



国家级实验教学示范中心

“电气工程基础实验中心”系列实验教材
西南交通大学323实验室工程系列教材

信号与系统实验

XINHAO YU XITONG SHIYAN

王颖民 编

主审 西南交通大学实验室及设备管理处



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

国家级实验教学示范中心“电气工程基础实验中心”系列实验教材
西南交通大学“323 实验室工程”系列教材

信号与系统实验

王颖民 编

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

内容简介

本书是高等学校电气工程、电子信息、自动控制、通信工程等专业“信号与系统”课程的计算机仿真实验指导书,也是西南交通大学出版社出版的《信号与系统》教材的配套实验教材。

本书参照“信号与系统”课程的教学大纲编写,使用 MATLAB 进行信号与系统分析的仿真实验,旨在加深对信号与系统基本原理、方法及应用的深入理解。主要内容有信号波形的产生、信号的基本运算和波形变换、连续时间系统时域分析、信号的卷积运算、连续时间信号与系统的频域分析、连续时间信号与系统的复频域分析、离散时间信号与系统的时域和 z 域分析以及系统的状态空间分析。

每个实验都给出了该实验的基本原理、相关 MATLAB 函数的详细介绍以及详细易懂的 MATLAB 应用实例,程序都用 M 文件的形式给出;同时,每个实验都给出了一定数量的习题供读者实践练习。

本书可作为信号与系统课程的实验教材,也可作为学习和掌握 MATLAB 的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统实验 / 王颖民编, 一成都: 西南交通大学出版社, 2010.3

(西南交通大学“323 实验室工程”系列教材)

ISBN 978-7-5643-0608-3

I. ①信… II. ①王… III. ①信号理论—高等学校—教材②信号系统—实验—高等学校—教材 IV. ①TN911.6-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 032404 号

国家级实验教学示范中心“电气工程基础实验中心”系列实验教材
西南交通大学“323 实验室工程”系列教材

信号与系统实验

王颖民 编

*

责任编辑 张华敏

特邀编辑 钟波 付雨欣

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蜀通印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 10

字数: 248 千字

2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-0608-3

定价: 20.00 元

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

“信号与系统”是电气工程学科的一门重要的专业基础课程和主干课程。由于该课程核心的基本概念、基本理论和分析方法都非常重要，而且系统性、理论性很强，因此，如何有效地提高“信号与系统”课程的教学质量和效果，让学生掌握扎实的信号与系统分析的基本方法和理论，培养学生分析问题和解决问题的能力，是一项具有重要意义的工作，为此编写了信号与系统实验教材。该教材是国家级电气工程基础实验教学示范中心教材出版规划教材，也是西南交通大学出版社出版的《信号与系统》教材的配套实验教材。

本书使用国际公认的优秀科技应用软件 MATLAB 进行信号与系统分析的仿真，包含十二个实验。主要有信号波形的产生、信号的基本运算和波形变换、连续时间系统时域分析、信号的卷积运算、连续时间信号与系统的频域分析、连续时间信号与系统的复频域分析、离散时间信号与系统的时域和 z 域分析以及系统的状态空间分析。每个实验主要包含实验目的、实验原理和实验内容。实验原理简述了该实验的基本原理、介绍了 MATLAB 函数并给出了详细易懂的 MATLAB 应用实例，程序都用 M 文件的形式给出；同时，每个实验都给出了一定数量的习题供读者实践练习。

这些实验内容已在西南交通大学茅以升电气班开设。实践证明，通过实验让学生将理论课程中的重点、难点及部分练习用 MATLAB 语言进行形象、直观的计算机仿真实现，加深了学生对信号与系统基本原理、方法及应用的理理解，增强了学生的学习的兴趣，培养了学生主动获取知识和独立解决问题的能力。

本书由王颖民编写。该教材的出版得到了西南交通大学实验建设项目、西南交通大学教材建设项目、西南交通大学电气学院和国家级电气工程基础实验教学示范中心的大力支持，在此对他们表示诚挚的感谢。同时，在本书的编写过程中，笔者参考了众多国内外的优秀教材、资料，在此向这些资料文献的作者深表谢意。

限于水平，书中难免有不妥或错误之处，恳请读者指正。

编 者

2010 年 1 月

目 录

实验一 连续时间信号波形的产生	1
一、实验目的	1
二、实验原理	1
三、实验内容	17
四、实验要求	17
实验二 离散信号波形的产生	18
一、实验目的	18
二、实验原理	18
三、实验内容	24
四、实验要求	24
实验三 信号的基本运算和波形变换	25
一、实验目的	25
二、实验原理	25
三、实验内容	37
四、实验要求	38
实验四 连续时间系统的时域分析	39
一、实验目的	39
二、实验原理	39
三、实验内容	49
四、实验要求	49
实验五 信号的卷积计算	50
一、实验目的	50
二、实验原理	50
三、实验内容	59
四、实验要求	59
实验六 周期信号的傅里叶级数分析	60
一、实验目的	60
二、实验原理	60
三、实验内容	71
四、实验要求	71
实验七 连续时间信号与系统的频域分析	72
一、实验目的	72
二、实验原理	72

三、实验内容	85
四、实验要求	85
实验八 连续信号的抽样	86
一、实验目的	86
二、实验原理	86
三、实验内容	90
四、实验要求	90
实验九 连续时间信号与系统的复频域分析	91
一、实验目的	91
二、实验原理	91
三、实验内容	103
四、实验要求	104
实验十 离散时间系统的时域分析	105
一、实验目的	105
二、实验原理	105
三、实验内容	113
四、实验要求	114
实验十一 离散时间信号与系统的 z 域分析	115
一、实验目的	115
二、实验原理	115
三、实验内容	125
四、实验要求	126
实验十二 系统的状态空间分析	127
一、实验目的	127
二、实验原理	127
三、实验内容	140
四、实验要求	141
附录 MATLAB 软件简介	142
一、MATLAB 的主要功能	142
二、MATLAB 的安装与运行使用	142
三、MATLAB 的程序设计基础	144
四、MATLAB 的数值运算	146
五、MATLAB 的符号运算	150
六、MATLAB 绘图	151
参考文献	153

实验一

连续时间信号波形的产生

一、实验目的

熟悉 MATLAB 软件的使用，了解连续时间信号的特点，掌握连续时间信号的表示方法，并熟悉使用 MATLAB 产生信号和绘制信号波形。

二、实验原理

(一) 信 号

信号一般表现为随时间变化的某种物理量。信号按照特性的不同，可以分为确定性信号和随机信号、连续信号和离散信号、周期信号和非周期信号等。

信号按照自变量的取值是否连续可分为连续时间信号和离散时间信号。连续时间信号指在信号讨论的时间范围内，任意时刻都可以给出确定的函数值，可以有有限个间断点。离散时间信号是指其时间自变量是离散的，只在某些不连续的规定时刻给出函数值，其他时刻没有定义。

常见的连续时间信号有：指数信号、正弦信号、抽样函数信号、单位阶跃信号、符号函数、单位冲激信号、矩形脉冲信号等。

1. 指数信号

指数信号表示为：

$$f(t) = Ae^{at}$$

式中， A 和 a 均为实数， A 是指信号在 $t=0$ 时刻的幅度， a 可以取正值也可以取负值。若 $a>0$ ，则指数信号随时间增长而增长；若 $a<0$ ，则指数信号随时间增长而衰减；若 $a=0$ ，则指数信号成为直流信号。

2. 正弦信号

连续时间正弦信号表示为：

$$f(t) = A\cos(\omega t + \varphi)$$

式中， A 是振幅， ω 是角频率， φ 是初相位。

3. 复指数信号

连续时间复指数信号表示为：

$$f(t) = Ae^{st}$$

式中， $s = \sigma + j\omega$ ，称为复频率，因此：

$$e^{st} = e^{(\sigma + j\omega)t} = e^{\sigma t} e^{j\omega t} = e^{\sigma t} (\cos \omega t + j \sin \omega t)$$

上式表明，一个复指数信号可分解为实部、虚部两部分。实部、虚部分别为振幅按指数规律变化的正弦信号。若 $\sigma < 0$ ，复指数信号的实部、虚部为衰减正弦信号；若 $\sigma > 0$ ，复指数信号的实部、虚部为增幅正弦信号；若 $\sigma = 0$ ，则为虚指数信号 $e^{j\omega t}$ ；若 $\omega = 0$ ，则复指数信号成为一般的实指数信号；若 $\sigma = 0$ ， $\omega = 0$ ，复指数信号的实部、虚部均与时间无关，成为直流信号。

4. 抽样函数信号

抽样函数信号表示为：

$$\text{Sa}(t) = \frac{\sin t}{t}$$

5. 单位阶跃信号

单位阶跃信号 $u(t)$ 的表达式为：

$$u(t) = \begin{cases} 1 & t > 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$$

6. 单位冲激信号 $\delta(t)$

单位冲激信号表示为：

$$\begin{cases} \delta(t) = 0 & t \neq 0 \\ \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1 \end{cases}$$

对信号进行时域分析，首先需要将信号随时间变化的规律用二维曲线表示出来。对于简单信号可以通过手工绘制其波形，但对于复杂的信号，手工绘制信号波形显得十分困难，且难以绘制精确的曲线。MATLAB 提供了大量函数用于生成基本信号。

(二) MATLAB 函数介绍

1. plot 函数

plot 函数用来绘制二维线性坐标曲线，它是最基本的绘图命令函数。调用格式为：

plot(y) 当 y 为一向量时，以 y 的序号为 x 轴，按向量 y 的值绘制曲线。

plot(x,y) x、y 都为向量，以向量 x 作为 x 轴，向量 y 作为 y 轴，绘制出 x 对 y 的二维曲线。

plot(x,y1,'cs',x,y2,'cs',...) 以公共的向量 x 作为 x 轴，分别以向量 y1、y2、…的数据绘制

多条曲线，每条曲线的外形可由相应的字符'cs'来指定。其中，c 表示曲线颜色的字符，s 表示线型格式（参见附表 2 所示）。

2. sym 函数

sym 函数是最常用的创建符号变量的函数。调用格式为：

sym('变量名')

例如， $x = \text{sym}('x')$ ，将建立一个符号变量 x ，它代表字符 x 。

当需要给多个符号变量赋值时，可以合并为一个命令：

syms 变量名列表

其中，各个变量名之间用空格分隔，例如， $\text{syms } x \ y \ z$ 。

3. ezplot 函数

ezplot 函数可以在图形窗口绘制出符号函数的图形。调用格式为：

ezplot(f) 对于符号函数 $f=f(x)$ ，按照 x 的默认范围 $-2\pi < x < 2\pi$ ，在图形窗口中绘制出 $f=f(x)$ 的图形。

ezplot(f,[a,b]) 在图形窗口中绘制出 $f=f(x)$ 的图形， x 的范围为 $[a,b]$ 。

4. subs 函数

subs 函数用于将符号变量替换成数字或其他符号。调用格式为：

subs(s,new) 用新变量 new 替换 s 中的默认变量。其中， s 可以是符号表达式、符号代数方程或微分方程。

subs(s,new,old) 用新变量 new 替换 s 中的指定变量 old。

5. subplot 函数

subplot 函数可以将图形窗口分割，便于在一个图形窗口中显示多个图形。调用格式为：

subplot(m, n, p) 或 subplot(mnp) 将当前图形窗口中的坐标轴分割为 m 行、 n 列的子坐标轴，选定第 p 个子坐标轴为当前坐标轴。

例如，subplot(232) 表示 2 行 3 列共有 6 个子坐标轴，选择第 2 个坐标作为当前绘图坐标。

6. linspace 函数

利用 linspace 函数可以生成向量。调用格式为：

$a = \text{linspace}(x1, x2)$ 表示生成 $x1$ 和 $x2$ 之间的 100 个元素的线性分布行向量，其中： $a(1)=x1$ ， $a(100)=x2$ 。

$a = \text{linspace}(x1, x2, n)$ 表示生成 $x1$ 和 $x2$ 之间的 n 个元素的线性分布行向量，其中： $a(1)=x1$ ， $a(n)=x2$ 。

例如，linspace 生成向量：

$a1 = \text{linspace}(1, 11, 6)$

$a1 =$

1 3 5 7 9 11

(三) 连续信号的 MATLAB 实现

MATLAB 用两种方法来表示连续信号：一种是用数值计算的方法将连续信号离散化后，用数值表示信号；另一种是用符号运算的方法来表示信号。MATLAB 通过符号数学工具箱 (Symbolic Math Toolbox) 实现符号运算。

1. 指数信号

指数信号 Ae^{at} 在 MATLAB 中可以用 `exp` 函数表示，调用格式为：

$$y = A * \exp(a * t)$$

(1) 衰减指数信号的产生

用两种方法实现的程序如下：

方法一 % 用数值计算的方法产生衰减指数信号

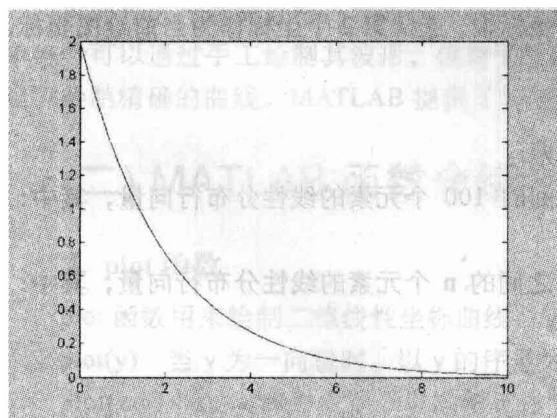
```
A=2;
a=-0.5;
t=0:0.01:10;           % 信号时间向量
y=A*exp(a*t);           % 产生衰减指数信号
plot(t,y);               % 绘制信号图形
```

波形如图 1-1(a)所示。

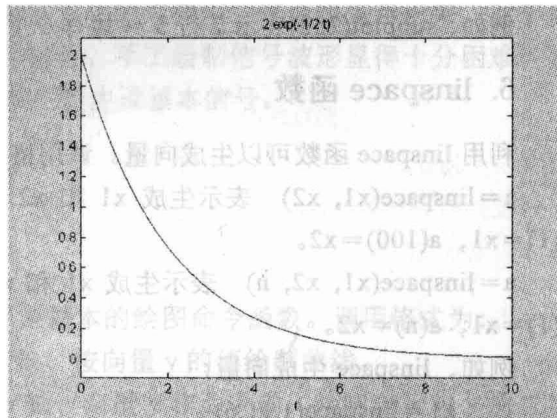
方法二 % 用符号运算的方法来表示衰减指数信号

```
syms t;                  % 定义 t 为符号变量
y=2*exp(-0.5*t);
ezplot(y,[0,10]);        % 绘制符号函数图形
```

波形如图 1-1(b)所示。



(a)



(b)

图 1-1 衰减指数信号

(2) a 值不同情况下的指数信号波形

用三种方法实现的程序如下：

方法一 % 用数值计算的方法产生指数信号

```
t=-3:0.01:3;
f1=exp(-0.5*t);
f2=exp(0*t);
f3=exp(0.5*t);
plot(t,f1,t,f2,'--',t,f3,'-.');
```

波形如图 1-2(a)所示。

方法二 % 用符号运算的方法来表示指数信号

```
syms a t;
y=exp(a*t);
y1=subs(y,'a','-0.8');      % 将变量 a 替换成-0.8
subplot(131);
ezplot(y1,[-5,5]);
y2=subs(y,'a','0');
subplot(132);
ezplot(y2,[-5,5]);
y3=subs(y,'a','0.8');
subplot(133);
ezplot(y3,[-5,5]);
```

波形如图 1-2(b)所示。

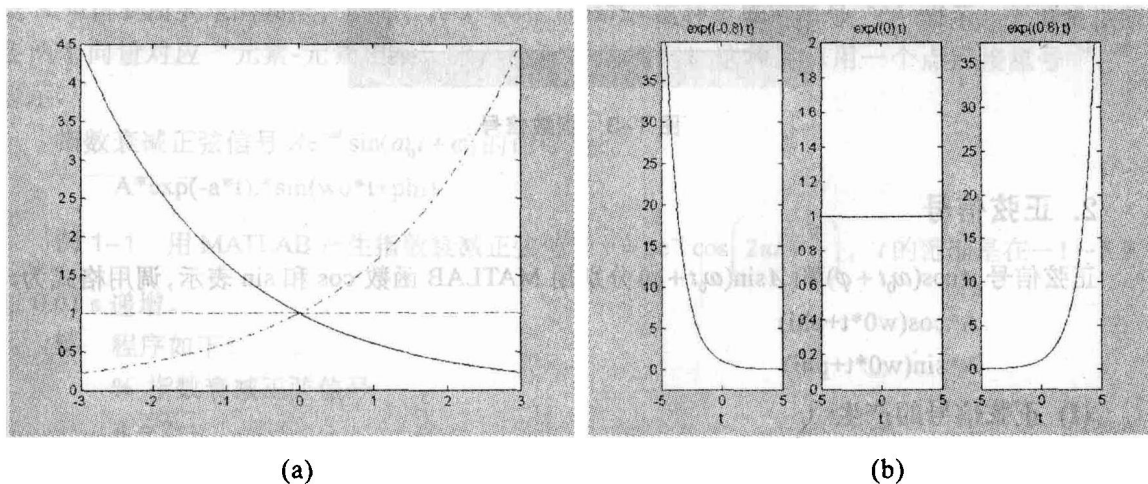


图 1-2 指数信号

方法三 也可以先创建函数 rexp，其 M 文件如下：

```
function rexp(a,t1,t2)
t=t1:0.01:t2;
```

```
f=exp(a*t);
```

```
plot(t,f);
```

以 rexp 文件名保存。调用函数 rexp 可绘出指数信号在不同情况下的时域波形，例如：

```
rexp (-0.5,-3,3)
```

```
rexp (0,-3,3)
```

```
rexp (0.5,-3,3)
```

波形如图 1-3 所示。

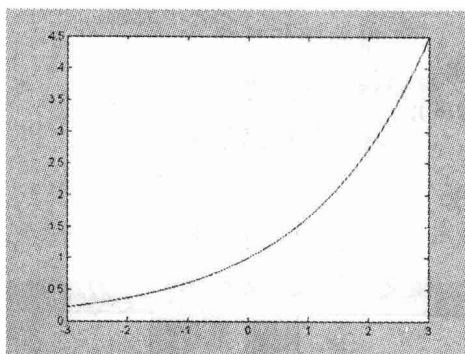
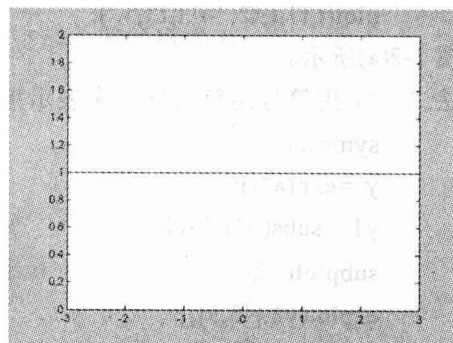
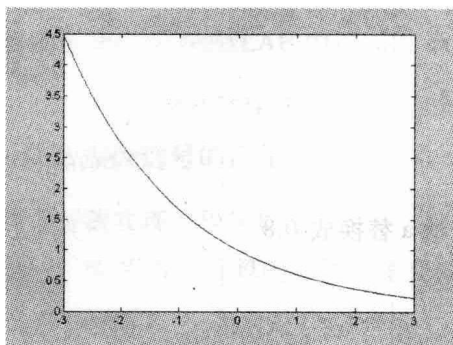


图 1-3 指数信号

2. 正弦信号

正弦信号 $A \cos(\omega_0 t + \varphi)$ 和 $A \sin(\omega_0 t + \varphi)$ 分别用 MATLAB 函数 cos 和 sin 表示,调用格式为:

```
A*cos(w0*t+phi)
```

```
A*sin(w0*t+phi)
```

(1) 正弦信号的产生

```
A=1;
```

```
w0=2*pi*0.5;
```

```
phi=pi/6;
```

```
t=0:0.01:5;
```

```
y=A*sin(w0*t+phi);
```

```
plot(t,y);
```

```

grid on;                                % 设置网格线
title('y(t)=sin(πt+π/6)');              % 设置图形标题为 y(t)=sin(πt+π/6)
xlabel('t');                             % 设置横坐标标题为 t
axis([0,5,-1.1,1.1]);                  % 设置坐标轴范围, x 轴最小值 0, 最大值 10; y 轴
                                         最小值-0.1, 最大值 2.1。通过 axis 命令可扩大水平、
                                         垂直方向坐标边界

```

波形如图 1-4 所示。

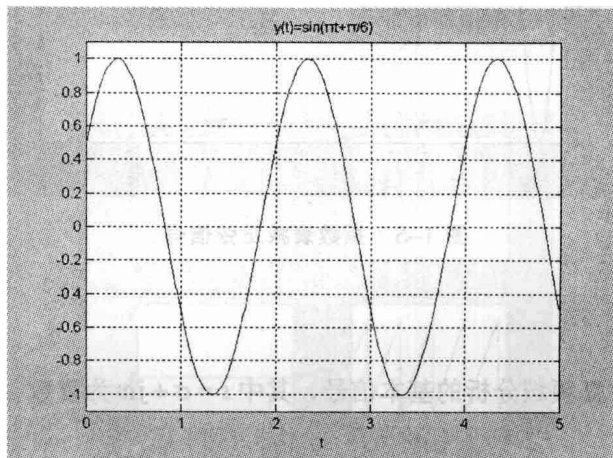


图 1-4 正弦信号

(2) 指数衰减正弦信号的产生

前面已经看到, 在所有的 MATLAB 信号产生命令中, 用代表单位幅度信号的向量乘以标量 A 来得到所要求的幅度, 例如, $A \cdot \sin(\omega_0 t + \phi)$, 这种运算用星号 “*” 表示。下面考虑需要两个向量对应“元素-元素相乘”来产生信号的情况, 这种运算用一个点后接星号 “.” 表示。

指数衰减正弦信号 $Ae^{-at} \sin(\omega_0 t + \phi)$ 的命令是:

```
A*exp(-a*t).*sin(w0*t+phi)
```

例 1-1 用 MATLAB 产生指数衰减正弦信号 $y = 2e^{-t} \cos\left(2\pi t + \frac{\pi}{3}\right)$, t 的范围是在 $-1 \sim 5$ s,

以 0.01 s 递增。

解 程序如下:

```

% 指数衰减正弦信号
A=2;
a=-1;
t=-1:0.01:5;
y=A*exp(a*t).*cos(2*pi*t+pi/3);
plot(t,y);
axis([-1 5 -4 4])

```

指数衰减正弦信号如图 1-5 所示。

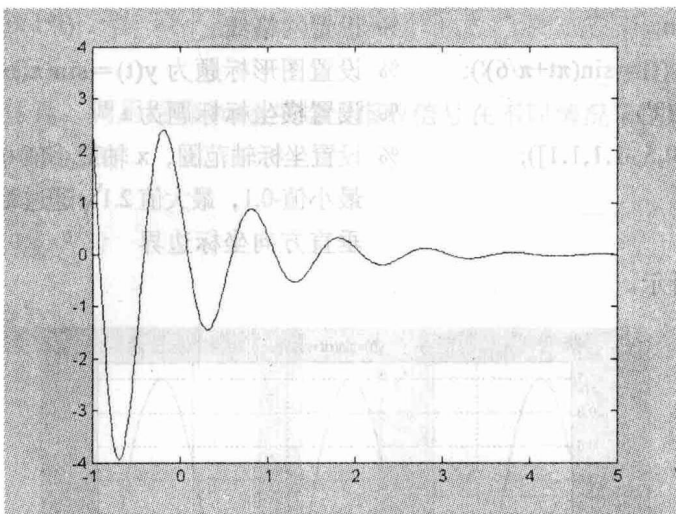


图 1-5 指数衰减正弦信号

3. 复指数信号

复指数信号 Ae^{st} 是复频域分析的基本信号, 其中 $s = \sigma + j\omega$ 为复数, 即复频率。由欧拉公式得:

$$Ae^{st} = Ae^{\sigma t} e^{j\omega t} = Ae^{\sigma t} \cos(\omega t) + jAe^{\sigma t} \sin(\omega t)$$

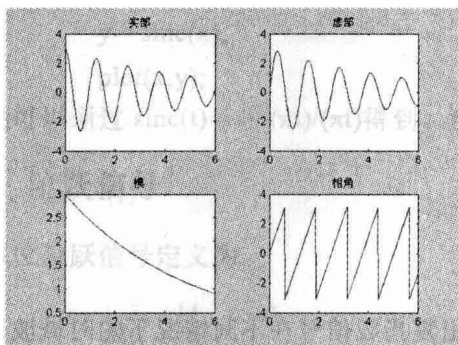
所以复指数信号是时间 t 的复函数, 需要两个实信号来表示, 即用模和相角或实部和虚部来表示复指数信号随时间变化的规律。

例 1-2 用 MATLAB 产生复指数信号 $f(t) = 3 \cdot \exp((-0.2 + j5)t)$ 的程序。

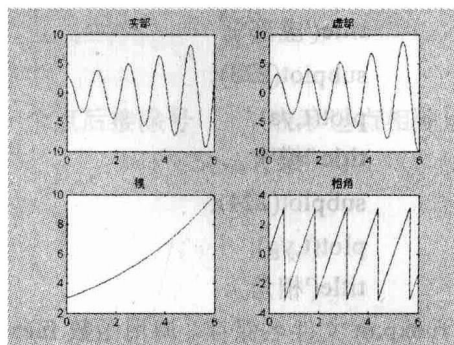
解 程序如下:

```
% 绘制复指数信号波形程序
t=0:0.01:6;
y=3*exp((-0.2+i*5)*t);           % 产生复指数信号 y
yr=real(y);                       % 复指数信号 y 取实部
yi=imag(y);                       % 复指数信号 y 取虚部
ya=abs(y);                        % 求复指数信号 y 的模
yg=angle(y);                      % 求复指数信号 y 的相角
subplot(221);plot(t,yr);title('实部');
subplot(222);plot(t,yi);title('虚部');
subplot(223);plot(t,ya);title('模');
subplot(224);plot(t,yg);title('相角');
```

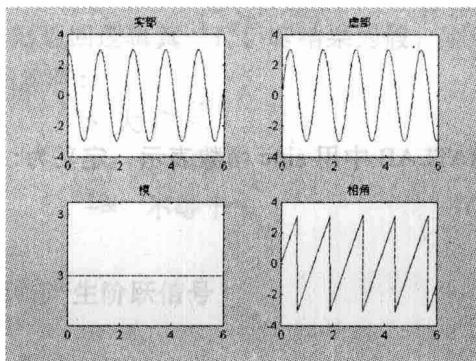
复指数信号 $f(t) = 3 \cdot \exp((-0.2 + j5)t)$ 的波形如图 1-6(a)所示。同理, 可以绘出复指数信号 $f(t) = 3 \cdot \exp((0.2 + j5)t)$ 的波形如图 1-6(b)所示。



(a)



(b)



(c)

图 1-6 复指数信号

也可以先创建函数 `fuexp`，其 M 文件如下：

```
function fuexp(a,w,t1,t2,A)
% 绘制复指数信号波形程序
% a 是复频率实部
% w 是复频率虚部
% t1,t2 分别是起始时间和终止时间
% A 是复指数信号幅值
t=t1:0.01:t2;
y=A*exp((a+i*w)*t);
yr=real(y);
yi=imag(y);
ya=abs(y);
yg=angle(y);
subplot(221);
plot(t,yr);
title('实部');
subplot(222);
plot(t,yi);
```

```

title('虚部');
subplot(223);
plot(t,ya);
title('模');
subplot(224);
plot(t,yg);
title('相角');

```

以 `fuexp.m` 文件名保存。调用函数 `fuexp` 可绘出复指数信号在不同情况下的时域波形，例如，绘制复指数信号 $f(t)=3*\exp(i*5*t)$ 的波形，对应的 MATLAB 程序为：

```
fuexp(0,5,0,6,3)
```

波形如图 1-6(c)所示。

4. 抽样函数信号

抽样函数信号 $Sa(t)$ 在 MATLAB 中用 `sinc` 函数表示，定义为：

$$\text{sinc}(t) = \frac{\sin(\pi t)}{\pi t}$$

调用格式为：

```
y=sinc(t)
```

程序如下：

```

% Sample function
t=-3*pi:pi/100:3*pi;
y=sinc(t/pi);
plot(t,y);
grid on;
axis([-3*pi,3*pi,-0.4,1.1]);

```

波形如图 1-7 所示。

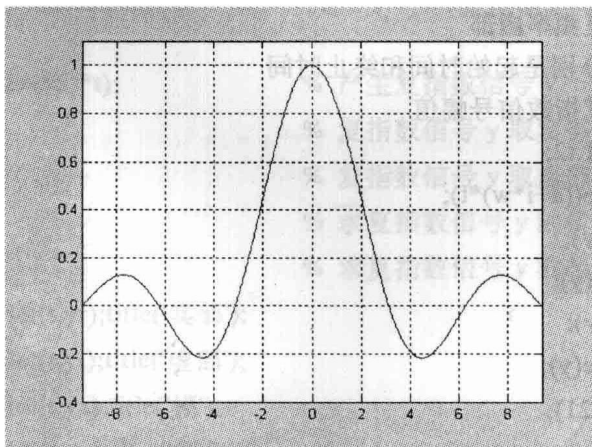


图 1-7 抽样函数信号

也可以用如下的程序实现：

```
x=linspace(-5,5);
```

% 利用 `linspace` 函数生成向量

```
y = sinc(x);
```

```
plot(x,y);
```

也可以通过 $\text{sinc}(t) = \sin(\pi t)/(\pi t)$ 得到。注意，一个点后接除号 “/” 表示逐点相除运算。

5. 阶跃信号

单位阶跃信号定义为

$$\varepsilon(t) = \begin{cases} 1 & t > 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$$

表示单位阶跃信号的一种方法是借助关系运算符。在 MATLAB 中，一个关系运算符对两项进行比较，若结果为真，则返回逻辑真 “1”；若结果为假，则返回逻辑假 “0”。

MATLAB 有六种关系运算符：

< 小于	> 大于
<= 小于等于	>= 大于等于
== 等于	~= 不等于

产生阶跃信号 $\varepsilon(t)$ 的程序为：

```
% 用关系运算符产生阶跃信号
```

```
t = -2:0.02:6;
```

```
y = (t>0);
```

```
plot(t,y);
```

```
axis([-2,6,0,1.2]);
```

```
title('单位阶跃函数');
```

波形如图 1-8 所示。

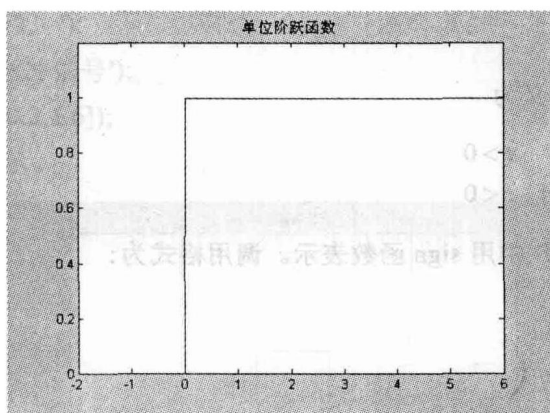


图 1-8 单位阶跃函数

另一种有效方法是根据单位阶跃信号的定义，调用 MATLAB 的 Symbolic Math Toolbox 中的单位阶跃函数 Heaviside(t)。因为函数 ezplot 只能画出既存在于 Symbolic Math 工具箱中，又存在于总 MATLAB 工具箱中的那些函数，而 Heaviside 函数仅存在于 Symbolic Math 工具箱中，所以需要在 MATLAB 的当前工作目录下创建 Heaviside.m 的 M 文件。