

大连理工大学

本科实验报告

课程名称： 通信原理实验

学院（系）： 信息与通信工程学院

专 业： 电子信息工程

班 级： 电信 1806

学 号： 201871080

学生姓名： 刘祎铭

2021 年 6 月 15 日

大连理工大学实验报告

学院(系): 电子信息与电气工程学部 专业: 电子信息工程 班级: 电信 1806

姓 名: 刘祎铭 学号: 201871080

实验时间: 2021.6.2 实验室: 创新园 C227

指导教师签字: _____ 成绩: _____

实验三 BPSK 解调器设计

一、 BPSK 调制

1. 实验中的 BPSK 信号, 使用实验箱中的“2. 数字信号源模块”和“10. PSK 解制/解调 模块”两个模块配合进行调制产生。

① 将“2. 数字信号源模块”中的 SP4 (128K) 信号连接至“10. PSK 解制/解调模块”中的 SP1 (1024K 方波) 上。注意, 虽然“10. PSK 解制/解调模块”中的 SP1 写的是 1024K 方波, 但此处连接 128K 方波信号。该信号用于产生 128KHz 载波。

②将“2. 数字信号源模块”中的 SP12 (PN32K) 信号连接至“10. PSK 解制/解调模块”中的 SP2 (PN32K 基带) 上。该信号为一个码率为 32Kbps 的伪随机序列, 用于对 128KHz 载波进行调制。

③连线完成后, 调整电位器 RP1 和 RP3, 使 SP3 (同相载波) 和 SP4 (反相载波) 的幅值基本相同。

因为 BPSK 信号是用键控法改变载波的相位, 有同相分量和反向分量, 理论上二者幅值相等, 调整二者幅度相同, 利于解调。

④调整电位器 RP2, 并用示波器测量 SP6 (PSK 调制输出) 处信号的峰峰值, 调 PSK 调制信号的峰峰值调整至 200mV 左右。

2. 实验结果:

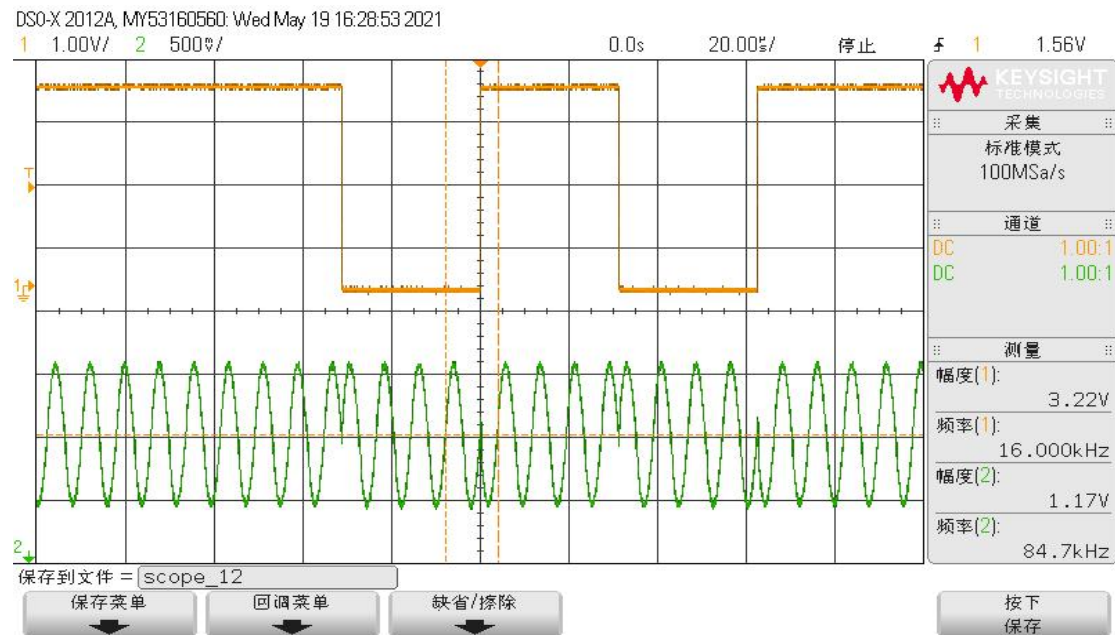


图 1 BPSK 调制输出

由图 1 可见，对于二进制基带信号 0 和 1，分别对应着载波的两个相位 0 和 π ，当基带信号由 0 \rightarrow 1 或者由 1 \rightarrow 0，载波相位都发生 180° 突变，实现了 BPSK 信号调制。

二、BPSK 解调

1、实验原理

利用 Costas 环对 BPSK 信号进行解调，图 2 是 Costas 环的原理框图。

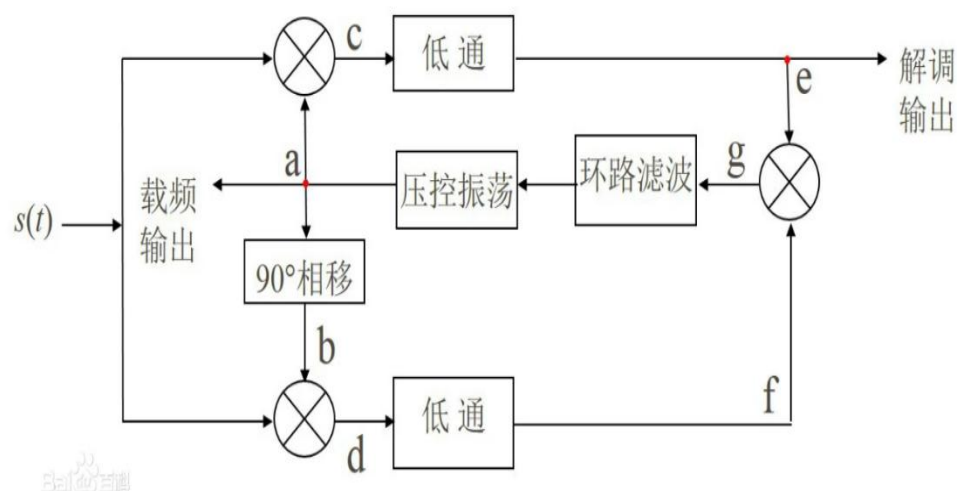


图 2 Costas 环原理图.

根据框图分析可知：

$$v_c = m(t) \cos(\omega_c t + \theta) \cos(\omega_c t + \varphi) = \frac{1}{2} m(t) [\cos(\varphi - \theta) + \cos(2\omega_c t + \varphi + \theta)]$$

$$v_d = m(t) \cos(\omega_c t + \theta) \sin(\omega_c t + \varphi) = \frac{1}{2} m(t) [\sin(\varphi - \theta) + \sin(2\omega_c t + \varphi + \theta)]$$

经过低通滤波，去掉高频成分后得到：

$$v_e = \frac{1}{2} m(t) \cos(\varphi - \theta) \quad v_f = \frac{1}{2} m(t) \sin(\varphi - \theta)$$

两信号相乘得到：

$$v_g = v_e v_f = \frac{1}{8} m^2(t) \sin 2(\varphi - \theta)$$

经过环路滤波器后输送给压控振荡器，若两信号相位不同，则压控振荡器不断调整两正交信号的 φ ，使 $\varphi = \theta$ ，此时可以从e端输出解调后的信号 $m(t)$ 。

2、FPGA 设计

①压控振荡器

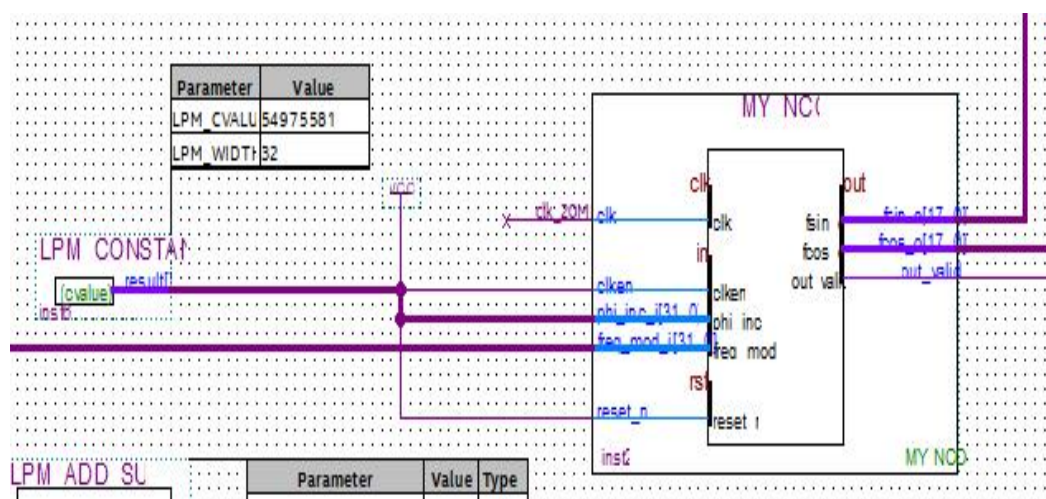


图 3 压控振荡器 FPGA 设计

通过常数控制 NCO 的输出频率，根据载波频率 128KHz，通过公式 $LPM_CVALUE = 2^{32} \times 128k / ((20 \times e6) / 2) = 54975581$ ，计算出常数为 54975581，两个输出端口输出两个相位差为 90° 的载波。

②乘法器

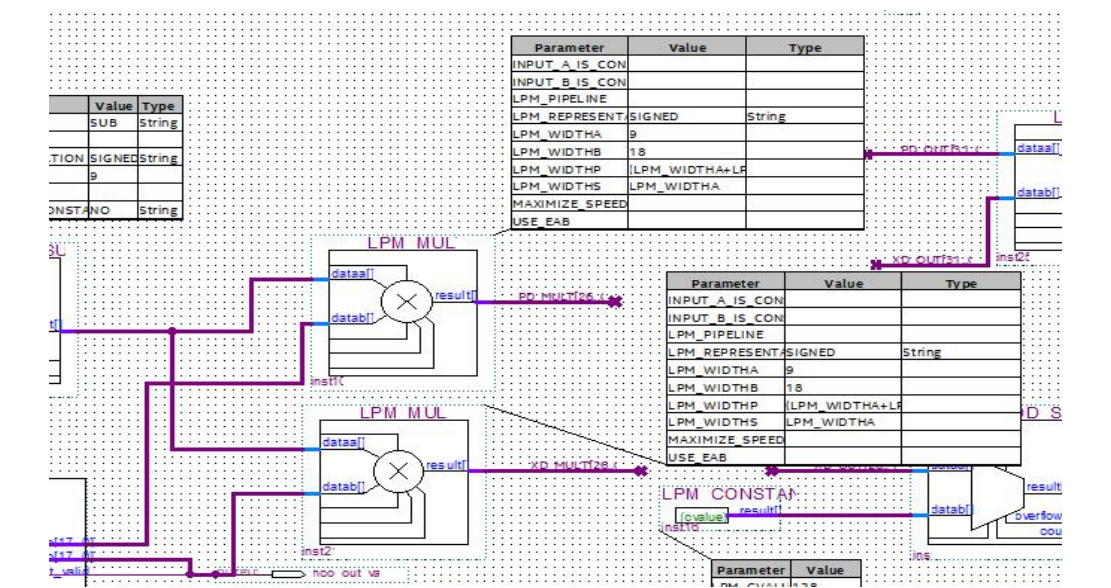


图 4 乘法器 FPGA 设计

这里对应于原理框图中低通前的两个乘法器，将输入的 BPSK 信号与载波和载波移相 $\frac{\pi}{2}$ 后的信号分别相乘，输入到低通滤波器中。

③低通滤波器

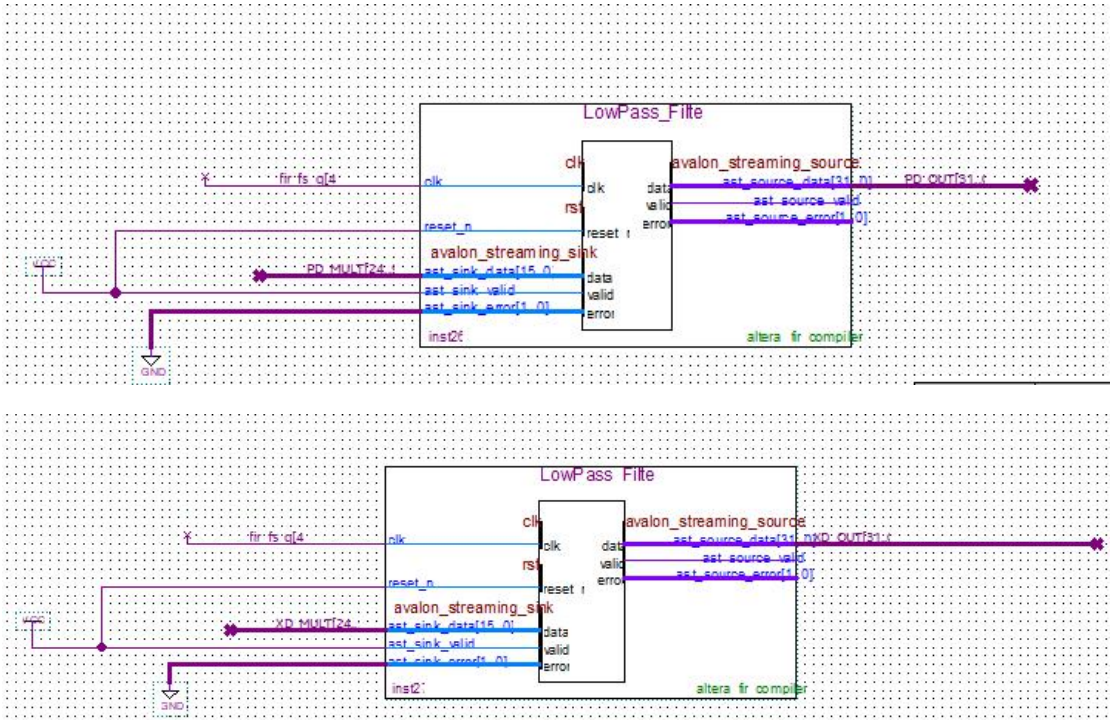


图 5 低通滤波器

通过低通滤波器主要滤除 2 倍频分量，保留低频分量。

④乘法器

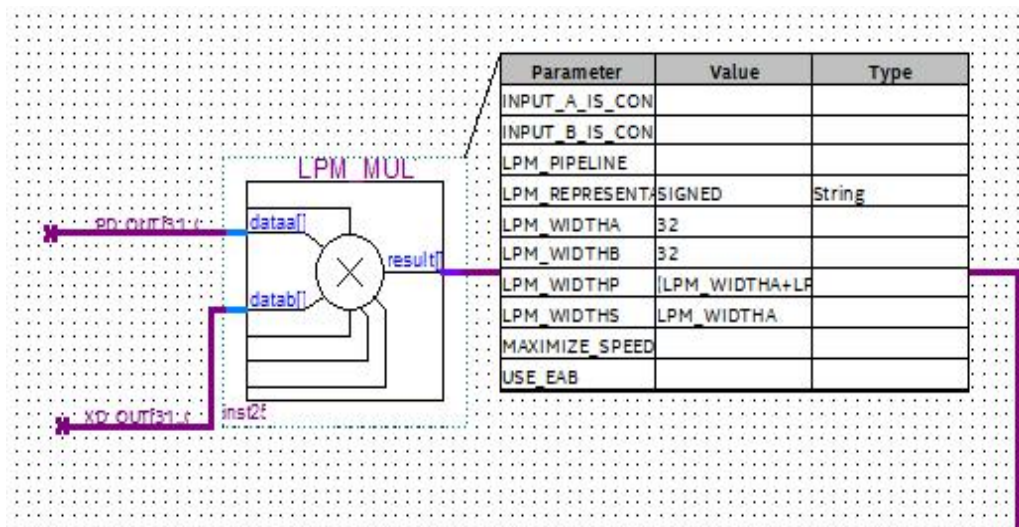


图 6 相位乘法器

这个乘法器将上下两路经过低通滤波后的信号相乘，得到带有相差的信号

$$v_g = v_e v_f = \frac{1}{8} m^2(t) \sin 2(\varphi - \theta)$$

，通过环路滤波器后去控制压控振荡器的频

率输出，使得输出的载波与已调载波同频同相，达到同步。

⑤环路滤波器

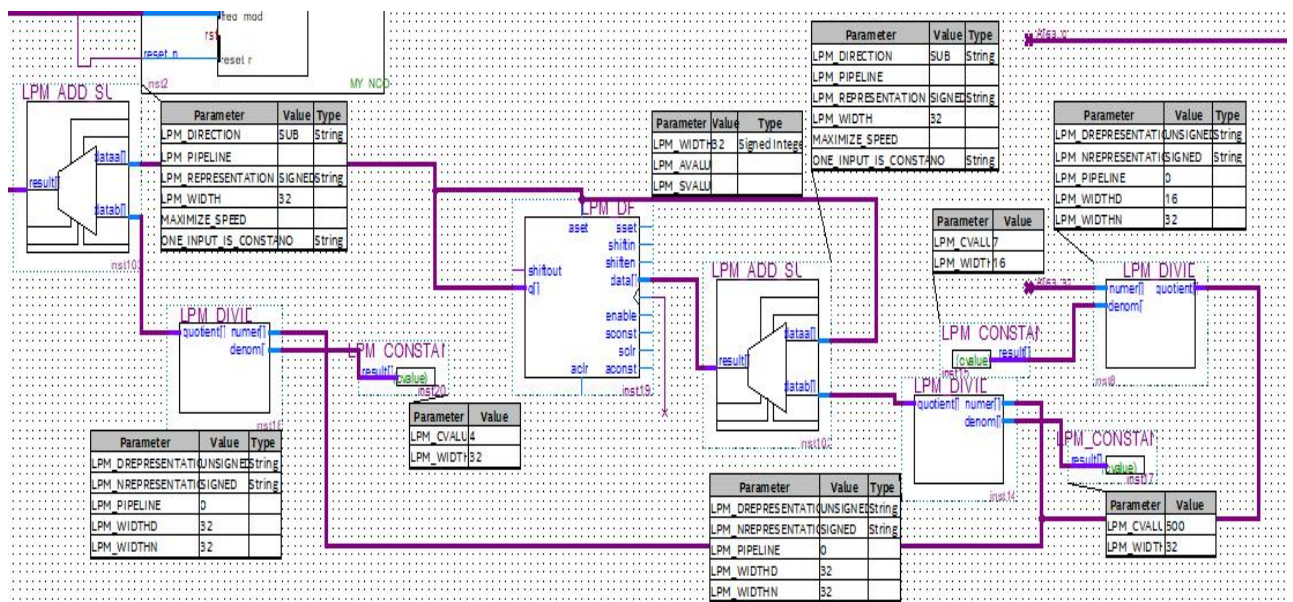


图 7 环路滤波器

环路滤波器设计参考实验二，这里用来校正相对于频率的相位偏移，它的输出用来控制压控振荡器的频率输出。

⑤通过加减法器，将信号的大小在-128-127 和 0-255 变换，即无符号数和有符号数变换，已经在实验 1 和 2 中反复提及，不再赘述。

3、实验结果

①示波器

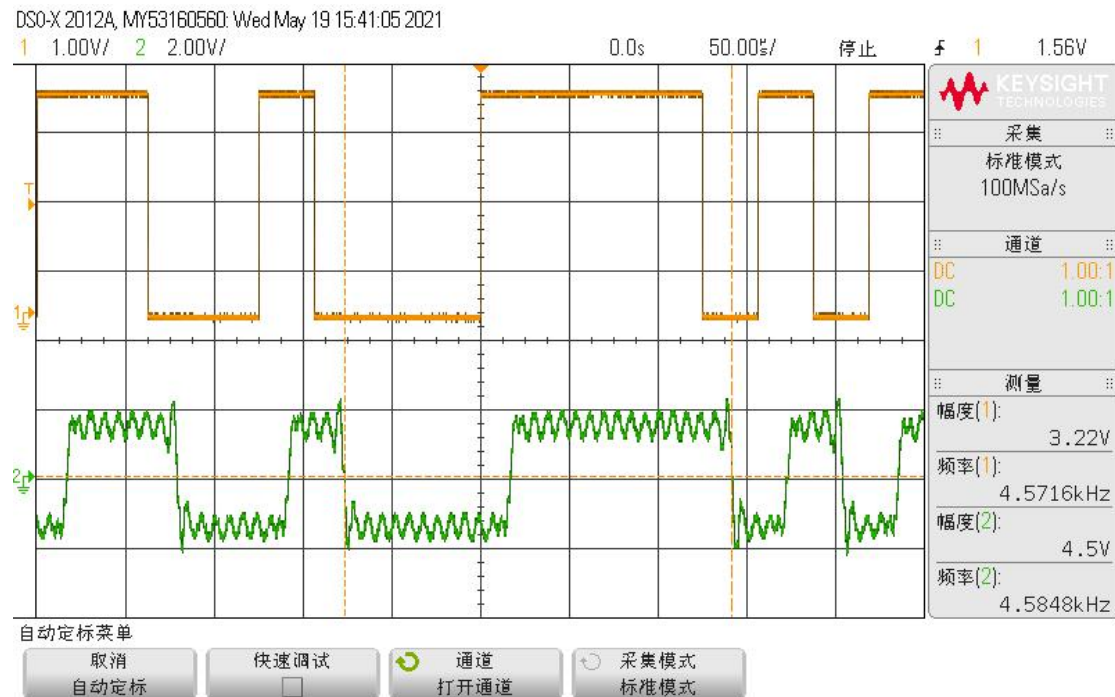


图 8 BPSK 解调输出

由图 8 可见，通道 1 为 BPSK 调制的基带信号，通道 2 为 BPSK 解调信号。从图中看出，当调制信号发生 180 度相位突变时，解调出来的信号发生一次跳变；而且解调出来的信号与 BPSK 调制信号稍有延迟，符合理论，解调成功。

②FPGA 导出数据，编程并绘制图像

```
clear all;

close all;

%-----读取文件-----%

out1=xlsread('datac.xlsx','datac','A10:A4097');
out2=xlsread('datac.xlsx','datac','C10:C4097');
out3=xlsread('datac.xlsx','datac','L10:L4097');

out1l=reshape(out1,1,length(out1));
out12=reshape(out2,1,length(out2));
out13=reshape(out3,1,length(out3));

%-----绘图-----%
```

```
plot(out11,out12)
hold on
plot(out11,out13)
```

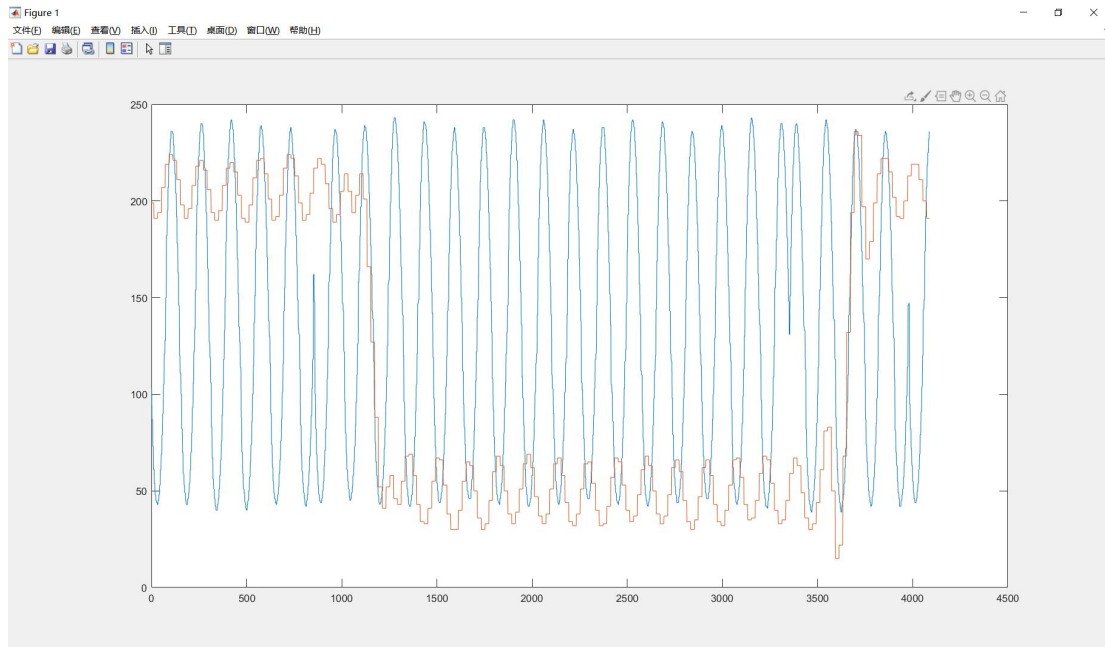


图 9 BPSK 解调输出

由图 9 可见，导出的数据中输入 FPGA 的是 BPSK 已调信号，输出的是解调信号。解调信号与输入 BPSK 信号相比稍有延迟。通过对比示波器与 FPGA 的输入与输出，基本情况一致，符合理论。

三、通信系统的级联（信源、Costas 环、Gardner 环）

1、实验原理

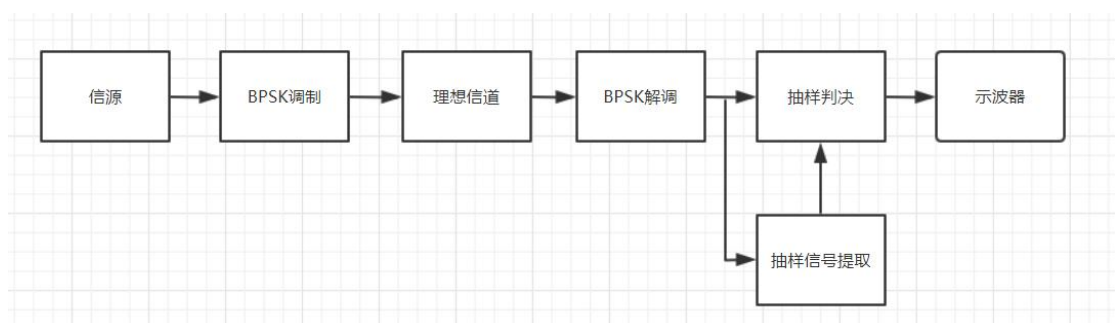


图 10 实现的完整通信系统传输

为实现的完整通信系统传输，级联信源和 Costas 环（BPSK 解调）、Gardner 环（抽样信号提取）。此过程需要两个实验箱级联来完成，这是因为一个实验箱的 FPGA

资源不足以满足我们的设计需求。一个实验箱完成 BPSK 调制和下载 Costas 环，另一个下载 Gardner 环并完成抽样判决，判决输出接到示波器。同时位同步时钟是实验二 Gardner 环产生的。当同步后，位同步时钟对 BPSK 解调输出信号在最佳抽样时刻进行抽样判决，完成 BPSK 信号从信源到信宿的整个传播过程。

2、FPGA 设计

这里主要说明实验 3 和实验 2 中不同之处。

① NCO 部分更改

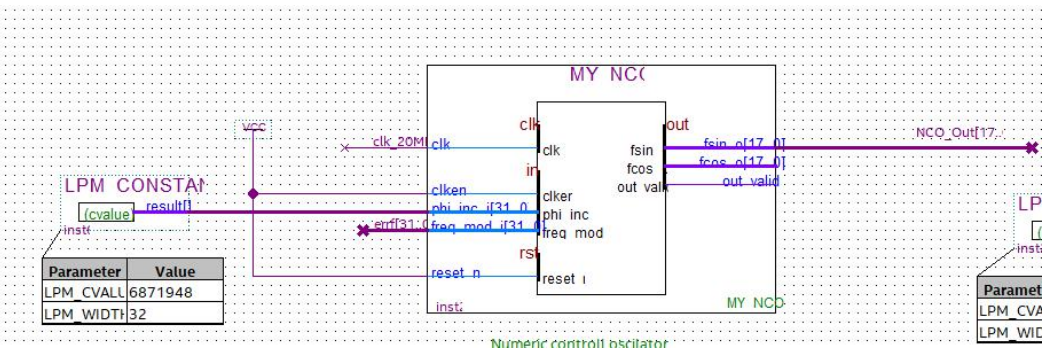


图 11 NCO 部分

基带信号为 32Kbps，常数部分按照 16KHz 计算 $LPM_CVALUE = 2^{32} \times 16k / ((20 \times e6) / 2) = 6871948$ 。

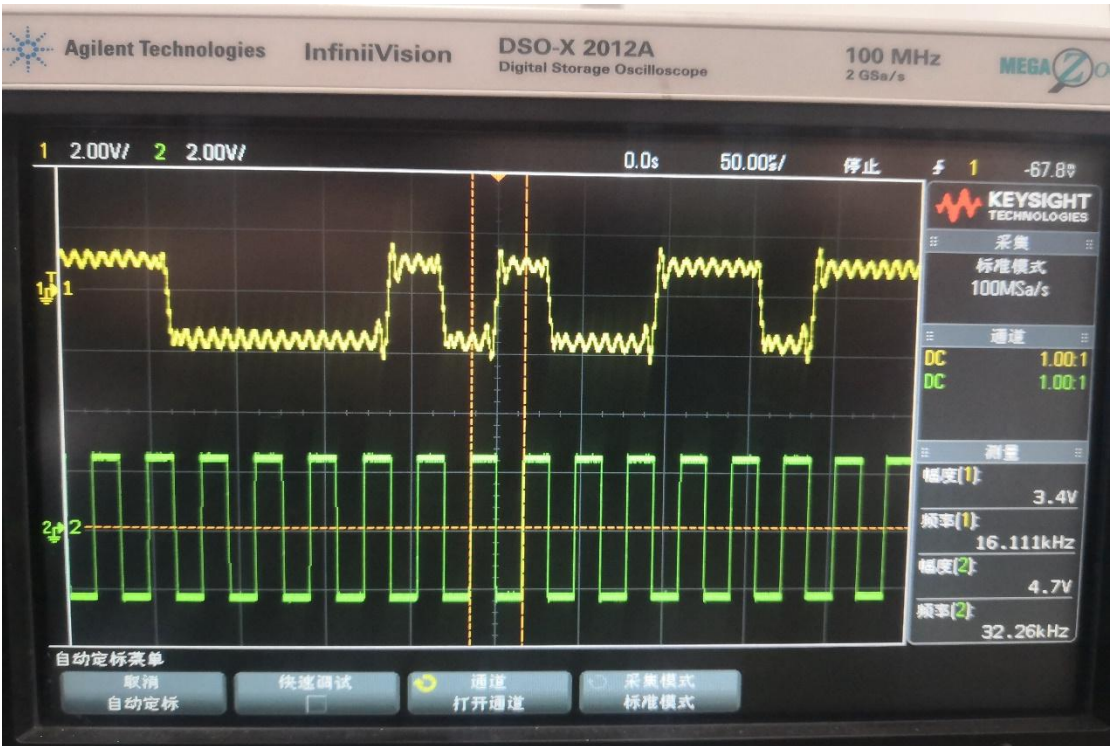


图 12 BPSK 解调信号的位同步信号提取输出

从图 12 中可以看到通道 1 为 BPSK 解调信号，通道 2 为位同步时钟信号。在一个周期内，位同步时钟的上升沿对应最大值和最小值，且正好在 $T_s/2$ 时刻为上升沿，符合抽样判决时刻的理论。解调波形中比较宽的地方是因为调制的伪随机信号正好相同，相位相同，因此就连起来了，所以一个高或低电平会对应两个及多个上升沿的抽判信号，从中我们可以看出位同步时钟正确。实际中我们应该通过对信源编码以解决连 0 和连 1 问题，使其更多包含位同步信息。

② 抽样部分（抽样判决器）

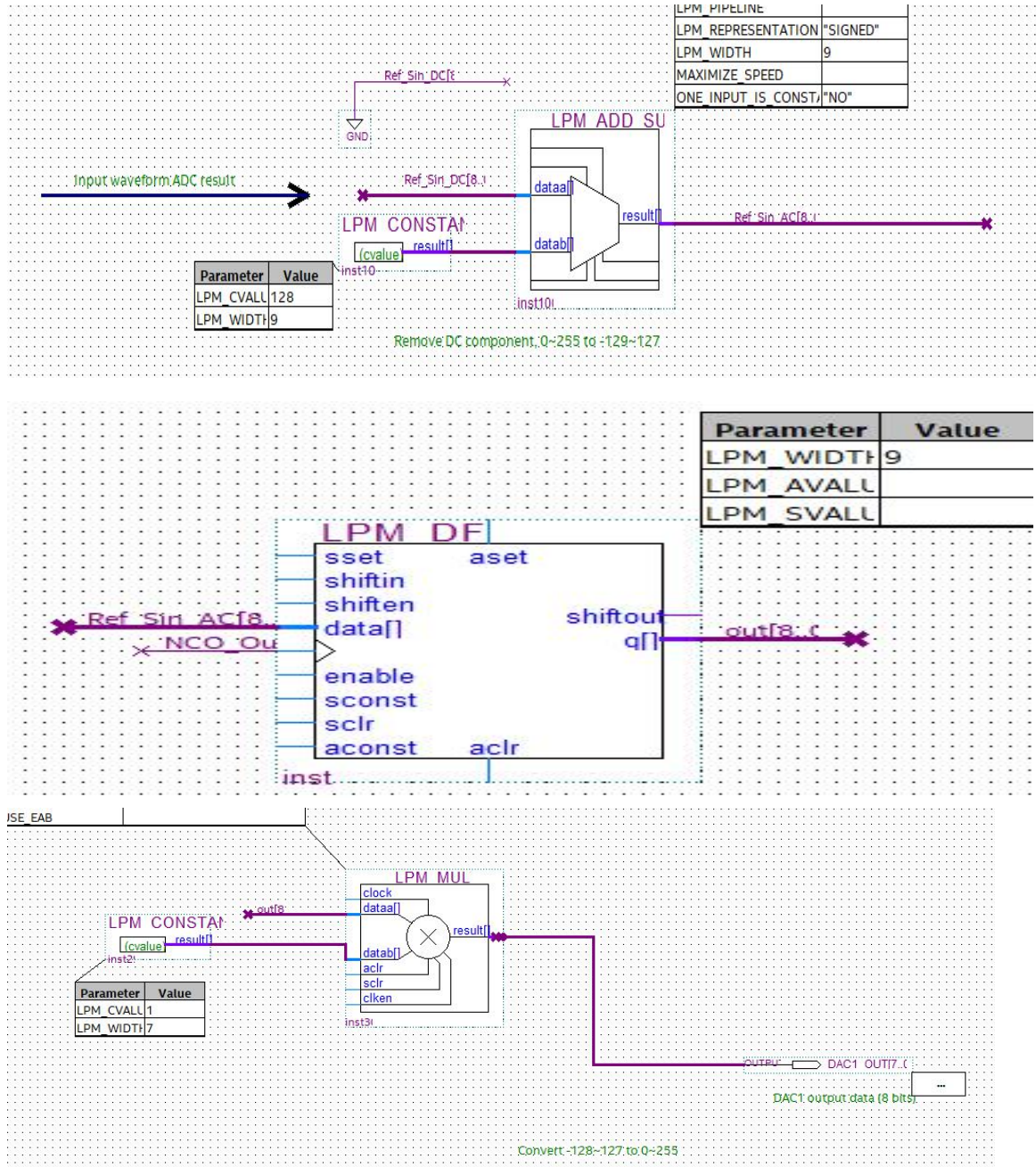


图 13 抽样部分

通过 D 触发器实现抽样判决。D 触发器为边沿触发，由于 Gardner 环输出的位同

步时钟的上升沿对应的是最佳抽样时刻, D 触发器将输入信号 Ref_Sin_AC[8..0] 有符号数处锁存, 锁存的波形就是基带信号的波形。因为锁存的是有符号数, 最佳判决电平为 0, 最高位第 8 位为符号位, 最高位为 1, 则输出判决为 1, 最高位为 0, 输出判决为 0。乘法器的作用是将 D 触发器输出信号的幅值从 1 变大一些, 增大输出信号幅值, 增大输出功率, 有利于观察和提高输出信噪比, 同时将位宽扩大到了 8 位来输出给 DAC。乘法器输出的波形就是整形以后的单进制 NRZ。

3. 实验结果

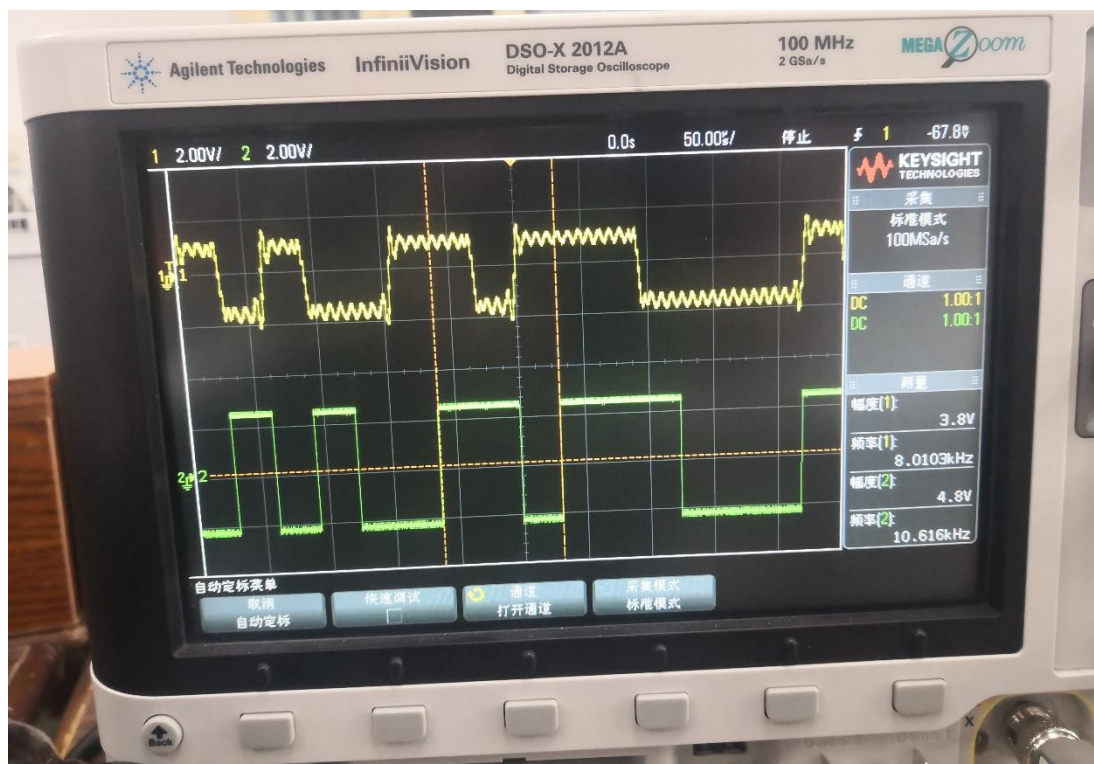


图 14 输出基带信号

由图 14 可见, 通道 1 为 BPSK 解调信号, 通道 2 为抽样判决后的信号。高低电平对应的比较好, 并且输出的基带信号波形与解调波形正好相差 $T_s/2$, 即每次抽样基本都在波形的中间, 也就是最佳抽样时刻, 抽样判决成功。