)的学习打好基础。

本书在内容的组织和教学方式的编排上参照了“信号与系统”课程的教学大纲,借鉴国外的有关做法,按照解决实际问题的方式组织内容,以专题实验的形式出现,适合工科学生的特点,使学生能够清楚地知道所学内容的意义和应用结果,将学生从繁杂的数学推导中解脱出来,真正理解所得结果的实际应用。同时,本书每个实验都提供了一定数量的练习和思考题,既适应不同学生的需要,又便于教师的酌情取舍。书中每个实验都给出了相关原理的介绍和所用 MATLAB 函数,程序也都用 M 文件的形式给出。

本书的使用对象是学过“信号与系统”、“自动控制原理”等课程的电子信息类或电气信息类专业的学生或研究生,因此,本书既可以作为学习和掌握 MATLAB 的参考书,也可以作为学习“信号与系统”、“自动控制原理”等课程的参考资料。

在本书的编写过程中,张俊涛和吕岑老师参与了部分内容的讨论与组织工作,研究生寇强完成了大部分程序的验证工作,研究生王洪仓和李秦君参与了部分程序的验证工作,西安电子科技大学出版社的毛红兵老师和曹跌老师为本书的顺利出版付出了辛勤的劳动,在此,作者一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,欢迎各位读者和同行批评指正。

作 者
2006 年 10 月

目 录

实验 1	常用连续时间信号的实现	1
实验 2	常用离散时间信号的实现	14
实验 3	连续时间信号的时域基本运算	24
实验 4	离散时间信号的时域基本运算	33
实验 5	连续时间信号的卷积运算	37
实验 6	连续 LTI 系统的时域分析	43
实验 7	离散信号的卷积和	49
实验 8	离散 LTI 系统的时域分析	54
实验 9	离散时间系统的求解举例	59
实验 10	周期信号的合成与分解	69
实验 11	连续 LTI 系统的频域分析	74
实验 12	离散傅里叶变换	83
实验 13	信号的调制与解调	94
实验 14	信号的抽样与恢复	97
实验 15	连续系统的复频域分析	109
实验 16	连续 LTI 系统的根轨迹分析	116
实验 17	离散系统的 Z 域分析	120
实验 18	连续系统的状态变量分析	128
实验 19	离散系统状态方程的求解	133
实验 20	综合实验 1——数字滤波器设计初步	136
实验 21	综合实验 2——音频信号的采样与重构	137
实验 22	综合实验 3——线性系统稳定性分析	139
实验 23	综合实验 4——无失真传输系统	141
附录 1	MATLAB 基础与应用初步	143
附录 2	MATLAB 命令大全	156

实验 1 常用连续时间信号的实现

一、实验目的

- (1) 了解连续时间信号的特点；
- (2) 掌握连续时间信号表示的向量法和符号法；
- (3) 熟悉 MATLAB Plot 函数等的应用。

二、实验原理

1. 信号的定义

信号是随时间变化的物理量。信号的本质是时间的函数。

2. 信号的描述

1) 时域法

时域法是将信号表示成时间的函数 $f(t)$ 来对信号进行描述的方法。信号的时间特性指的是信号的波形出现时间的先后, 持续时间的长短, 随时间变化的快慢和大小, 周期的长短等。

2) 频域(变换域)法

频域法是通过正交变换, 将信号表示成其它变量的函数来对信号进行描述的方法。一般常用的是傅里叶变换。信号的频域特性包括频带的宽窄、频谱的分布等。

信号的频域特性与时域特性之间有着密切的关系。

3. 信号的分类

按照特性的不同, 信号有不同的分类方法。

(1) 确定性信号: 可以用一个确定的时间函数来表示的信号。

随机信号: 不可以用一个确定的时间函数来表示, 只能用统计特性加以描述的信号。

(2) 连续信号: 除若干不连续的时间点外, 每个时间点 t 上都有对应的数值的信号。

离散信号: 只在某些不连续的时间点上有数值, 其它时间点上信号没有定义的信号。

(3) 周期信号: 存在 T , 使得等式 $f(t+T) = f(t)$ 对于任意时间 t 都成立的信号。

非周期信号: 不存在使得等式 $f(t+T) = f(t)$ 对于任意时间 t 都成立的信号。

绝对的周期信号是不存在的, 一般只要在很长的时间内信号满足周期性就可以了。

(4) 能量信号: 总能量有限的信号。

功率信号: 平均功率有限且非零的信号。

信号的总能量计算公式为

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T}^T f^2(t) dt$$

信号的平均功率计算公式为

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\int_{-T}^T f^2(t) dt}{2T}$$

(5) 奇信号：满足等式 $f(t) = -f(-t)$ 的信号。

偶信号：满足等式 $f(t) = f(-t)$ 的信号。

三、涉及的 MATLAB 函数

1. plot 函数

功能：在 X 轴和 Y 轴方向都按线性比例绘制二维图形。

调用格式：

plot(x, y)：绘出 x 对 y 的函数的线性图。

plot(x1, y1, x2, y2, ...)：绘出多组 x 对 y 的线性曲线图。

2. ezplot 函数

功能：绘制符号函数在一定范围内的二维图形。简易绘制函数曲线。

调用格式：

ezplot(fun)：在 $[-2\pi, 2\pi]$ 区间内绘制函数。

ezplot(fun, [min, max])：在 [min, max] 区间内绘制函数。

ezplot(funx, funy)：定义为同一曲面的函数，默认的区域是 $[0, 2\pi]$ 。

3. sym 函数

功能：定义信号为符号变量。

调用格式：

sym(fun)：fun 为所要定义的表达式。

4. subplot 函数

功能：产生多个绘图区间。

调用格式：

subplot(m, n, p)：产生 m 行 n 列的绘图区间的第 p 个绘图区间。

四、实验内容与方法

1. 验证性实验

连续信号的表示方法有两种：符号推理法与数值法。即连续信号的表示既可以用 MATLAB 提供的用于符号推理的符号数学工具箱(Symbolic Math)表示，也可将连续信号离散化后加以表示，下面就分别用这两种方法表示基本连续信号。

常用的连续信号有直流信号、正弦信号、单位阶跃信号、单位门信号、单位冲激信号、符号函数、单位斜坡函数、单边衰减指数信号、抽样信号、随机信号等。

参考给出的程序并观察产生信号的波形，还可以通过改变相关参数(例如频率、周期、幅值、相位、显示时间段、步长、加噪等)，进一步熟悉这些在工程实际与理论研究中常用信号的特征。

1) 直流信号 $f(t) = A$

(1) 符号推理法生成直流信号。

MATLAB 程序：

```
t = -10: 0.01: 10;
f = sym('4');           %将信号的大小定义为符号变量
ezplot(f, [-16, 16]);   %绘制范围在[-16, 16]上 f 的图形
title('直流信号'); xlabel('时间(t)'); ylabel('幅值(f)');
```

用符号法生成的直流信号如图 1.1 所示。

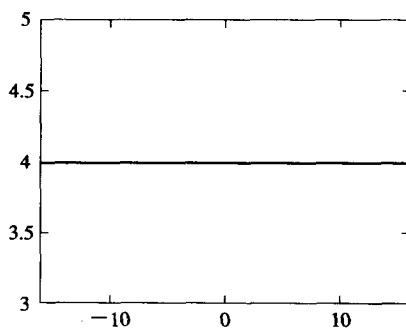


图 1.1 符号法生成的直流信号

(2) 数值法生成直流信号。

MATLAB 程序：

```
t = -10: 0.01: 10;
a1 = 6;           %信号的大小
plot(t, a1, 'b'); title('直流信号');
xlabel('时间(t)'); ylabel('幅值(f)');
```

用数值法生成的直流信号如图 1.2 所示。

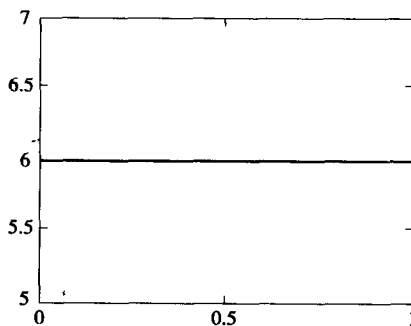


图 1.2 数值法生成的直流信号

2) 正弦交流信号 $f(t) = \sin(\omega t + \phi)$

(1) 符号推理法生成正弦交流信号。

MATLAB 程序:

```
t = -0: 0.001: 1;  
f = sym('sin(2 * pi * t)');  
ezplot(f, [0, 1], 'k');  
xlabel('时间(t)'); ylabel('幅值(f)'); title('正弦交流信号');
```

用符号法生成的正弦交流信号如图 1.3 所示。

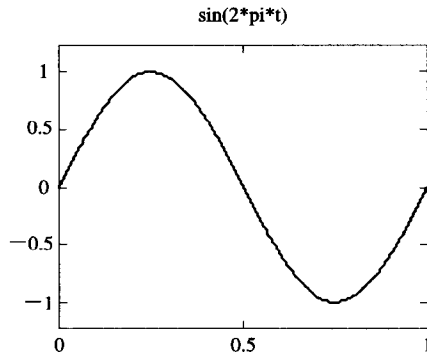


图 1.3 符号法生成的正弦交流信号

(2) 数值法生成正弦交流信号。

MATLAB 程序:

```
t = -0: 0.001: 1;  
y = sin(2 * pi * t);  
plot(t, y, 'k');  
xlabel('时间(t)'); ylabel('幅值(f)'); title('正弦交流信号');
```

用数值法生成的正弦交流信号如图 1.4 所示。

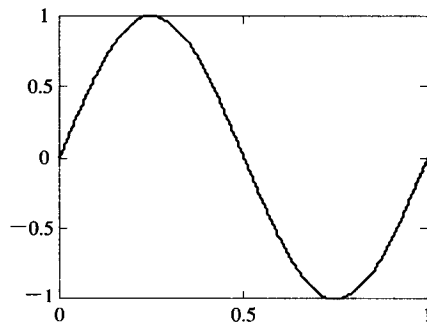


图 1.4 数值法生成的正弦交流信号

3) 单位阶跃信号 $f(t) = \epsilon(t)$

MATLAB 程序:

```
t0=0; t1=-1; t2=3;
```



```

dt=0.01;
t=t1: dt: -t0;
n=length(t);
t3=-t0: dt: t2;
n3=length(t3);
u=zeros(1, n);
u3=ones(1, n3);
plot(t, u);
hold on;
plot(t3, u3);
plot([-t0, -t0], [0, 1]);
hold off;
axis([t1, t2, -0.2, 1.5]);
xlabel('时间(t)'); ylabel('幅值(f)'); title('单位阶跃信号');

```

用数值法生成的单位阶跃信号如图 1.5 所示。

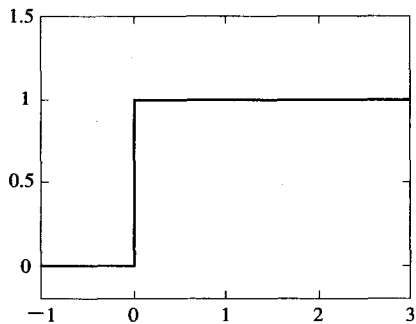


图 1.5 数值法生成的单位阶跃信号

4) 单位冲激信号 $f(t)=\delta(t)$

(1) 方法 1。

MATLAB 程序：

```

clear;
t0=0; t1=-1; t2=5; dt=0.1;
t=t1: dt: t2;
n=length(t);
x=zeros(1, n);
x(1, (t0-t1)/dt+1)=1/dt;
stairs(t, x);
axis([t1, t2, 0, 1/dt]);
xlabel('时间(t)'); ylabel('幅值(f)'); title('单位冲激信号');

```

用方法 1 生成的单位冲激信号如图 1.6 所示。

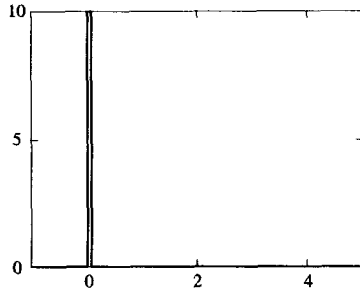


图 1.6 方法 1 生成的单位冲激信号

(2) 方法 2。

MATLAB 程序：

```

t0=0; t1=-1; t2=3; dt=0.001;
t=t1: dt: t2;
n=length(t);
k1=floor((t0-t1)/dt);
x=zeros(1, n);
x(k1)=1/dt;
stairs(t, x);
axis([-1, 3, 0, 22]);
xlabel('时间(t)'); ylabel('幅值(f)'); title('单位冲激信号');

```

用方法 2 生成的单位冲激信号如图 1.7 所示。

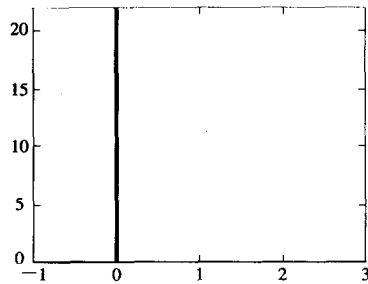


图 1.7 方法 2 生成的单位冲激信号

5) 符号信号 $f(t) = \text{sgn}(t)$

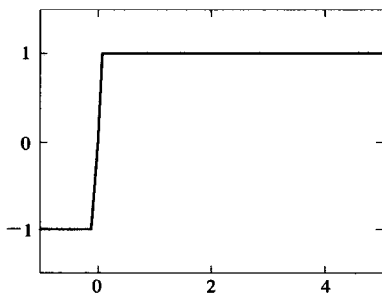
MATLAB 程序：

```

clear
t1=-1; t2=5; dt=0.1; %可将精度调高, 即 d=0.01 或 0.001
t=t1: dt: t2;
n=sign(t);
plot(t, n);
axis([t1, t2, -1.5, 1.5]);
xlabel('时间(t)'); ylabel('幅值(f)'); title('符号信号');

```

用数值法生成的符号函数信号如图 1.8 所示。



1.8 数值法生成的符号函数信号

6) 斜坡信号 $f(t) = t\epsilon(t)$

MATLAB 程序:

```
clear
t1=-1; t2=5; dt=0.01;
t=t1: dt: t2;
a1=5; %斜率
n=a1 * t; plot(t, n);
axis([t1, t2, -1.5, 20]); %横坐标及纵坐标的范围
xlabel('时间(t)'); ylabel('幅值(f)'); title('斜坡信号');
```

用数值法生成的斜坡信号如图 1.9 所示。

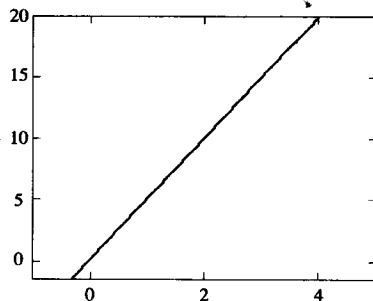


图 1.9 数值法生成的斜坡信号

7) 单边衰减指数信号 $f(t) = e^{-a}\epsilon(t)$

MATLAB 程序:

```
clear
t1=-1; t2=10; dt=0.1;
t=t1: dt: t2;
A1=1; %斜率
a1=0.5; %斜率
n=A1 * exp(-a1 * t);
plot(t, n);
axis([t1, t2, 0, 1]);
xlabel('时间(t)'); ylabel('幅值(f)'); title('单边衰减指数信号');
```

用数值法生成的单边衰减指数信号如图 1.10 所示。

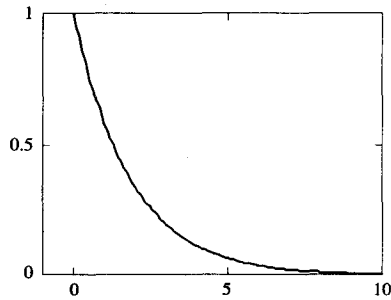


图 1.10 数值法生成的单边衰减指数信号

8) 复指数信号 $f(t) = e^{-(a+j\beta)t}$

MATLAB 程序:

```
% 实现  $f(t) = e^{-3t+4jt}$ 
t=0:0.01:3;
a=-3; b=4;
z=exp((a+i*b)*t);
subplot(2,2,1)
plot(t, real(z)), title('实部'); xlabel('时间(t)'); ylabel('幅值(f)');
subplot(2,2,2)
plot(t, imag(z)), title('虚部'); xlabel('时间(t)'); ylabel('幅值(f)');
subplot(2,2,3)
plot(t, abs(z)), title('模'); xlabel('时间(t)'); ylabel('幅值(f)');
subplot(2,2,4)
plot(t, angle(z)), title('相角'); xlabel('时间(t)'); ylabel('幅值(f)');
```

用数值法生成的复指数信号如图 1.11 所示。

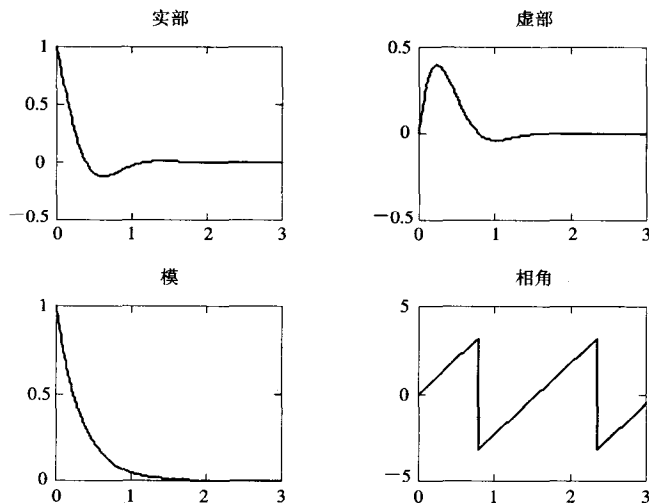


图 1.11 数值法生成的复指数信号

9) 连续时间虚指数信号 $f(t) = 1e^{j\frac{\pi}{2}t}$

MATLAB 程序:

```
%连续时间虚指数信号 f(t)=a * exp(w * i * t)
%t1: 绘制波形的起始时间
%t2: 绘制波形的终止时间
%w: 虚指数信号角频率
%a: 虚指数信号的幅度
a=1;
w=pi/2; %函数参数
t=t1: 0.01: t2;
X=a * exp(i * w * t);
Xr=real(X);
Xi=imag(X);
Xa=abs(X);
Xn=angle(X);
subplot(2, 2, 1)
plot(t, Xr)
axis([t1, t2, -(max(Xa)+0.5), max(Xa)+0.5])
title('实部');
xlabel('时间(t)');
ylabel('幅值(f)');
subplot(2, 2, 2)
plot(t, Xi)
axis([t1, t2, -(max(Xa)+0.5), max(Xa)+0.5])
title('虚部');
xlabel('时间(t)');
ylabel('幅值(f)');
subplot(2, 2, 3)
plot(t, Xa)
axis([t1, t2, 0, max(Xa)+1])
title('模');
xlabel('时间(t)');
ylabel('幅值(f)');
subplot(2, 2, 4)
plot(t, Xn)
axis([t1, t2, -(max(Xa)+1), max(Xa)+1])
title('相角');
xlabel('时间(t)');
ylabel('幅值(f)');
```

用数值法生成的连续时间虚指数信号如图 1.12 所示。

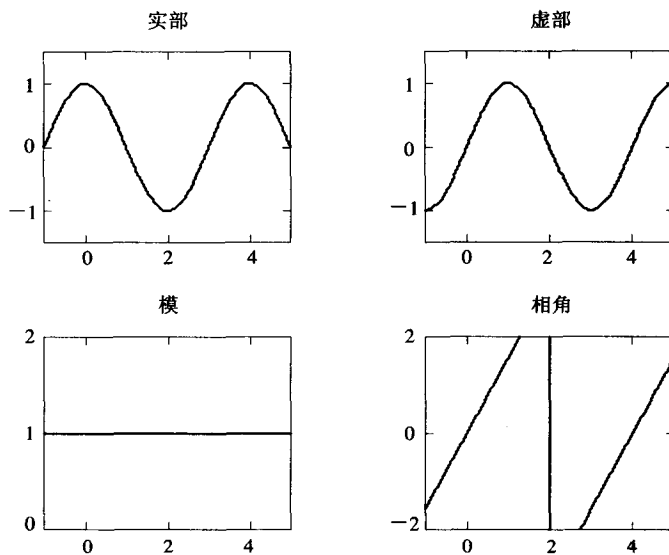


图 1.12 数值法生成的连续时间虚指数信号

10) Dirichlet 函数

MATLAB 程序:

```
x=linspace(0, 4 * pi, 300);
y1=diric(x, 7);
y2=diric(x, 8);
subplot(121), plot(x, y1);
title(' Dirichlet 函数'); xlabel('时间(t)'); ylabel('幅值(f)');
subplot(122), plot(x, y2);
title(' Dirichlet 函数'); xlabel('时间(t)'); ylabel('幅值(f)');
```

用数值法生成的 Dirichlet 函数信号如图 1.13 所示。

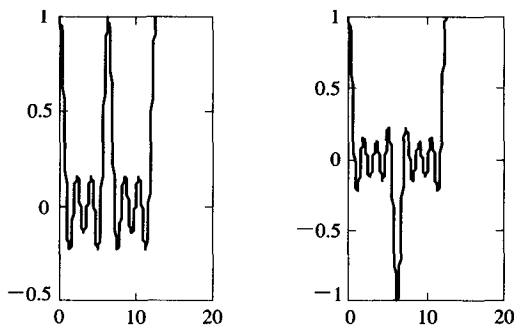


图 1.13 数值法生成的 Dirichlet 函数信号

11) 叠加随机噪声的正弦波信号

MATLAB 程序:

```

t=(0:0.001:50);
y=sin(2*pi*50*t);
s=y+randn(size(t));
plot(t(1:50),s(1:50));
title('随机噪声的正弦波'); xlabel('时间(t)'); ylabel('幅值(f)');

```

用数值法生成的叠加随机噪声的正弦波信号如图 1.14 所示。

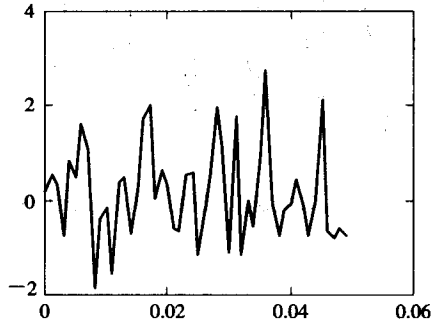


图 1.14 叠加随机噪声的正弦波信号

12) 周期方波信号

MATLAB 程序:

```

t=(0:0.0001:1);
y=square(2*pi*15*t); %产生方波
plot(t,y); axis([0,1,-1.5,1.5]);
title('周期方波'); xlabel('时间(t)'); ylabel('幅值(f)');

```

用数值法生成的周期方波信号如图 1.15 所示。

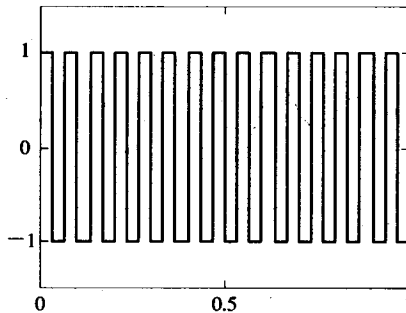


图 1.15 数值法生成的周期方波信号

13) 周期锯齿波信号

MATLAB 程序:

```

t=(0:0.001:2.5);
y=sawtooth(2*pi*30*t); %产生锯齿波
plot(t,y), axis([0,0.2,-1,1]);
title('周期锯齿波'); xlabel('时间(t)'); ylabel('幅值(f)');

```

用数值法生成的周期锯齿波信号如图 1.16 所示。

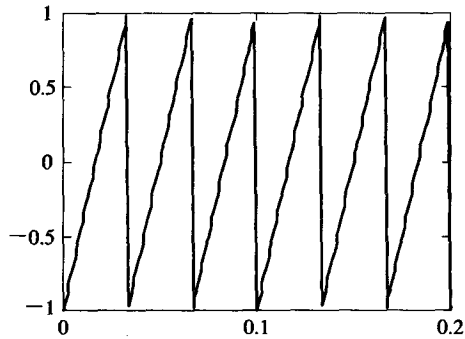


图 1.16 数值法生成的周期锯齿波信号

14) Sinc 函数

MATLAB 程序:

```
t=(0:0.001:2.5);  
x=linspace(-5,5);  
y=sinc(x);  
plot(x,y);  
title('Sinc 函数'); xlabel('时间(t)'); ylabel('幅值(f)');
```

用数值法生成的 Sinc 函数信号如图 1.17 所示。

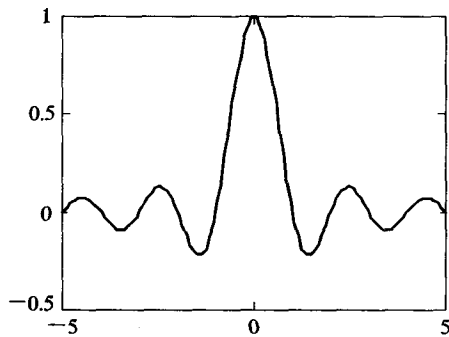


图 1.17 数值法生成的 Sinc 函数信号

15) 三角波信号

MATLAB 程序:

```
t=(-3:0.001:5);  
y=tripuls(t,4,0.5);  
plot(t,y); title('三角波')  
xlabel('时间(t)'); ylabel('幅值(f)');
```

用数值法生成的三角波信号如图 1.18 所示。

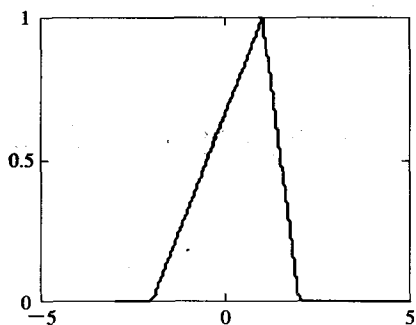


图 1.18 数值法生成的三角波信号

2. 程序设计实验

自己编制程序，生成如下信号：

$\sqrt{a * x}$, $[1 - 2 * \text{abs}(x)]/a$, $\sin(x)/x$, $5\exp(-x)$, $3\sin x$, $u(t-3)$, $u(t+5)$, $r(t-4)$, $r(t+3)$, $u(t-3) + r(t+7)$, $\sin t$, $\sin 2t$, $\sin 3t$, $\delta(t-1)$, $\delta(t+5)$, $\cos 3t + \sin 2t$ 等。

五、实验要求

- (1) 在 MATLAB 中输入程序，验证实验结果，并将实验结果存入指定存储区域。
- (2) 对于程序设计实验，要求通过对验证性实验的练习，自行编制完整的实验程序，实现对信号的模拟，并得出实验结果。
- (3) 在实验报告中写出完整的自编程序，并给出实验结果。

六、思考题

- (1) 冲激信号与阶跃信号各有什么特性？
- (2) 如何利用基本信号表示方波、三角波等信号？
- (3) 信号的时域分解有哪几种方法？