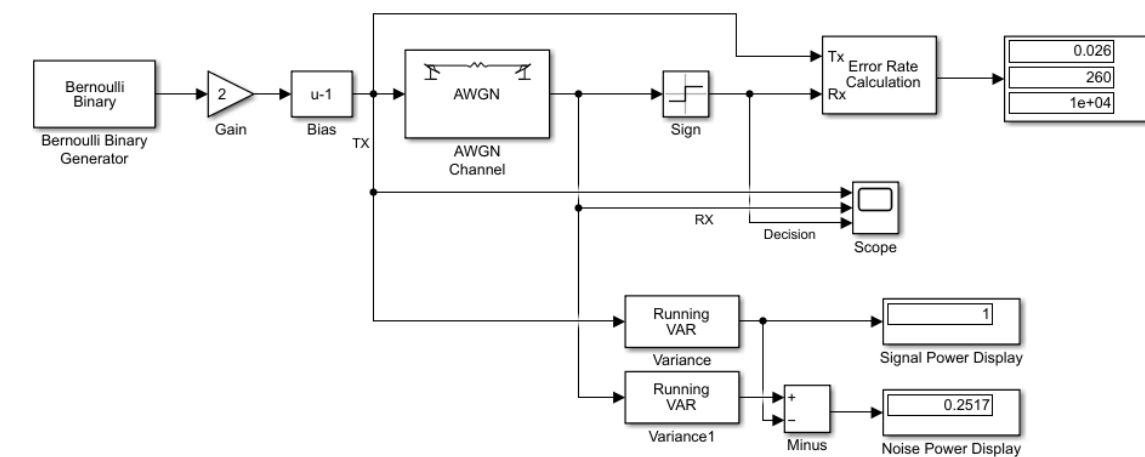


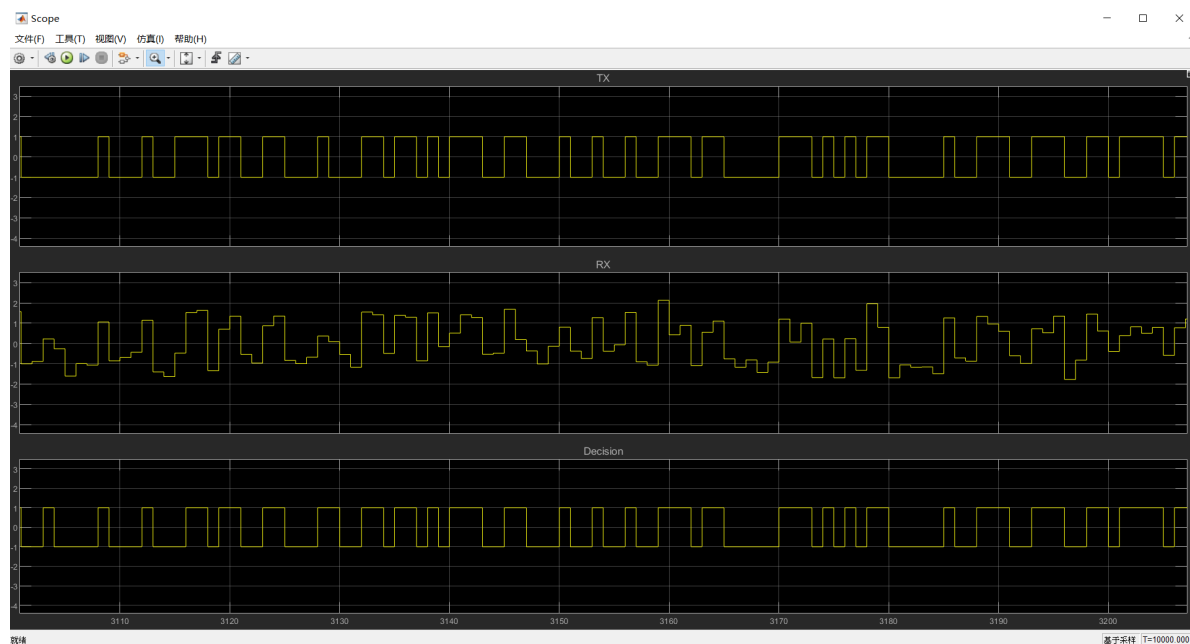
实验六 电平判决实验

一、AWGN电平信道与二元符号判决

a) 搭建模型

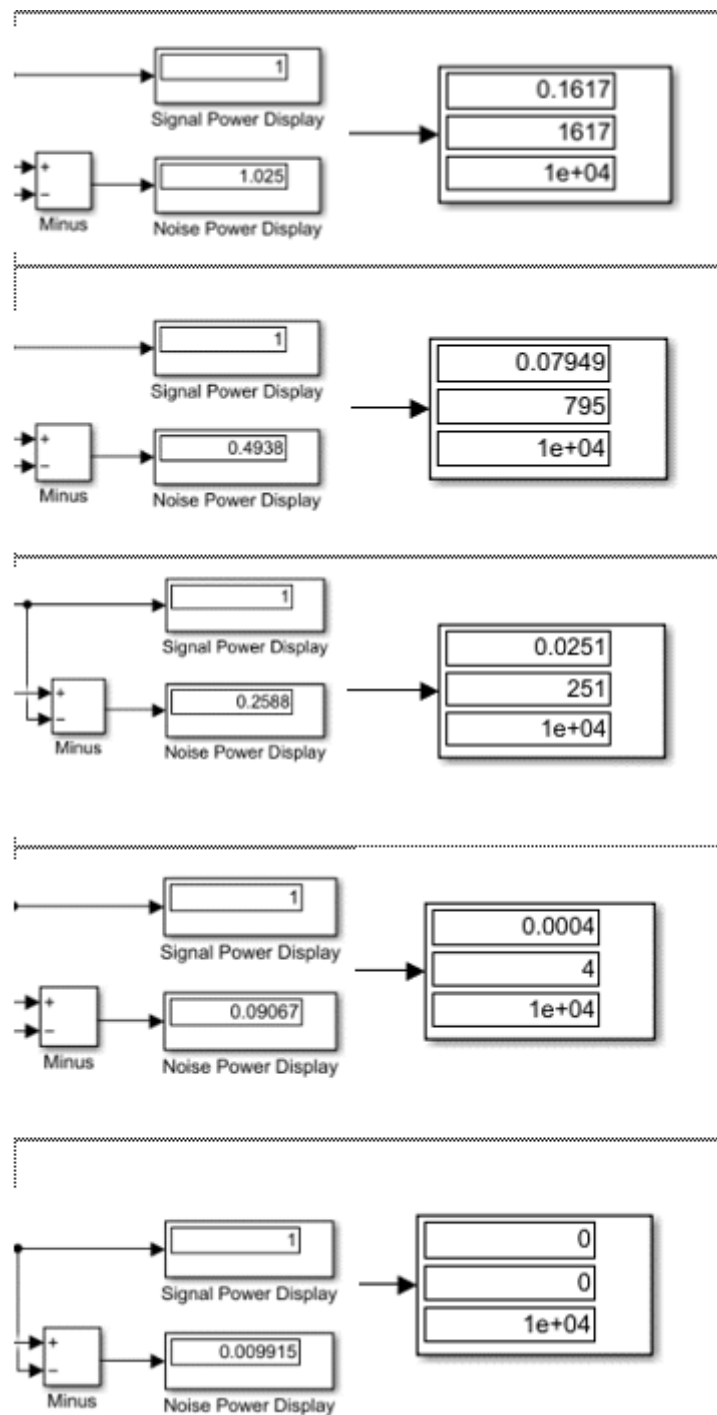


b) 观察AWGN信道对二元电平信号的影响



较短时间内AWGN信道对二元电平信号的影响

c) 记录二元符号AWGN信道误符号率



仿真结果

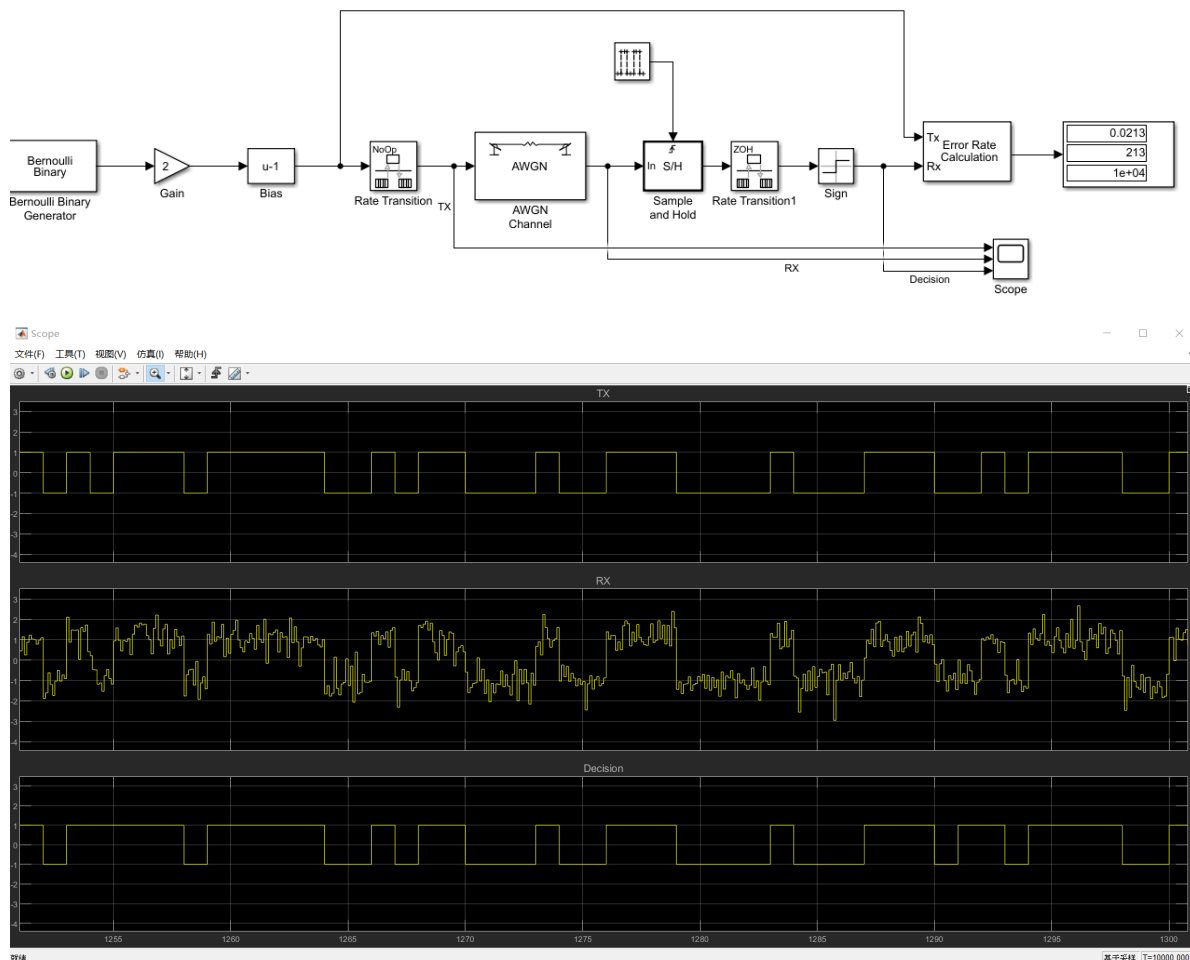
信号功率 E_s	1	1	1	1	1
噪声功率 σ^2	1.025	0.4938	0.2517	0.09067	0.009915
信噪比 $E_s/\sigma^2(dB)$	-0.107	3.064	5.870	10.425	20.037
误符号率 P_e	0.1617	0.07949	0.026	0.0004	0
理论信号功率	1	1	1	1	1
理论噪声功率	1	0.49	0.25	0.09	0.01
理论误符号率 P_e	0.1616	0.0774	0.0247	4.485×10^{-4}	4.943×10^{-24}

其中误符号率关于信噪比的理论关系: $P_e = Q(\sqrt{\frac{E_s}{\sigma^2}})$

测量到的信号功率和理论信号功率完全一致；噪声测量功率和理论功率偏差不超过3.52%；误符号率的实验测量值和理论值基本一致。

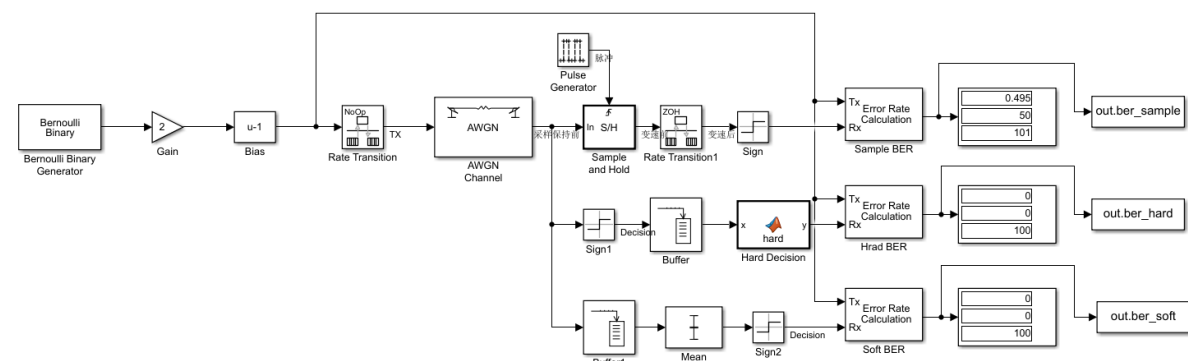
二、AWGN波形信道预习

a) 采样判决



较短时间内AWGN波形信道对矩形脉冲信号的影响

b) 硬判决 软判决

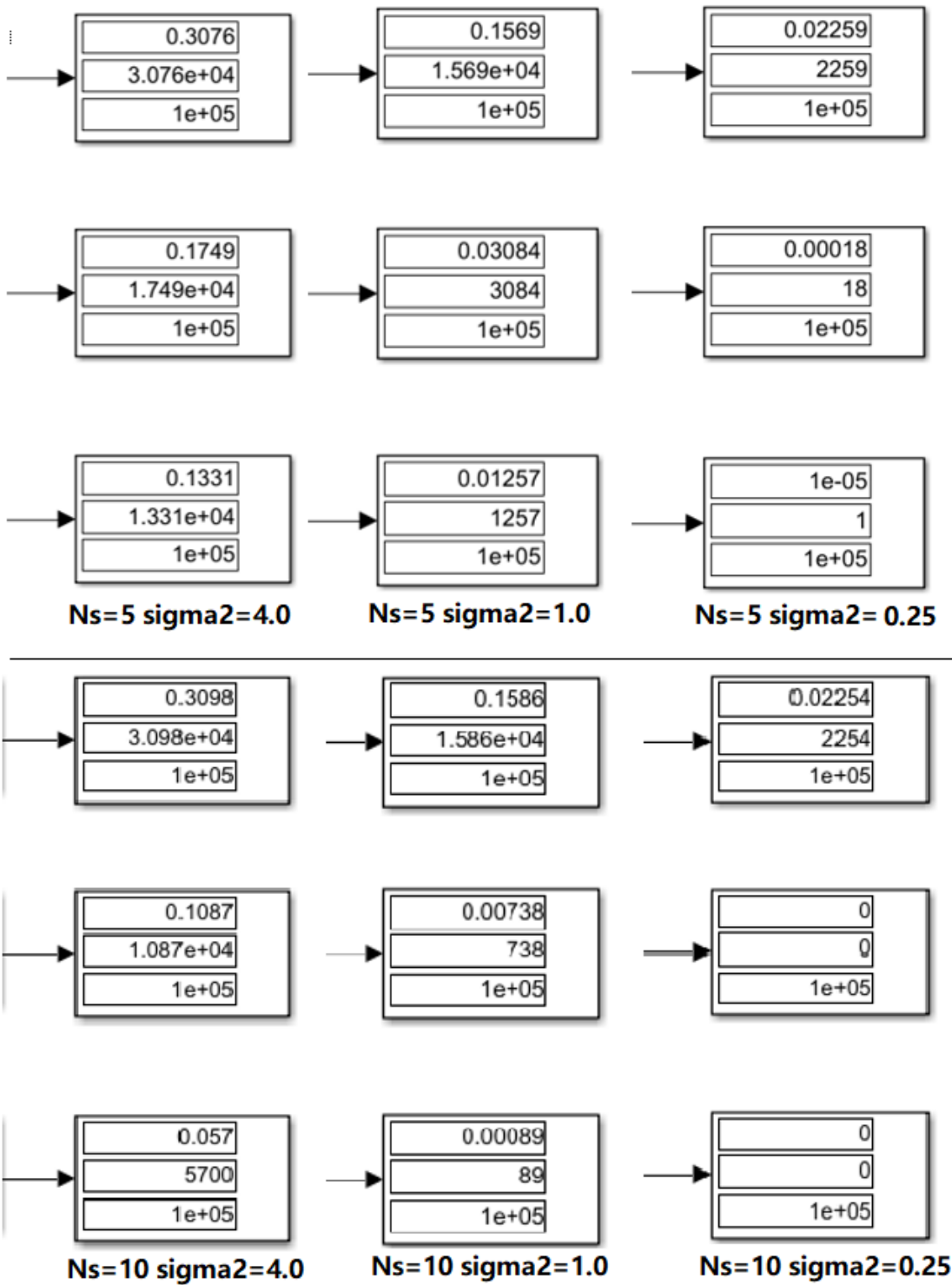


模型构建

```
function y = hard(x)
if sum(x)>0
    y=1;
else
    y=-1;
end
```

硬判决模块，由于判决结果是1或-1，判断哪种结果多只需要求和看结果正负即可。

c) 仿真研究采样次数 N_s 与抗噪声性能的关系



仿真结果

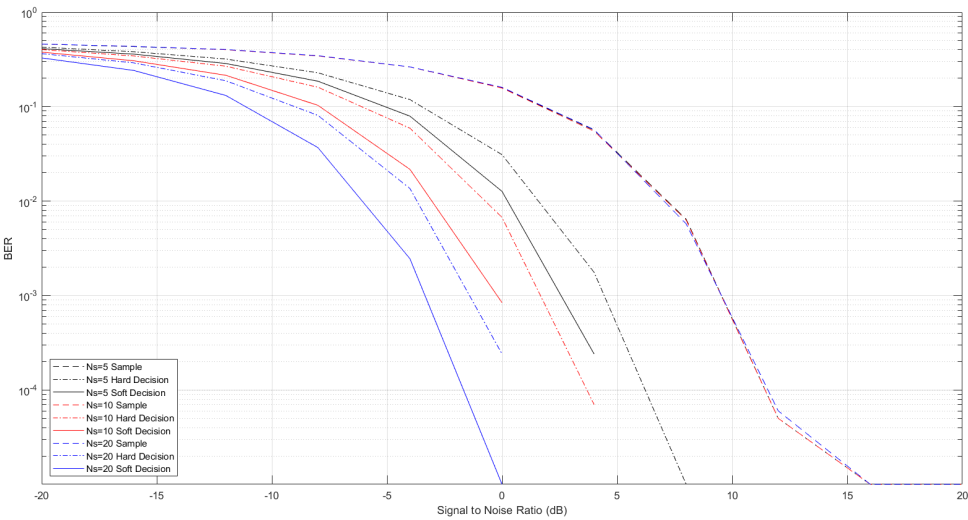
信号功率 E_s		1	
噪声功率 σ^2	4.0	1.0	0.25
信噪比 $E_s/\sigma^2(dB)$	-6.021	0	6.021

信号功率 E_s		1	
采样速率		$N_s = 5$	
采样判决 P_b	0.3076	0.1569	0.02259
硬判决 P_b	0.1749	0.03084	0.00018
软判决 P_b	0.1331	0.01257	0.00001
采样速率		$N_s = 10$	
采样判决 P_b	0.3098	0.1586	0.02254
硬判决 P_b	0.1087	0.00738	0
软判决 P_b	0.057	0.00089	0

d) 误比特率曲线绘制

```
sigma2 = 1/SNR^2;% TODO
```

添加上述语句后运行脚本得到误比特率曲线图

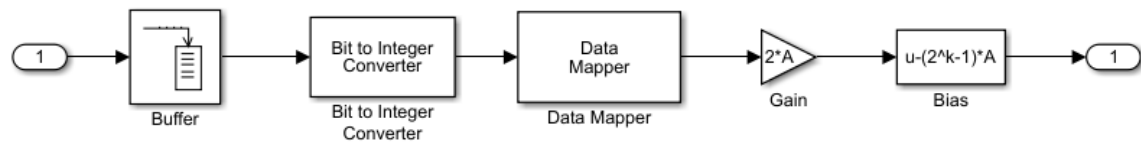


判决方法	$N_s = 10$ 时 $BER \leq 0.01$ 的最低信噪比(dB)
采样判决	-1.738
硬判决	-6.150
软判决	-7.914

比较像素个数得到上述信噪比数值，此种情况下软判决相对于硬判决的信噪比增益是1.764dB，相比于采样判决信噪比增益是6.176dB

三、多元符号判决

a) 搭建Bit to Symbol模块



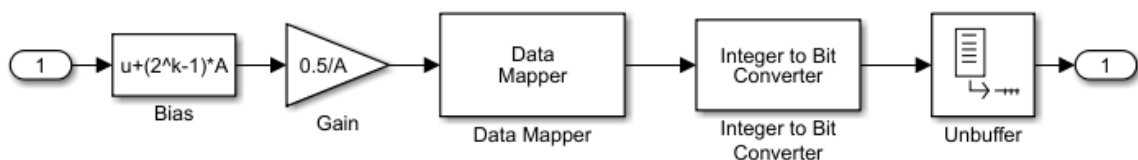
b) 自定义Matlab函数实现最小距离判决

```
function y = decision(x,A,k)
num=round(x/A);%离x/A最近的整数
if mod(num,2)==0
    num=num+2*(x/A>num)-1;
end

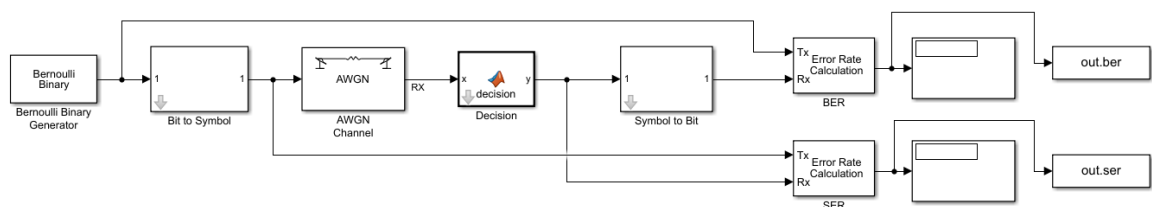
if num>2^k-1
    y=(2^k-1)*A;
elseif num<-(2^k-1)
    y=-(2^k-1)*A;
else
    y=num*A;
end
```

首先找到离 x/A 最近的整数，接着找到离 x/A 最近的奇数。如果离得最近的奇数大于 $M-1$ 或者小于 $-(M-1)$ ，相应的取这个整数为 $M-1$ 或 $-(M-1)$ 。这个整数乘上幅度 A 即为判决结果。

c) 搭建Symbol to Bit模块



d) 绘制M元符号AWGN信道曲线



模型整体

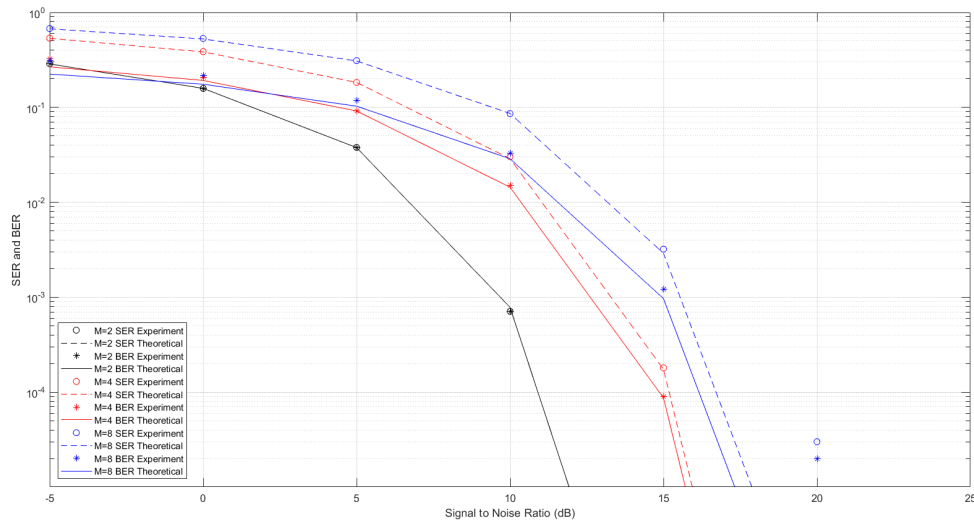
```
sigma2 = ((2^2*k-1)/3*A^2)/SNR^2;% TODO
ser_th(i,j) = (2^(k+1)-2)/(2^k)*qfunc(A/sigma2^0.5);% TODO
ber_th(i,j) = (2^(k+1)-2)/(k*2^k)*qfunc(A/sigma2^0.5);% TODO
```

用到的理论公式：
$$\sigma^2 = \frac{(M^2-1)A^2}{3(\sqrt{\frac{E_s}{\sigma^2}})^2}$$

$$P_e = \frac{2(M-1)}{M} Q\left(\frac{A}{\sigma}\right)$$

$$P_b = \frac{2(M-1)}{M \log_2 M} Q\left(\frac{A}{\sigma}\right)$$

添加上述语句后运行脚本得到 SER 、 BER 曲线图

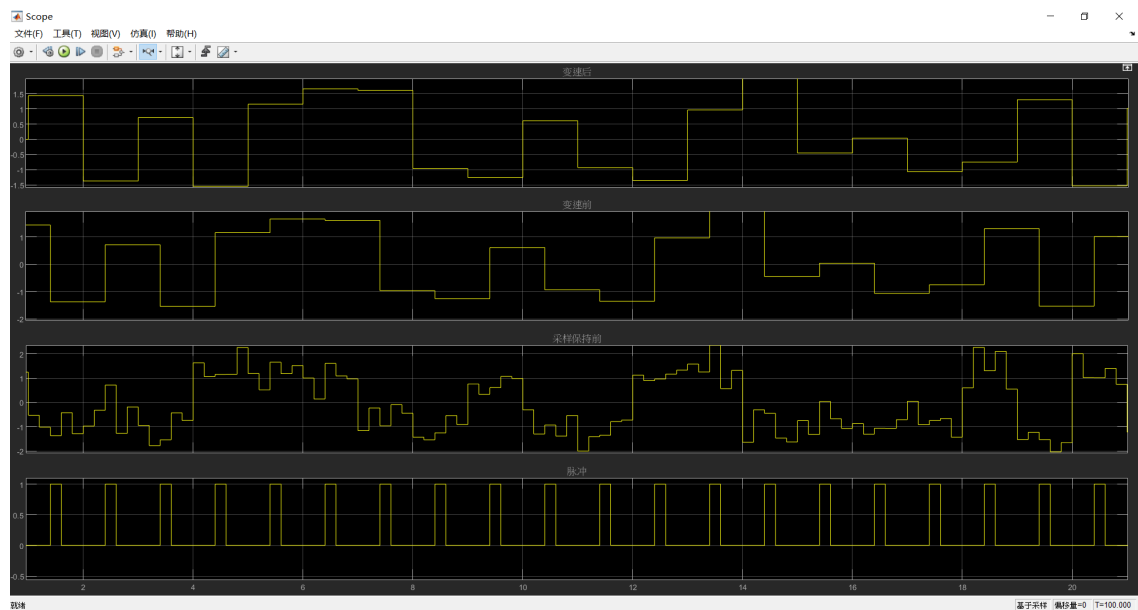


图中 $M = 8$ ，信噪比 $= 20dB$ 的情况下误比特率和误符号率和理论值有明显偏差，其余位置理论实验符合得很好。偏差处对应的 $BER \approx 2 \times 10^{-5}$ 、 $SER \approx 3 \times 10^{-5}$ 。实验时间 $= 10^5$ ，换算下来平均错了 $2bit$ ，3个符号，是非常少的错误量。由于实验时间离散，得到的 SER 、 BER 最小的非零值也是 10^{-5} 量级，因此实验值会和理论值有所偏差。

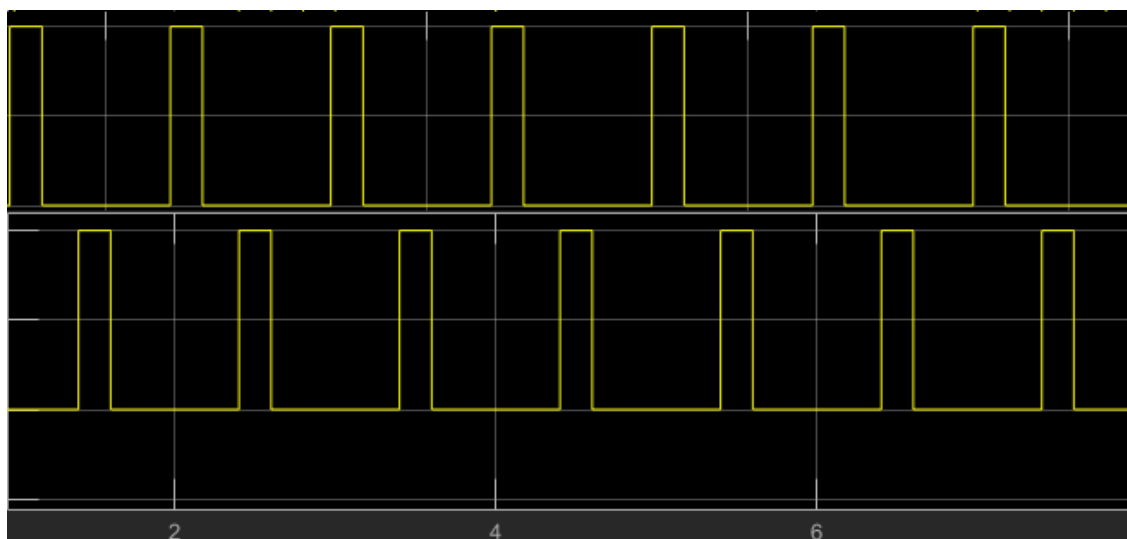
四、思考题

1. 为什么 5.2a 中脉冲发生器的相位延迟大于 0 时会导致采样保持、速率转换后输出信号 延时 1 个采样？（提示：用示波器观察脉冲信号和采样保持信号）

答：



四个位置的信号



相位延迟为0的脉冲和相位延迟非0的脉冲

若脉冲发生器的相位延迟不为0，则速率转换时的第 i 个采样脉冲会抽取到第 $i - 1$ 个脉冲发生器产生的脉冲抽样保持的值，因此造成1个采样的延时。如果相位延迟是 N_s 的整数倍，等同于抽样保持的前几个点都抽到了0，会使得 P_e 略微升高但不会造成后续点的延时。

2. 请推导证明最大似然判决等同于 N_s 个采样平均值的最小距离判决。（提示：利用每个采样的独立性计算似然函数）

答： $P_r(y = r | x = 1) = \prod_{i=1}^{N_s} \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(y_i-1)^2}{2}} dy_i \right)$

同理可得 $P_r(y = r | x = -1) = \prod_{i=1}^{N_s} \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(y_i+1)^2}{2}} dy_i \right)$

将连乘展开后得到

$$P_r(y = r | x = 1) = \frac{1}{(\sqrt{2\pi}\sigma)^{N_s}} e^{-\frac{\sum_{i=1}^{N_s} y_i^2 + N_s - 2 \sum_{i=1}^{N_s} y_i}{2}} dy_1 dy_2 \dots dy_{N_s}$$

$$P_r(y = r | x = -1) = \frac{1}{(\sqrt{2\pi}\sigma)^{N_s}} e^{-\frac{\sum_{i=1}^{N_s} y_i^2 + N_s + 2 \sum_{i=1}^{N_s} y_i}{2}} dy_1 dy_2 \dots dy_{N_s}$$

区别只在e指数项，当 $2 \sum_{i=1}^{N_s} y_i > -2 \sum_{i=1}^{N_s} y_i$,

即 $\sum_{i=1}^{N_s} y_i > 0$ 时, $P_r(y = r | x = 1) > P_r(y = r | x = -1)$;

当 $\sum_{i=1}^{N_s} y_i = 0$ 时, $P_r(y = r | x = 1) = P_r(y = r | x = -1)$;

当 $\sum_{i=1}^{N_s} y_i < 0$ 时, $P_r(y = r | x = 1) < P_r(y = r | x = -1)$ 。因此最大似然判决等同于 N_s 个采样平均值的最小距离判决。

3. 如果在多元符号映射时不采用格雷映射会有什么后果

答：格雷映射的优点是相邻的符号只差1bit，由于符号出错成相邻的符号概率是最大的，采用格雷映射即使符号出错也大概率只错一个比特。如果不采用格雷映射，会增大符号出错到相邻符号时的错误比特数，进而增大BER。