

## 实验一 信号的 MATLAB 表示及信号运算

### 一、实验目的

- 1、掌握 MATLAB 的使用；
- 2、学习使用 MATLAB 产生基本信号，绘制信号波形；
- 3、学习利用 MATLAB 实现信号的基本运算；
- 4、利用 MATLAB 分析常用连续信号。

### 二、实验原理

#### (一) 连续信号的产生

##### 1、抽样函数 $f(t) = Sa(t)$

$Sa(t)$  在 MATLAB 中用 sinc 函数表示，定义为  $\text{sinc}(t) = \sin(\pi t) / \pi$ 。

其调用形式为  $y = \text{sinc}(t)$ 。

```
clear all;  
t=-5:0.1:5;  
f=sinc(t);           %产生抽样函数  
plot(t,f);grid;  
xlabel('t');ylabel('Sa(t)')
```

运行结果如图 1-1 所示。

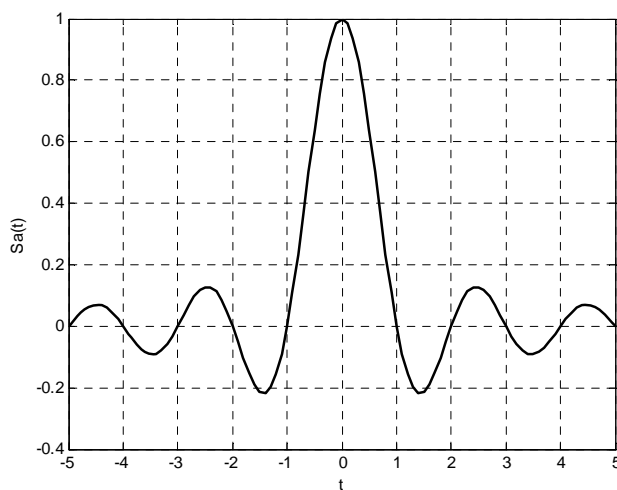


图 1-1 抽样函数波形

##### 2、正弦信号

$$f(t) = k \sin(\omega t + a)$$

正弦信号和余弦信号在 MATLAB 中分别用 `sin` 和 `cos` 表示，其调用形式为

$$y = k * \sin(w * t + a)$$

$$y = k * \cos(w * t + a)$$

```
clear all;
t=-8:.01:8;
k=2;w=1;a=pi/6;
f=k*sin(w*t+a);
plot(t,f);grid;xlabel('t');
ylabel('f(t)')
```

运行结果如图 1-2 所示。

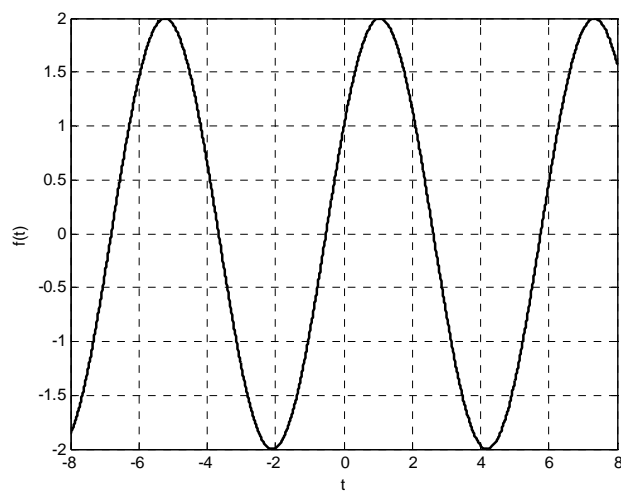


图 1-2 函数  $k \sin(wt + a)$  波形

### 3、单边指数信号

单边指数信号定义为  $f(t) = ke^{-at}$

指数信号  $ke^{at}$  在 MATLAB 中可用 `exp` 表示，其调用形式为

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

程序如下：

```
t=0:0.001:10;k=1;a=0.5;
f=k*exp(-a*t);
plot(t,f);
grid;
xlabel('t');
ylabel('f(t)')
```

运行结果如图 1-3 所示。

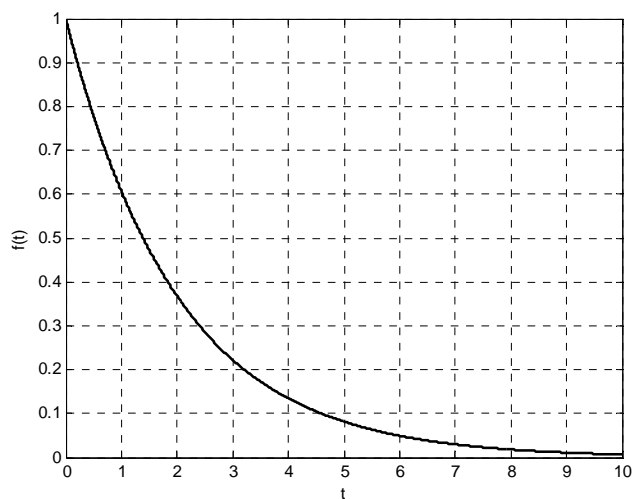


图 1-3 函数  $ke^{-0.5t}$  波形

#### 4、单位冲激信号

单位冲激信号是信号时域分析中的基本信号之一，具有重要的作用。单位冲激信号的定义为：

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1$$

$$\delta(t) = 0 \quad (t \neq 0)$$

绘制单位冲激信号的程序如下：

```
t0=0;tf=5;dt=0.01;t1=1;
t=[t0:dt:tf];st=length(t);
n1=floor((t1-t0)/dt);
x1=zeros(1,st);x1(n1)=1/dt;
stairs(t,x1);grid on;axis([0,5,0,22])
```

运行结果如图 1-4 所示。

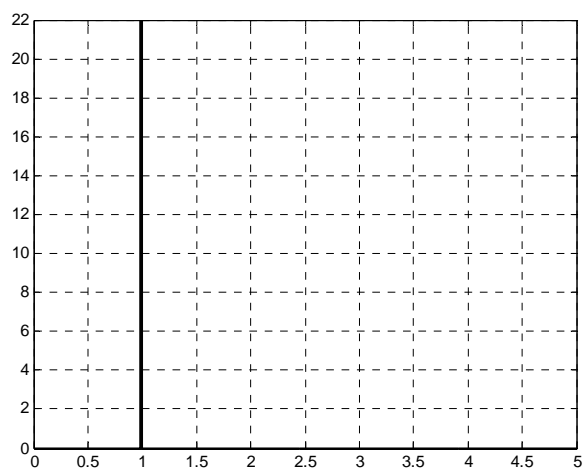


图 1-4 单位冲激信号波形

## 5、单位阶跃信号

单位阶跃信号是信号时域分析的基本信号之一。它常用于简化信号的时域表示。例如可以用它来表示时限信号和单边信号（因果信号）。

单位阶跃信号的定义为 
$$u(t) = \begin{cases} 1 & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$$

利用 MATLAB 的可视化功能，可很方便地绘制单位阶跃信号的时域波形。

方法一：

```
t=-2:0.02:6;  
x=(t>=0);  
plot(t,x);  
axis([-2,6,0,1.2])
```

运行结果如图 1-5(a)所示。

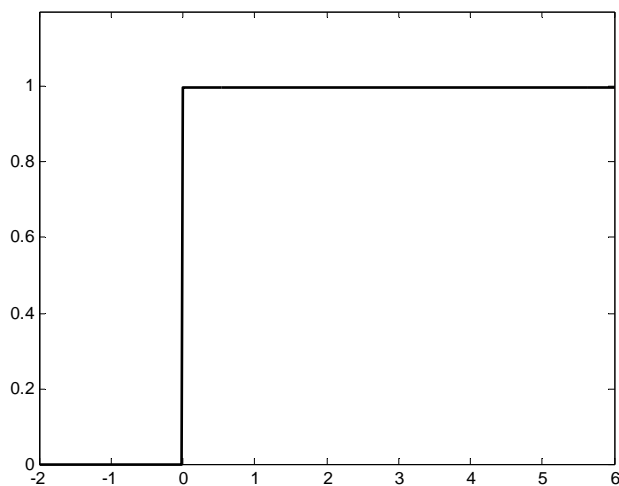


图 1-5(a) 用 plot 命令绘制的单位阶跃信号波形

方法二：

在 work 目录下创建函数 Heaviside，可方便地绘出单位阶跃信号波形。需要创建的 Heaviside 函数代码如下：

```
function f= Heaviside(t)  
f=(t>0);
```

在 work 目录下创建函数 Heaviside 并保存（相应的文件名为 Heaviside.m）。调用该函数，并利用 plot 或 ezplot 命令绘制波形。

程序如下：

```
%利用 plot 命令绘制单位阶跃信号波形  
clear all  
t=-1:0.01:3 ;
```

```

f=Heaviside(t) ;
plot(t,f) ;
axis([-1,3,-0.2,1.2]);
set(gcf,'color','w');
grid;
title('单位阶跃信号')

```

运行结果如图 1-5(b)所示。

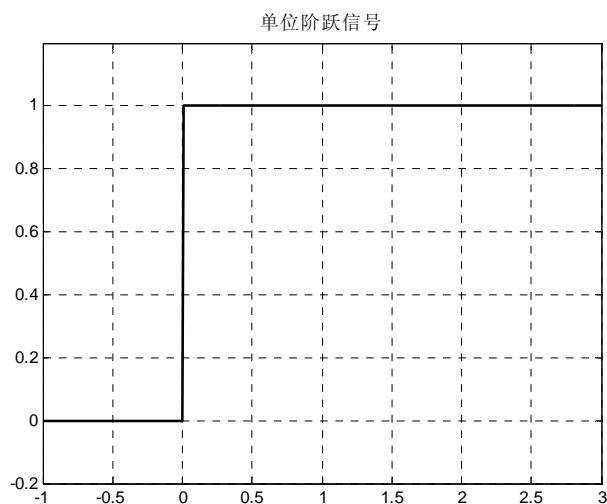


图 1-5(b) 用 plot 命令绘制的单位阶跃信号波形

%利用 ezplot 命令绘制单位阶跃信号波形

```

syms t                                %定义符号变量
f=sym('Heaviside(t)')                %创建单位阶跃信号的符号表达式
ezplot(f,[-2,4])                      %绘制符号表达式的时域波形
title('单位阶跃信号')

```

## 6、周期方波信号

周期方波信号在 MATLAB 中用 square() 函数表示，其调用形式有两种格式：

$$\textcircled{1} \quad y = \text{squars}(a * t)$$

$$\textcircled{2} \quad y = \text{squars}(a * t, \text{duty})$$

格式①产生指定周期、峰值为  $\pm 1$  的周期方波信号，常数  $a$  为信号时域尺度因子，用语调整信号周期。

格式②用以产生一个周期为  $2\pi$ ，幅值  $\pm 1$  的周期方波信号，其中 **duty** 参数表示占空比，即在信号的一个周期中正值所占的百分比。

例如，绘制周期方波信号。

程序如下：

```

clear all;

```

```

t=0:0.01:10;
subplot(3,1,1)
f1=square(t);                                %产生周期为  $2\pi$  的方波信号
plot(t,f1)
axis([0,10,-1.2,1.2])
set(gcf,'color','w')
subplot(3,1,2)
f1=square(2*pi*t);                            %产生周期为 1 的方波信号
plot(t,f1)
axis([0,10,-1.2,1.2])
subplot(3,1,3)
f1=square(2*pi*t,80);                        %产生周期为 1、占空比为 80%的矩形脉冲信号
plot(t,f1)
axis([0,10,-1.2,1.2])

```

运行结果如图 1-6 所示。

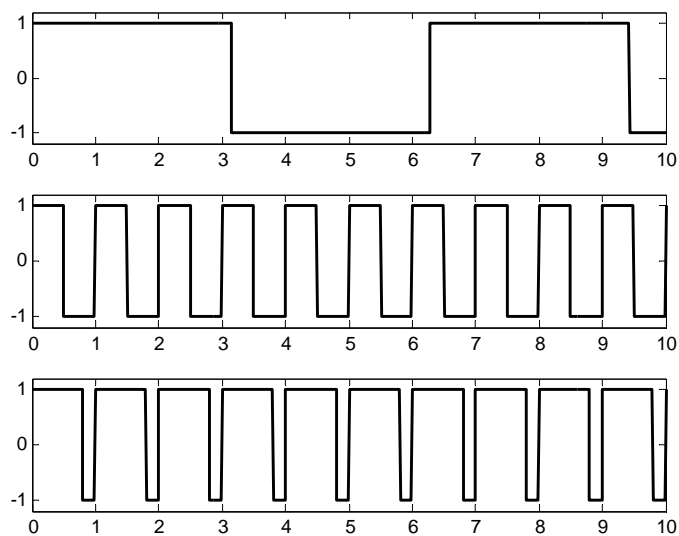


图 1-6 周期方波信号波形

## 7、矩形脉冲信号

矩形脉冲信号在 MATLAB 中用 `rectpuls()` 函数表示，其调用形式有两种：

①  $y = \text{rectpuls}(t)$

②  $y = \text{rectpuls}(t, \text{width})$

格式①产生指定宽度为 1、单位高度（高度为 1）的非周期矩形脉冲信号。

格式②产生一个幅度为 1，宽度为 `width`，以 `t` 为对称的矩形波。

```

clear all;
t=0:0.001:4;T=1;

```

```
ft=rectpuls(t-2*T,2*T);    %产生一个以 t=t-2T 为中心，宽度为 2T 的矩形脉冲
plot(t,ft);grid on;
axis([0 4 -0.5 1.5])
```

运行结果如图 1-7(a)所示。

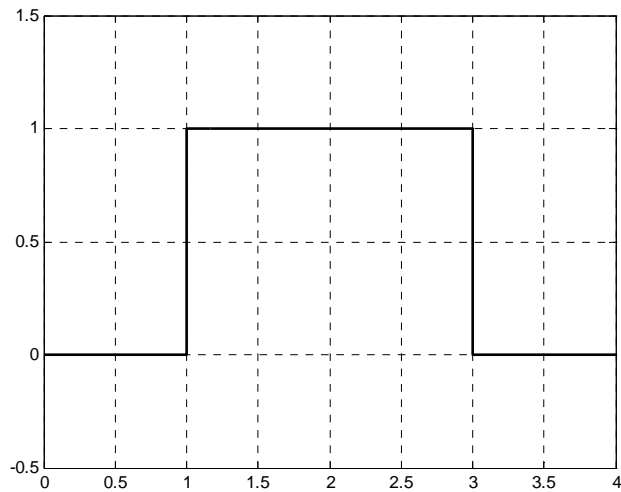


图 1-7(a) 非周期矩形脉冲信号

利用 Heaviside 函数产生门信号的时域波形

$$g(t) = \begin{cases} 1 & -1 < t < 1 \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$$

程序如下：

```
syms t;
f=sym('Heaviside(t+1)-Heaviside(t-1)');
ezplot(f,[-4,4])
```

运行结果如图 1-7(b)所示。

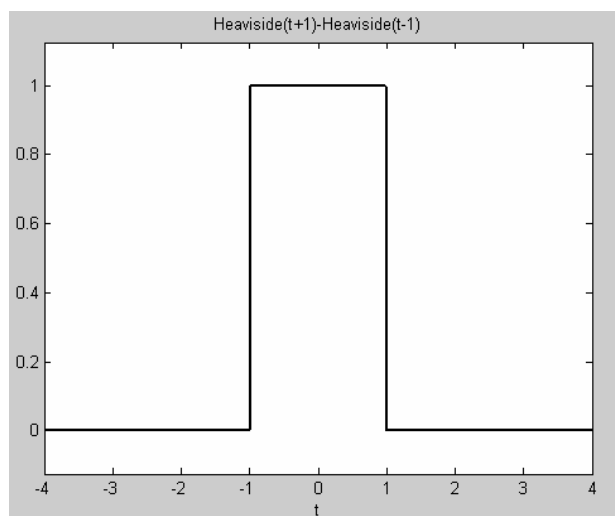


图 1-7(b) 门信号时域波形

## 8、三角波脉冲信号

### (1) 非周期三角波脉冲信号

非周期三角波脉冲信号在 MATLAB 中用 `tripuls()` 函数表示，其调用形式有三种：

$$\textcircled{1} \quad y = \text{tripuls}(t)$$

$$\textcircled{2} \quad y = \text{tripuls}(t, \text{width})$$

$$\textcircled{3} \quad y = \text{tripuls}(t, \text{width}, \text{skew})$$

格式①产生宽度为 1，高度为 1 的非周期对称三角波脉冲信号，三角波的中心位置位于时间  $t=0$  处。

格式②产生指定宽度、高度为 1 的非周期对称三角波脉冲信号，其宽度由参量 `width` 决定。

格式③除了具有格式②的功能外，还可由 `skew` 指定三角波的斜率，以产生非对称的三角波（`skew` 的取值范围为 -1 到 +1）

产生非周期三角波脉冲信号程序举例 1：

```
clear all;  
t=-3:0.001:3;           % t 决定函数的横坐标范围  
ft=tripuls(t,4,0.5);     % 产生一个最大幅度为 1,宽度为 4,斜度为 0.5 的三角波  
plot(t,ft);grid on;  
axis([-3 3 -0.5 1.5])
```

运行结果如图 1-8(a)所示。

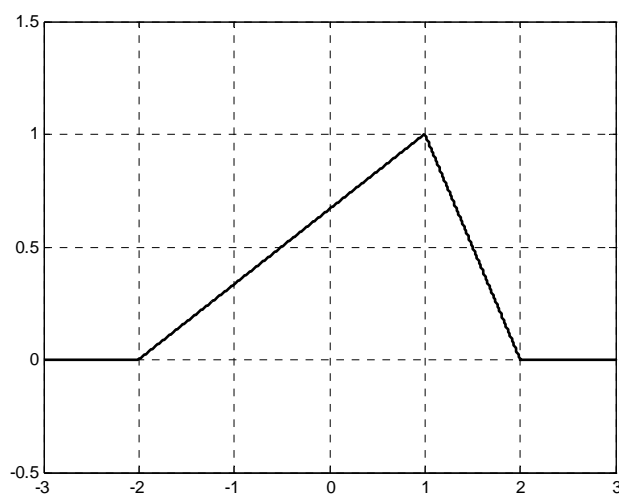


图 1-8(a) 三角波信号

产生非周期三角波脉冲信号程序举例 2：

```
clear all;
```



```

t=-3:0.01:3;          % t 确定函数的横坐标范围
f1=tripuls(t);
subplot(3,1,1)
plot(t,f1) ;grid on;
axis([-3,3,-0.2,1.2])
set(gcf,'color','w')
f2=tripuls(t,4);
subplot(3,1,2)
plot(t,f2) ;grid on;
axis([-3,3,-0.2,1.2])
f3=tripuls(t,4,1);      %产生一个最大幅度为 1，宽度为 4，斜度为 1 的三角波
subplot(3,1,3)
plot(t,f3) ;grid on;
axis([-3,3,-0.2,1.2])

```

运行结果如图 1-8(b)所示。

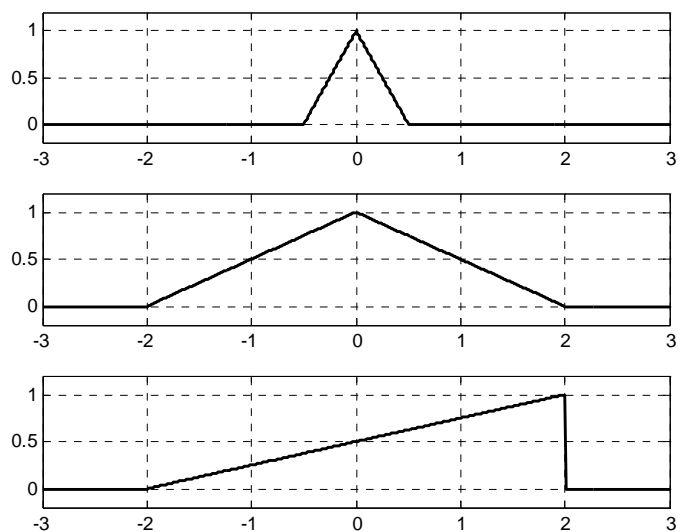


图 1-8(b) 非周期三角波信号

## (2) 周期三角波脉冲信号

周期性三角波信号在 MATLAB 中用 **sawtooth()** 函数表示，其调用形式有两种：

$$\textcircled{1} y = \text{sawtooth}(a * t)$$

$$\textcircled{2} y = \text{sawtooth}(a * t, \text{width})$$

格式①产生指定周期、峰值为  $\pm 1$  的周期三角波（锯齿波）信号，常数  $a$  为信号时域尺度因子，用语调整信号周期。

格式②产生一个指定周期，峰值为  $\pm 1$  的周期性三角波（锯齿波）。其中的 **width** 参数表示最大幅度出现的位置：在一个周期内，信号从  $t=0$  到  $\text{width} \times 2\pi$  时，函数值从 -1 到 1 线性

增加；而从  $\text{width} \times 2\pi$  到  $2\pi$  时，函数值从 1 到 -1 线性递减。

产生周期锯齿波程序举例：

```
t=0:0.01:15;  
subplot(3,1,1)  
f1=sawtooth(t);  
plot(t,f1); grid;  
axis([0,15,-1.2,1.2])  
set(gcf,'color','w')  
subplot(3,1,2)  
f1=sawtooth(pi*t);  
plot(t,f1); grid;  
axis([0,15,-1.2,1.2])  
subplot(3,1,3)  
f1=sawtooth(2*pi*t,0.5);  
plot(t,f1); grid;  
axis([0,15,-1.2,1.2])
```

运行结果如图 1-9 所示。

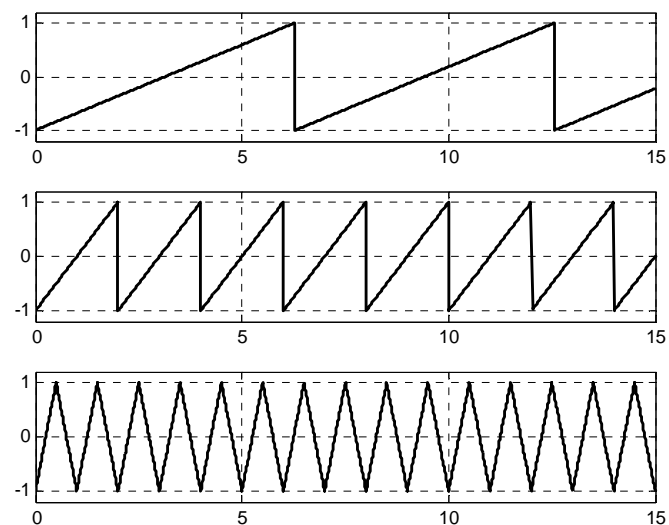


图 1-9 周期性(三角波)锯齿波信号

9、用 MATLAB 实现函数  $x(t) = e^{-0.1t} \sin(2/3t)$ ，并绘制  $x(t)$  波形。

程序如下：

```
t=0:0.1:30;  
x=exp(-0.1*t).*sin(2/3*t);  
axis([0 30 -1 1]);  
plot(t,x);grid;
```

```
xlabel('time(second)');
```

```
ylabel('x(t)')
```

运行结果如图 1-10 所示。

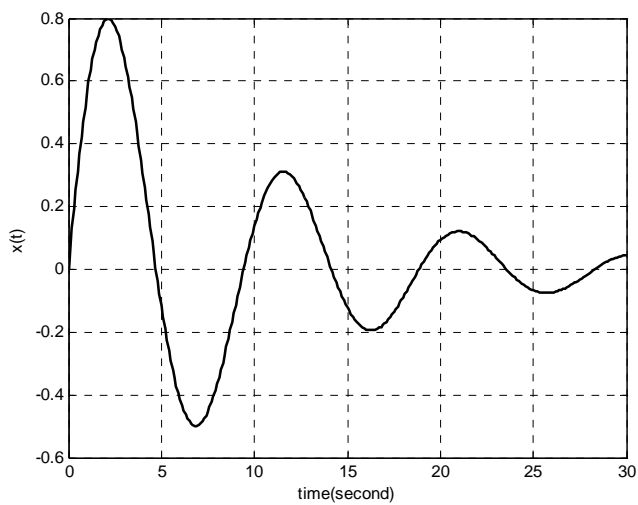


图 1-10 函数  $e^{-0.1t} \sin(2/3t)$  波形

## (二) 离散信号的产生

### 1、指数序列 $Aa^k$

程序如下：

```
k=0:10;A=1;a=-0.6;
```

```
fk=A*a.^k;
```

```
stem(k,fk); grid on;axis([0 10 -1 1])
```

运行结果如图 1-11 所示。

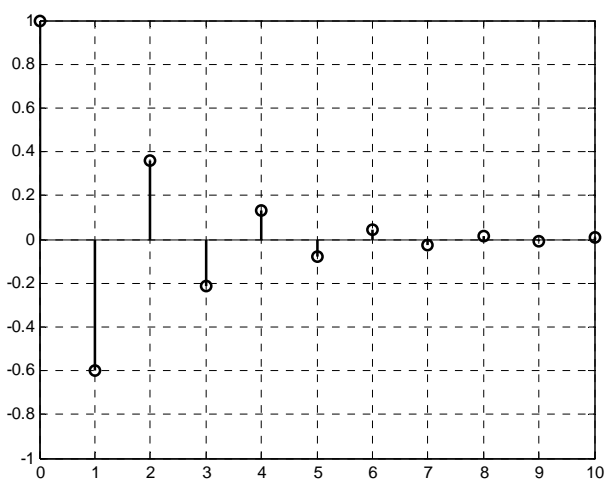


图 1-11 指数序列  $Aa^k$  波形

### 2、正弦序列

```
k=0:39;
```

```
fk=sin(pi/6*k);
```

```
stem(k,fk)
```

运行结果如图 1-12(a)所示。

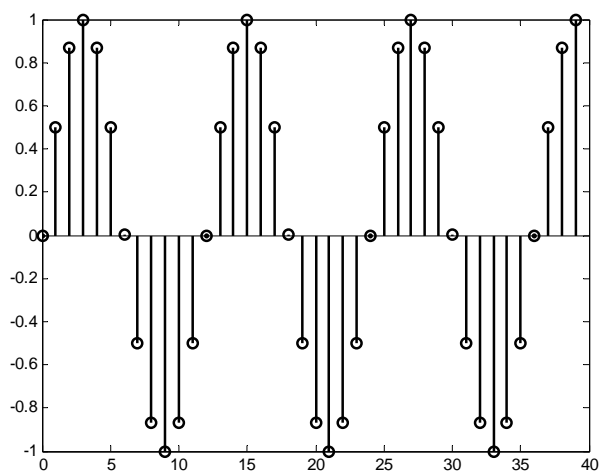


图 1-12(a) 正弦序列  $\sin(\pi/6) \cdot k$  波形

### 3、单位冲激序列

$$\delta(k) = \begin{cases} 1 & k = 0 \\ 0 & k \neq 0 \end{cases} = \{\dots, 0, 0, 1, 0, 0, \dots\}$$

单位冲激序列可借助 MATLAB 中的全零矩阵函数 zeros() 表示。全零矩阵 zeros(1, N) 产生一个由 N 个零组成的行向量。对于有限区间的  $\delta(k)$  的 MATLAB 程序为：

```
k=-20:20;
```

```
delta=[zeros(1,20),1,zeros(1,20)];
```

```
stem(k,delta)
```

运行结果如图 1-13(a)所示。

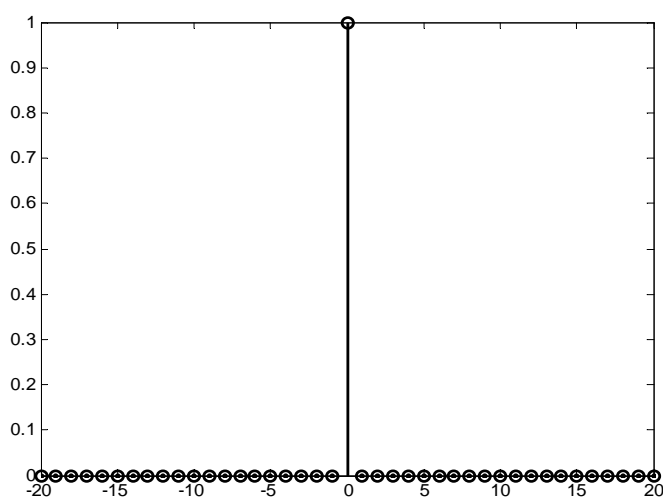


图 1-13(a) 全零矩阵函数 zeros() 绘制单位冲激序列  $\delta(t)$  波形

也可以用 `dwxl()` 函数绘制单位冲激序列。在 `work` 目录下创建函数 `dwxl`：

```
function x=dwxl(n)
```

```
x=(n==0);
```

上述函数中，输入参数 `n` 为生成的单位冲激序列对应的时间范围向量，输出参数 `x` 则返回与时间向量 `n` 相对应的单位冲激序列的对应样值向量。

运行如下命令：

```
n=-3:3
```

```
x=dwxl(n)
```

运行结果为：

```
n =
```

```
-3 -2 -1 0 1 2 3
```

```
x =
```

```
0 0 0 1 0 0 0
```

用上述命令生成单位冲激序列向量后，即可用如下命令绘制出时域波形。

```
stem(n,x,'filled')
```

```
title('单位冲激序列')
```

```
xlabel('n')
```

运行结果如图 1-13(b)所示。

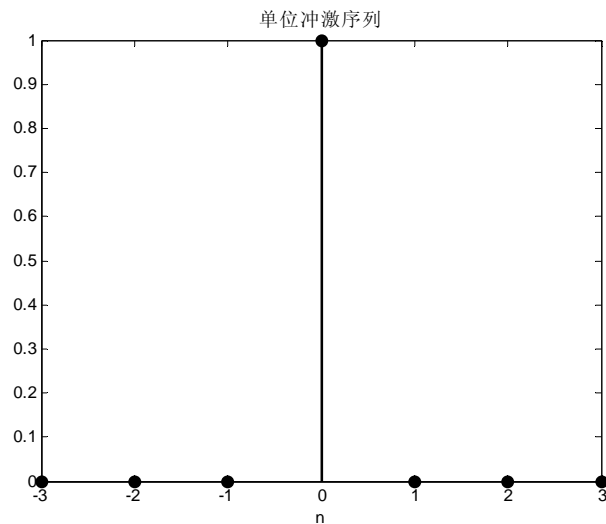


图 1-13(b) 用 `dwxl()` 函数绘制单位冲激序列波形

#### 4、用冲激函数表示任意序列

$$f(k) = 8\delta(k) + 3.4\delta(k-1) + 1.8\delta(k-2) + 5.6\delta(k-3) + 2.9\delta(k-4) + 0.7\delta(k-5)$$

```
N=8;
```

```
x=zeros(1,N);
```

```
x(1)=8;x(2)=3.4; x(3)=1.8; x(4)=5.6;x(5)=2.9; x(6)=0.7;xn=0:N-1;
```

```
stem(xn,x);
axis([-1 8 0 8.2])
```

运行结果如图 1-14 所示。

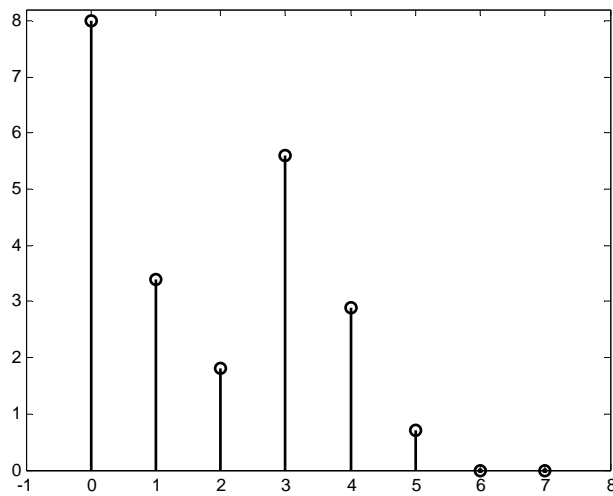


图 1-14 用冲激函数表示任意序列

## 5、单位阶跃序列

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

一种简单的方法是借助 MATLAB 中单位矩阵函数 ones( )来表示。单位矩阵 ones(1,N) 产生一个由 N 个“1”组成的行向量。对于有限区间的 u(k) 的 MATLAB 程序为：

```
k=-20:20;
uk=[zeros(1,20),ones(1,21)];
stem(k,uk)
```

运行结果如图 1-15(a)所示。

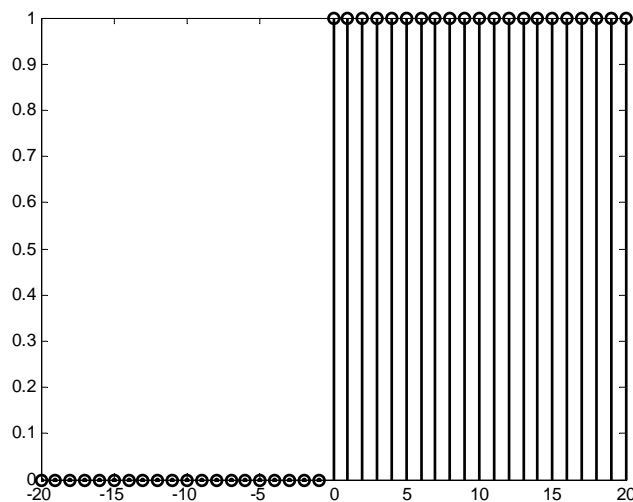


图 1-15(a) 用单位矩阵函数绘制单位阶跃序列

同样，在 work 目录下创建函数 jyxl()，也可绘制单位阶跃序列。

```
function x=jyxl(n)
```

```
x=(n>=0);
```

上述函数中，输入参数  $n$  为生成单位阶跃序列的时间向量（注意：由于表示的是离散序列，向量  $n$  的元素必须为整数），输出参数  $x$  则返回与时间向量  $n$  相对应的单位阶跃序列的对应样值向量。

运行如下命令

```
n=-3:8
```

```
x=jyxl(n)
```

```
stem(n,x,'filled')
```

```
title('单位阶跃序列')
```

```
xlabel('n')
```

结果如图 1-15(b)所示。

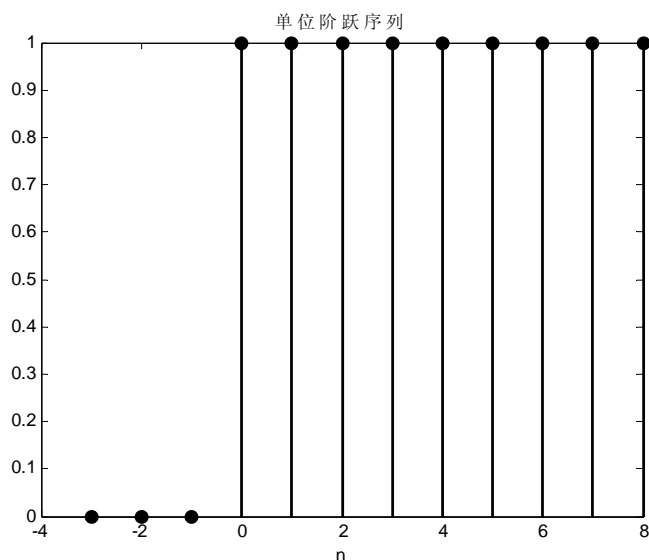


图 1-15(b) 用函数 jyxl()绘制的单位阶跃序列

### （三）信号运算

#### 1、信号的尺度变换、翻转、平移

信号的尺度变换、翻转、平移，实际上是函数自变量的运算。

例如，对图 1-8（a）所示的三角波，利用 MATLAB 画出  $f(2t)$ 和 $f(2-2t)$  的波形。

程序如下：

```
clear all;
```

```
t=-3:0.001:3;
```

```
ft1=tripuls(2*t,4,0.5);
```

```
subplot(2,1,1);
```

```

plot(t,ft1);
grid on;
title('f(2t)');
ft2= tripuls(2-2*t,4,0.6);
subplot(2,1,2);
plot(t,ft2);
grid on;
title('f(2-2t)')

```

运行结果如图 1-16(a)所示。

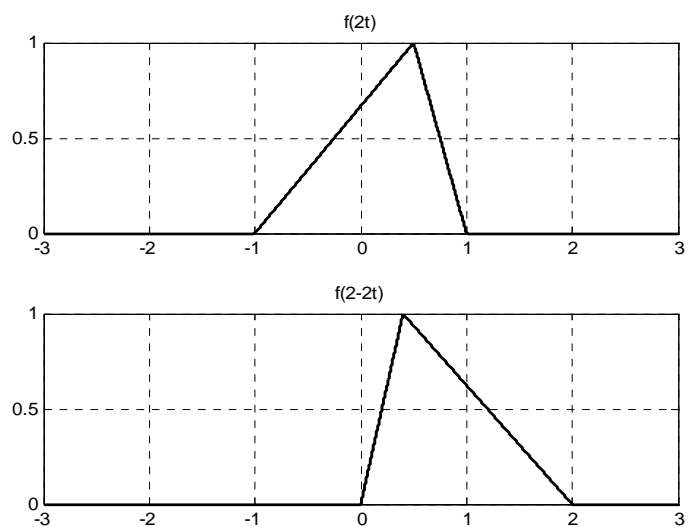


图 1-16(a)  $f(2t)$  和  $f(2-2t)$  的波形

对下列序列

$$x[n] = \{0, 1, 2, 3, \underset{\substack{\uparrow \\ n=0}}{4}, 4, 4, 4\}$$

可利用 `fliplr()` 函数来实现反折。也可用 `xlzfz()` 函数实现。

程序如下：

% 绘制离散序列反折信号波形

```

clear all;
x1=[0,1,2,3,4,4,4,4];
n1=-4:3;                                     % x1,n1 分别为待反折的离散序列及其对应的时间向量
stem(n1,x1,'filled');
axis([-5,4,-0.5,4.5])
title('x(n)')
xlabel('n')
pause

```



```

x=fliplr(x1);n=-fliplr(n1);    %调用fliplr()函数实现反折
stem(n,x,'filled');           % x,n为返回反折后的离散序列及其对应的时间向量。
axis([-5,4,-0.5,4.5]);
title('x(-n)');
xlabel('n')

```

运行结果如图 1-16(b)所示。

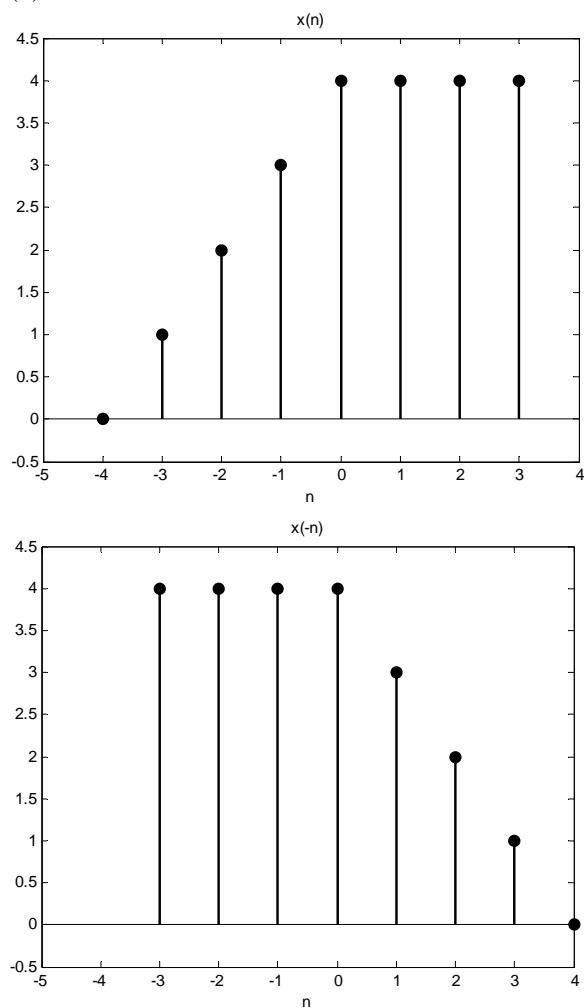


图 1-16(b) 离散序列反折时域波形

## 2、连续信号的微分与积分运算

(1) 连续信号的微分可以用 `diff()` 函数近似计算。

例如， $y = (\sin(x^2))' = 2x\cos(x^2)$ ，可由下列 MATLAB 语句实现：

```

h=0.001;
x=0:h:pi;
y=diff(sin(x.^2))/h

```

(2) 定积分可由 `quad()` 函数或 `quad8()` 函数实现。其调用形式为

```

quad('function_name',a,b)

```

其中 function\_name 为被积函数名（.m 文件名），a 和 b 为指定的积分区间。

例如，对图 1-8(a)所示的三角波  $f(t)$ ，利用 MATLAB 画出  $df(t)/dt$  和  $\int_{-\infty}^t f(\tau)d\tau$  的波形。为了便于利用 quad( ) 函数来计算信号的积分，将图 1-8(a)所示的三角波  $f(t)$  写成 MATLAB 函数，函数名为 functri（相应的.m 文件名为 functri.m）。

```
function yt=functri(t)
```

```
yt=tripuls(t,4,0.5);
```

利用 diff 和 quad 函数，并调用自编函数 functri，可实现三角波的微分、积分。

程序如下：

```
clear all;
```

```
h=0.001;t=-3:h:3;
```

```
y1=diff(functri(t))*1/h;
```

```
figure(1);
```

```
plot(t(1:length(t)-1),y1);
```

```
title('df(t)/dt');grid on;
```

```
t=-3:0.1:3;
```

```
for x=1:length(t)
```

```
    y2(x)=quad('functri(t)',-3,t(x));
```

```
end
```

```
figure(2);
```

```
plot(t,y2);axis([-3 3 -0.5 2.5]);
```

```
title('Integral of f(t)');grid on
```

运行结果如图 1-17 所示。

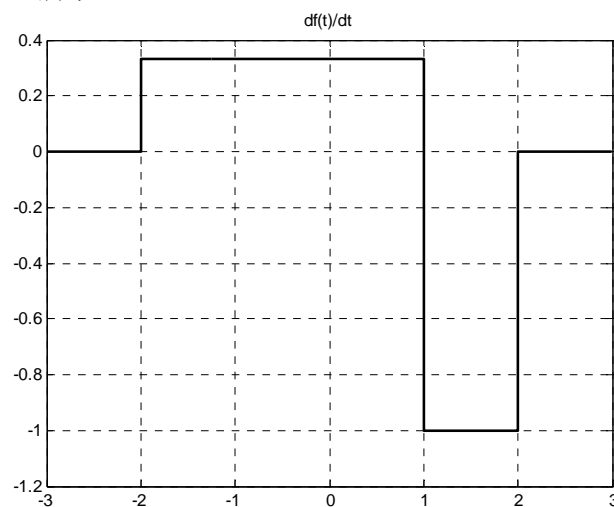


图 1-17(a) 三角波信号  $f(t)$  的微分波形

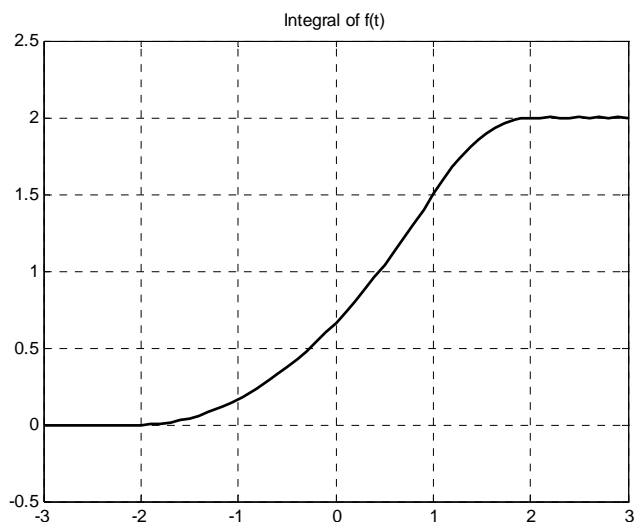


图 1-17(b) 三角波信号  $f(t)$  的积分波形

### 三、实验内容

编写程序实现下列常用函数，并显示波形。

1、正弦函数  $f(t) = K \sin(\omega t + \alpha)$

2、矩形脉冲函数  $f(t) = u(t) - u(t - t_0)$

3、抽样函数  $Sa(t) = \frac{\sin t}{t}$

4、单边指数函数  $f(t) = Ke^{-t}$

5、已知信号  $f_1(t) = u(t+2) - u(t-2)$ ， $f_2(t) = \cos(2\pi t)$ ，用 MATLAB 绘制

$f_1(t) + f_2(t)$  和  $f_1(t) \times f_2(t)$  的波形。

### 四、实验仪器及环境

计算机 1 台，MATLAB7.0 软件。

### 五、实验要求

提前预习 MATLAB 中有关信号表示的相关命令及函数；预习信号的时域运算与时域变换（相加、相乘、移位、反折、尺度变换、倒相）相关知识。

### 六、思考题

1、产生连续信号时，首先要定义时间向量  $t=0:T:T_p$ 。其中  $T$  和  $T_p$  各是什么含义？

2、什么是单位冲激信号？能够用 MATLAB 产生单位冲激信号吗？