



中國石油大學 (华东)  
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM

——研究 PSK 数字调制系统二进制传输和多进制传输的抗噪声性能的差异

2022 年

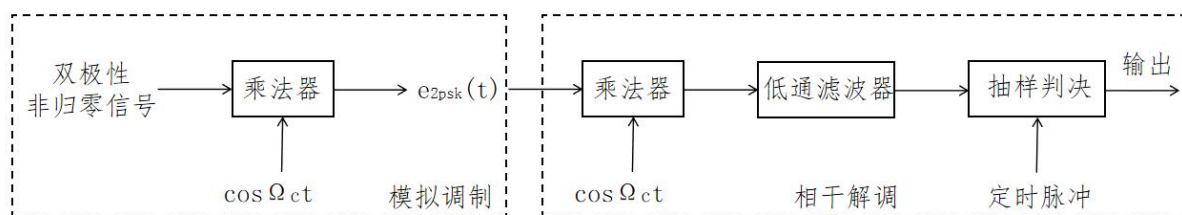
## 一、实验任务

- 1.探究不同进制的 PSK 数字调制系统抗噪声性能高低
- 2.探究其中 BPSK 数字调制系统中影响抗噪声性能的因素
- 3.实现利用 A 律十三折线 PCM 编码和频分复用系统进行模拟信号数字化传输
- 4.实现利用 A 律十三折线 PCM 编码串行系统进行模拟信号数字化传输

## 二、系统原理及设计

### (一) BPSK 系统

#### 1.BPSK 系统整体框架



#### 2.BPSK 系统各部分原理

模拟调制部分：

$$e_{2psk}(t) = \cos(\Omega_c t + \varphi_n)$$

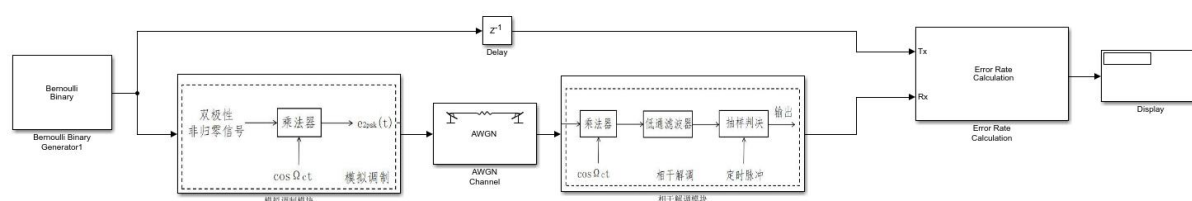
当发 0 码时  $\varphi_n$  为 0，当发 1 码时  $\varphi_n$  为  $\pi$

相干解调部分：

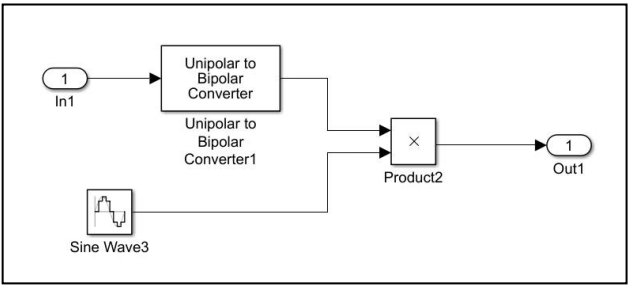
$$\begin{aligned} & \cos(\Omega_c t + \varphi_n) * \cos(\Omega_c t) \\ &= \frac{1}{2} [\cos(2\Omega_c t + \varphi_n) + \cos(\varphi_n)] \end{aligned}$$

经过低通滤波器之后高频分量被滤除，只包含含有消息信号信息的直流分量，然后经过抽样判决，1 判为 0 码，-1 判为 1 码就能恢复消息信号。

#### 3.BPSK 系统整体模型



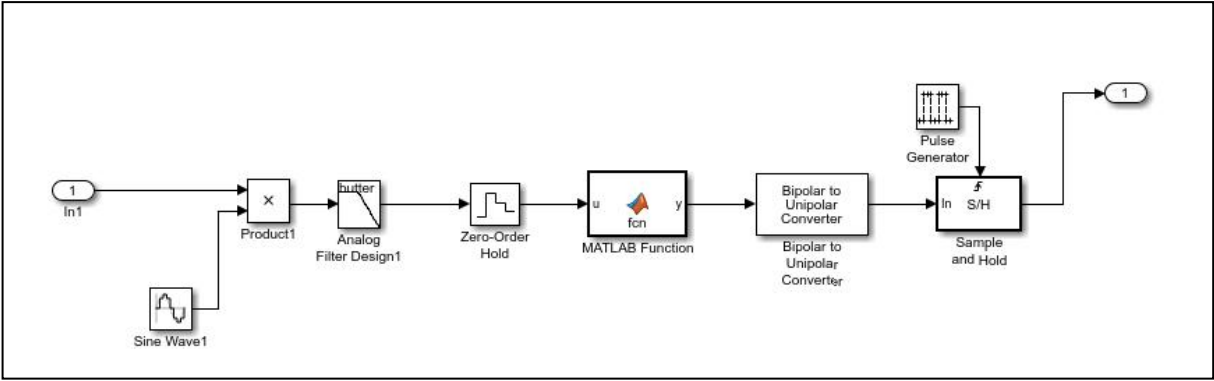
#### 4.BPSK 系统详细设计过程



BPSK 模拟调制部分子系统框图

BPSK 模拟调制部分子系统参数表

模块名称	模块来源	参数名称	参数设置
Bernoulli Binary Generator	Communications Toolbox - 1	Sample time	0.001
Unipolar to Binpolar Converter	Communications Toolbox - 2	M-ary number	2
		Polarity	Positive
Sine Wave3	DSP System Toolbox - 1	Frequency (Hz)	$2 \times \pi \times 2000$
		Sample time	$1.00 \times 10^{-5}$
		Phase	0



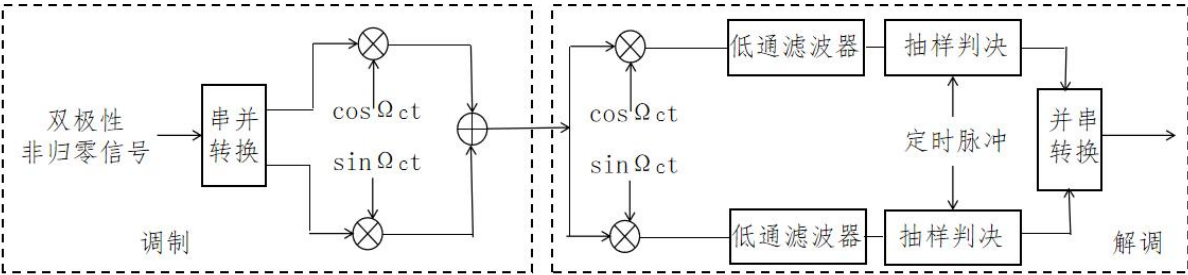
BPSK 相干解调部分子系统框图

BPSK 相干解调部分子系统参数表

模块名称	模块来源	参数名称	参数设置
Bipolar to Unipolar Converter	Communications Toolbox - 2	M-ary number	2
		Polarity	Positive
Sine Wave1	DSP System Toolbox - 1	Frequency (Hz)	2*pi*2000
		Sample time	1.00E-05
		Phase	0
Analog Filter Design1	DSP System Toolbox - 1	Design method	Butterworth
		Filter type	Lowpass
		Filter order	8
		Lower passband edge frequency	1000*2*pi
Zero-Order Hold	Simulink - 1	Sample time	0.001
MATLAB Function	Simulink - 1	大于 0 时判为 1，小于 0 时判为-1	
Pulse Generator	DSP System Toolbox - 1	Period	2
		Pulse width	1
		Sample time	0.0005
Sample and Hold	DSP System Toolbox - 1	Trigger type	Rising edge

(二) QPSK 系统

1.QPSK 系统整体框架

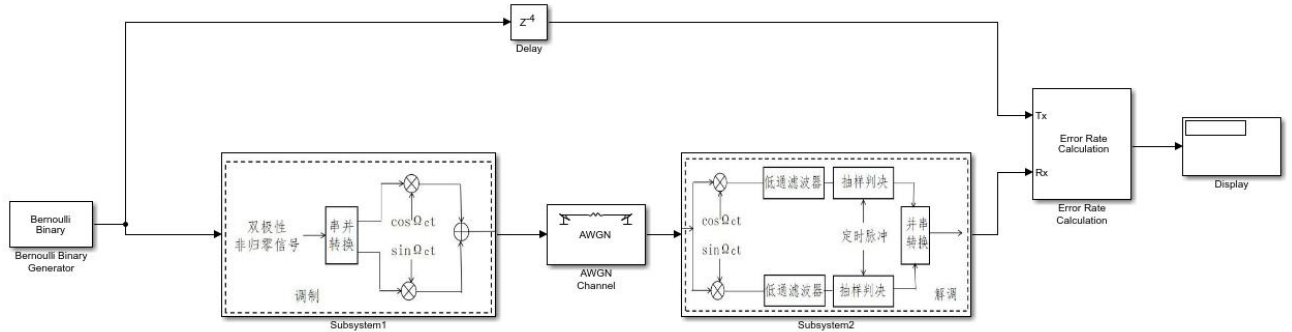


2.QPSK 系统各部分原理

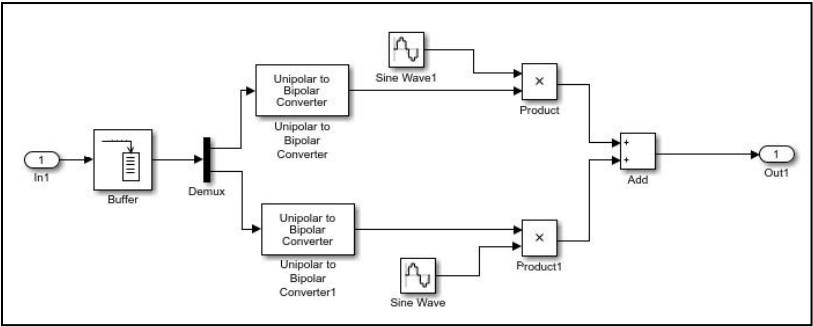
调制部分：QPSK 可以视为两路正交的 BPSK 信号叠加。

解调部分：分解为两路 BPSK 信号地相干解调。

### 3.QPSK 系统整体模型



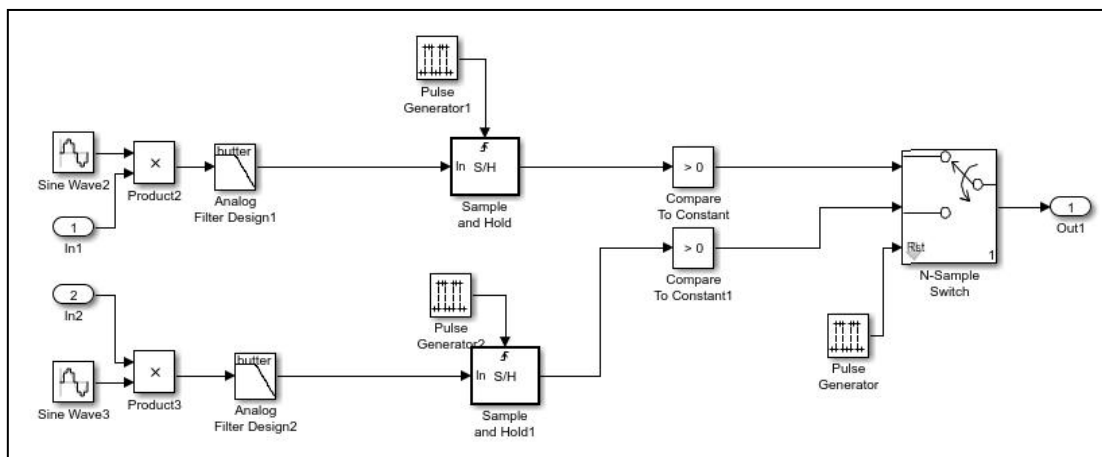
### 4.QPSK 系统详细设计过程



QPSK 调制部分子系统框图

QPSK 调制部分子系统参数表

模块名称	模块来源	参数名称	参数设置
Unipolar to Binpolar Converter	Communications Toolbox - 2	M-ary number	2
		Polarity	Positive
Sine Wave1	DSP System Toolbox - 1	Frequency (Hz)	2*pi*2000
		Sample time	1.00E-05
		Phase	pi/2
Sine Wave	DSP System Toolbox - 1	Frequency (Hz)	2*pi*2000
		Sample time	1.00E-05
		Phase	0
Buffer	DSP System Toolbox - 1	Output buffer size	2



QPSK 解调部分子系统框图

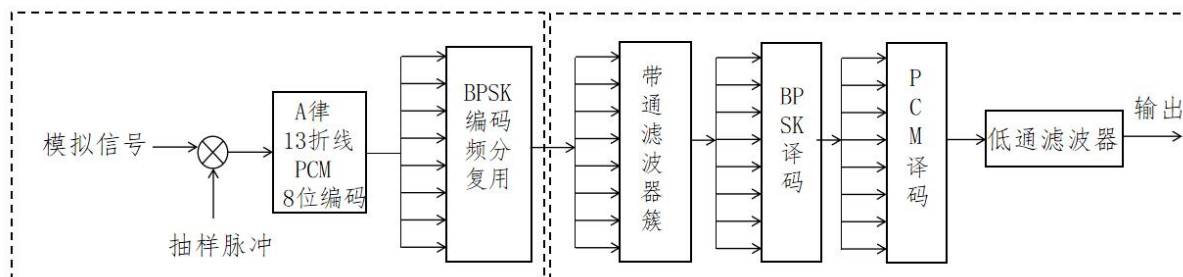
QPSK 解调部分子系统参数表

模块名称	模块来源	参数名称	参数设置
Sine Wave2	DSP System Toolbox - 1	Frequency (Hz)	$2\pi \times 2000$
		Sample time	$1.00\text{E}-05$
		Phase	$\pi/2$
Sine Wave3	DSP System Toolbox - 1	Frequency (Hz)	$2\pi \times 2000$
		Sample time	$1.00\text{E}-05$
		Phase	0
Analog Filter Design1	DSP System Toolbox - 1	Design method	Butterworth
		Filter type	Bandpass
		Filter order	4
		Lower passband edge frequency	$180 \times 2\pi$
		Upper passband edge frequency	$220 \times 2\pi$
Analog Filter Design2	DSP System Toolbox - 1	Design method	Butterworth
		Filter type	Lowpass
		Filter order	5
		Passband edge frequency	$50 \times 2\pi$
N-Sample Switch	Simulink - 1	Switch count, N	1

此处的抽样保持和与 0 比较的模块相当于抽样判决的功能。

### (三) PCM 编码和频分复用系统

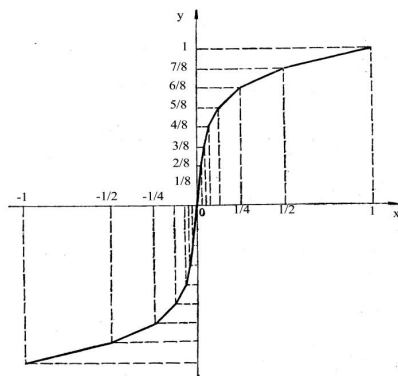
#### 1.PCM 编码和频分复用系统整体框架



#### 2.PCM 编码和频分复用系统各部分原理

奈奎斯特采样定理：最高频率小于  $f_H$  的模拟信号  $m(t)$  可由其等间隔的抽样值唯一确定，抽样间隔  $T_s$  或抽样速率  $f_s$  应满足  $f_s \geq 2f_H$ 。因此抽样脉冲的抽样速率应满足此关系。

A 律是 PCM 非均匀量化中的一种对数压扩形式，A 律压缩表示式是一条连续的平滑曲线，用电子线路很难准确的实现。现在由于数字电路技术的发展，这种特性很容易用数字电路来近似实现，13 折线特性就是近似于 A 压缩律的特性，曲线图如下：



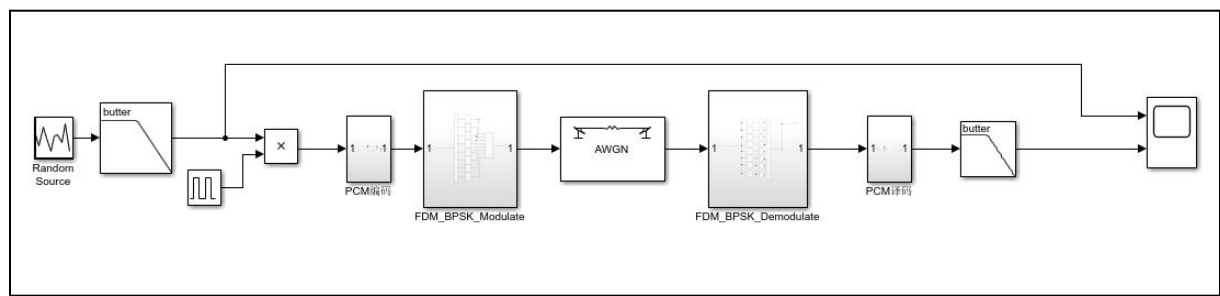
在 A 律 13 折线 PCM 编码中，共计  $2^8$  次方个量化级，所以每个抽样值要编为 8 位码。8 位码分为极性码：表示样值的极性。正编“1”，负编“0”、段落码：表示样值的幅度所处的段落、段内码：16 种可能状态对应代表各段内的 16 个量化级。

频分复用的基本思想是：要传送的信号带宽是有限的，而线路可使用的带宽则远远大于要传送的信号带宽，通过对多路信号采用不同频率进行调制的方法，使调制后的各路信号在频率位置上错开，以达到多路信号同时在一个信道内传输的目的。因此，频

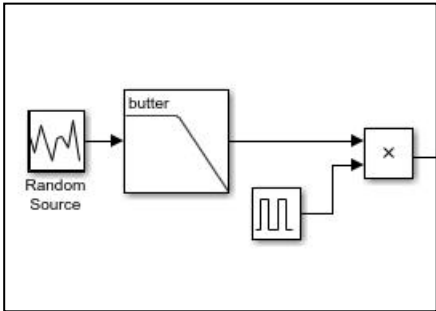
分复用的各路信号是在时间上重叠而在频谱上不重叠的信号。

接收端信号恢复：满足采样定理的信号，频域频谱不混叠，只需在接收端设置一个截止频率为消息信号最高频率的低通滤波器即可。

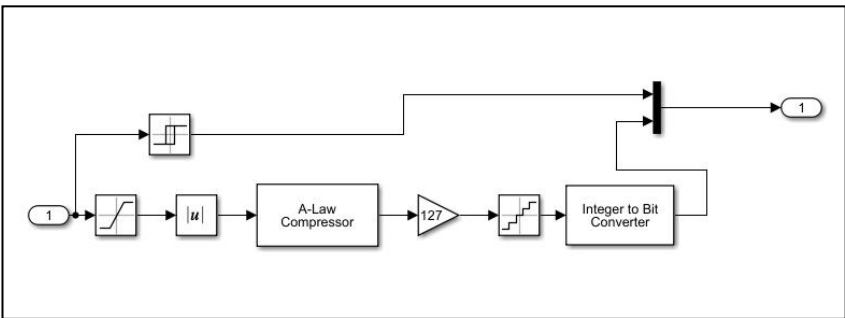
3. PCM 编码和频分复用系统整体模型



4.PCM 编码和频分复用系统详细设计过程

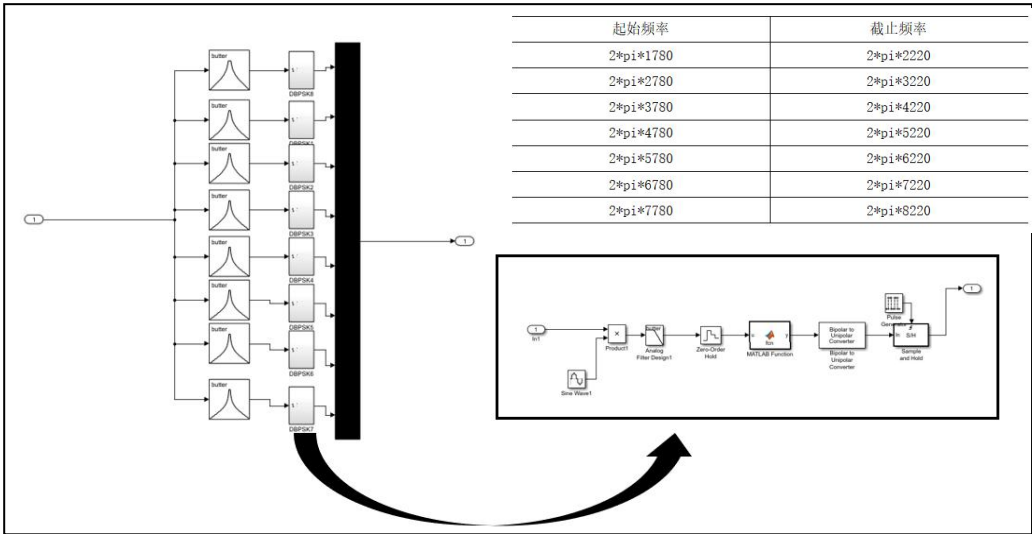
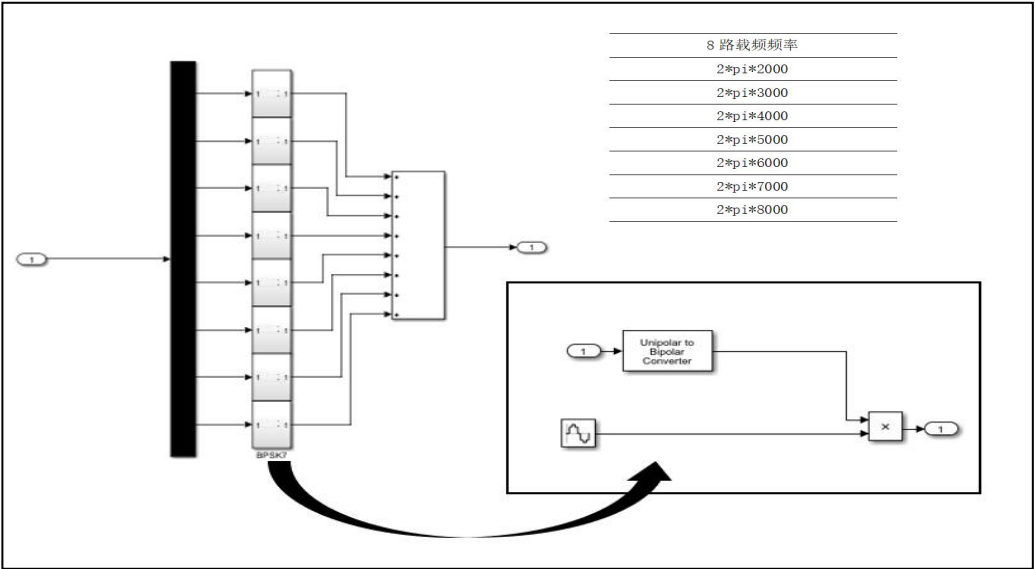


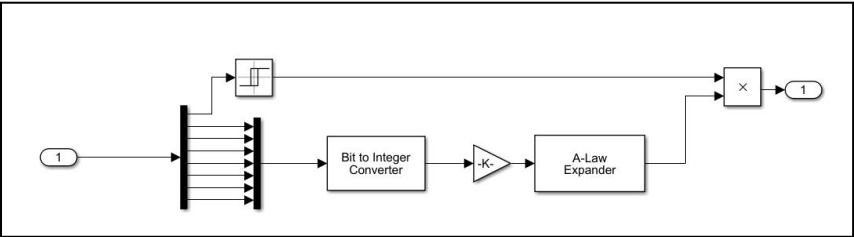
模块名称	模块来源	参数名称	参数设置
Analog Filter Design1	DSP System Toolbox - 1	Design method	Butterworth
		Filter type	Lowpass
		Filter order	8
		Passband edge frequency	100*2*pi
Random Source	DSP System Toolbox - 1	Sample time	0.01



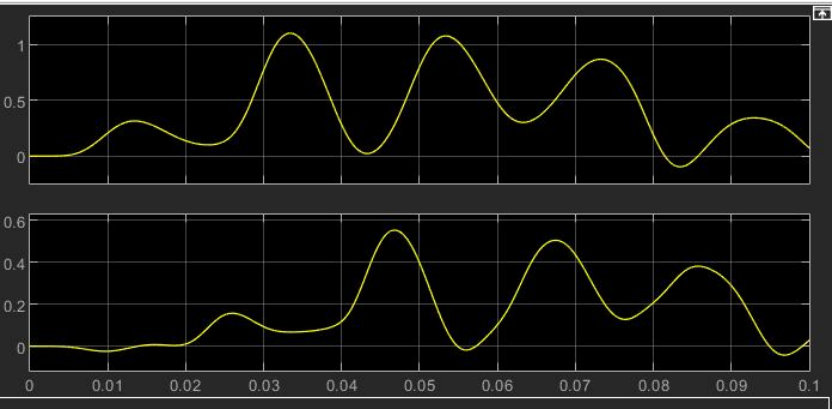


模块名称	模块来源	参数名称	参数设置
Relay	Simulink - 1	Switch on point	0.1
		Switch off point	0.1
		Output when on	1
		Output when off	0
Saturation	Simulink - 1	Upper limit	1
		Lower limit	-1
Quantizer1	Communications Toolbox - 1	Quantization interval	1
Bit to Integer Converter1	Communications Toolbox - 1	Number of bits per integer(M)	7





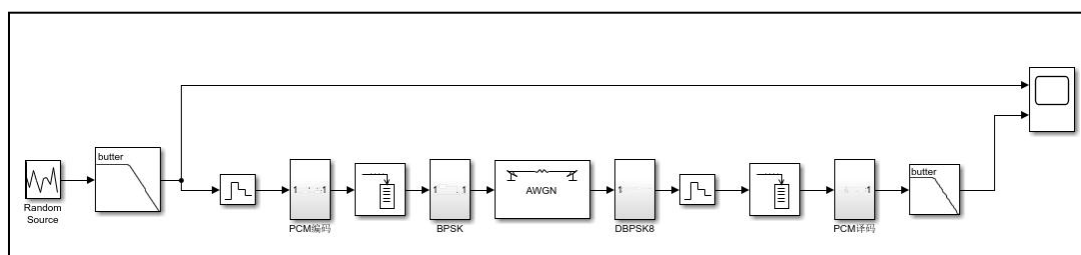
模块名称	模块来源	参数名称	参数设置
Relay	Simulink - 1	Switch on point	0.1
		Switch off point	0.1
		Output when on	1
		Output when off	0
Bit to Integer Converter	Communications Toolbox - 1	Number of bits per integer(M)	7



Scope 结果图

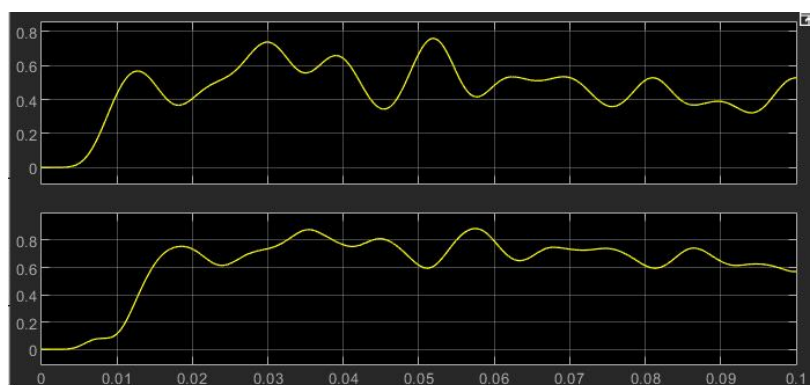
#### (四) PCM 编码串行系统

##### 1.PCM 编码串行系统整体模型



##### 2.PCM 编码串行系统详细设计过程

在 PCM 并行 8 位编码完后进行并转串工作，在 simulink 里具体就是利用 Buffer，完成类似于时分复用的操作将左侧 Buffer 的 Output buffer size 参数设置为 1，就是将并行转化为串行。需要注意的是，Buffer 只接收离散数据，所以需要在 Buffer 前面要加上 0 阶保持器进行离散化。第二个 Buffer 的 Output buffer size 参数设置为 8，就完成了串并转换。



Scope 结果图

### 三、实验方案

任务 1：探究不同进制数字调制方式的抗噪声性能高低

按照提出问题-做出假设-设计实验的步骤进行。

**BPSK** 系统的抗噪声性能要好于 **QPSK** 系统的抗噪声性能吗？

假设：**BPSK** 系统的抗噪声性能要好于 **QPSK** 系统的抗噪声性能

实验设计：数字基带信号码元速率、信道中信噪比因素相同的前提下，运行两个系统，比对误码率的异同。信噪比从-18dB—-8dB，每个信噪比情况下运行 100 次求均值。

实验参数设置表：

参数名称	参数值	参数名称	参数值
载波频率	2kHz	载波幅度	2V
消息信号速率	1kHz	解调器前置滤波器	无

任务 2：探究其中一种数字调制系统中影响抗噪声性能的因素

以 **BPSK** 系统为例

解调器前置滤波器有无对误码率性能有影响吗？

(1) 假设 (1)：解调器前置滤波器有无对误码率性能有影响。

实验设计：其他因素不变的情况下，添加和删除前置滤波器，观察误码率的变化。共分为 4 组，每组运行 100 次绘制箱线图。

当载波频率和消息信号速率可比拟时实验参数设置表：

参数名称	参数值	参数名称	参数值
载波频率	2kHz	载波幅度	2V
消息信号速率	1kb/s	信噪比	-20dB

当载波频率远大于消息信号速率时实验参数设置表：

参数名称	参数值	参数名称	参数值
载波频率	2kHz	载波幅度	2V
消息信号速率	100b/s	信噪比	-20dB

数字基带信号码元速率对误码率性能有影响吗？

(2) 假设 (2)：数字基带信号码元速率对误码率性能有影响。

实验设计：其他因素不变的情况下，改变基带信号码元速率，观察误码率的变化。

参数名称	参数值	参数名称	参数值
载波频率	2kHz	载波幅度	2V
信噪比	-20dB	解调器前置滤波器	无

载波幅度不同的情况下对误码率性能有影响吗？

(3) 假设 (3) 载波幅度不同的情况下对误码率性能有影响。

实验设计：在信噪比等其他因素不变的情况下，改变载波幅度，观察误码率的变化。

参数名称	参数值	参数名称	参数值
载波频率	2kHz	消息信号速率	1kb/s
信噪比	-20dB	解调器前置滤波器	无

载波频率不同的情况下对误码率性能有影响吗？

(4) 假设 (4) 载波频率不同的情况下对误码率性能有影响。

实验设计：其他因素不变的情况下，改变载波频率，观察误码率的变化。

参数名称	参数值	参数名称	参数值
载波幅度	2V	消息信号速率	1kb/s
信噪比	-20dB	解调器前置滤波器	无

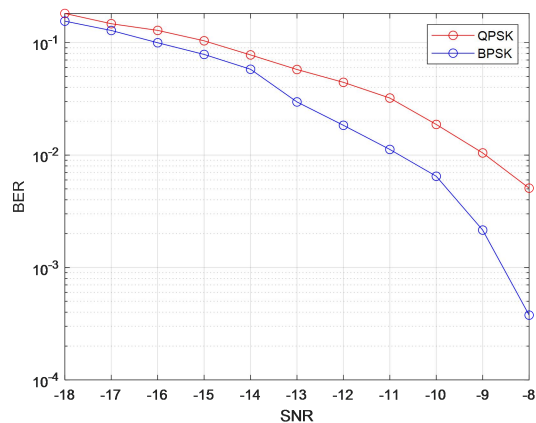
消息信号振幅不同的情况下对误码率性能有影响吗？

(5) 假设 (5) 消息信号振幅不同的情况下对误码率性能有影响。

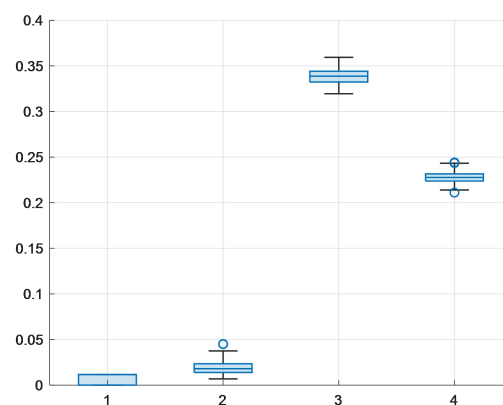
实验设计：在信噪比等其他因素不变的情况下，改变消息信号振幅，观察误码率的变化。

参数名称	参数值	参数名称	参数值
载波幅度	2V	消息信号速率	1kb/s
信噪比	-20dB	解调器前置滤波器	无

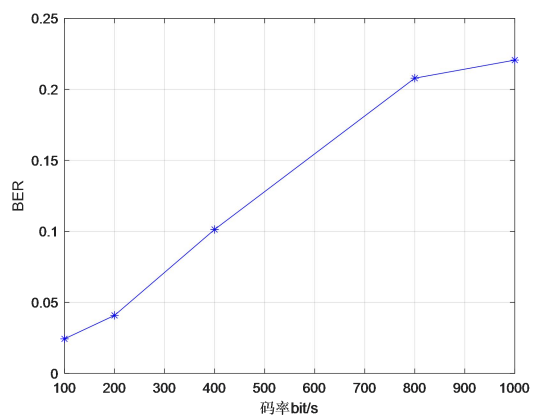
#### 四、实验现象



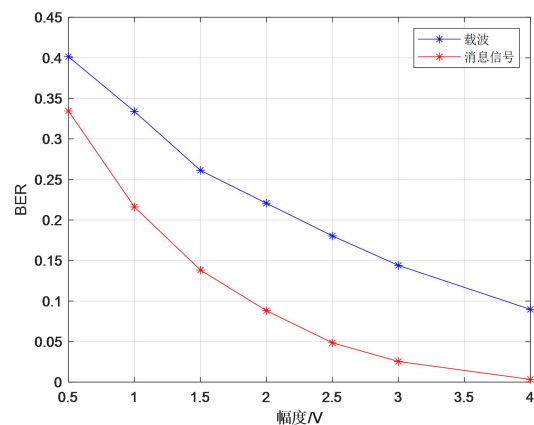
任务 1 实验现象图



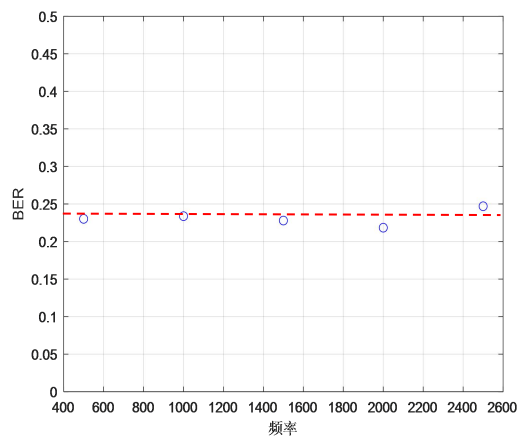
任务 2 假设 (1) 实验现象图



任务 2 假设 (2) 实验现象图



任务 2 假设 (3) (5) 实验现象图



任务 2 假设 (4) 实验现象图

## 五、实验现象分析

任务 1 的实验现象分析：随着信噪比的增加 BPSK 和 QPSK 误码率都减少，BPSK 误码率曲线在 QPSK 的误码率曲线下方，说明信噪比和其他条件一定的情况下 QPSK 抗噪声能力弱。

任务 2 假设（1）4 组实验分别是 1.载波频率远大于消息信号频率时存在前置滤波器时误码率箱线图 2.载波频率远大于消息信号频率时不存在前置滤波器时误码率箱线图 3.载波频率远与消息信号频率可比拟且存在前置滤波器时误码率箱线图 4.载波频率远与消息信号频率可比拟且不存在前置滤波器时误码率箱线图。第 1 组实验误码率较小分布密集，说明在载波频率远大于消息信号频率时，前置滤波器能很好地减小误码率而且使误码率稳定。

任务 2 假设（2）说明在其他条件一定的情况下随着码率的增加，误码率也增加，呈现正比关系。

任务 2 假设（3）（5）随着载波幅度和消息信号幅度增加误码率呈现指数级下降，而且消息信号曲线下降快说明消息信号幅度对误码率影响更大。

任务 2 假设（6）在无前置滤波器的情况下，载波频率不同，误码率在一条直线上下浮动，说明改变载波频率对误码率没有影响。

## 六、结果与结论

结论 1：BPSK 系统的抗噪声性能要好于 QPSK 系统的抗噪声性能。

结论 2：解调器前置滤波器有无对误码率性能有影响。

结论 3：数字基带信号码元速率对误码率性能有影响。

结论 4：载波幅度不同的情况下对误码率性能有影响。

结论 5：假设 4 不成立，载波频率不同的情况下对误码率性能无影响。

结论 6：消息信号振幅不同的情况下对误码率性能有影响。

## 七、总结

1. 做实验的时候列一个表把各项参数的修改提前规划好，实验实施地时候不容易出现错误。

2. 对待实验中出现的异常情况要小心处理，在比较码率与误码率关系时，就因为抽样速率没有随着码率变化而变化，导致画出的图像有一个峰值，这显然和理论分析是不符合的，我逐个元件检查，发现了这个问题，修正了图像。

3. 在做前解调器前置滤波器对误码率性能影响时，起初发现加前置滤波器反而误码率提高，这显然不符合理论分析，通过查找资料，我发现消息信号的频率和载波频率设置必须要不可比拟，即消息信号频率要远低于载波频率时，前置滤波器才会发挥出很好的效果。