

# 浙江大学实验报告

专业： 信息工程  
姓名： \_\_\_\_\_  
学号： \_\_\_\_\_  
日期： 2023 年 6 月 4 日  
地点： \_\_\_\_\_

课程名称： 数字信号处理      指导老师： 徐元欣      成绩： \_\_\_\_\_  
实验名称： FIR 数字滤波器设计与使用      实验类型： 设计      同组学生姓名： \_\_\_\_\_

## 一、 实验目的和要求

设计和应用 FIR 低通滤波器。掌握 FIR 数字滤波器的窗函数设计法，了解设计参数（窗型、窗长）的影响。

## 二、 实验内容和步骤

编写 MATLAB 程序，完成以下工作。

2-1 设计两个 FIR 低通滤波器，截止频率  $\omega_C = 0.5\pi$ 。

(1) 用矩形窗，窗长  $N=31$ 。得出第一个滤波器的单位抽样响应序列  $h_1(n)$ 。记下  $h_1(n)$  的各个抽样值，显示  $h_1(n)$  的图形（用 `stem(.)`）。求出该滤波器的频率响应（的  $N$  个抽样） $H_1(k)$ ，显示  $|H_1(k)|$  的图形（用 `plot(.)`）。

(2) 用汉明窗，窗长  $N=31$ 。得出第二个滤波器的单位抽样响应序列  $h_2(n)$ 。记下  $h_2(n)$  的各个抽样值，显示  $h_2(n)$  的图形。求出滤波器的频率响应  $H_2(k)$ ，显示  $|H_2(k)|$  的图形。

(3) 由图形，比较  $h_1(n)$  与  $h_2(n)$  的差异， $|H_1(k)|$  与  $|H_2(k)|$  的差异。

2-2 产生长度为 200 点、均值为零的随机信号序列  $x(n)$ （用 `rand(1,200) 0.5`）。显示  $x(n)$ 。求出并显示其幅度谱  $|X(k)|$ ，观察特征。

2-3 滤波

(1) 将  $x(n)$  作为输入，经过第一个滤波器后的输出序列记为  $y_1(n)$ ，其幅度谱记为  $|Y_1(k)|$ 。显示  $|X(k)|$  与  $|Y_1(k)|$ ，讨论滤波前后信号的频谱特征。

(2) 将  $x(n)$  作为输入，经过第二个滤波器后的输出序列记为  $y_2(n)$ ，其幅度谱记为  $|Y_2(k)|$ 。比较  $|Y_1(k)|$  与  $|Y_2(k)|$  的图形，讨论不同的窗函数设计出的滤波器的滤波效果。

2-4 设计第三个 FIR 低通滤波器，截止频率  $\omega_C = 0.5\pi$ 。用矩形窗，窗长  $N=127$ 。用它对  $x(n)$  进行滤波。显示输出信号  $y_3(n)$  的幅度谱  $|Y_3(k)|$ ，并与  $|Y_1(k)|$  比较，讨论不同的窗长设计出的滤波器的滤波效果。

## 三、 主要仪器设备

MATLAB 编程。

## 四、 操作方法和实验步骤

（参见“二、实验内容和步骤”）

## 五、 实验数据记录和处理

### 1. 列出 MATLAB 程序清单, 加注释。

#### 第四次实验代码

```
1 % 参数
2   wc = 0.5 * pi;
3   N1 = 31      % 滤波器1, 2
4   n1 = 0:1:N1-1;
5   N2 = 200;    % 输入序列
6   n2 = 0:1:N2-1;
7   N3 = 127;    % 滤波器3
8   n3 = 0:1:N3-1;
9 % 输入函数
10  x = rand(1,200) - 0.5;
11  [X, w] = freqz(x);
12 % 滤波器设计
13  h1 = fir1(N1-1, wc/pi, boxcar(N1));
14  [H1, w1] = freqz(h1);
15  h2 = fir1(N1-1, wc/pi);
16  [H2, w2] = freqz(h2);
17  h3 = fir1(N3-1, wc/pi, boxcar(N3));
18  [H3, w3] = freqz(h3);
19 % 滤波结果
20  y1 = filter(h1, 1, x);
21  [Y1, yw1] = freqz(y1);
22  y2 = filter(h2, 1, x);
23  [Y2, yw2] = freqz(y2);
24  y3 = filter(h3, 1, x);
25  [Y3, yw3] = freqz(y3);
26 % 绘图
27   % 2-1
28   f1 = figure(1);
29   set(gcf, 'outerposition', get(0, 'screensize'));
30   subplot(2, 2, [1,2]);
31   stem(n1, h1, 'filled', 'Linewidth', 1.2);
32   hold on;
33   stem(n1, h2, 'filled', 'Linewidth', 1.2);
34   title(' ', 'FontSize', 16);
35   axis([0 30 -0.2 0.6]);
36   xlabel('n', 'FontSize', 16);
37   set(gca, 'FontSize', 15);
38   title('矩形窗滤波器h_1(n)与汉明窗滤波器h_2(n)', 'FontSize', 16);
39   legend('h_1(n)', 'h_2(n)');
40   subplot(2, 2, 3);
41   plot(w1/pi, abs(H1), 'Linewidth', 1.2);
42   hold on;
43   plot(w2/pi, abs(H2), 'Linewidth', 1.2);
44   grid on;
```

```
45     xlabel('\omega / \pi', 'FontSize', 16);
46     set(gca, 'FontSize', 15);
47     title('|H_1(k)|与|H_2(k)|比较', 'FontSize', 16);
48     legend('|H_1(k)|', '|H_2(k)|');
49 subplot(2, 2, 4);
50 plot(w1/pi, 20*log10(abs(H1)), 'Linewidth', 1.2);
51 hold on;
52 plot(w2/pi, 20*log10(abs(H2)), 'Linewidth', 1.2);
53 grid on;
54 xlabel('\omega / \pi', 'FontSize', 16);
55 set(gca, 'FontSize', 15);
56 title('20lg|H_1(k)|与20lg|H_2(k)|比较', 'FontSize', 16);
57 legend('20lg|H_1(k)|', '20lg|H_2(k)|');
58 saveas(f1, 'exp4-2-1', 'png');
59
60 % 2-2
61 f2 = figure(2);
62 set(gcf, 'outerposition', get(0, 'screensize'));
63 subplot(2, 1, 1);
64 stem(n2, x, 'filled', 'Linewidth', 1.2);
65 xlabel('n', 'FontSize', 16);
66 set(gca, 'FontSize', 15);
67 title('随机信号序列x(n)', 'FontSize', 16);
68 subplot(2, 1, 2);
69 plot(w/pi, abs(X), 'Linewidth', 1.2);
70 grid on;
71 xlabel('\omega / \pi', 'FontSize', 16);
72 set(gca, 'FontSize', 15);
73 title('|X(k)|', 'FontSize', 16);
74 saveas(f2, 'exp4-2-2', 'png');
75
76 % 2-3
77 f3 = figure(3);
78 set(gcf, 'outerposition', get(0, 'screensize'));
79 plot(w/pi, abs(X), 'Linewidth', 1.2);
80 hold on;
81 plot(yw1/pi, abs(Y1), 'Linewidth', 1.2);
82 grid on;
83 xlabel('\omega / \pi', 'FontSize', 16);
84 set(gca, 'FontSize', 15);
85 title('|X(k)|和|Y_1(k)|比较', 'FontSize', 16);
86 legend('|X(k)|', '|Y_1(k)|');
87 saveas(f3, 'exp4-2-3-1', 'png');
88
89 f4 = figure(4);
90 set(gcf, 'outerposition', get(0, 'screensize'));
91 subplot(2, 2, 1);
92 plot(w1/pi, abs(H1), 'Linewidth', 1.2);
93 hold on;
94 plot(w2/pi, abs(H2), 'Linewidth', 1.2);
```

```
95     grid on;
96     xlabel('\omega / \pi', 'FontSize', 16);
97     set(gca,'FontSize',15);
98     title('|H_1(k)|与|H_2(k)|比较', 'FontSize', 16);
99     legend('|H_1(k)|', '|H_2(k)|');
100 subplot(2,2,2);
101 plot(w1/pi, 20*log10(abs(H1)), 'Linewidth', 1.2);
102 hold on;
103 plot(w2/pi, 20*log10(abs(H2)), 'Linewidth', 1.2);
104 grid on;
105 xlabel('\omega / \pi', 'FontSize', 16);
106 set(gca,'FontSize',15);
107 title('20lg|H_1(k)|与20lg|H_2(k)|比较', 'FontSize', 16);
108 legend('20lg|H_1(k)|', '20lg|H_2(k)|');
109 subplot(2,2,[3,4]);
110 plot(yw1/pi, abs(Y1), 'Linewidth', 1.2);
111 hold on;
112 plot(yw2/pi, abs(Y2), 'Linewidth', 1.2);
113 grid on;
114 xlabel('\omega / \pi', 'FontSize', 16);
115 set(gca,'FontSize',15);
116 title('|Y_1(k)|和|Y_2(k)|比较', 'FontSize', 16);
117 legend('|Y_1(k)|', '|Y_2(k)|');
118 saveas(f4, 'exp4-2-3-2', 'png');
119
120 % 2-4
121 f5 = figure(5);
122 set(gcf,'outerposition',get(0,'screensize'));
123 subplot(2,2,1);
124 plot(w1/pi, abs(H1), 'Linewidth', 1.2);
125 hold on;
126 plot(w3/pi, abs(H3), 'Linewidth', 1.2);
127 grid on;
128 xlabel('\omega / \pi', 'FontSize', 16);
129 set(gca,'FontSize',15);
130 title('|H_1(k)|与|H_3(k)|比较', 'FontSize', 16);
131 legend('|H_1(k)|', '|H_3(k)|');
132 subplot(2,2,2);
133 plot(w1/pi, 20*log10(abs(H1)), 'Linewidth', 1.2);
134 hold on;
135 plot(w3/pi, 20*log10(abs(H3)), 'Linewidth', 1.2);
136 grid on;
137 xlabel('\omega / \pi', 'FontSize', 16);
138 set(gca,'FontSize',15);
139 title('20lg|H_1(k)|与20lg|H_3(k)|比较', 'FontSize', 16);
140 legend('20lg|H_1(k)|', '20lg|H_3(k)|');
141 subplot(2,2,[3,4]);
142 plot(yw1/pi, abs(Y1), 'Linewidth', 1.2);
143 hold on;
144 plot(yw3/pi, abs(Y3), 'Linewidth', 1.2);
```

```
145     grid on;
146     xlabel('\omega / \pi', 'FontSize', 16);
147     set(gca,'FontSize',15);
148     title('|Y_1(k)|和|Y_3(k)|比较', 'FontSize', 16);
149     legend('|Y_1(k)|', '|Y_3(k)|');
150     saveas(f5, 'exp4-2-4', 'png');
151
152 % 5-2
153 % h1(n), h2(n)
154 f6 = figure(6);
155 set(gcf,'outerposition',get(0,'screensize'));
156 subplot(1, 2, 1);
157     stem(n1, h1, 'filled', 'Linewidth', 1.2);
158     xlabel('n', 'FontSize', 16);
159     set(gca,'FontSize',15);
160     title('矩形窗滤波器h_1(n)', 'FontSize', 16);
161 subplot(1, 2, 2);
162     stem(n1, h2, 'filled', 'Linewidth', 1.2);
163     axis([0 30 -0.2 0.6]);
164     xlabel('n', 'FontSize', 16);
165     set(gca,'FontSize',15);
166     title('汉明窗滤波器h_2(n)', 'FontSize', 16);
167     saveas(f6, 'exp4-5-2-1', 'png');
168
169 % H1(k), H2(k), X(k)
170 f7 = figure(7);
171 set(gcf,'outerposition',get(0,'screensize'));
172 subplot(3, 1, 1);
173     plot(w1/pi, abs(H1), 'Linewidth', 1.2);
174     grid on;
175     xlabel('\omega / \pi', 'FontSize', 16);
176     set(gca,'FontSize',15);
177     title('|H_1(k)|', 'FontSize', 16);
178 subplot(3, 1, 2);
179     plot(w2/pi, abs(H2), 'Linewidth', 1.2);
180     grid on;
181     xlabel('\omega / \pi', 'FontSize', 16);
182     set(gca,'FontSize',15);
183     title('|H_2(k)|', 'FontSize', 16);
184 subplot(3, 1, 3);
185     plot(w/pi, abs(X), 'Linewidth', 1.2);
186     grid on;
187     xlabel('\omega / \pi', 'FontSize', 16);
188     set(gca,'FontSize',15);
189     title('|X(k)|', 'FontSize', 16);
190     saveas(f7, 'exp4-5-2-2', 'png');
191
192 % Y1(k), Y2(k), Y3(k)
193 f8 = figure(8);
194 set(gcf,'outerposition',get(0,'screensize'));
```

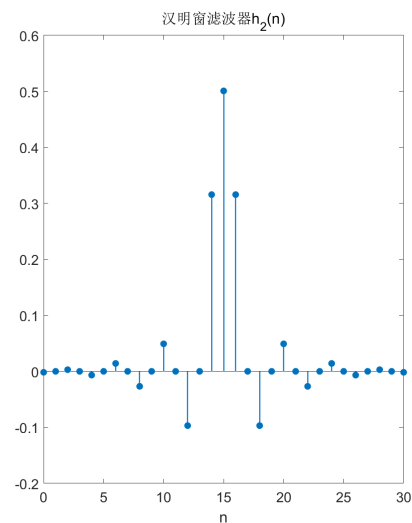
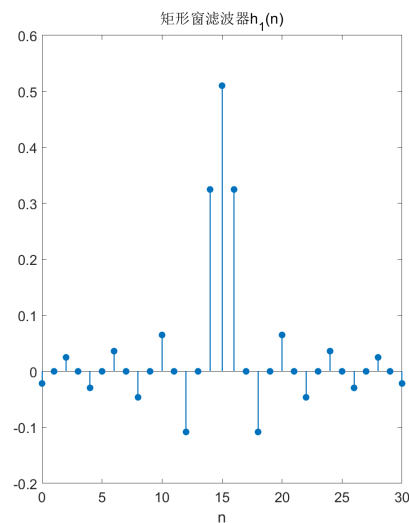
```

195 subplot(3, 1, 1);
196 plot(yw1/pi, abs(Y1), 'Linewidth', 1.2);
197 grid on;
198 xlabel('\omega / \pi', 'FontSize', 16);
199 set(gca, 'FontSize', 15);
200 title('|Y_1(k)|', 'FontSize', 16);
201 subplot(3, 1, 2);
202 plot(yw2/pi, abs(Y2), 'Linewidth', 1.2);
203 grid on;
204 xlabel('\omega / \pi', 'FontSize', 16);
205 set(gca, 'FontSize', 15);
206 title('|Y_2(k)|', 'FontSize', 16);
207 subplot(3, 1, 3);
208 plot(yw3/pi, abs(Y3), 'Linewidth', 1.2);
209 grid on;
210 xlabel('\omega / \pi', 'FontSize', 16);
211 set(gca, 'FontSize', 15);
212 title('|Y_3(k)|', 'FontSize', 16);
213 saveas(f8, 'exp4-5-2-3', 'png');

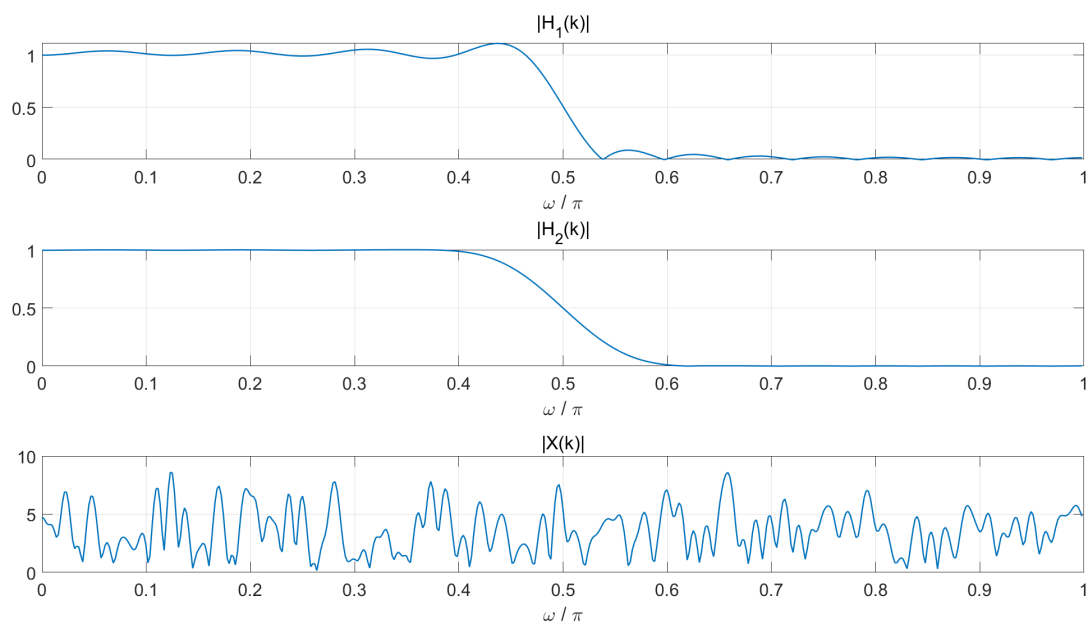
```

2. 列出计算结果, 包括  $h_1(n)$  和  $h_2(n)$  的各个抽样值,  $|H_1(k)|$ 、 $|H_2(k)|$ 、 $|X(k)|$ 、 $|Y_1(k)|$ 、 $|Y_2(k)|$  和  $|Y_3(k)|$  的图形。

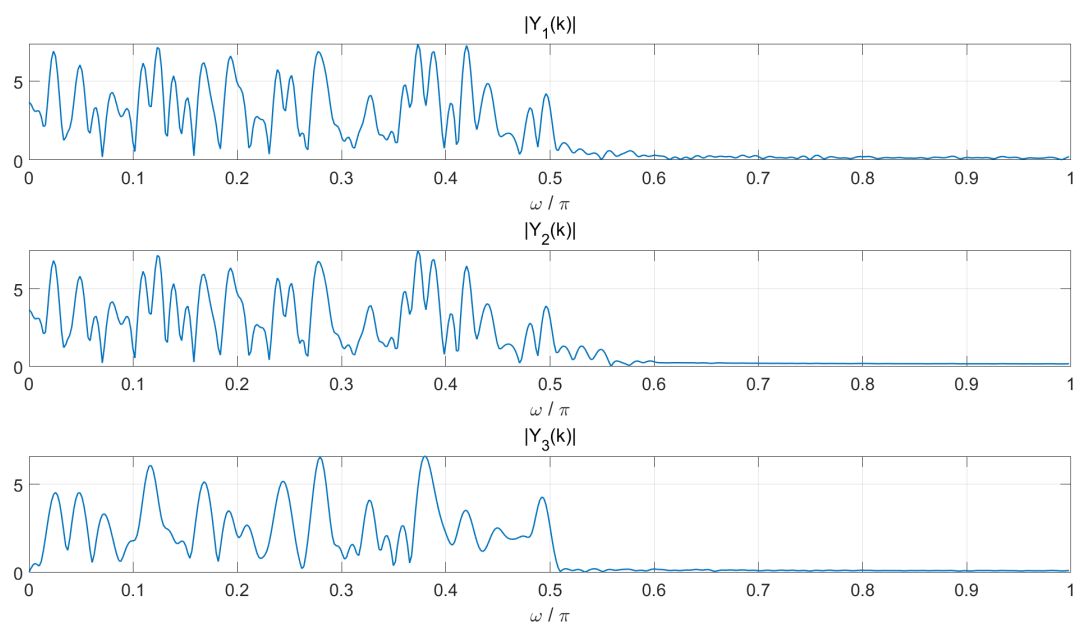
$h_1(n)$  和  $h_2(n)$



$|H_1(k)|$ 、 $|H_2(k)|$ 、 $|X(k)|$

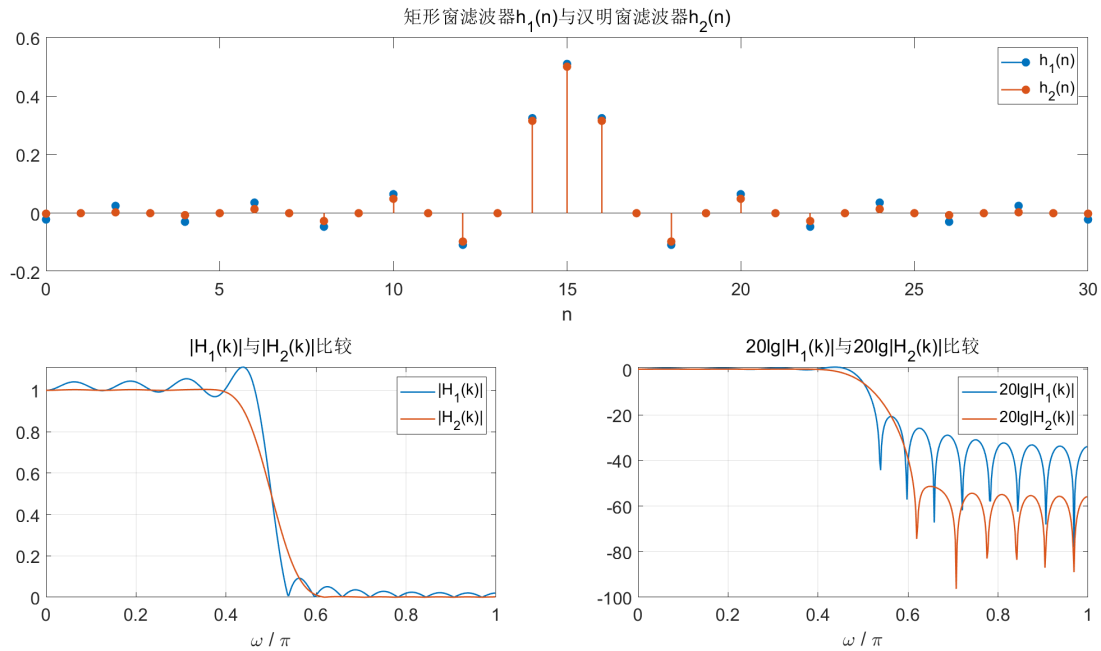


$|Y_1(k)|$ 、 $|Y_2(k)|$  和  $|Y_3(k)|$



## 六、 实验结果与分析

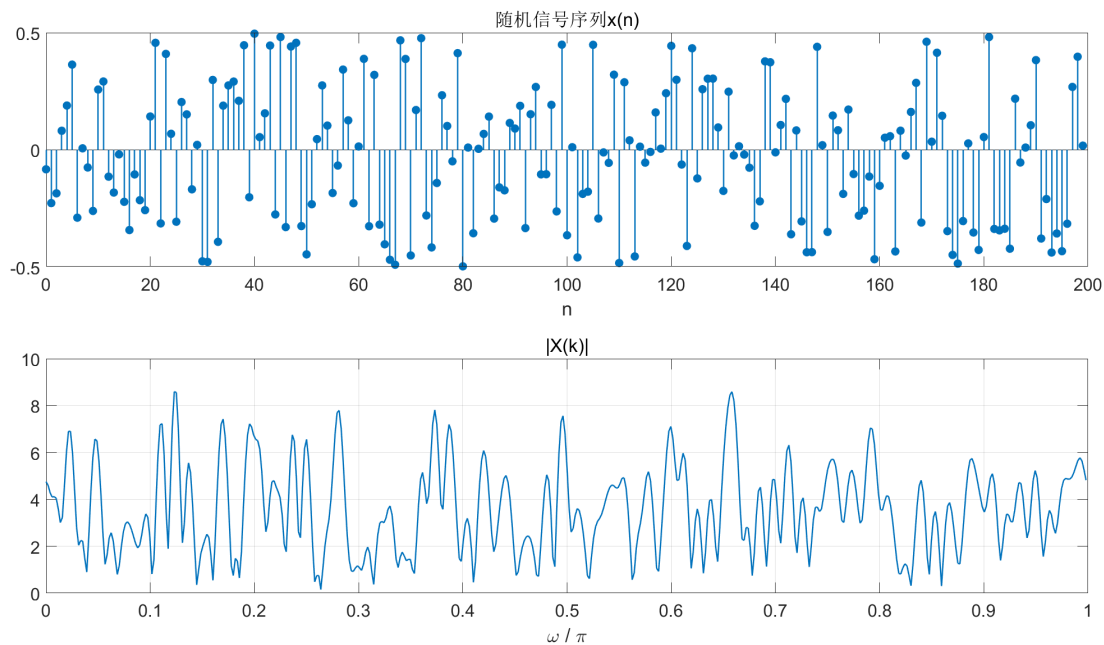
### 1. 2-1



观察  $h_1(n)$  和  $h_2(n)$  可知, 两个序列的主瓣上的取样点数相同, 值几乎相等, 最大值都相同, 但是旁瓣上  $h_1(n)$  在靠近 0 和 30 处的波动较大。观察  $|H_1(k)|$  和  $|H_2(k)|$  可知, 通带内,  $|H_1(k)|$  的波动较大, 但过渡带宽度小;  $|H_2(k)|$  波动很小, 过渡带宽度大。而  $|H_1(k)|$  的最小衰减为-20dB 左右,  $|H_2(k)|$  的最小衰减为-53dB 左右,  $|H_2(k)|$  的最小衰减更小。



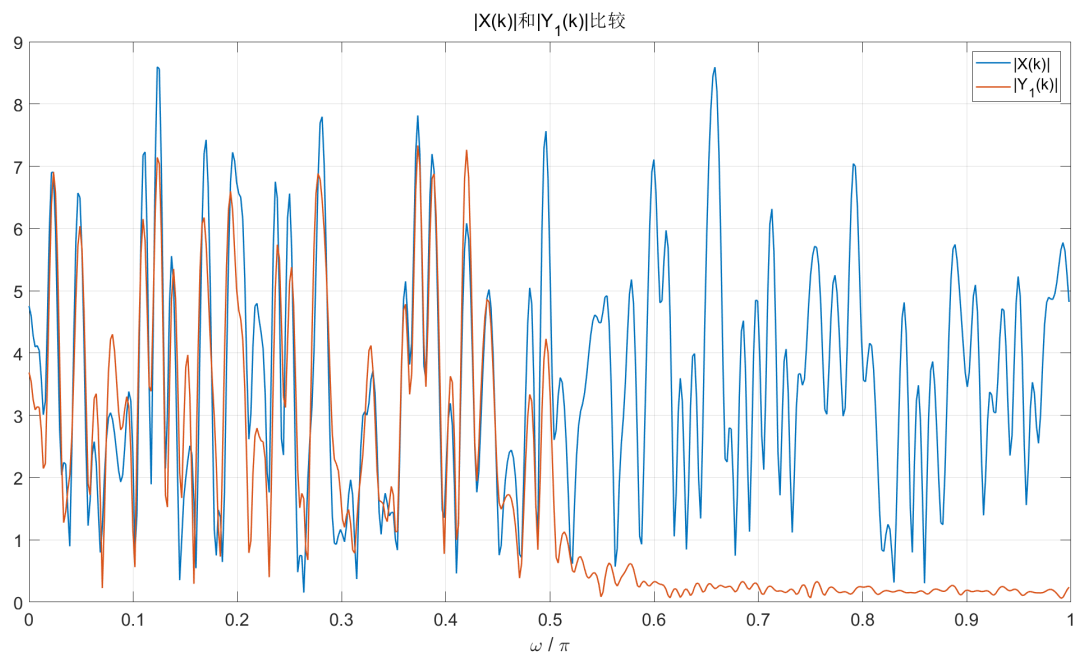
## 2. 2-2



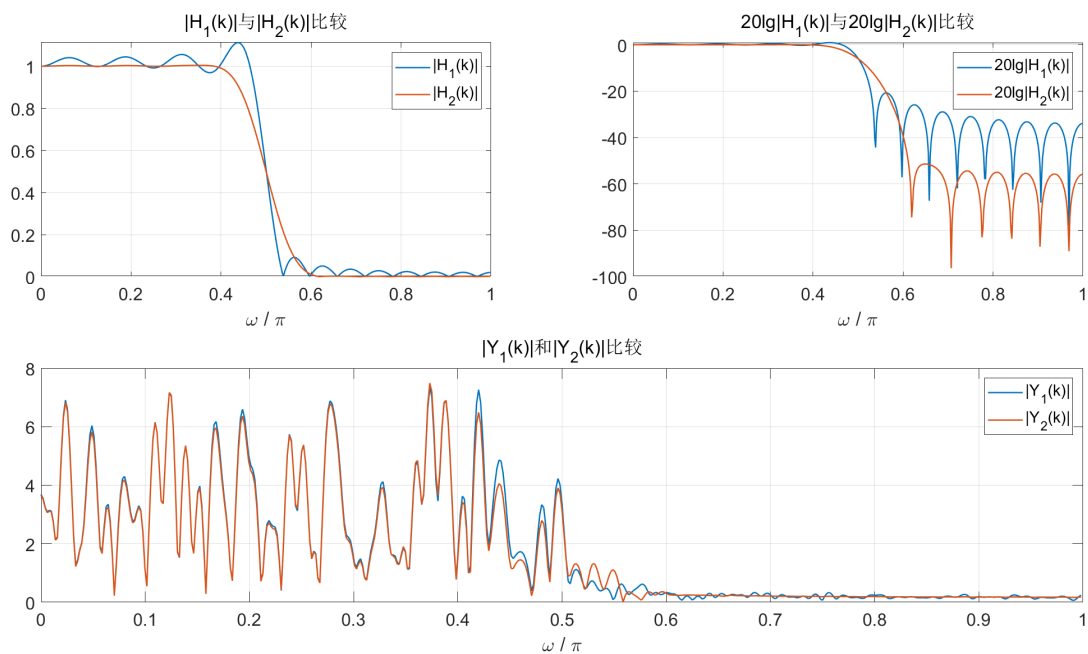
从图中可以看出，输入的是随机序列，其低频和高频分量都存在，利于我们之后的分析。

## 3. 2-3

比较  $|X(k)|$  与滤波后的  $|Y_1(k)|$ 。



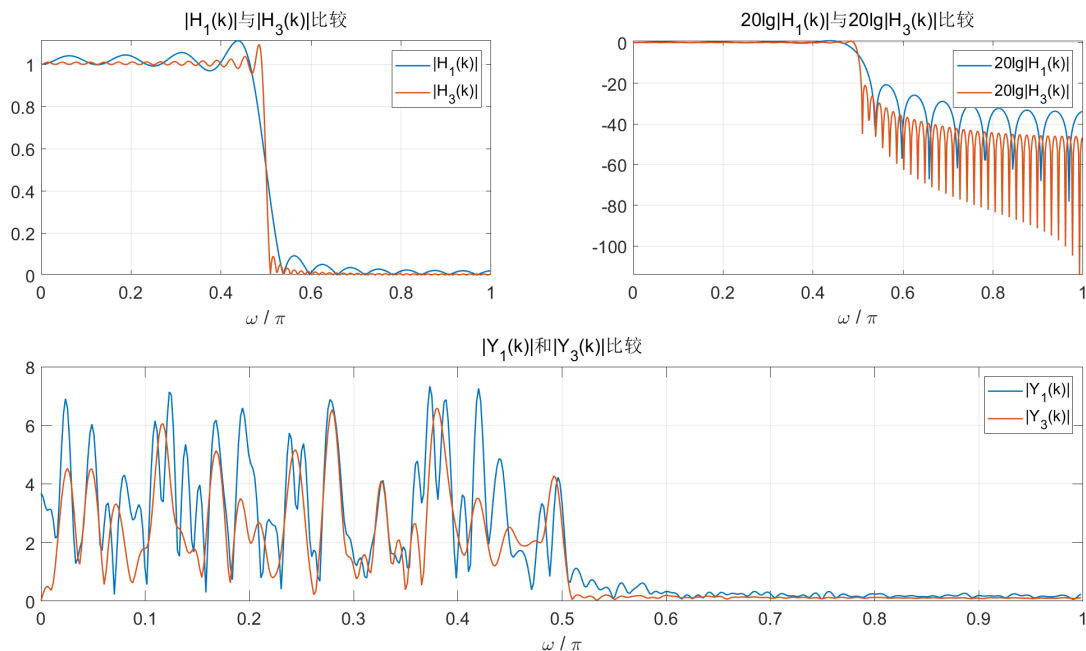
从图中可以看出,经过滤波后,大于截至频率  $\omega_c = 0.5\pi$  的高频分量几乎为 0,而低频分量基本保留。比较不同的窗函数设计出的滤波器的滤波效果。



从图中可以看出,矩形窗和汉明窗设计的低通滤波器都做到了滤掉大部分的高频分量,基本保留低频分量。但是汉明窗设计的低通滤波器对高频分量的滤除更加好,但是在刚刚大于截至频率  $\omega_c = 0.5\pi$  之后,汉明窗设计的低通滤波器的输出信号衰减没有矩形窗好。

#### 4. 2-4

讨论不同的窗长设计出的滤波器的滤波效果。



从图中可以看出,窗长为 127 的低通滤波器相对振荡幅度几乎不变,但是通带内波动更密集,过渡带变窄变抖。但两者的阻带最小衰减几乎相同。

总结:

从实验可以得出,滤波器的过渡带宽度由窗函数类型与窗长决定,其中矩形窗的过渡带更窄;窗函数相同时,窗长越长,过渡带越窄。

阻带最小衰减由窗函数类型决定,其中汉明窗的阻带衰减更大;而与窗长无关。

矩形窗设计的滤波器在阻带和通带内都存在波动,其中窗长更长的矩形窗设计出的低通滤波器通带内波动起伏更密,但相对振荡幅度却几乎不改变,证明了吉布斯效应的存在。而汉明窗设计的滤波器在阻带和通带内的波动非常小,几乎为 0。