电 子 科 技 大 学

UNIVERSITY OF ELECTRONIC SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA

计算机网络与通信技术

项目四总报告



指导教师  **徐杰**

作者姓名 **刘文晨 郝绮瑞 邓召麒 崔晨奇**

班组号 **3组**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **姓名** | **学号** | **小组分工** |
| 刘文晨 | 2018080901006 | 阶段一、QPSK、16QAM |
| 郝绮瑞 | 2018110601003 | 阶段一 |
| 邓召麒 | 2018160701016 | 阶段一 |
| 崔晨奇 | 2018080901003 | 阶段一 |

2019年10月22日

**报告目录**

1. **实验课程名称：**计算机网络和通信技术
2. **实验名称：**­­­­­­­­­­­­­­­­­­­普通及高级调制技术设计与仿真
3. **实验目的：**
4. 普通调制技术

* 在多进制数字调制中，完成2ASK、2FSK与2PSK信号的调制和解调
* 通过仿真了解通信系统基本构成
* 掌握基本的数字信号调制、解调方法
* 观察信道环境对传输信号的影响

1. 高级调制技术

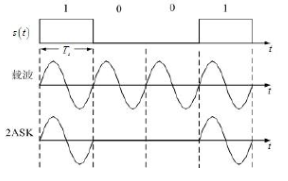
* 在多进制数字调制中，完成QPSK与QAM（选做）的调制。
* 观察每种信号的时域波形与星座图（选做）
* 对比普通调制技术分析QPSK、QAM（选做）技术的区别和优势

1. **实验原理、过程、结果及分析：**
2. 二进制振幅键控（2ASK）
   1. ASK调制原理

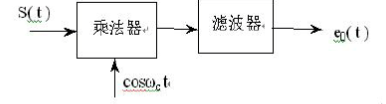
振幅键控就是利用载波的幅度变化来传递数字信息，而其频率和初始相位保持不变。在2ASK中，载波的幅度只有两种变化状态，分别对应二进制信息0和1，二进制振幅键控的表达式为：

式中，为载波的角频率，是随基带调制信号变化的时变振幅，即：

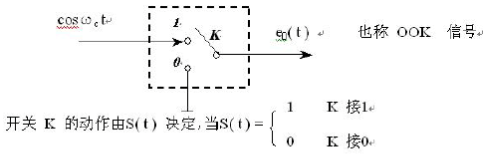
典型波形如下图所示：



2ASK信号的产生方法通常有两种：模拟调制法和键控法。模拟调制法就是用基带信号与载波相乘，进而把基带信号调制到载波上进行传输。该方法的调制如下图所示：

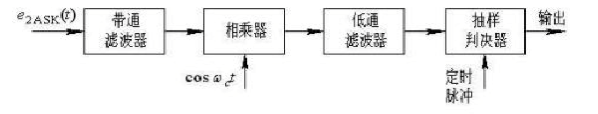


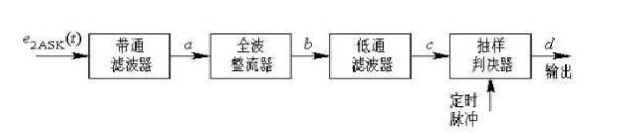
而键控法由来控制电路的开关而进行调制，如下图所示：



* 1. ASK解调原理

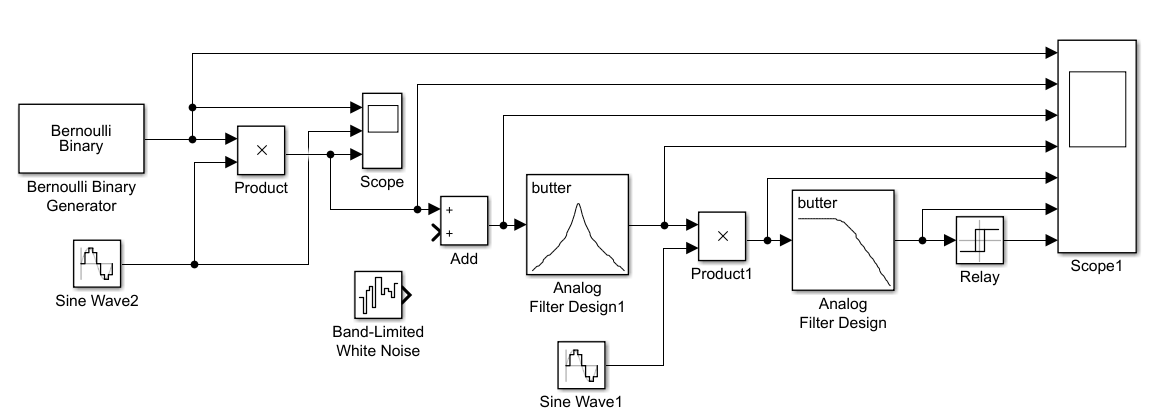
2ASK有两种基本解调方法：相干解调法和非相干解调法。相干解调法需要将载频位置的已调信号频谱重新搬回原始基带位置，因此用相乘器与载波相乘来实现。相乘后的信号只要滤除高频部分就可以了。为确保无失真还原信号，必须在接收端提供一个与调制载波严格同步的本地载波，这是整个解调过程能否顺利完好进行的关键。本次设计采用相干解调法，原理图如下所示：



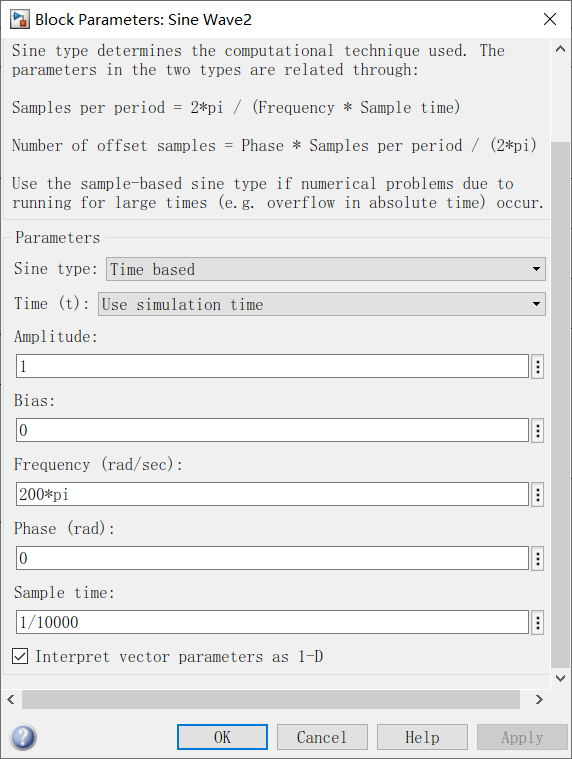
不相干解调法的原理图如下所示：  


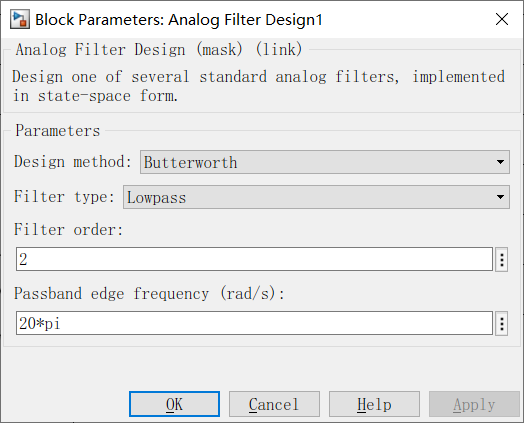
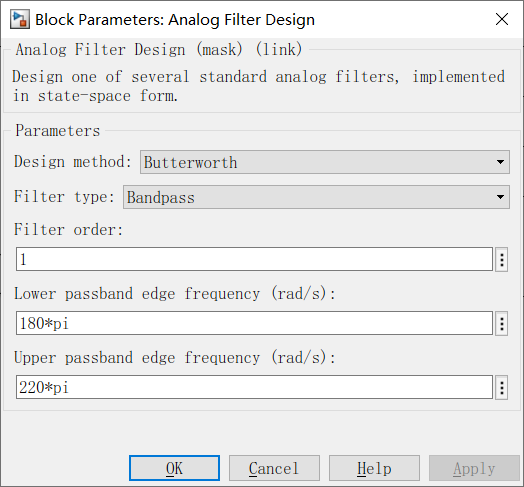
* 1. 仿真过程、结果及分析

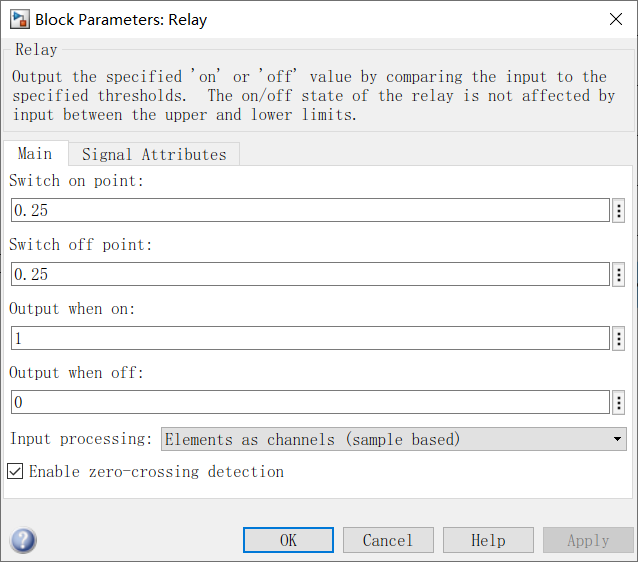
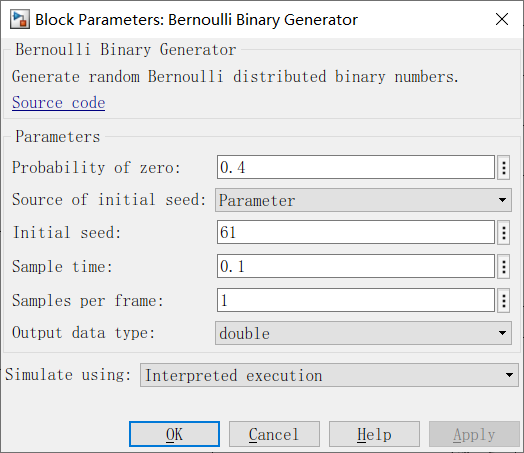
通过simulink搭建电路，产生随机信号，实现2ASK的调制与解调过程。本次实验采用模拟调制法和相干解调法。ASK仿真图如下所示：



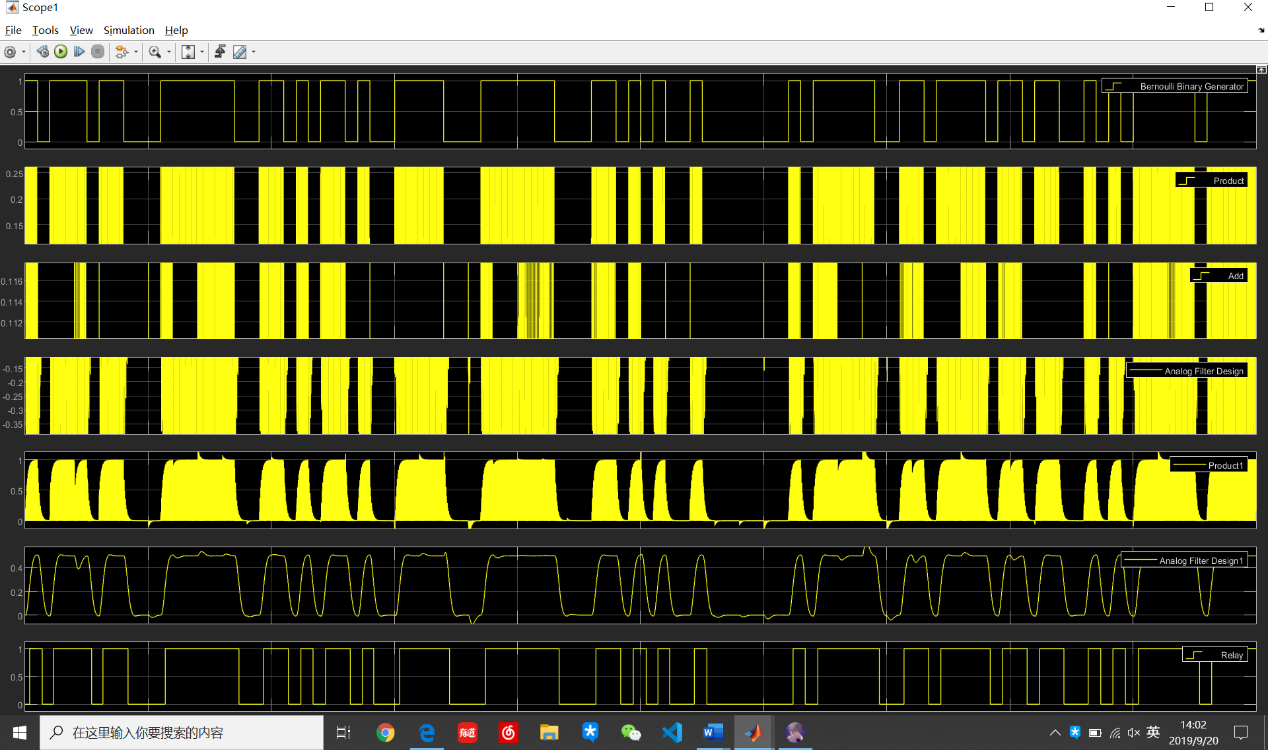
各器件的参数如下所示：





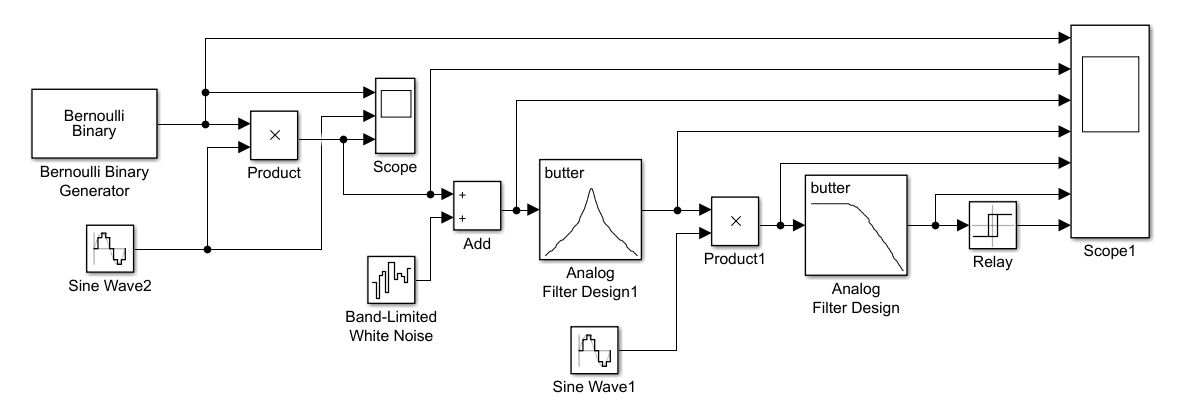


设置好各器件的参数并运行，双击scope元件，波形图如下所示：

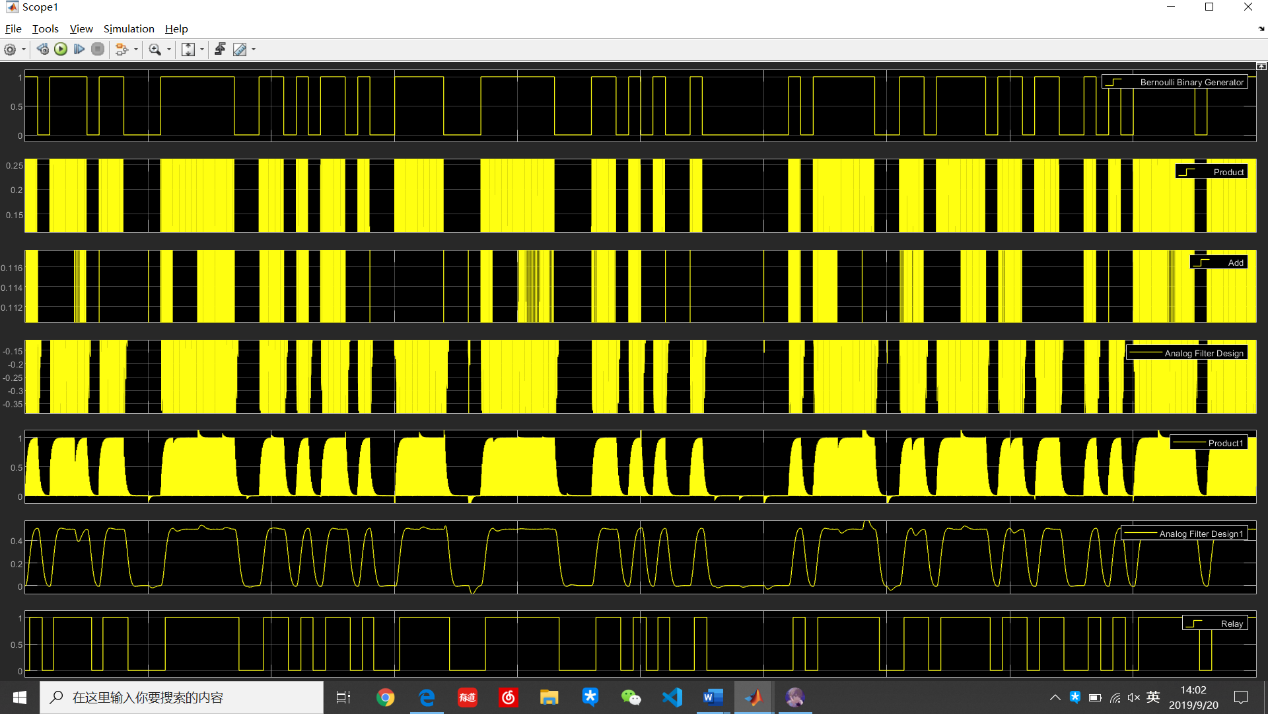


通过对比第一路和第七路我们可以看出，解调后的波形图比输入信号波形图延后了一些，这是因为信号在信道中传播是有一定的延迟的。信号在信道中从源端到达宿端需要的时间即为信道延迟，它与信道的长度及信号传播速度有关。

当我们把名为Band-Limited White Noise的元件接入电路，即接入了白噪声，仿真图如下所示：



双击该元件，设置其Noise power为0.001，Sample time为0.001，然后运行，双击scope，波形图如下所示：



我们看到波形图共有七路：

第一路是输入信号波形图。

第二路是ASK已调后的波形图。

第三路是加入噪声后的波形图。

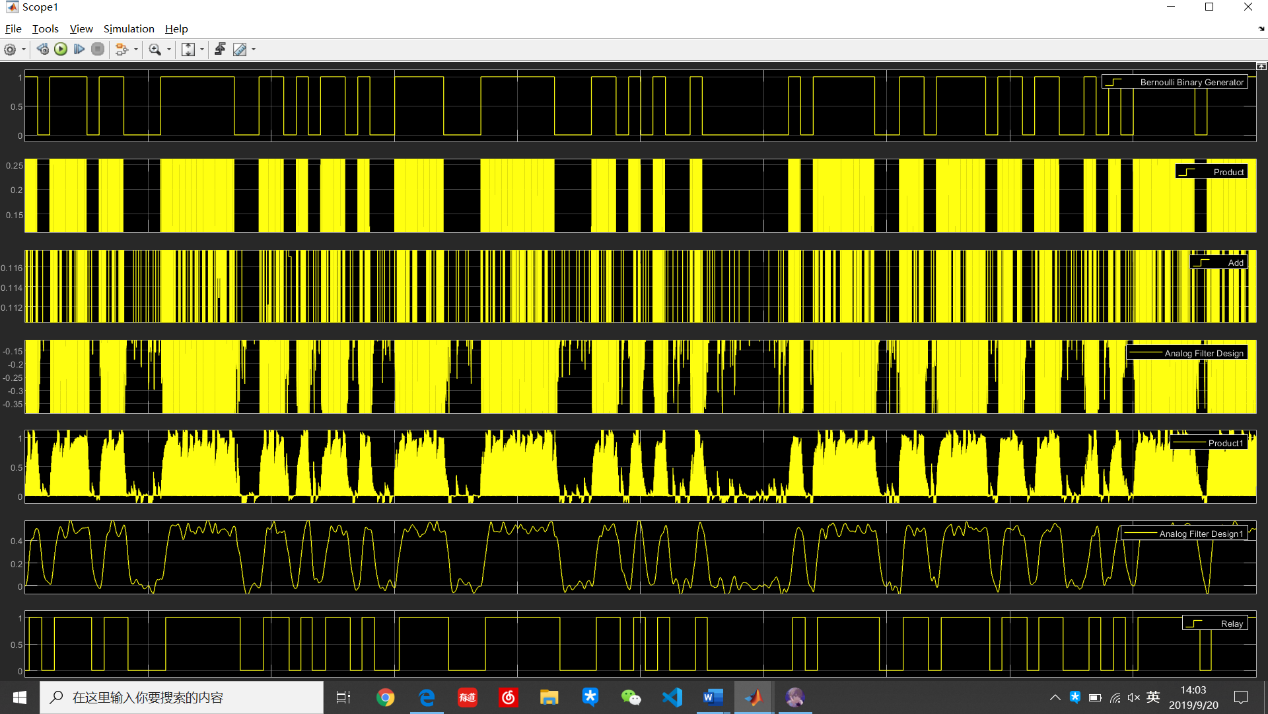
第四路是经过带通滤波器后的波形图。

第五路是经过带通滤波器后与载波相乘后的波形图。

第六路是经过低通滤波器后的波形图。

第七路是ASK解调后的波形图。

再修改Noise power、Sample time均为0.01，重复上述步骤，波形图如下所示：



最后修改Noise power、Sample time均为0.1，重复上述步骤，波形图如下所示：



综合以上三个接入了不同功率的白噪声的仿真波形图我们可以看出：

随着白噪声功率越来越大，解调后的波形图相比于输入信号波形图的失真越来越明显。

1. 二进制移频键控（2FSK）

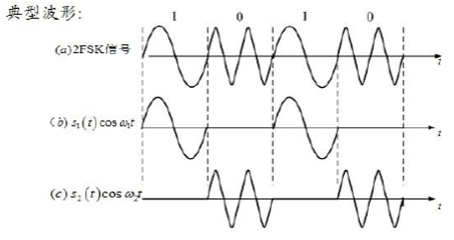
2.1、 FSK调制原理

一个FSK信号可以看成是两个不同载波的2 ASK信号的叠加。其调制和解调方法和ASK信号的频谱可以看成是f1和f2的两个2ASK频谱的组合。

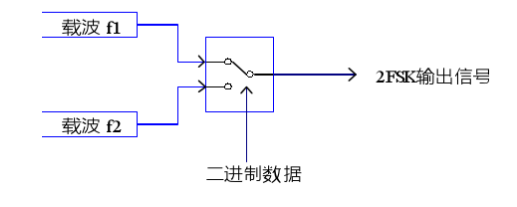
频移键控是利用载波的频率来传递数字信号，在2FSK中，载波的频率随二进制基带信号在f1和f2两个频率点间变化，频移键控是利用

载波的频移变化来传递数字信息的。故其表达式为：

典型波形如下图所示：

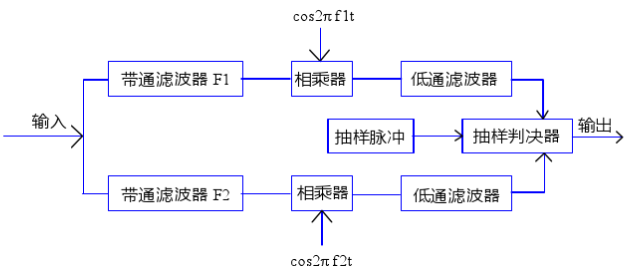


2FSK的调制方法有两种：模拟调频法和键控法。键控法中可以用二进制1来对应载频f1，而用二进制0来对应另一个载频f2。本次实验采用键控法，原理图如下所示：

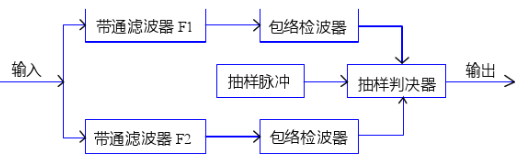


2.2、 FSK解调原理

2FSK的解调方法有两种：相干解调法和不相干解调法。相干解调法是先用两个分别对f1、f2带通的滤波器对已调信号进行滤波，然后再分别将滤波后的信号与相应的载波f1、f2相乘进行相干解调，最后分别低通滤波、用抽样信号进行抽样判决。原理图如下所示：



非相干解调法是经过调制后的2FSK数字信号通过两个频率的带通滤波器f1、f2滤出不需要的信号，然后将这两种经过滤波的信号分别通过包络检波器检波，最后将两种信号同时输入到抽样判决器同时外加抽样脉冲，最后解调出来的信号就是调制前的输入信号。其原理图如下所示：

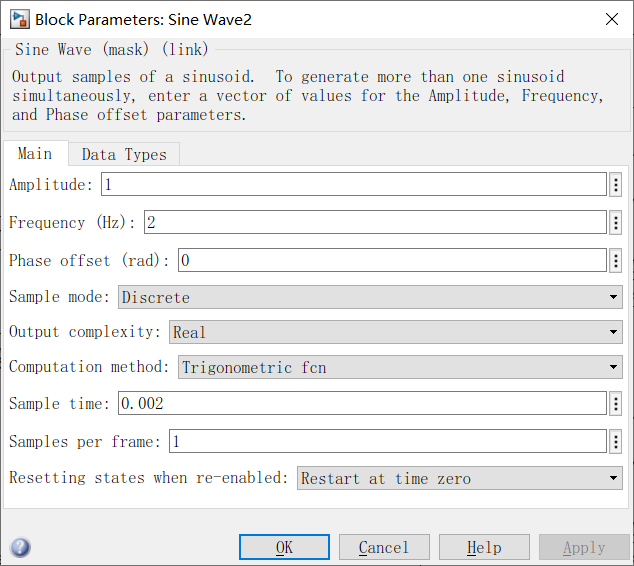
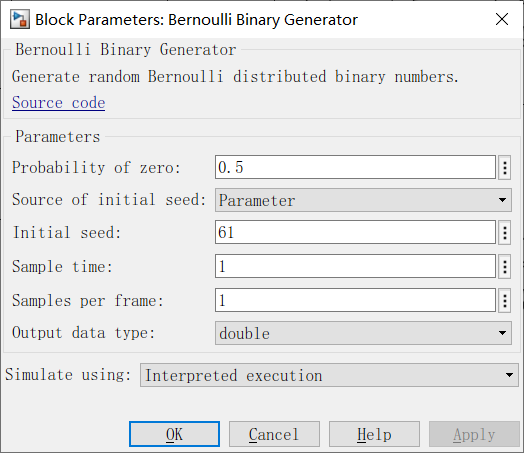


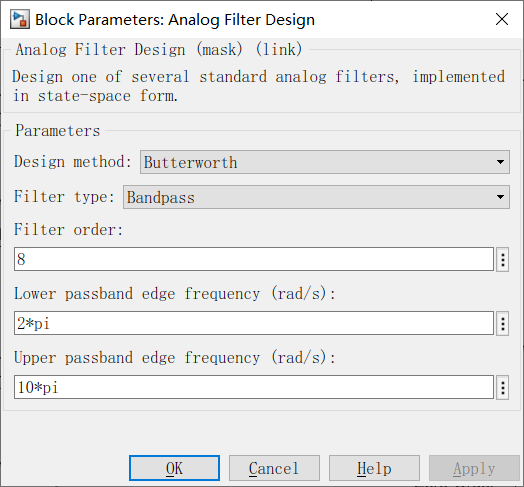
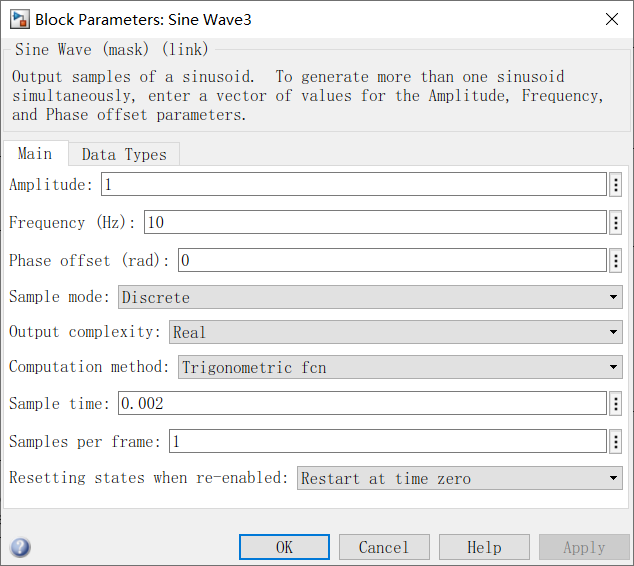
2.3、 仿真过程、结果及分析

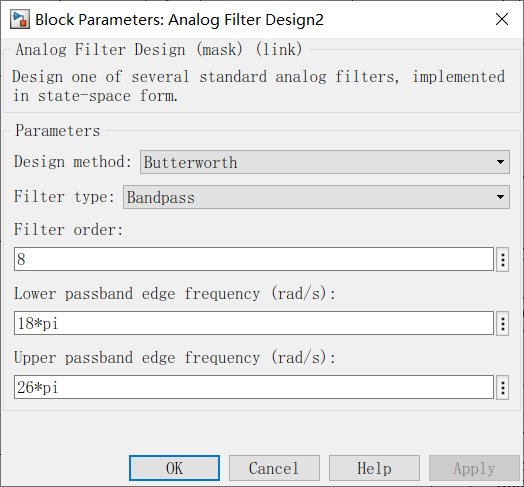
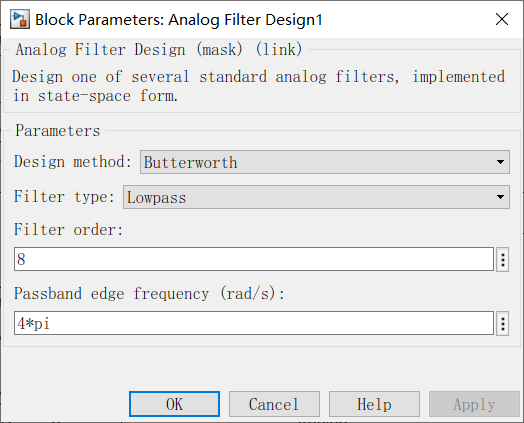
通过simulink搭建电路，产生随机信号，实现2FSK的调制与解调过程。本次实验采用键控法和相干解调法。FSK仿真图如下所示：

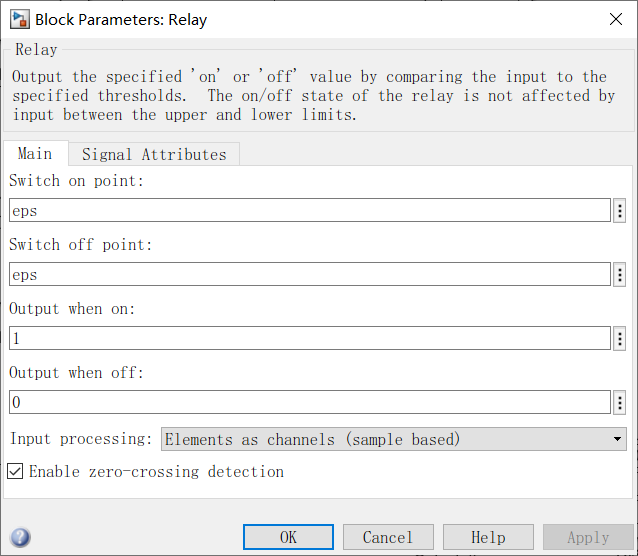
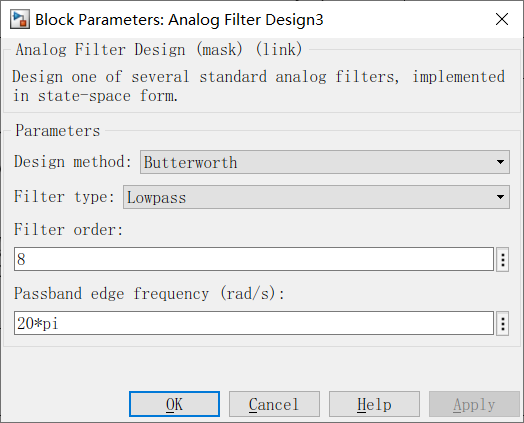


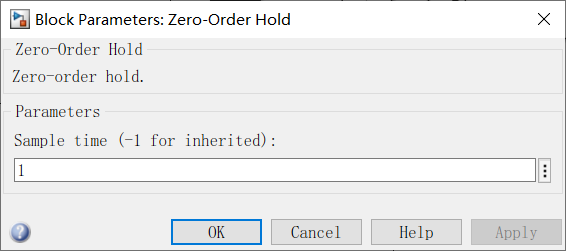
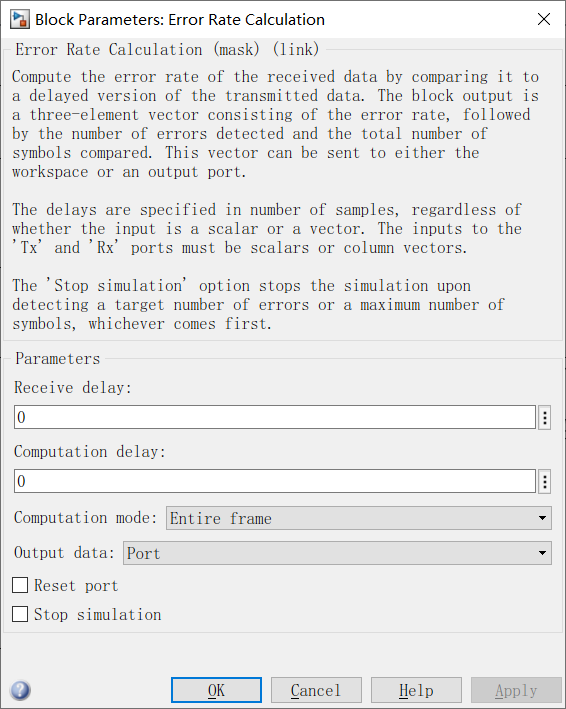
各器件的参数如下所示：



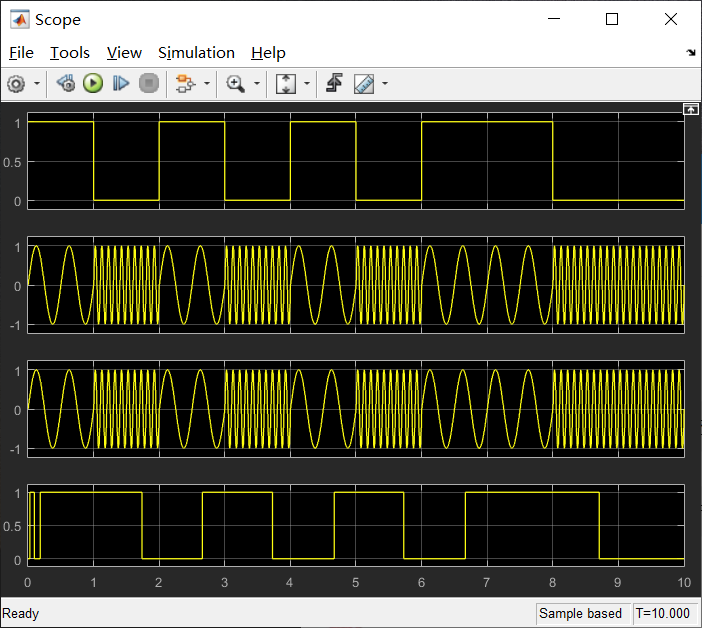






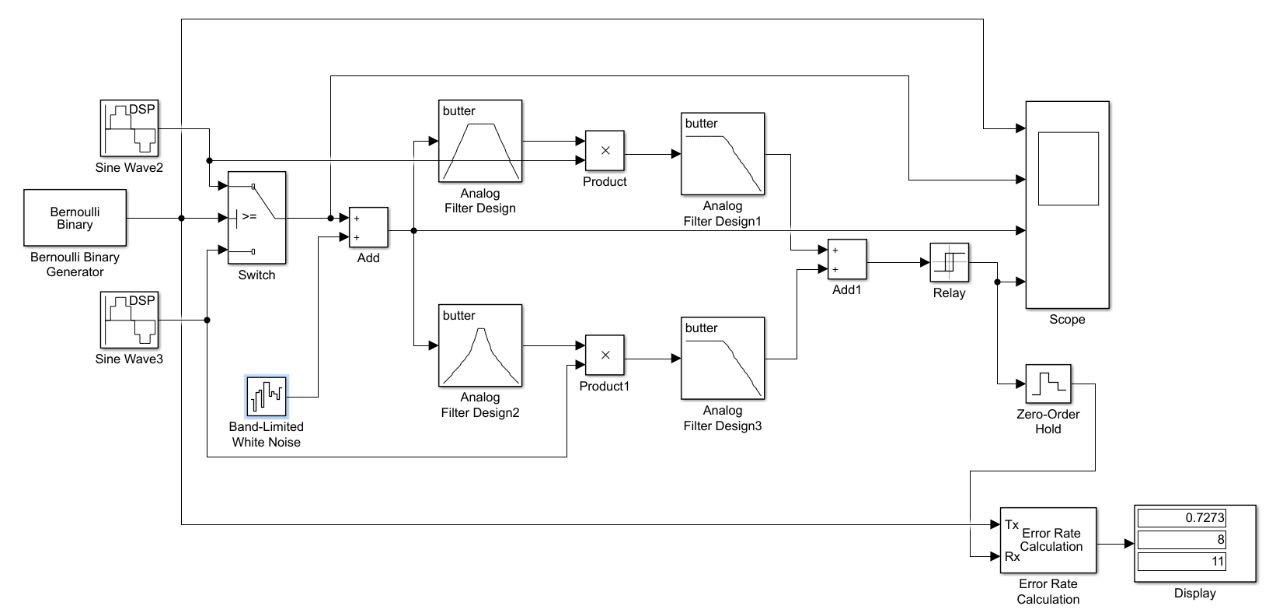


设置好各器件的参数并运行，双击scope元件，波形图如下所示：

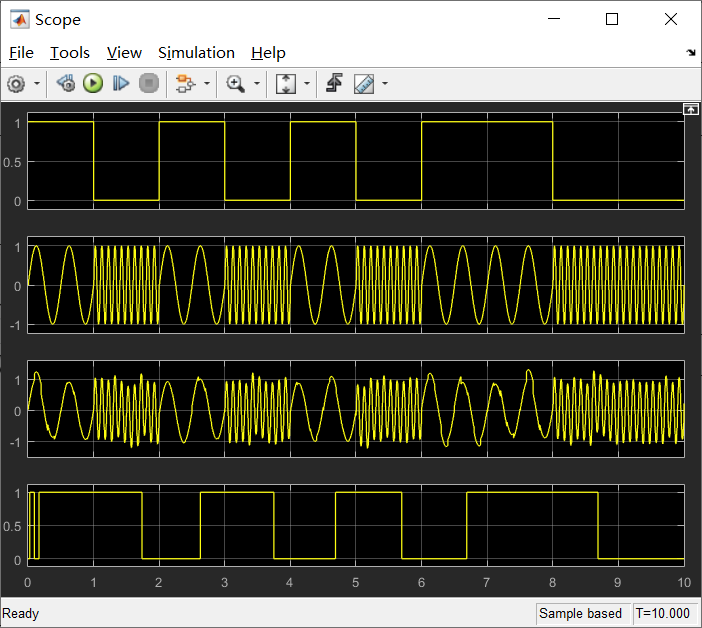


通过对比第一路和第四路我们可以看出，解调后的波形图比输入信号波形图延后了一些，这是因为信号在信道中传播是有一定的延迟的。信号在信道中从源端到达宿端需要的时间即为信道延迟，它与信道的长度及信号传播速度有关。

当我们把名为Band-Limited White Noise的元件接入电路，即接入了白噪声，仿真图如下所示：



双击该元件，设置其Noise power为0.001，Sample time为0.001，然后运行，双击scope，波形图如下所示：



我们看到波形图共有四路：

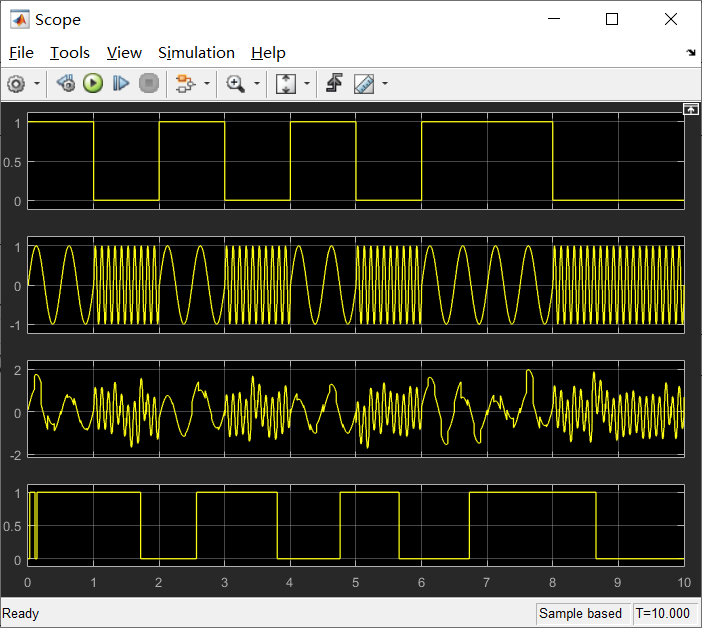
第一路是输入信号波形图。

第二路是FSK已调后的波形图。

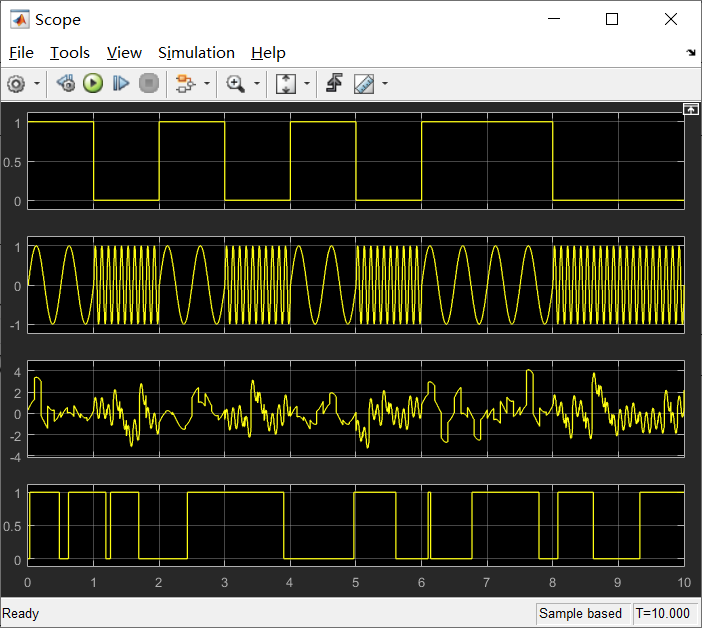
第三路是加入噪声后的波形图。

第四路是FSK解调后的波形图。

再修改Noise power、Sample time均为0.01，重复上述步骤，波形图如下所示：



最后修改Noise power、Sample time均为0.1，重复上述步骤，波形图如下所示：

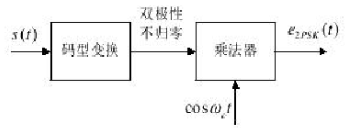


综合以上三个接入了不同功率的白噪声的仿真波形图我们可以看出：随着白噪声功率越来越大，解调后的波形图相比于输入信号波形图的失真越来越明显。

1. 二进制相移键控（2PSK）

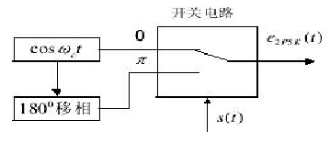
3.1、 PSK调制原理

在二进制数字调制中，当正弦载波的相位随二进制数字基带信号离散变化时，则产生二进制移位相键控（2PSK）信号。2PSK的调制方法有两种：模拟调频法和键控法。通常用已调信号载波的0°和180°分别表示二进制基带信号的1和0，模拟调制法用两个反相的载波信号进行调制。2PSK以载波的相位变化作为参考基准，当基带信号为0时相位为0°，当基带信号为1时相位为180°。模拟调制法原理图如下所示：



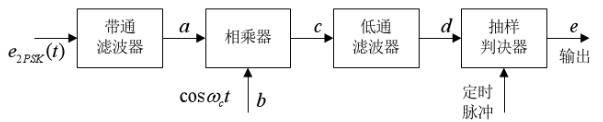
键控法，是用载波的相位来携带二进制信息的调制方式。通常用0°和180°来分别代表0和1.其时域表达式为：

键控法原理图如下所示：



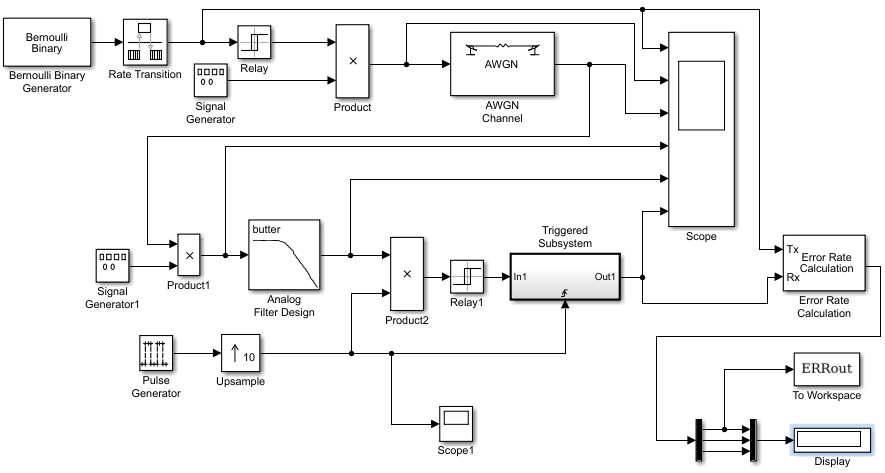
3.2、 PSK解调原理

由于2PSK的幅度是恒定的，必须进行相干解调。经过带通滤波的信号在相乘器中与本地载波相乘，然后用低通滤波器滤除高频分量，再进行抽样判决。其原理图如下所示：

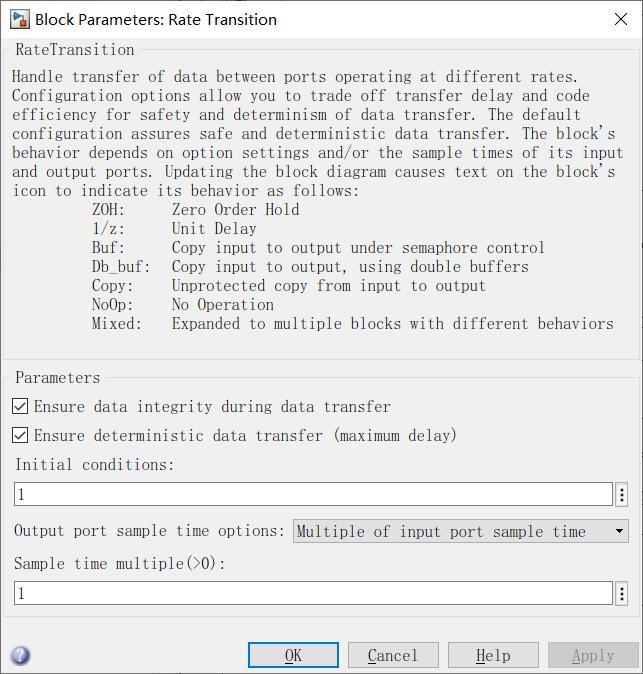
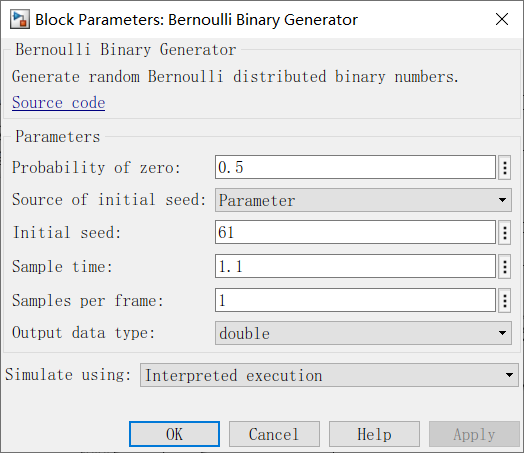


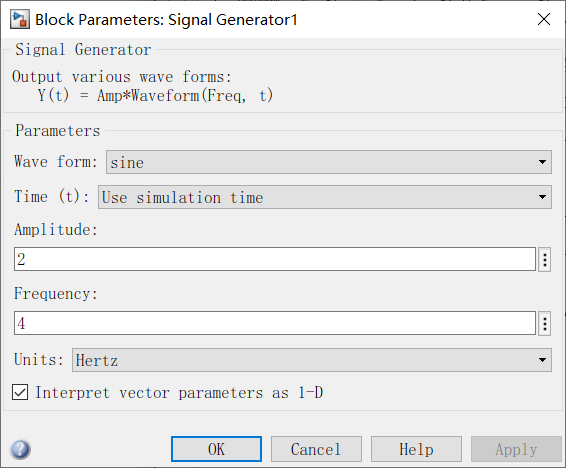
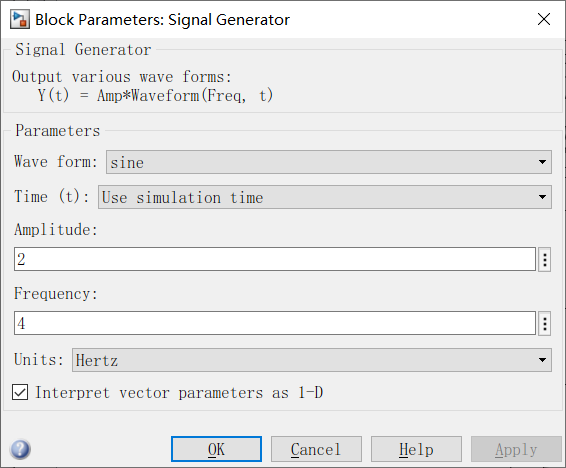
3.3、 仿真过程、结果及分析

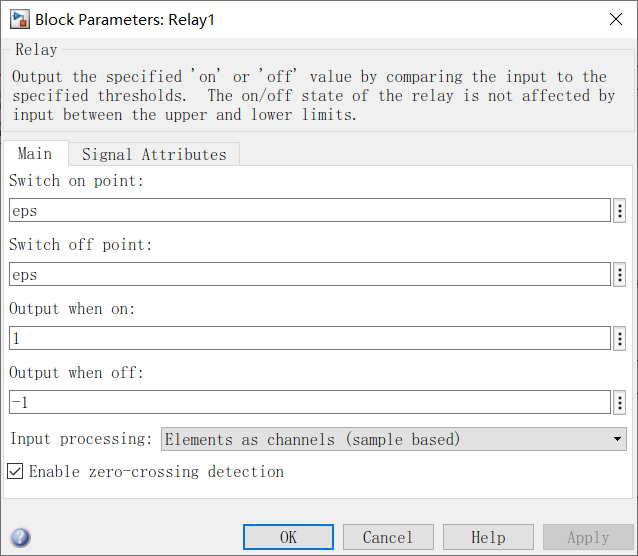
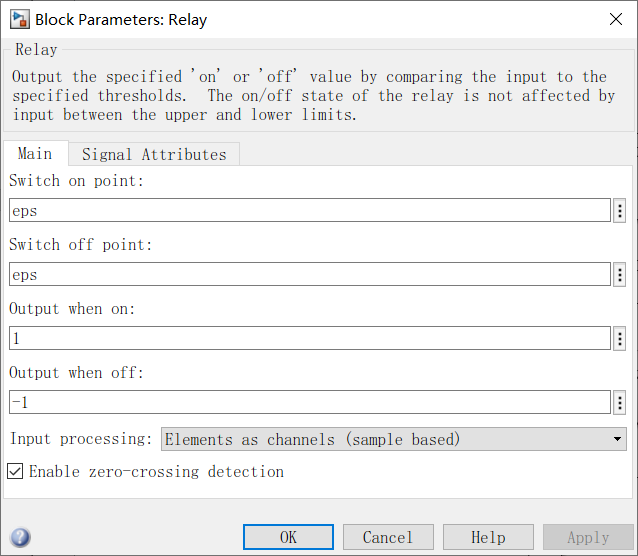
通过simulink搭建电路，产生随机信号，实现2PSK的调制与解调过程。本次实验采用模拟调制法和相干解调法。PSK仿真图如下所示：

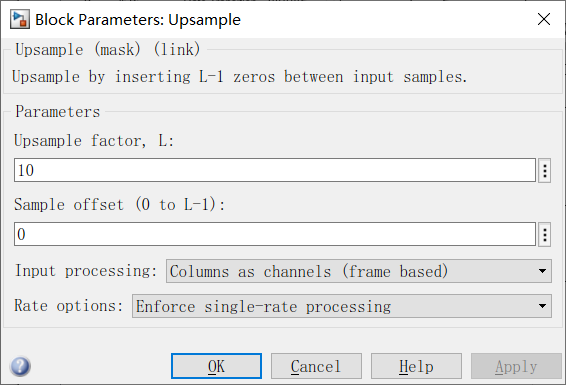
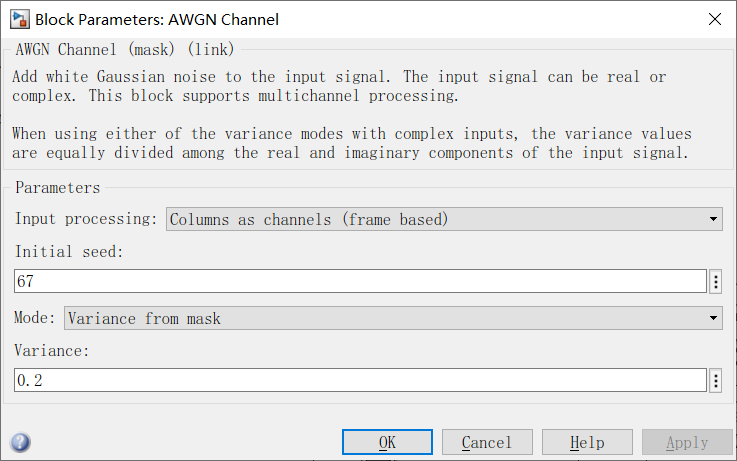


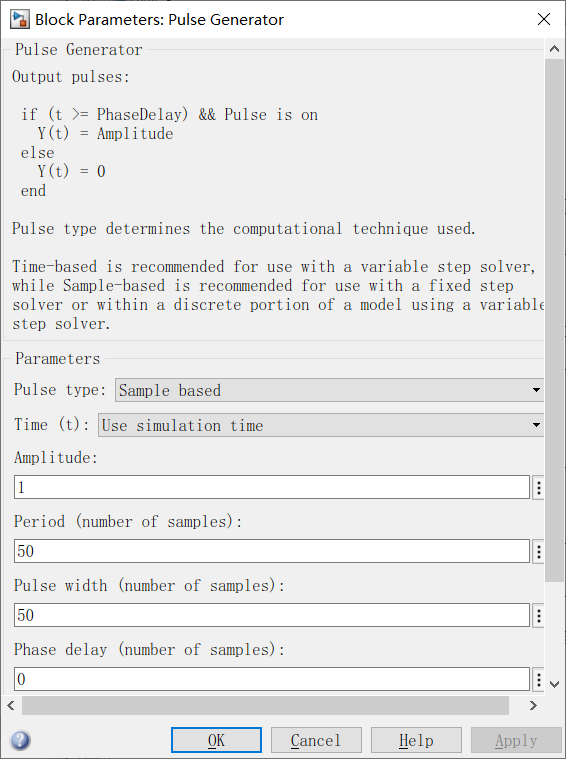
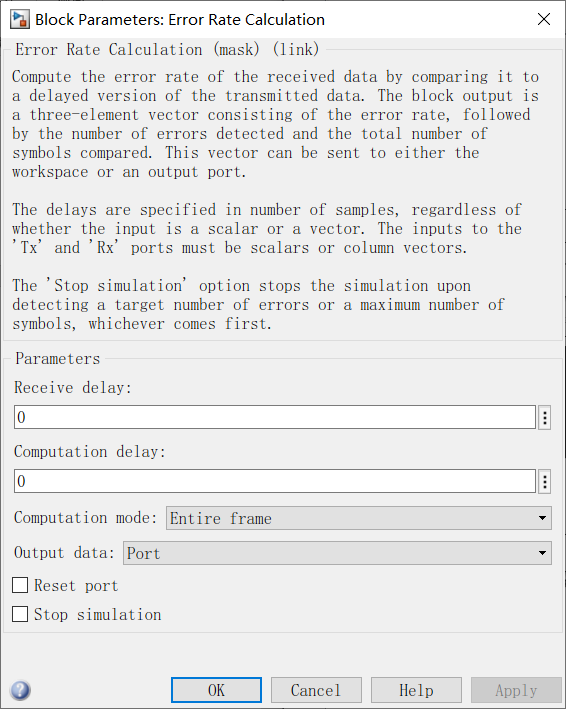
各器件的参数如下所示：

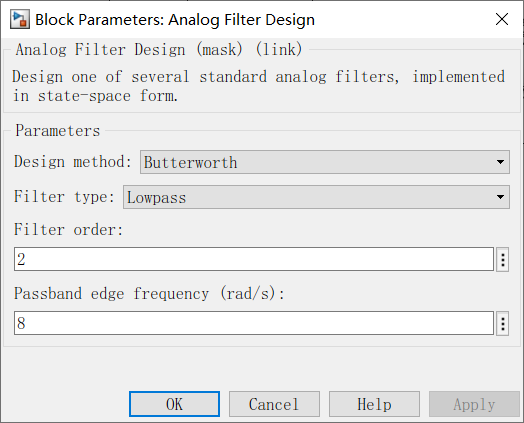




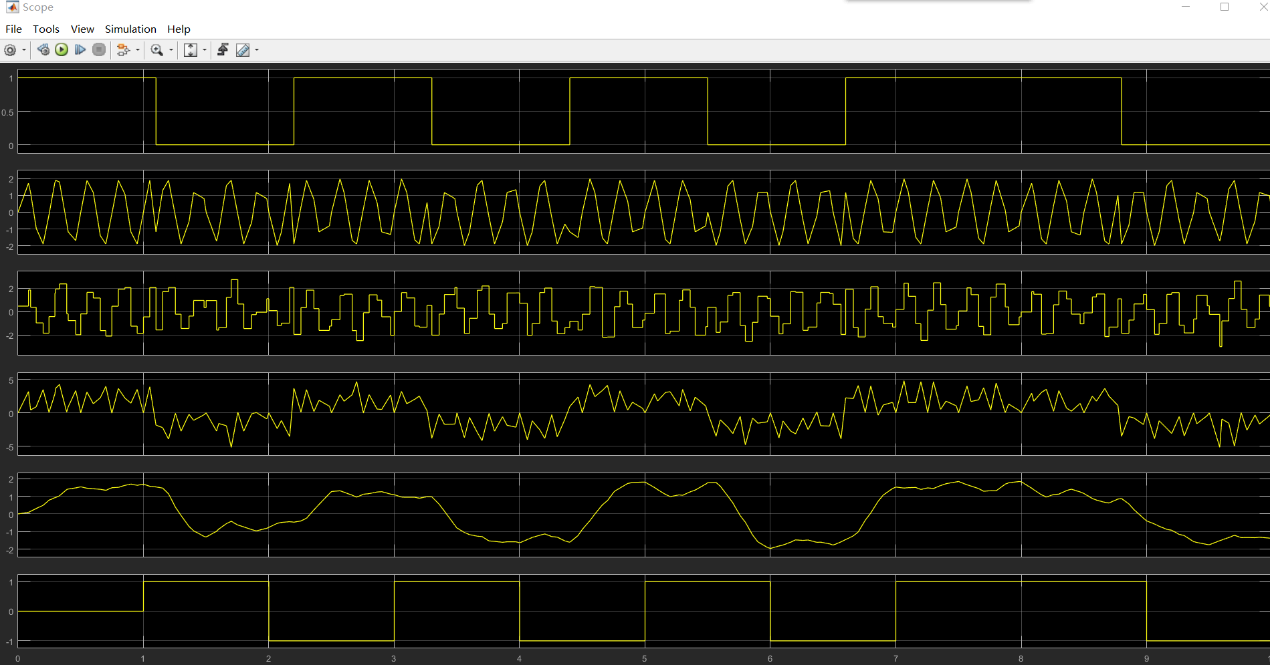






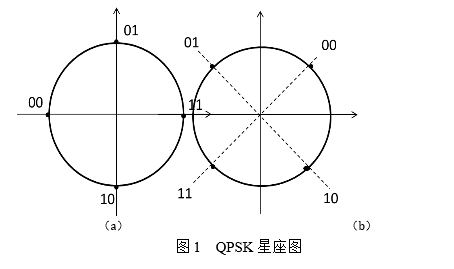


设置好各器件的参数并运行，双击scope元件，波形图如下所示：



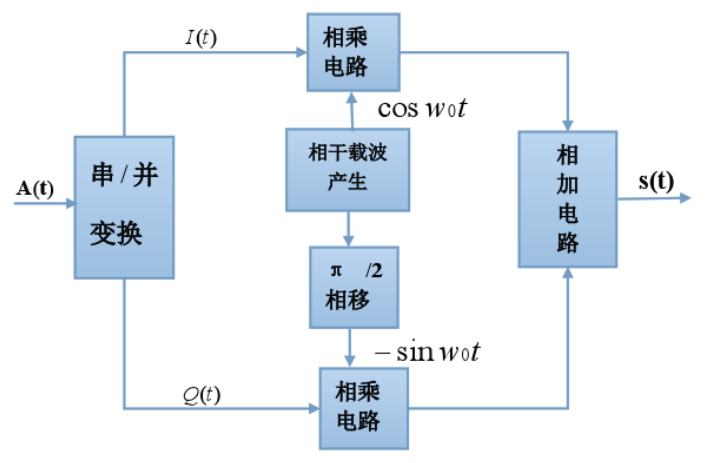
通过对比第一路和第六路我们可以看出，解调后的波形图比输入信号波形图延后了一些，这是因为信号在信道中传播是有一定的延迟的。信号在信道中从源端到达宿端需要的时间即为信道延迟，它与信道的长度及信号传播速度有关。

1. 正交相移键控（QPSK）

QPSK是Quadrature Phase Shift Keying的简称，意为正交移相键控，是数字调制的一种方式。它规定了四种载波相位，分别为0, π/2, π,3π/2(或π/4，3π/4，5π/4，7π/4)，星座图如图（a）、（b）所示。

4.1、QPSK调制原理

QPSK信号的产生方法有两种：第一种是相乘电路，第二种是选择法。这里我们采用第一种方法产生QPSK信号，输入的基带信号被“串/并变换”电路变成两路码元a和b，再分别和正交载波相乘。a(0)、a(1)和b(0)、b(1)码元分别表示二进制0和1，这两路信号在相加电路中相加后得到输出矢量s(t)。



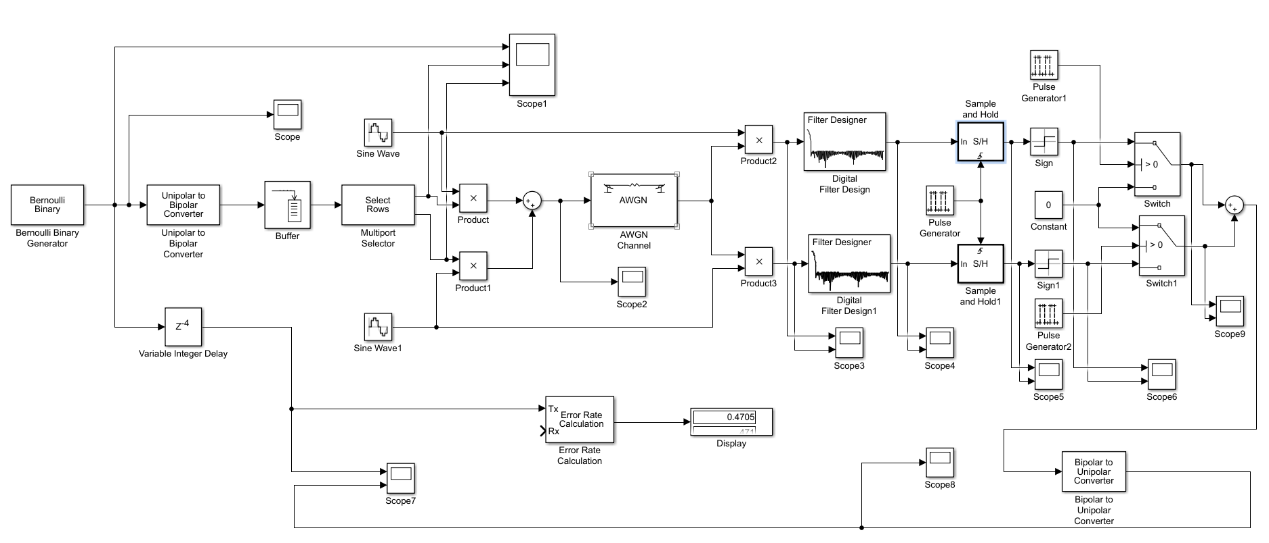
4.2、QPSK解调原理

由于QPSK信号可以看作是两个正交2PSK信号的叠加，所以用两路正交的相干载波去解调，可以很容易地分离这两路正交地2PSK信号。相干解调后的并行码元a和b经过并/串变换后，成为串行数据输出。

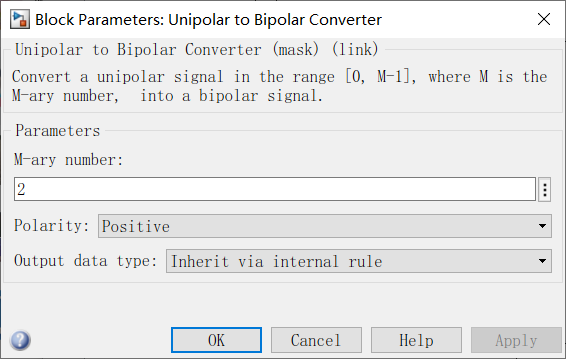
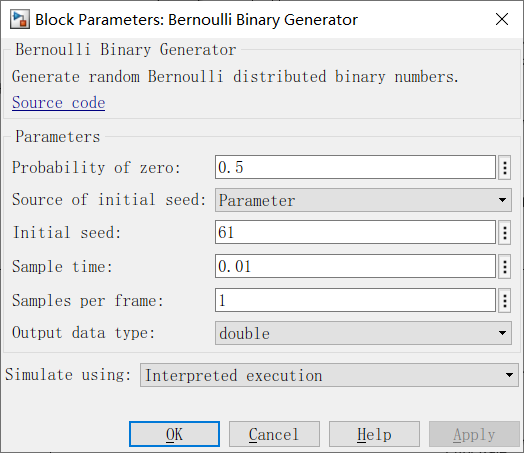


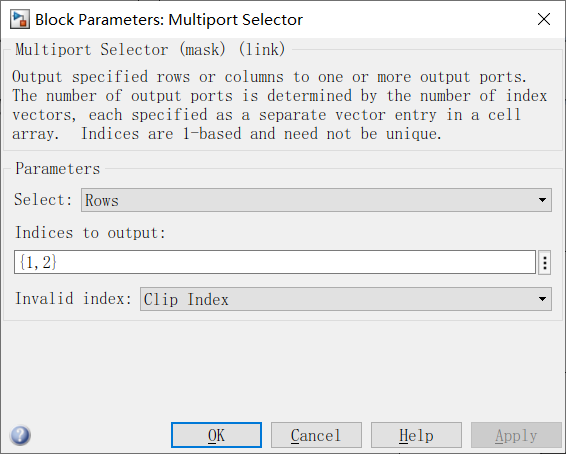
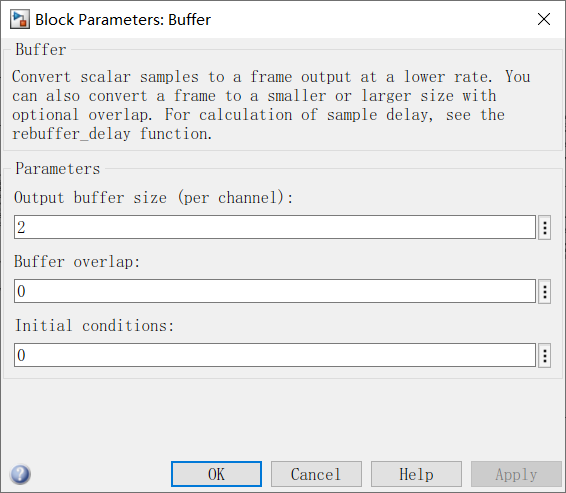
4.3、仿真过程、结果及分析

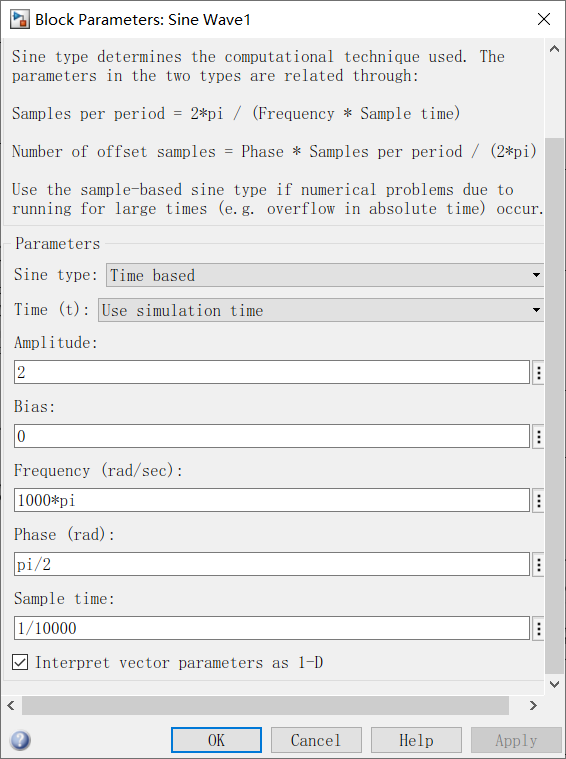
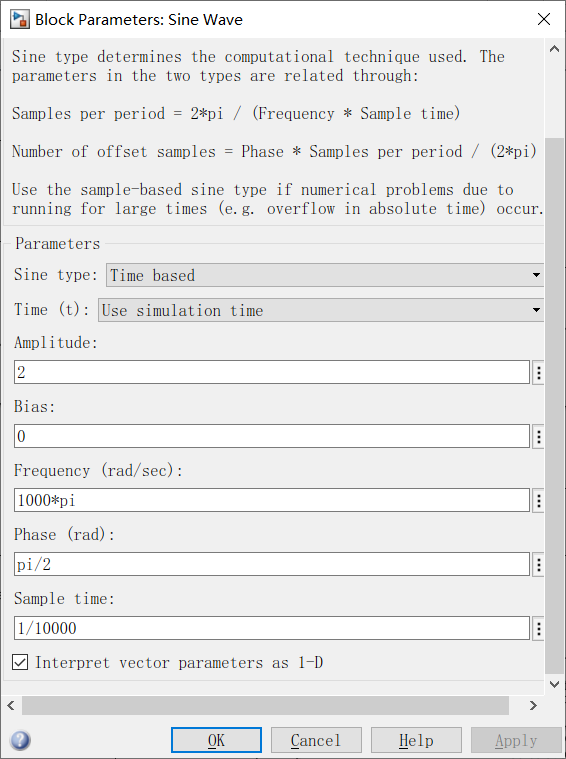
通过simulink搭建电路，产生随机信号，实现QPSK的调制与解调过程。QPSK仿真图如下所示：

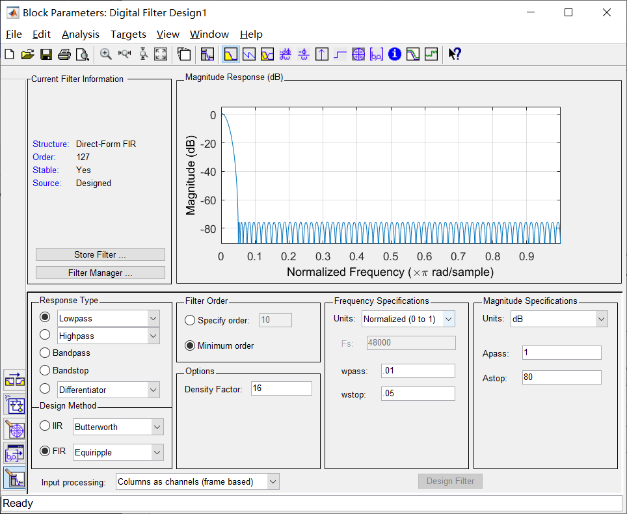


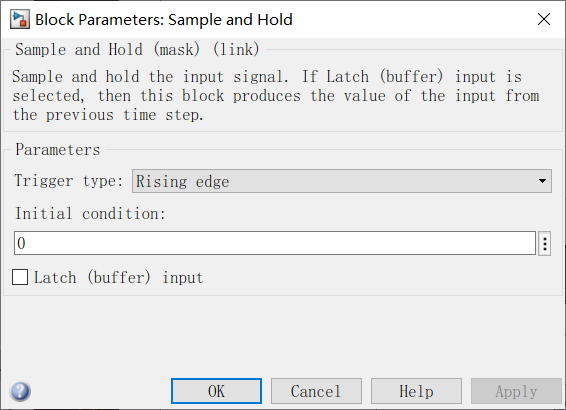
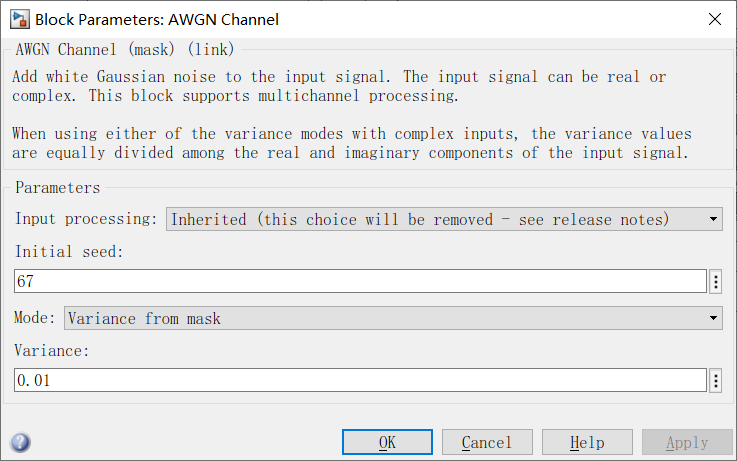
各器件的参数如下所示：

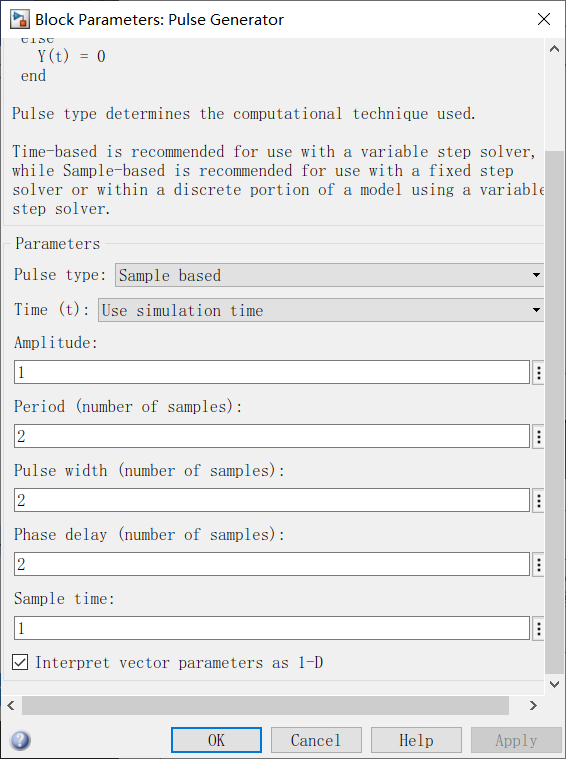




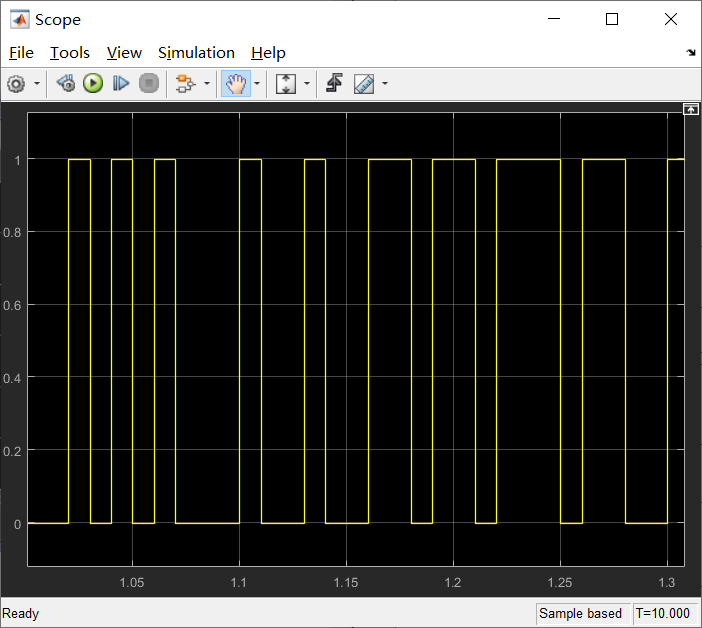


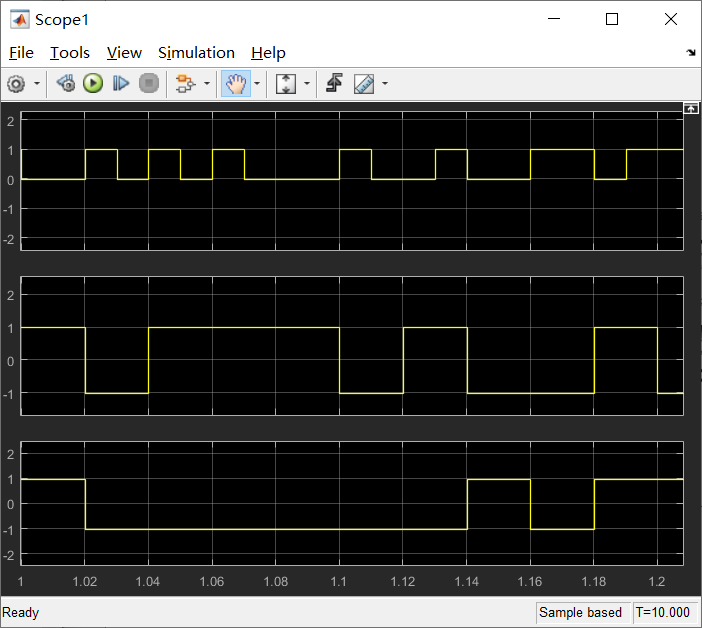


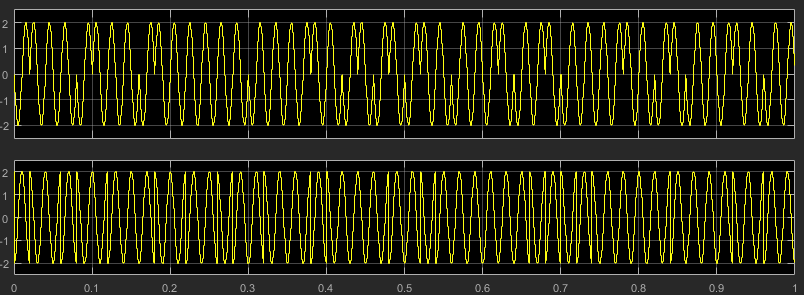


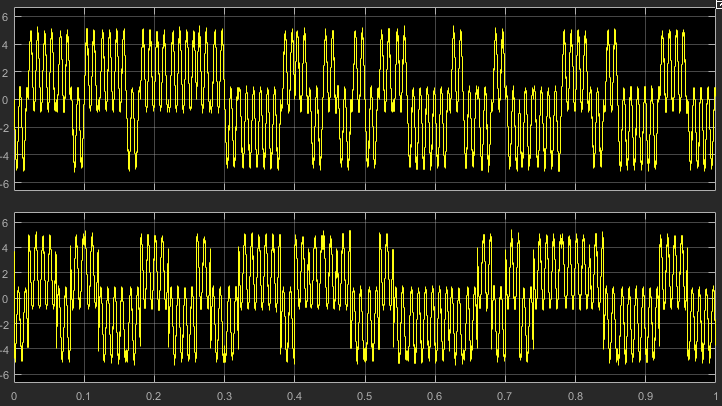


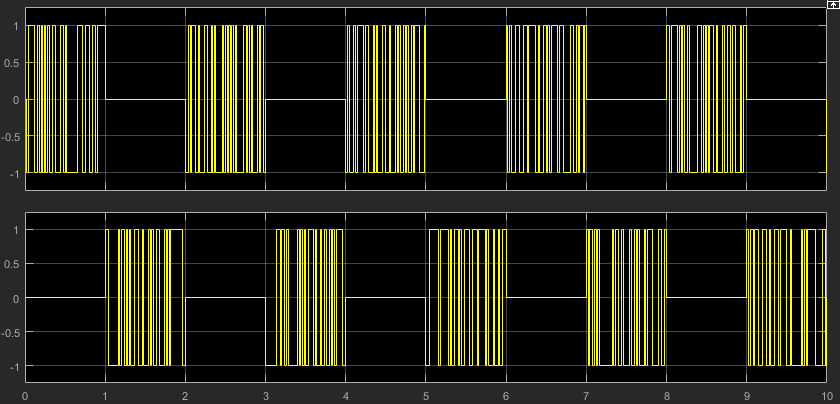
设置好各器件的参数并运行，双击scope元件，Bernoulli Binary Generator信源发送的波形图如下所示：

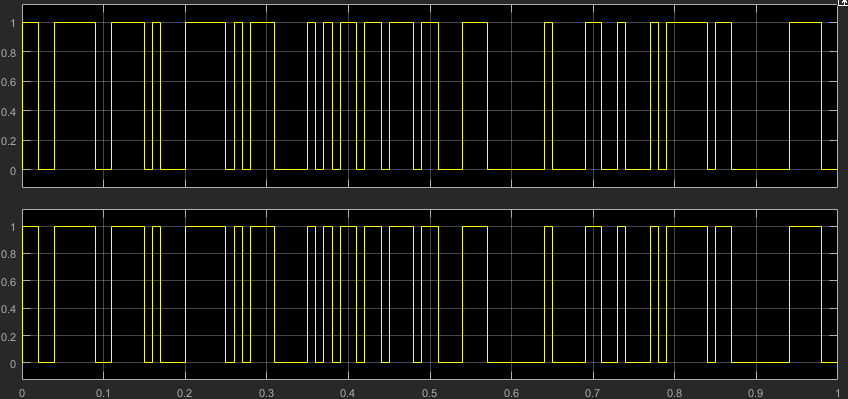


双击scope1元件，对于基带数字信号有串并电路分别为两个并行序列的波形图如下所示：

经过双极性转换的一路信号与相位为0的正弦载波相干，另一路与相位为π的正弦波相干，两个波形相干后的波形图如下所示：

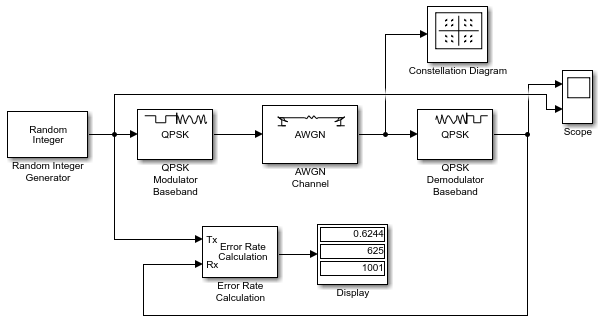
对两个波形进行相干解调，解调后的信号的波形图如下所示：

利用sign进行归一化处理，波形图如下所示：

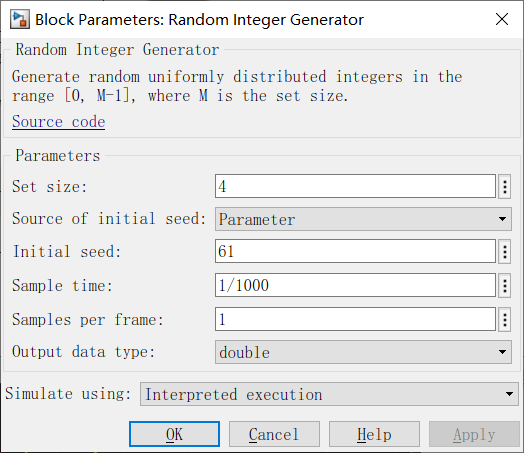
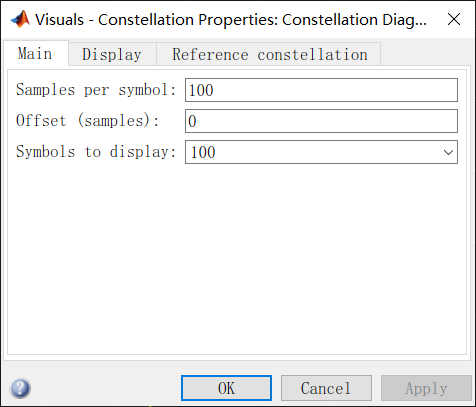
最后，QPSK调制解调发射频率和接收频率为波形：

可以看出，接受和发射波形基本一致，这说明噪声的影响很小。

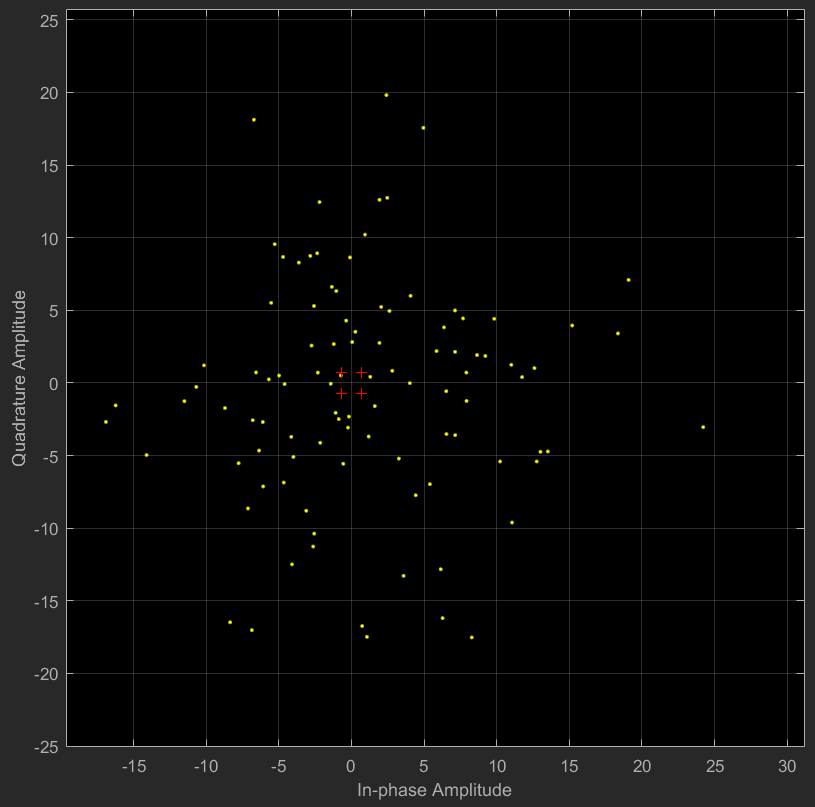
由于上面搭建的QPSK模型过于复杂，为了是模型更加直观易懂，我们直接运用simulink中QPSK解调和调制模块进行模型搭建，仿真图如下所示：



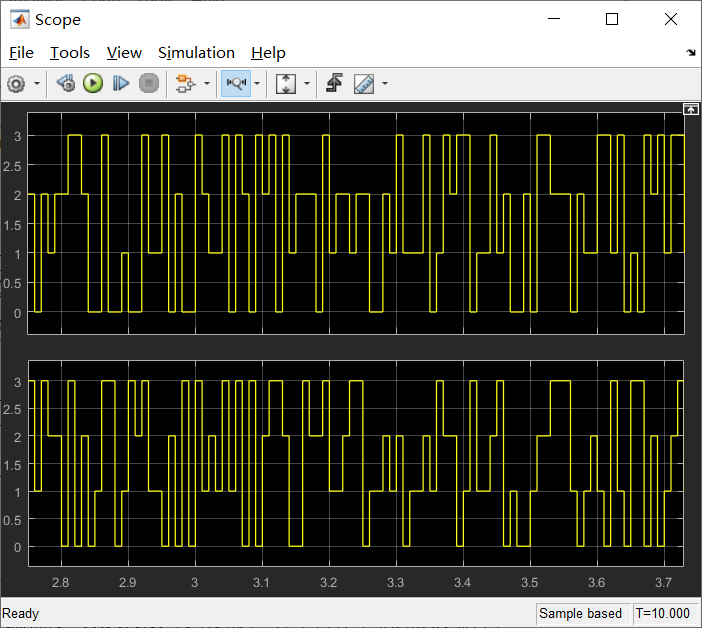
各器件的参数如下所示：

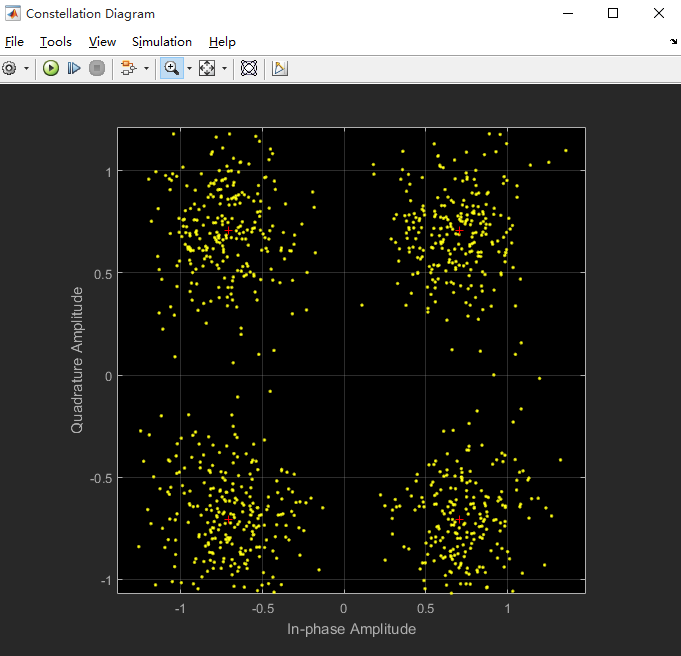
 

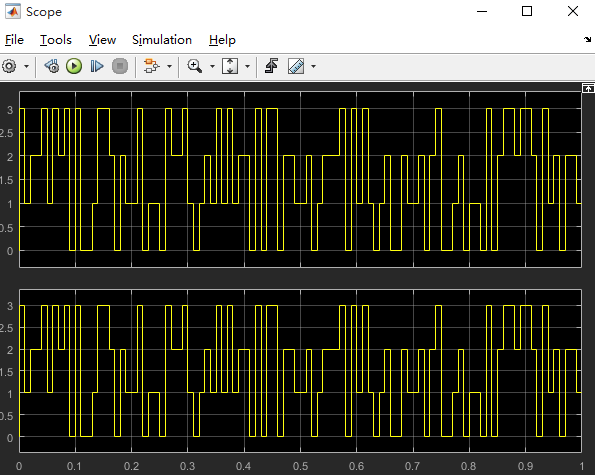
在信噪比为10dB的时候，我们观察出QPSK的星座图为：



根据scope波形图对比可以看出，调制和解调波形确实有一些差别：



信噪比调到30dB后，星座图有明显的改善，基本聚集在四个点上：

再次观察scope波形图：

综上所述，QPSK调制方法是通过移动相位来实现的，噪声会影响波形的相位，但可以通过改变信噪比来解决。

由图中可看出，当信噪比为10dB时，QPSK的误码率为0.6244。我们可以通过提高信噪比来减小误码率。此外，QPSK与2PSK,2ASK,2FSK相比，QPSK误码率相对更小。

1. 正交振幅调制（16QAM）

QAM是正交幅度调制，16QAM技术被广泛应用于高速数据传输系统.在很多宽带应用领域，比如数字电视广播，Internet宽带接入，QAM系统都得到了广泛的应用。QAM也可用于数字调制，数字QAM有4QAM、8QAM、16QAM、32QAM等调制方式。其中，16QAM和32QAM广泛用于数字有线电视系统。

QAM是把2ASK和2PSK两种调制结合起来的调制技术，使得带宽得到双倍扩展。QAM调制技术用两路独立的基带信号对频率相同、相位正交的两个载波进行抑制载波双边带调幅，并将已调信号加在一起进行传输。nQAM代表n个状态的正交调幅，一般有二进制（4QAM）、四进制（16QAM）、八进制（64QAM）。

正交调制信号的一般表达式为：

SQAM(t)=

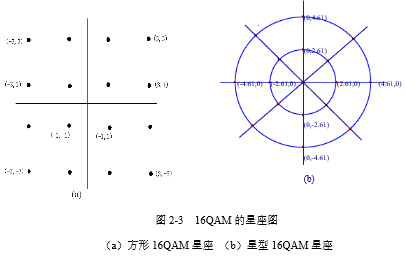
式中，是基带信号幅度，是宽度为的单个基带信号波形。上式变换成正交表达形式为：

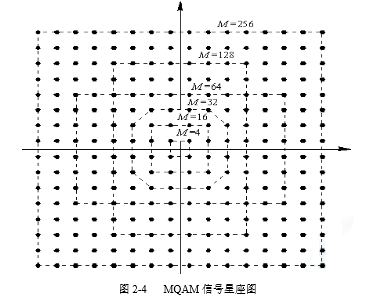
令，则式变为：

式中振幅和可以表示为：,

其中，A为固定振幅，和有输入数据确定，决定了已调QAM信号在信号空间的坐标点。

5.1、 星座图

信号矢量的端点的分布图称为星座图。通常用星座图来描述QAM信号的空间分布状况。对于16QAM来说，有多种分布形式的 信号星座图。下面为常见的两种星座图：

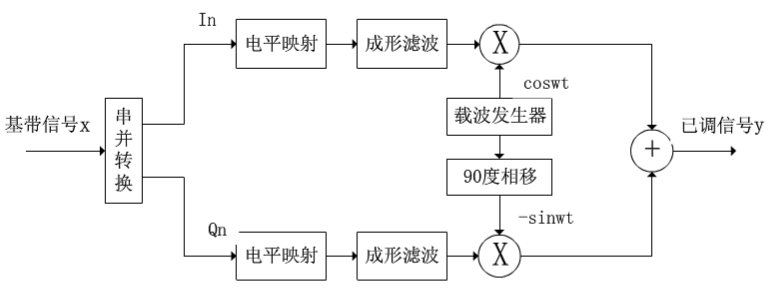
 M=4,16,32,……256时MQAM信号星座图分布如下所示：

其中M为2的偶次方时，如M=4,16,64,256时星座图为矩形，每个符号携带偶数个数比特信息；而M为2的奇数次方时，如M=32128时星座图为十字形，每个符号携带奇数个比特信息。

通过比较可以发现，QAM的系统抗干扰能力优于PSK。

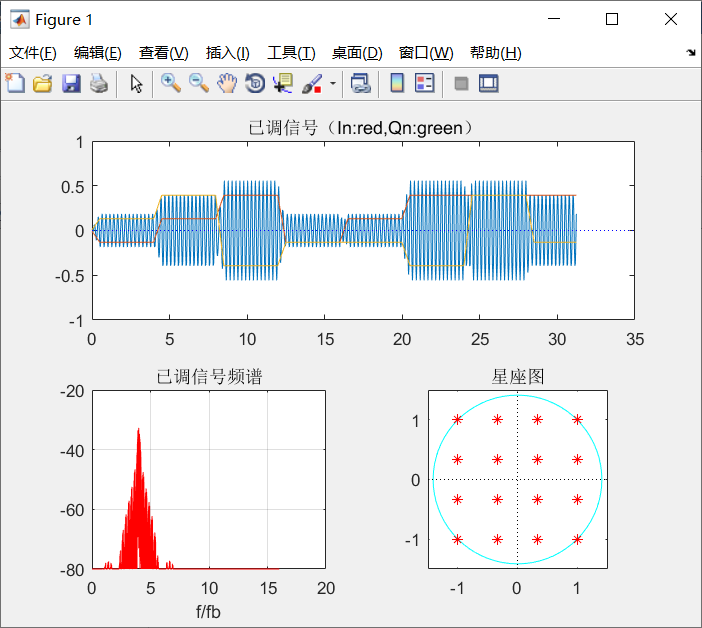
5.2、 16QAM调制原理

16QAM是两路4ASK信号的叠加，其演变方式可以有一下两种：正交调幅法和复合相移法。本次实验采用正交调幅法。在发送端调制器中串/并变换使得信息速率为Rb的输入二进制信号分成两个速率为Rb/2的二进制信号，2/4电平转换将每个速率为Rb/2的二进制信号变为速率为Rb/8的电平信号，然后分别与两个正交载波相乘，再相加即得16QAM信号。正交调制原理图如下所示：



5.3、仿真过程、结果及分析

通过编写Matlab程序，产生随机信号，实现16QAM的调制，并观察星座图。仿真结果图如下所示：



附源程序代码：

**main\_plot.m**

clear;clc;echo off;close all;

N=10000;

fb=1;

fs=32;

fc=4;

Kbase=2;

info=random\_binary(N);

[y,I,Q]=Qam(info,Kbase,fs,fb,fc);

y1=y;y2=y;

T=length(info)/fb;m=fs/fb;nn=length(info);

dt=1/fs;t=0:dt:T-dt;

subplot(211);

plot(t(1:1000),y(1:1000),t(1:1000),I(1:1000),t(1:1000),Q(1:1000),[0 35],[0 0],'b:');

title('已调信号（In:red,Qn:green）');

n=length(y);y=fft(y)/n;y=abs(y(1:fix(n/2)))\*2;

q=find(y<1e-04);y(q)=1e-04;y=20\*log10(y);

f1=m/n;f=0:f1:(length(y)-1)\*f1;

subplot(223);

plot(f,y,'r');

grid on;

title('已调信号频谱');xlabel('f/fb');

subplot(224);

constel(y1,fs,fb,fc);

title('星座图');

**random\_binary.m**

function [info]=random\_binary(N)

if nargin == 0

N=10000;

end

for i=1:N

temp=rand;

if temp<0.5

info(i)=0;

else

info(i)=1;

end

end

**Qam.m**

function [y,I,Q]=Qam(x,Kbase,fs,fb,fc)

T=length(x)/fb;

m=fs/fb;

nn=length(x);

dt=1/fs;

t=0:dt:T-dt;

I=x(1:2:nn-1);[I,In]=two2four(I,4\*m);

Q=x(2:2:nn);[Q,Qn]=two2four(Q,4\*m);

if Kbase == 2

I=bshape(I,fs,fb/4);Q=bshape(Q,fs,fb/4);

end

y=I.\*cos(2\*pi\*fc\*t)-Q.\*sin(2\*pi\*fc\*t);

**qamdet.m**

function [xn,x]=qamdet(y,fs,fb,fc)

dt=1/fs;t=0:dt:(length(y)-1)\*dt;

I=y.\*cos(2\*pi\*fc\*t);

Q=-y.\*sin(2\*pi\*fc\*t);

[b,a]=butter(2,2\*fb/fs);

I=filtfilt(b,a,I);

Q=filtfilt(b,a,Q);

m=4\*fs/fb;

N=length(y)/m;n=(.6:1:N)\*m;n=fix(n);

In=I(n);Qn=Q(n);xn=four2two([In Qn]);

nn=length(xn);xn=[xn(1:nn/2);xn(nn/2+1:nn)];

xn=xn(:);xn=xn';

**two2four.m**

function [y,yn]=two2four(x,m)

T=[0 1;3 2];n=length(x);ii=1;

for i=1:2:n-1

xi=x(i:i+1)+1;

yn(ii)=T(xi(1),xi(2));

ii=ii+1;

end

yn=yn-1.5;y=yn;

for i=1:m-1

y=[y;yn];

end

y=y(:)';

**four2two.m**

function xn=four2two(yn)

y=yn;ymin=min(y);ymax=max(y);ymax=max([ymax abs(ymin)]);

ymin=-abs(ymax);yn=(y-ymin)\*3/(ymax-ymin);

I0=find(yn<0.5);yn(I0)=zeros(size(I0));

I1=find(yn>=0.5 & yn<1.5);yn(I1)=zeros(size(I1));

I2=find(yn>=1.5 & yn<2.5);yn(I2)=zeros(size(I2))\*2;

I3=find(yn>=2.5);yn(I3)=zeros(size(I3))\*3;

T=[0 0;0 1;1 1;1 0];

n=length(yn);

for i=1:n

xn(i,:)=T(yn(i)+1,:);

end

xn=xn';xn=xn(:);xn=xn';

**constel.m**

function c=constel(x,fs,fb,fc)

N=length(x);

m=2\*fs/fb;

n=fs/fc;

i1=m-n;

i=1;

ph0=(i1-1)\*2\*pi/n;

while i<=N/m

xi=x(i1:i1+n-1);

y=2\*fft(xi)/n;

c(i)=y(2);

i=i+1;

i1=i1+m;

end

if nargout<1

cmax=max(abs(c));

ph=(0:5:360)\*pi/180;

plot(1.414\*cos(ph),1.414\*sin(ph),'c');

hold on;

for i=1:length(c)

ph=ph0-angle(c(i));

a=abs(c(i))/cmax\*1.414;

plot(a\*cos(ph),a\*sin(ph),'r\*');

end

plot([-1.5 1.5],[0 0],'k:',[0 0],[-1.5 1.5],'k:');

hold off;

axis equal;

axis([-1.5 1.5 -1.5 1.5]);

end

**bshape.m**

function y=bshape(x,fs,fb,N,alfa,delay)

if nargin<6

delay=8;

end

if nargin<5

alfa=0.5;

end

if nargin<4

N=16;

end

b=firrcos(N,fb,2\*alfa\*fb,fs);

y=filter(b,1,x);

1. **总结及心得体会：**

通过这个项目，我们对2ASK、2FSK、2PSK、QPSK的调制与解调和16QAM的调制有了充分的了解。美中不足的是在2ASK、2FSK中都引入了白噪声的情况下，2PSK没有引入白噪声，从而无法对比相同功率的白噪声对2ASK、2FSK、2PSK影响情况。此外我们在进行16QAM的实验时，用simulink搭建的两个电路均没有成功，转而通过编写Matlab程序完成了实验。