

# 实验三：AWGN 信道中 BPSK, QPSK, QAM 调制解调及误码率性能分析

## 一、实验目的

1. 掌握 BPSK 调制解调原理；
2. 掌握 QPSK 调制解调原理；
3. 掌握 QAM 调制解调原理；
4. 理解噪声对 BPSK, QPSK, QAM 相干解调性能的影响；

## 二、实验原理

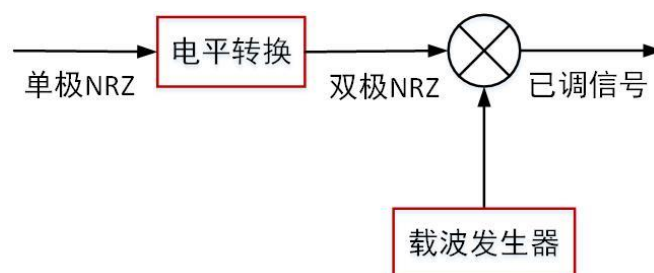
### 1. 二进制数字调制——BPSK

将二进制码元“0”对应相位为 $\pi$ 的载波 $-A\cos 2\pi f_c t$ ，“1”对应载波相位为0的载波 $A\cos 2\pi f_c t$ ，则 BPSK 信号可以写成如下表达式：

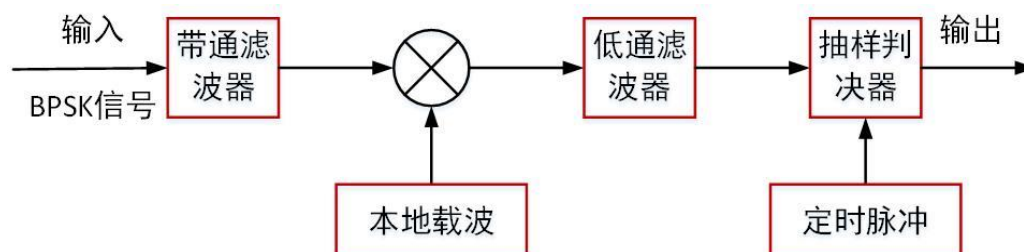
$$s(t) = \left[ \sum_n a_n g(t - nT_s) \right] A \cos 2\pi f_c t$$

其中 $a_n \in \{+1, -1\}$ ， $g(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t \leq T_s \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$ 。

BPSK 调制器可以采用相乘器来实现：



BPSK 解调必须采用相干解调（本次实验仅考虑使用同频同相载波进行相干解调的情况）：



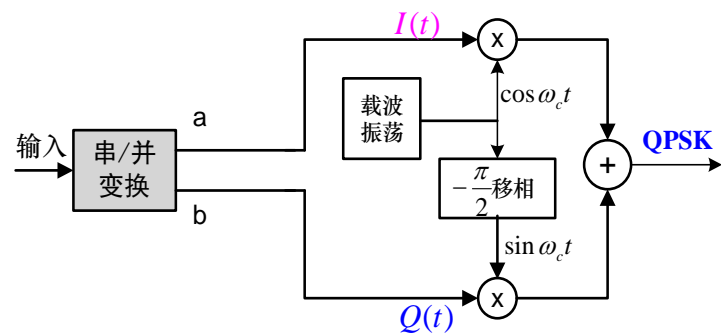
### 2. 多进制数字调制——QPSK

正交相移键控 QPSK 又称 4PSK，它的每一种载波相位代表两个比特，这两个比特的组合称做双比特码元，记为：ab（00、01、10 或 11），将二进制码元“00”对应相位为0的载

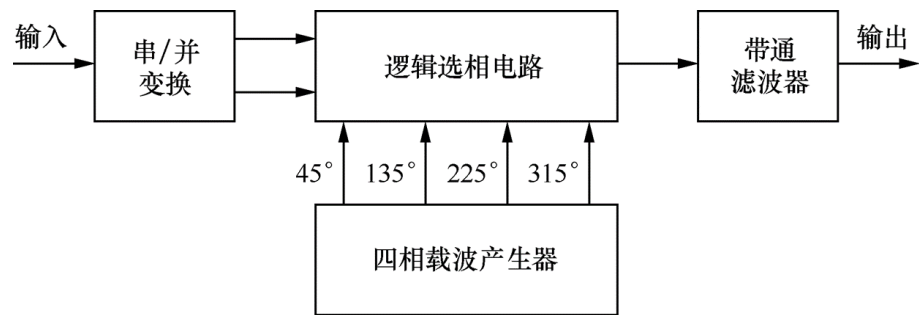
波  $A\cos 2\pi f_c t$ ，“10”对应相位为  $\pi/2$  的载波  $A\cos(2\pi f_c t + \pi/2)$ ，“11”对应相位为  $\pi$  的载波  $-A\cos 2\pi f_c t$ ，“01”对应相位为  $-\pi/2$  的载波  $-A\cos(2\pi f_c t + \pi/2)$ ，则 QPSK 信号可以写成如下表达式：

$$s(t)=\left[\sum_n a_n g\left(t-nT_s\right)\right] A \cos \left(2 \pi f_c t+\varphi_n\right)$$

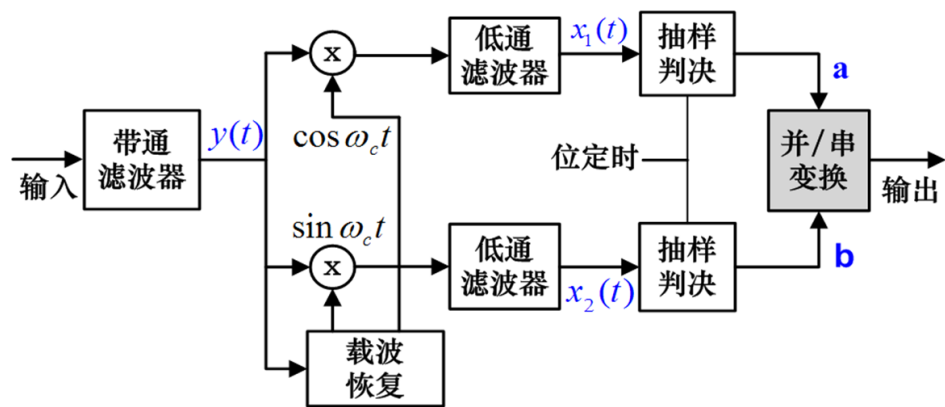
QPSK 调制器可以视为两个相互正交的 BPSK 信号的叠加，通过串并转换后移象来实现：



QPSK 调制器也可以通过串并转换后，根据当时的双比特 ab，经过选相电路从候选的 4 个相位中选择相应相位的载波进行输出来实现：



QPSK 解调可以将信号分为两路后，分别采用相干解调（本次实验仅考虑使用同频同相载波进行相干解调的情况）：



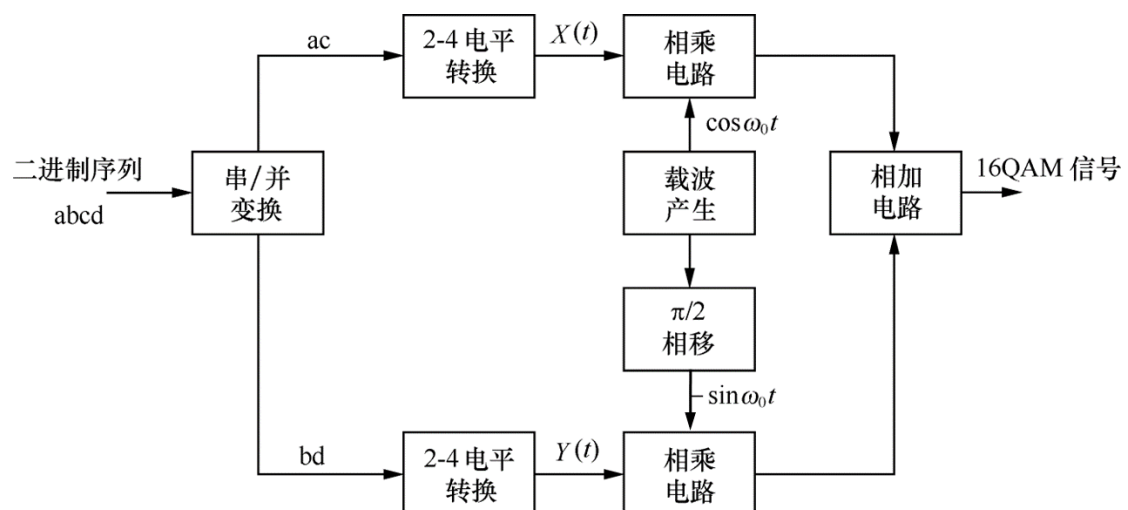
### 3. 多进制数字调制——MQAM

正交振幅调制 QAM 是一种振幅和相位联合键控的数字调制技术，表示载波的振幅和相位同时受基带信号控制，而 MQAM 中第一个 M 代表其码元种类数量，相应的一个码元能表示  $\log_2 M$  个二进制序列。因此，它的一个码元可表示为：

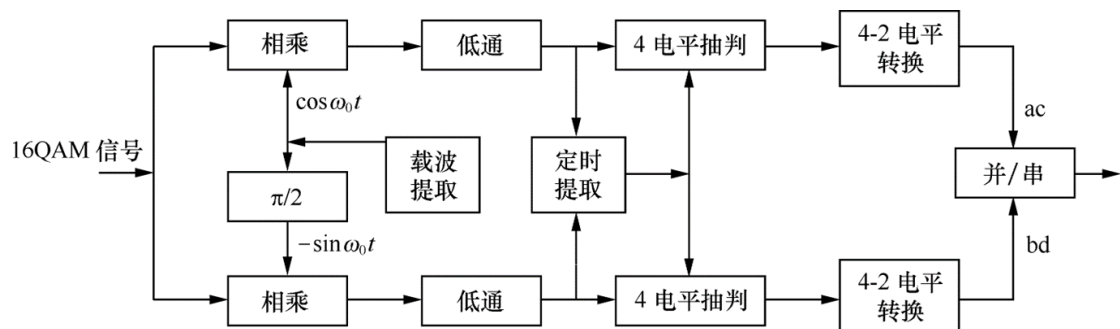
$$s(t) = A_k \cos(2\pi f_c t + \varphi_k)$$

其中  $A_k$ 、 $\varphi_k$  分别可以取多个离散值。

以 16QAM 为例，调制信号输入后经串并转换分为两路，得到的  $X(t)$  和  $Y(t)$  分别与相互正交的两路载波相乘，形成两路互为正交的 4ASK 信号，最后将两路信号相加即可得到 16QAM 信号，调制电路如图所示：



16QAM 的解调可以将信号分为两路后，采用正交相干解调：



## 三、实验内容

1. 用 MATLAB 产生 256bit 独立等概率的二进制信源，码元持续时间为 1s，仿真信号在 AWGN 信道中的 BPSK 调制解调过程，其中载波幅值为 1，频率为 20Hz，判决门限为 0。

(1) 当解调器输入信噪比为 0dB 时，分别画出调制信号、BPSK 已调信号、低通滤波器输出信号和解调信号；

(2) 画出解调器输入信噪比在 -15dB 到 5dB 时的接收机理论误码率曲线与实际误码率曲线 (20 次以上平均)；

2. 用 MATLAB 产生 256bit 独立等概率的二进制信源，码元持续时间为 1s，仿真信号在 AWGN 信道中的 QPSK 调制解调过程，其中载波幅值为 1，频率为 20Hz，判决门限为 0。

（1）当解调器输入信噪比为 0dB 时，分别画出调制信号、QPSK 已调信号、低通滤波器输出信号和解调信号；

（2）画出解调器输入信噪比在-15dB 到 5dB 时的接收机理论误码率曲线与实际误码率曲线 (20 次以上平均)；

3. 用 MATLAB 产生 256bit 独立等概率的二进制信源，码元持续时间为 1s，仿真信号在 AWGN 信道中的 16QAM 调制解调过程，其中载波幅值为 1 或 2，频率为 20Hz，判决门限为 0。

（1）当解调器输入信噪比为 0dB 时，分别画出调制信号、16QAM 星座图、16QAM 已调信号、低通滤波器输出信号和解调信号；

（2）画出解调器输入信噪比在-15dB 到 5dB 时的接收机理论误码率曲线与实际误码率曲线 (20 次以上平均)；

#### 四、实验要求

1. 每次完成实验后按要求完成实验报告，实验报告格式如下：

一、实验目的
二、实验内容
三、实验程序（标明代码注释）
四、实验结果（图形添加标题）
五、实验分析（分析现象及原因）

2. 实验报告满分 5 分，最终实验成绩根据报告内容进行评定，请注意逾期提交报告或报告格式不符合要求都将影响最终实验成绩。

3. 请于 12 月 10 日晚 12: 00 前提交实验报告至邮箱: [zy2002424@buaa.edu.cn](mailto:zy2002424@buaa.edu.cn)，命名格式为：“学号+姓名+第 x 次实验报告”。