

# 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（英语强化） 班级：电英 1601

姓 名：李若琪 学号：201683100 组：                    

实验时间：2018 年 11 月 14 日 实验室：C220 实验台：                    

指导教师：                    

## 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

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

##### 2. 窄带随机过程样本生成方法

窄带随机过程可以表示为下面的准正弦振荡的形式，

或者表示为同相分量与正交分量的合成：，其中与均为低频变化的随机过程，可以通过模拟其分布及功率谱特性来实现窄带随机过程的产生。

##### 3. 随机过程及其低频分量的功率估计方法

先产生随机信号样本，再利用变换列方程相干解调求得与，再估计此窄带随机过程及其低频过程的功率谱密度。4. 高斯窄带随机过程包络和相位的分布估计方法

根据窄带平稳随机信号的特点，进行信号分析。

窄带过程可以表示为  $X(t) = A_c(t) \cos \omega_0 t - A_s(t) \sin \omega_0 t$ ，可以提取载波，通过相干解调得到  $A_c$  和  $A_s$  进一步求得包络和相位： $A(t) = \sqrt{A_c^2(t) + A_s^2(t)}$ ， $\varphi(t) = \tan^{-1} \frac{A_s(t)}{A_c(t)}$

## （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（英语强化） 班级：电英 1601

姓 名：李若琪 学号：201683100 组：                    

实验时间：2018 年 11 月 14 日 实验室：C220 实验台：                    

指导教师：                                    

## 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

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

##### 2. 窄带随机过程样本生成方法

窄带随机过程可以表示为下面的准正弦振荡的形式  $X(t) = A(t) \cos[\omega_0 t + \Phi(t)]$  ,

或者表示为同相分量与正交分量的合成： $X(t) = A_c(t) \cos \omega_0 t - A_s(t) \sin \omega_0 t$  , 其中  $A_c(t)$  与  $A_s(t)$  均为低频变化的随机过程，可以通过模拟其分布及功率谱特性来实现窄带随机过程的产生。

##### 3. 随机过程及其低频分量的功率估计方法

先产生随机信号样本  $X(t) = A_c(t) \cos \omega_0 t - A_s(t) \sin \omega_0 t$ ，再利用变换列方程相干解调求得  $A_c(t)$  与  $A_s(t)$ ，再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。

#### 4. 高斯窄带随机过程包络和相位的分布估计方法

根据窄带平稳随机信号的特点，进行信号分析。

窄带过程可以表示为  $X(t) = A_c(t) \cos \omega_0 t - A_s(t) \sin \omega_0 t$ ，可以提取载波，通过相干解调得到  $A_c$  和  $A_s$  进一步求得包络和相位： $A(t) = \sqrt{A_c^2(t) + A_s^2(t)}$ ， $\varphi(t) = \tan^{-1} \frac{A_s(t)}{A_c(t)}$

## （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、主要仪器设备

计算机、LabView、MatLab 等

## 四、实验步骤与操作方法

以下是根据实验原理所设计的前面板和程序图：

1. 图 3.1-1 和图 3.1-2 分别为 Hilbert 变换的前面板和程序图。

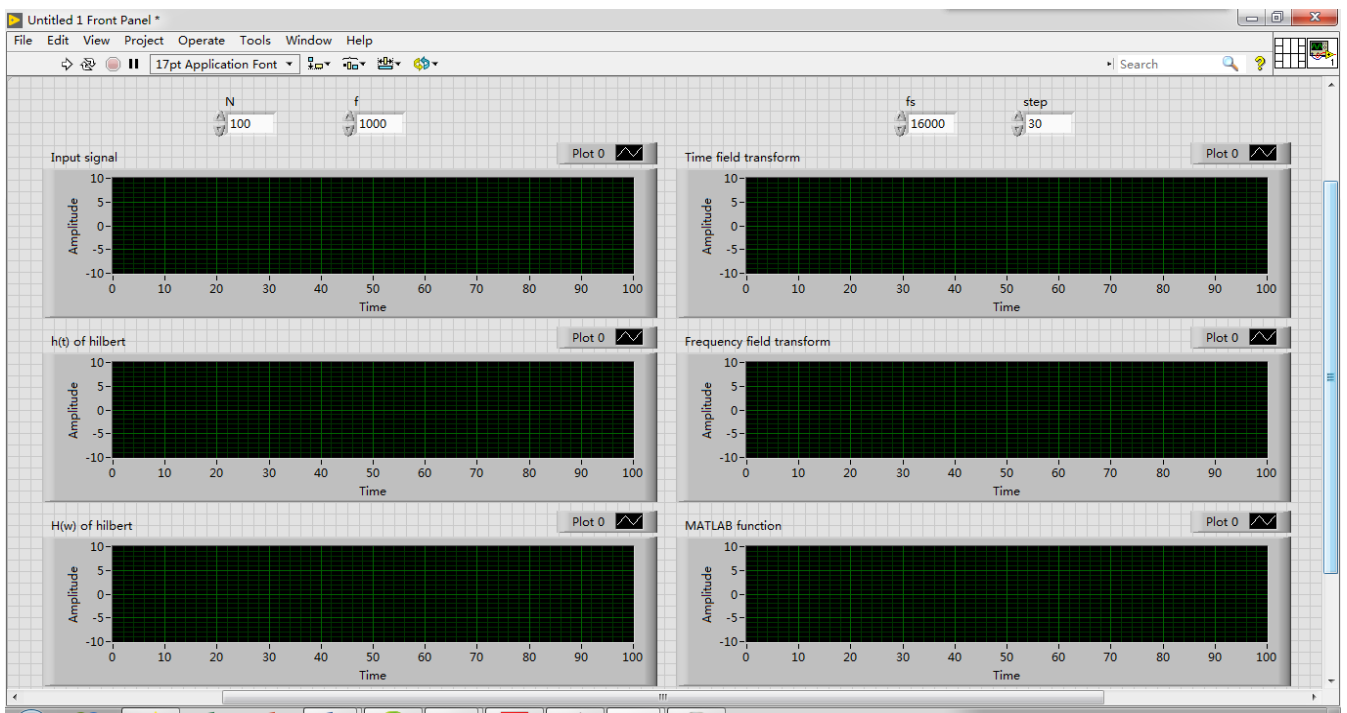


图 3.1-1 Hilbert 变换前面板

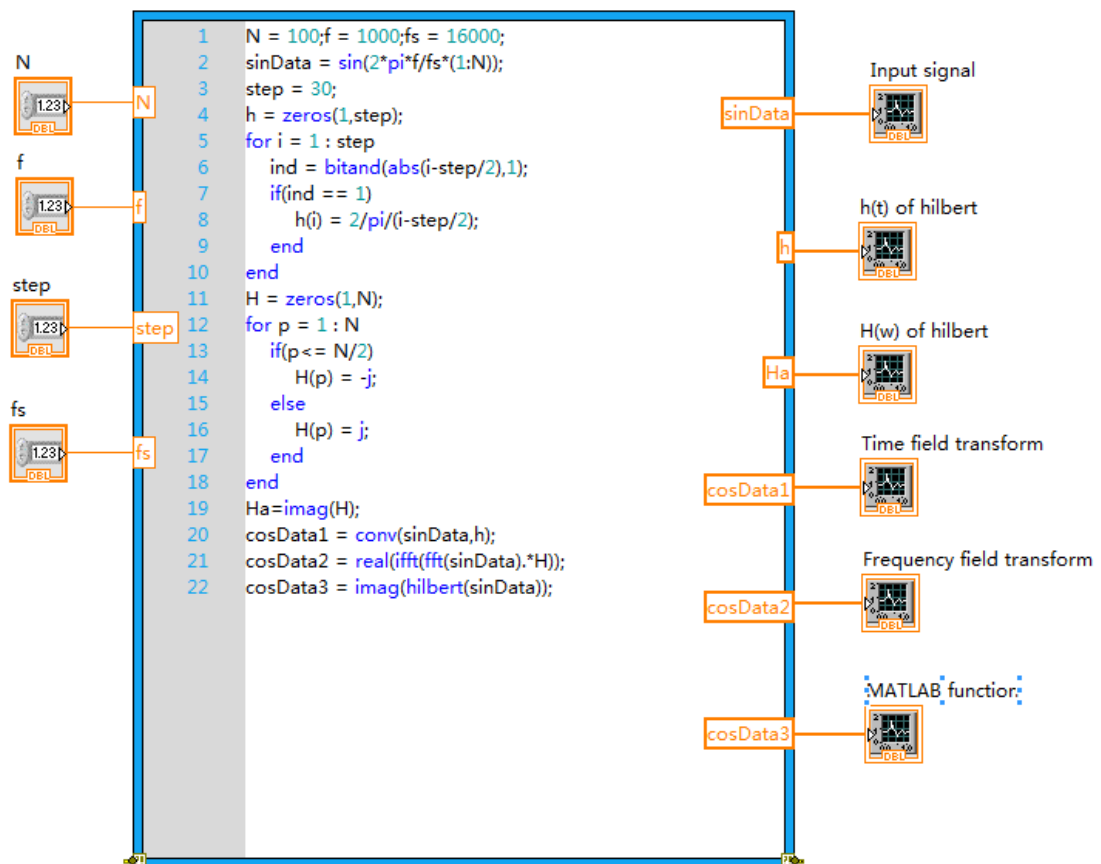


图 3.1-2 Hilbert 变换程序图

①生成 20000 点正弦波信号数据，代码如下：

```
 $N = 100;$   
 $f = 1000;$   
 $fs = 16000;$   
 $\sinData = \sin(2*\pi*f/fs*(1:N));$ 
```

②设计 Hilbert 滤波器，代码如下：

```
%时域冲激响应  
 $step = 30;$   
 $h = \text{zeros}(1, step);$   
 $\text{for } i = 1 : step$   
     $ind = \text{bitand}(\text{abs}(i-step/2), 1);$   
     $\text{if}(ind == 1)$   
         $h(i) = 2/\pi/(i-step/2);$   
     $\text{end}$   
 $\text{end}$   
  
%频域传递函数  
 $H = \text{zeros}(1, N);$   
 $\text{for } p = 1 : N$   
     $\text{if}(p \leq N/2)$   
         $H(p) = -j;$   
     $\text{else}$   
         $H(p) = j;$   
     $\text{end}$   
 $\text{end}$ 
```

③分别用时域卷积与频域变换方法求得希尔伯特变换响应，并用 MATLAB 内置函数 Hilbert 验证结果的准确性。

2. 图 3.2-1 和图 3.2-2 分别为窄带信号分析的前面板和程序图。



图 3.2-1 窄带信号分析前面板

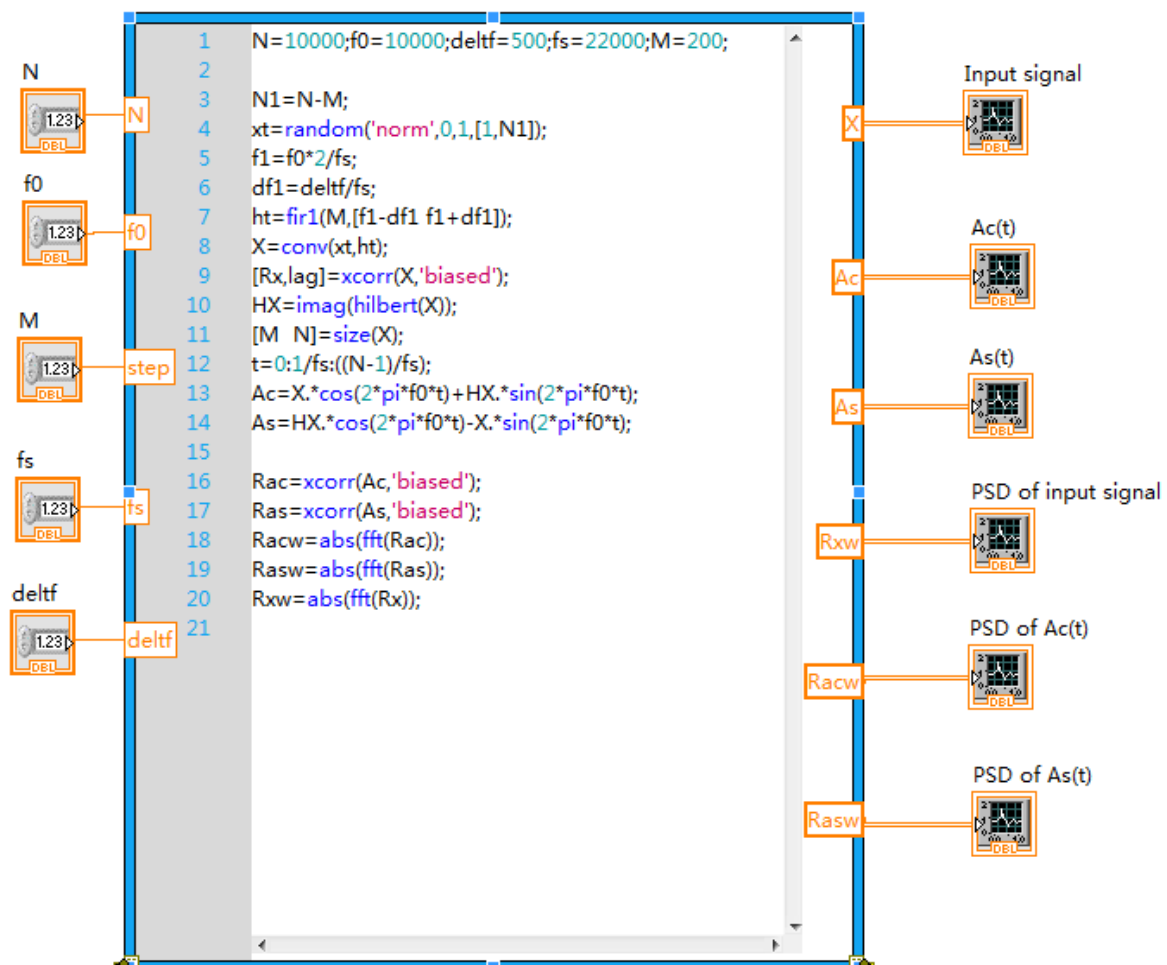


图 3.2-2 窄带信号分析程序图

①生成窄带随机信号的函数代码如下：

```
function X=Narrowbandsignal(N,f0,deltf,fs,M)
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
return
```

②产生  $A_c(t)$ 、 $A_s(t)$  的函数代码如下：

```
function [Ac, As]=Lowfsignal(X,f0,fs)
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  $\cos(w_0t)$ 、 $\sin(w_0t)$  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);
return
```

3. 图 3.3-1 和图 3.3-2 分别为窄带信号包络、相位、包络平方的前面板和程序图。

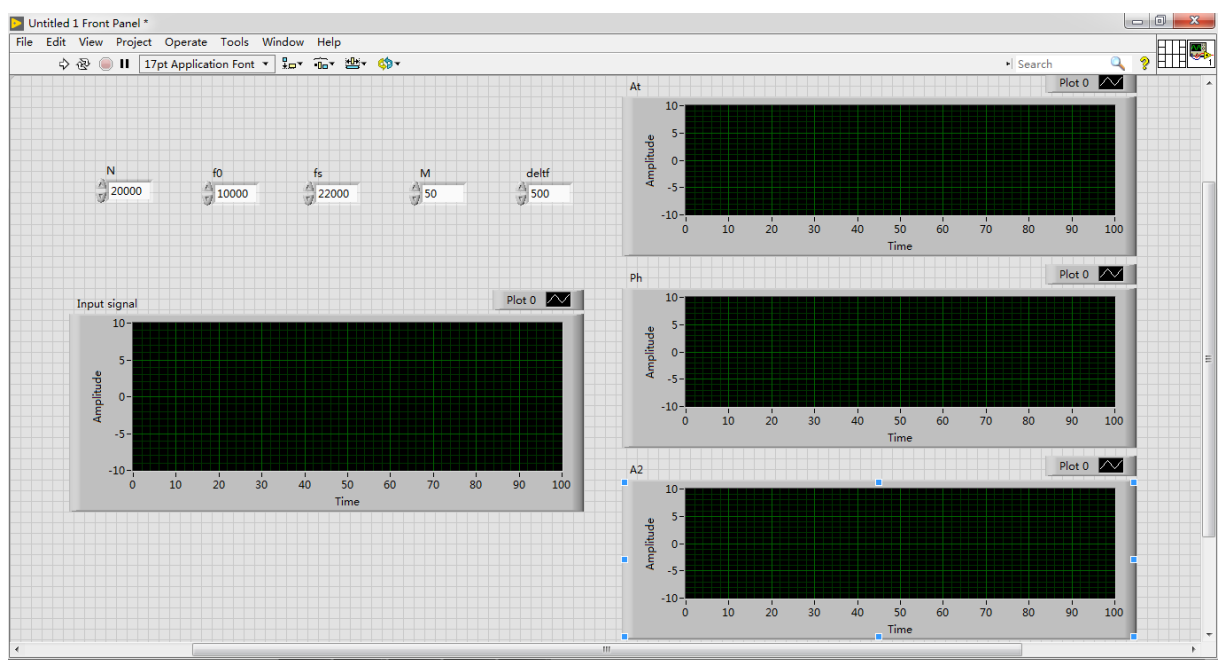


图 3.3-1 窄带信号包络、相位、包络平方前面板



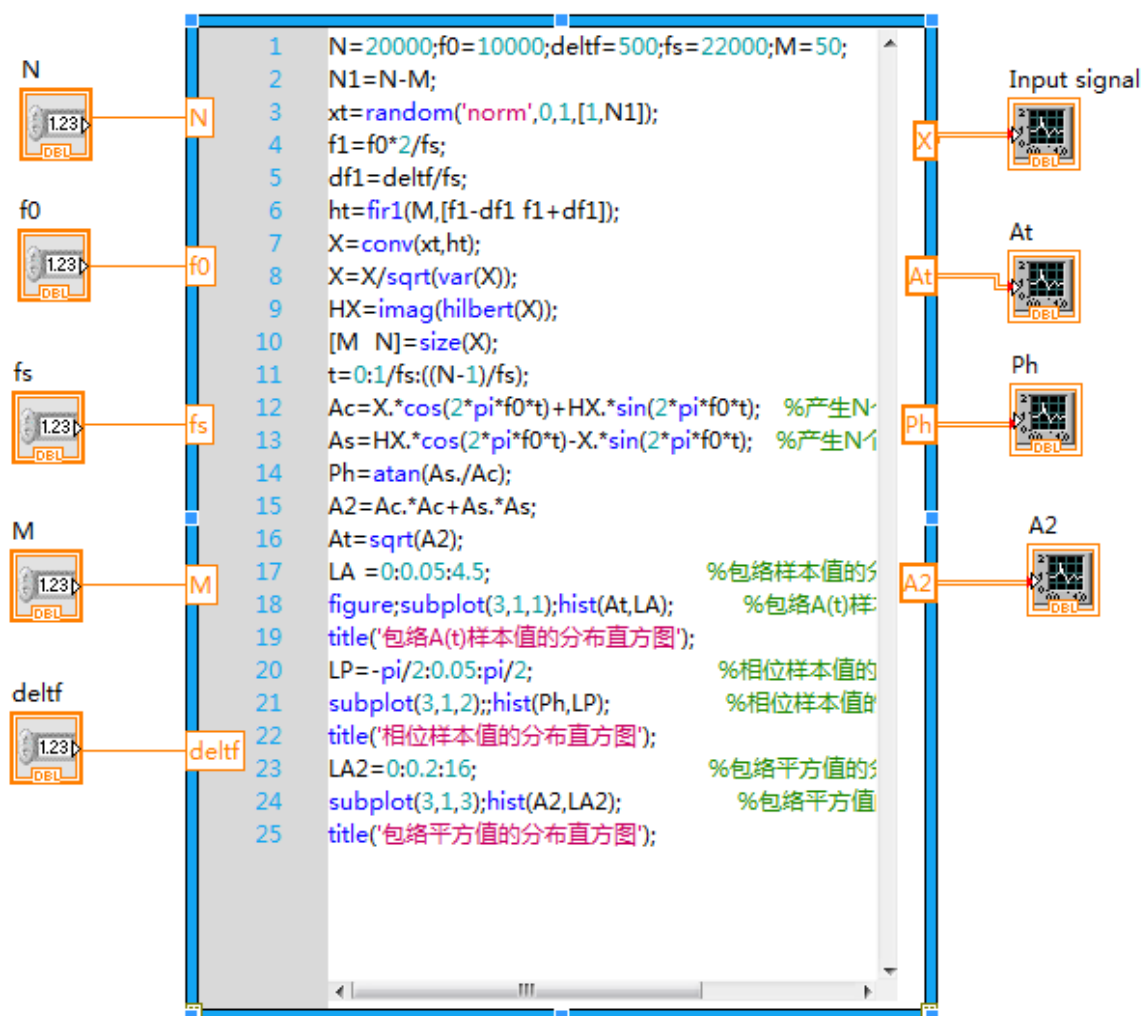


图 3.3-2 窄带信号包络、相位、包络平方程序图

①A(t)、相位、包络平方产生函数代码如下：

*function [At, Ph, A2]=EnvelopPhase(X, f0, fs)*

*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);*

*return*

## 五、实验数据记录和处理

程序运行结果如下：

1. 图 3.1-3 为 Hilbert 变换的 Labview 程序运行结果，其中左边一列从上到下依次为输入的正弦信号、Hilbert 滤波器的冲激响应和传输函数，右边一列从上到下依次为通过时域变换后的信号、通过频域变换后的信号以及使用 MATLAB 内置函数后的信号。

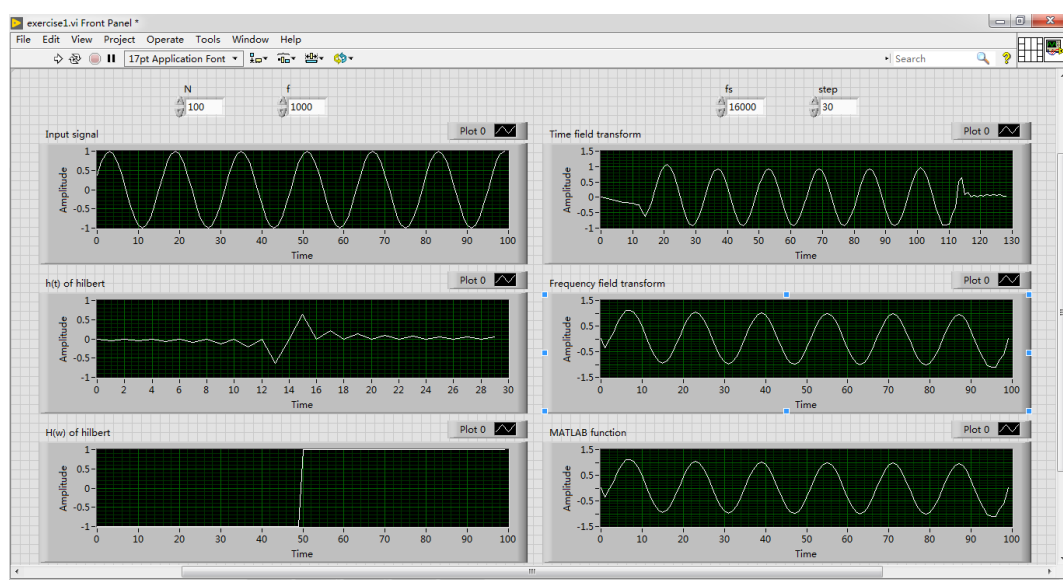


图 3.1-3 Hilbert 变换的 Labview 程序运行结果

2. 图 3.2-3 为窄带信号分析的 Labview 程序运行结果，其中左边一列从上到下依次为输入的窄带信号、 $A_c(t)$ 和  $A_s(t)$ 的时域波形，右边一列从上到下依次为窄带信号、 $A_c(t)$ 和  $A_s(t)$ 的功率谱密度。

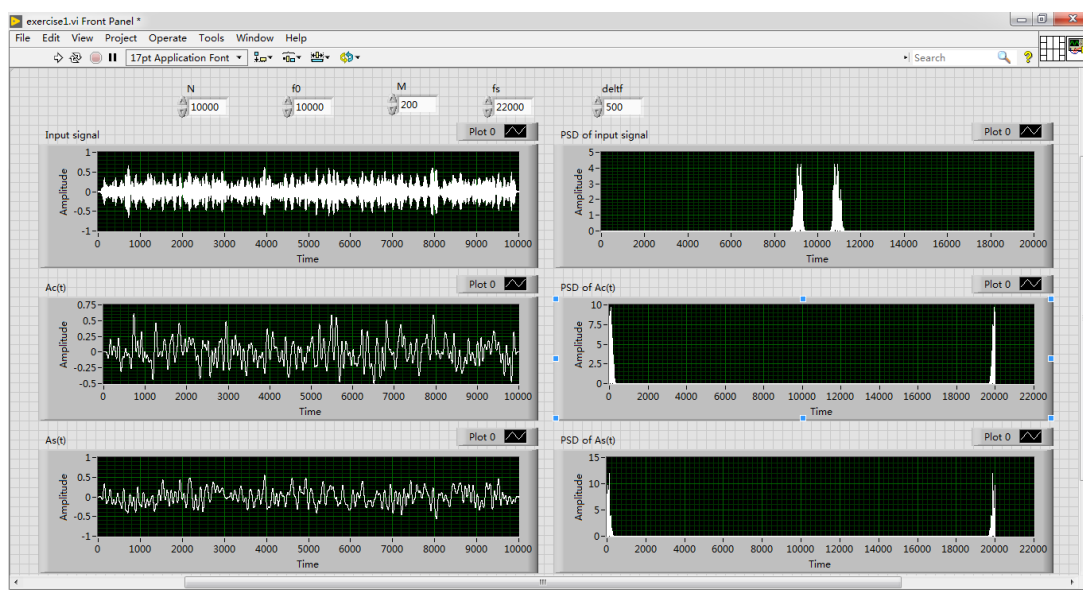
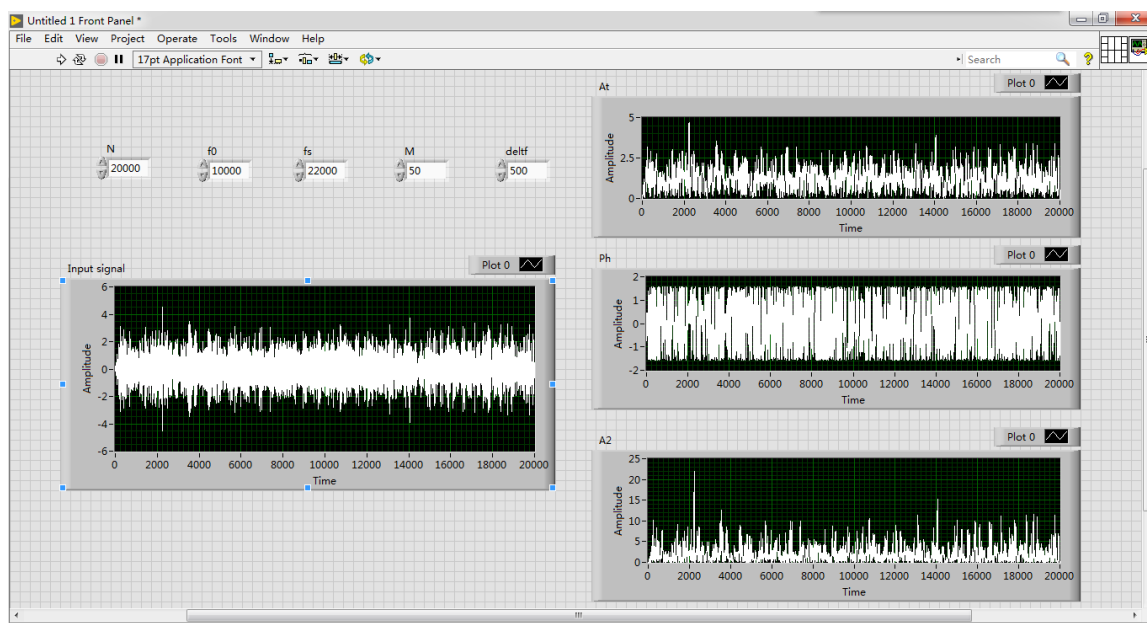
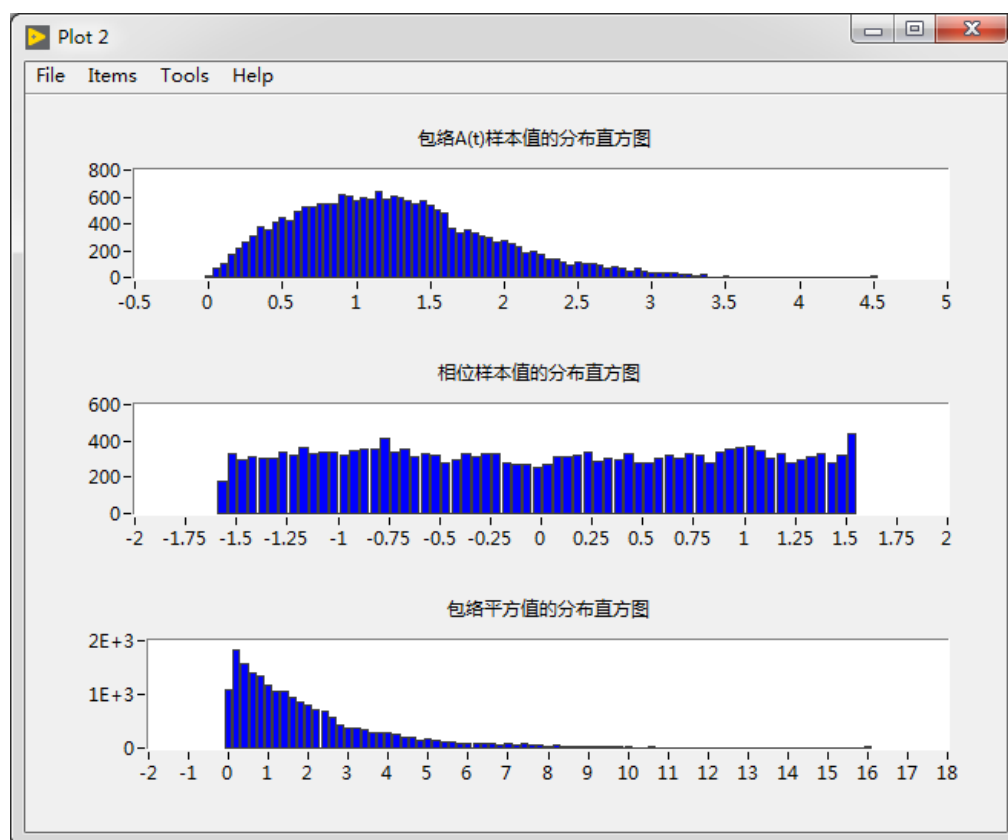


图 3.2-3 窄带信号分析的 Labview 程序运行结果

3. 图 3.3-3 为 Hilbert 变换的 Labview 程序运行结果，其中(a)左边为输入的信号，右边从上到下依次包络、相位、包络平方的时域波形，(b)为包络、相位、包络平方的直方图。



(a)



(b)

图 3.3-3 窄带信号包络、相位、包络平方的 Labview 程序运行结果

## 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。

## 七、讨论、建议、质疑

1. 在第一项实验内容中，选择用正弦信号作为希尔伯特变换的输入，是因为正弦信号与余弦信号在希尔伯特变换中可以相互转换，比较好验证。可以通过再生成一个余弦函数，与进行希尔伯特变换后的图像求方差，来验证变换后为余弦函数。

2. 通过本次实验加深了对希尔伯特变换以及窄带信号的相关特性的理解，了解了生成窄带信号以及得到包络、相位、包络平方的方法。