

# 实验4 离散时间信号的时域分析

## (第7-8周内自主完成)

### 一、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。

### 二、实验原理

#### 1. 常用离散信号的 MATLAB 表示

(1) 单位阶跃序列 $u(n)$

```
function f=Heaviside(n);  
f=(n>=0);  
>> n=-3:5;  
>> x=heaviside(n);  
>> stem(n,x,'fill');grid on  
>> axis([-3 5 -0.1 1.1]);
```

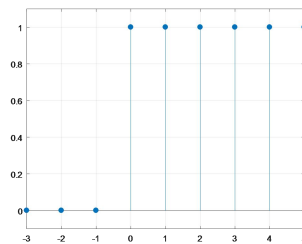


图4-1 单位阶跃序列

(2) 单位序列 $\delta(n)$

```
function f=delta(n);  
f=(n==0);  
>> n=-3:3;  
>> x=delta(n);  
>> stem(n,x,'fill');xlabel('n');grid on  
>> axis([-3 3 -0.1 1.1]);
```

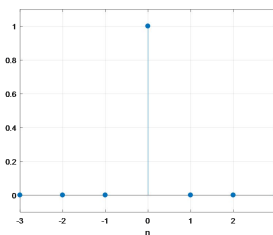


图4-2 单位序列

(3) 矩形序列 $R_N(n)$

```
>> n=-2:8;
```

```
>> x=heaviside(n)-heaviside(n-4);
>> stem(n,x,'fill');xlabel('n');grid on
>> axis([-2 8 -0.1 1.1]);
```

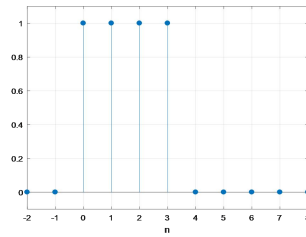


图4-3 矩形序列

(4) 单边指数序列  $f(n) = a^n u(n)$

```
>> n=0:10;
>> a1=1.2;a2=-1.2;a3=0.8;a4=-0.8;
>> f1=a1.^n;f2=a2.^n;f3=a3.^n;f4=a4.^n;
>> subplot(221);
>> stem(n,f1,'fill');xlabel('n');grid on
>> subplot(222);
>> stem(n,f2,'fill');xlabel('n');grid on
>> subplot(223);
>> stem(n,f3,'fill');xlabel('n');grid on
>> subplot(224);
>> stem(n,f4,'fill');xlabel('n');grid on
```

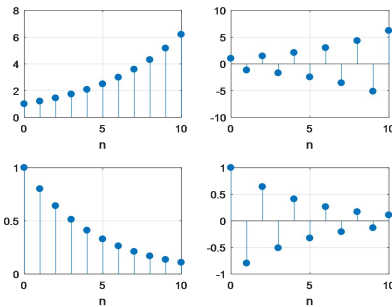


图4-4 单边指数序列

(5) 正弦序列  $f(n) = \sin(n\omega_0 + \varphi)$

```
>> n=0:39;
>> f=sin(pi/5*n);
>> stem(n,f,'fill');xlabel('n');grid on
>> axis([0 40 -1.2 1.2]);
```

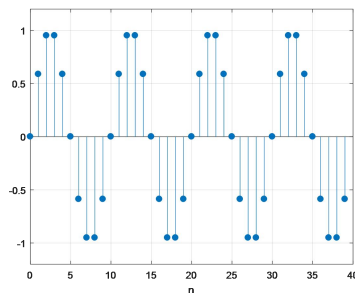


图4-5 正弦序列

#### (6) 复指数序列

```
>> n=0:30;A=2;a=-0.1;b=pi/5;
>> f=A*exp((a+j*b)*n);
>> subplot(221);
>> stem(n,real(f),'fill');xlabel('n');grid on
>> axis([0 30 -2 2]);
>> subplot(222);
>> stem(n,imag(f),'fill');xlabel('n');grid on
>> axis([0 30 -2 2]);
>> subplot(223);
>> stem(n,abs(f),'fill');xlabel('n');grid on
>> axis([0 30 0 2]);
>> subplot(224);
>> stem(n,angle(f),'fill');xlabel('n');grid on
>> axis([0 30 -4 4]);
```

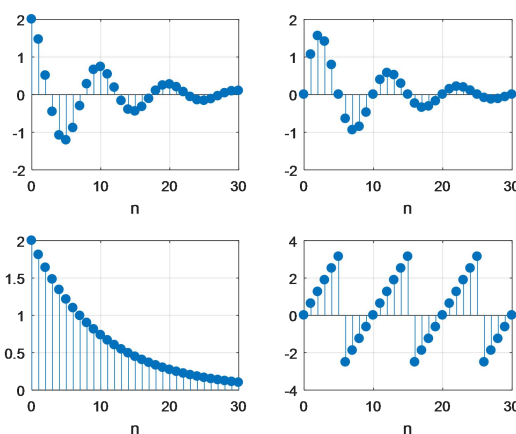


图4-6 复指数序列

将复指数序列的实部和虚部波形分开讨论,可得如下结论:

- 当 $a > 0$ 时, 复指数序列的实部和虚部分别是按照指数规律增长的正弦振荡序列;
- 当 $a < 0$ 时, 复指数序列的实部和虚部分别是按照指数规律衰减的正弦振荡序列;
- 当 $a = 0$ 时, 复指数序列即为虚指数序列, 其实部和虚部分别是等幅的正弦振荡序列。

## 2. 离散信号的基本算法

### (1) 序列的相加与相乘

MATLAB源程序:

```
>> n=-3:20;
>> x1=cos(2*pi*n/10);
>> subplot(221);
>> stem(n,x1,'fill');title('x(1)');
>> axis([-4,20,-2,2]);
>> x2=cos(2*pi*n/10);
>> subplot(222);
```

```

>> stem(n,x2,'fill');title('x(2)');
>> axis([-4,20,-2,2]);
>> y=x1+x2;
>> subplot(223);
>> stem(n,y,'fill');title('信号相加');
>> axis([-4,20,-2,2]);
>> y=x1.*x2;
>> subplot(224);
>> stem(n,y,'fill');title('信号相乘');
>> axis([-4,20,-2,2]);

```

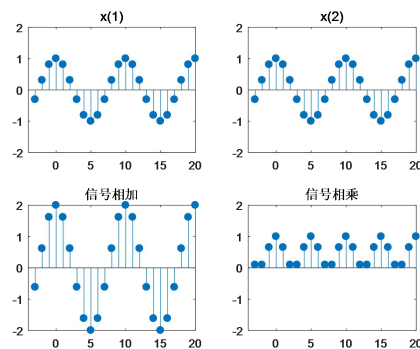


图4-7 序列及序列相加和相乘

## (2) 序列的平移、反转和尺度变换

```

>> n=-3:10;k0=3;k1=-3;
>> x=cos(2*pi*n/10);
>> x1=cos(2*pi*(n-k0)/10);
>> x2=cos(2*pi*(n-k1)/10);
>> subplot(311);stem(n,x,'fill');
>> ylabel('x(n)');
>> subplot(312);stem(n,x1,'fill');
>> ylabel('x(n-2)');
>> subplot(313);stem(n,x2,'fill');
>> ylabel('x(n+2)');

```

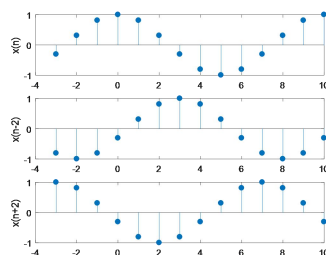


图4-8 序列的平移

序列的平移、反转在MATLAB中的实现同连续信号，可以用变量替换来实现，[同时序列的反转还可以用MATLAB中的函数fliplr\(\)](#)。

特别值得一提的是，[序列的尺度变量](#)是由序列 $f(n)$ 得到 $f(an)$ ，对应着抽取和差值。当 $|a|>1$ ，每隔 $(|a|-1)$ 个序列值抽取一个值；当 $|a|<1$ ，每两个序列值之间插入 $(1/|a|-1)$ 个零值。

### %插零值

```
>> n=0:50;
>> x=sin(2*pi*0.12*n);
>> y=zeros(1,3*length(x)); %插零值
>> y([1:3:length(y)])=x;
>> subplot(211);
>> stem(n,x,'.');
>> subplot(212);
>> m=0:3*length(x)-1;
>> stem(m,y,'.');
```

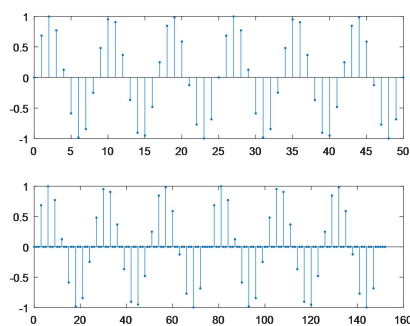


图4-9 序列差零值的波形

### %插值

```
>> L=input('inout the interp number L,L=');
inout the interp number L,L=3
>> n=0:49;
>> x=sin(2*pi*0.12*n);
>> y=interp(x,L); %线性插值
>> subplot(211);
>> stem(n,x,'.');
>> subplot(212);
>> m=0:50*L-1;
>> stem(m,y(1:50*L),'.');
```

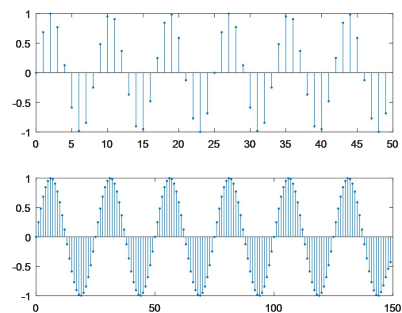


图4-10 序列线性插值的波形

### %抽取

```

>> n=0:49;
>> m=0:3*50-1;
>> x=sin(2*pi*0.042*n);
>> y=x([1:3:length(x)]); %抽取
>> subplot(211);
>> stem(n,x,'.');
>> subplot(212);
>> stem(y,'.');
```

或者

```

>> n=0:49;
>> x=sin(2*pi*0.042*n);
>> M=input('input the decimate number M,M=');
input the decimate number M,M=3
>> y=decimate(x,M); %抽取
>> figure(2);
>> subplot(211);
>> stem(n,x,'.');
```

这两种方法得到的结果一致，如图4-11所示。

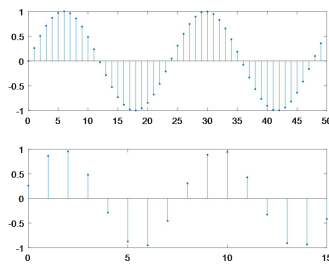


图4-11 序列抽取的波形

## 四、 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)' );
```

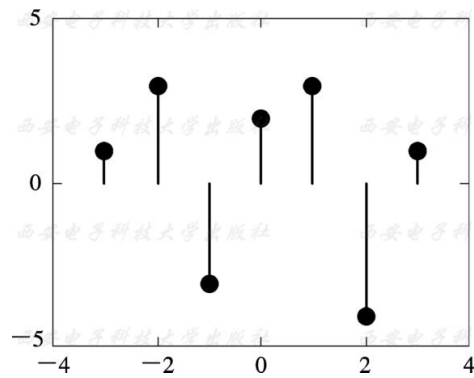


图4-12 数值法生成的离散时间信号

用数值法生成的离散时间信号如图4-12所示。

## 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)' );
```

用数值法生成的单位脉冲序列如图4-13所示。

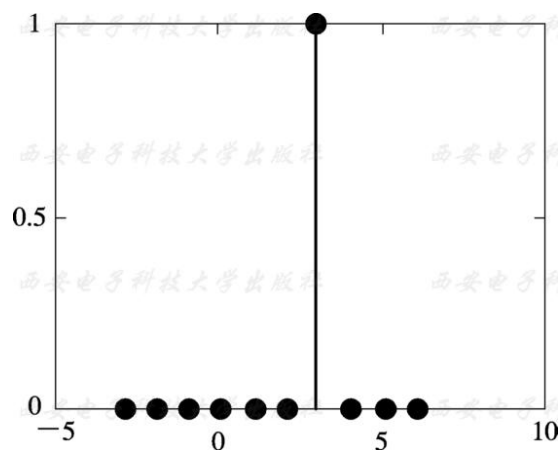


图 4-13 数值法生成的单位脉冲序列

## 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)' );
```

用数值法生成的单位阶跃序列如图4-14所示。

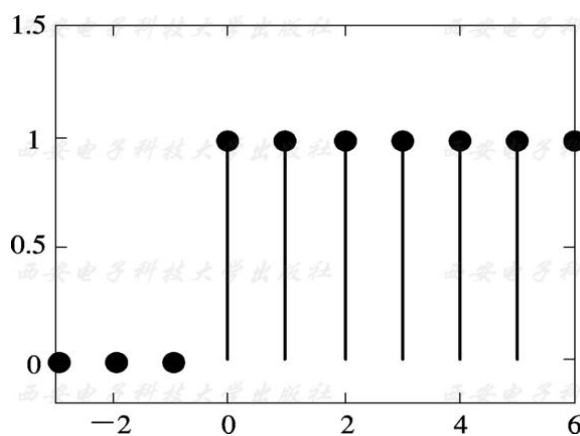


图 4-14 数值法生成的单位阶跃序列

#### 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' );
```

用数值法生成的复指数序列如图4-15所示。

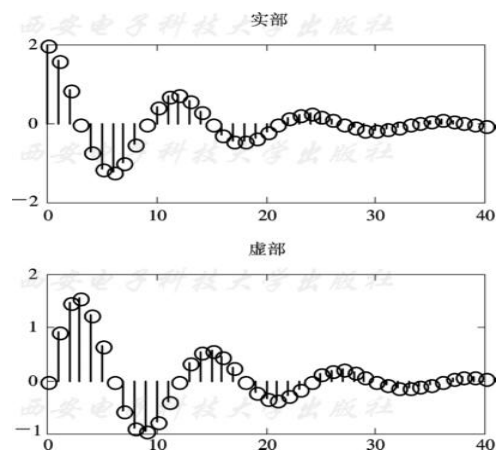


图4-15 数值法生成的复指数序列



### 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)' );
```

用数值法生成的指数序列如图4-16所示。

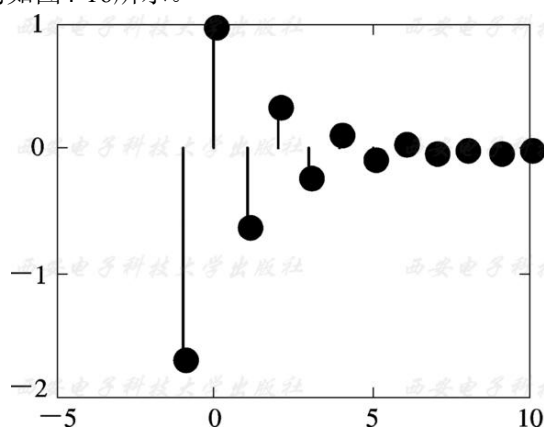


图 4-16 数值法生成的指数序列

### 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)' );
```

用数值法生成的正弦序列如图4-17所示。

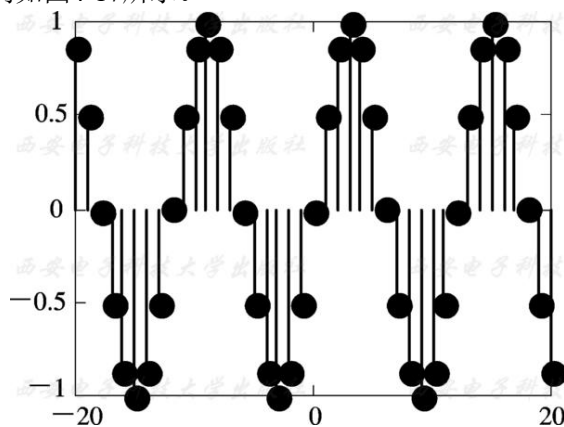


图 4-17 数值法生成的正弦序列

### 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)' );
```

用数值法生成的单位斜坡序列如图2.7所示。

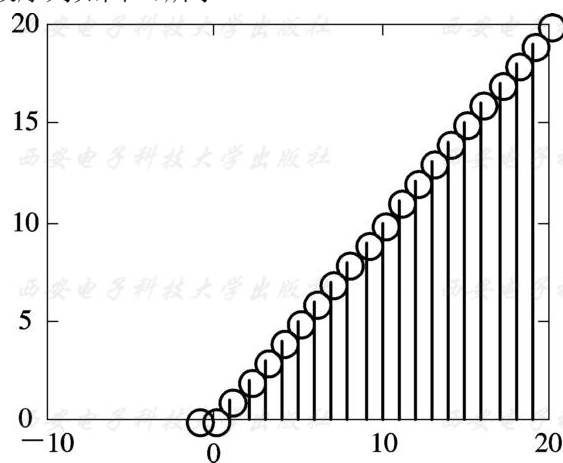


图 4-18 数值法生成的单位斜坡序列

### 扩展序列

### 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)' );
```

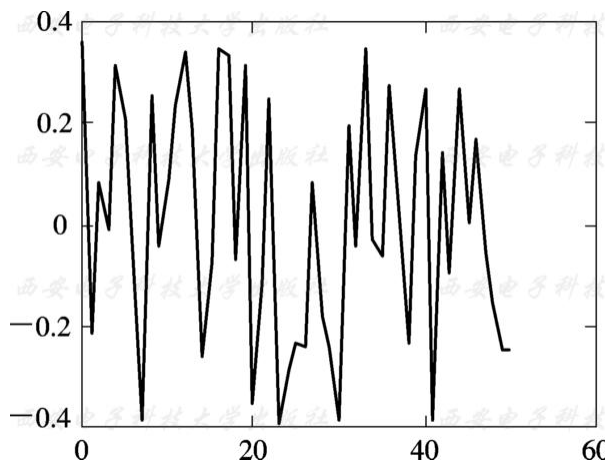


图 4-19 数值法生成的随机序列

用数值法生成的随机序列如图4-19所示。

#### 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)' );
```

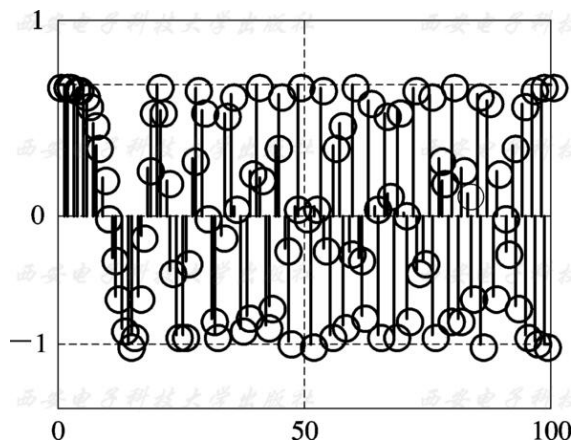


图4-20 数值法生成的扫频正弦序列

用数值法生成的扫频正弦序列如图4-20所示。

#### 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) ');
```

用数值法生成的幅值调制序列如图2.10所示。

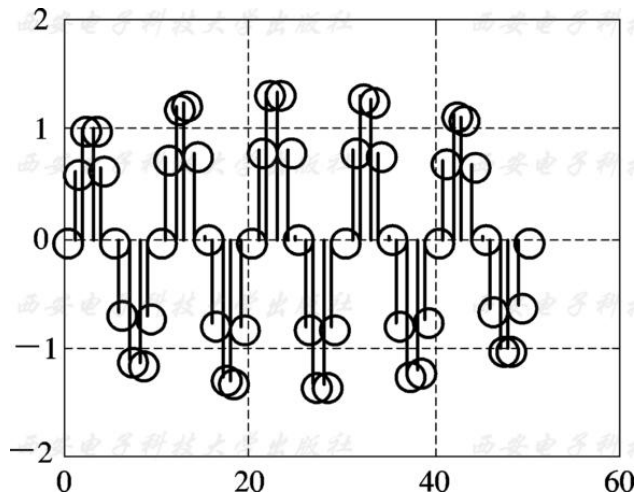


图 4-21 数值法生成的幅值调制序列

#### 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) ');
```

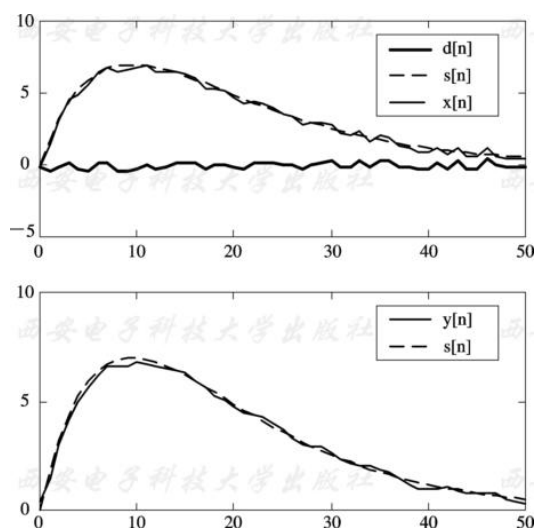


图 4-22 信号平滑

信号平滑结果如图4-22所示。

## 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。

2) 请查询资料，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？

## 五、实验要求

- (1) 在计算机中输入程序，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) 单位冲激函数与单位阶跃函数有什么区别？
- (2) 如何在 MATLAB 中实现往余弦信号中添加随机噪声？
- (3) MATLAB 中离散信号与连续信号的表示有什么区别？
- (4) MATLAB 中 `conv` 函数具有什么功能？

