

## 实验3 载波传输实验报告

### 5 实验内容

#### 5.1 BPSK调制

- (1) 给出前10个符号的发送波形和接收波形图。如图1和图2所示。

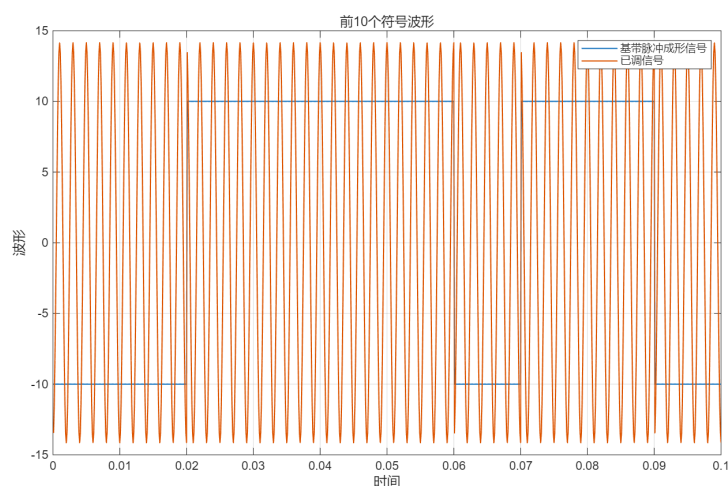


图 1: 前10个符号的发送波形图(BPSK)

- (2) 画出前5个符号的匹配滤波输出波形（采样前），并在图中明确标出最佳采样时刻。如图3所示。
- (3) 分别比较误符号率和误比特率的理论值与仿真值。如图4和图5所示。
- (4) 分析误码率随采样偏差变化的规律。如图6所示。
- (5) 比较画出的功率谱密度与理论功率谱密度。如图7所示。

#### 5.2 4PAM调制

- (1) 给出前10个符号的发送波形和接收波形图。如图8和图9所示。
- (2) 画出前5个符号的匹配滤波输出波形（采样前），并在图中明确标出最佳采样时刻。如图10所示。
- (3) 分别比较误符号率和误比特率的理论值与仿真值。如图11和图12所示。

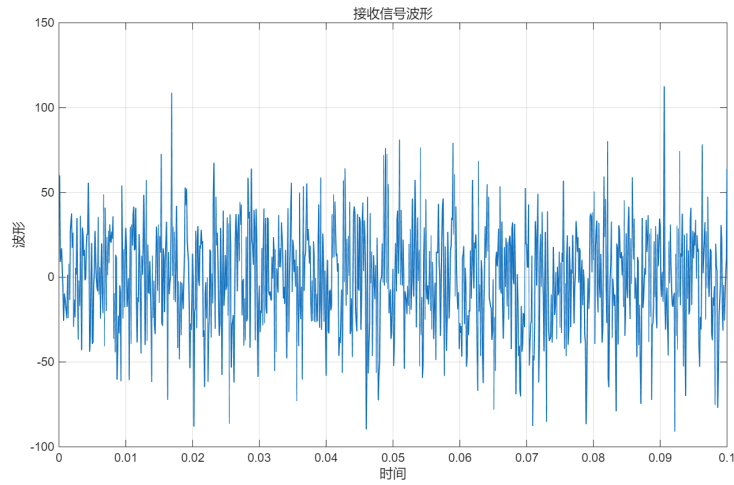


图 2: 前10个符号的接收波形图(BPSK)

- (4) 分析误码率随采样偏差变化的规律。如图13所示。
- (5) 比较画出的功率谱密度与理论功率谱密度。如图14所示。

### 5.3 对比BPSK和4PAM的误码曲线

- (1) 同样的  $\frac{E_b}{N_0}$ , BPSK的误码率明显优于4PAM。

这是因为, BPSK每个符号只携带1 bit, 符号距离大; 4PAM 每个符号携带2 bit, 但其4个电平之间距离较小。在相同比特能量  $E_b$  下:

$$d_{min,BPSK} = d_{min,4PAM} = 2A$$

但4PAM的归一化幅度为  $-3A, -A, A, 3A$ , 等效符号距离较小, 因此抗噪能力更差。

这与调制理论一致: 多电平调制、频谱效率提高, 但抗噪性能下降。

- (2) SER (误符号率) 差距比BER更明显。

由于4PAM每符号携带 2bit: 1 bit错误  $\neq$  1 symbol错误, Gray coding只能减少bit-error, 但无法改变symbol-error。

- (3) 定时偏差对4PAM的影响更严重。

因为BPSK只有两个电平, 判决门限简单 (0 点)。

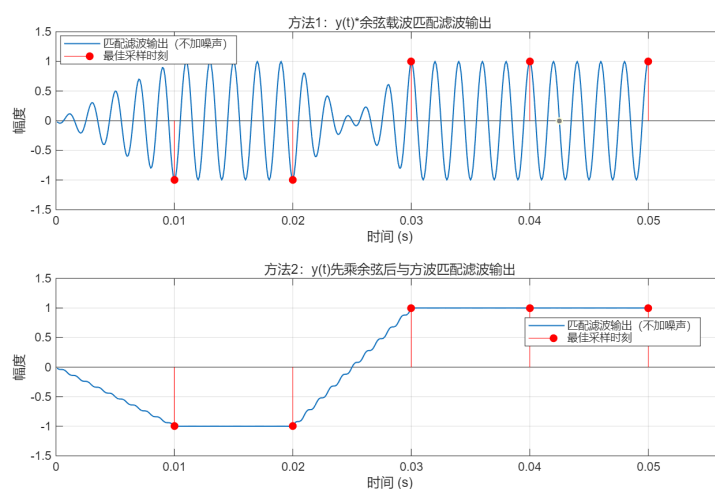


图 3: 前5个符号的匹配滤波输出波形(BPSK)

但4PAM有四个电平，判决门限有多个点（ $-2A$ ,  $0$ ,  $2A$ ），因此采样偏差越大，接收波形畸变越明显，误判概率显著增加，4PAM的“误码率随采样偏差变化曲线”更陡。

## 6 实验总结、体会和建议

本次实验通过搭建 BPSK 与 4PAM 的完整通信链路，让我更直观地理解了数字调制系统的实现过程和性能差异。实验结果显示，BPSK 由于符号间距大、判决简单，误码性能明显优于 4PAM，而 4PAM 虽然频谱效率更高，但对噪声和采样偏差更敏感，误码性能下降更快。这些现象与理论完全一致，也让我体会到调制阶数提高所带来的性能权衡。此外，匹配滤波前后信号的对比帮助我理解了匹配滤波提升信噪比的作用。通过本次实验，我对调制方式选择、同步精度要求以及噪声建模等关键问题有了更清晰的认识。

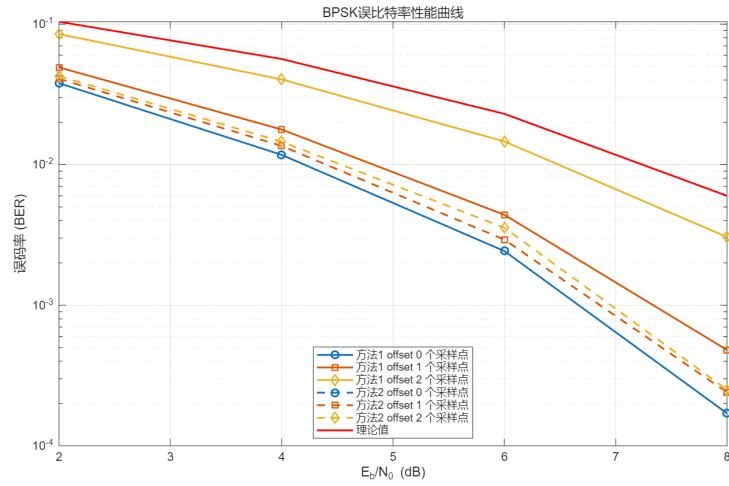


图 4: 误符号率的理论值与仿真值(BPSK)

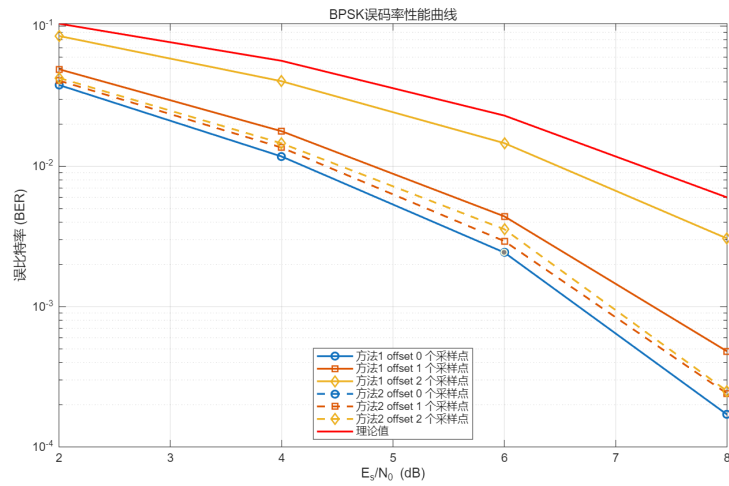


图 5: 误比特率的理论值与仿真值(BPSK)

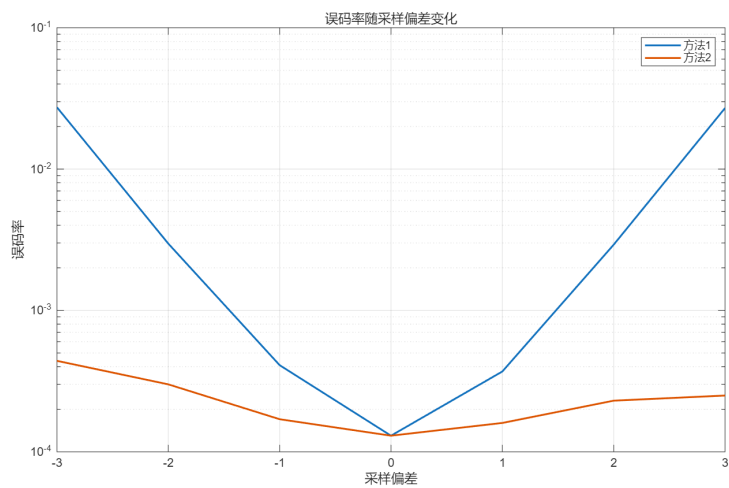


图 6: 误码率随采样偏差变化的规律(BPSK)

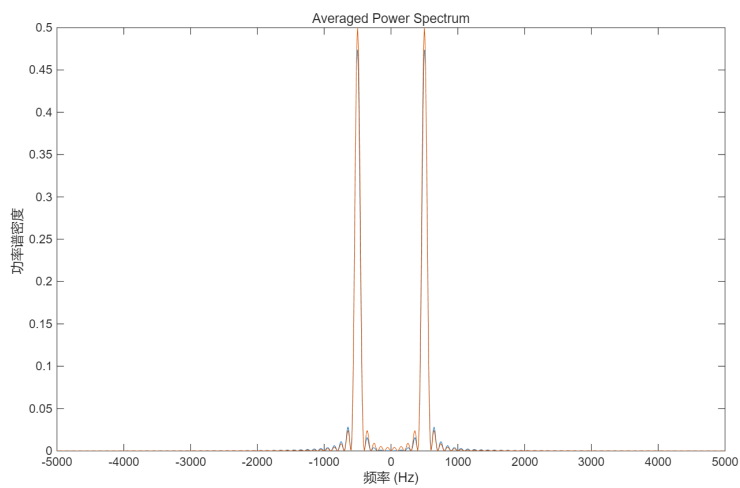


图 7: 功率谱密度与理论功率谱密度(BPSK)

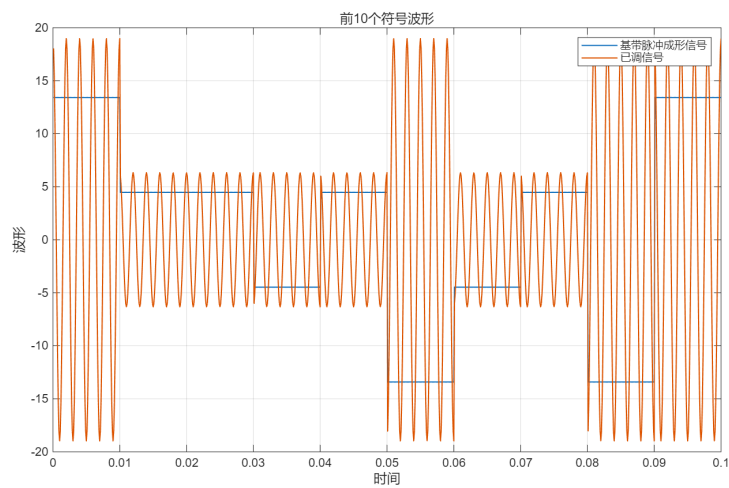


图 8: 前10个符号的发送波形图(4PAM)

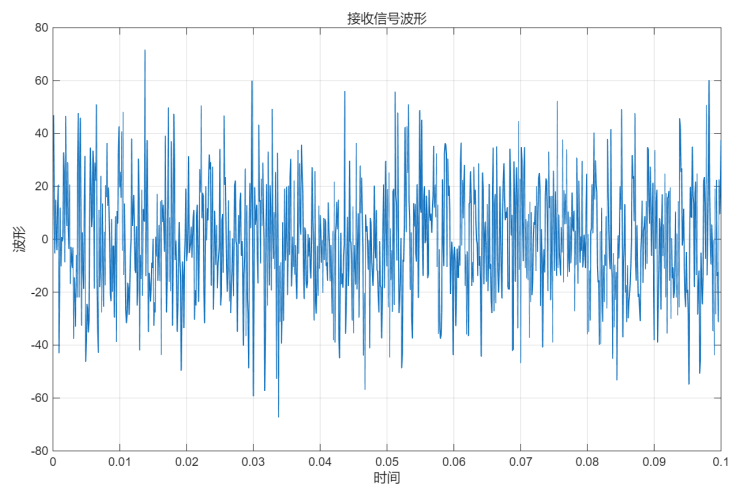


图 9: 前10个符号的接收波形图(4PAM)

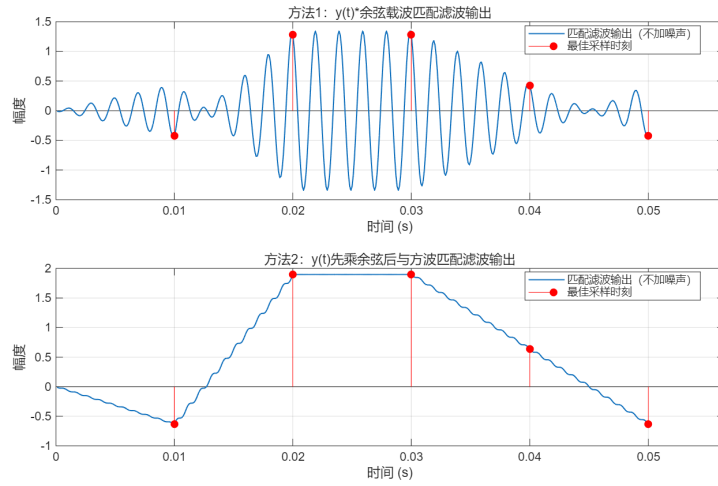


图 10: 前5个符号的匹配滤波输出波形(4PAM)

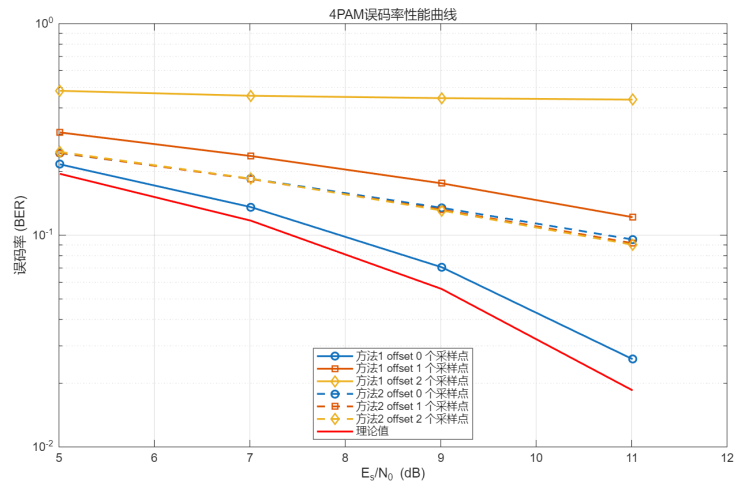


图 11: 误符号率的理论值与仿真值(4PAM)

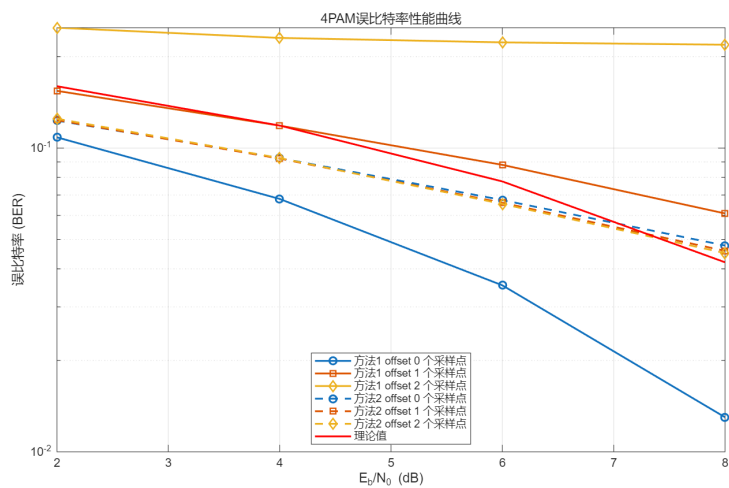


图 12: 误比特率的理论值与仿真值(4PAM)

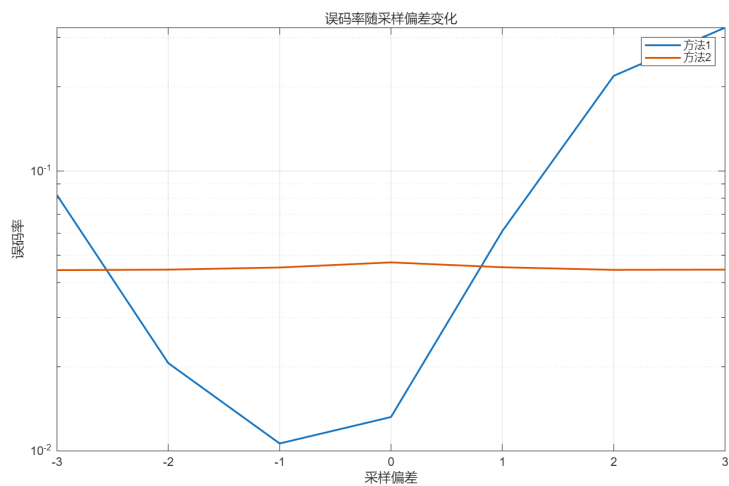


图 13: 误码率随采样偏差变化的规律(4PAM)



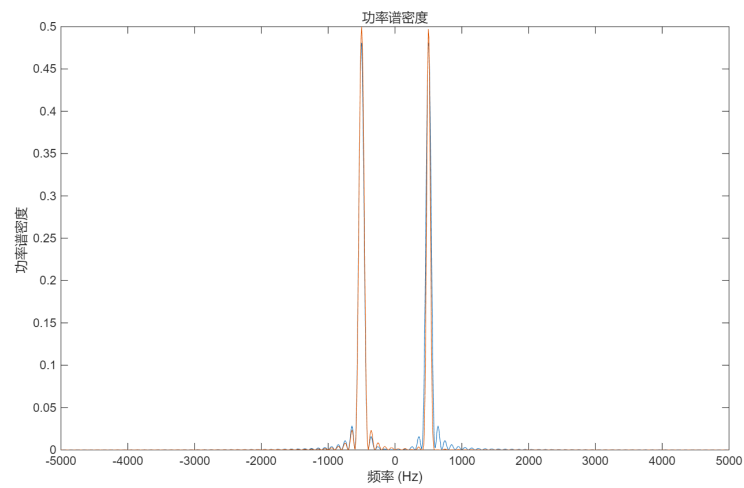


图 14: 功率谱密度与理论功率谱密度(4PAM)