

## 数字信号处理实验报告（三）---- 有限脉冲响应滤波器

姓名：\_\_\_\_杨承翰\_\_\_\_ 学号\_\_\_\_210210226\_\_\_\_ 班级：\_\_\_\_通信2班\_\_\_\_

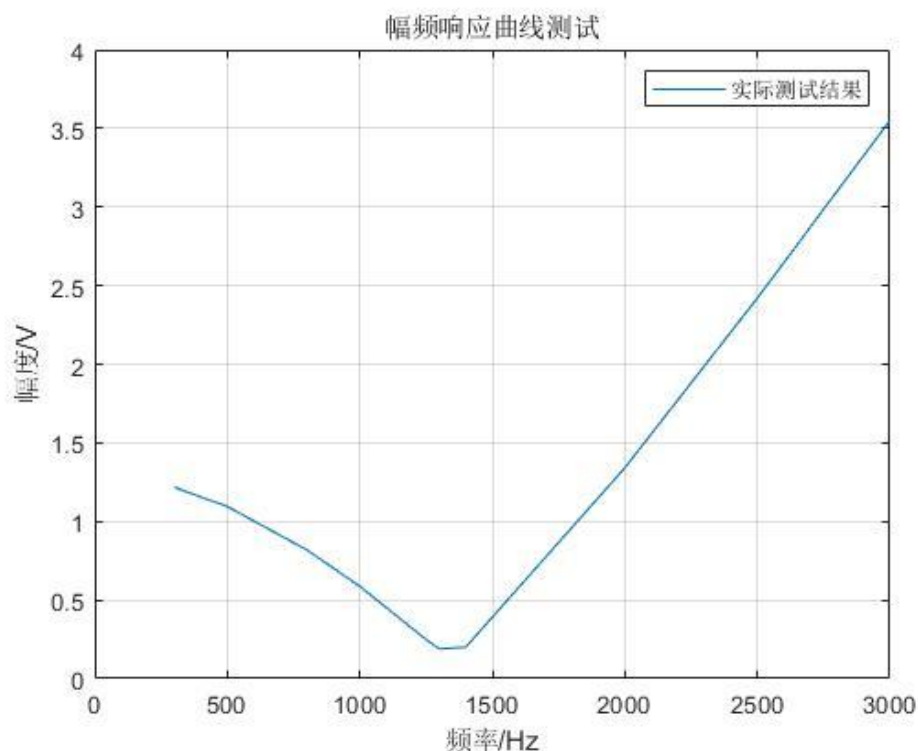
实验日期：\_\_\_\_11.1\_\_\_\_ 实验台号：\_\_\_\_K405-20\_\_\_\_

### 一、实验记录与问题思考

#### 3.5.2 使用 2 单位延迟 FIR 的陷波滤波器

(3) 幅频响应曲线测试。

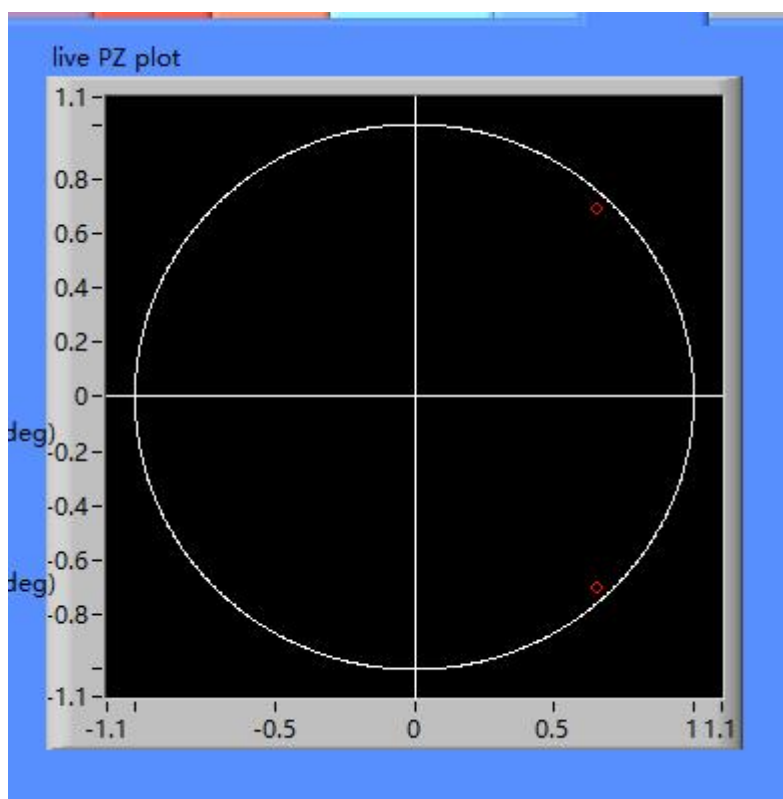
利用 Lab 14 选项卡中的示波器上观测 300Hz-3000Hz 频率范围内的信号幅度，适当地选择 10 个频率点，第 6 个点位于陷波滤波器的幅值最低点，其余的各点位于陷波器最低点的两侧，并用 MATLAB 作图。



问题 1 在幅值响应图最低点处，测量陷波的频率为\_\_\_\_1.31kHz\_\_\_\_ 以及相对深度为\_\_\_\_17.78\_\_\_\_。

问题 2 采样频率为 10kHz，单位圆上 180 度点处的对应的频率是多少？

单位圆上 180 度点处的对应的频率= $10\text{kHz}/2=5\text{kHz}$



**问题 3** 分别降低  $b_1$  和  $b_2$  值，陷波频率和陷波深度应该是减小还是增加。

降低  $b_1$ ，陷波频率减小，陷波深度不变

原因：减低  $b_1$ ，相角减小，所以陷波频率减小；此外，与原点距离不变，所以陷波频率不变

降低  $b_2$ ，陷波频率减小，陷波深度减小

原因：减低  $b_2$ ，相角减小，所以陷波频率减小；此外，与原点距离减小，所以陷波频率减小

**(选做) 问题 4** 利用一元二次方程求根公式，解释步骤 (5) 中改变系数引起零点变化的程度，可通过求导获得信号的变化率（斜率），对衰减速率进行估计。

首先，我们知道一元二次方程的一般形式为  $ax^2 + bx + c = 0$ ，它的根可以通过求根公式得到：

$$[x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}]$$

对于步骤 (5) 中的情况，我们可以利用一元二次方程的解法来解释系数的变化对零点的影响。

a) 当我们保持  $b_2$  为初始值，略微降低系数  $b_1$  时，我们实际上在修改判别式  $b^2 - 4ac$  中与  $b$  相关的部分，即  $b = b_1$ 。这个判别式决定了方程的根的性质。通过求导，我们可以获得根对  $b_1$  的变化率（斜率） $= -1 \pm$

$\frac{b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \frac{3}{2}$ ，从而对陷波器的零点变化程度进行估计。在这种情况下，观察到陷波频率减小而陷波深度不变，这意味着随着  $b_1$  的减小，根的  $x$  坐标在减小，与原点的距离不变，但对幅频响应的影响主要表现在频率上。

b) 当  $b_1$  保持为初始值，略微降低系数  $b_2$  时，我们同样可以通过对判别式进行求导来获得信号的变化率，从而对衰减速率进行估计。在这种情况下，观察到陷波频率减小而陷波深度减小，这表明随着  $b_2$  的减小，根的  $x$  坐标在减小，与原点的距离减小，同时对幅频响应的影响更加综合，不仅表现在频率上还表现在深

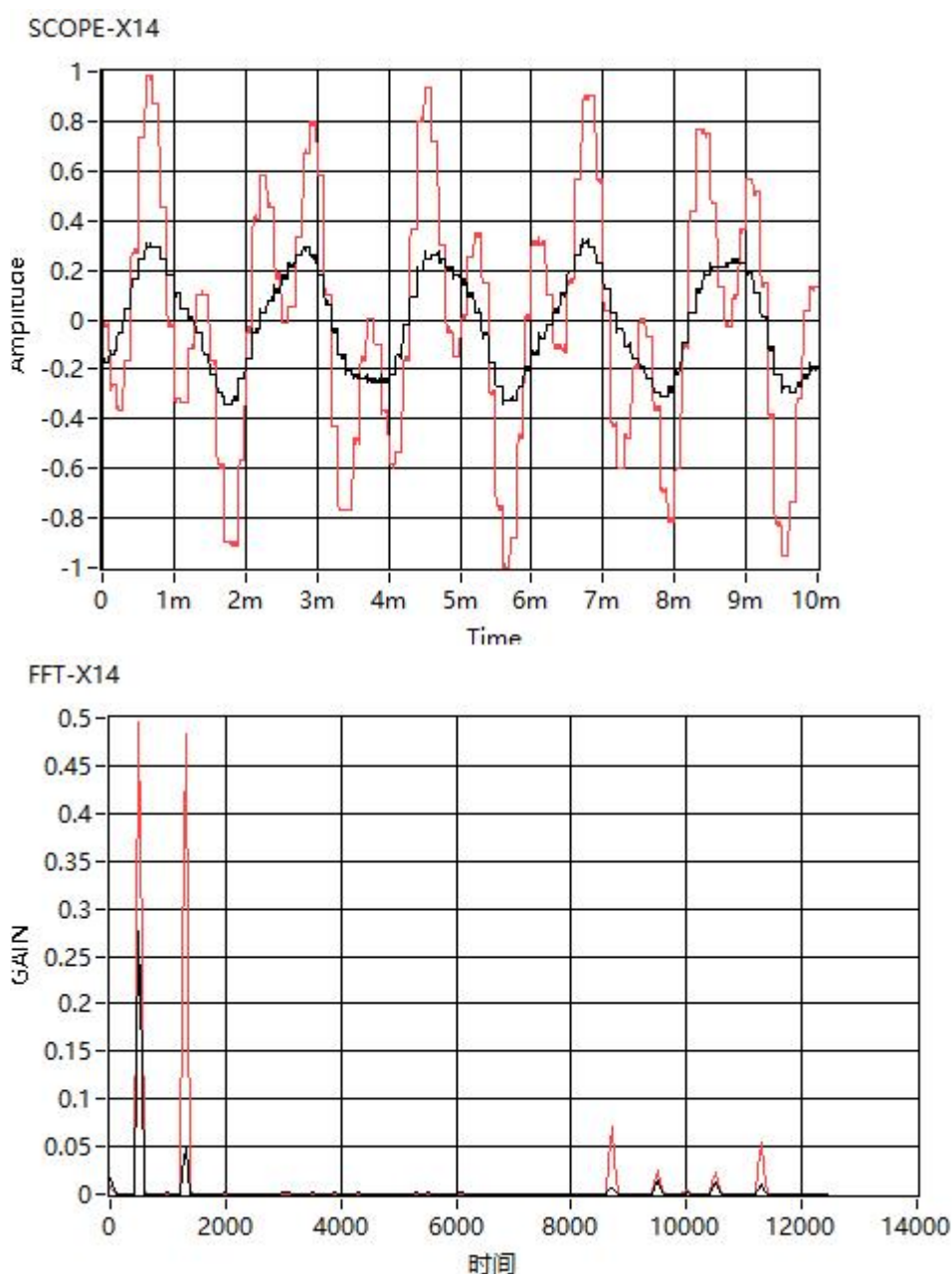
度上。

### 3.5.3 利用陷波滤波器消除单频干扰并恢复有用信号

(1) 使用台式信号发生器作为信号  $f_1$  和  $f_2$  的源,  $f_1$  和  $f_2$  分别为 500Hz 和 1300Hz 的正弦波。正弦波的幅值分别为 1V 和 1V。

(2) 分别在时域和频域中观察采样保持器的输出信号以及陷波滤波器的输出信号, 并截图保存, 说明是否可以用 3.5.2 中的陷波滤波器抑制信号  $f_2$ 。

根据实验结果可得, 可以用 3.5.2 中的陷波滤波器抑制信号  $f_2$



**问题 5** 在频域上观测, 信号  $f_2$  (1300Hz) 在陷波频率处衰减了多少 dB?

在滤波前,  $GAIN=0.483$ , 在滤波后,  $GAIN=0.0481$ , 所以衰减  $=20 \times \lg(0.483/0.0481)=20.12\text{dB}$

**问题 6** 根据本实验已经得到的结果，需要如何更改增益  $b_1$  来降低陷波频率？

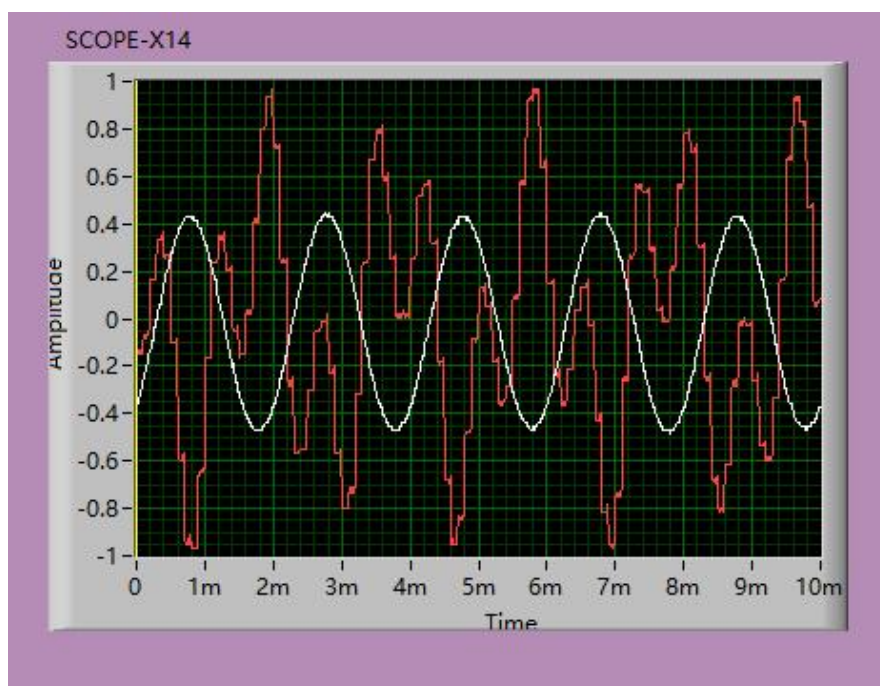
降低  $b_1$ ，陷波频率减小

原因：减低  $b_1$ ，相角减小，所以陷波频率减小；此外，与原点距离不变，所以陷波频率不变

**问题 7**  $z$  平面上，零点-原点连线后与坐标横轴所形成的夹角  $\theta$ ，零点所对应的陷波频率  $f_0$ ，采样时钟频率  $f_s$ ，三者之间的关系方程式是什么？

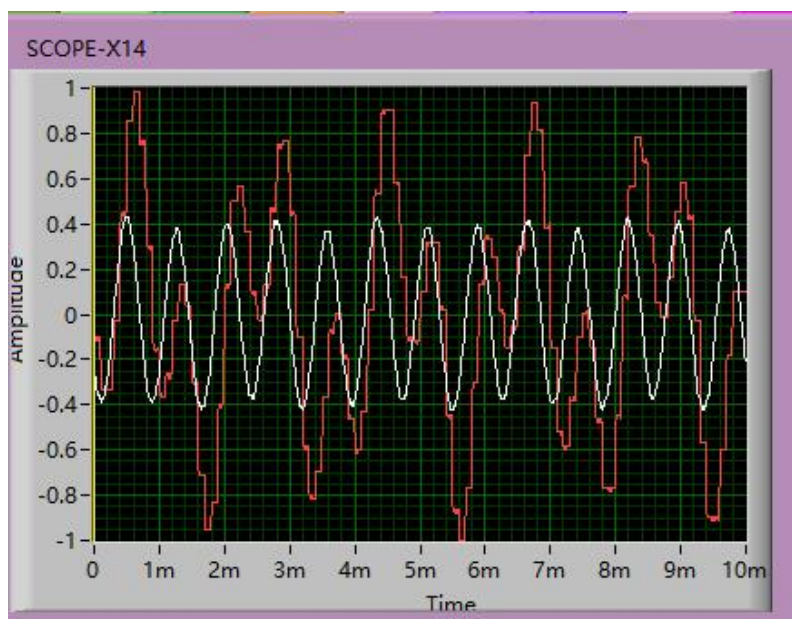
陷波频率  $f_0 = \text{时钟频率 } f_s * (\text{夹角 } \theta / 360^\circ)$

(5) 将陷波滤波器的输出接入到可调谐低通滤波器中，以恢复有效信号；观察所恢复正弦波的“干净”程度，并截图保存；测量此时低通滤波器的通带、截止频率，分别为 1120Hz 和 1250Hz。  
恢复得很干净



(6) 将  $f_1$  (500Hz) 信号看作干扰信号， $f_2$  (1300Hz) 信号看作有效信号。更改  $b_1$  的值，尽可能地消除双音信号的干扰频率分量，截图保存陷波滤波器滤波后的图像。

$b_1 = -1.85$



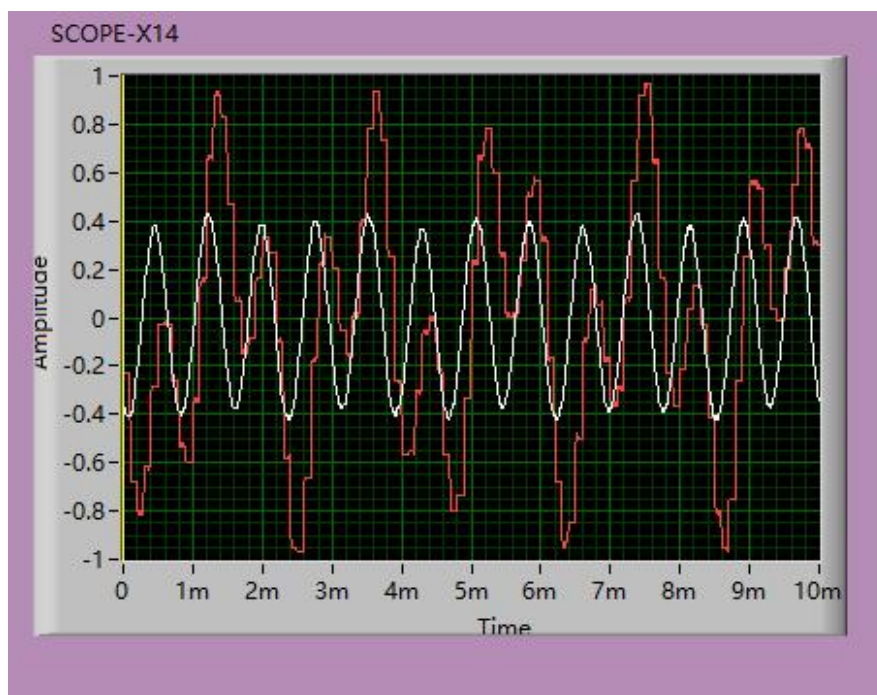
**问题 8** 尽可能保持有效信号频率分量  $f_2$  (1300Hz) 不衰减或有较少衰减, 当  $b_1$  的值是多少时, 实验能获得最大程度对干扰分量的衰减? 测得的衰减是多少 dB?

$b_1 = -1.85$  时, 实验能获得最大程度对干扰分量的衰减

测得的衰减是  $20 \cdot \lg(0.497/0.0313) = 24.016\text{dB}$

**问题 9**  $f_1$  (500Hz) 信号为干扰信号,  $f_2$  (1300Hz) 信号为有效信号情况下, 用现有的陷波滤波器和低通滤波器能否恢复有效信号? 若不能请解释原因。

不能够有效恢复信号, 因为陷波滤波器的性能不足够完全滤除 500Hz 的干扰信号, 低通滤波器也可以无法滤除 500Hz 的干扰信号, 通过示波器观察, 信号的幅度是有波动的, 这就是因为没有完全滤除 500Hz 的干扰信号。





## 二、MATLAB 仿真

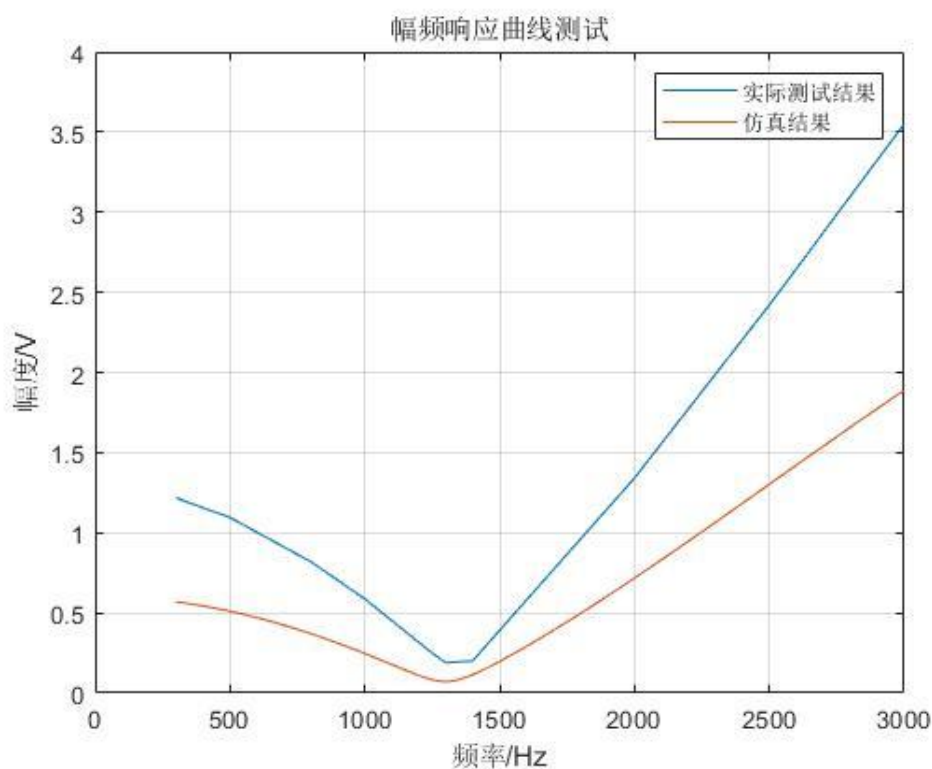
(注意需提交 Matlab 源代码及运行结果)

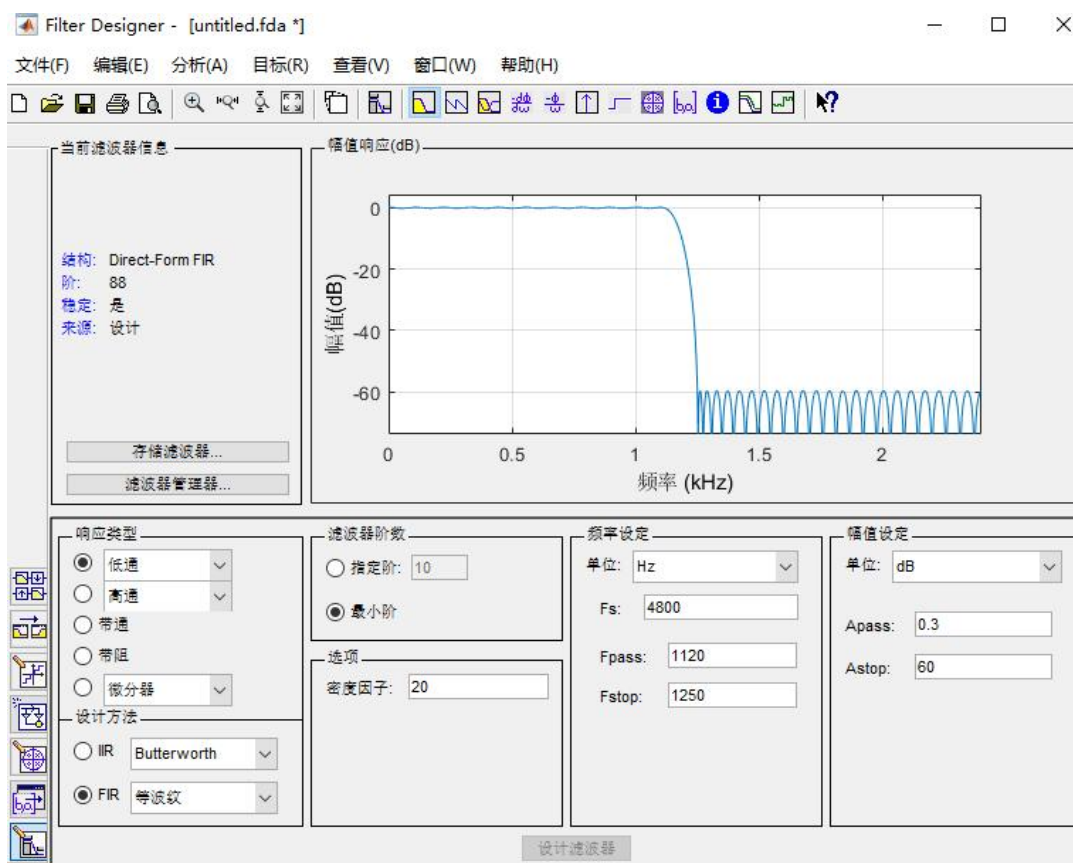
(1) 利用最初设置的加法器增益作为系统差分方程的系数(即  $b_0=1.0$ ;  $b_1=-1.3$ ;  $b_2=0.902$ ), 利用 MATLAB 仿真在 300-3000Hz 频率范围内画出该滤波器的幅频响应特性曲线, 在**同一张图**中对比仿真结果和实际测试结果。

(2) 设计一个低通滤波器(可利用 MATLAB 中的 Filter Designer), 要求通带截止频率和阻带截止频率与 3.5.3 (5) 所用到的低通滤波器的幅频特性一致, 并用 MATLAB 画出其频谱图。

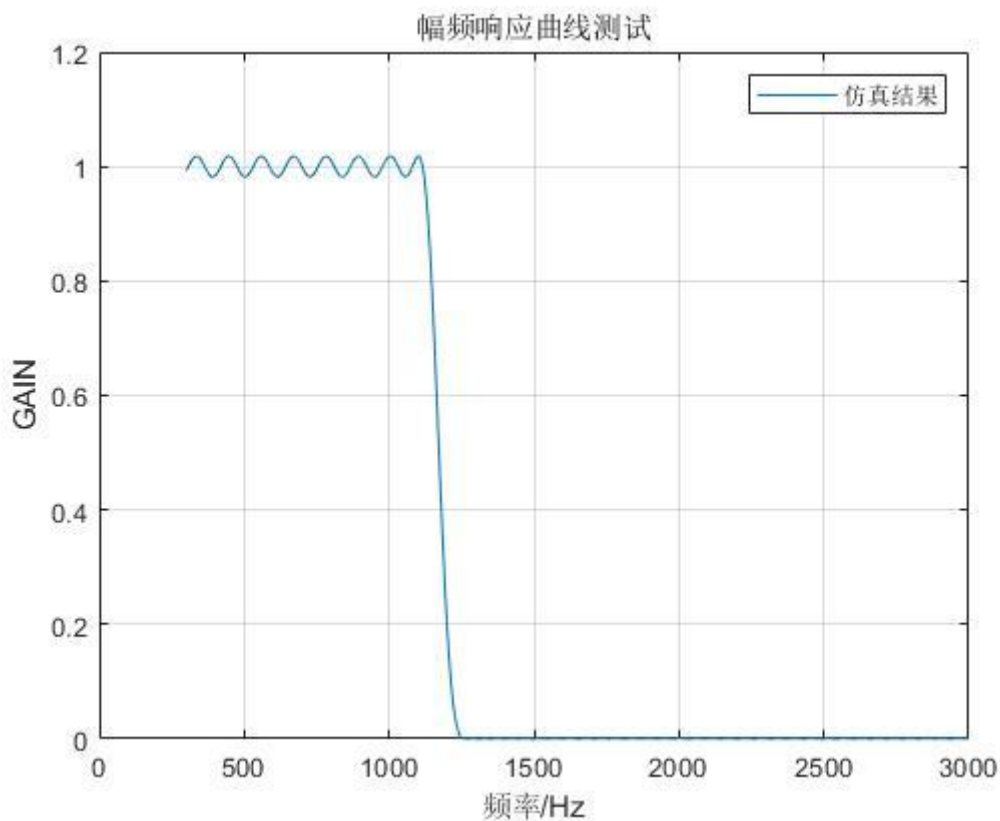
(选做)(3) 利用上两步中设计的陷波滤波器和低通滤波器, 在 MATLAB 中复现 3.5.3 中 (1)、(2)、(5) 实验过程。

**要求:**  $f_1$  (500Hz) 信号看作有用信号,  $f_2$  (1300Hz) 信号看作干扰信号, 分别画出采样保持器输出端、陷波滤波器输出端及可调谐低通滤波器输出端三个端口信号的时域波形图 and 对应频谱图, 并在实验报告中与实验测试结果对比。





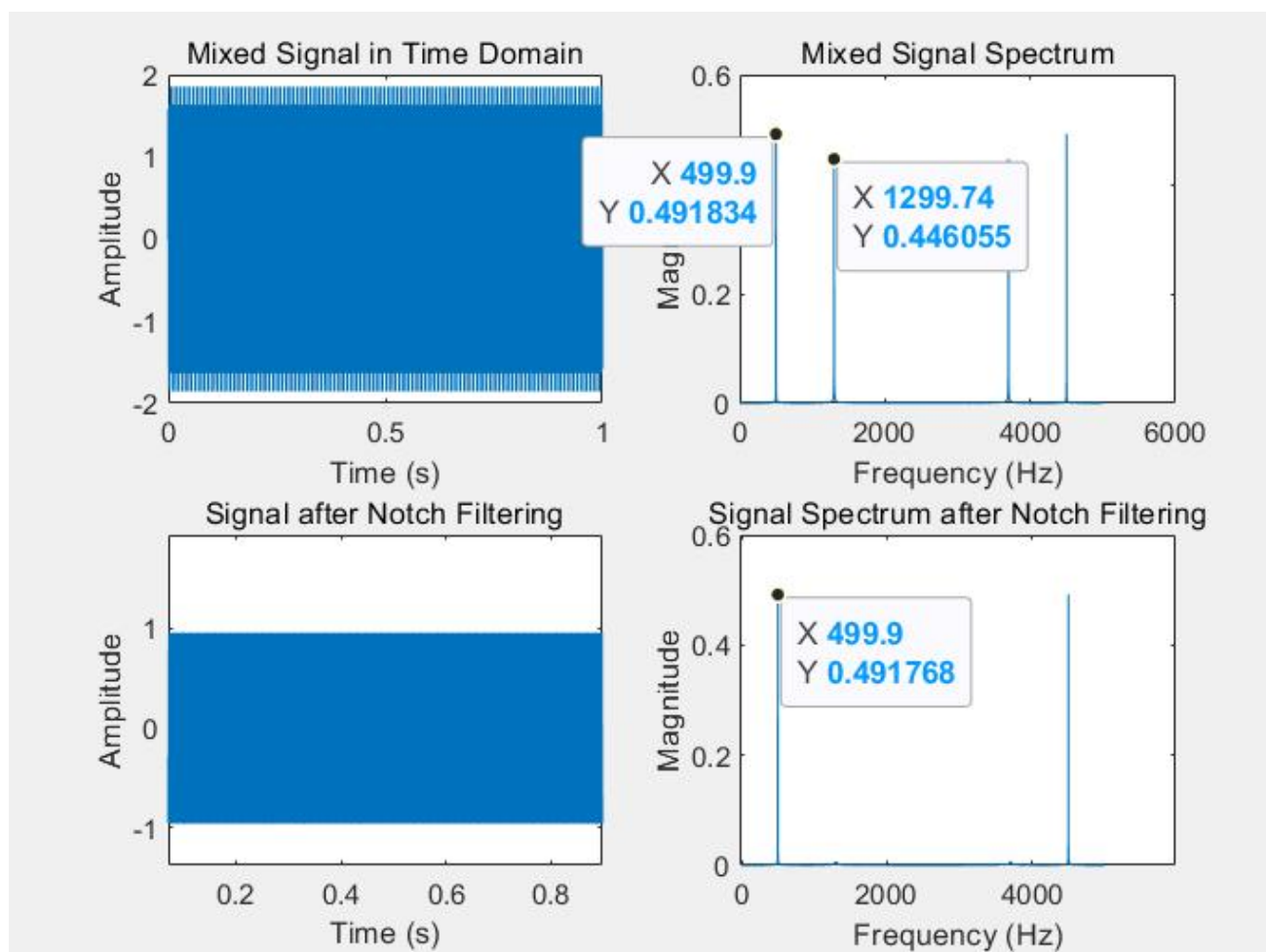
设计滤波器 ... 完成



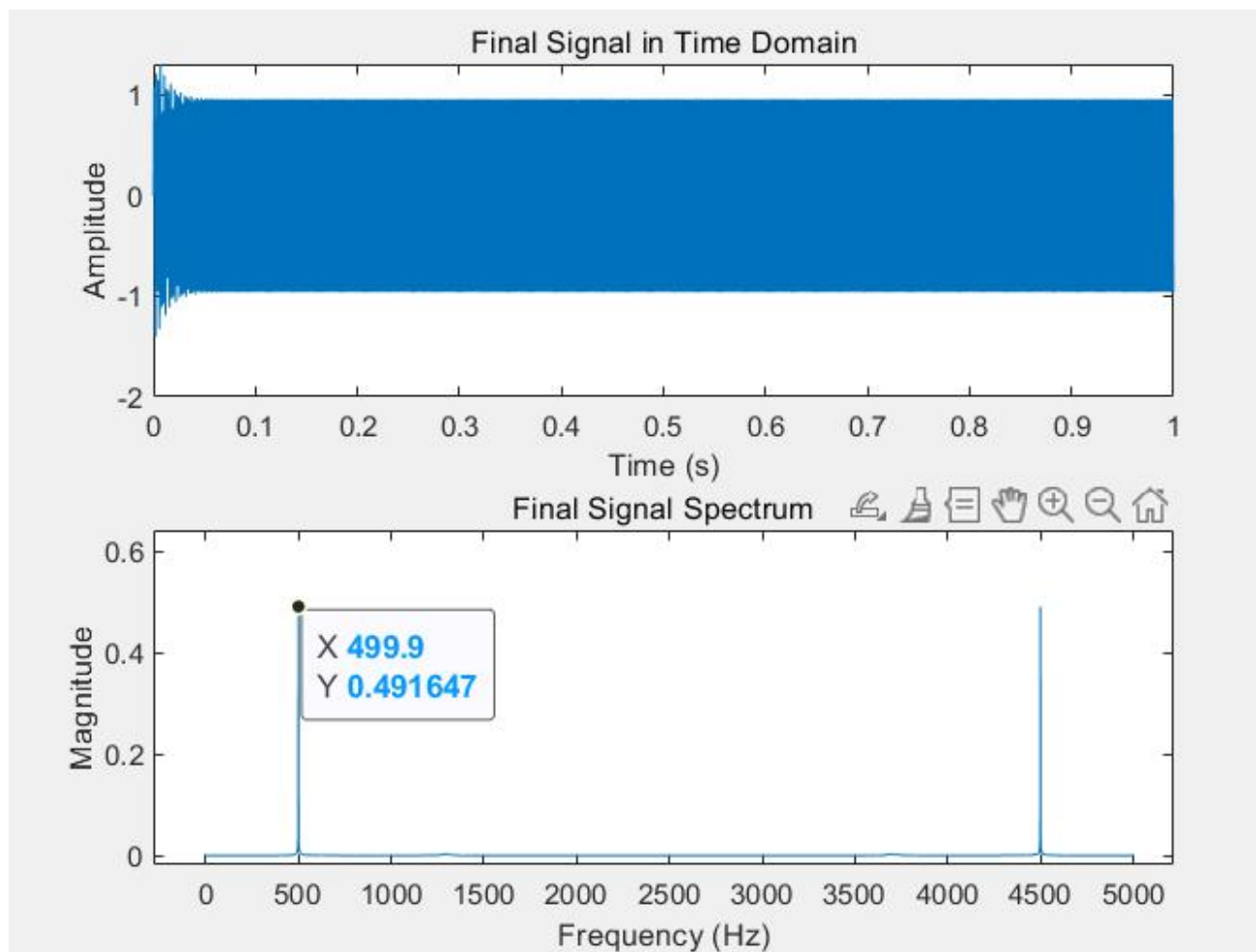
Matlab 源代码:

```
B=[1 -1.3 0.902];  
C=[1 0 0];  
fs=4800;  
H=freqz(Num,C,4800,'whole');  
Amp=abs(H);  
plot(300:3000,Amp(300:3000));legend('仿真结果')  
grid on  
title('幅频响应曲线测试')  
xlabel('频率/Hz')  
ylabel('GAIN')
```

选做







Matlab 源代码:

```
t = 0:1/5000:1;
f1 = 500;
f2 = 1300;
x1 = sin(2*pi*f1*t);
x2 = sin(2*pi*f2*t);

mixed_signal = x1 + x2;

subplot(2,2,1);
plot(t, mixed_signal);
title('Mixed Signal in Time Domain');
xlabel('Time (s)');
ylabel('Amplitude');
subplot(2,2,2);
N = length(mixed_signal);
fft_mixed = abs(fft(mixed_signal)/N);
```

```
f = (0:N-1)*(1/(t(2)-t(1)))/N;
plot(f, fft_mixed);
title('Mixed Signal Spectrum');
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Magnitude');
f0 = 1300;
Q = 50;
[b, a] = iirnotch(f0/(5000/2), f0/(5000/2)/Q); filtered_signal = filter(b, a, mixed_signal);
subplot(2,2,3);
plot(t, filtered_signal);
title('Signal after Notch Filtering');
xlabel('Time (s)');
ylabel('Amplitude');
subplot(2,2,4);
fft_filtered = abs(fft(filtered_signal)/N);
plot(f, fft_filtered);
title('Signal Spectrum after Notch Filtering');
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Magnitude');
fc = 1250;
[b_lpf, a_lpf] = butter(6, fc/(5000/2), 'low'); % 设计 6 阶巴特沃斯低通滤波器
final_signal = filter(b_lpf, a_lpf, filtered_signal);
figure;
subplot(2,1,1);
plot(t, final_signal);
title('Final Signal in Time Domain');
xlabel('Time (s)');
ylabel('Amplitude');
N_final = length(final_signal);
fft_final = abs(fft(final_signal)/N_final);
f_final = (0:N_final-1)*(1/(t(2)-t(1)))/N_final;
subplot(2,1,2);
plot(f_final, fft_final);
title('Final Signal Spectrum');
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Magnitude');
```

## 三、实验体会与建议

本实验让我收获很大，动手能力增强的同时理论基础更加扎实，在此次实验中，我加深了对于数字信号处理知识的理解，而且锻炼了我的实验思维，可以拓展课本之外的能力，让自己不仅仅依靠书本上的知识发展自己的认知，我认为本课程极具教育意义。