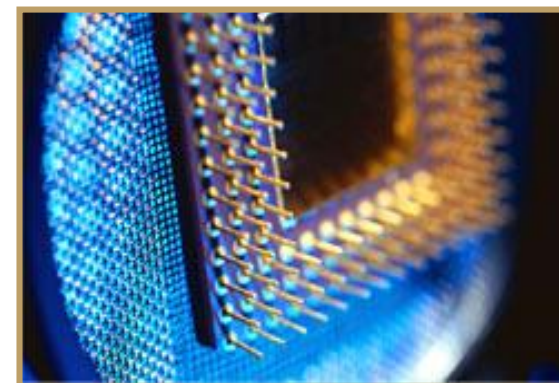
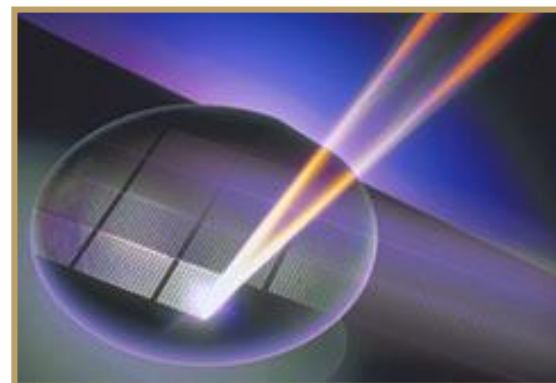
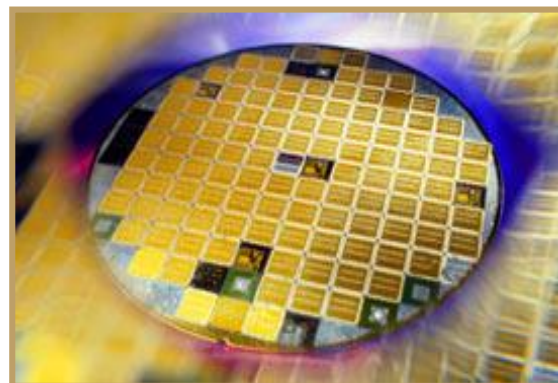




《VLSI数字通信原理与设计》实验课

实验二：OFDM通信系统仿真



实验目的

- 理解数字基带通信系统收发端的基本操作和组成模块，熟悉基本的单载波数字基带传输系统流程
- 以**IEEE 802.11a**协议为例，理解OFDM系统原理并完成性能仿真
- 理解并设计数字基带通信系统的调制与解调模块
- 实验环境：Matlab (<http://lic.si.sjtu.edu.cn/> 可下载正版)
- **本次鼓励一人一组，至多两人一组**

- 数字基带调制解调
 - 仿真附件给出的BPSK、QPSK调制解调示例代码
 - 编写并测试16/64-QAM调制方式下，系统的性能，并与理论曲线做比较
- OFDM通信系统仿真
 - 附件给出了OFDM系统的BPSK、QPSK调制示例代码
 - 以802.11a为例，理解OFDM通信系统并仿真系统在BPSK、QPSK调制方式下的BER性能，与理论结果进行比较，分析性能差异原因
 - 利用编写的调制解调函数，仿真上述系统在16/64-QAM调制方式下系统的BER性能，与理论结果进行比较，分析性能差异原因

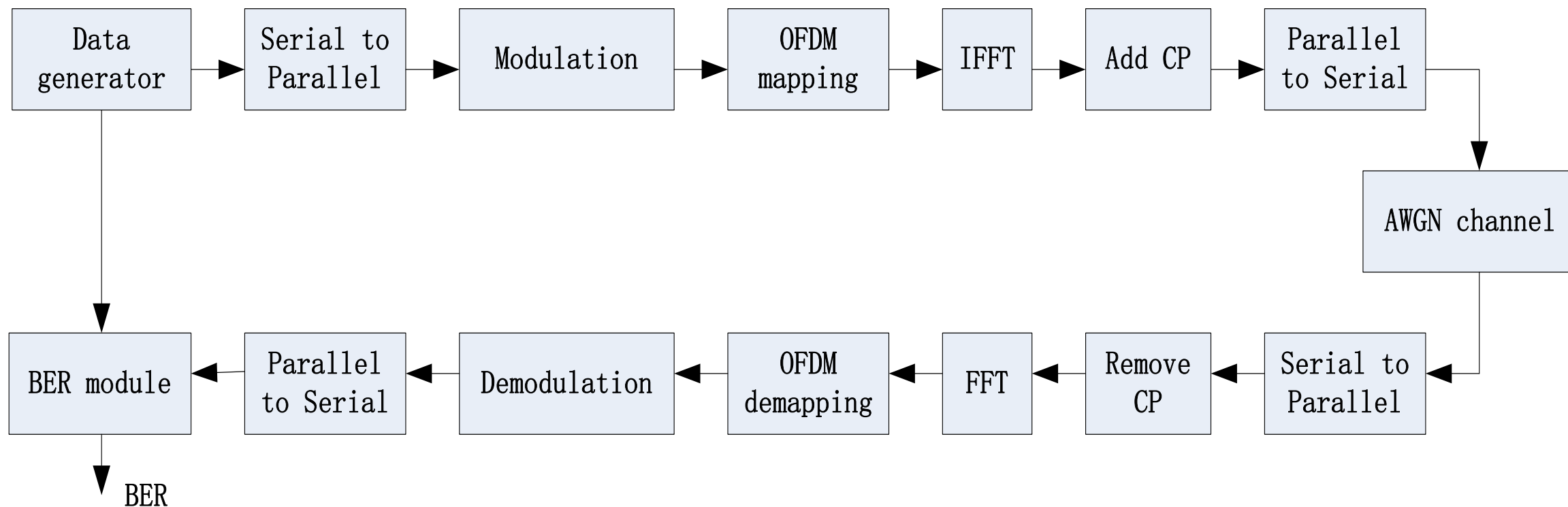
调制解调 — 实验要求

- 选取信道：AWGN
- 调制方式：BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
- 通过蒙特卡洛仿真，验证各种调制方式的性能，与MATLAB工具bertool得到的理论值进行BER比较，验证仿真的正确性
- 分析各种调制解调方式的性能与优缺点

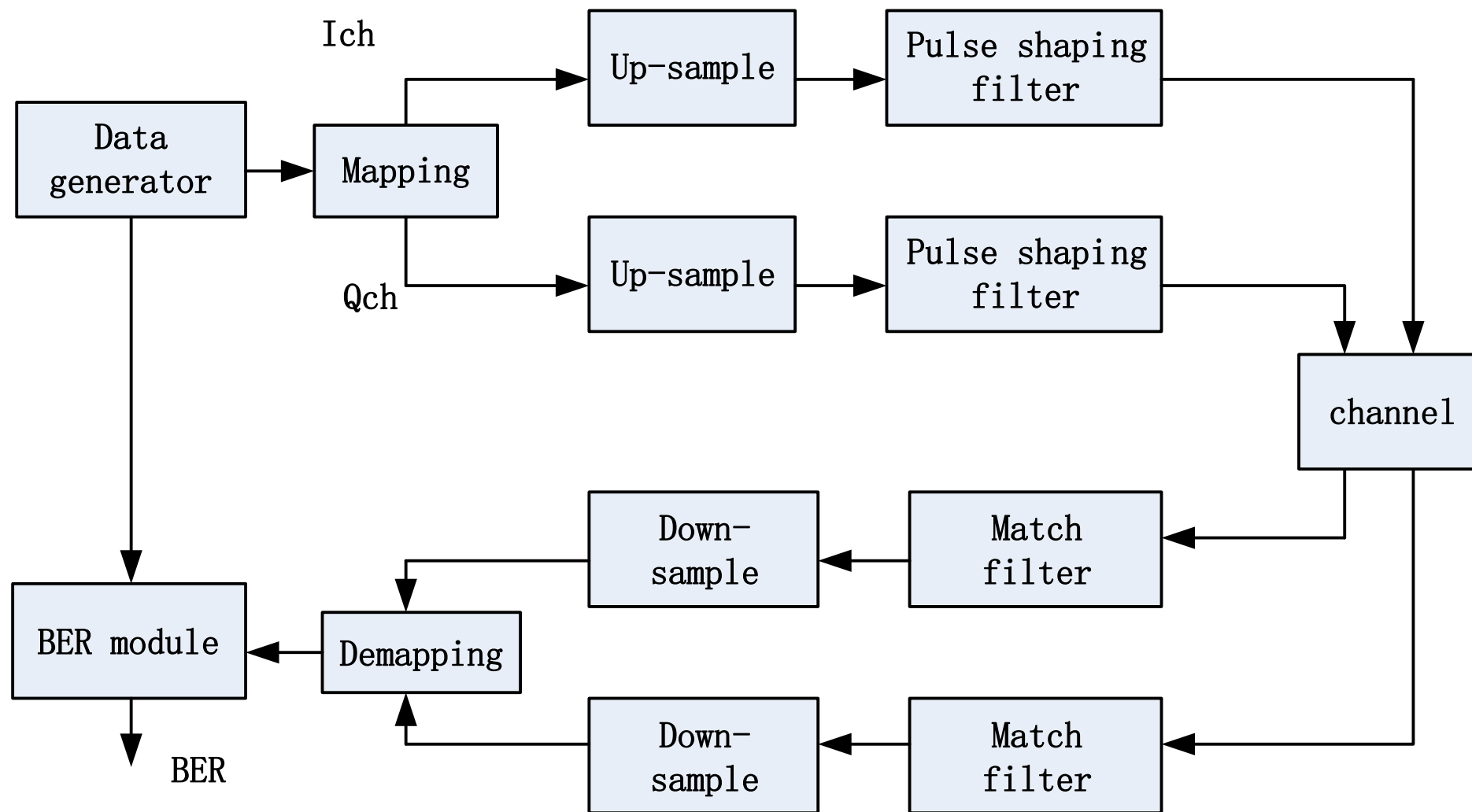
OFDM仿真 — 802.11a协议符号组成

- 802.11a OFDM配置
 - 64个子载波
 - 48个子载波：传输数据
 - 4个导频：用于信道估计，此实验中输入零
 - 12个空子载波：输入零，降低邻信道干扰
 - 保护间隔
 - 插入循环前缀CP, 长度16
- 1个OFDM 符号总共80样值

系统框图 — OFDM

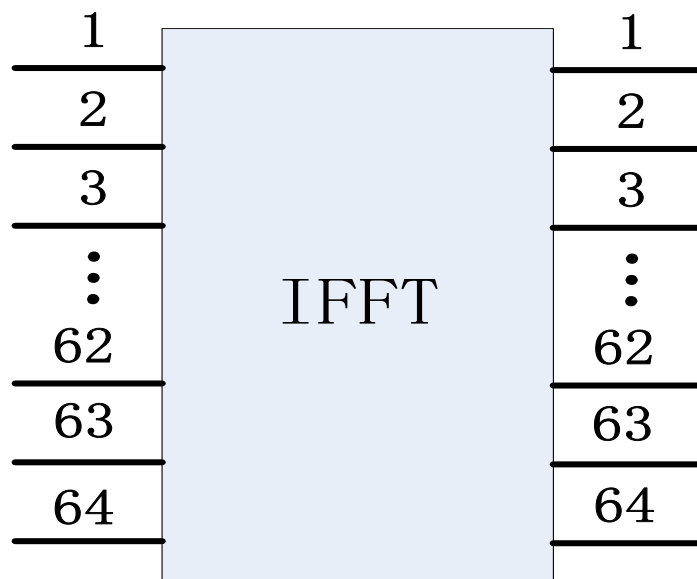


调制与解调 — 系统框图



OFDM mapping

- OFDM mapping将48路数据映射到IFFT输入，如下所示，映射关系为：[25:30, 31:43, 44:48, 1:5, 6:18, 19:24] \rightarrow [2:7, 9:21, 23:27, 39:43, 45:57, 59:64]，IFFT其余输入位 (导频以及空子载波) 置零。



- 思考题1：查阅相关资料并结合代码思考OFDM映射的原因和作用

函数介绍

1. `ofdm.m`: 主函数, 计算OFDM系统BER性能;
2. `ofdmmod.m`: 调制函数;
3. `ofdmdemod.m`: 解调函数;
4. `comb.m`: AWGN噪声与信道输出生成函数;
5. `ofdmmap.m`: OFDM符号映射;
6. `addcp.m`: 加入循环前缀;
7. `removecp.m`: 去除循环前缀;
8. `ofdmdemap.m` : OFDM符号解映射

- 打开Matlab的bertool `>> bertool`

Bit Error Rate Analysis

File Acceleration Edit Window Help

Plot	BERT Data Set	E_b/N_0 (dB)	BER	# of Bits	Confidence Level	Fit	Run Time

Monte Carlo Theoretical

E_b/N_0 range: 0:18 dB

Channel type: AWGN

Modulation type: PSK

Modulation order: 2

Demodulation type: ☒ Coherent

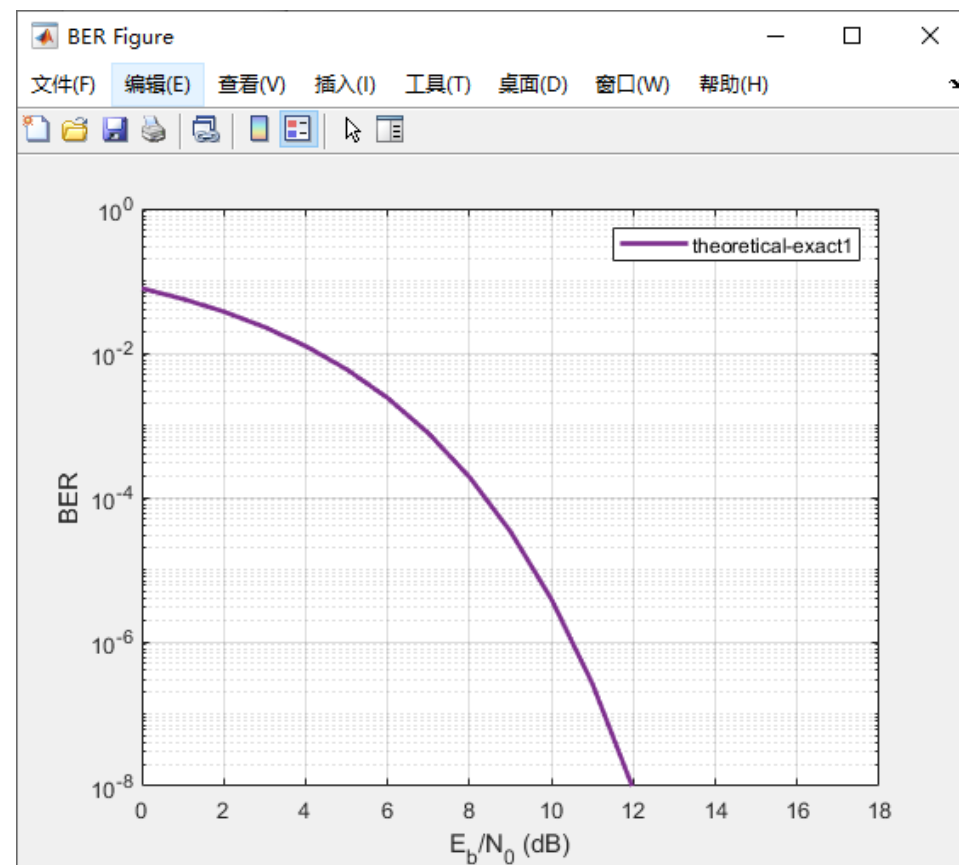
☐ Differential encoding

Channel coding: ☒ None ☐ Convolutional ☐ Block

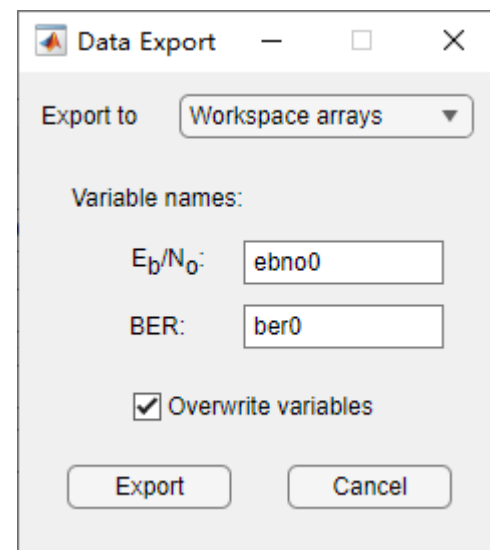
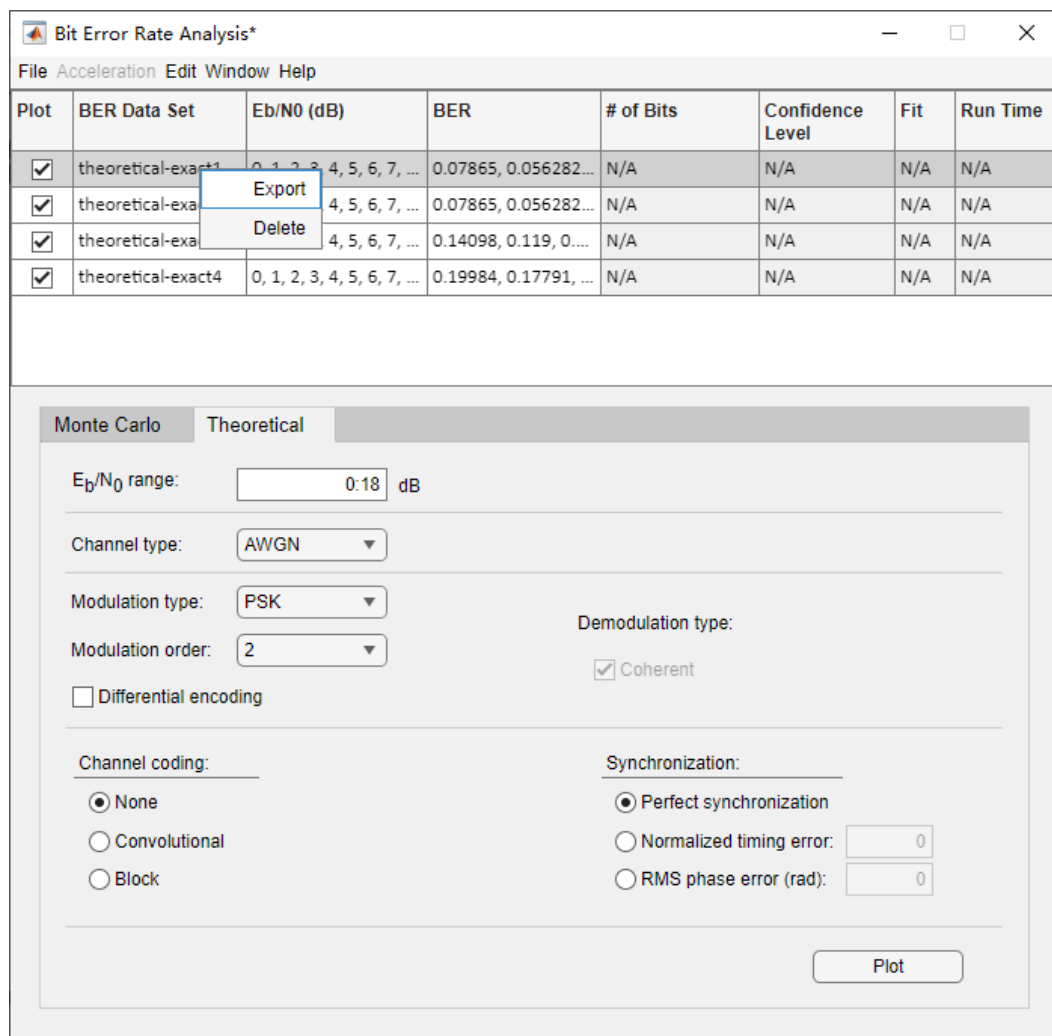
Synchronization: ☒ Perfect synchronization ☐ Normalized timing error: 0 ☐ RMS phase error (rad): 0

Plot

选取信道类型、信噪比范围、调制方式，绘制BER vs E_b/N_0 的理论曲线



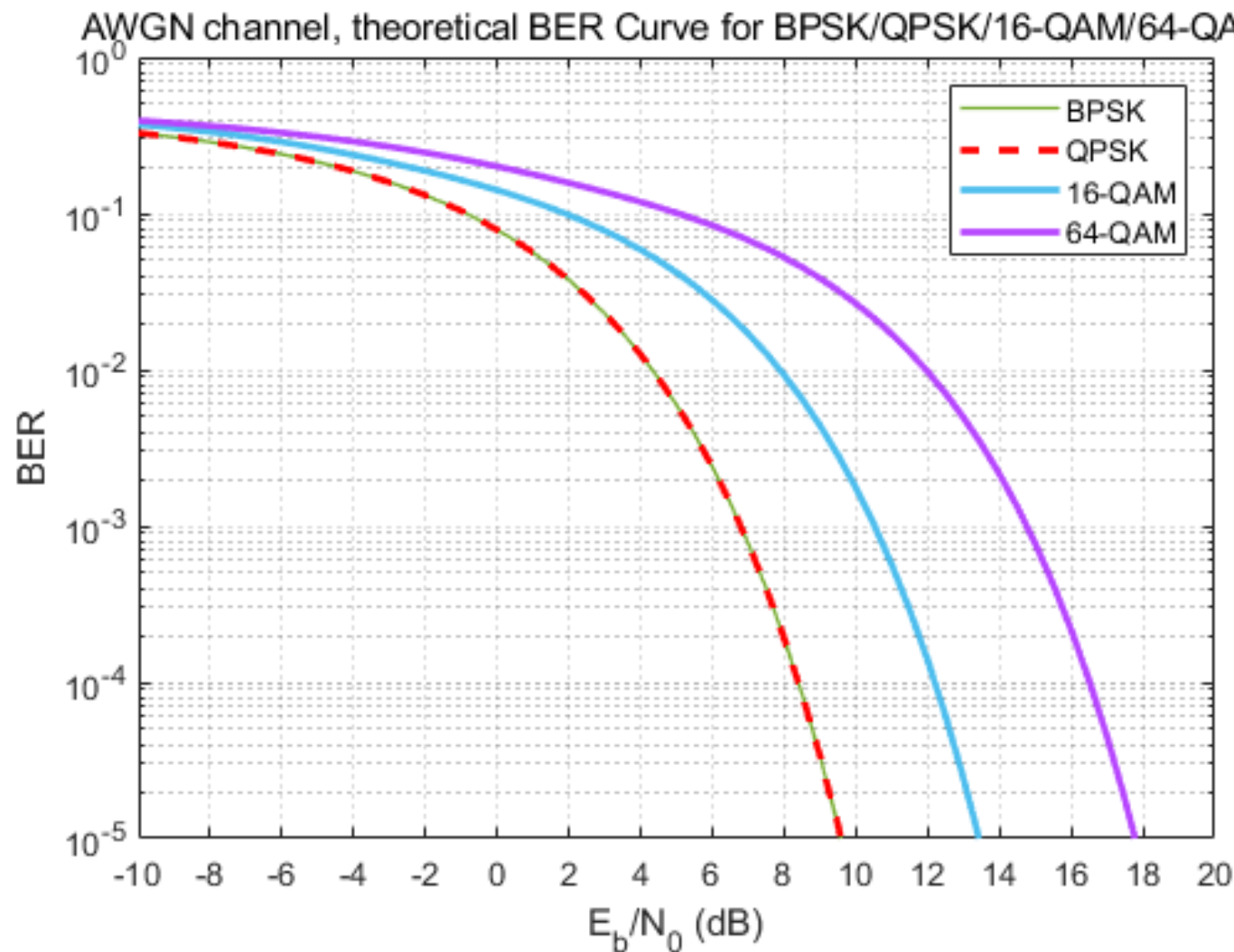
■ 导出数据



工作区 - ofdm	
名称 ▲	值
ber0	1x19 double
ebno0	1x19 double

理论BER曲线

- 思考题2：为什么BPSK和QPSK的理论误码率曲线完全一致？



E_b 为平均发射比特功率； N_0 为信道噪声功率(均值为0，方差为 N_0 的复数高斯随机向量)
对于 2^k 阶调制 (一个调制符号对应 k 个比特)，有

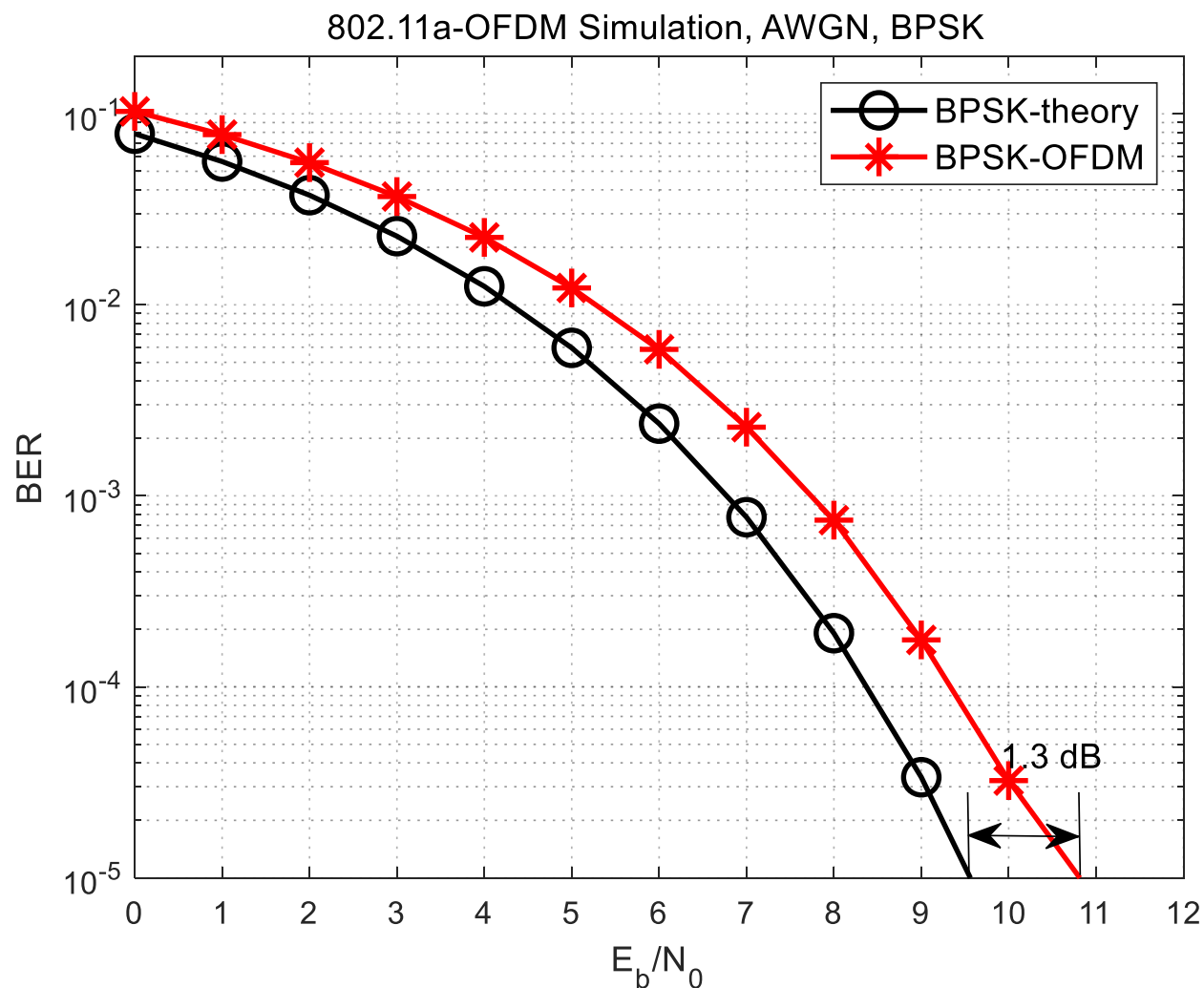
$$E_b = E_s / k$$

其中， E_s 是平均发射符号功率。
对于 M -QAM，未归一化平均符号功率为

$$E_s = \frac{2}{3} (M - 1)$$

OFDM 仿真结果 vs 理论

- 思考题3：试解释OFDM仿真误码率曲线与理论曲线的偏差原因

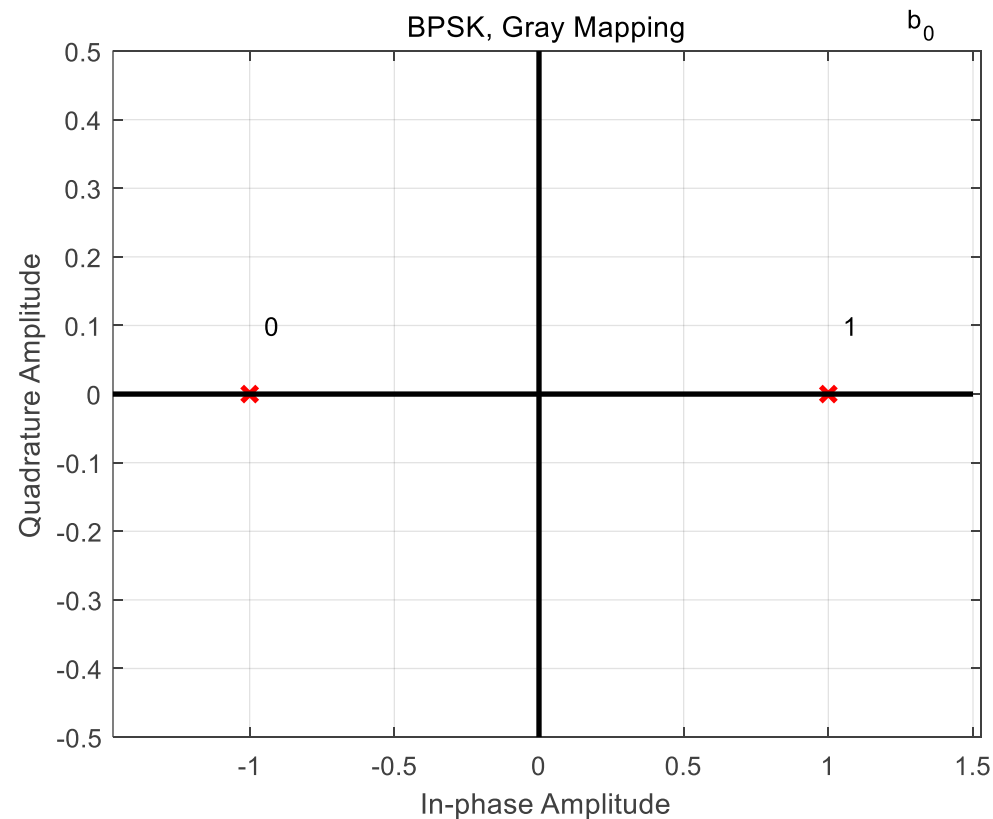


参考 — BPSK数字调制映射方式&星座图

BPSK encoding table

Input bit (b_0)	I-out	Q-out
0	-1	0
1	1	0

平均符号功率: $E_s = 1$

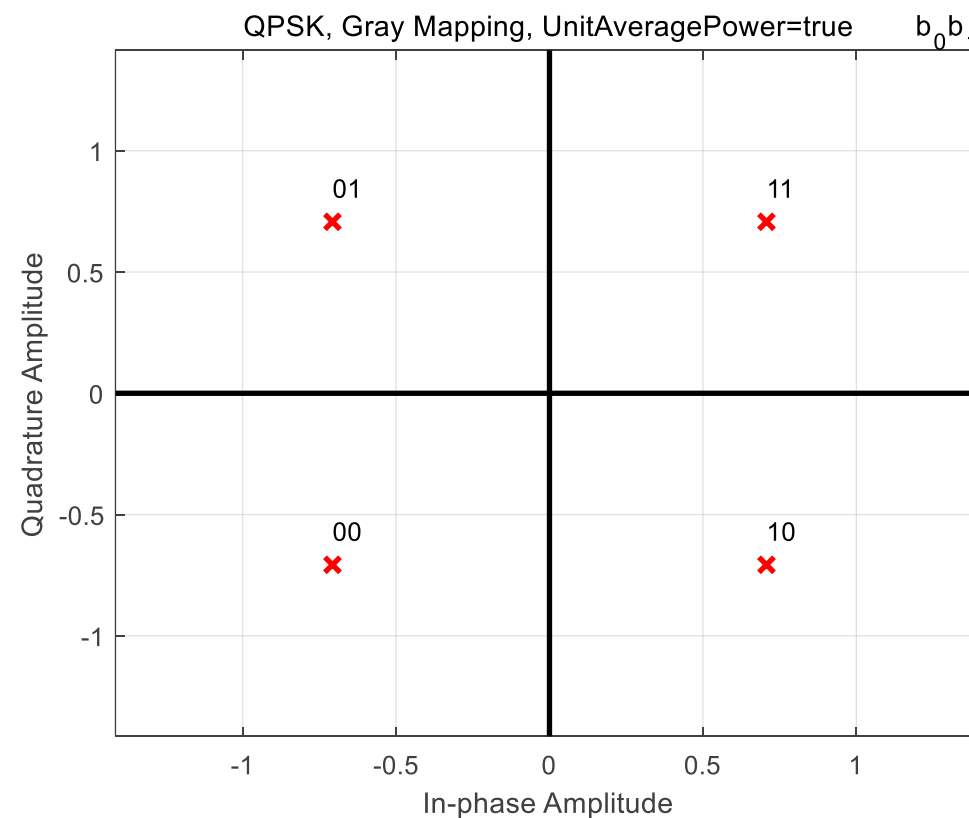


参考 — QPSK数字调制映射方式&星座图

QPSK encoding table

Input bit (b_0)	I-out	Input bit (b_1)	Q-out
0	-1	0	-1
1	1	1	1

平均符号功率: $E_s = 2$

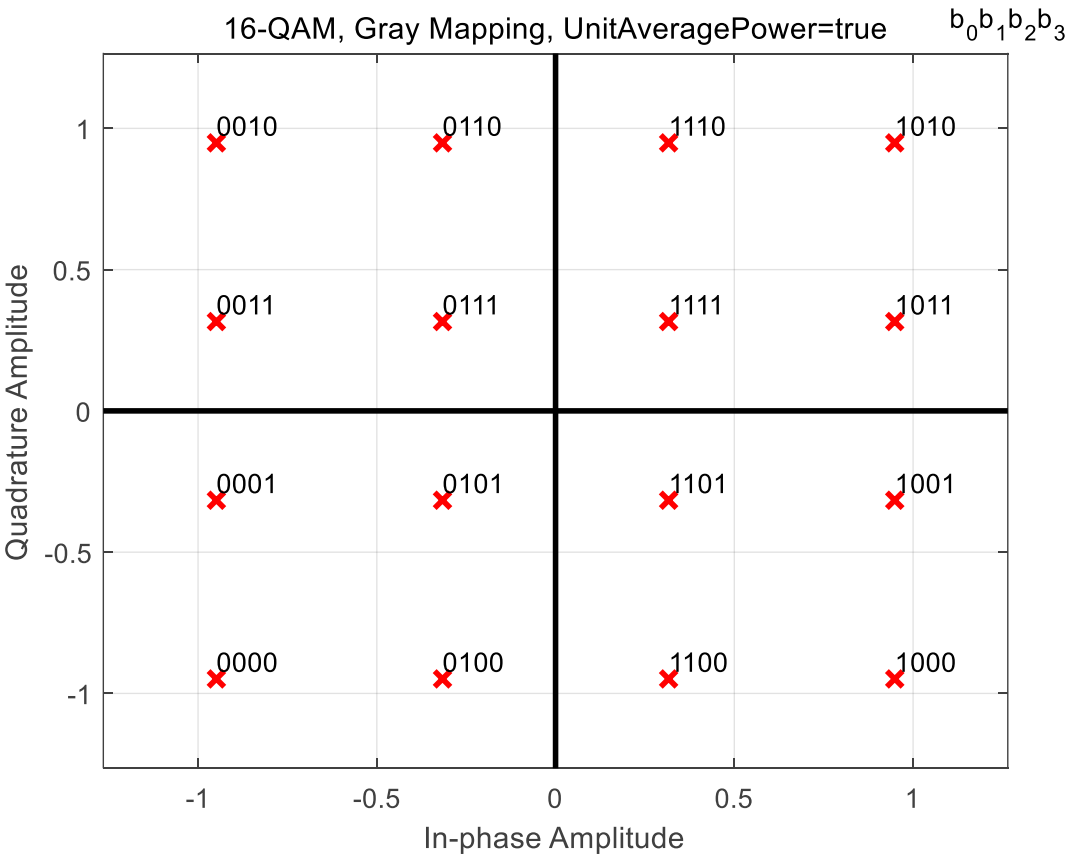


参考 — 16-QAM 数字调制映射方式 & 星座图

16-QAM encoding table

Input bit (b_0b_1)	I-out	Input bit (b_2b_3)	Q-out
00	-3	00	-3
01	-1	01	-1
11	1	11	1
10	3	10	3

平均符号功率: $E_s = 10$

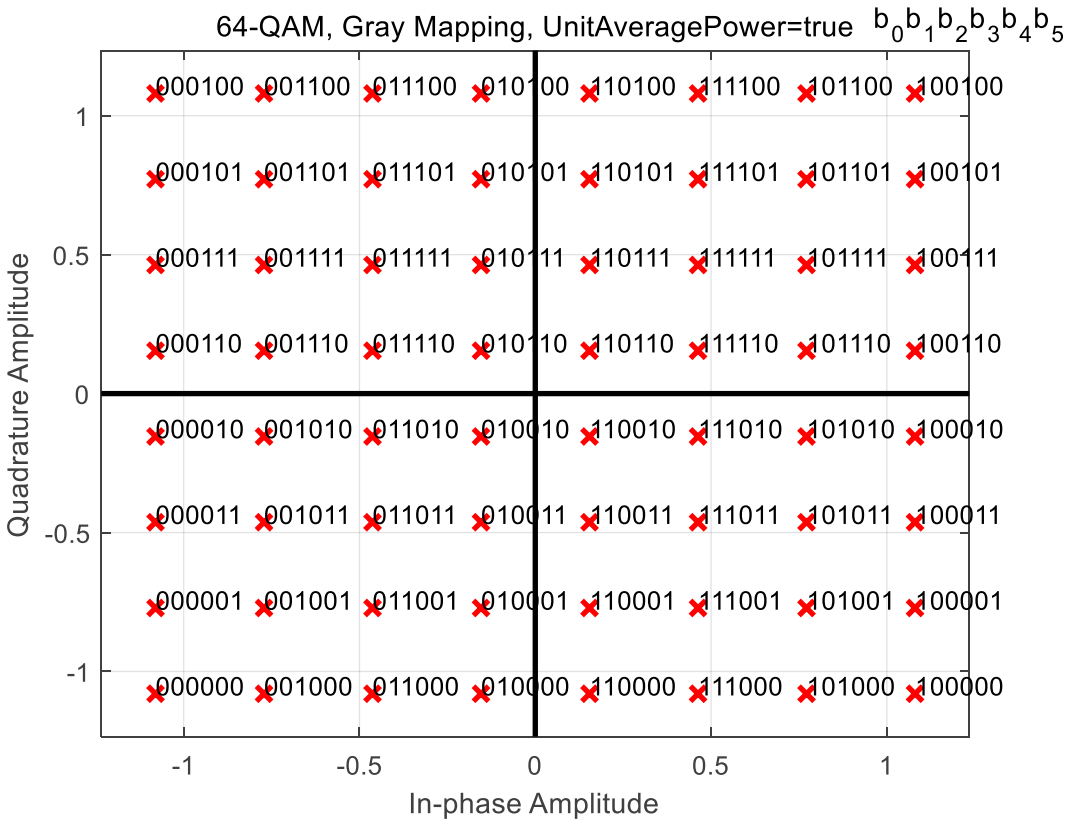


参考 —64-QAM数字调制映射方式&星座图

64-QAM encoding table

Input bit ($b_0b_1b_2$)	I-out	Input bit ($b_3b_4b_5$)	Q-out
000	-7	000	-7
001	-5	001	-5
011	-3	011	-3
010	-1	010	-1
110	1	110	1
111	3	111	3
101	5	101	5
100	7	100	7

平均符号功率: $E_s = 42$



- 关于实验报告的完成要求：
 - 所要求递交的实验报告应该至少包含以下内容：
 - BER曲线
 - 性能分析
 - 主要功能模块的描述及实现
 - 思考题的回答
 - 实验工作分工等
 - 提交时间：2022/5/8 23: 59 之前

第十四章 通信系统设计与仿真



○ 14.1 用MATLAB进行通信系统仿真

[视频](#) 视频：用MATLAB进行通信系统仿真

[文档](#) 参考讲义

[测验](#) 随堂测验

○ 14.2 数字调制与解调系统的MATALAB仿真

[视频](#) 视频：数字调制与解调系统的MATALAB仿真

[文档](#) 参考讲义

[测验](#) 随堂测验

谢谢!

