

# 西安电子科技大学 B 测 实验报告

## 实现 2PSK 2DPSK 调制解调系统



组号: 9900

学生一: 陈禹译 20009200485

学生二: 刘怡君 20049200450

学生三: 史卓一 20009201035

验收日期: 2023.5.10

## 目录

1	实验目的	1
2	仿真环境	1
3	系统设计	1
3.1	概览	1
3.2	2PSK	2
3.3	2DPSK	4
4	仿真结果	5
4.1	频谱图	5
4.2	2PSK 调制解调	7
4.3	2DPSK 调制解调	8
4.4	相位模糊现象	11
4.5	误码曲线	11
5	心得	11

# 1 实验目的

利用 SystemVue 或 Simulink 实现 2PSK/2DPSK 调制解调系统。

# 2 仿真环境

操作系统：Windows。

仿真软件：MATLAB R2023a Simulink。

MATLAB 包：Simulink 10.7, Communications Toolbox 8.0, DSP System Toolbox 9.16, Signal Processing Toolbox 9.2。

# 3 系统设计

## 3.1 概览

系统整体如图 1，左上为载波，左中为原信号；上半部分为 2PSK，下半部分为 2DPSK。接收端的载波信号都设置了一个 Gain 组件，可以让载波信号反相，从而观察倒  $\pi$  现象。

原信号的码元速率为 9600/s；载波频率为  $5 * 9600 * 2 * \pi \text{ rad/s}$ 。因此每个信号都包含五个载波周期。

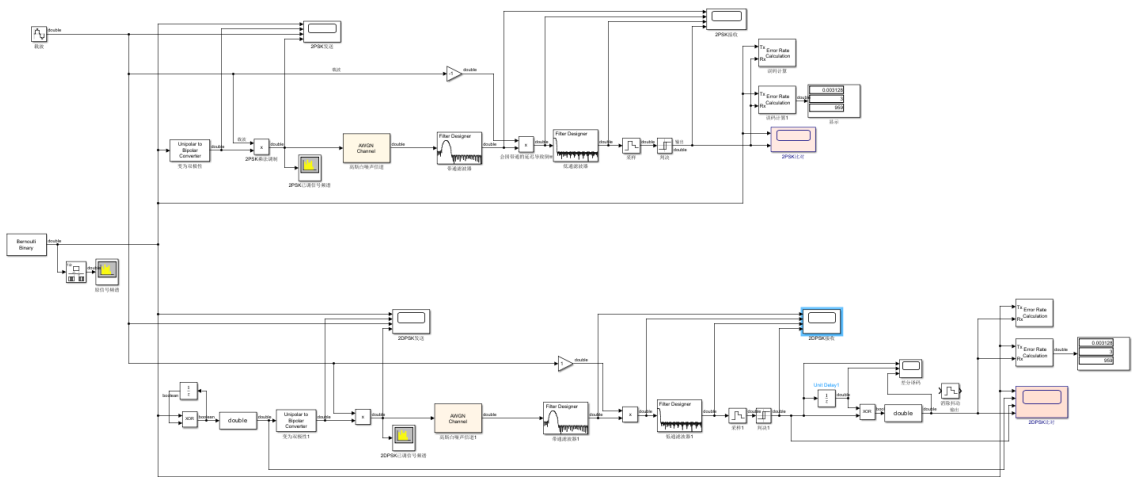


Fig. 1: 系统整体图

### 3.2 2PSK

#### 3.2.1 发送

2PSK 的发送部分如图 2。首先，将原信号变成双极性信号（从 0/1 变成-1/1）；然后，与载波直接相乘，即可得到已调信号：

$$S_{2PSK}(t) = \begin{cases} \sin(\omega_c t), & signal = 1 \\ -\sin(\omega_c t), & signal = 0 \end{cases}$$

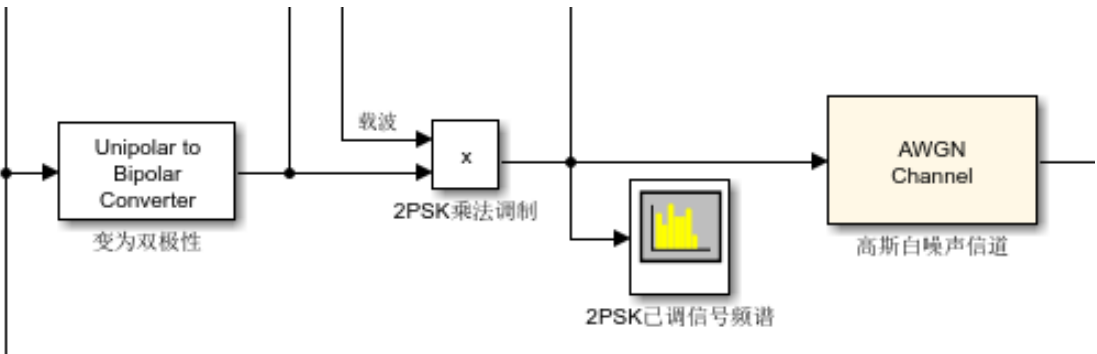


Fig. 2: 2PSK 发送部分

#### 3.2.2 接收

解调分为过带通、乘载波、过低通、抽样判决四个部分，设计如图 3。

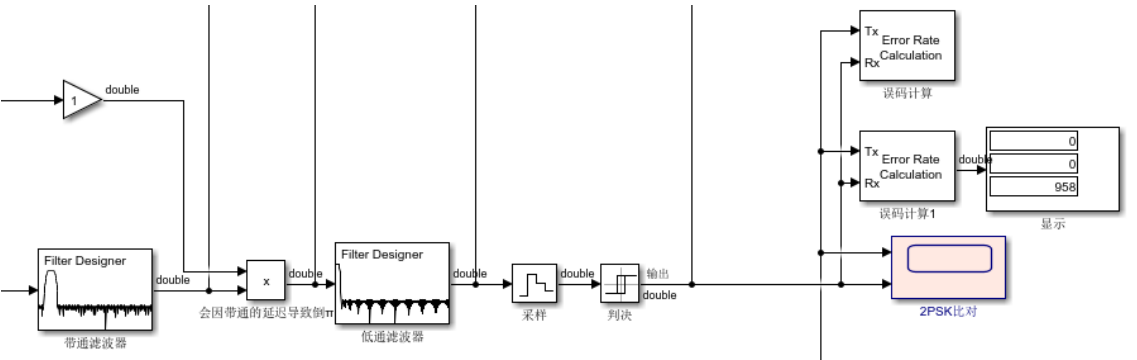
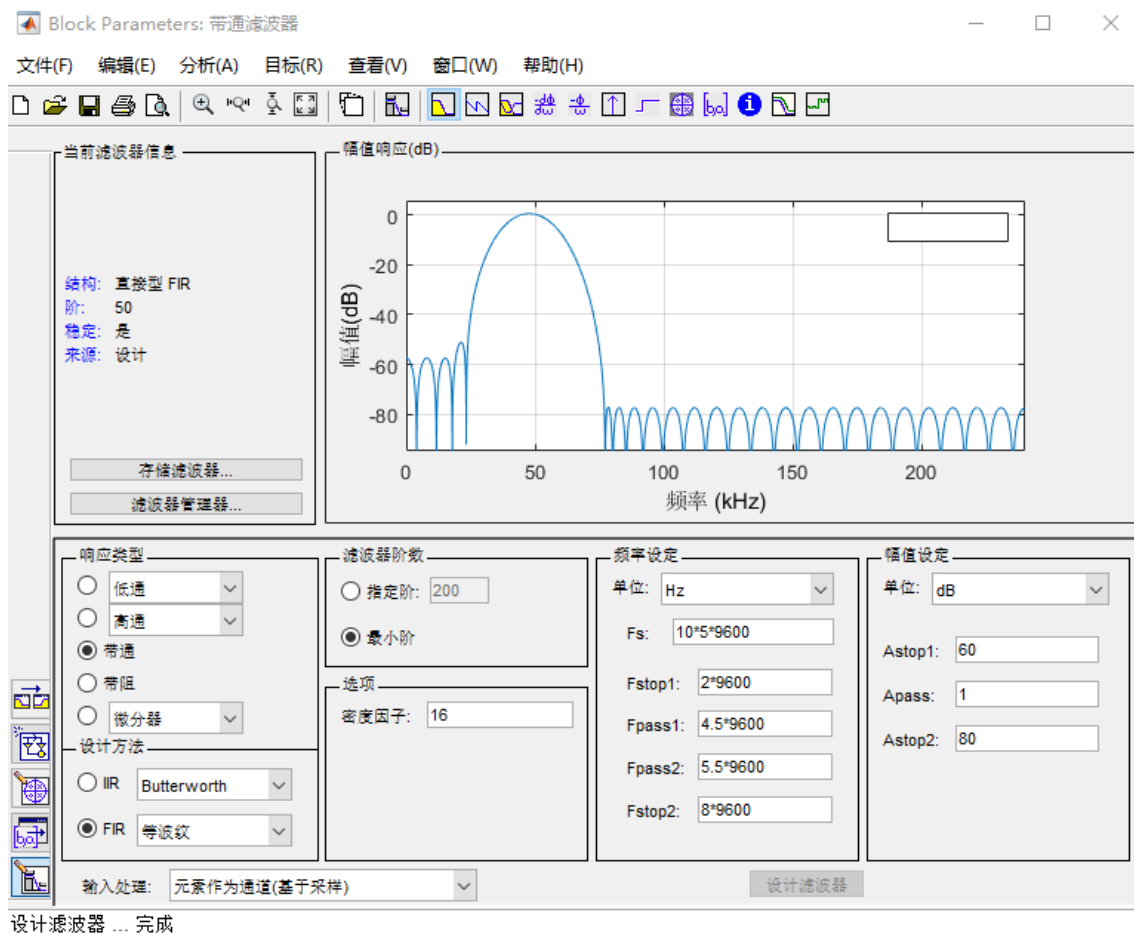


Fig. 3: 2PSK 接收部分

带通滤波器设计如图 4，Fs 符合载波信号的采样频率，也即符合原调制信号的采样频率；而可通频率的中点为 5\*9600，即为载波信号的频率。

阶数自动设为 50，群延迟为 25sample，使得该滤波器的延迟恰为半个码元。由于每个码元对应的载波信号周期为奇数，因此这会导致延迟了非整数周期（2.5 个周期）。



与载波再相乘时，因为带通滤波器延迟了 2.5 个周期，所以直接乘的结果会和预期相反。

原预期:

$$M_{2PSK}(t) = \begin{cases} \sin^2(\omega_c t) , & signal = 1 \\ -\sin^2(\omega_c t) , & signal = 0 \end{cases}$$

### 延迟导致的现实情况:

$$M_{2PSK}(t) = \begin{cases} \sin(\omega_c(t - 2.5 * T_c/2)) * \sin(\omega_c t) = -\sin^2(\omega_c t) , & signal = 1 \\ -\sin(\omega_c(t - 2.5 * T_c/2)) * \sin(\omega_c t) = \sin^2(\omega_c t) , & signal = 0 \end{cases}$$

为了修正，此乘法器的载波输入要反相（使用 Gain 组件，设定增益为-1）。

修正后，输出就满足了原预期：当原信号为 0 时，输出必为负；当原信号为 1 时，输出必为正。

低通滤波器设计如图 5。自动设定阶数为 132，群延迟为 66sample。

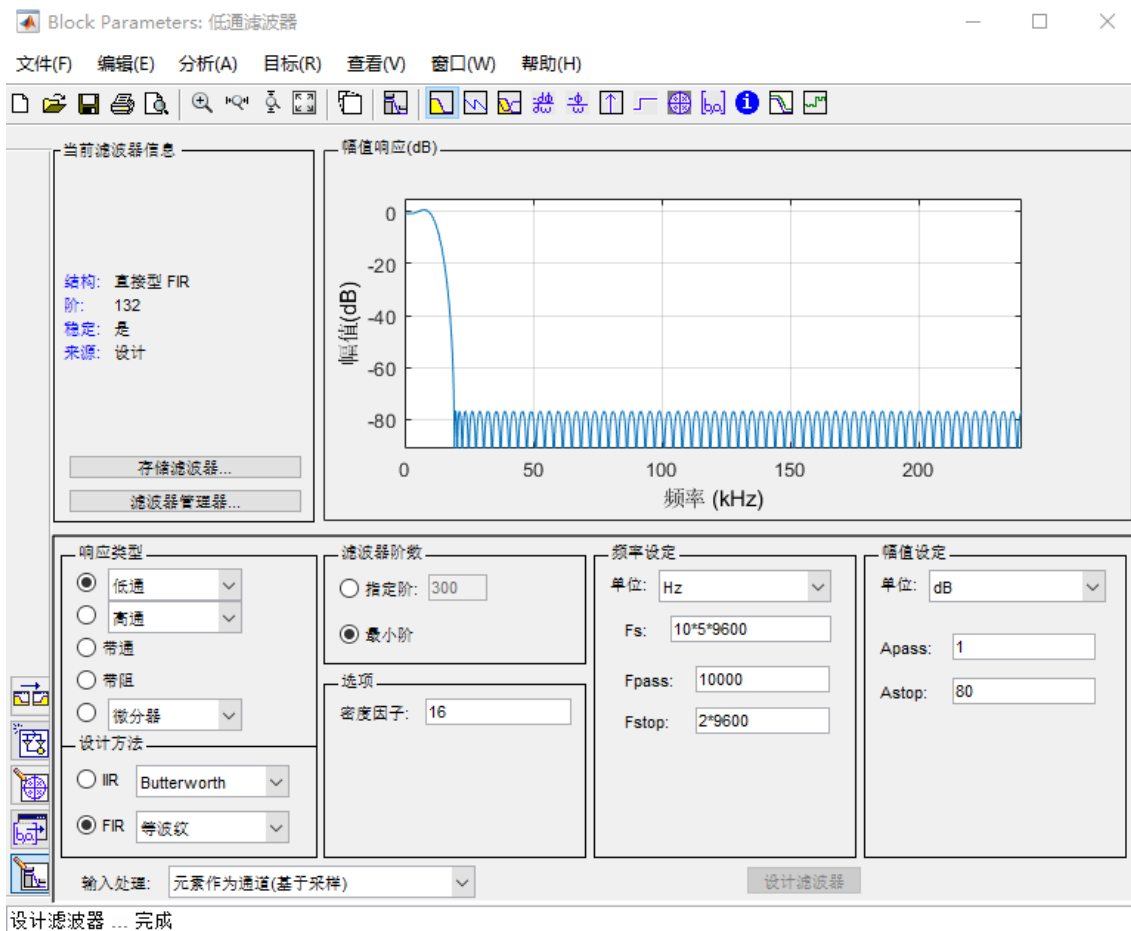


Fig. 5: 低通滤波器设计

两个滤波器的延迟总和为  $(25 + 66)/50 * 100\% = 182\%$  倍的码元长度，略小于两倍。这使得解调结果延迟两个码元，且采样时都避开了码元改变的时间点（零点）。

然后，使用零阶保持器对过低通的信号进行采样时间为  $1/9600$  的采样，再使用 Relay 进行判决，输出 0 和 1，即为解调结果信号。

最后，输送到误码率计算器。此处设置了两个误码率计算器，一个输出到显示组件，一个输出到工作区用于绘制误码曲线。要设置其 Receive Delay 属性为 2sample 以贴合接收信号的延迟。

### 3.3 2DPSK

#### 3.3.1 发送

2DPSK 的发送部分如图 6。相比于 2PSK 多了个差分编码部分，即与上一个输出进行异或后再输出（1 异或等价于取非，使得输出翻转）。

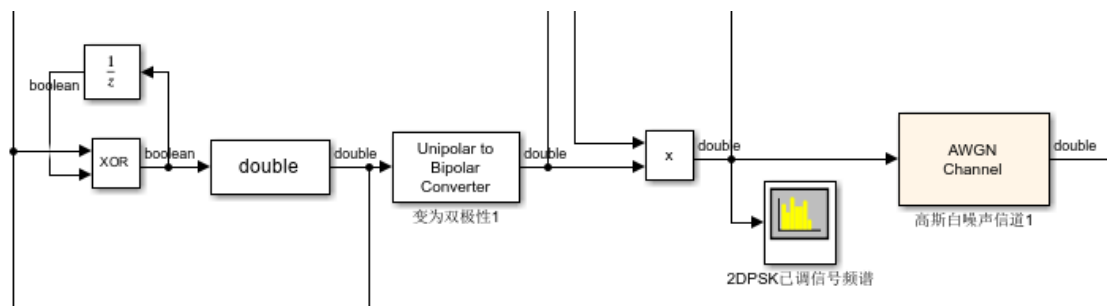


Fig. 6: 2DPSK 发送部分

### 3.3.2 接收

2DPSK 的接收部分如图 7。比 2PSK 多了个差分译码部分，即与下一个码元进行异或后再输出（与下一个码元一样则说明不翻转，为 0，否则为 1）。

差分译码的延迟器可能不完全准确，有较小可能在异或后在信号变化处出现抖动，此时也会报 Warning 提示误码率计算器的两个输入口频率不一致。在输出口加上零阶保持器能很好地解决该问题。

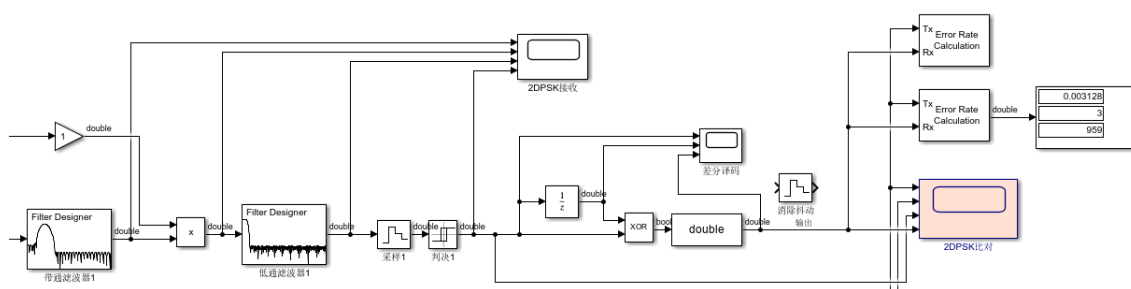


Fig. 7: 2DPSK 接收部分

## 4 仿真结果

### 4.1 频谱图

见图8、图9、图10。

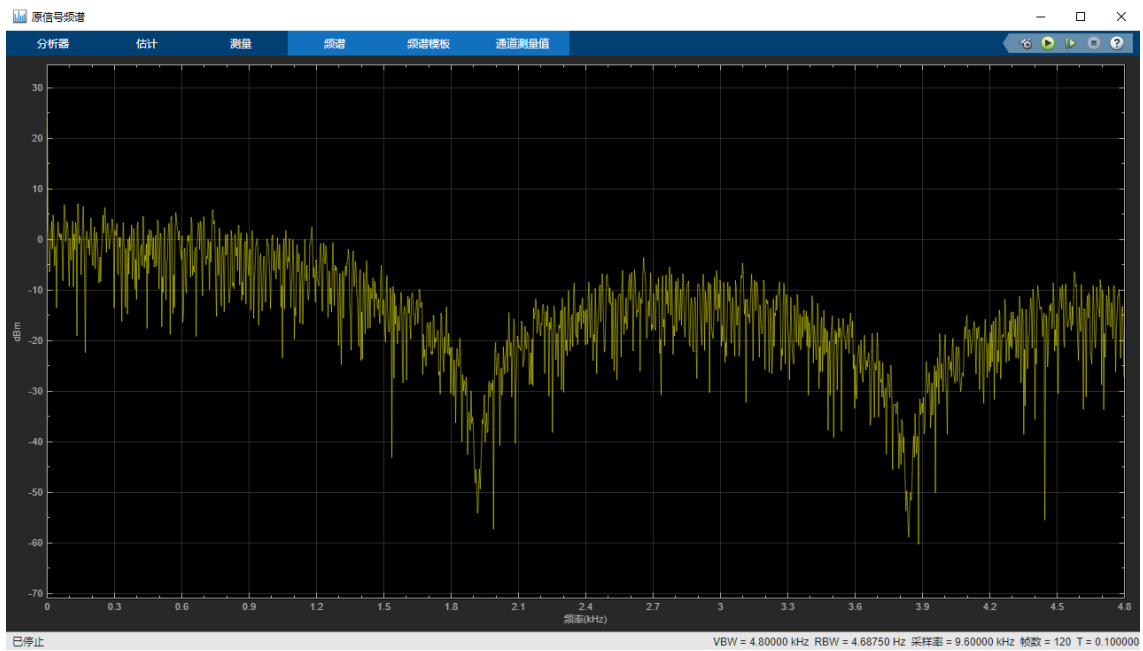


Fig. 8: 原信号频谱

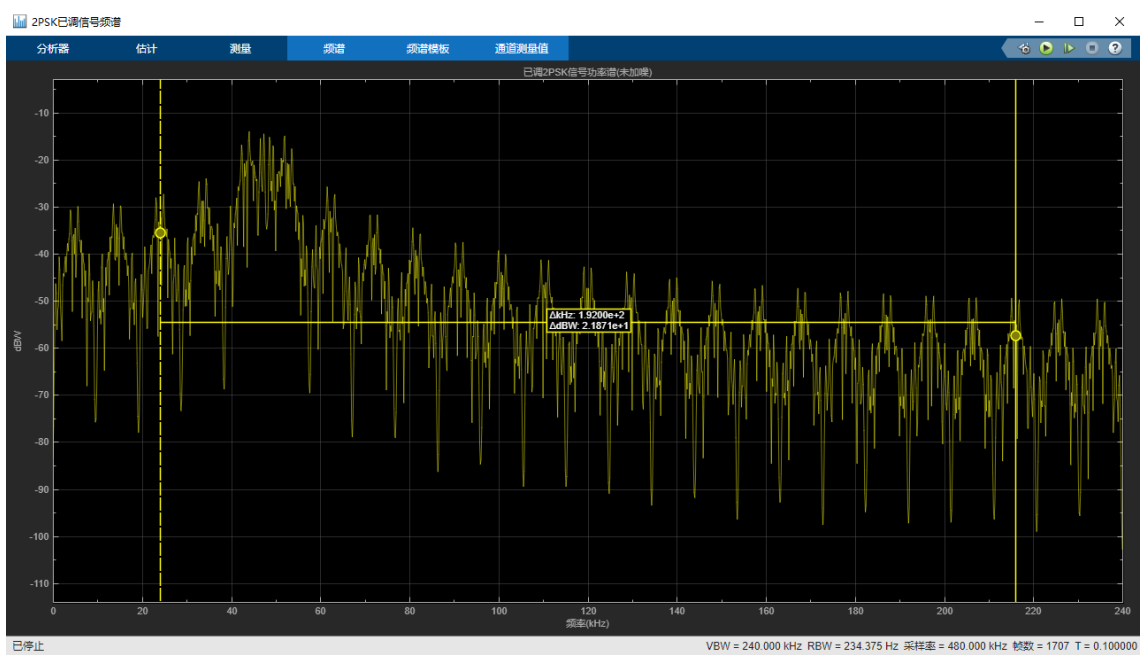


Fig. 9: 2PSK 已调信号频谱



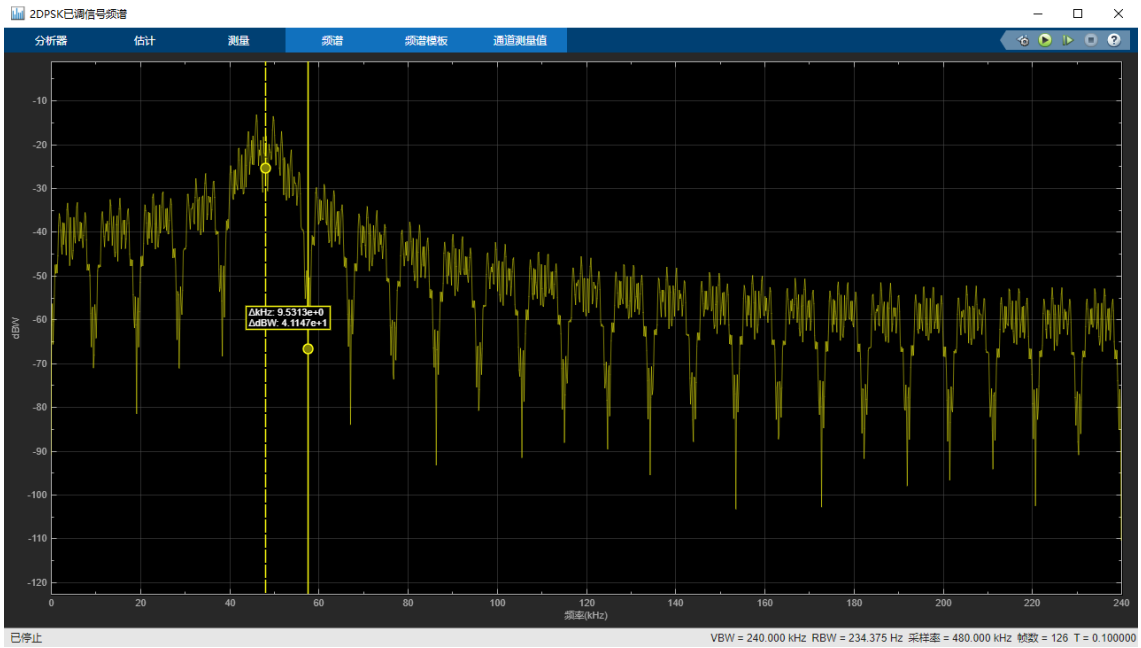


Fig. 10: 2DPSK 已调信号频谱

## 4.2 2PSK 调制解调

见图11、图12、图13。

从图13的比对中可以看出，输出信号比原信号延迟了两个码元，是两个滤波器的延迟叠加的结果，符合系统设计时的论证。

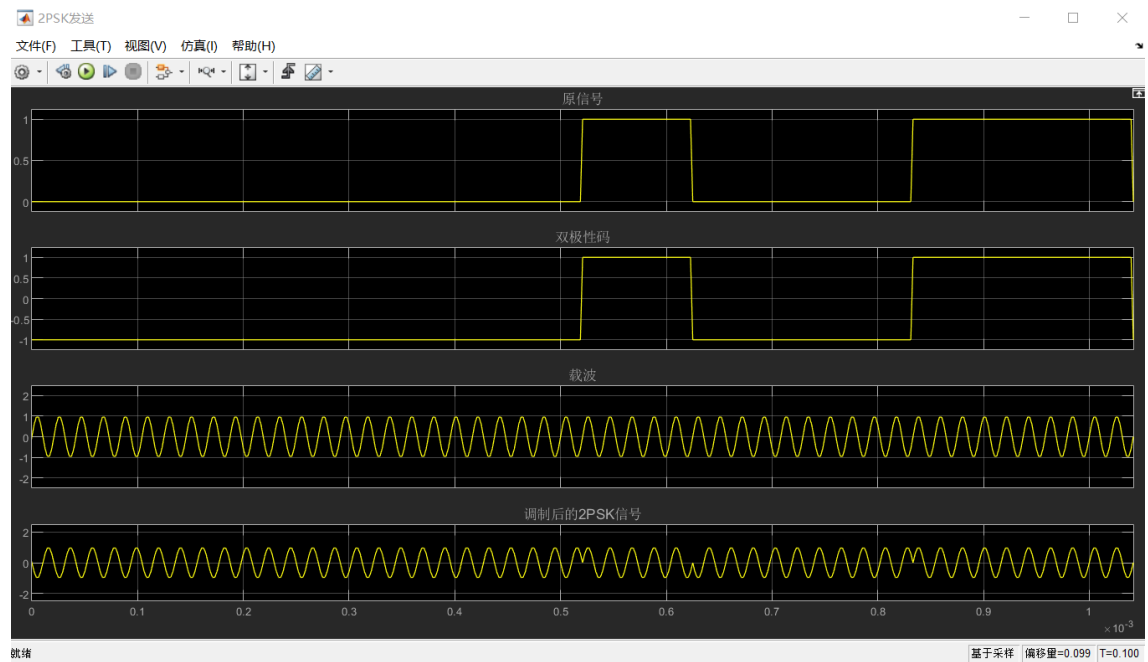


Fig. 11: 2PSK 发送

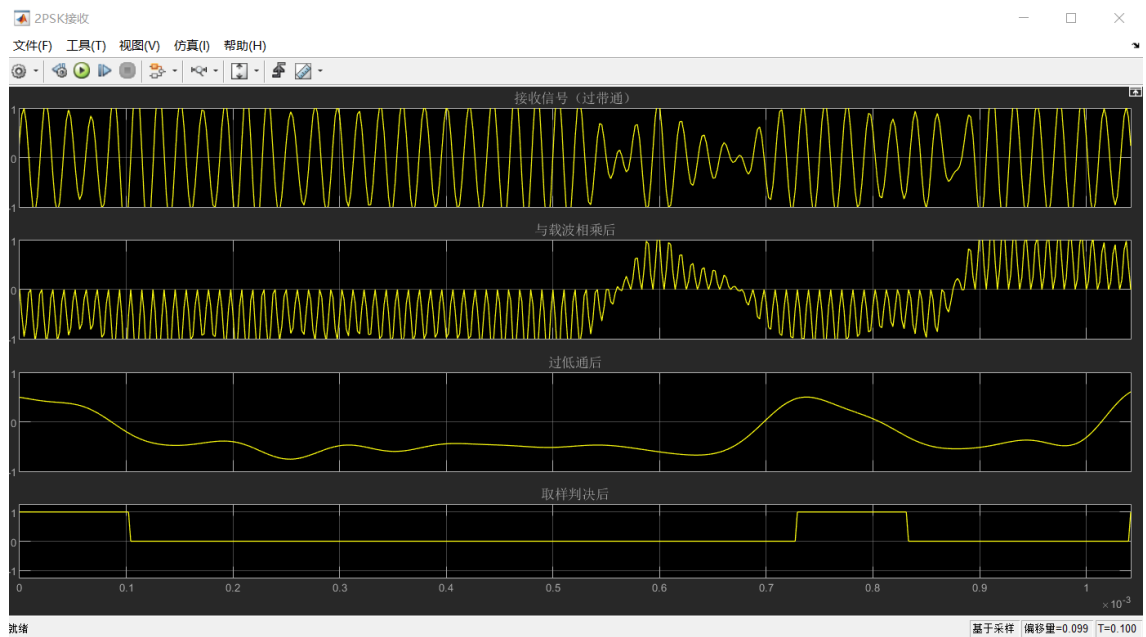


Fig. 12: 2PSK 接收

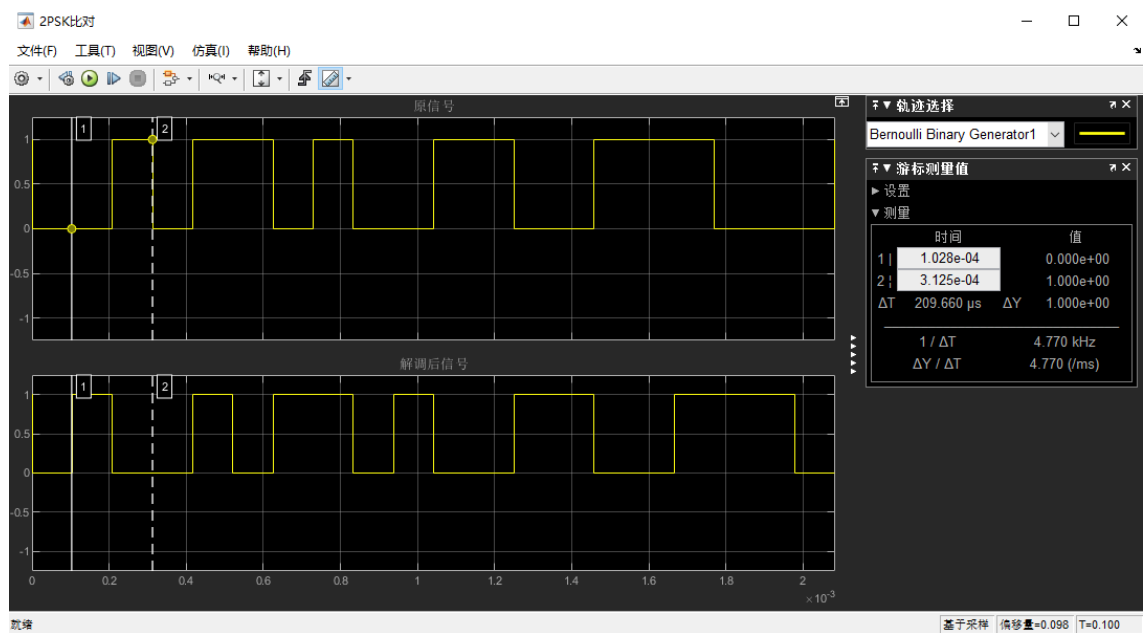


Fig. 13: 2PSK 比对

### 4.3 2DPSK 调制解调

见图14、图15、图16。

图13也表明输出信号比原信号延迟了两个码元。

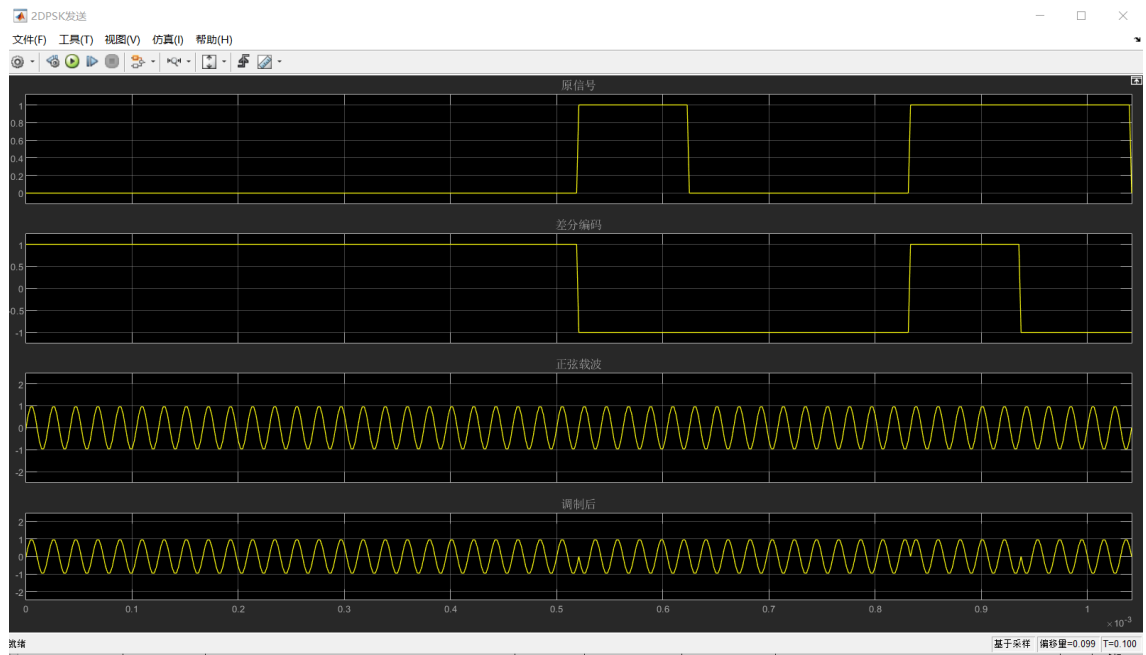


Fig. 14: 2DPSK 发送

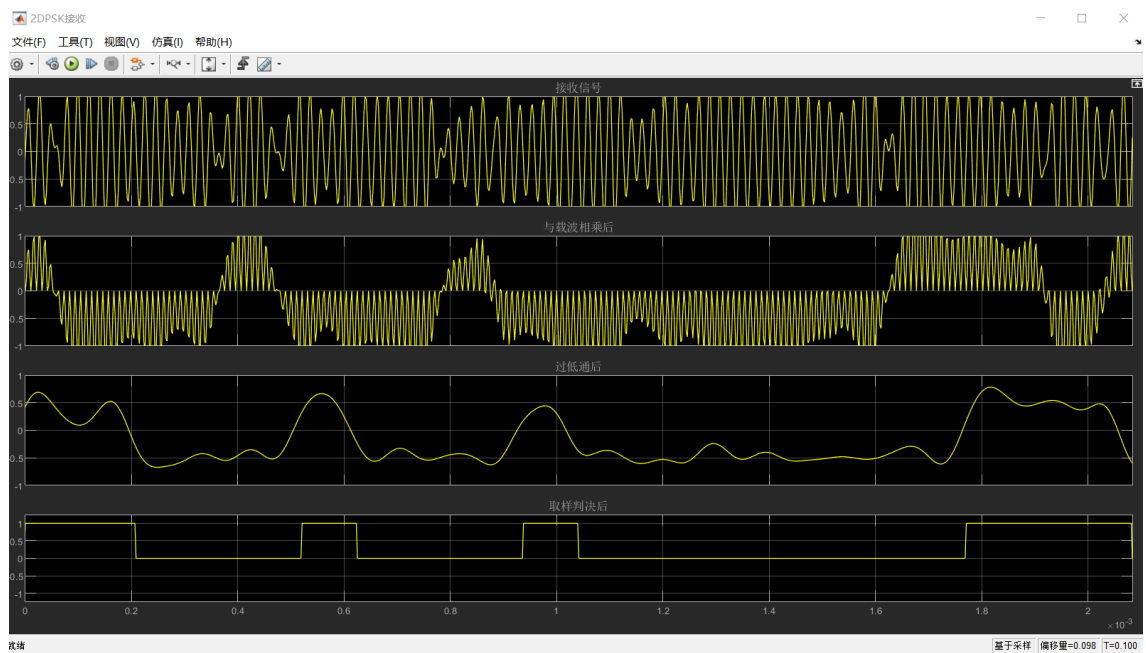


Fig. 15: 2DPSK 接收

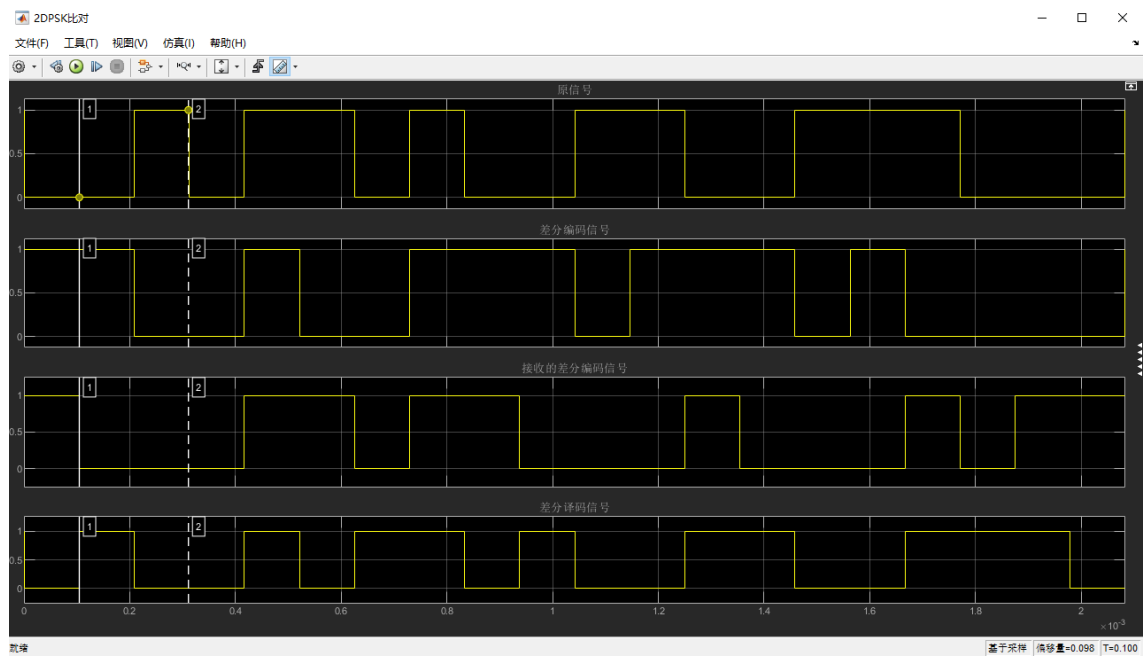


Fig. 16: 2DPSK 比对

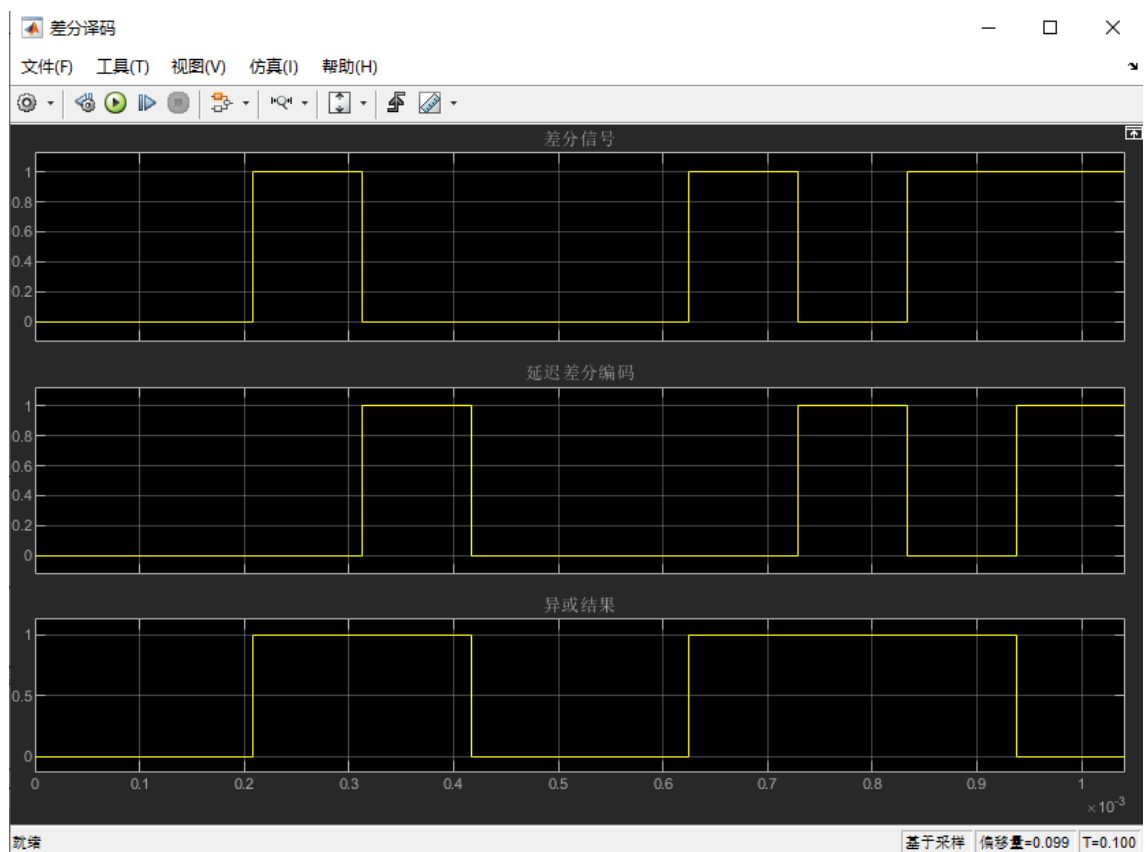


Fig. 17: 差分译码

## 4.4 相位模糊现象

将接收方的载波信号反相后，发现 2PSK 的误码率接近 100%，而 2DPSK 不受影响。

因为载波信号反相会导致抽样判决后的信号全部翻转，1 变 0、0 变 1。但是 2DPSK 在抽样判决后是差分信号，需要再进行差分译码才是结果；而差分信号是否翻转完全不影响差分译码的结果。

## 4.5 误码曲线

将高斯白噪声通道设为  $E_b/N_0$  模式并将  $E_b/N_0(\text{dB})$  属性设为  $E_b/N_0$ 。然后使用 bertool 工具读取输出到工作区的误码信息来绘制图像，并与理论值对比。

曲线见图18。可见 2PSK 比 2DPSK 的抗噪声性能更好。

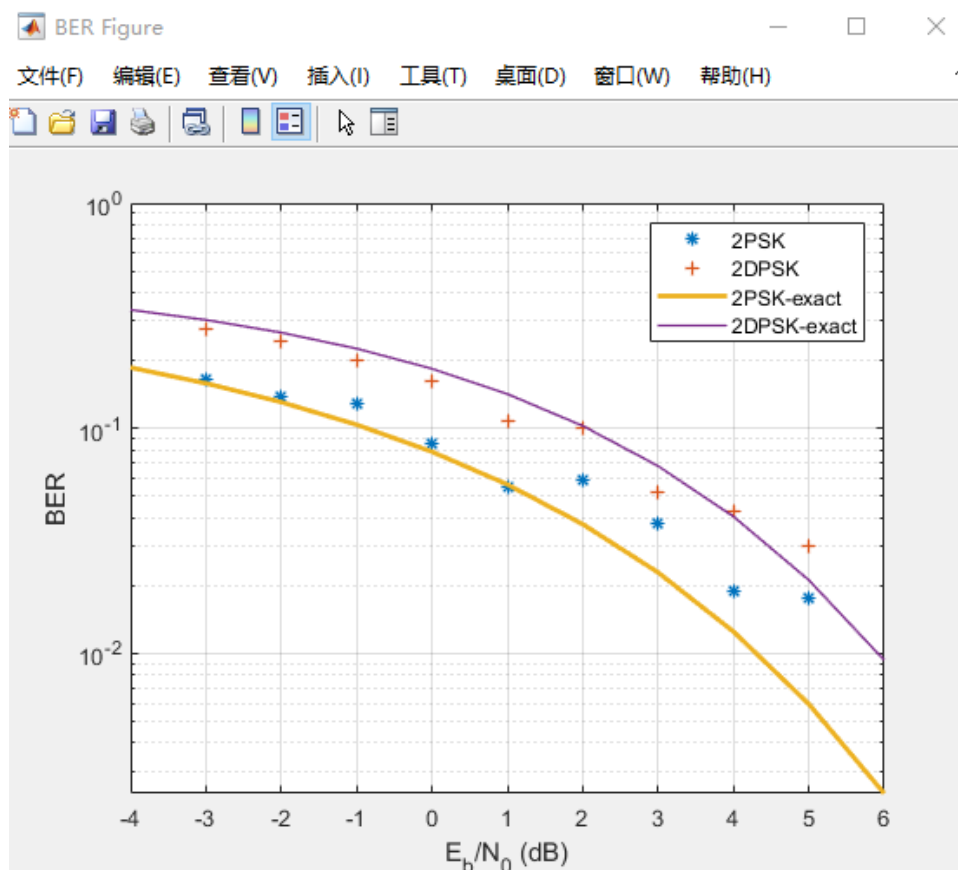


Fig. 18: 误码曲线

## 5 心得

在 2DPSK 调制解调中，差分编码译码涉及到了逻辑操作，此时输出是 bool 类型，在显示与功能上都有可能出问题。因此，我们要求每个涉及到 bool 的组件最

后都必须输出 `double` 类型（使用 `Data Type Conversion` 组件）。

滤波器的延迟是我们之前未考虑到的东西。后来才发现延迟与阶数有关，而默认阶数与  $F_s$  有关。经过多次测试检验，发现现在的参数是最佳的，即使使用默认的阶数也能很好地采样、解调。

此外，我们也更加熟悉了多个 MATLAB Simulink 组件，也学会了 `bertool` 的使用，同时加深了对滤波器、采样、信号运算等理论知识的理解。