

# 实验 4 离散时间信号的时域分析

计算机 20-1 刘宇诺

## 【实验目的】

- (1) 了解离散时间信号的特点。
- (2) 掌握离散时间信号的表示方法。
- (3) 会用 MATLAB 语言对离散信号进行时域分析。

## 【实验内容】

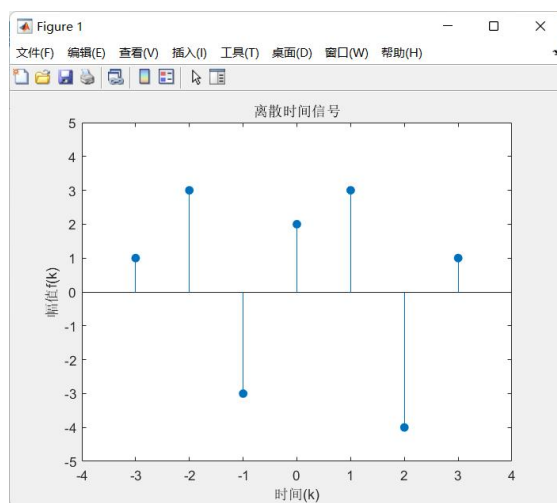
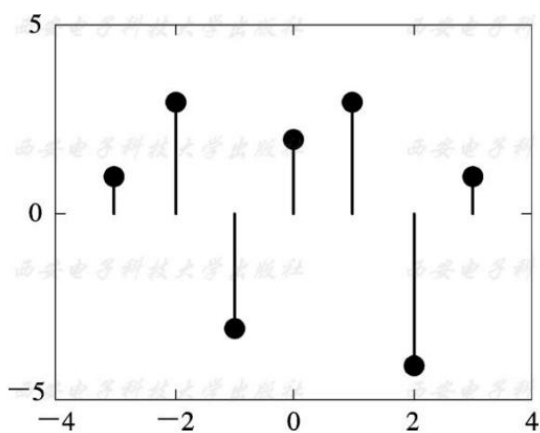
### 1. 验证性实验

常用的离散信号有正弦信号序列、单位阶跃序列、单位门序列、单位冲激信号、单位斜坡序列、单边衰减指数序列、随机序列等。参考给出的程序，产生信号并观察信号的波形，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的信号。

#### 1) 离散时间信号

MATLAB 程序：

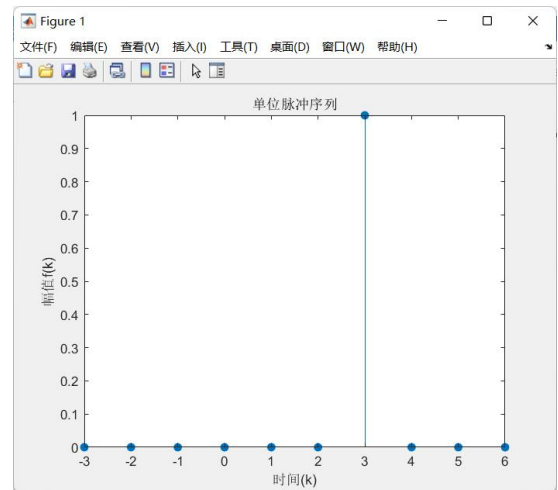
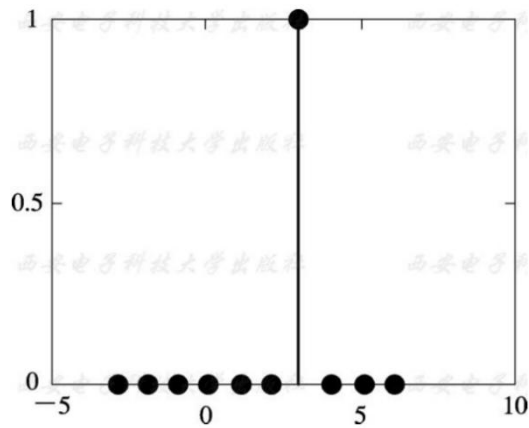
```
k1=-3; k2=3; k=k1:k2;  
f=[1,3,-3,2,3,-4,1];  
stem(k,f,'filled');  
axis([-4,4,-5,5]);  
title('离散时间信号')  
xlabel('时间(k)'); ylabel('幅值 f(k)');
```



## 2) 单位脉冲序列

MATLAB 程序:

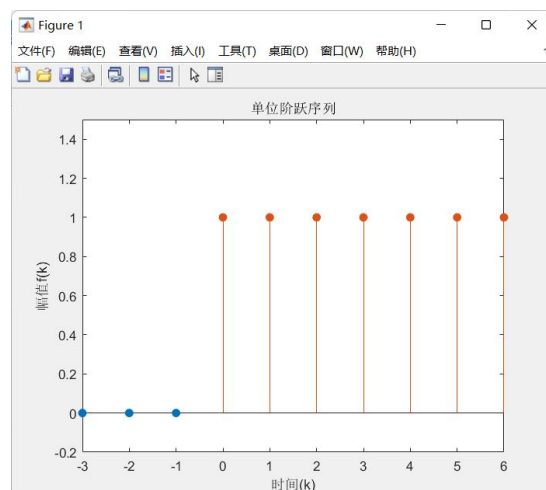
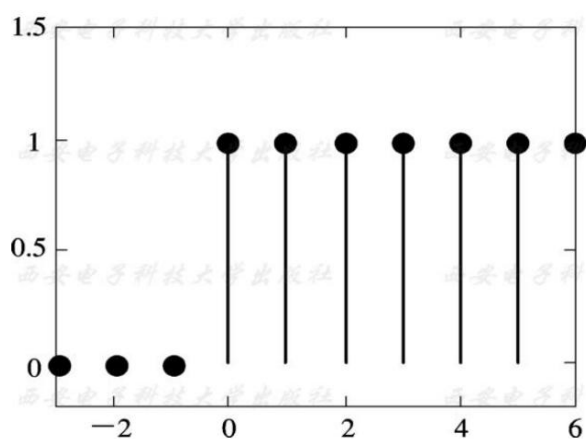
```
k1=-3; k2=6; k=k1:k2;  
n=3;  
%单位脉冲出现的位置  
f=[(k-n)==0];  
stem(k,f,'filled'); title('单位脉冲序列')  
xlabel('时间(k)'); ylabel('幅值 f(k)');
```



## 3) 单位阶跃序列

MATLAB 程序:

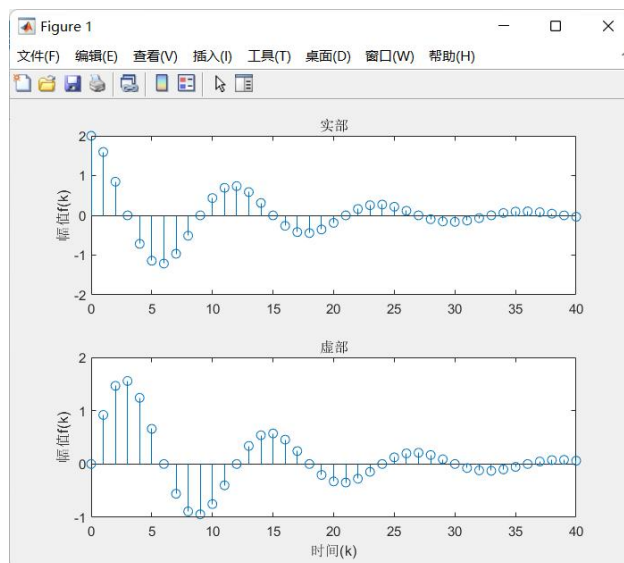
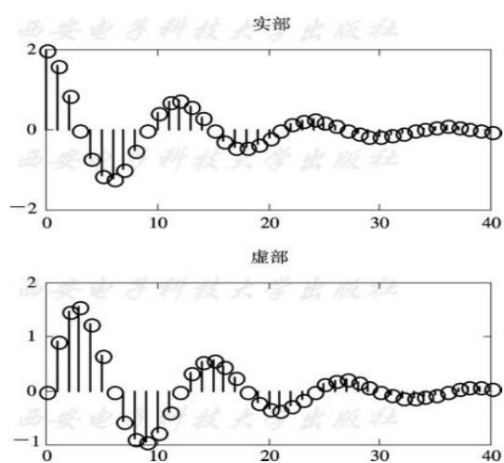
```
k0=0; %单位阶跃开始出现的位置  
k1=-3; k2=6; k=k1:k0-1;  
n=length(k);  
k3=-k0:k2;  
n3=length(k3);  
u=zeros(1,n);  
u3=ones(1,n3);  
stem(k,u,'filled');  
hold on;  
stem(k3,u3,'filled');  
hold off;  
axis([k1,k2,-0.2,1.5]);  
title('单位阶跃序列');  
xlabel('时间(k)'); ylabel('幅值 f(k)');
```



#### 4) 复指数序列

MATLAB 程序:

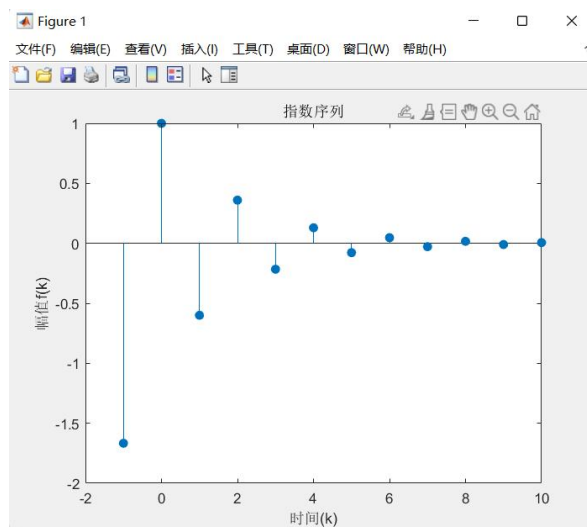
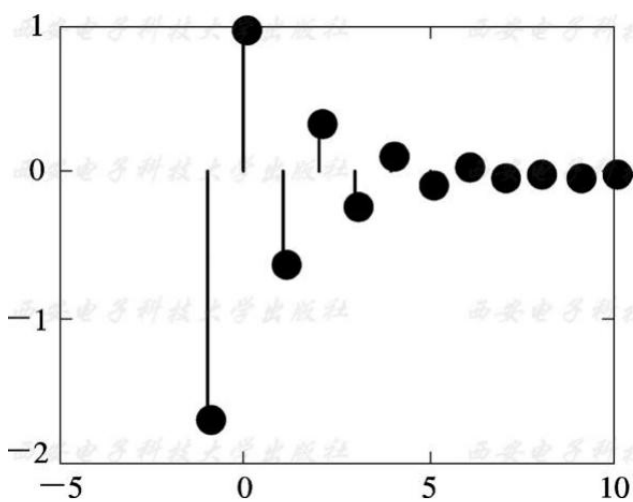
```
clf;
c=-(1/12)+(pi/6)*i;
K=2;
n=0:40;
x=K*exp(c*n);
subplot(2,1,1);
stem(n,real(x));
ylabel('幅值 f(k)');
title('实部');
subplot(2,1,2);
stem(n,imag(x));
xlabel('时间(k)'); ylabel('幅值 f(k)');
title('虚部');
```



### 5) 指数序列

MATLAB 程序:

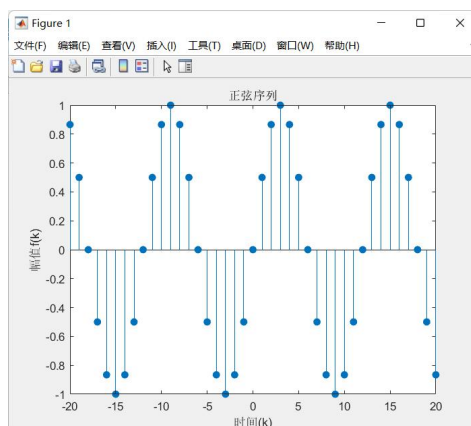
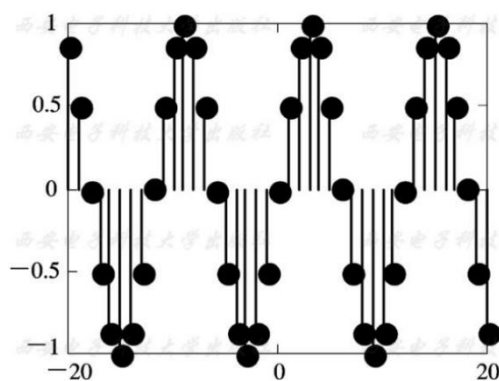
```
clf;
k1=-1; k2=10;
k=k1:k2;
a=-0.6;
A=1;
f=A*a.^k;
stem(k,f,'filled');
title('指数序列');
xlabel('时间(k)'); ylabel('幅值 f(k)');
```



### 6) 正弦序列

MATLAB 程序:

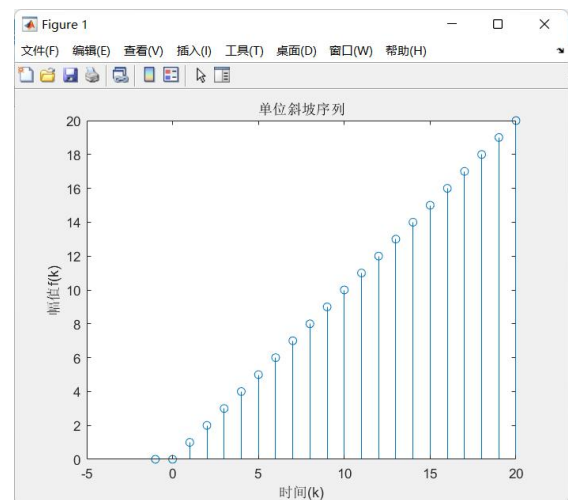
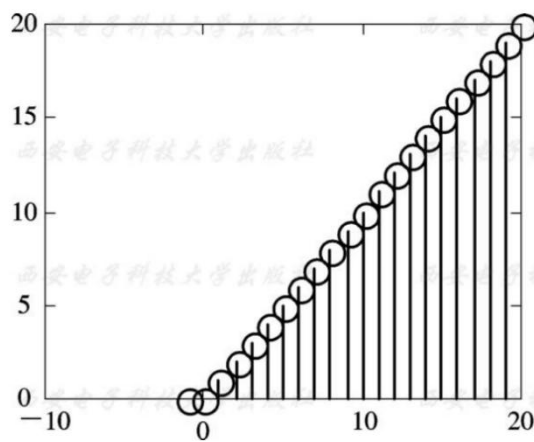
```
clf;
k1=-20; k2=20;
k=k1:k2;
f=sin(k*pi/6);
stem(k,f,'filled');
title('正弦序列');
xlabel('时间(k)'); ylabel('幅值 f(k)');
```



## 7) 单位斜坡序列

MATLAB 程序:

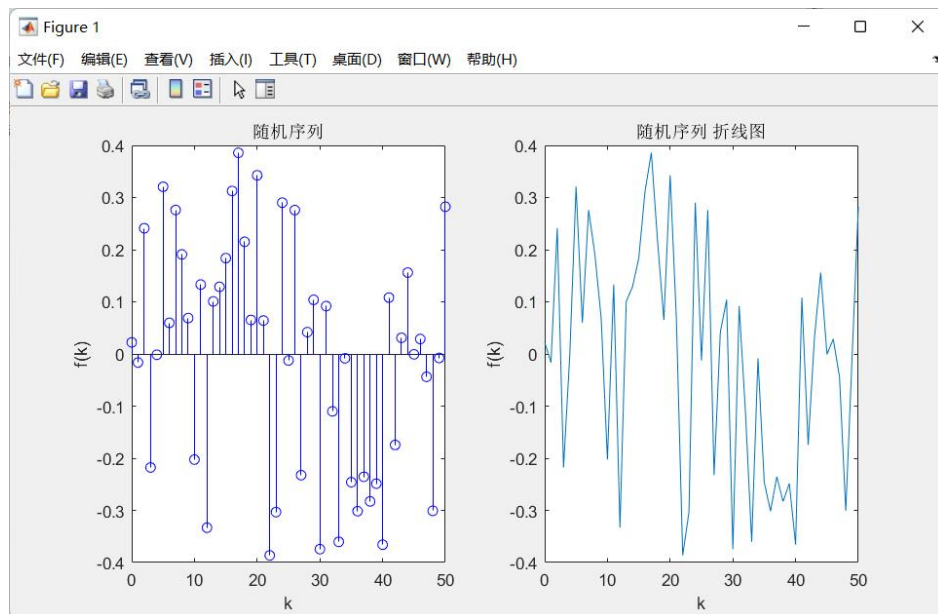
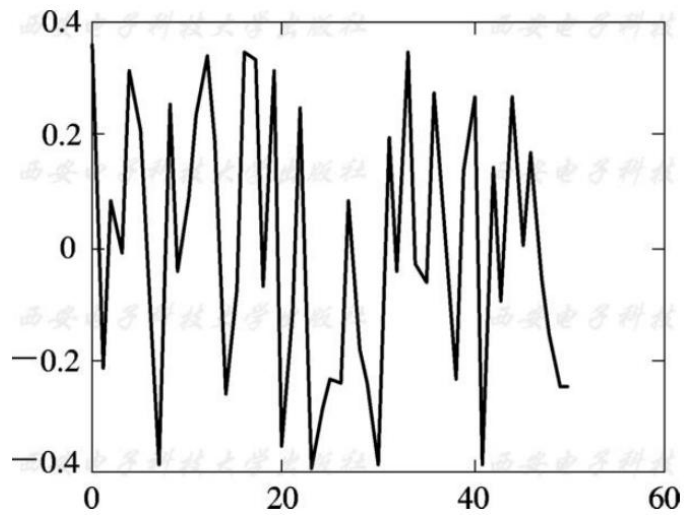
```
clf;
k1=-1; k2=20;
k0=0;
n=[k1:k2];
if k0>=k2
    x=zeros(1, length(n));
elseif (k0<k2)&(k0>k1)
    x=[zeros(1, k0-k1), [0:k2-k0]];
else
    x=(k1-k0)+[0:k2-k1];
end
stem(n,x);
title('单位斜坡序列');
xlabel('时间(k)'); ylabel('幅值 f(k)');
```



## 8) 随机序列（可用于构造随机噪声）

MATLAB 程序:

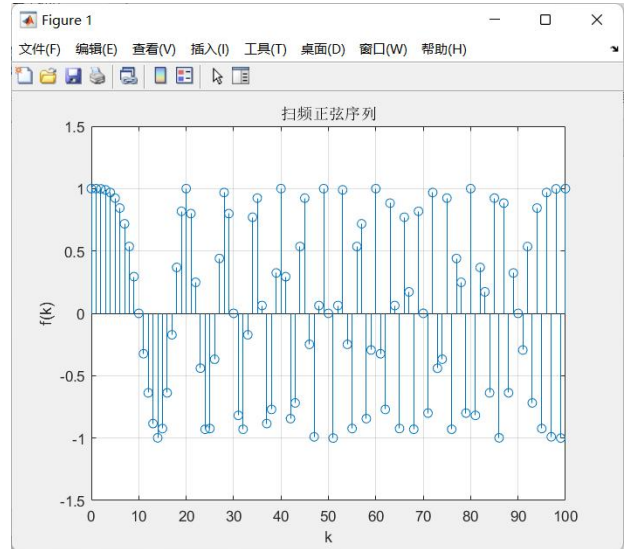
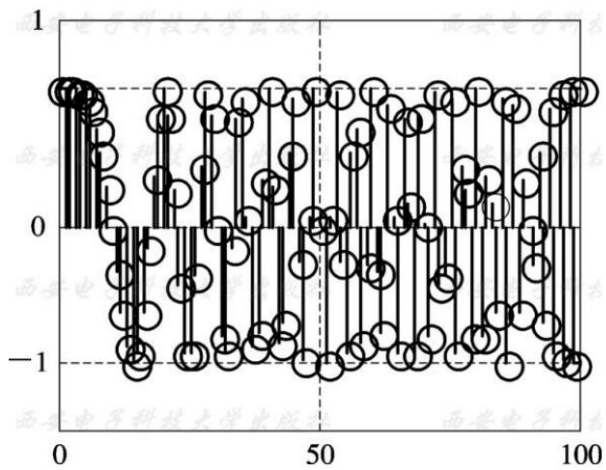
```
clf;
R=51;
d=0.8*(rand(R, 1) - 0.5);
m=0: R-1;
stem(m, d', 'b');
title('随机序列');
xlabel('k'); ylabel('f(k)');
```



9) 扫频正弦序列（振动幅度按照正弦波的规律随时间周期变化）

MATLAB 程序：

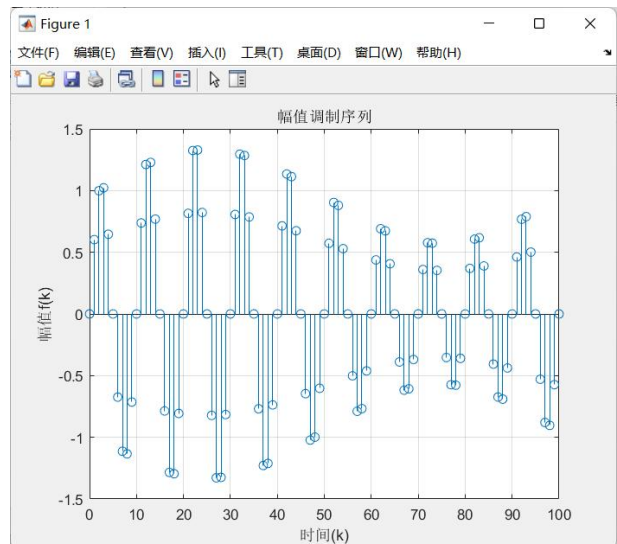
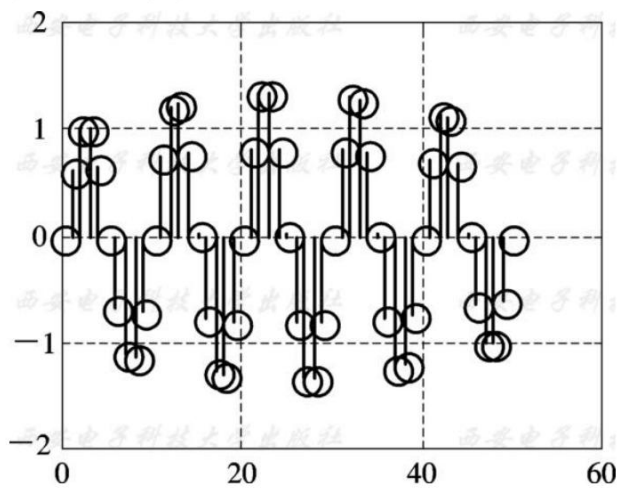
```
n=0: 100;
a=pi/2/100;
b=0; arg=a*n.*n + b*n;
x=cos(arg);
clf; stem(n, x);
axis( [0, 100, -1.5, 1.5] );
grid; axis; title(' 扫频正弦序列' );
xlabel(' k ' ); ylabel(' f(k) ' );
```



#### 10) 幅值调制序列

MATLAB 程序:

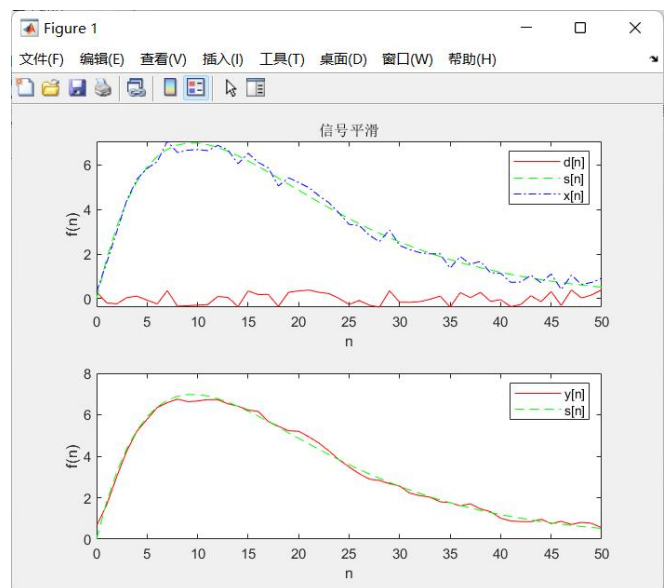
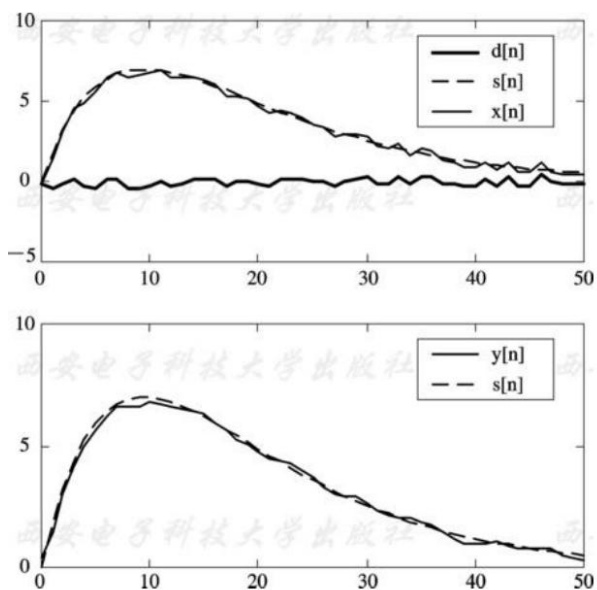
```
clf;
n=0:100;
m=0.4; fH=0.1; fL=0.01;
xH=sin(2*pi*fH*n);
xL=sin(2*pi*fL*n);
y=(1+m*xL).*xH;
stem(n,y); grid;
title('幅值调制序列');
xlabel('时间(k)'); ylabel('幅值 f(k)');
```



## 11) 信号平滑（消噪）

MATLAB 程序：

```
clf;
R=51;
d=0.8*(rand(1,R)-0.5); %随机噪声
m=0:R-1;
s=2*m.*(0.9.^m); %正常信号
x=s+d; %加噪声后的信号
subplot(2,1,1);
plot(m,d,'r-',m,s,'g--',m,x,'b-.');
title('信号平滑')
xlabel('n'); ylabel('f(n)');
legend('d[n]','s[n]','x[n]');
x1=[0 0 x]; x2=[0 x 0]; x3=[x 0 0];
y=(x1+x2+x3)/3;
subplot(2,1,2);
plot(m,y(2:R+1),'r-',m,s,'g--');
legend('y[n]','s[n]');
xlabel('n'); ylabel('f(n)');
```

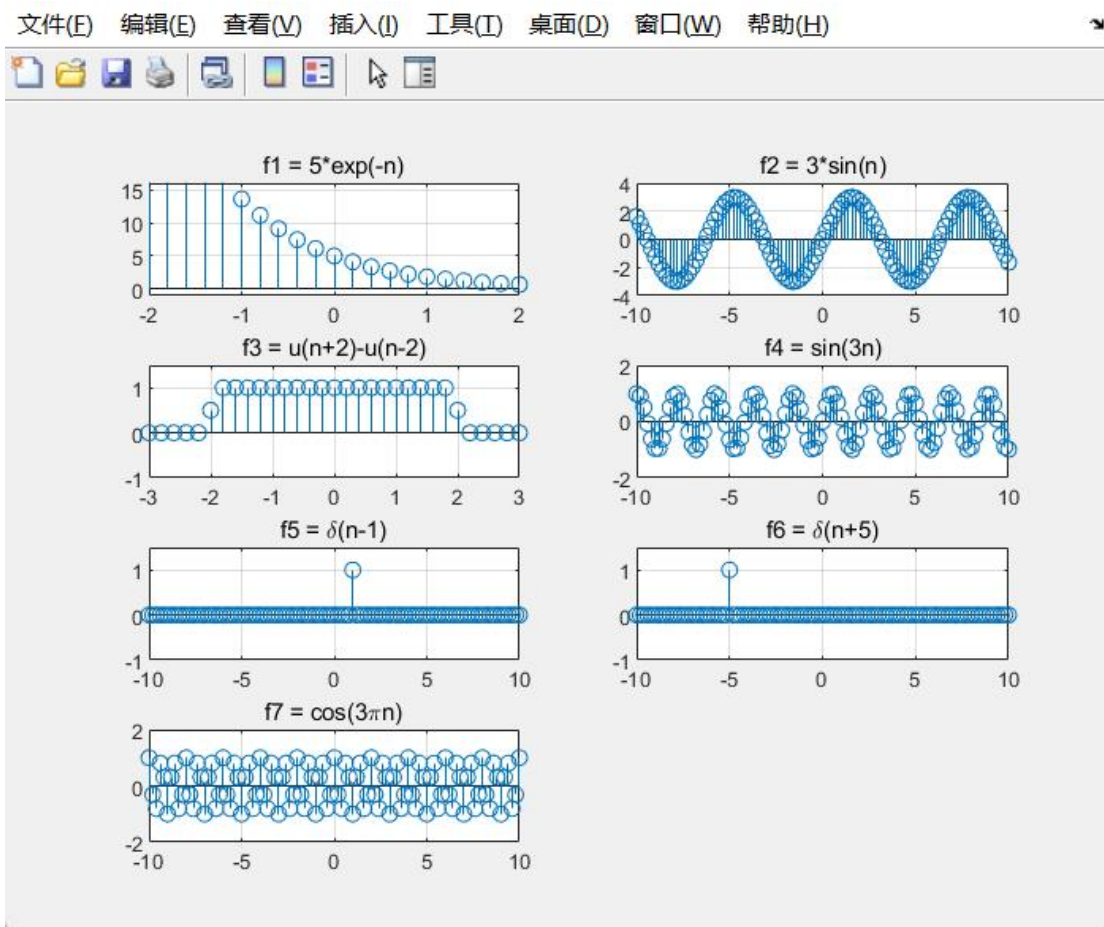




## 2.程序设计实验

1) 编制程序，生成如下信号：

$5 \exp(-n)$ ,  $3 \sin(n)$ ,  $u(n+2)-u(n-2)$ ,  $\sin(3n)$ ,  $\delta(n-1)$ ,  $\delta(n+5)$ ,  $\cos(3\pi n)$ 等。



代码：

```
n = -10:0.2:10;

f1 = 5*exp(-n);
f2 = 3*sin(n);
f3 = heaviside(n+2) - heaviside(n-2);
f4 = sin(3*n);
f5 = (n==1);
f6 = (n==-5);
f7 = cos(3*pi*n);

subplot(4,2,1); stem(n, f1); title('f1 = 5*exp(-n)'); grid on;
axis([-2,2,-1,16]);

subplot(4,2,2); stem(n, f2); title('f2 = 3*sin(n)'); grid on;
axis([-10,10,-4,4]);
```

```
subplot(4,2,3); stem(n, f3); title('f3 = u(n+2)-u(n-2)'); grid on;
axis([-3,3,-1,1.5]);
```

```
subplot(4,2,4); stem(n, f4); title('f4 = sin(3n)'); grid on;
axis([-10,10,-2,2]);
```

```
subplot(4,2,5); stem(n, f5); title('f5 = \delta(n-1)'); grid on;
axis([-10,10,-1,1.5]);
```

```
subplot(4,2,6); stem(n, f6); title('f6 = \delta(n+5)'); grid on;
axis([-10,10,-1,1.5]);
```

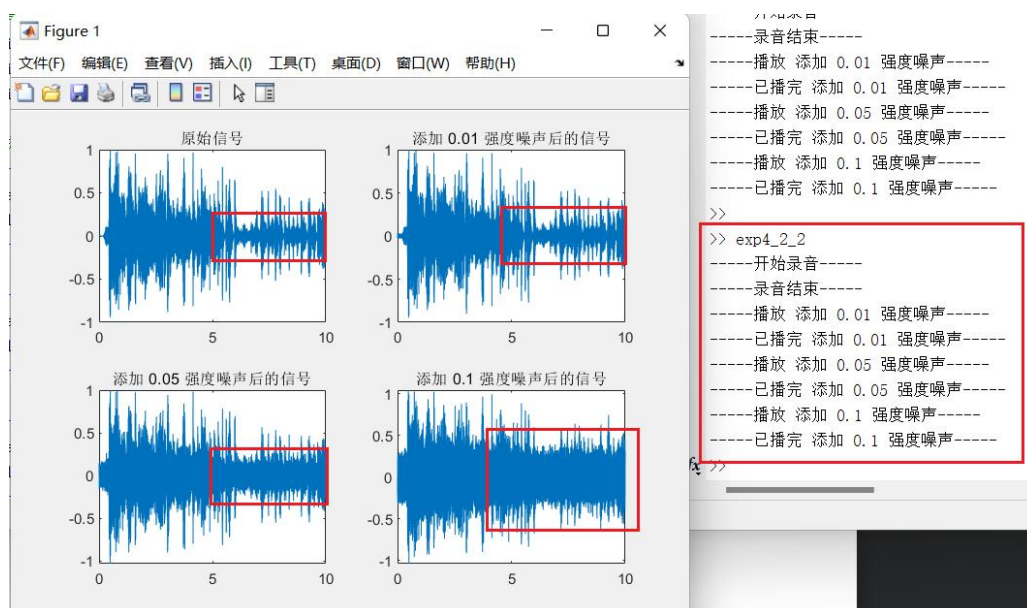
```
subplot(4,2,7); stem(n, f7); title('f7 = cos(3\pin)'); grid on;
axis([-10,10,-2,2]);
```

2) 查询资料，MATLAB 实现：录制一段 10 秒的音乐或语音，选择合适的采样频率抽样，转换为离散时间信号，存储在 MATLAB 中，并对其添加强度不同的随机噪声后播放出来，描述一下听见的效果如何。

采样的是周杰伦的《稻香》，一开始测试的是 0.1 倍噪音，0.5 倍噪音，1 倍噪音，在听添加完噪音的音频时噪音太大完全抵过了原音乐的强度。后来改成了 0.01 倍、0.05 倍、0.1 倍噪音强度。

一开始添加的噪音频率较低，在图中红框处标的位置可以较好的看出噪音在原信号的改变。

0.01 倍时，音乐可以隐隐听到一点噪音的干扰声，但不明显，还可以明显听出音乐。0.05 倍时噪音的声音就明显了，在后半段原音乐频率较低的一段原音乐有明显的噪音，而且一部分原音乐细节也听不到了。到 0.1 倍时，噪音就明显的贯穿整个时间段了。



### 代码:

```
% 设置采样频率为 16kHz
fs = 16000;

% 录制 10 秒的声音
recObj = audiorecorder(fs, 16, 1);
disp('----开始录音----');
recordblocking(recObj, 10);
disp('-----录音结束-----');
audioSignal = getaudiodata(recObj);

% 将声音转换为离散时间信号
n = length(audioSignal);
t = (0:n-1)/fs;

% 将信号添加随机噪声
audioSignalNoisy1 = audioSignal + 0.01*randn(size(audioSignal));
audioSignalNoisy2 = audioSignal + 0.05*randn(size(audioSignal));
audioSignalNoisy3 = audioSignal + 0.1*randn(size(audioSignal));

% 播放添加噪声的声音
disp('----播放 添加 0.01 强度噪声----');
sound(audioSignalNoisy1, fs);
pause(10);
disp('-----已播完 添加 0.01 强度噪声-----');

disp('----播放 添加 0.05 强度噪声----');
sound(audioSignalNoisy2, fs);
pause(10);
disp('-----已播完 添加 0.05 强度噪声-----');

disp('----播放 添加 0.1 强度噪声----');
sound(audioSignalNoisy3, fs);
pause(10);
disp('-----已播完 添加 0.1 强度噪声-----');

% 绘制信号和添加噪声后的信号的时域波形图
subplot(2,2,1);
plot(t, audioSignal);
title('原始信号');
subplot(2,2,2);
plot(t, audioSignalNoisy1);
title('添加 0.01 强度噪声后的信号');
```

```
subplot(2,2,3);  
plot(t, audioSignalNoisy2);  
title('添加 0.05 强度噪声后的信号');  
subplot(2,2,4);  
plot(t, audioSignalNoisy3);  
title('添加 0.1 强度噪声后的信号');
```

## 【思考题】

### (1) 单位冲激函数与单位阶跃函数有什么区别？

单位冲激函数是一种理论函数，表示在  $t=0$  时出现无限大的瞬时脉冲信号。在  $t=0$  处取无限大，在其他时刻均为零。

单位阶跃函数是一种分段函数，表示在  $t=0$  时发生跃变。当  $t<0$  时取值为 0，当  $t>0$  时取值为 1。

### (2) 如何在 MATLAB 中实现往余弦信号中添加随机噪声？

首先可以使用 `COS` 函数生成一个余弦信号。然后可以使用 `randn` 函数生成一个大小与余弦信号相同的随机噪声信号。最后将余弦信号和随机噪声信号相加即可得到带噪声的余弦信号。

### (3) MATLAB 中离散信号与连续信号的表示有什么区别？

离散信号是在一系列离散时间点上取值的信号，通常用向量表示。

连续信号是在连续时间上取值的信号，通常用函数表示。

### (4) MATLAB 中 `conv` 函数具有什么功能？

计算两个向量的卷积，即输入两个长度为  $N$  和  $M$  的向量，输出长度为  $N+M-1$  的卷积结果向量。

可以用于信号处理、滤波、卷积神经网络等应用中。

## 【实验总结】

本次实验主要是通过 MATLAB 对离散信号进行时域分析，掌握离散时间信号的表示方法，熟悉不同类型的离散信号以及改变相关参数对信号的影响。在实验中，通过 matlab 画出了常用的离散信号，并观察信号的波形。

实验过程中，掌握了离散信号的重要概念，包括采样定理、离散傅里叶变换等，了解了离散信号的性质，如周期性、奇偶性、能量和功率等。我们还学习了如何在 MATLAB 中生成离散信号，并使用 `plot` 函数绘制信号波形图，以及使用 `stem` 函数绘制离散信号的图像。

这次实验让我深入了解了离散信号的特点和表示方法，并掌握了在 MATLAB 中进行离散信号时域分析的基本技能，为今后的信号系统的学习打下了实践的基础。