

# 实 验 报 告（一）

一、实验室名称：

二、实验项目名称：典型数字通信调制信号生成实验

三、实验学时：

四、实验原理：

MATLAB 软件具有编程实现简单、使用方便等优点，是目前应用广泛的计算机仿真软件，并且提供各种常用数字通信信号源生成函数的使用帮助文件。因此让学生通过实际上机实验，熟悉 MATLAB 计算机仿真软件，可实现各种通信信号产生及分析仿真，从而加深对常规数字通信信号的理解。

五、实验目的：

利用 MATLAB 软件编程实现各种常用数字通信信号源的产生。让学生通过实际上机实验，熟悉 MATLAB 计算机仿真软件，并加深对通信信号的理解。

六、实验内容：

## 1. 数字信号源

必做：

- (1) 产生比特率为 200bits/s，载频为 200Hz 的复 BPSK 信号，采样频率为 2000Hz，时间长度为 2s，成形滤波器用根升余弦滤波器实现，滤波器阶数为 60，滚降因子为 0.3。要求画出 BPSK 信号的时域波形与频谱图，并分别画出成型滤波前、滤波后、调制载频后的星座图，思考它们具有差异的原因。
- (2) 产生符号率为 200symbol/s，载频为 200Hz 的复 QPSK 信号，采样频率为 2000Hz，时间长度为 2s，成形滤波器用根升余弦滤波器实现，滤波器阶数为 60，滚降因子为 0.3。要求画出 QPSK 信号的时域波形与频谱图，并分别画出成型滤波前、滤波后、调制载频后的星座图，思考它们具有差异的原因。
- (3) 产生比特率为 200bits/s，调制指数为 0.6，载频为 400Hz 的复 2FSK（不连续相位）信号，采样频率为 1200Hz，时间长度为 2s。成形滤波器用根升余弦滤波器实现，滤波器阶数为 60，滚降因子为 0.3。要求画出信号源的时域波形与频谱图，并分别

画出成型滤波前、滤波后、调制载频后的星座图。改变调制指数大小，观察频谱变化情况。

- (4) 产生比特率为 200bits/s，载频为 300Hz 的 2ASK 信号，采样频率为 2000Hz，时间长度为 2s，成形滤波器用根升余弦滤波器实现，滤波器阶数为 60，滚降因子为 0.3。要求画出 2ASK 信号的时域波形与频谱图，并分别画出滤波前、滤波后、调制载频后的星座图，思考它们具有差异的原因。

#### 选做：

产生符号率为 100symbol/s，载频为 400Hz 的 16QAM 信号，采样频率为 1000Hz，时间长度为 5s，成形滤波器用根升余弦滤波器实现，滤波器阶数为 40，滚降因子为 0.35。要求画出 16QAM 信号的时域波形与频谱图，并分别画出成型滤波前、滤波后、调制载频后的星座图。

## 七、实验器材（设备、元器件）：

计算机、Matlab 仿真软件

## 八、实验步骤：

- 1 学习 MATLAB 软件的使用并学习其通信信号帮助工具箱；
- 2 利用 MATLAB 语言编写各种数字信号源，并画图分析各种信号的时域和频域等特性。

## 九、实验数据及结果分析

根据上述实验程序得到的实验数据及结果如下：

### (1) BPSK 信号生成程序

```
clear all;clc;close all;

%%----参数设定-----%%
M=2; %% M=2 的 PSK
N=500; %%% 符号个数（信号时间长度与符号速率相乘即为符号个数）
fs=1;%采样频率
fd=0.1;%符号速率
fc=0.3; %% 载频
r=fs/fd;%%% 过采样率
filtorder = 60; % 成型滤波器阶数
a=0.35; %% 滚降滤波器系数
delay = filtorder/(r*2); % 群延迟 Group delay (# of input samples)
h=rcosfir(a, delay, r,1,'sqrt');%%% 产生滤波器系数。采用根升余弦滤波器，
使得匹配接收后为升余弦滤波器，从而避免 ISI；
h=sqrt(r)*h/norm(h); %%% 归一化滤波器系数，使经过成型滤波后的信号功率为 1
```

```

SNR=10; %% 单位 dB, 信噪比

%-----产生信号-----%

%-----产生符号与映射-----%
s=randsrc(N,1,[0:M-1]);
s_mod=pskmod(s,M);
scatterplot(s_mod);%观察基带信号星座图

%-----过采样及成型滤波-----%
%-----过采样与矩形波形-----%
%      s_base=rectpulse(s_mod,r);%% 该程序是产生矩形波形的基带信号

%---根升余弦成型滤波器---%% 这三行程序是表示过采样, 符号 1 表示成 1000 (r-1
个 0, 此时 r=4)
s_base=zeros(r,N);%% N 个符号, 每个符号 r 个采样点
s_base(1,:)=s_mod.';%% 第 1 行表示原有 N 个符号
s_base=s_base(:);%% 把 rXN 矩阵转换成 rNX1 列向量
s_base=conv(h.',s_base);%%符号序列与根升余弦器卷积, 实现波形成型
%% var(s_base) %%接近 1, 信号功率已经归一化为 1

% %      s_base=s_base(delay*r+1:end);%%去掉开始的群延迟部分

scatterplot(s_base);%观察成型滤波后的散点图
%----载波调制-----%
theta=rand*2*pi;%% 载波的初始相位, 在 (0, 2pi) 之间均匀变化

y_x=s_base.*exp(1j*(2*pi*fc/fs*[0:length(s_base)-1].'+theta));%Ge
nerate PSK modulated signal 不含噪声
scatterplot(y_x);%观察载波调制后的散点图
%---产生复高斯白噪声---%

noise=sqrt(1/10^(SNR/10)/2)*(randn(size(s_base))+j*randn(size(s_b
ase)));%Generate complex noise signal

%----- 产生含噪声的发射信号 ---%
y=y_x+noise;

%-----画图-----%
figure;%%画 200 个采样点长度的无噪波形图, 实部虚部分别画, 长度可自行变化
NT=200;

```

```

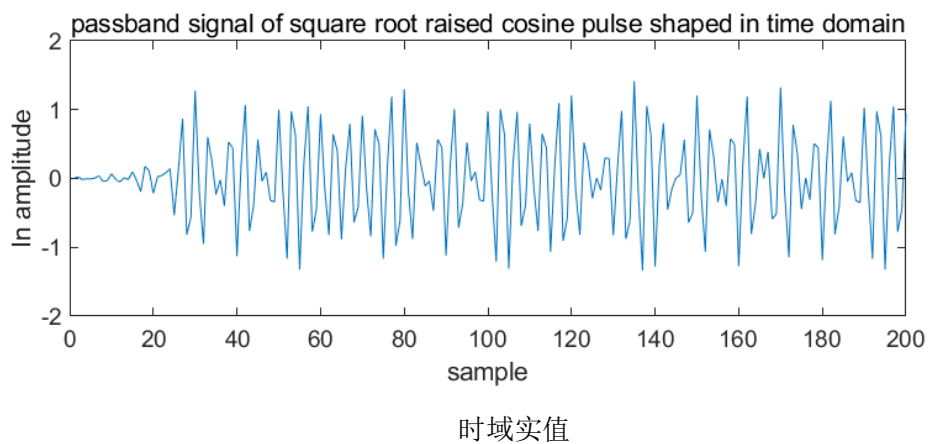
subplot(2,1,1);plot(real(y_x(1:NT)));title('passband signal of
square root raised cosine pulse shaped in time
domain');xlabel('sample');ylabel('In amplitude');
subplot(2,1,2);plot(imag(y_x(1:NT)));title('passband signal of
square root raised cosine pulse shaped in time
domain');xlabel('sample');ylabel('Qn amplitude');

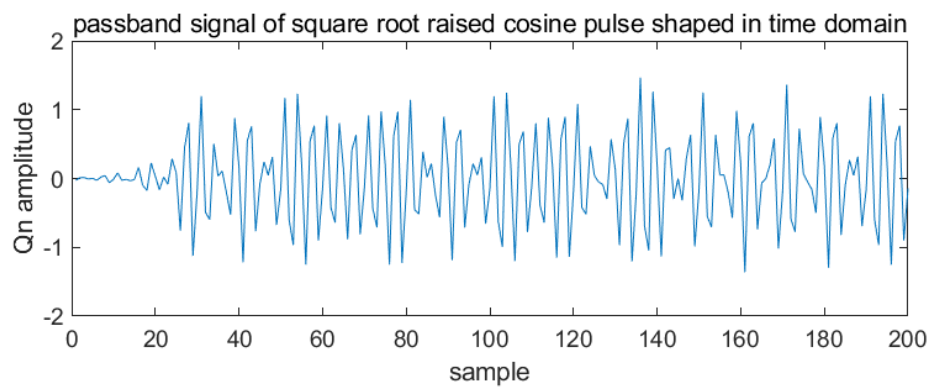
figure;%%画含噪频谱图
NN2=length(y);
FF2=linspace(-fs/2,fs/2,NN2);%% 频谱观察范围为-fs/2~fs/2 之间
YF_yc=abs(fft(y));
plot(FF2,fftshift(YF_yc));title('passband signal of pulse shaped in
frequency domain');xlabel('nomalized
frequency');ylabel('amplitude');

figure;%%画含噪四次方频谱图
NN2=length(y);
FF2=linspace(-fs/2,fs/2,NN2);
YF_yc=abs(fft(y.^4-mean(y.^4)));%% 信号四次方是正数，含有直流分量，故减去
直流
plot(FF2,fftshift(YF_yc));title('四次方谱');xlabel('nomalized
frequency');ylabel('amplitude');

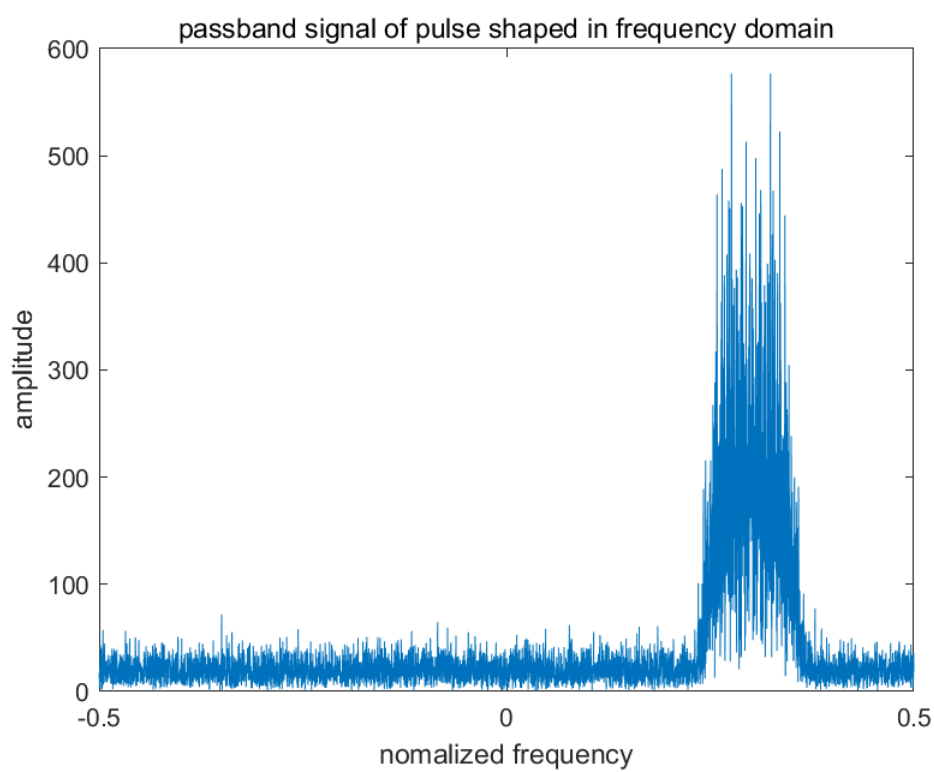
```

## (2) BPSK 信号调制后的时域和频域图



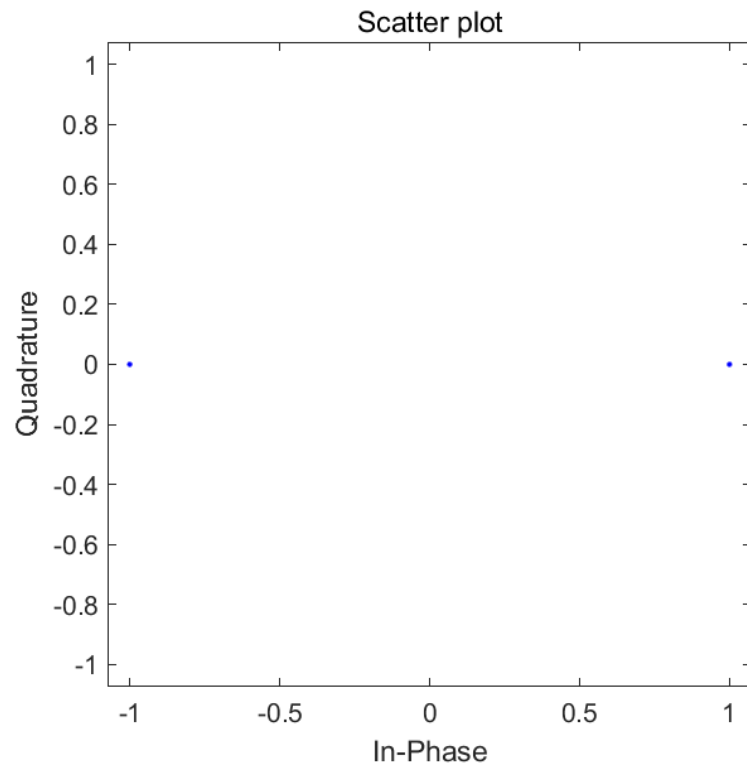


时域虚值

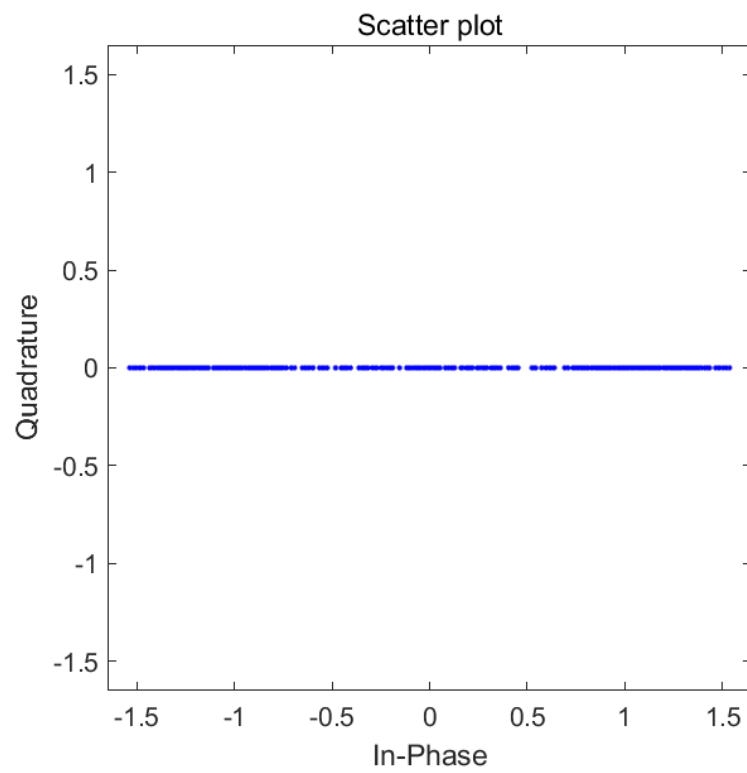


频域幅值

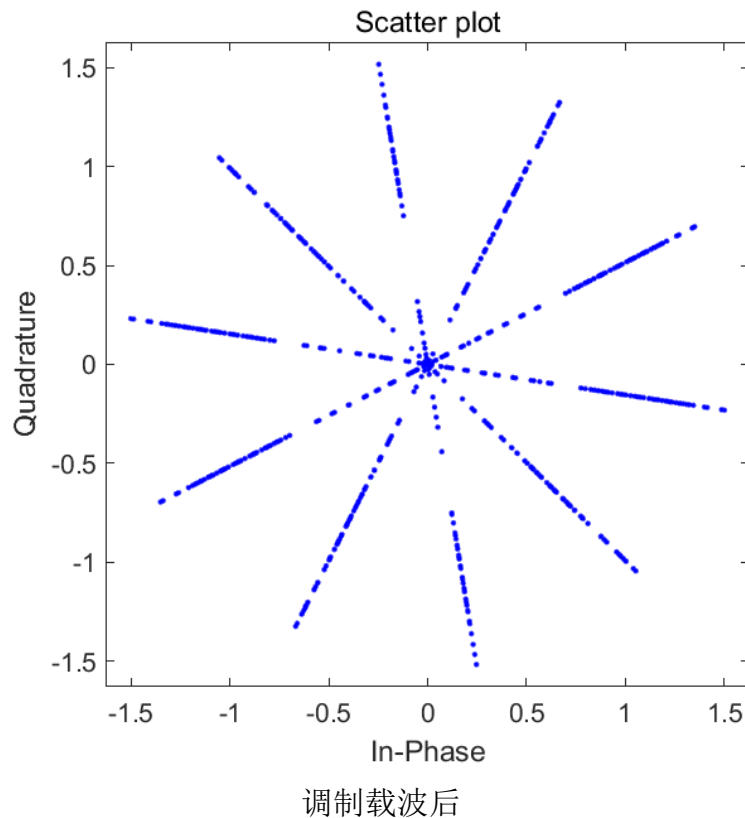
(3) BPSK 信号成型滤波前、成型滤波后、调制载波后的星座图



成型滤波前



成型滤波后



#### (4) QPSK 信号生成程序

```
clear all;clc;close all;
```

```
%%-----参数设定-----%%
```

```
M=4; %% M=4 的 PSK
```

```
N=500; %%% 符号个数（信号时间长度与符号速率相乘即为符号个数）
```

```
fs=1;%采样频率
```

```
fd=0.1;%符号速率
```

```
fc=0.3; %% 载频
```

```
r=fs/fd;%%% 过采样率
```

```
filtorder = 60; % 成型滤波器阶数
```

```
a=0.35; %% 滚降滤波器系数
```

```
delay = filtorder/(r*2); % 群延迟 Group delay (# of input samples)
```

```
h=rcosfir(a, delay, r,1,'sqrt');%%% 产生滤波器系数。采用根升余弦滤波器，  
使得匹配接收后为升余弦滤波器，从而避免 ISI;
```

```
h=sqrt(r)*h/norm(h); %%% 归一化滤波器系数，使经过成型滤波后的信号功率为 1
```

```
SNR=10;%% 单位 dB,信噪比
```

```
%%-----产生信号-----%
```

```
%%-----产生符号与映射-----%
```

```
s=randsrc(N,1,[0:M-1]);
```

```
s_mod=pskmod(s,M);
```

```

scatterplot(s_mod);%观察基带信号星座图

%-----过采样及成型滤波-----%
%-----过采样与矩形波形-----%
%      s_base=rectpulse(s_mod,r);%% 该程序是产生矩形波形的基带信号

%---根升余弦成型滤波器-----% % 这三行程序是表示过采样, 符号 1 表示成 1000 (r-1
个 0, 此时 r=4)
s_base=zeros(r,N);%% N 个符号, 每个符号 r 个采样点
s_base(1,:)=s_mod.';%% 第 1 行表示原有 N 个符号
s_base=s_base(:);%% 把 rXN 矩阵转换成 rNX1 列向量
s_base=conv(h.',s_base);%%符号序列与根升余弦器卷积, 实现波形成型
%% var(s_base) %%接近 1, 信号功率已经归一化为 1

% %      s_base=s_base(delay*r+1:end);%%去掉开始的群延迟部分

scatterplot(s_base);%观察成型滤波后的散点图
%----载波调制-----%
theta=rand*2*pi;%% 载波的初始相位, 在 (0, 2pi) 之间均匀变化

y_x=s_base.*exp(1j*(2*pi*fc/fs*[0:length(s_base)-1].'+theta));%Ge
nerate PSK modulated signal 不含噪声
scatterplot(y_x);%观察载波调制后的散点图
%---产生复高斯白噪声---%

noise=sqrt(1/10^(SNR/10)/2)*(randn(size(s_base))+j*randn(size(s_b
ase)));%Generate complex noise signal

%----- 产生含噪声的发射信号 ---%
y=y_x+noise;

%-----画图-----%
figure;%%画 200 个采样点长度的无噪波形图,实部虚部分别画, 长度可自行变化
NT=200;
subplot(2,1,1);plot(real(y_x(1:NT)));title('passband signal of
square root raised cosine pulse shaped in time
domain');xlabel('sample');ylabel('In amplitude');
subplot(2,1,2);plot(imag(y_x(1:NT)));title('passband signal of
square root raised cosine pulse shaped in time
domain');xlabel('sample');ylabel('Qn amplitude');

figure;%%画含噪频谱图
NN2=length(y);

```



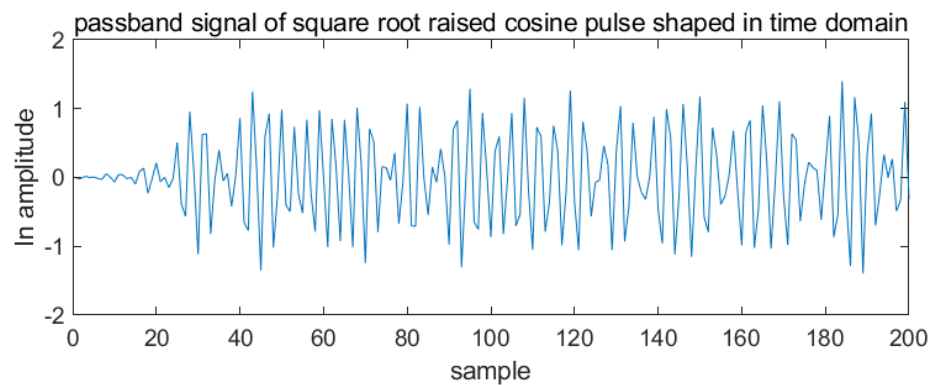
```

FF2=linspace(-fs/2,fs/2,NN2);%% 频谱观察范围为-fs/2~fs/2 之间
YF_yc=abs(fft(y));
plot(FF2,fftshift(YF_yc));title('passband signal of pulse shaped in
frequency domain');xlabel('nomalized
frequency');ylabel('amplitude');

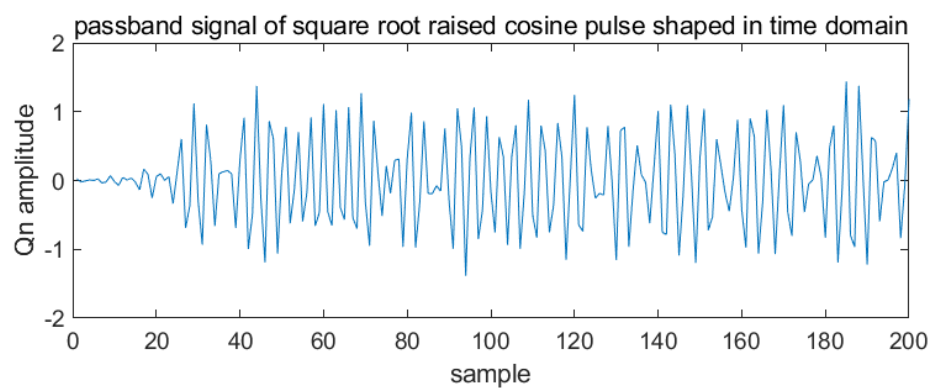
figure;%%画含噪四次方频谱图
NN2=length(y);
FF2=linspace(-fs/2,fs/2,NN2);
YF_yc=abs(fft(y.^4-mean(y.^4)));%% 信号四次方是正数，含有直流分量，故减去
直流
plot(FF2,fftshift(YF_yc));title('四次方谱');xlabel('nomalized
frequency');ylabel('amplitude');

```

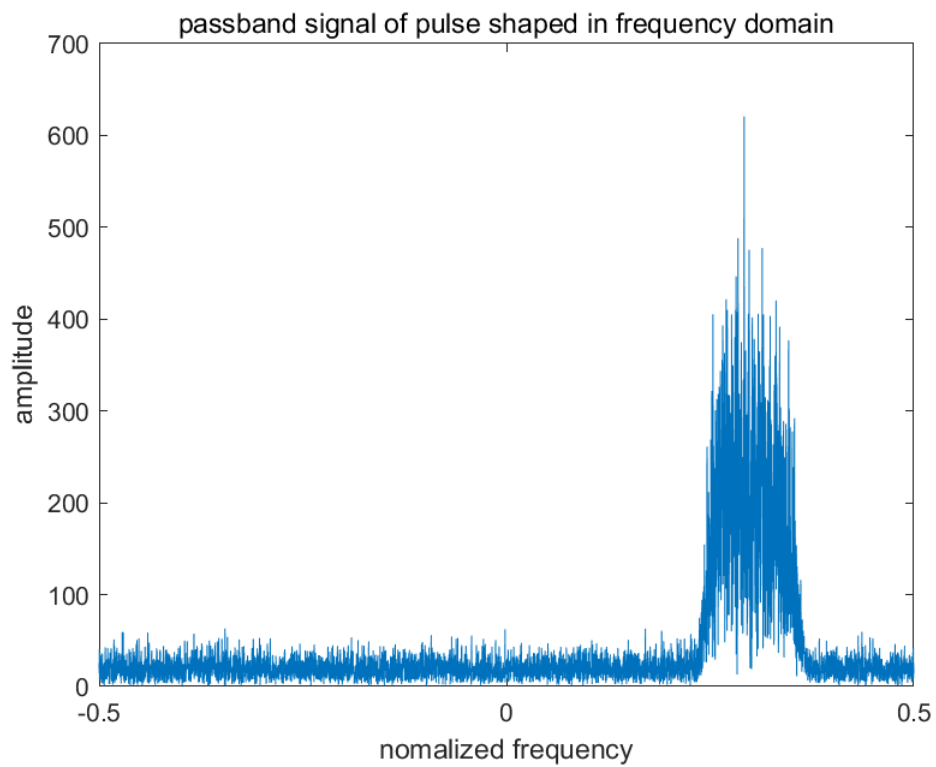
#### (5) QPSK 信号调制后的时域和频域图



时域实值

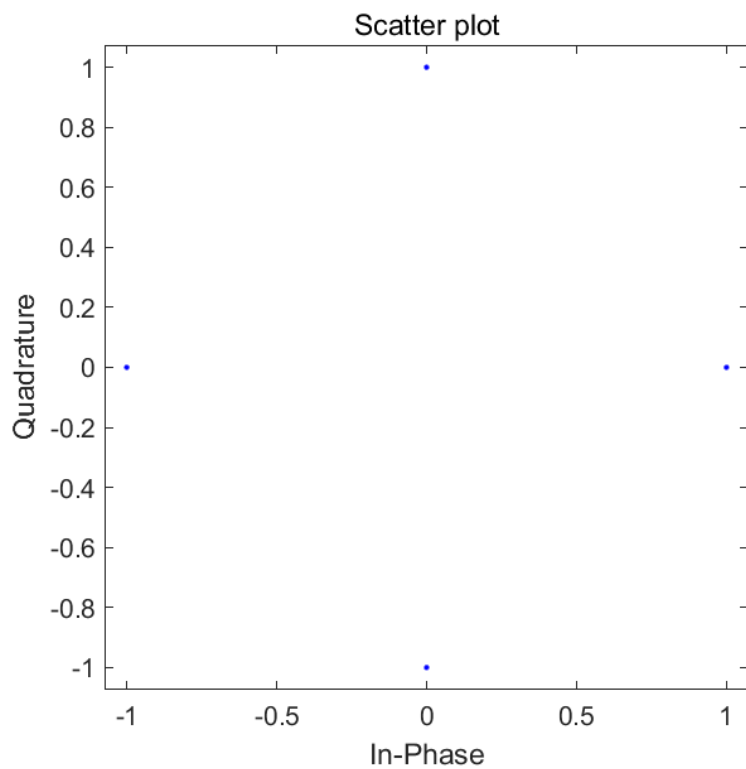


时域虚值

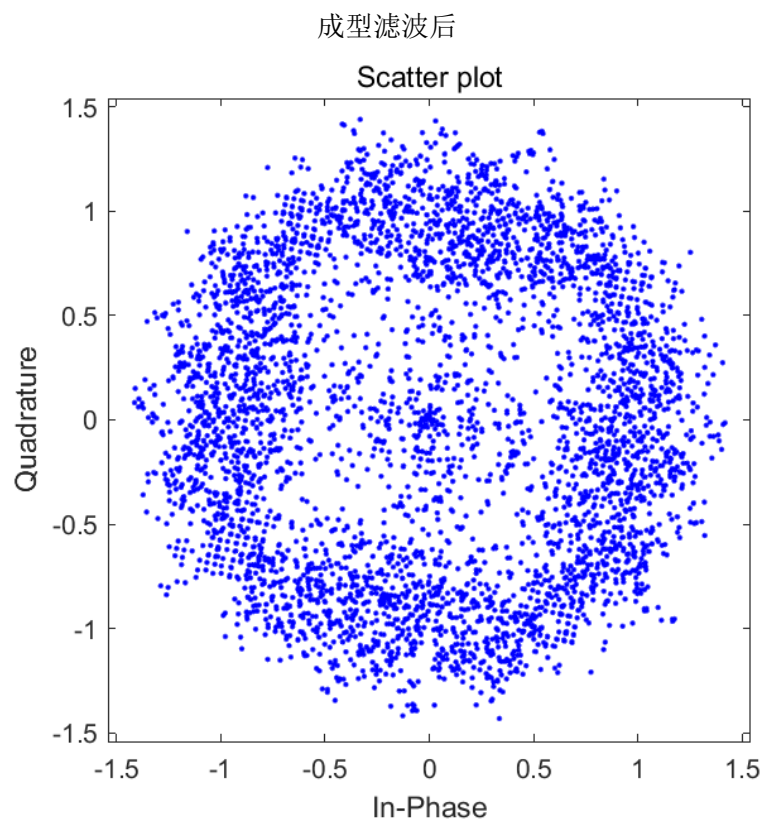
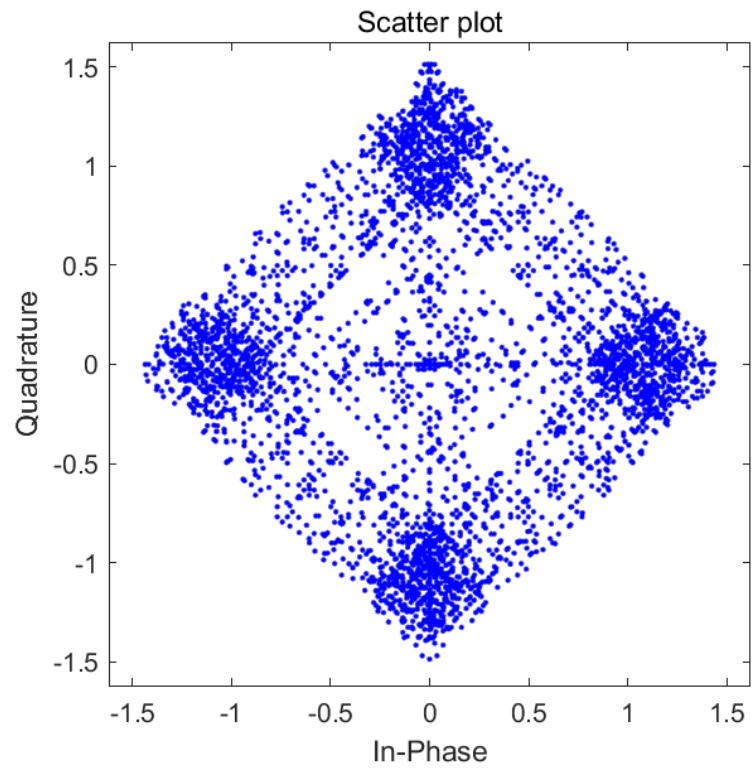


频域幅值

(6) QPSK 信号成型滤波前、成型滤波后、调制载波后的星座图



成型滤波前



### (7) FSK 信号生成程序

```
clear all;clc;close all;
```

```
%%-----参数设定-----%%
```

```

M=2; %% M=2 的 FSK
N=500; %%% 符号个数（信号时间长度与符号速率相乘即为符号个数）
fs=1;%采样频率
fd=0.1;%符号速率
fc0=0.29; %% 载频
fc1 = 0.31; %% 载频
r=fs/fd;%%% 过采样率
filtorder = 60; % 成型滤波器阶数
a=0.35; %% 滚降滤波器系数
delay = filtorder/(r*2); % 群延迟 Group delay (# of input samples)
h=rcosfir(a, delay, r,1,'sqrt');%%% 产生滤波器系数。采用根升余弦滤波器，
使得匹配接收后为升余弦滤波器，从而避免 ISI；
h=sqrt(r)*h/norm(h); %%% 归一化滤波器系数，使经过成型滤波后的信号功率为 1
SNR=10;%% 单位 dB,信噪比

%-----产生信号-----%

%-----产生符号与映射-----%
s=randsrc(N,1,[0:M-1]);
s_mod=fskmod(s, M, fc1 - fc0, r);
scatterplot(s_mod);%观察基带信号星座图

%-----过采样及成型滤波-----%
%-----过采样与矩形波形-----%
%      s_base=rectpulse(s_mod,r);%% 该程序是产生矩形波形的基带信号

%---根升余弦成型滤波器---% % 这三行程序是表示过采样，符号 1 表示成 1000 (r-1
个 0，此时 r=4)
s_base=zeros(r,N);%% N 个符号，每个符号 r 个采样点
s_base(1,:)=s_mod.';%% 第 1 行表示原有 N 个符号
s_base=s_mod;%% 把 rXN 矩阵转换成 rNX1 列向量
s_base=conv(h.',s_base);%%符号序列与根升余弦器卷积，实现波形成型
%% var(s_base) %%接近 1，信号功率已经归一化为 1

s_base=s_base(delay*r+1:end);%%去掉开始的群延迟部分

scatterplot(s_base);%观察成型滤波后的散点图
%----载波调制-----%
theta=rand*2*pi;%% 载波的初始相位，在 (0, 2pi) 之间均匀变化
s_a = [repelem(s, r); zeros(length(s_base) - N*r, 1)];
phase = (s_a ==
0).*exp(1j*(2*pi*fc0/fs*[0:length(s_base)-1].'+theta)) + (s_a ==
1).*exp(1j*(2*pi*fc1/fs*[0:length(s_base)-1].'+theta));
y_x=s_base.*phase;%Generate PSK modulated signal 不含噪声

```

```

scatterplot(y_x);%观察载波调制后的散点图
%---产生复高斯白噪声---%

noise=sqrt(1/10^(SNR/10)/2)*(randn(size(s_base))+j*randn(size(s_b
ase)));%Generate complex noise signal

%----- 产生含噪声的发射信号 ----%
y=y_x+noise;

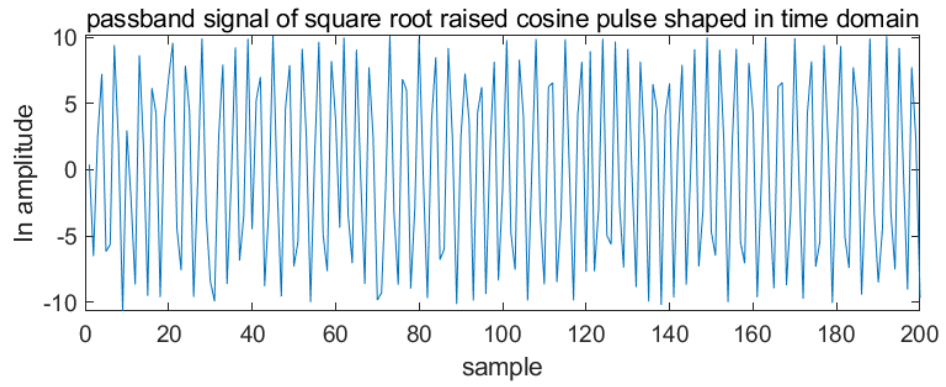
%-----画图-----%
figure;%画 200 个采样点长度的无噪波形图,实部虚部分别画,长度可自行变化
NT=200;
subplot(2,1,1);plot(real(y_x(1:NT)));title('passband signal of
square root raised cosine pulse shaped in time
domain');xlabel('sample');ylabel('In amplitude');
subplot(2,1,2);plot(imag(y_x(1:NT)));title('passband signal of
square root raised cosine pulse shaped in time
domain');xlabel('sample');ylabel('Qn amplitude');

figure;%画含噪频谱图
NN2=length(y);
FF2=linspace(-fs/2,fs/2,NN2);%% 频谱观察范围为-fs/2~fs/2 之间
YF_yc=abs(fft(y));
plot(FF2,fftshift(YF_yc));title('passband signal of pulse shaped in
frequency domain');xlabel('normalized
frequency');ylabel('amplitude');

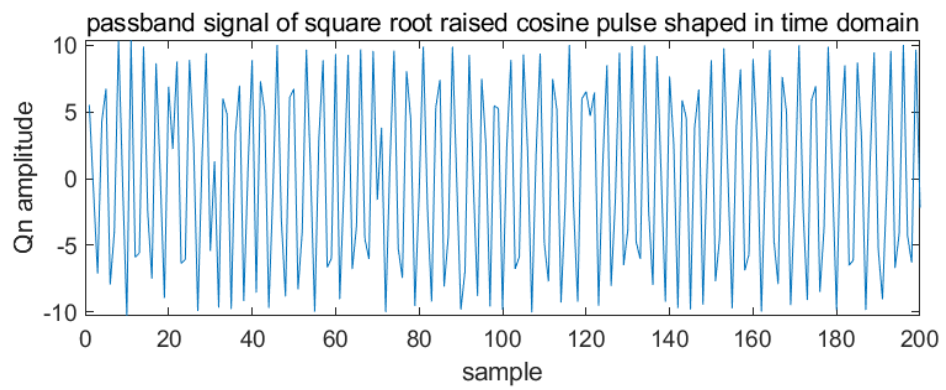
figure;%画含噪四次方频谱图
NN2=length(y);
FF2=linspace(-fs/2,fs/2,NN2);
YF_yc=abs(fft(y.^4-mean(y.^4)));%% 信号四次方是正数,含有直流分量,故减去
直流
plot(FF2,fftshift(YF_yc));title('四次方谱');xlabel('nomalized
frequency');ylabel('amplitude');

```

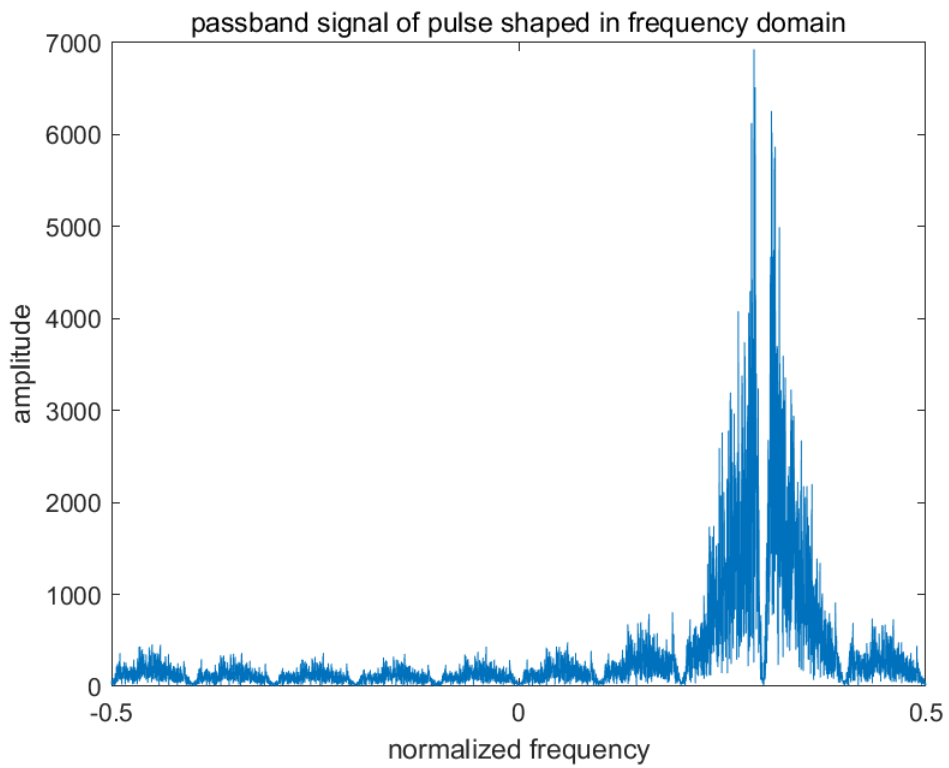
## (8) FSK 信号调制后的时域和频域图



时域实值

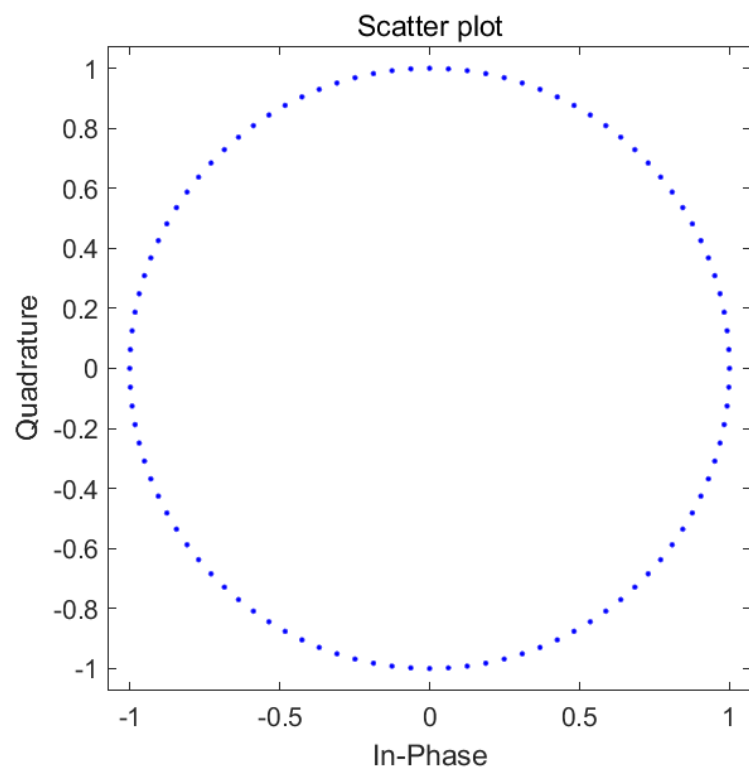


时域虚值

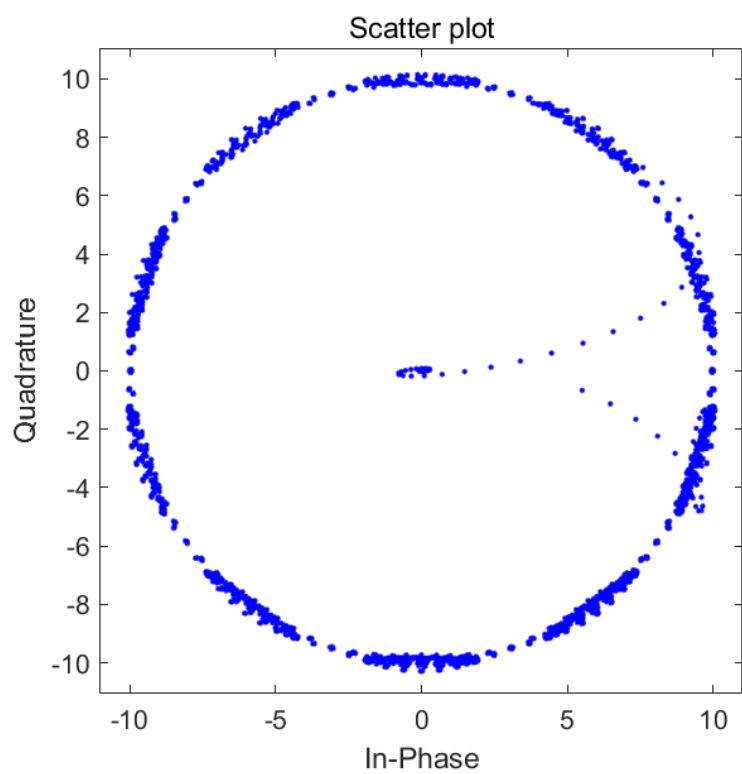


频域幅值

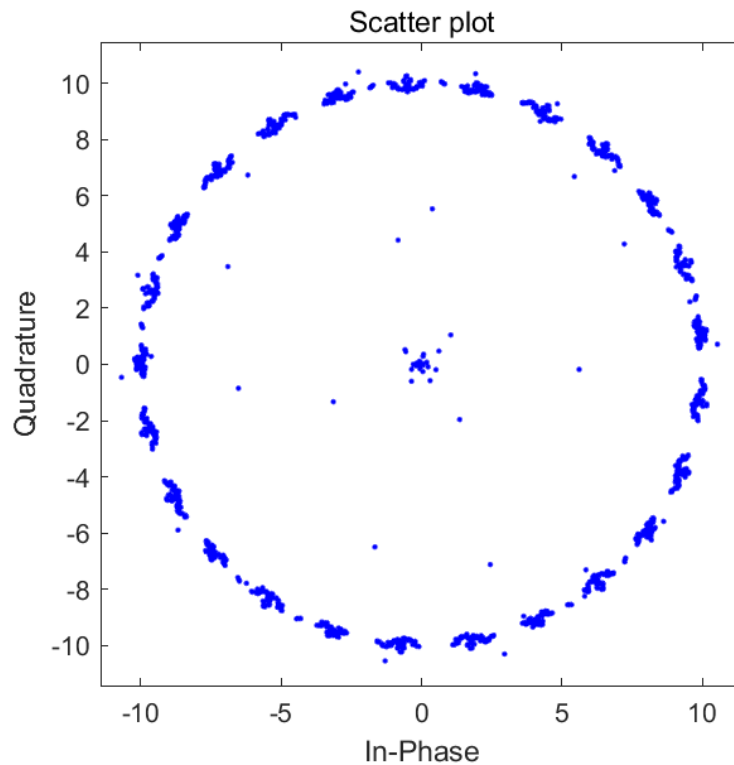
(9) FSK 信号成型滤波前、成型滤波后、调制载波后的星座图



成型滤波前



成型滤波后



调制载波后

#### (10) ASK 信号生成程序

```
clear all;clc;close all;

%%----参数设定-----%%
M=2; %% M=2 的 ASK
N=500; %%% 符号个数（信号时间长度与符号速率相乘即为符号个数）
fs=1;%采样频率
fd=0.1;%符号速率
fc=0.3; %% 载频
r=fs/fd;%%% 过采样率
filtorder = 60; % 成型滤波器阶数
a=0.35; %% 滚降滤波器系数
delay = filtorder/(r*2); % 群延迟 Group delay (# of input samples)
h=rcosfir(a, delay, r,1,'sqrt');%%% 产生滤波器系数。采用根升余弦滤波器，
使得匹配接收后为升余弦滤波器，从而避免 ISI;
h=sqrt(r)*h/norm(h); %%% 归一化滤波器系数，使经过成型滤波后的信号功率为 1
SNR=10;%% 单位 dB,信噪比

%-----产生信号-----%

%-----产生符号与映射-----%
s=randsrc(N,1,[0:M-1]);
s_mod=s;
```



```

scatterplot(s_mod);%观察基带信号星座图

%-----过采样及成型滤波-----%
%-----过采样与矩形波形-----%
%      s_base=rectpulse(s_mod,r);%% 该程序是产生矩形波形的基带信号

%---根升余弦成型滤波器----%% 这三行程序是表示过采样,符号1表示成1000(r-1
个0,此时r=4)
s_base=zeros(r,N);%% N个符号,每个符号r个采样点
s_base(1,:)=s_mod.';%% 第1行表示原有N个符号
s_base=s_base(:);%% 把rXN矩阵转换成rNX1列向量
s_base=conv(h.',s_base);%%符号序列与根升余弦器卷积,实现波形成型
%% var(s_base) %%接近1,信号功率已经归一化为1

% %      s_base=s_base(delay*r+1:end);%%去掉开始的群延迟部分

scatterplot(s_base);%观察成型滤波后的散点图
%----载波调制-----%
theta=rand*2*pi;%% 载波的初始相位,在(0, 2pi)之间均匀变化

y_x=s_base.*exp(1j*(2*pi*fc/fs*[0:length(s_base)-1].'+theta));%Ge
nerate PSK modulated signal 不含噪声
scatterplot(y_x);%观察载波调制后的散点图
%---产生复高斯白噪声---%

noise=sqrt(1/10^(SNR/10)/2)*(randn(size(s_base))+j*randn(size(s_b
ase)));%Generate complex noise signal

%----- 产生含噪声的发射信号 ---%
y=y_x+noise;

%-----画图-----%
figure;%%画200个采样点长度的无噪波形图,实部虚部分别画,长度可自行变化
NT=200;
subplot(2,1,1);plot(real(y_x(1:NT)));title('passband signal of
square root raised cosine pulse shaped in time
domain');xlabel('sample');ylabel('In amplitude');
subplot(2,1,2);plot(imag(y_x(1:NT)));title('passband signal of
square root raised cosine pulse shaped in time
domain');xlabel('sample');ylabel('Qn amplitude');

figure;%%画含噪频谱图
NN2=length(y);

```

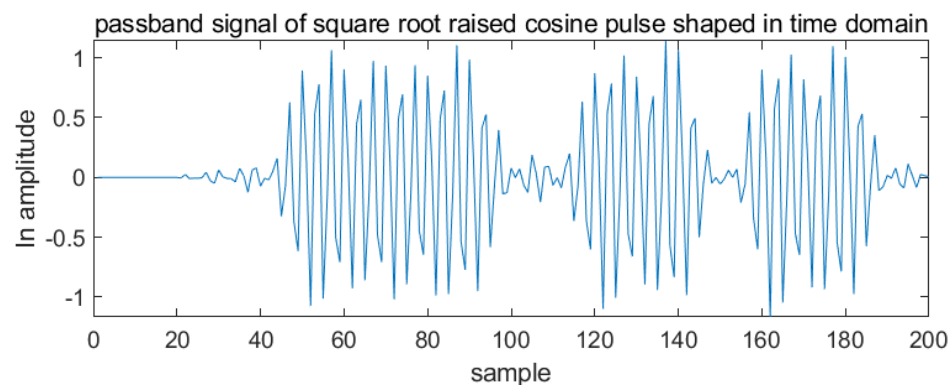
```

FF2=linspace(-fs/2,fs/2,NN2);%% 频谱观察范围为-fs/2~fs/2 之间
YF_yc=abs(fft(y));
plot(FF2,fftshift(YF_yc));title('passband signal of pulse shaped in
frequency domain');xlabel('normalized
frequency');ylabel('amplitude');

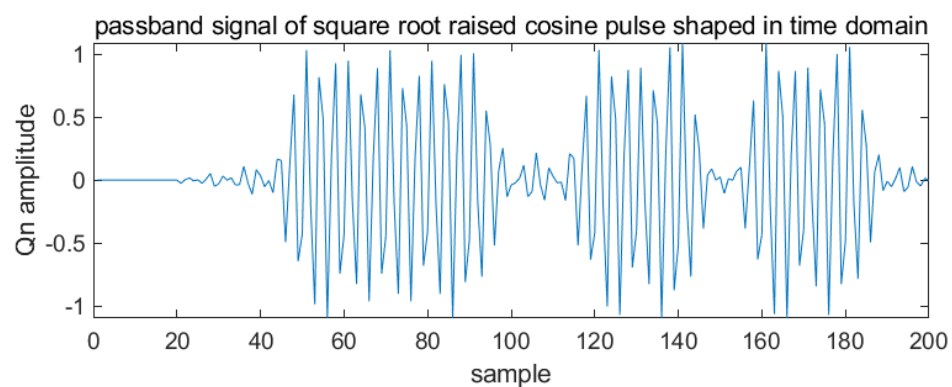
figure;%%画含噪四次方频谱图
NN2=length(y);
FF2=linspace(-fs/2,fs/2,NN2);
YF_yc=abs(fft(y.^4-mean(y.^4)));%% 信号四次方是正数，含有直流分量，故减去
直流
plot(FF2,fftshift(YF_yc));title('四次方谱');xlabel('nomalized
frequency');ylabel('amplitude');

```

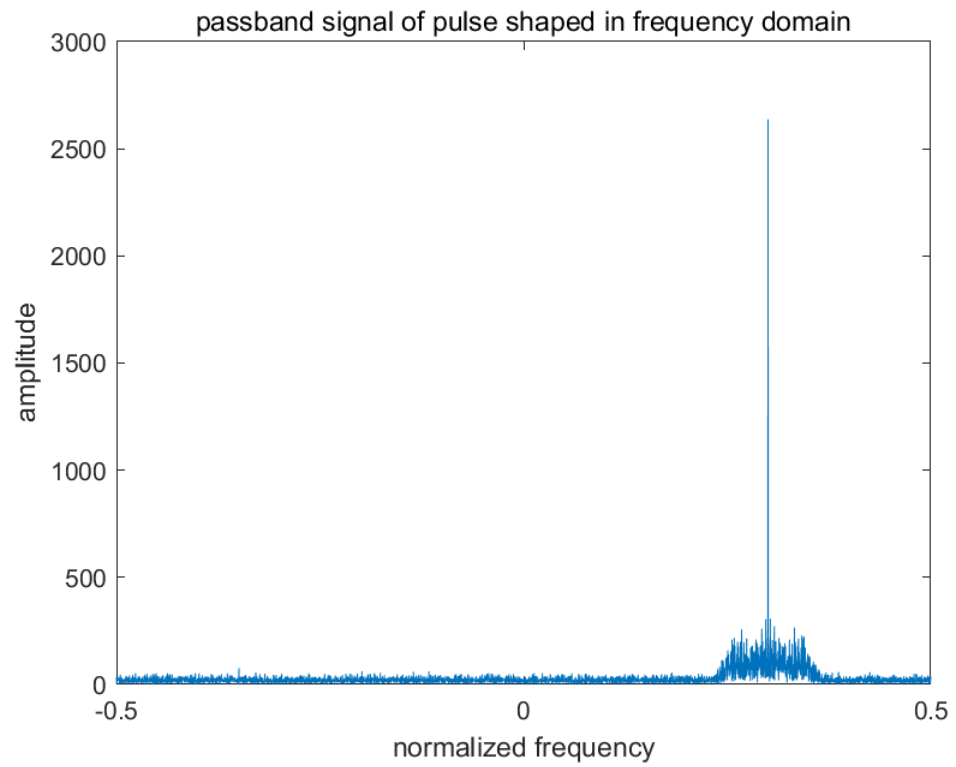
### (11) ASK 信号调制后的时域和频域图



时域实值

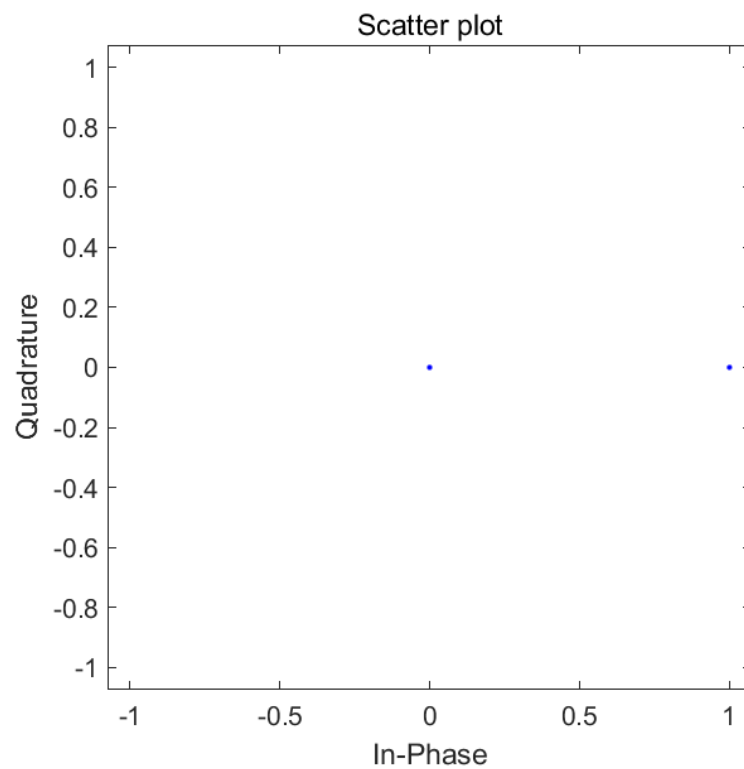


时域虚值

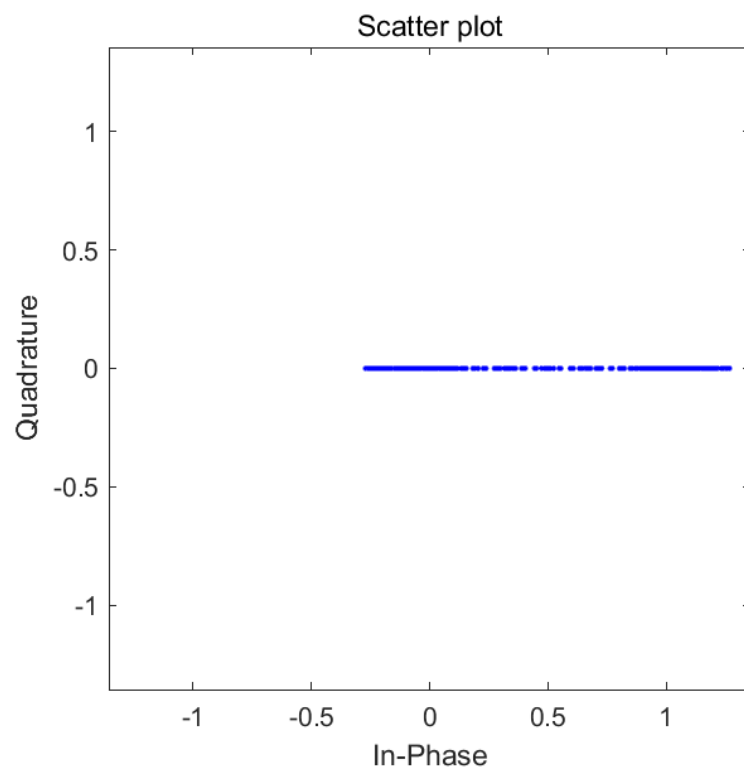


频域幅值

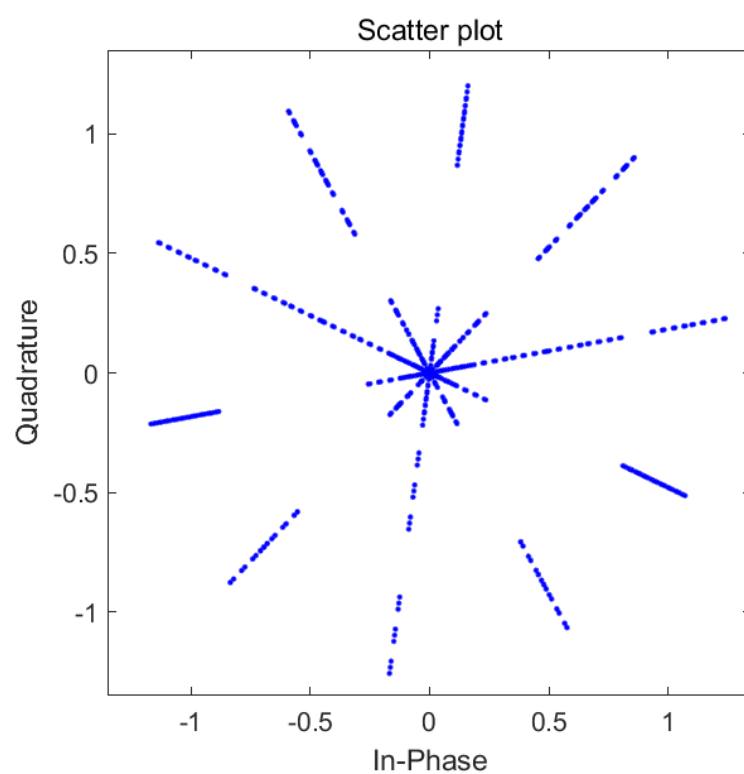
(12) ASK 信号成型滤波前、成型滤波后、调制载波后的星座图



成型滤波前



成型滤波后



调制载波后

## 十、实验结论

(1) BPSK 信号:

频谱图：频谱图显示 BPSK 信号的频率特性，其主要能量集中在载频频率上，具有单个频率成分。

星座图：成型滤波前的星座图显示两个离散的点代表不同的相位值（0 和  $\pi$ ）。滤波后和调制载频后的星座图将显示一个更平滑的星座图案，因为滤波和载频调制会引入相位连续性并减小噪声。

## (2) QPSK 信号：

星座图：成型滤波前的星座图显示四个离散的点，代表不同的相位和幅度组合。滤波后和调制载频后的星座图会显示更平滑的星座图案，且相邻星座点之间的距离较远。

## (3) 2FSK 信号：

频谱图：频谱图显示 2FSK 信号的频率特性，具有两个主要峰值，对应于两个调制频率。

## (4) 2ASK 信号：

频谱图：频谱图显示 2ASK 信号的频率特性，具有载频和其两侧的副瓣。

星座图：滤波前的星座图将显示两个离散的点，代表两种可能的振幅状态。滤波后和调制载频后的星座图将显示两个更为连续的点，因为滤波和载频调制引入了平滑的变化。

# 十一、总结及心得体会

本实验涉及了常见的数字调制技术，如 BPSK、QPSK、2FSK 和 2ASK。通过实验可以深入理解不同调制方式的原理和特性。

滤波器的作用：在实验中，使用了根升余弦滤波器进行成型滤波。成型滤波器可以改善信号的频谱特性和抑制噪声，使其更适合传输和接收端的解调。

时域波形和频谱分析：通过绘制信号的时域波形和频谱图，可以观察信号的幅度、相位和频率特性。这些图形提供了对信号属性的直观认识，有助于理解不同调制方式的差异。

**星座图的分析：**星座图是复数信号的相位和幅度的可视化表示。通过绘制星座图，可以观察信号的相位变化和调制效果。星座图的形状和分布反映了信号的调制方式和传输环境中引入的干扰。

**调制参数对信号性能的影响：**实验中改变了比特率、调制指数和载频等参数，观察了频谱和星座图的变化。这提醒我们不同参数对信号性能的影响，如带宽利用率、抗噪声性能和相位连续性。

总之，通过完成该实验，我们可以更深入地理解数字通信调制技术的原理和特性。同时，对于信号的时域波形、频谱分析和星座图的观察，可以帮助我们直观地了解信号的传输特性和调制方式的效果。这些实验将有助于加深对数字通信系统的理解和应用。

## **十二、对本实验过程及方法、手段的改进建议：**

**引入误差分析：**在实验结果的讨论部分，可以引入误差分析，如噪声引入、滤波器设计参数选择等。这有助于理解实际系统中可能出现的误差和限制，并促进对实验结果的深入思考。

**提供数据处理指导：**对于实验结果的数据处理，可以提供一些具体的指导，例如如何计算信号的功率谱密度、星座图的生成和分析等。以更好地理解信号处理的基本概念和技术。

**推广到实际应用：**除了完成实验要求外，可以思考该实验在实际通信系统中的应用，并进一步探讨相关的技术挑战和解决方案。