xiaoming(black)

《通信原理》实验报告

**2023—2024学年第二学期**

|  |  |
| --- | --- |
| 专 业 | 信息工程 |
| 班 级 | 信工211 |
| 姓 名 | 孟依然 |
| 学 号 | 21012909 |
| 指导教师 | 袁伟娜 |

**电子信息实验教学中心**

2024年 6月

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 实验名称 | 实验完成及报告撰写情况 | 备注 |
| 数字基带信号频谱分析实及  语音信号PCM编译码实验 |  | 必选 |
| AM调制解调及FM调制解调实验 |  | 必选 |
| 波形成型与DBPSK调制解调实验 |  | 必选 |
| 16QAM/HDB3编译码实验 |  | 必选 |
| ASK调制解调设计实验（FPGA） |  | 附加 |
| 合 计 |  | |

注：实验成绩满分40分。

指导老师：袁伟娜

**实验一 数字基带信号频谱分析实验**

**一、实验内容**

**1、观测并记录不同参数配置软件仿真波形，观察示波器实测波形。**

（1）数据类型配置为10交替数据，数据长度配置为100，采样率3072000，码元速率153600，观察并记录软件仿真波形，观察示波器实测波形。

（2）数据类型配置为全1数据，数据长度配置为100，采样率3072000，码元速率153600，观察并记录软件仿真波形，观察示波器实测波形。

（3）数据类型配置为全0数据，数据长度配置为100，采样率3072000，码元速率153600，观察并记录软件仿真波形，观察示波器实测波形。

**2、读懂参考例程的程序，观察并记录软件仿真波形，观察示波器实测波形。**

**3、根据学生编程的要求，现场编写MATLAB程序，观察并记录软件仿真波形，观察示波器实测波形。**

**二、实验记录**

1、不同参数配置软件仿真波形

|  |  |
| --- | --- |
| **参数配置** | **数据类型：10交替数据，数据长度：100，采样率：3072000，码元速率：153600，DA输出：输出** |
| **软件仿真波形图** | |
| **单极性数据功率谱** | 1 |
| **双极性数据功率谱** | 2 |
| **AMI与HDB3**  **编码数据功率谱** | 3 |
| **分析结果：信息比特序列为“0/1等概”，观察并分析双极性码和单极性码的功率谱共性和区别**  共性：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  区别：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | |

|  |  |
| --- | --- |
| **参数配置** | **数据类型：全1数据，数据长度：100，采样率：3072000，码元速率：153600，DA输出：输出** |
| **软件仿真波形图** | |
| **单极性数据功率谱** | 4 |
| **双极性数据功率谱** | 5 |
| **AMI与HDB3编码数据功率谱** | 6 |
| **分析结果：信息比特序列为“全1”，观察并分别分析单极性非归零码与双极性非归零码功率谱的特点（特点a）；单极性归零码与双极性归零码功率谱的特点（特点b）**  **特点a：**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  **特点b：**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | |

|  |  |
| --- | --- |
| **参数配置** | **数据类型：全0数据，数据长度：100，采样率：3072000，码元速率：153600，DA输出：输出** |
| **软件仿真波形图** | |
| **单极性数据功率谱** | 7 |
| **双极性数据功率谱** | 8 |
| **AMI与HDB3**  **编码数据功率谱** | 9 |
| **分析结果：信息比特序列为“全0”，观察并分析单极性归零码与非归零码功率谱的特点；双极性归零码与非归零码功率谱的区别**  特点：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  区别：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | |

2、参考例程软件仿真波形

|  |  |
| --- | --- |
| **软件仿真波形** | |
| **单极性信号频谱NRZ与RZ** | 1v |
| **AMI与HDB3**  **信号频谱** | 2 |

3、学生编程软件仿真波形

|  |  |
| --- | --- |
| **软件仿真波形** | |
| **双极性信号频谱NRZ与RZ** | 3 |

**三、程序代码（自编部分）**

% 初始化参数

PC\_IP = '192.168.1.180';

XSRP\_IP = '192.168.1.166';

fs = 30720000; % 采样率

Rb = 153600; % 码元速率

runType = 1; % 运行方式，0表示软件仿真，1表示软硬结合

len = 100; % 数据源长度

sample\_num = fs / Rb / 2; % 每个码元的采样点数

N = len \* sample\_num; % 总样点数

t = 0:(1/fs):(N-1)/fs;

% 生成单极性数据

data = randi([0 1], 1, len);

% 生成双极性数据

bipolar\_data = data \* 2 - 1;

% 生成双极性非归零数据

NRZ\_bipolar\_data = zeros(1, len \* sample\_num);

for n = 1:len

NRZ\_bipolar\_data((n-1)\*sample\_num+1:n\*sample\_num) = bipolar\_data(n);

end

% 生成双极性归零数据

RZ\_bipolar\_data = zeros(1, len \* sample\_num);

for n = 1:len

RZ\_bipolar\_data((n-1)\*sample\_num+1:(n-1)\*sample\_num+sample\_num/2) = bipolar\_data(n);

end

% 频谱分析

% 双极性非归零频谱

freq\_NZ = fft(NRZ\_bipolar\_data);

freqPixel = fs / N / 2;

w = (-N/2:N/2-1) \* freqPixel;

% 双极性归零频谱

freq\_RZ = fft(RZ\_bipolar\_data);

% 绘制频谱图

figure;

plot(w, abs(fftshift(freq\_NZ)), 'b-'); % 双极性非归零用蓝色实线表示

hold on;

plot(w, abs(fftshift(freq\_RZ)), 'r:'); % 双极性归零用红色虚线表示

legend('NRZ Bipolar', 'RZ Bipolar');

title('双极性信号频谱 NRZ 与 RZ');

xlabel('频率 (Hz)');

ylabel('幅度');

% 输出波形到示波器

if runType == 1

CH1\_data = RZ\_bipolar\_data; % 示波器CH1通道输出双极性归零数据波形

CH2\_data = NRZ\_bipolar\_data; % 示波器CH2通道输出双极性非归零数据波形

divFreq = floor(30720000 / fs - 1); % 分频值

dataNum = N;

isGain = 1;

DA\_OUT(CH1\_data, CH2\_data, divFreq, dataNum, isGain, PC\_IP, XSRP\_IP); % 调用此函数之前，确保XSRP开启及线连接正常

end

**四、实验心得与收获**

**实验二 语音信号PCM编译码实验**

**一、实验内容**

**1、观测并记录不同抽样频率软件仿真波形，观察示波器实测波形。**

（1）抽样率配置为8000S/s的情况下，观测并记录软件仿真波形，观察示波器实测波形，相关波形填写到“二、实验记录”中。

（2）抽样率配置为5000S/s的情况下，观测并记录软件仿真波形，观察示波器实测波形，相关波形填写到“二、实验记录”中。

（3）抽样率配置为3000S/s的情况下，观测并记录软件仿真波形，观察示波器实测波形，相关波形填写到“二、实验记录”中。

**2、读懂参考例程的程序，观察并记录软件仿真波形。**

**3、根据学生编程的要求，现场编写MATLAB程序，观察并记录软件仿真波形。**

**二、实验记录**

1、不同配置参数下软件仿真波形

|  |  |
| --- | --- |
| **抽样率：8000S/s** | |
| **软件仿真波形图** | |
| **语音数据波形**  **（时间轴范围设置为0.3-0.31）** | 1 |
| **抽样后数据波形**  **（时间轴范围设置为0.3-0.31）** | 2.bmp |
| **量化编码后数据波形（比特样点设置为0-200）** | 3 |
| **还原后数据（时间轴范围设置为0.3-0.31）** | 4 |
| **分析结果**：听取还原后的语音数据，可以发现：和原始语音音效\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_，说明还原后的数据\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。 | |

|  |  |
| --- | --- |
| **抽样率：5000S/s** | |
| **软件仿真波形图** | |
| **语音数据波形**  **（时间轴范围设置为0.3-0.31）** | 5 |
| **抽样后数据波形**  **（时间轴范围设置为0.3-0.31）** | 6 |
| **量化编码后数据（比特样点设置为0-200）** | 7 |
| **还原后数据（时间轴范围设置为0.3-0.31）** | 8 |
| **分析结果**：听取还原后的语音数据，可以发现：和原始语音音效 ，说明还原后的数据 。 | |

|  |  |
| --- | --- |
| **抽样率：3000S/s** | |
| **软件仿真波形图** | |
| **语音数据波形**  **（时间轴范围设置为0.3-0.31）** | 9 |
| **抽样后数据波形**  **（时间轴范围设置为0.3-0.31）** | 10 |
| **量化编码后数据（比特样点设置为0-200）** | 11 |
| **还原后数据（时间轴范围设置为0.3-0.31）** | 12 |
| **分析结果：**听取还原后的语音数据，可以发现：和原始语音音效 ，说明还原后的数据 。 | |

2、参考例程软件仿真波形

|  |  |
| --- | --- |
| **参考例程软件仿真波形** | |
| **wav音频信号波形** | 1 |
| **wav音频信号抽样后的波形** | 2 |
| **编码后的bit数据** | 3 |

3、学生编程软件仿真波形

|  |  |
| --- | --- |
| **学生编程软件仿真波形** | |
| **译码还原后的语音波形** | 30b293d9603bd7aa733626a75bc651e |

**三、程序代码（自编部分）**

**main.m**

filePath = 'C:\Program Files (x86)\XSRP Software\codes\CF\_VoicePCMEncode\m\a13\_moddata.mat';

% 读取mat文件：

y = cell2mat(struct2cell(load(filePath)));

%% PCM 13折线译码

% outdata为解码完成的数据

[outData] = PCM\_13Decode(y);

%% 将译码后数据写入语音WAV文件并播放

% 假设译码后的采样率仍为8000Hz

sampleVal=8000; %8k抽样率

% 复制声道数据到声道2，并转置，准备写入文件

writeData=[outData;outData]';%复制声道1数据到声道2，并转置

% 将数据存储为wav格式的音频信号

writeFilePath=C:\Program Files (x86)\XSRP Software\codes\CF\_VoicePCMEncode\m\21012909&21012849&21012850decode\_data06.wav;

audiowrite(writeFilePath,writeData,sampleVal);

%绘制

figure

plot(outData);

title('译码后的wav音频信号波形');

% 播放译码后的语音

sound(outData, sampleVal);

**PCM\_13Decode.m**

function [outData] = PCM\_13Decode( inputData )

n=length(inputData);

outData=zeros(1,n/8);

MM=zeros(1,8);

for kk=1:n/8

MM(1:8)=inputData(1,(kk-1)\*8+1:kk\*8); % 取得8位PCM码

temp=MM(2)\*2^2+MM(3)\*2+MM(4) ; % 将8位PCM码的第2~4位二进制数转化为10进制（三位二进制转十进制）

%用于判断抽样值在哪个段落内

% 段落序号i=1

if temp==0

q=1; %段内量化间隔

a=0; %段落起始电平

end

% 段落序号i=2

if temp==1

q=1;

a=16;

end

% 段落序号i=3

if temp==2

q=2;

a=32;

end

% 段落序号i=4

if temp==3

q=4;

a=64;

end

% 段落序号i=5

if temp==4

q=8;

a=128;

end

% 段落序号i=6

if temp==5

q=16;

a=256;

end

% 段落序号i=7

if temp==6

q=32;

a=512;

end

% 段落序号i=8

if temp==7

q=64;

a=1024;

end

A= MM(5)\*2^3+MM(6)\*2^2+MM(7)\*2+MM(8) ;% 8位PCM码的第5~8位二进制数转化为10进制

% 用于判断抽样值量化级数

R=(a+A\*q+q/2)/2048;%取量化间隔中点值进行译码

if MM(1)==0 %判断极性

R=-R;

end

outData(1,kk)=R;%译码后数据

end

end

**四、实验心得与收获**

**实验三 AM调制解调实验**

**一、实验内容**

**1、观测并记录AM不同调制条件下软件仿真波形，观察示波器实测波形。**

（1）观测并记录AM（标准幅度）调制软件仿真波形，观察示波器实测波形。

（2）观测AM（满调幅）调制软件仿真波形，观察示波器实测波形。

（3）观测并记录AM（过调幅）调制软件仿真波形。

**2、读懂参考例程的程序，观察并记录软件仿真波形，观察示波器实测波形。**

**3、根据学生编程的要求，现场编写MATLAB程序，观察并记录软件仿真波形，观察示波器实测波形。**

**二、实验记录**

1、不同参数配置软件仿真波形

|  |  |
| --- | --- |
| **参数配置** | **幅度：2，信源频率：5000Hz，直流分量：3，载波频率：50000Hz，解调方式：包络检波** |
| **AM调制条件** | **标准调幅** |
| **分析结果：**由所给参数可写出信号的表达式：调制信号表达式为：y1= ；加直流分量信号表达式为：y2= ；载波信号表达式为：y3= ；已调信号表达式为：y4= 。 | |
| **软件仿真波形图** | |
| **已调信号（横坐标范围改为0~2m）** |  |
| **解调信号（横坐标范围改为0~2m）** |  |
| **拖动“加直流分量信号”到“已调信号”（横坐标范围改为0~2m）** |  |
| **分析结果：**可以看到AM波的包络与调制信号的波形完全一样。因此，用 的方法很容易恢复出原始调制信号。 | |

|  |  |
| --- | --- |
| **参数配置** | **幅度：2，信源频率：5000Hz，直流分量：2，载波频率：50000Hz，解调方式：包络检波** |
| **AM调制条件** | **满调幅** |
| **分析结果：**满调幅即满足条件 ，此时调制效率最大。可以看到AM波的包络与调制信号的波形完全一样。因此，用 的方法很容易恢复出原始调制信号。 | |

|  |  |
| --- | --- |
| **参数配置** | **幅度：2，信源频率：5000Hz，直流分量：1，载波频率：50000Hz，解调方式：包络检波** |
| **AM调制条件** | **过调幅** |
| **软件仿真波形图** | |
| **已调信号（横坐标范围改为0~2m）** |  |
| **解调信号（横坐标范围改为0~2m）** |  |
| **分析结果：**由解调信号的波形图可以看出：在过调幅条件下采用包络检波法恢复原始调制信号会 ，此时应该采用 法。 | |
| **相干解调软件仿真波形** | |
| **解调信号** |  |
| **分析结果：**当 时，AM波的包络与调制信号m(t)的形状完全一样，用 的方法很容易恢复出原始调制信号。其中，在 时，称为“满调幅”（也称100%调制），这时调制效率最大。如果上述条件没有满足，就会出现“过调幅”现象，这时用包络检波将会发生失真。但是，可以采用其他的解调方法，如 。 | |

2、参考例程软件仿真波形，观察示波器实测波形

|  |  |
| --- | --- |
| **参数配置** | **幅度：5，信源频率：10000Hz，直流分量：10，载波频率：50000Hz** |
| **软件仿真波形图** | |
| **调制信号** | 1 |
| **调制信号加直流分量** | 1 |
| **载波信号** | 1 |
| **已调信号** | 2 |
| **加噪声后信号** | 2 |
| **带通滤波后信号** | 2 |
| **解调信号** | 2 |

3、学生编程软件仿真波形，观察示波器实测波形

|  |  |
| --- | --- |
| **参数配置** | **幅度：5，信源频率：10000Hz**  **直流分量：10，载波频率：50000Hz** |
| **软件仿真波形图** | |
| **调制信号** | 1 |
| **调制信号加直流分量** | 1 |
| **载波信号** | 1 |
| **已调信号** | 1 |
| **加噪声后信号** | 2 |
| **带通滤波后信号** | 2 |
| **解调信号** | 2 |

**三、程序代码（自编部分）**

demodType=0; %解调方式，0：包络检波，1：相干解调

%包络检波

y\_envelope=abs(hilbert(y6)); % 用Hilbert变换获取信号包络

Y=(y\_envelope-A0); % 去除直流分量得到解调信号

**四、实验心得与收获**

**实验四 FM调制解调实验**

**一、实验内容**

1、观测并记录FM调制解调软件仿真波形，观察示波器实测波形。

2、读懂参考例程的程序，观察并记录软件仿真波形，观察示波器实测波形。

3、根据学生编程的要求，现场编写MATLAB程序，观察并记录软件仿真波形，观察示波器波形。

**二、实验记录**

1、FM调制解调软件仿真波形，观察示波器实测波形

|  |  |
| --- | --- |
| **参数配置** | **幅度：4，信源频率：10000Hz，载波频率：200000Hz，调频灵敏度：20000** |
| **分析结果：**由所给参数可写出信号的表达式：调制信号表达式为：y1= ；载波信号表达式为：y2= ； | |
| **软件仿真波形图** | |
| **基带信号**  **（横坐标范围0~500u）** |  |
| **载波信号**  **（横坐标范围0~500u）** |  |
| **已调信号**  **（横坐标范围0~500u）** |  |
| **高斯白噪声**  **（横坐标范围0~500u）** |  |
| **加噪声后信号（横坐标范围0~500u）** |  |
| **带通滤波后信号（横坐标范围0~500u）** |  |
| **微分器后信号（横坐标范围0~500u）** |  |
| **包络检波后信号（横坐标范围0~500u）** |  |
| **解调信号**  **（横坐标范围0~500u）** |  |
| **分析结果：**将 经过 后得到带通滤波器后信号；将 经过 得到微分器后信号，将 经过 得到包络检波后信号，将 经过 后得到解调信号。 | |

2、参考例程软件仿真波形

|  |  |
| --- | --- |
| **参数配置** | **幅度：1，信源频率：10000Hz，载波频率：100000Hz，调频灵敏度：20000** |
| **软件仿真波形图** | |
| **调制信号** | 1 |
| **载波信号** | 1 |
| **已调信号** | 1 |
| **加噪声后信号** | 2 |
| **带通滤波后信号** | 2 |
| **微分后信号** | 3 |
| **包络检波后信号** | 3 |
| **解调信号** | 3 |

3、学生编程软件仿真波形

|  |  |
| --- | --- |
| **制度增益** |  |
| **输入信噪比** |  |
| **输出信噪比** |  |

**三、程序代码（自编部分）**

% 输入信号和噪声的功率计算

Si = mean(y3.^2); % 解调器输入端信号功率

Ni = mean((y4 - y3).^2); % 解调器输入端噪声功率

SNR\_in = Si / Ni; % 输入信噪比

% 输出信号和噪声的功率计算

So = mean(Y.^2); % 解调器输出端信号功率

No = mean((Y - y1).^2); % 解调器输出噪声功率

SNR\_out = So / No; % 输出信噪比

% 制度增益G的计算

G = (So / No) / (Si / Ni);

% 输出制度增益G

disp(['制度增益 G: ', num2str(G)]);

**四、实验心得与收获**

**实验五 波形成型实验**

**一、实验内容**

**1、观测并记录不同参数配置软件仿真波形，观察示波器实测波形。**

（1）滚降因子配置为0.5，数据长度配置为50，无噪声的情况下，观测并记录软件仿真波形及示波器实测波形。

（2）滚降因子配置为0.75，数据长度配置为50，无噪声的情况下，观测软件仿真波形。

**2、读懂参考例程的程序，观察并记录软件仿真波形。**

**3、根据学生编程的要求，现场编写MATLAB程序，观察并记录软件仿真波形。**

**二、实验记录**

1、波形成型实验软件仿真波形，观察示波器实测波形

|  |  |
| --- | --- |
| **参数配置** | **滚降因子：0.5，数据长度：50，勾选“未添加噪声”** |
| **软件仿真波形图** | |
| **基带信号** |  |
| **码元变换后信号** |  |
| **脉冲成型后信号** |  |
| **分析结果：**码型变换的变换规则为 ，基带信号经过码型变换后，由 信号变为 信号。 | |
| **已调信号** |  |
| **带通滤波器后信号** |  |
| **乘法器后信号** |  |
| **匹配滤波后信号** |  |
| **解调信号** |  |
| **分析结果：**将 经过 后得到带通滤波器后信号；将 和 进行 后得到乘法器后信号；将 经过 后得到匹配滤波器后信号；给一定时脉冲，对 进行 ，得到抽样判决后信号，即解调信号。 | |
| **根升余弦滤波器冲激响应** |  |
| **根升余弦滤波器冲激响应频谱** |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **参数配置** | **滚降因子：0.5，数据长度：50，勾选“未添加噪声”** |
| **根升余弦滤波器冲激响应** |  |
| **根升余弦滤波器冲激响应频谱** |  |
| **分析结果：** 通过对比滚降因子为0.5，0.75时的根升余弦滤波器冲击响应可知： 。 | |

2、参考例程软件仿真波形

|  |  |
| --- | --- |
| **参数配置** | **数据类型：随机数据，数据长度：500，采样率：1000，码元速率：10，载波频率：50，滚降因子：0.5** |
| **软件仿真波形图** | |
| **BPSK调制解调（含波形成形）** | **E:\通信实验\5\1.jpg** |
| **根升余弦滤波器冲击响应** | E:\通信实验\5\2.jpg |
| **脉冲成形信号频谱** | E:\通信实验\5\2.jpg |
| **分析结果：**在MATLAB Command Window查看误码数，误码数为 。 | |

3、学生编程软件仿真波形

|  |  |
| --- | --- |
| **参数配置** | **数据类型：随机数据，数据长度：500，采样率：1000，码元速率：10，载波频率：50，滚降因子：0，0.3，0.5，0.7，1** |
| **软件仿真波形图** | |
| **滚降因子：0** | E:\通信实验\5\r0.jpg |
| **滚降因子：0.3** | E:\通信实验\5\r03.jpg |
| **滚降因子：0.5** | E:\通信实验\5\r05.jpg |
| **滚降因子：0.7** | E:\通信实验\5\r07.jpg |
| **滚降因子：1** | E:\通信实验\5\r1.jpg |
| **分析结果：**在MATLAB Command Window查看误码数，误码数为 。 | |

**三、程序代码（自编部分）**

for idx = 1:length(roll\_off\_factors)

R = roll\_off\_factors(idx);

N\_number = 25; % 阶数

h = rcosfir(R, N\_number, fs / Rb, 1 / fs, 'sqrt'); % 根升余弦滤波器

length(h);

b\_l2 = fix(length(h) / 2);

len1 = length(upsam\_sig);

x\_lowpass1 = conv(upsam\_sig, h); % 卷积

x\_lowpass(1:len1) = x\_lowpass1(b\_l2:b\_l2 + len1 - 1);

shape\_sig = x\_lowpass / max(x\_lowpass);

shape\_sig\_t = t + shape\_sig \* 1j;

% 载波调制

y = sin(2 \* pi \* Fc \* t); % 载波信号

psk = y .\* shape\_sig; % 乘法器

y\_t = t + y \* 1j;

psk\_t = t + psk \* 1j;

% 频域

freq = fft(shape\_sig); % 对carrier做N点FFT

freqPixel = fs / len\_real; % 频率分辨率

w = (-len\_real / 2:1:len\_real / 2 - 1) \* freqPixel;

m\_FFT = abs(fftshift(freq)) / max(abs(fftshift(freq)));

shape\_sig\_freq = w + m\_FFT \* 1j;

% PSK解调

[match\_filter\_sig\_t, psk\_sin\_t, psk\_lp\_t, demod\_psk\_t, demod\_bit] = PSK\_Demodulation(imag(psk\_t), imag(y\_t), R);

% 统计误码数

error\_bits(idx) = sum(xor(source\_bit, demod\_bit));

**四、实验心得与收获**

**实验六 DBPSK调制解调实验**

**一、实验内容**

**1、观测并记录不同参数配置软件仿真波形，观察示波器实测波形。**

（1）数据类型配置为10交替数据，数据长度配置为10，载波频率614400，解调载波初相位为0，无噪声的情况下，观测并记录软件仿真波形及示波器实测波形。

（2）数据类型配置为10交替数据，数据长度配置为10，载波频率614400，解调载波初相位为180，有噪声的情况下，观测软件仿真波形。

**2、读懂参考例程的程序，观察并记录软件仿真波形，观察示波器实测波形。**

**3、根据学生编程的要求，现场编写MATLAB程序，观察并记录软件仿真波形，观察示波器实测波形。**

**二、实验记录**

1、DBPSK调制解调软件仿真波形

|  |  |
| --- | --- |
| **参数配置** | **数据类型：10交替，数据长度：10，载波频率：614400，解调载波初相位为0，不勾选“添加噪声”** |
| **软件仿真波形图** | |
| **基带信号** |  |
| **差分编码后信号+已调信号** |  |
| **分析结果：**基带信号为 ，差分编码以0作为参考码元，编码后由 变为 ，相对码为 ，将0映射成-1，差分编码后信号为 。载波信号表达式为y1= ，对差分编码后信号进行绝对调相，在差分编码后信号取值为 时，已调信号 ；在差分编码后信号取值为 时，已调信号 。 | |
| **软件仿真波形图** | |
| **带通滤波器后信号** |  |
| **乘法器后信号** |  |
| **低通滤波后信号** |  |
| **抽样判决后信号** |  |
| **解调信号** |  |
| **分析结果：**将 经过 后得到带通滤波器后信号；将 和 进行 后得到相干解调后信号；将 经过 后得到低通滤波器后信号；给一定时脉冲，对 进行 ，得到抽样判决后信号；将 经过 后得到解调信号。 | |

|  |  |
| --- | --- |
| **参数配置** | **数据类型：10交替，数据长度：10，载波频率：614400，解调载波初相位为180，勾选“添加噪声”** |
| **分析结果：**解调载波初相位为180，误码数为 ，解调信号与基带信号 ，可以发现没有产生倒π现象。 | |

2、参考例程软件仿真波形

|  |  |
| --- | --- |
| **参数配置** | **数据类型：随机数据，数据长度：256，采样率：30720000，码元速率：307200，载波频率：614400，信噪比：10** |
| **软件仿真波形图** | |
| **数据源** | E:\通信实验\6\1.jpg |
| **码变换后信号** | E:\通信实验\6\1.jpg |
| **已调信号** | E:\通信实验\6\1.jpg |
| **带通滤波后信号** | E:\通信实验\6\1.jpg |
| **乘相干载波后信号** | E:\通信实验\6\2.jpg |
| **低通滤波后信号** | E:\通信实验\6\2.jpg |
| **抽样判决后信号** | E:\通信实验\6\2.jpg |
| **解调信号** | E:\通信实验\6\2.jpg |
| **分析结果：**在MATLAB Command Window查看误码数，误码数为 。 | |

3、学生编程软件仿真波形

（1）编程题1：

|  |  |
| --- | --- |
| **参数配置** | **数据类型：自定义数据1001100110，数据长度：10，采样率：30720000，码元速率：307200，载波频率：1228800，信噪比：10** |
| **软件仿真波形图** | |
| **数据源** | E:\通信实验\6\3.jpg |
| **码变换后信号** | E:\通信实验\6\3.jpg |
| **已调信号** | E:\通信实验\6\3.jpg |
| **带通滤波后信号** | E:\通信实验\6\3.jpg |
| **乘相干载波后信号** | E:\通信实验\6\4.jpg |
| **低通滤波后信号** | E:\通信实验\6\4.jpg |
| **抽样判决后信号** | E:\通信实验\6\4.jpg |
| **解调信号** | E:\通信实验\6\4.jpg |
| **分析结果：**在MATLAB Command Window查看误码数，误码数为 。 | |

（2）编程题2：

|  |  |
| --- | --- |
| **参数配置** | **数据类型：自定义数据1001100110，数据长度：10，采样率：30720000，码元速率：307200，载波频率：1228800，信噪比：10** |
| **软件仿真波形图** | |
| **数据源** | 5 |
| **码变换后信号** | 5 |
| **已调信号** | 5 |
| **带通滤波后信号** | 5 |
| **延时后信号** | 6 |
| **相乘后信号** | 6 |
| **低通滤波后信号** | 6 |
| **解调信号** | 6 |
| **分析结果：**在MATLAB Command Window查看误码数，误码数为 。 | |

**三、程序代码（自编部分）**

（1）编程题1：

% 生成二进制数据

dataBit = [1, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 0];

% 调制

[m, m\_x, y, dpsk] = DPSK\_Modulation(dataBit, Fc, sample\_num, t);

% 添加噪声

dpsk = awgn(dpsk, snr);

% 解调

[dpsk\_bp, dpsk\_sin, dpsk\_sin\_lp, choupan, demod\_dpsk, demod\_bit] = DPSK\_Demodulation(dpsk, Fc, y, sample\_num, Rb, fs);

% 计算误比特率

error\_bits = sum(xor(dataBit, demod\_bit))

% 计算横坐标的显示范围

display\_time\_range = len / Rb; % 显示完整数据所需的时间范围

（2）编程题2：

% 1.数据源

dataBit = [1, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 0];

% 2.调制

[m, m\_x, y, dpsk] = DPSK\_Modulation(dataBit, Fc, sample\_num, t);

% 3.加噪

dpsk = awgn(dpsk, snr, 'measured');

% 4.解调

% 带通滤波

dpsk\_bp = bandpass(dpsk, [Fc - Rb/2, Fc + Rb/2], fs);

% 延迟TB

dpsk\_delayed = [zeros(1, sample\_num), dpsk\_bp(1:end-sample\_num)];

% 相乘器

dpsk\_multiplied = dpsk\_bp .\* dpsk\_delayed;

% 低通滤波

dpsk\_lp = lowpass(dpsk\_multiplied, Rb/2, fs);

% 抽样判决

choupan = dpsk\_lp(sample\_num/2:sample\_num:end) > 0;

% 解调信号（取反操作）

demod\_bit = ~choupan;

% 5.统计误码率

numErrors = sum(xor(dataBit, demod\_bit))

**四、实验心得与收获**

**实验七 16QAM调制解调实验**

**一、实验内容**

**1、观测并记录不同参数配置软件仿真波形，观察示波器实测波形。**

（1）数据类型配置为自定义数据，载波频率614400，无噪声的情况下，观测并记录软件仿真波形及示波器实测波形。

（2）数据类型配置为随机数据，数据长度为1200，载波频率614400，有噪声的情况下，观测并记录软件仿真波形，观察示波器实测波形。

**2、读懂参考例程的程序，观察并记录软件仿真波形，观察示波器实测波形。**

**3、根据学生编程的要求，现场编写MATLAB程序，观察并记录软件仿真波形，观察示波器实测波形。**

**二、实验记录**

1、16QAM调制解调软件仿真波形

|  |  |
| --- | --- |
| **参数配置** | **数据类型：自定义数据（100100101001），数据长度：12，载波频率：614400，勾选“未添加噪声”** |
| **软件仿真波形图** | |
| **基带信号** |  |
| **I路电平转换后信号** |  |
| **Q路电平转换后信号** |  |
| **分析结果：**基带信号为\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_，依次经过串/并变换和2-4电平转换，将基带信号分为I路电平转换后信号和Q路电平转换后信号。串/并变换后信号为\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_，按照\_\_\_\_\_\_\_\_的电平转换规律，最后得到I路信号为\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_，Q路信号为\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。I路载波的表达式为y1=\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_，Q路载波的表达式为y2=\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。 | |
| **软件仿真波形图** | |
| **载波1调制** |  |
| **载波2调制** |  |
| **已调信号** |  |
| **分析结果：**将\_\_\_\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_\_\_\_进行\_\_\_\_\_\_\_\_得到载波1调制后信号，将\_\_\_\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_\_\_\_进行\_\_\_\_\_\_\_\_得到载波2调制后信号，将\_\_\_\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_\_\_\_进行\_\_\_\_\_\_\_\_得到已调信号。 | |
| **软件仿真波形图** | |
| **I路抽样判决后信号** |  |
| **Q路抽样判决后信号** |  |
| **解调信号** |  |
| **分析结果：**将\_\_\_\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_\_\_\_进行\_\_\_\_\_\_\_\_得到I路载波提取信号，将\_\_\_\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_\_\_\_进行\_\_\_\_\_\_\_\_得到Q路载波提取信号；将\_\_\_\_\_\_\_\_经过低通滤波器后再进行\_\_\_\_\_\_\_\_，最后经过\_\_\_\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_\_\_\_，可得到解调信号。 | |
| **软件仿真波形图** | |
| **发送端星座图（将横轴范围改为**-**3.5~3.5，纵轴范围改为**-**1.5~3.5）** |  |
| **接收端星座图** |  |
| **分析结果：**基带信号按格雷码排列，数据长度为12，因此星座图中包含\_\_\_\_\_\_\_\_个坐标：1001对应坐标\_\_\_\_\_\_\_\_；0010对应坐标\_\_\_\_\_\_\_\_；1001对应坐标\_\_\_\_\_\_\_\_。 | |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **参数配置** | | **数据类型：随机数据，数据长度：1200，载波频率：614400，信噪比：10** |
| **软件仿真波形图** | | |
| **I路载波提取信号（将横坐标范围改为0~50u）** |  | |
| **Q路载波提取信号（将横坐标范围改为0~50u）** |  | |
| **分析结果：**载波提取信号的变化规律和无噪声时一样，但由于加入了噪声，故波形不是平滑曲线，出现毛刺。 | | |
| **软件仿真波形图** | | |
| **发送端星座图（将横坐标范围改为**-**3.5~3.5，纵坐标范围改为**-**3.5~3.5）** | |  |
| **接收端星座图** | |  |

2、参考例程软件仿真波形

|  |  |
| --- | --- |
| **参数配置** | **数据类型：自定义数据（100101100000110010101111001101010001100001000010）**  **数据长度：48** |
| **软件仿真波形图** | |
| **发送端星座图** | **E:\通信实验\7\1.jpg** |
| **分析结果：**  1.读懂例程代码，写出映射表产生的原理  % 映射表  tab\_16qam = [-3-3i, -3-1i,-3+3i, -3+1i, -1-3i,-1-1i, -1+3i, -1+1i, 3-3i, 3-1i, 3+3i, 3+1i, 1-3i,1-1i,1+3i,1+1i];  **答：**  2.请写出这段代码的含义  for n=1:symbNum  symb(n)=tab\_16qam(a\_symb\_bit(1,n)\*8+a\_symb\_bit(2,n)\*4+a\_symb\_bit(3,n)\*2+a\_symb\_bit(4,n)\*1+1);  end  **答：** | |

3、学生编程软件仿真波形

|  |  |
| --- | --- |
| **软件仿真波形图** | |
| **还原后比特数据** | **E:\通信实验\7\2.jpg** |

**三、程序代码（自编部分）**

% 自定义IQ符号数据

customSymb = [1-1i, 1+1i, 1-3i, 3+3i, -3-1i];

% 映射表（与示例中相同）

tab\_16qam = [-3-3i, -3-1i, -3+3i, -3+1i, -1-3i, -1-1i, -1+3i, -1+1i, ...

3-3i, 3-1i, 3+3i, 3+1i, 1-3i, 1-1i, 1+3i, 1+1i];

% 解符号映射

customBits = [];

for k = 1:length(customSymb)

[~, index] = min(abs(tab\_16qam - customSymb(k)));

bits = dec2bin(index-1, 4) - '0';

customBits = [customBits, bits];

end

% 绘制还原后比特数据波形图

figure

stem(customBits, 'filled');

title('还原后比特数据波形图');

xlabel('Bit Index');

ylabel('Bit Value');

grid on;

**四、实验心得与收获**

**实验八 HDB3编译码实验**

**一、实验内容**

**1、观测并记录不同参数配置软件仿真波形。**

（1）数据类型配置为自定义数据（统一为1000010000110000000011），码元速率153600的情况下，观测软件仿真波形。

（2）数据类型配置为自定义数据（统一为1000000010010000001110），码元速率153600的情况下，观测并记录软件仿真波形及示波器实测波形。

**2、读懂参考例程的程序，观察并记录软件仿真波形，观察示波器实测波形。**

**3、根据学生编程的要求，现场编写MATLAB程序，观察并记录软件仿真波形，观察示波器实测波形。**

**二、实验记录**

1、不同参数配置软件仿真波形

|  |  |
| --- | --- |
| **参数配置** | **数据类型：自定义数据（**1000010000110000000011**），码元速率：153600Hz，DA输出：输出** |
| **软件仿真波形图** | |
| **消息码** |  |
| **HDB3编码后数据** |  |
| **HDB3编码功率谱** |  |
| **HDB3译码后数据** |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **参数配置** | **数据类型：自定义数据（1000000010010000001110），码元速率：153600Hz，DA输出：输出** |
| **软件仿真波形图** | |
| **消息码** |  |
| **HDB3编码后数据** |  |
| **HDB3编码功率谱** |  |
| **HDB3译码后数据** |  |
| **分析结果：**请写下HDB3编码过程的6个步骤：  1）消息码为：  **1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0**  2）检查消息码的连“0”个数，当连“0”个数超过3个时，则将每4个连“0”化作一小节，用“000V”替代，如下所示：  **1\_\_\_\_\_\_\_\_\_0 0 0 1 0 0 1\_\_\_\_\_\_\_\_\_0 0 1 1 1 0**  3）加入B码，检查两个相邻的V码之间“1”的个数。如果有奇数个“1”，则还是用“000V”替代每4个连“0”；如果有偶数个“1”（包含0个），则用“B00V”替代每4个连“0”。如下所示：  **1\_\_\_\_\_\_\_\_\_0 0 0 1 0 0 1\_\_\_\_\_\_\_\_\_0 0 1 1 1 0**  4）加入极性。在B码和V码都确定之后，首先可以将V码的极性确定，因为V码的极性必须交替。假如第一个“1”的极性为负，即“-1”，则第一个V码的极性为负，即“-V”。因为V码的极性与前一个非0码极性相同，之后保证V码极性交替即可。如下所示：  **-1\_\_\_\_\_\_\_\_\_0 0 0 +1 0 0 -1\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 0 0 -1 +1 -1 0**  5）确定1和B的极性。此时1与B一起确定极性，即相当于把B看做1，1与B一起极性交替。如下所示：  **-1\_\_\_\_\_\_\_\_\_0 0 0 +1 0 0 -1\_\_\_\_\_\_\_\_\_0 0 -1 +1 -1 0**  6）编码数据：**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_** | |

2、参考例程软件仿真波形，观察示波器实测波形

|  |  |
| --- | --- |
| **参数配置** | **数据类型：自定义数据（011000001100100001），采样率：30720000Hz，码元速率：153600Hz，DA输出：输出** |
| **软件仿真波形图** | |
| **数据源** | 1 |
| **HDB3编码后数据** | 1 |
| **HDB3编码数据频谱** | 2 |
| **分析结果：**请写下HDB3编码过程的6个步骤：  1）消息码为：  **0 1 1 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 0 0 1 1 1**  2）检查消息码的连“0”个数，当连“0”个数超过3个时，则将每4个连“0”化作一小节，用“000V”替代，如下所示：  **0 1 1\_\_\_\_\_\_\_\_\_0 1 1 0 0 1\_\_\_\_\_\_\_\_\_1 1 1**  3）加入B码，检查两个相邻的V码之间“1”的个数。如果有奇数个“1”，则还是用“000V”替代每4个连“0”；如果有偶数个“1”（包含0个），则用“B00V”替代每4个连“0”。如下所示：  **0 1 1\_\_\_\_\_\_\_\_\_0 1 1 0 0 1\_\_\_\_\_\_\_\_\_1 1 1**  4）加入极性。在B码和V码都确定之后，首先可以将V码的极性确定，因为V码的极性必须交替。假如第一个“1”的极性为负，即“-1”，之后保证V码极性交替即可。如下所示：  **0 -1 +1\_\_\_\_\_\_\_\_\_0 -1 +1 0 0 -1\_\_\_\_\_\_\_\_\_+1 -1 +1**  5）确定1和B的极性。此时1与B一起确定极性，即相当于把B看做1，1与B一起极性交替。如下所示：  **0 -1 +1\_\_\_\_\_\_\_\_\_0 -1 +1 0 0 -1\_\_\_\_\_\_\_\_\_+1 -1 +1**  6）编码数据  **0 -1 +1\_\_\_\_\_\_\_\_\_0 -1 +1 0 0 -1\_\_\_\_\_\_\_\_\_+1 -1 +1** | |

3、学生编程软件仿真波形，观察示波器实测波形

|  |  |
| --- | --- |
| **软件仿真波形** | |
| **数据源** | 3 |
| **HDB3译码后数据** | 3 |

**三、程序代码（自编部分）**

%% 3.HDB3解码

Sn = encode\_hdb3;

dchdbn = Sn; %定义一个输出数组

count = 0;

for j = 1 : length(Sn)

if Sn(j) == 0

count = count + 1;

if count == 3 %若3连“0”前后非零脉冲同极性，则将最后一个非零元素译为零

if dchdbn(j + 1) \* dchdbn(j - 3) == 1

dchdbn(j + 1) = 0;

end

end

if count == 2 %若2连 “0”前后非零脉冲极性相同，则两零前后都译为零

if dchdbn(j + 1) \* dchdbn(j - 2) == 1;

dchdbn(j - 2) = 0;

dchdbn(j + 1) = 0;

end

end

else

count = 0;

end

end

%极性变换

for n = 1 : length(Sn) %再将所有的-1变换成+1后，就可以得到原消息代码

if dchdbn(n) == -1

dchdbn(n) = 1;

end

end

%% 4.过采样

fs = 30720000; % 采样率

Rb = 153600; % 码元速率

sample\_num = fs / Rb; % 1个码元采样点数

N = len \* sample\_num; % 总样点数

dt = 1 / fs;

t = 0:dt:(N-1)\*dt;

% 初始化过采样后的数据数组

encode\_hdb3\_s = zeros(1, len \* sample\_num);

decode\_data\_s = zeros(1, len \* sample\_num);

% 对数据进行过采样

for n = 1:len

encode\_hdb3\_s(1, (n-1)\*sample\_num+1:n\*sample\_num) = encode\_hdb3(1, n);

decode\_data\_s(1, (n-1)\*sample\_num+1:n\*sample\_num) = dchdbn(1, n);

end

**四、实验心得与收获**

## 附加实验ASK调制解调设计实验（FPGA）

**一、实验内容**

1、功能验证：将提供的FPGA下载文件(.sof文件)，下载到XSRP软件无线电平台中，通过XSRP集成开发软件将生成的信号数据传送到示波器上，可观察到ASK调制与解调的波形情况，并记录到“六、实验记录”的“1、功能验证”中。

2、系统搭建：在QuartusII下，将提供的未完成连线的系统工程文件，通过了解各个模块的输入输出引脚及功能，将核心模块连线搭建成完整工程系统，编译，仿真，下载，用示波器观测波形，并记录到“六、实验记录”的“2、系统搭建”中。

3、核心模块编写：在QuartusII下通过硬件描述语言（Verilog）输入的方式，编写工程中的核心模块程序，进行软硬件联调。并将编写的核心程序以及观察到的波形结果记录到“六、实验记录”的“3、核心模块编写”中。

**二、实验记录**

**1、功能验证**

**1.1记录NRZ源数据和NRZ时钟、NRZ源数据和解调输出、NRZ源数据和载波信号**、**NRZ源数据和调制后信号**、**调制信号和全波整流信号**、**滤波前信号和滤波后信号**、**滤波后信号和one比特二路输出。**

|  |
| --- |
| 1. **NRZ源数据和NRZ时钟**   **2）NRZ源数据和解调输出**  **3）NRZ源数据和载波信号**  **4）NRZ源数据和调制后信号**  **5）调制信号和全波整流信号**  **6）滤波前信号和滤波后信号**  **7）滤波后信号和判决后信号** |

**2、系统搭建**

**2.1 搭建后结果**

|  |
| --- |
| **（1）总体布局**  **（2）放大后细节** |

**2.2 波形结果（结果同“一、功能验证”，故图略）**

**（1）记录NRZ源数据和NRZ时钟、NRZ源数据和解调输出、NRZ源数据和载波信号**、**NRZ源数据和调制后信号**、**调制信号和全波整流信号**、**滤波前信号和滤波后信号**、**滤波后信号和one比特二路输出**

|  |
| --- |
| 1. **NRZ源数据和NRZ时钟**   **2）NRZ源数据和解调输出**  **3）NRZ源数据和载波信号**  **4）NRZ源数据和调制后信号**  **5）调制信号和全波整流信号**  **6）滤波前信号和滤波后信号**  **7）滤波后信号和判决后信号** |

**3、核心模块编写**

**3.1 模块编程代码（仅粘贴自编代码）**

|  |
| --- |
| **（1）** **ask\_nrz\_source\_top**  **要求：**将包含所有输入输出引脚定义的**ask\_nrz\_source\_top**.v下的全部程序粘贴在下表中(删除不必要的注释)  **答案：** |
| **（2）** **ask\_carry\_top**  **要求：**将包含所有输入输出引脚定义的**ask\_carry\_top**.v下的全部程序粘贴在下表中(删除不必要的注释)  **答案：** |
| **（3）** **ask\_mod\_top**  **要求：**将包含所有输入输出引脚定义的**ask\_mod\_top**.v下的全部程序粘贴在下表中(删除不必要的注释)  **答案：** |
| **（4）** **ask\_demod\_t**  **要求：**将包含所有输入输出引脚定义的**ask\_demod\_t**.v下的全部程序粘贴在下表中(删除不必要的注释)  **答案：** |
| **（5）** **demod\_fir\_top**  **要求：**将包含所有输入输出引脚定义的**demod\_fir\_top**.v下的全部程序粘贴在下表中(删除不必要的注释)  **答案：** |
| **（6）** **ask\_decision\_top**  **要求：**将包含所有输入输出引脚定义的**ask\_decision\_top**.v下的全部程序粘贴在下表中(删除不必要的注释)  **答案：** |

**3.2 波形结果（结果同“一、功能验证”，故图略）**

**（1）记录NRZ源数据和NRZ时钟、NRZ源数据和解调输出、NRZ源数据和载波信号**、**NRZ源数据和调制后信号**、**调制信号和全波整流信号**、**滤波前信号和滤波后信号**、**滤波后信号和one比特二路输出**

|  |
| --- |
| 1. **NRZ源数据和NRZ时钟**   **2）NRZ源数据和解调输出**  **3）NRZ源数据和载波信号**  **4）NRZ源数据和调制后信号**  **5）调制信号和全波整流信号**  **6）滤波前信号和滤波后信号**  **7）滤波后信号和判决后信号** |

**三、实验心得与收获**