

大连理工大学实验预习报告

学院（系）：信息与通信工程学院 专业：电子信息工程 班级：电信 1702

姓 名：曹可 学号：201783057 组：

实验时间：20191112 实验室：C221 实验台：

指导教师：郭成安

实验 III：通信信号统计特性分析、仿真实现及应用

一、实验目的和要求

掌握 Hilbert 变换的时域/频域实现方法；掌握窄带随机过程样本生成方法；掌握窄带随机过程及其低频分量的功率估计方法；掌握高斯窄带随机过程包络和相位的分布估计方法。

二、实验原理和内容

（一）实验原理

1. Hilbert 变换的实现方法

1. 根据信号的卷积性质，进行 Hilbert 变换。Hilbert 变换等效系统单位响应为

$$h(n) = \begin{cases} 0 & n = 2k \\ \frac{2}{n\pi} & n = 2k + 1 \end{cases}$$

2. 根据信号的卷积定理，在频域进行 Hilbert 变换。Hilbert 变换等效系统函数为

$$H(e^{j\omega}) = \begin{cases} -j & 0 < \omega < \pi \\ j & -\pi < \omega < 0 \end{cases}$$

即 Hilbert 变换可以看作是一个冲激响应为 $h(n)$ 的线性移不变网络。工程上实现时，需要将 $h(n)$ 截短，右移(因果化)后才行

2. 窄带随机过程样本生成方法

3. 随机过程及其低频分量的功率估计方法

4. 高斯窄带随机过程包络和相位的分布估计方法

（二）实验内容

1. Hilbert 变换的实现方法

生成 20000 点正弦波信号数据，与给定的冲激响应函数卷积或通过频域方法，得到 Hilbert 变换信号，并验证产生数据的正确性，利用 MATLAB 函数 hilbert 重新计算变换值。

Hilbert 变换等效系统单位响应为 $h(n) = \begin{cases} 0 & n = 2k \\ \frac{2}{n\pi} & n = 2k+1 \end{cases}$ ，其等效系统函数为

$$H(e^{j\omega}) = \begin{cases} -j & 0 < \omega < \pi \\ j & -\pi < \omega < 0 \end{cases}$$

2. 随机过程及其低频分量的功率估计方法

生成 10000 点中心频率 10KHz、带宽 500Hz 的窄带随机信号 $X(t)$ ，估计此窄带随机过程及其低频过程 $A_c(t)$ 、 $A_s(t)$ 的功率谱密度。

3. 高斯窄带随机过程包络和相位的分布估计方法

生成 10000 点中心频率 10KHz、带宽 500Hz、方差为 1 的窄带随机信号 $X(t)$ ，计算此窄带随机过程包络 $A(t)$ 和相位 $\Phi(t)$ 以及包络平方 $A^2(t)$ ，画出它们的分布直方图，并与理论结论做比较。

三、实验步骤

1. 生成 20000 点正弦波信号数据，与给定的冲激响应函数卷积或通过频域方法，得到 Hilbert 变换信号，并验证产生数据的正确性，利用 MATLAB 函数 hilbert 重新计算变换值。

2. 生成 10000 点中心频率 10KHz、带宽 500Hz 的窄带随机信号，估计此窄带随机过程及其低频过程、的功率谱密度。

3. 生成 10000 点中心频率 10KHz、带宽 500Hz、方差为 1 的窄带随机信号 $X(t)$ ，计算此窄带随机过程包络 $A(t)$ 和相位 $\Phi(t)$ 以及包络平方 $A^2(t)$ ，画出它们的分布直方图，并与理论结论做比较。

大连理工大学实验报告

学院（系）：信息与通信工程学院 专业：电子信息工程 班级：电信 1702

姓 名：曹可 学号：201783057 组：

实验时间：20191112 实验室：C221 实验台：

指导教师：郭成安

实验 III：通信信号统计特性分析、仿真实现及应用

一、实验目的和要求

掌握 Hilbert 变换的时域/频域实现方法；掌握窄带随机过程样本生成方法；掌握窄带随机过程及其低频分量的功率估计方法；掌握高斯窄带随机过程包络和相位的分布估计方法。

二、实验原理和内容

（一）实验原理

1. Hilbert 变换的实现方法

1. 根据信号的卷积性质，进行 Hilbert 变换。Hilbert 变换等效系统单位响应为

$$h(n) = \begin{cases} 0 & n = 2k \\ \frac{2}{n\pi} & n = 2k + 1 \end{cases}$$

2. 根据信号的卷积定理，在频域进行 Hilbert 变换。Hilbert 变换等效系统函数为

$$H(e^{j\omega}) = \begin{cases} -j & 0 < \omega < \pi \\ j & -\pi < \omega < 0 \end{cases}$$

即 Hilbert 变换可以看作是一个冲激响应为 $h(n)$ 的线性移不变网络。工程上实现时，需要将 $h(n)$ 截短，右移(因果化)后才行

2. 窄带随机过程样本生成方法

3. 随机过程及其低频分量的功率估计方法

4. 高斯窄带随机过程包络和相位的分布估计方法

（二）实验内容

2. Hilbert 变换的实现方法

生成 20000 点正弦波信号数据，与给定的冲激响应函数卷积或通过频域方法，得到 Hilbert 变换信号，并验证产生数据的正确性，利用 MATLAB 函数 hilbert 重新计算变换值。

Hilbert 变换等效系统单位响应为
$$h(n) = \begin{cases} 0 & n = 2k \\ \frac{2}{n\pi} & n = 2k+1 \end{cases}$$
，其等效系统函数为

$$H(e^{j\omega}) = \begin{cases} -j & 0 < \omega < \pi \\ j & -\pi < \omega < 0 \end{cases}$$

4. 随机过程及其低频分量的功率估计方法

生成 10000 点中心频率 10KHz、带宽 500Hz 的窄带随机信号 $X(t)$ ，估计此窄带随机过程及其低频过程 $A_c(t)$ 、 $A_s(t)$ 的功率谱密度。

5. 高斯窄带随机过程包络和相位的分布估计方法

生成 10000 点中心频率 10KHz、带宽 500Hz、方差为 1 的窄带随机信号 $X(t)$ ，计算此窄带随机过程包络 $A(t)$ 和相位 $\Phi(t)$ 以及包络平方 $A^2(t)$ ，画出它们的分布直方图，并与理论结论做比较。

三、主要仪器设备

计算机、MatLab

四、实验步骤与操作方法、

（一）实验一

1. 生成正弦信号

```
f=1000;%信号频率 Hz
fs=16000;%采样频率 Hz
N=20000;%采样点数
sinData = sin(2*pi*f/fs*(1:N));
figure(1),plot(sinData(1:500))
title('20000 点正弦信号 1000Hz, 采样率 16000Hz')
```

2. 生成 hilbert 滤波器

```
step = 30;
h = zeros(1,step);
for i = 1 : step
    ind = bitand(abs(i-step/2),1);
    if(ind == 1)
        h(i) = 2/pi/(i-step/2);
    end
end
% show h(n)
figure(2), stem(h)
title('时域冲激响应')
```

3. hilbert 的频域传递函数

```
H = zeros(1,N);
for p = 1 : N
    if(p <= N/2)
        H(p) = -j;
    else
        H(p) = j;
    end
end
% show H(p)
figure, stem(imag(H))
title('频域冲激响应')
```

4. 时域与函数卷积

```
cosData = conv(sinData,h,'same');
figure,plot(cosData(1:500))
title('时域变换卷积运算得到 cos 数据')
```

```

[c,l]=xcorr(sinData,cosData,'coeff');
%figure,stem(l,c)
[m,indx] = max(c);
D = abs(indx - N) + 1
[C,I]=find(sinData==1);
T = I(2)-I(1)
delta = D/T;
disp(['相位差为: ',num2str(delta*2),'pi'])

```

5. 频域乘积数据

```

cosData = real(iffi(fft(sinData).*H));
figure,plot(cosData(1:500))
title('频域变换乘积得到 cos 数据')

```

```

[c,l]=xcorr(sinData,cosData,'coeff');
%figure,stem(l,c);
[m,indx] = max(c);
D = abs(indx - N) ;
[C,I]=find(sinData==1);
T = I(4)-I(3)
delta = D/T;
disp(['相位差为: ',num2str(delta*2),'pi'])

```

```

cosData1 = imag(hilbert(sinData));
a=cosData-cosData;
figure,plot(a)
title('验证')

```

(二) 实验二

1. 时域波形

```
N=10000;f0=10000;deltf=500;fs=22000;M=200; %调用参数设置
N1=N-M;
xt=random('norm',0,1,[1,N1]); %先产生 N-M 个高斯随机数
f1=f0*2/fs; %滤波器设计用归一化中心频率
df1=deltf/fs; %滤波器设计用归一化带宽
ht=fir1(M,[f1-df1 f1+df1]); %ht 为带通滤波器的冲激响应, M 为阶数
X=conv(xt,ht); %输出 N 个窄带随机信号样本的采样
```

2. 信号图形以及自相关和功率谱

```
figure,
plot(X);
title('时域波形')
%自相关函数
[Rx,lag]=xcorr(X,'biased');
figure,plot(lag,Rx);
title('窄带信号自相关函数')
% 功率谱
plot( periodogram( X));
title('窄带信号功率谱密度')
```

3. Act 以及 Ast

```
HX=imag(hilbert(X)); %对随机信号进行希尔伯特变换
[M N]=size(X); %提取窄带随机过程的样本数
t=0:1/fs:((N-1)/fs); %将  $\cos(\omega_0 t)$ 、 $\sin(\omega_0 t)$  进行离散采样的时间量
Ac=X.*cos(2*pi*f0*t)+HX.*sin(2*pi*f0*t);
As=HX.*cos(2*pi*f0*t)-X.*sin(2*pi*f0*t);
figure,
```

```

plot(Ac);
title('Ac(t)时域波形')
figure,
plot(As);
title('Ac(t)时域波形')

```

4.自相关函数以及功率谱密度

```

Rac=xcorr(Ac,'biased');           %低频过程 Ac(t)样本的自相关函数
Ras=xcorr(As,'biased');           %低频过程 As(t)样本的自相关函数
Racw=abs(fft(Rac));                %低频过程 Ac(t)样本的功率谱密度
Rasw=abs(fft(Ras));                %低频过程 As(t)样本的功率谱密度
N1=2*N-1;
f=fs/N1:fs/N1:fs/2;               %频率轴的变换

```

```

Rac=xcorr(Ac,'biased');           %低频过程 Ac(t)样本的自相关函数
Ras=xcorr(As,'biased');           %低频过程 As(t)样本的自相关函数
Racw=abs(fft(Rac));                %低频过程 Ac(t)样本的功率谱密度
Rasw=abs(fft(Ras));                %低频过程 As(t)样本的功率谱密度
Rxw=abs(fft(Rx));                  %窄带随机信号样本的功率谱密度
N1=2*N-1;
f=fs/N1:fs/N1:fs/2;               %频率轴的变换

```

5.绘制图形自相关函数以及功率谱密度

```

figure,subplot(3,1,1);plot(Rx);
title('窄带随机信号样本的自相关函数');
subplot(3,1,2);plot(Rac);
title('低频过程 Ac(t)样本的自相关函数');
subplot(3,1,3);plot(Ras);
title('低频过程 As(t)样本的自相关函数');

```



```

%功率谱密度
figure,subplot(3,1,1);plot(f,10*log10(Rxw(1:(N1-1)/2)+eps));
title('窄带随机信号样本的功率谱密度');
subplot(3,1,2);plot(f,10*log10(Racw(1:(N1-1)/2)+eps));
title('低频过程 Ac(t) 样本的功率谱密度');
subplot(3,1,3);plot(f,10*log10(Rasw(1:(N1-1)/2)+eps));
title('低频过程 As(t) 样本的功率谱密度');

```

(三) 实验三

1.生成时域波形并绘制图形

```

N=20000;f0=10000;deltf=500;fs=22000;M=50; %调用参数设置
N1=N-M;
xt=random('norm',0,1,[1,N1]); %先产生 N-M 个高斯随机数
f1=f0*2/fs; %滤波器设计用归一化中心频率
df1=deltf/fs; %滤波器设计用归一化带宽
ht=fir1(M,[f1-df1 f1+df1]); %ht 为带通滤波器的冲激响应, M 为阶数
x=conv(xt,ht); %输出 N 个窄带随机信号样本的采样
figure,
plot(x);
title('时域波形')

```

2.时域信号的功率谱密度

```

% 功率谱
figure,
plot( periodogram( x));
title('窄带信号功率谱密度')
x=x/sqrt(var(x)); %归一化方差处理窄带高

```

斯过程 $X(t)$

3.求各项的直方图分布

```
HX=imag(hilbert(x));
```

```
[M N]=size(x);
```

```
t=0:1/fs:(N-1)/fs);
```

```
Ac=x.*cos(2*pi*f0*t)+HX.*sin(2*pi*f0*t);
```

```
As=HX.*cos(2*pi*f0*t)-x.*sin(2*pi*f0*t);
```

```
Ph=atan(As./Ac);
```

```
A2=Ac.*Ac+As.*As;
```

```
At=sqrt(A2);
```

```
%包络 A(t)样本值的分布直方图
```

```
LP=-pi/2:0.05:pi/2;
```

```
figure,
```

```
hist(At); %包络 A(t)样本值的分布直方图
```

```
title('包络 A(t)样本波形');
```

```
figure,
```

```
hist(Ph,LP); %相位样本值的分布直方图
```

```
title('相位样本波形');
```

```
figure,
```

```
hist(A2); %包络平方值的分布直方图
```

```
title('包络平方值波形');
```

五、实验数据记录和处理

(一) 实验一

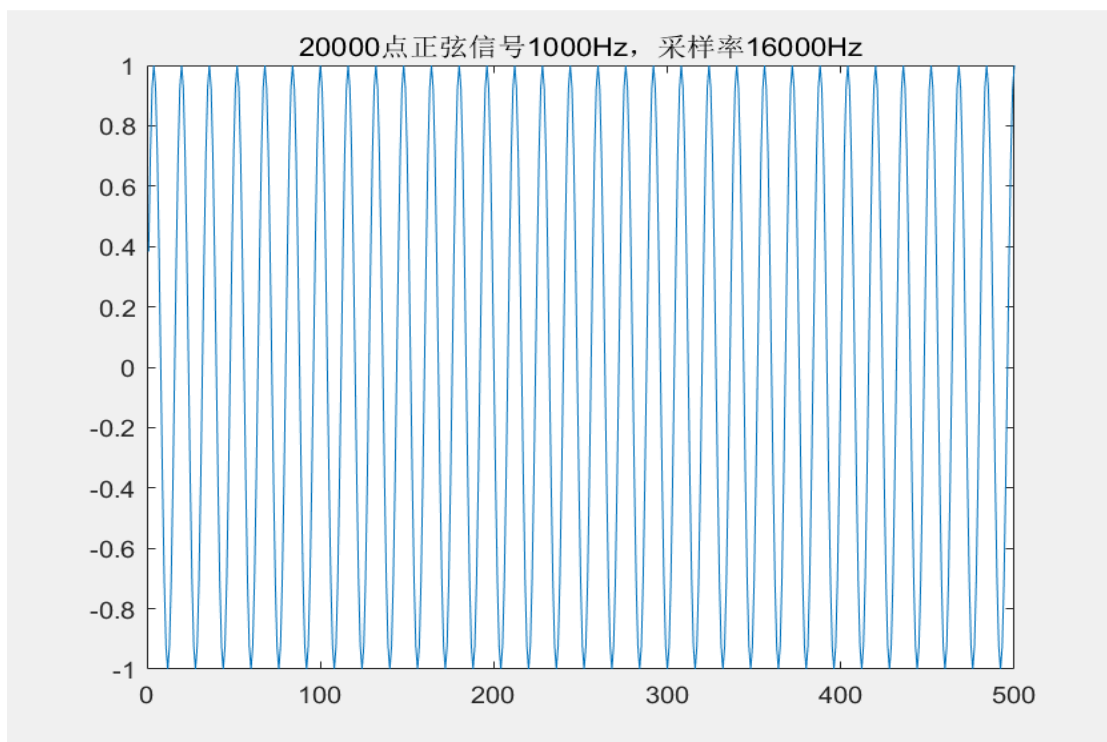


图 1-1 正弦信号前 500 点

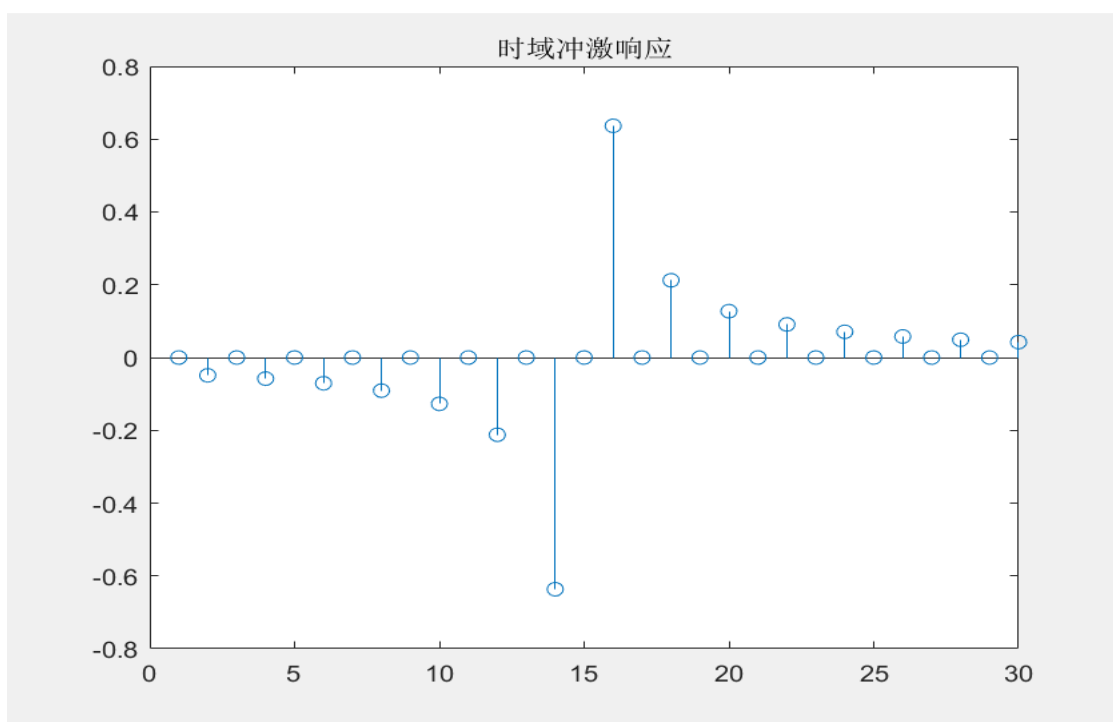


图 1-2 hilbert 的时域冲击

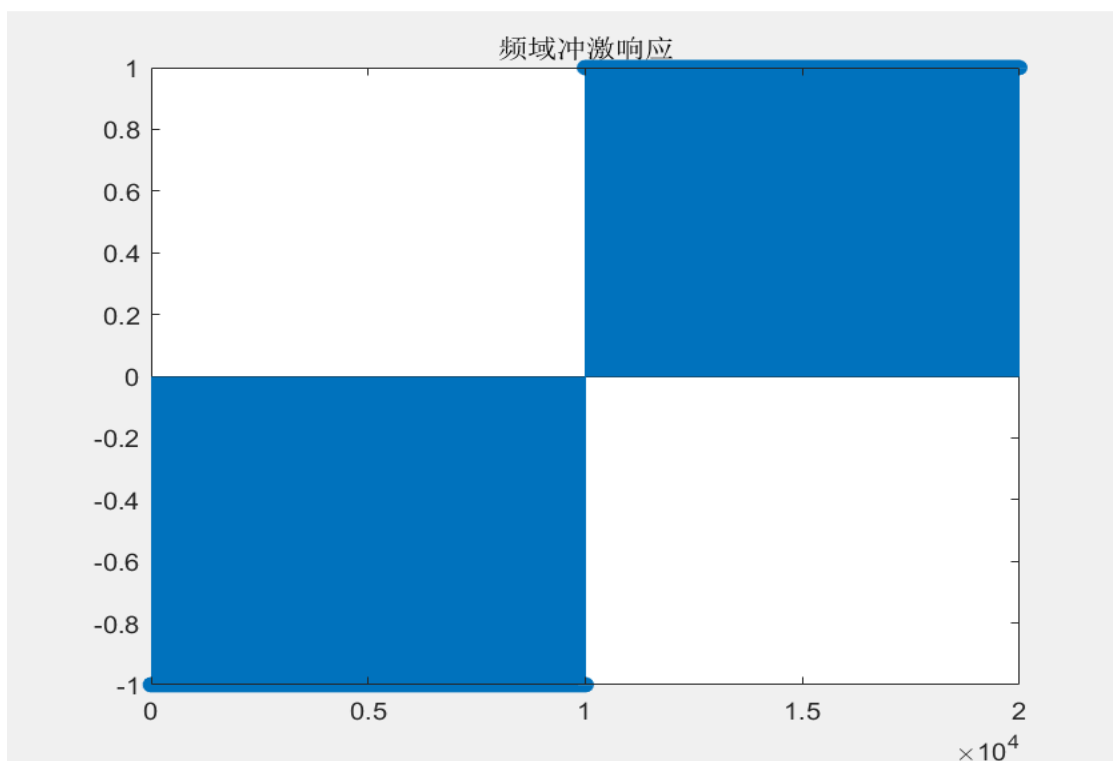


图 1-3 hilbert 的频域图形

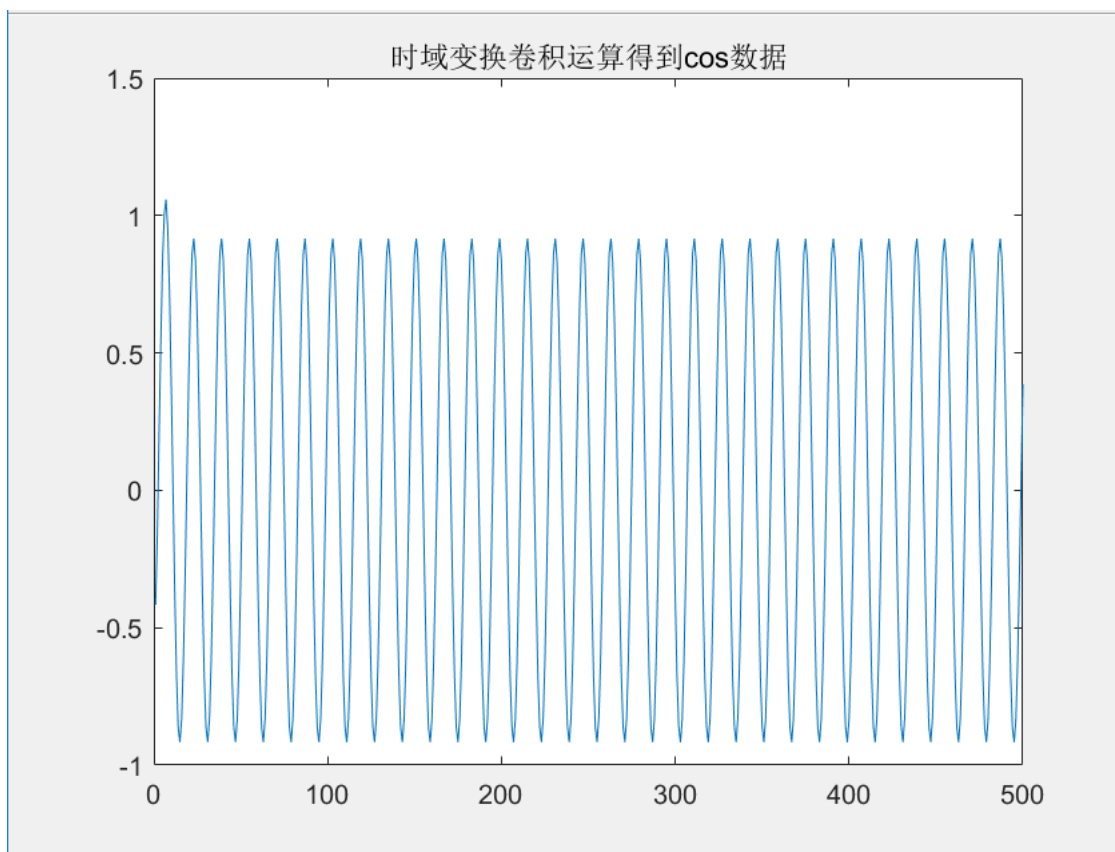


图 1-4 时域卷积运算结果

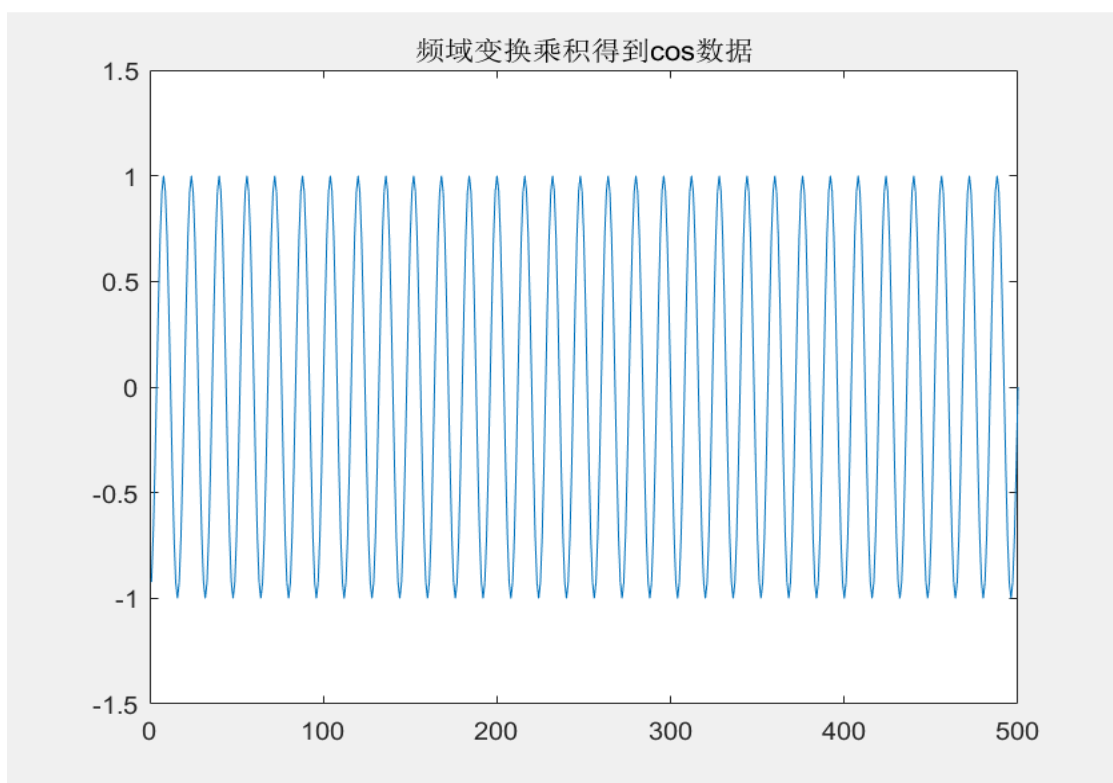


图 1-5 频域乘积运算结果

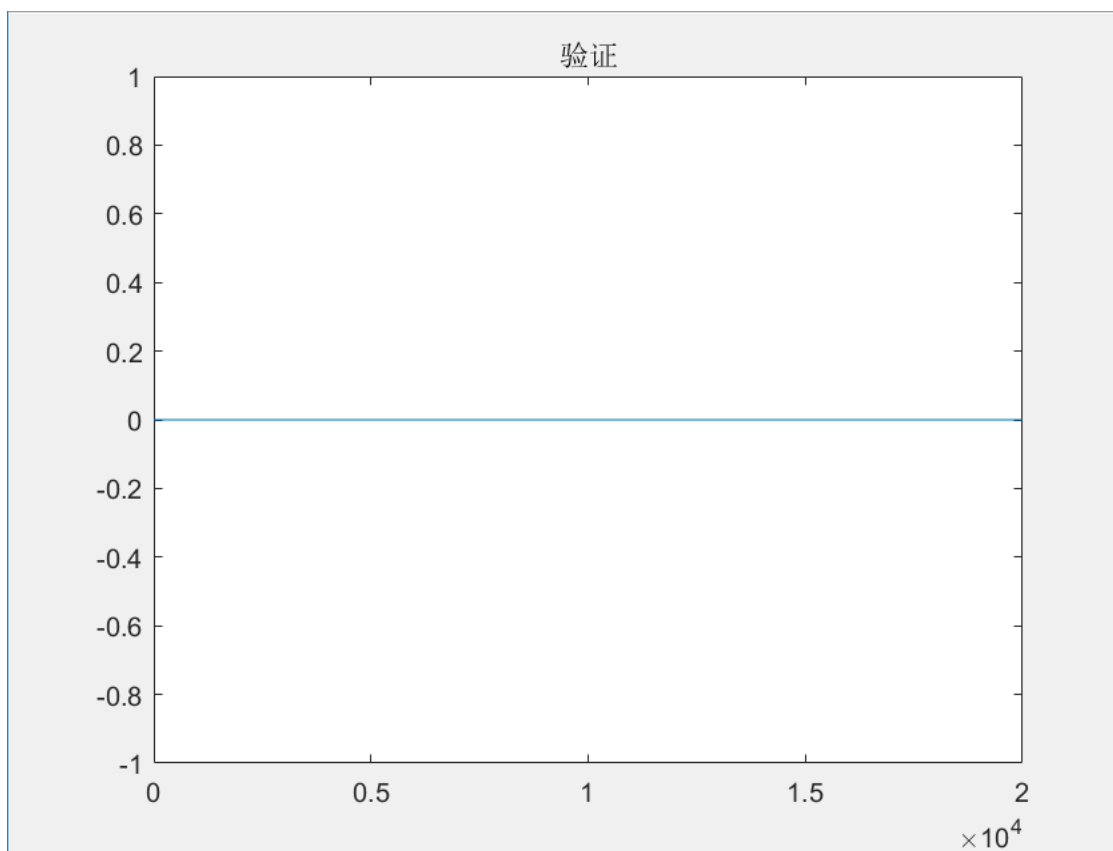


图 1-6 hilbert 函数验证结果

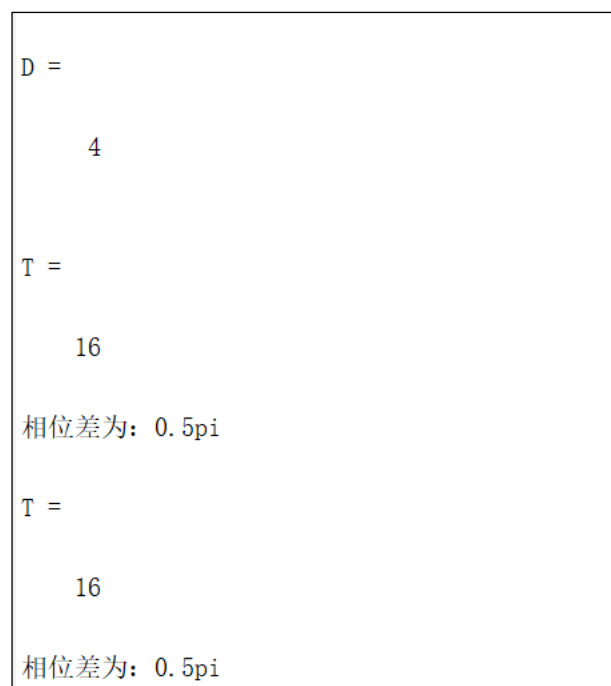


图 1-7 变换前后相位差

(二) 实验二

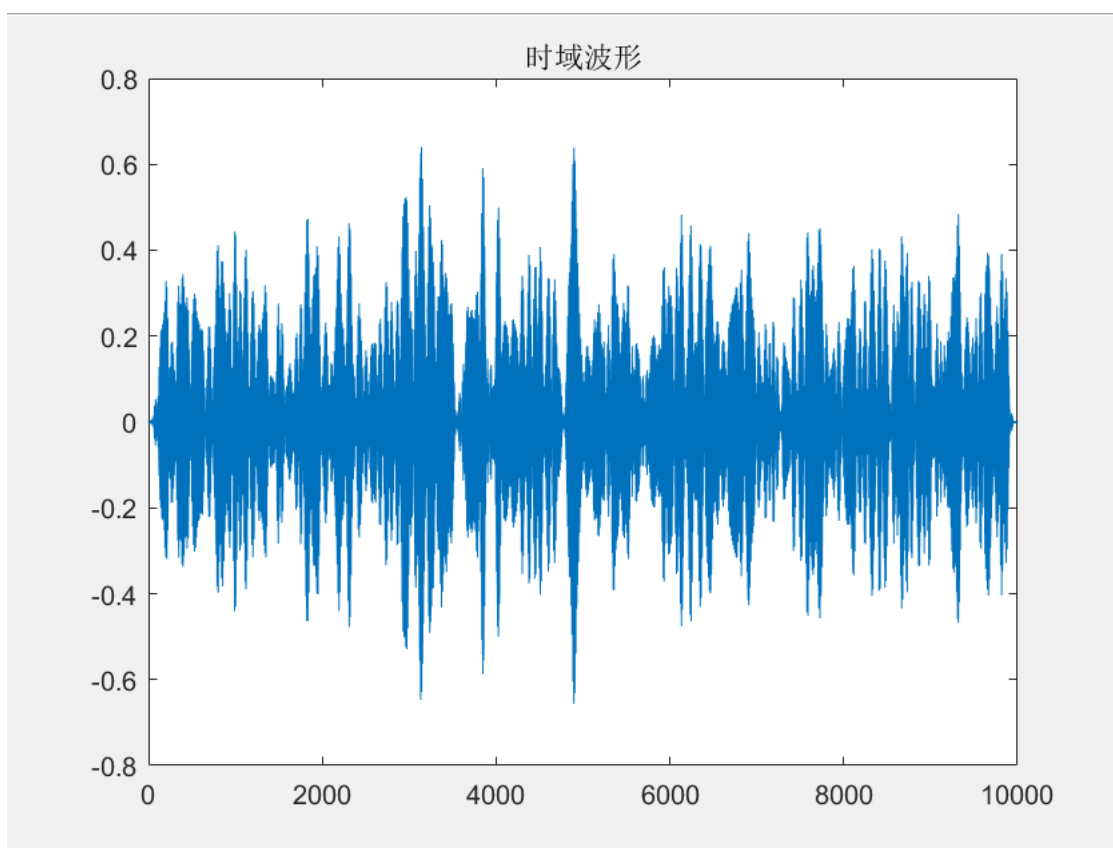


图 2-1 时域波形

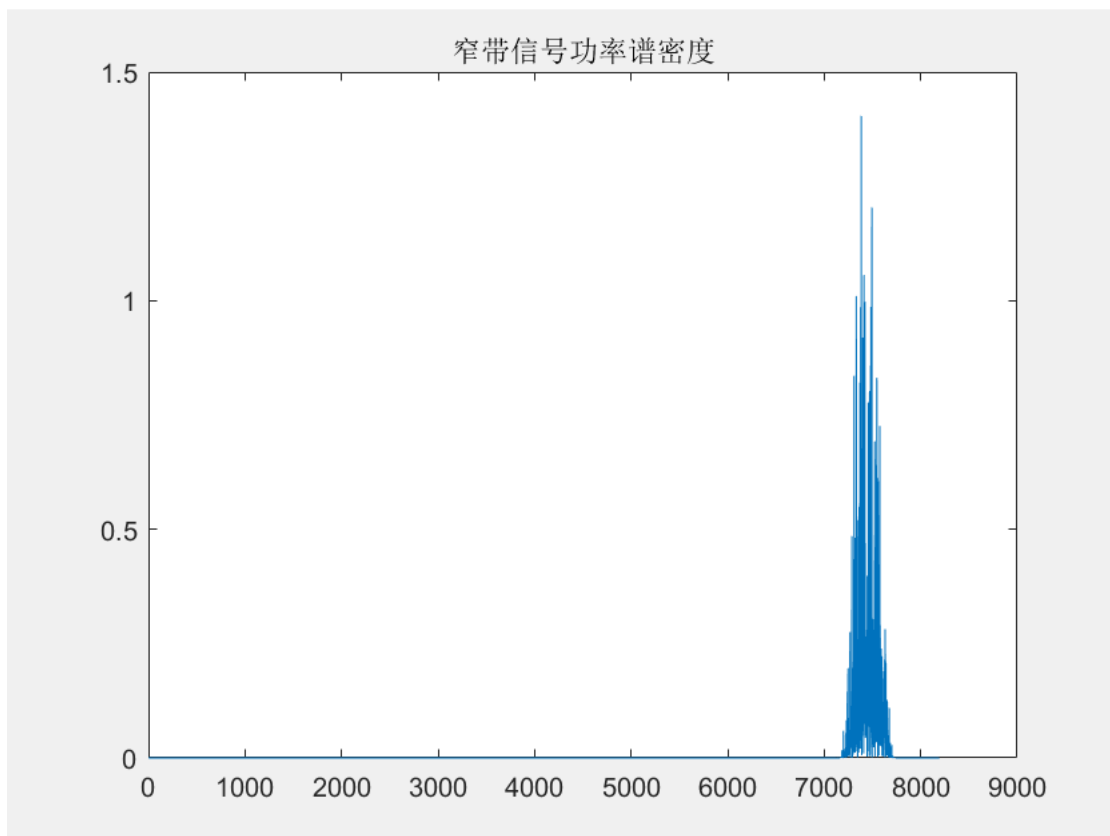


图 2-2 窄带信号功率谱密度

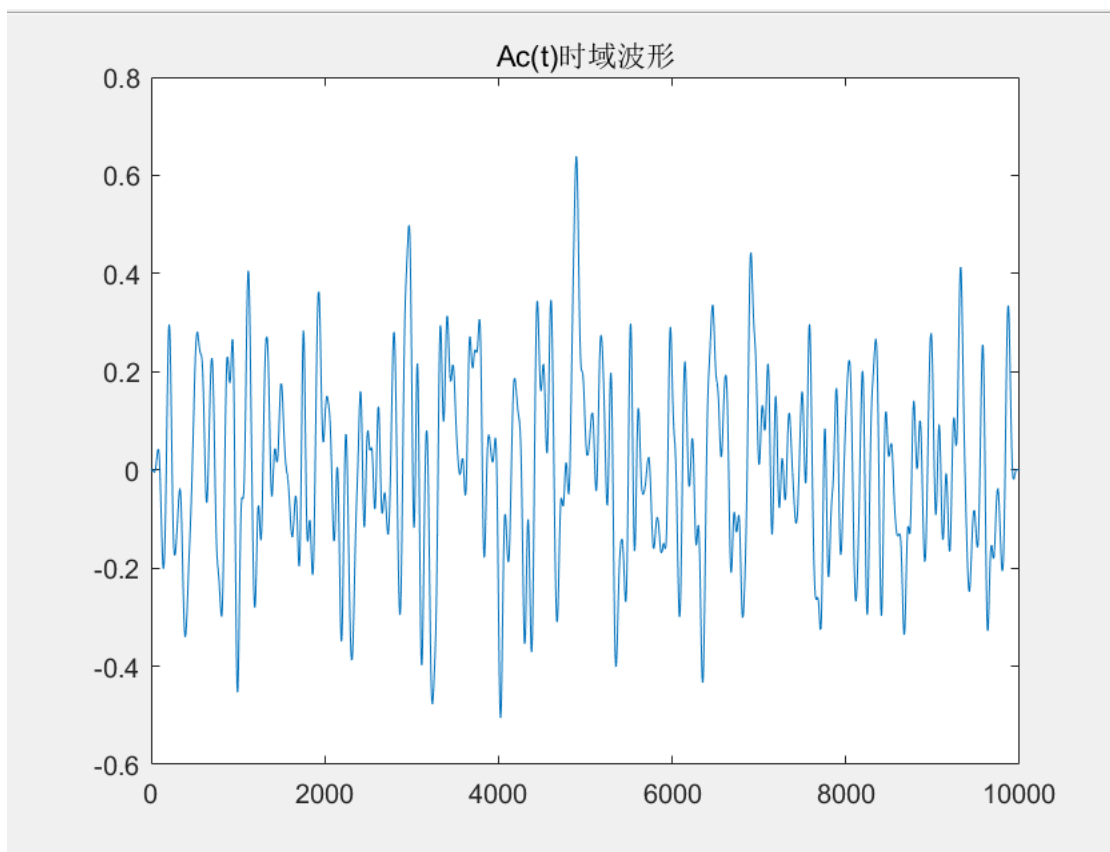


图 2-2 $A_c(t)$ 时域波形

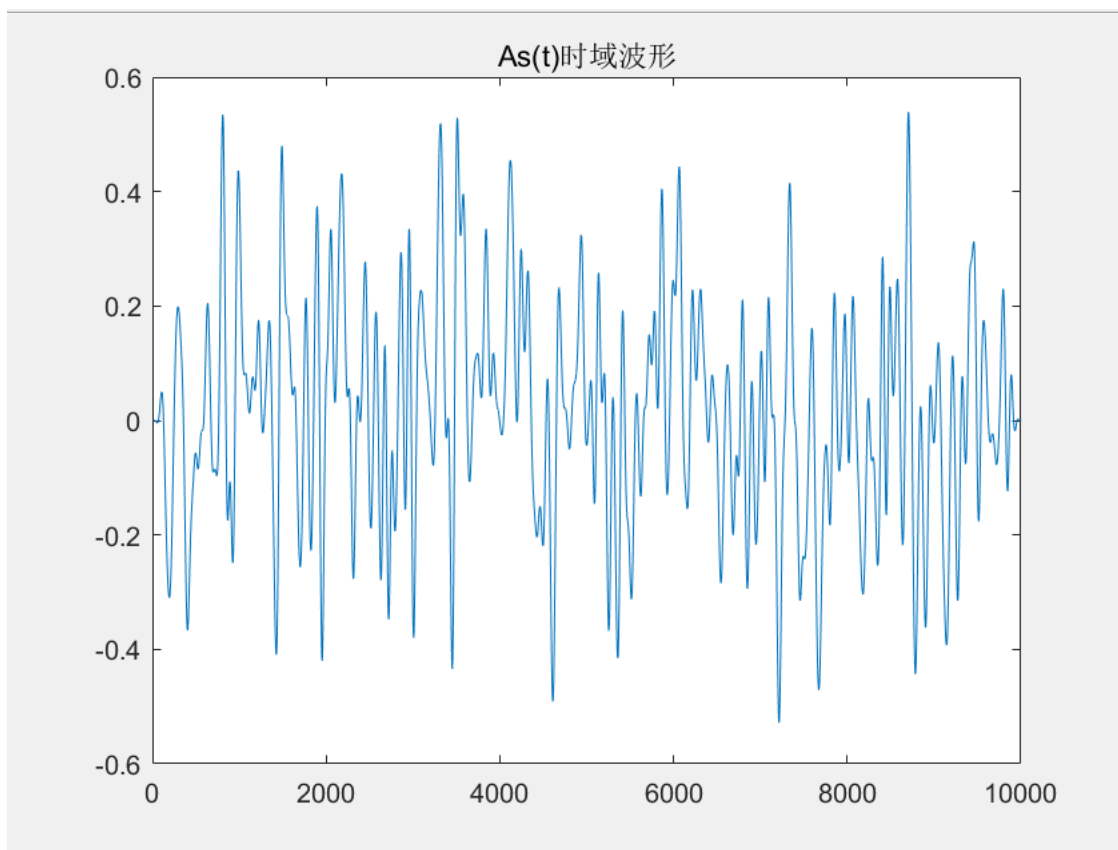


图 2-2 $A_s(t)$ 时域波形

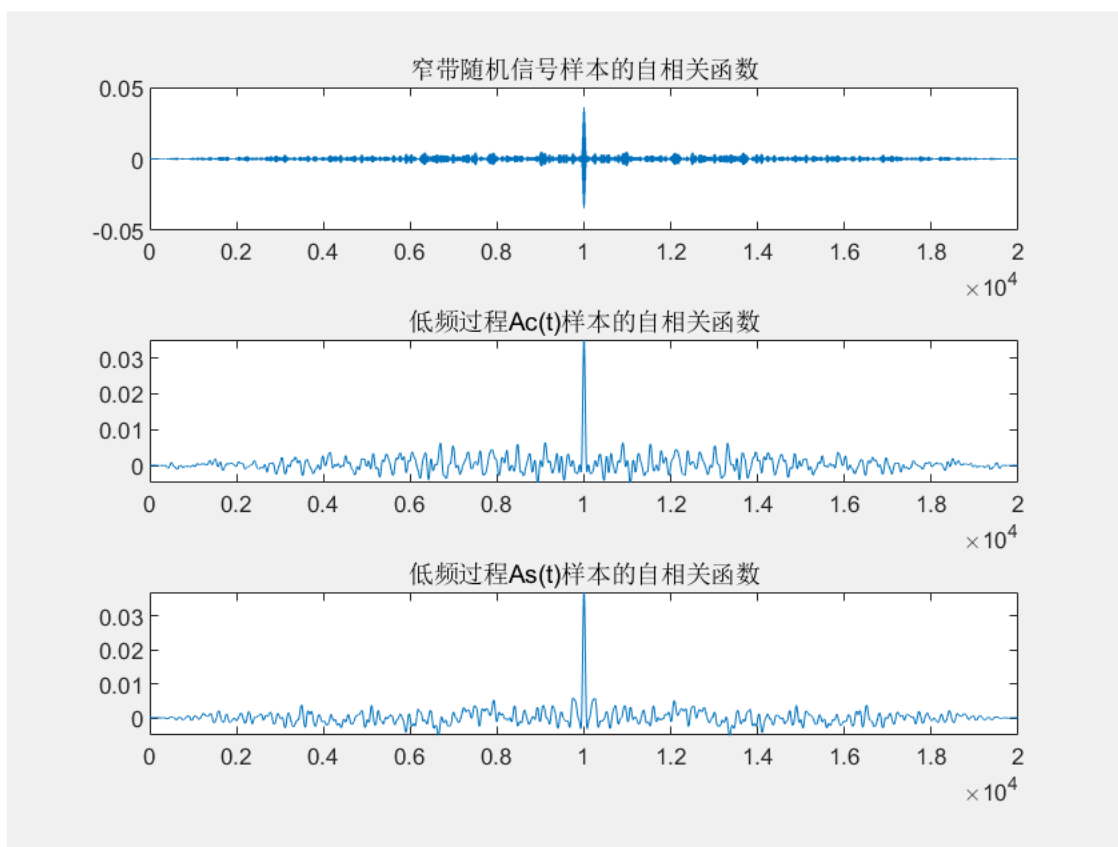


图 2-2 各个信号自相关函数

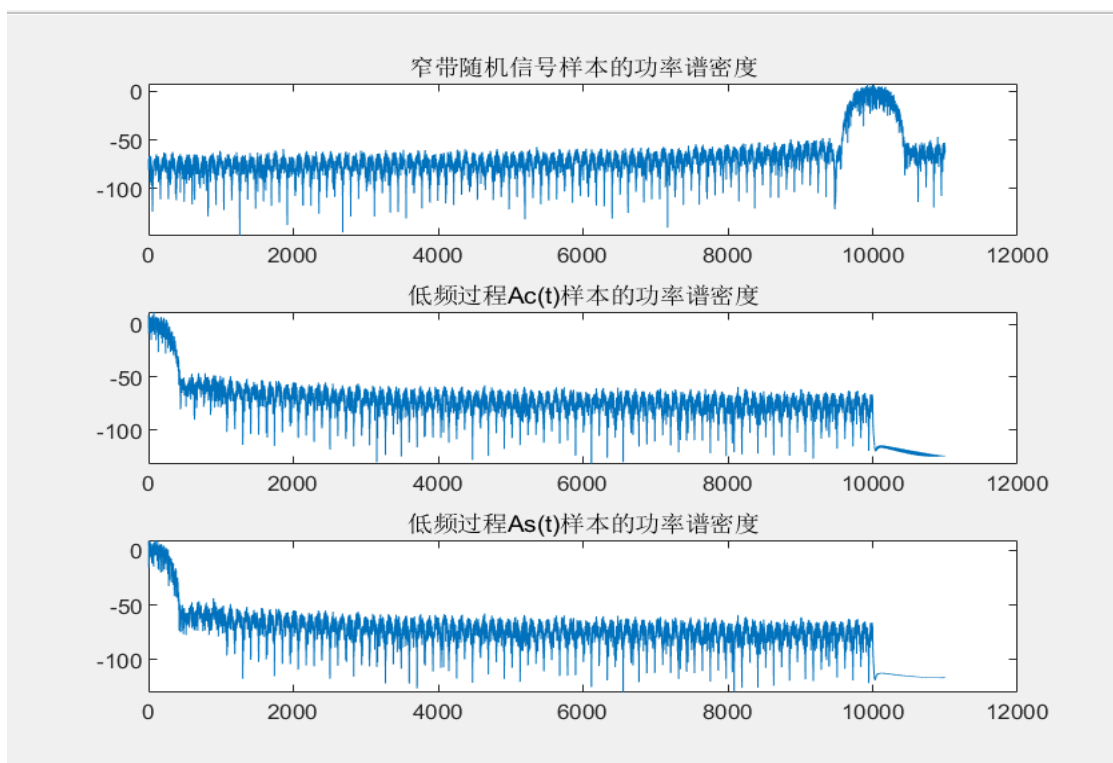


图 2-2 各个信号功率谱密度

(三) 实验三

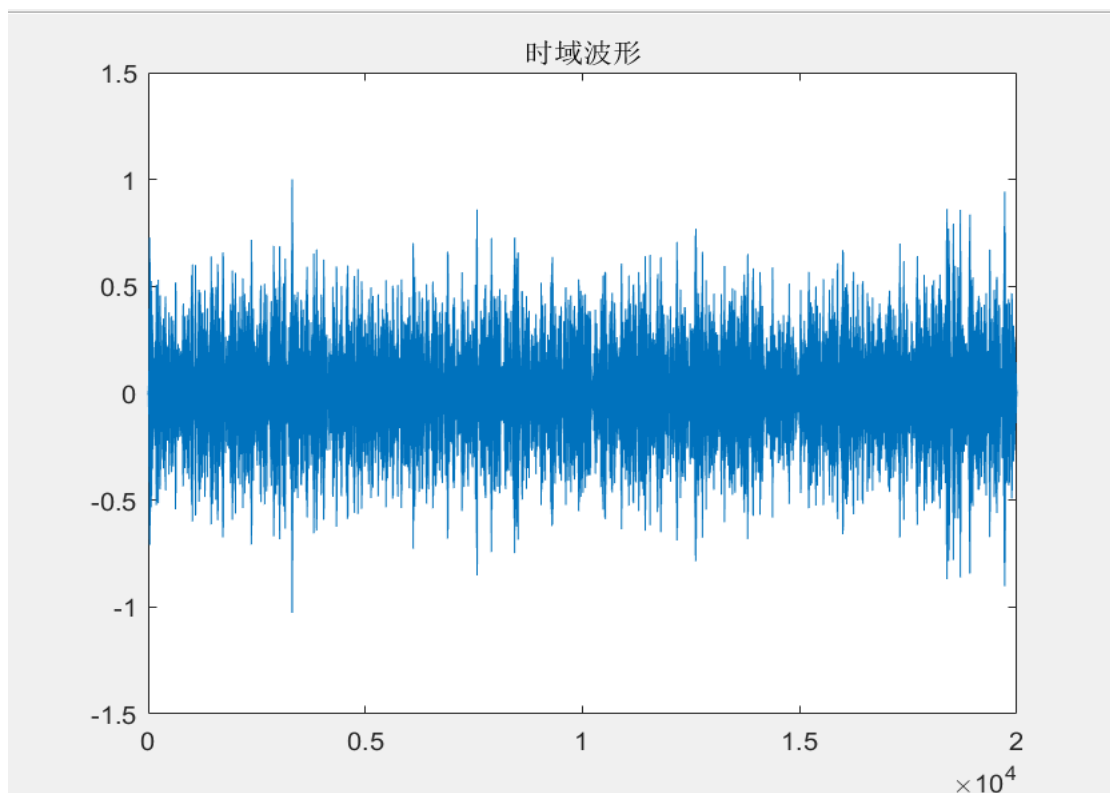


图 3-1 时域波形

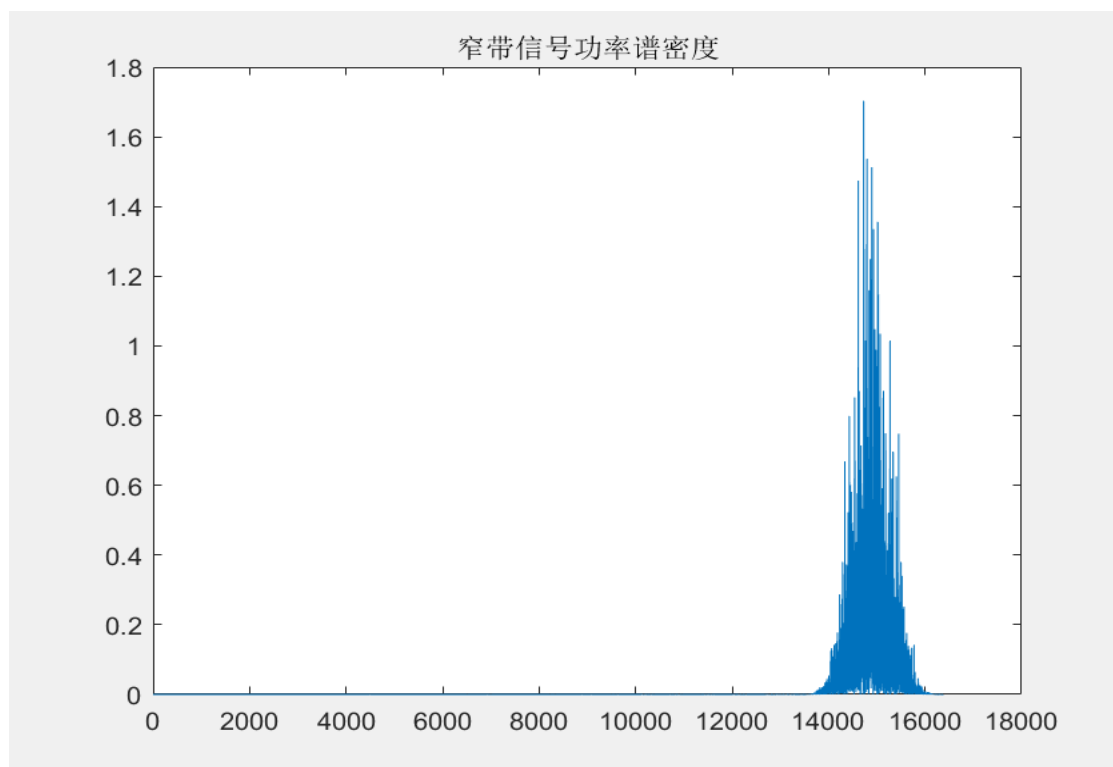


图 3-2 时域波形

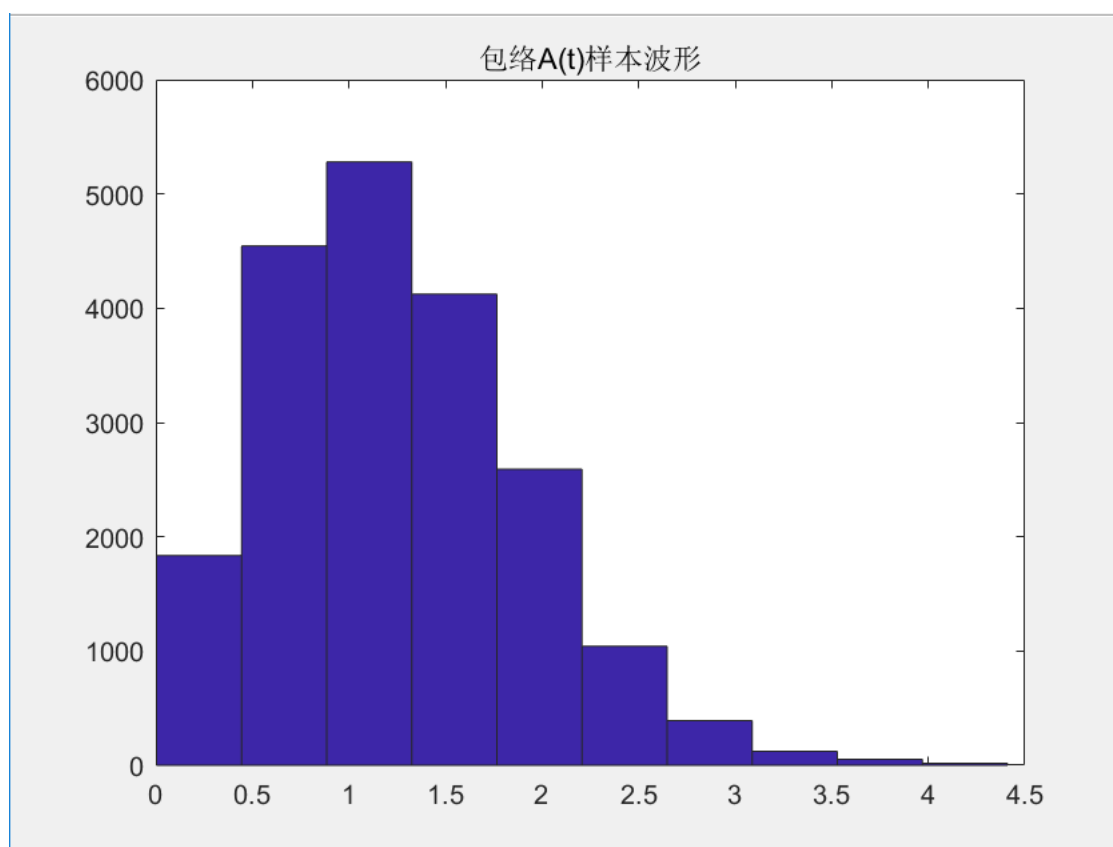


图 3-3 包络直方图

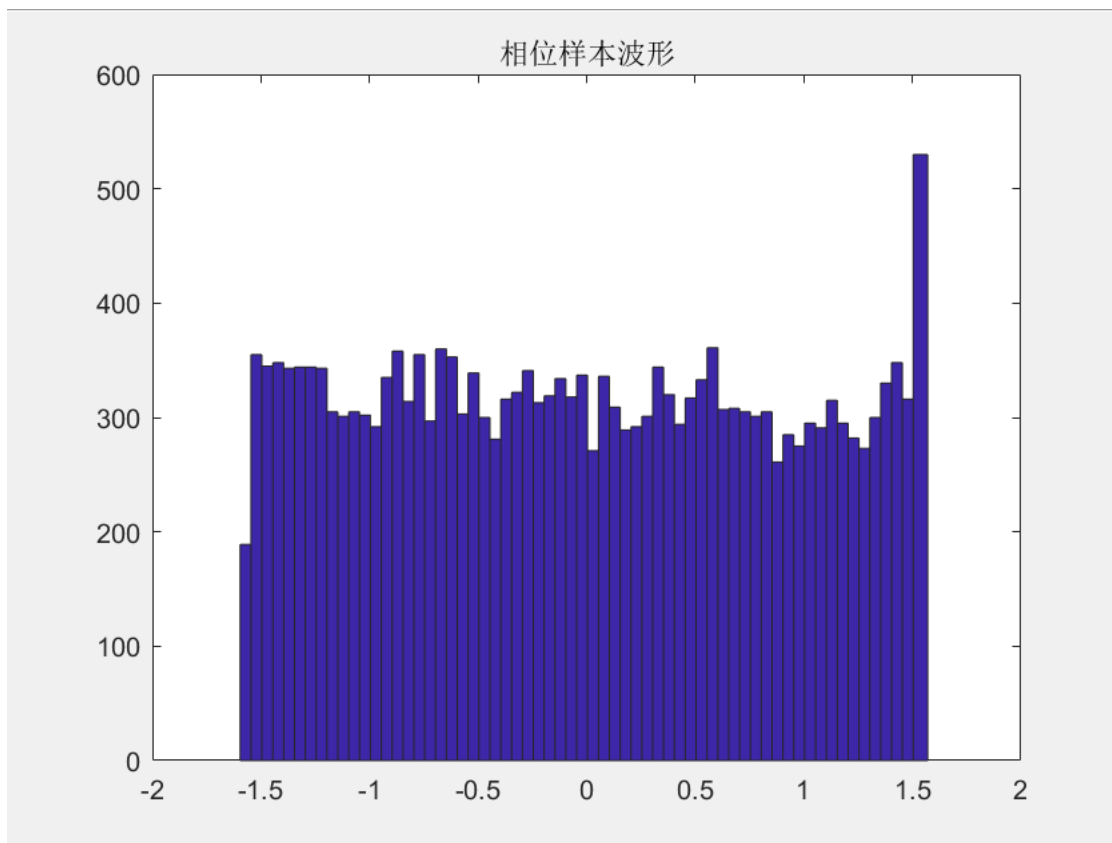


图 3-3 相位直方图

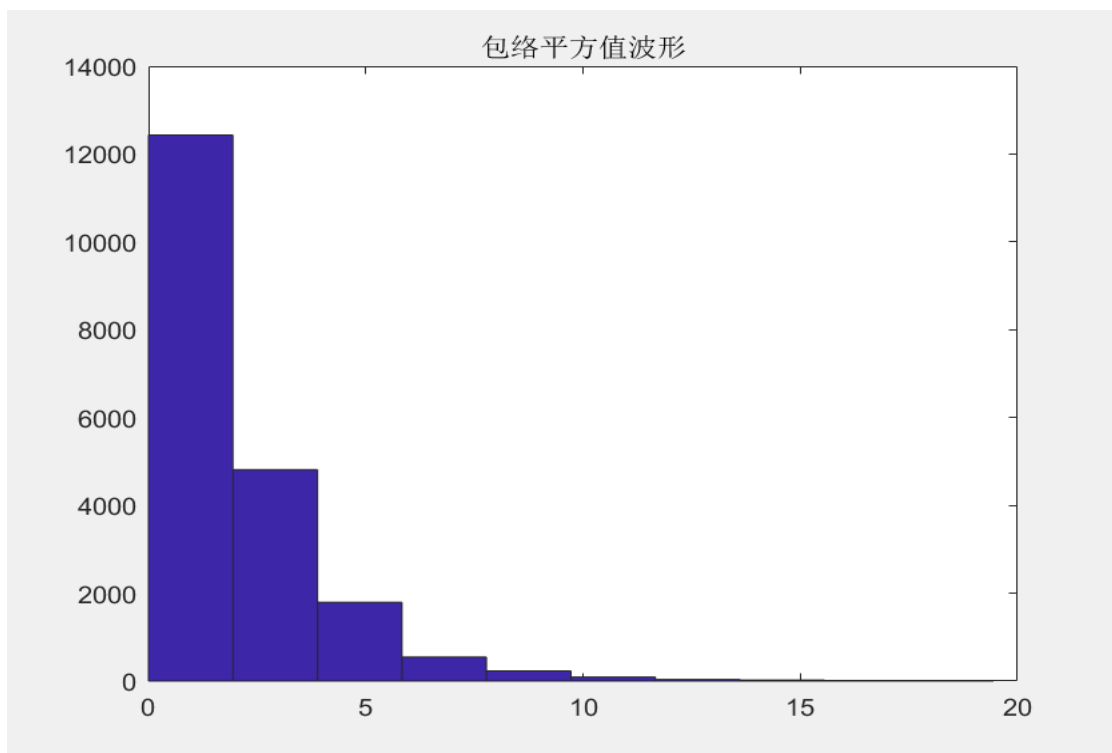


图 3-4 包络平方直方图

六、实验结果与分析

1. 用时域法和频域法求得的希尔伯特变换可以认为相同。
2. 低频分量 $A_c(t)$ 与 $A_s(t)$ 的功率谱密度相同。
3. 窄带信号的包络服从瑞利分布，相位服从均匀分布，包络平方服从指数分布，与实际理论相符。
4. 窄带信号的相位分布服从均匀分布。分布在 $(-\pi/2) \sim (\pi/2)$ 的范围内，由于反正切函数取值的限制性，实际相位分布应为 $0 \sim 2\pi$ 。

七、讨论、建议、质疑

1. 生成窄带随机信号有多种办法：
 - (1) 生成高斯随机序列后，通过带通系统，得到窄带随机信号。
 - (2) 生成两列高斯随机序列，分别通过低通系统，直接得到 $A_s(t)$ 以及 $A_c(t)$