

2021秋数字信号处理第三次实验报告——滤波器设计与滤波器特性分析

PB19071509 王瑞哲

一、实验目的

- 1. 掌握 Matlab 下滤波器设计工具（fdatool）的使用方法；
- 2. 掌握 IIR 滤波器设计方法与 FIR 滤波器设计方法；
- 3. 了解 IIR 滤波器设计与 FIR 滤波器设计方法的差异；
- 4. 掌握滤波器特性分析的方法；
- 5. 了解Matlab中sptool工具的使用方法。

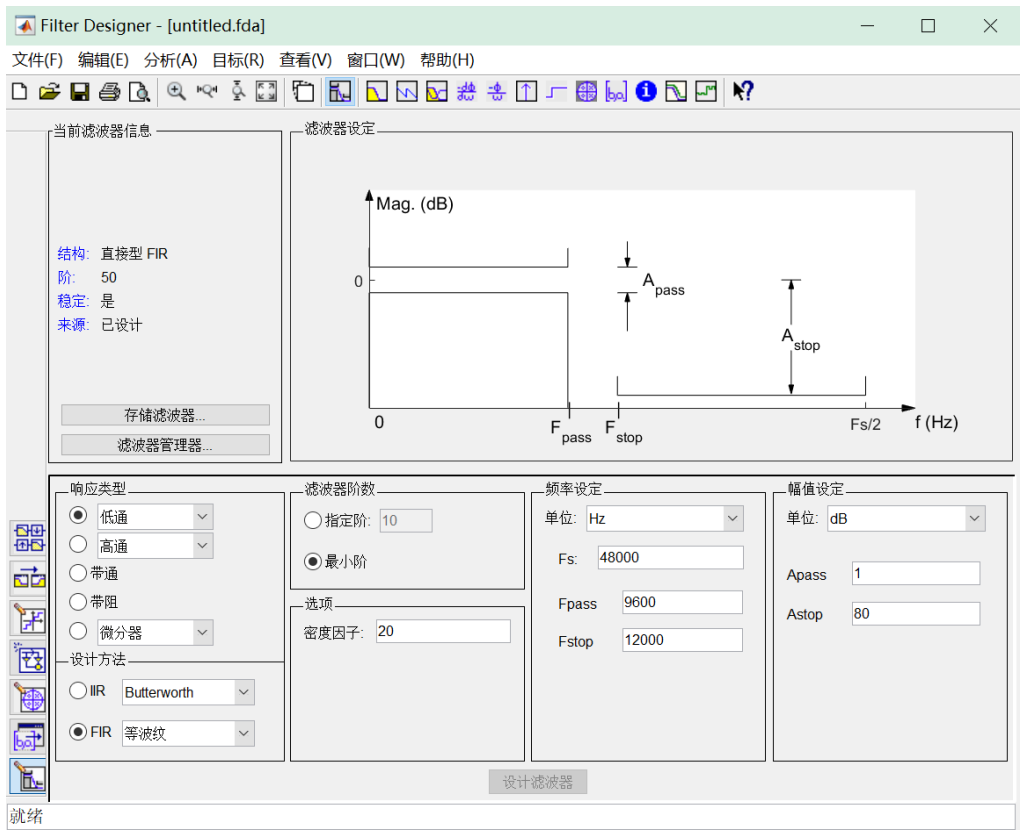
二、实验原理

数字滤波器有很多种，根据其实现的网络结构或者其冲激响应函数的时域特性，可分为两种：**有限冲激响应(FIR**，Finite Impulse Response)滤波器和**无限冲激响应(IIR**，Infinite Impulse Response)滤波器。

IIR滤波器和FIR滤波器的设计方法不同。**IIR**滤波器设计方法有间接法和直接法，间接法是借助于模拟滤波器的设计方法进行的。其设计步骤是：先设计过渡模拟滤波器得到系统函数 $H(s)$ ，然后将 $H(s)$ 按某种方法转换成数字滤波器的系统函数 $H(z)$ 。在设计IIR滤波器时可以借助成熟的模拟滤波器的成果，如巴特沃斯、契比雪夫和椭圆滤波器等，根据指标先写出模拟滤波器的公式，然后通过一定的变换，将模拟滤波器的公式转换成数字滤波器的公式。

FIR滤波器必须采用间接法，常用的方法有窗函数法、频率采样法和切比雪夫等波纹逼近法。对于线性相位滤波器，经常采用FIR滤波器。在设计FIR滤波器时可以根据对阻带衰减及过渡带的指标要求，选择窗函数类型（矩形窗、三角窗、汉宁窗、汉明窗、凯塞窗等），并估计窗口长度 N ，先按照阻带衰减选择窗函数类型。保证阻带衰减满足要求的情况下，尽量选择主瓣的窗函数，再构造希望逼近的频率响应函数，计算 $h(n)$ 。最后加窗便可以得到设计结果。

本次实验借助Matlab中的**fdatool**工具箱（现版本用filter designer替换）实现各项滤波器实现指标，同时利用**sptool**工具箱对信号进行处理和分析。Filter Designer的操作界面如下图所示：



三、实验内容

1) IIR滤波器设计

备注：实验报告要求中的第1条在此部分给出：记录在上机实验内容中所设计的IIR滤波器的传递函数 $H(z)$ 及对应的幅频特性曲线，定性分析它们的性能，判断设计是否满足需求

1. 采样频率为1Hz，设计一个Chebyshev高通数字滤波器，其中通带临界频率 $f_p = 0.3\text{Hz}$ ，通带内衰减小于 0.8dB ($\alpha_p = 0.8\text{dB}$)，阻带临界频率 $f_s = 0.2\text{Hz}$ ，阻带内衰减大于 20dB ($\alpha_s = 20\text{dB}$)。求这个数字滤波器的传递函数 $H(z)$ ，输出它的幅频特性曲线，观察其通带衰减和阻带衰减是否满足要求。

如下图，调用Matlab中的滤波器设计工具fdatool，设定参数如下图：

响应类型

☐ 低通

☒ 高通

☐ 带通

☐ 带阻

☐ 微分器

设计方法

☒ IIR

Chebyshev I 型

☐ FIR

等波纹

滤波器阶数

☐ 指定阶: 10

☒ 最小阶

选项

完全匹配: 通带

频率设定

单位: Hz

Fs: 1

Fstop: 0.2

Fpass: 0.3

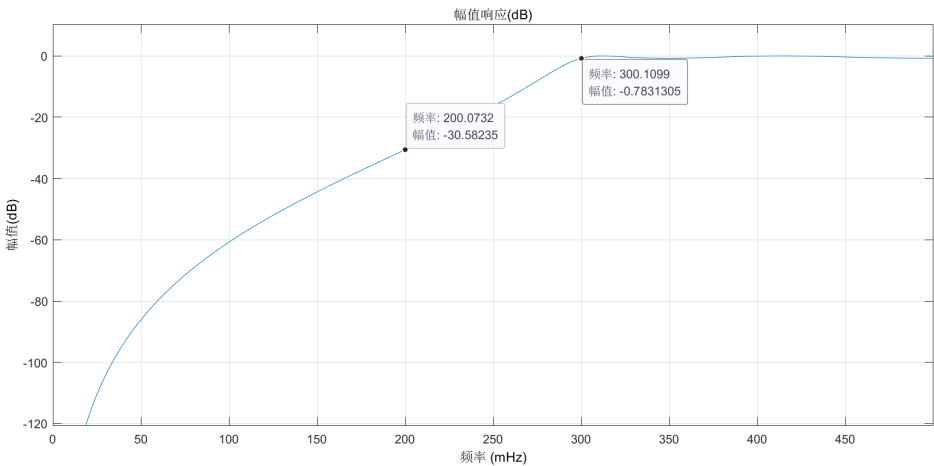
幅值设定

单位: dB

Astop: 20

Apass: 0.8

所设计出的滤波器幅频特性为：

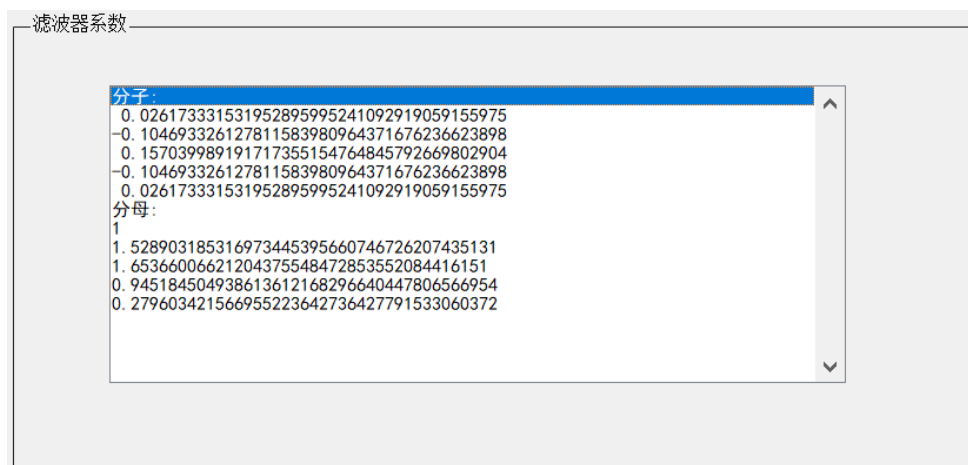


由幅频响应图像可知，频率为200mHz（即阻带临界频率0.2Hz）处的幅频增益为-30dB<-20dB，频率为300mHz（即通带临界频率0.3Hz）处的幅频增益为-0.78dB>-0.8dB，符合设计需求。

fdatool工具箱所给出的该滤波器实现结构为直接II型的四阶（N=4）滤波器。根据fdatool工具箱所给出的滤波器系数，可以写出该滤波器的系统函数为：

$$H(z) = \frac{0.0262z^4 - 0.1047z^3 + 0.1570z^2 - 0.1047z + 0.0262}{z^4 + 1.5289z^3 + 1.6537z^2 + 0.9452z + 0.2796}$$

可见滤波器阶数为 $N = 4$ 。其中fdatool查看滤波器系统函数的系数界面截图如下所示：

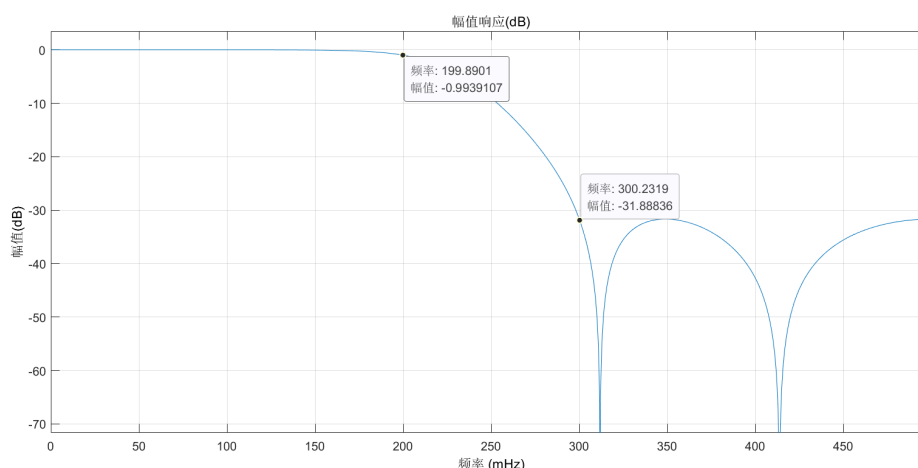


2. 采样频率为 1Hz，设计一个数字低通滤波器，要求其通带临界频率 $f_p = 0.2\text{Hz}$ ，通带内衰减小于 1dB ($\alpha_p = 1\text{dB}$)，阻带临界频率 $f_s = 0.3\text{Hz}$ ，阻带内衰减大于 25dB ($\alpha_s = 25\text{dB}$)。求这个数字滤波器的传递函数 $H(z)$ ，输出它的幅频特性曲线。

与1相似，调用fdatool工具，按给定的参数设置滤波器参数。由于并没有指定滤波器种类，不妨采用Chebyshev II型滤波器进行设计。最终给出的系统函数为：

$$H(z) = \frac{0.1353z^4 + 0.3342z^3 + 0.4461z^2 + 0.3342z + 0.1353}{z^4 - 0.2230z^3 + 0.5857z^2 - 0.0094z + 0.0317}$$

可见滤波器阶数为 $N = 4$ 。所设计出的滤波器幅频特性为：



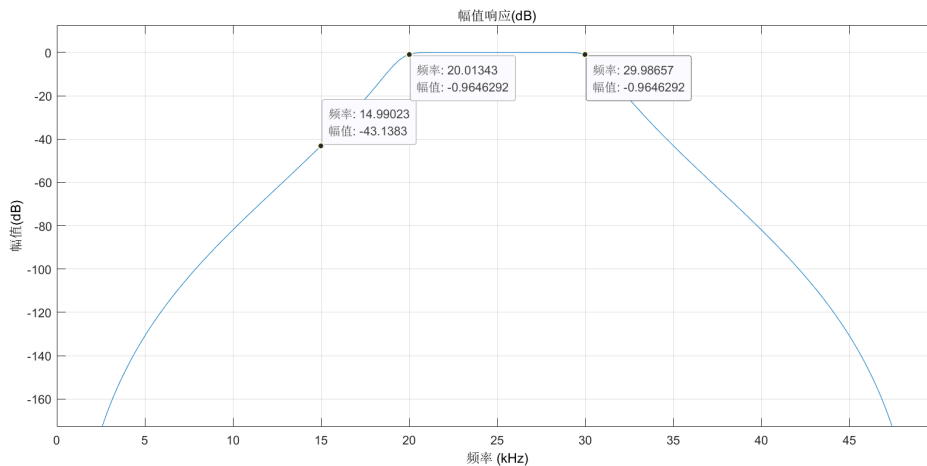
由幅频响应图像可知，频率为200mHz（即通带临界频率0.2Hz）处的幅频增益约为-0.99dB>-1dB，频率为300mHz（即阻带临界频率0.3Hz）处的幅频增益约为-31dB<-30dB，符合设计需求。

3. 设计 Butterworth 带通数字滤波器，其上下边带 1dB 处的通带临界频率分别为 20kHz 和 30kHz ($f_{p1} = 20\text{kHz}$, $f_{p2} = 30\text{kHz}$, $\alpha_p = 1\text{dB}$)，当频率低于 15kHz 时，衰减要大于 40dB ($f_s = 15\text{kHz}$, $\alpha_s = 40\text{dB}$)，采样周期为 $10\mu\text{s}$ ，求这个数字滤波器的传递函数 $H(z)$ ，输出它的幅频特性曲线，观察其通带衰减和阻带衰减是否满足要求。

与1相似，调用fdatool工具，按给定的参数设置滤波器参数。最终给出的系统函数为：

$$H(z) = \frac{0.000154z^{14} - 0.001078z^{12} + 0.0032z^{10} - 0.0054z^8 + 0.0054z^6 - 0.0032z^4 + 0.001078z^2 - 0.000154}{z^{14} + 3.9190z^{12} + 7.0109z^{10} + 7.2789z^8 + 4.6942z^6 + 1.8690z^4 + 0.4236z^2 + 0.0420}$$

可见滤波器阶数为 $N = 14$ 。所设计出的滤波器幅频特性为：



由幅频响应图像可知，频率在**通带**临界频率20kHz 和 30kHz处的幅频增益约为-0.96dB>-1dB，频率在**阻带**临界频率15kHz处的幅频增益约为-43dB<-40dB，符合设计需求。

2) FIR滤波器设计

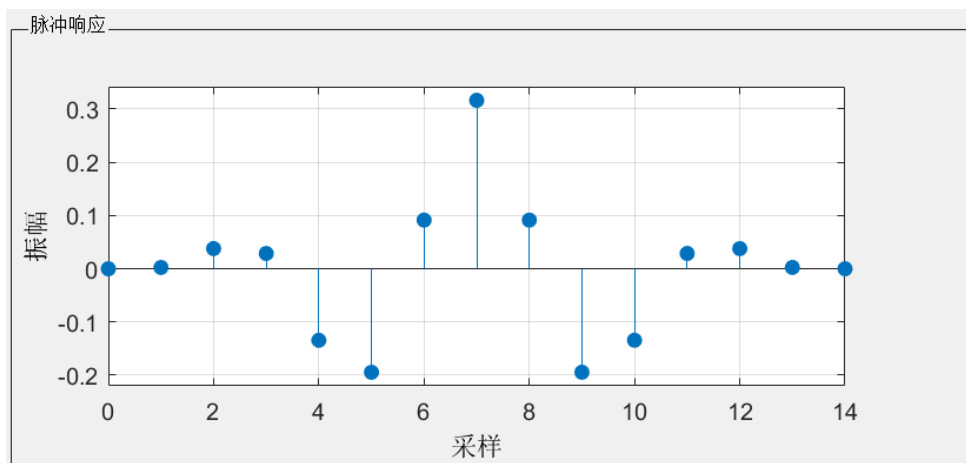
备注：实验报告要求中的第2条在此部分给出：记录在实验过程中**FIR**滤波器设计结果的 $h(n)$ 的幅频和相位特性曲线，比较它们的性能，说明滤波器N和窗函数对滤波器性能的影响。

1. 用 **Hanning** 窗设计一个线性相位带通滤波器，其长度 $N=15$ ，上下边带截止频率分别为 $w1 = 0.3\pi$ ， $w2 = 0.5\pi$ ，求 $h(n)$ ，绘制它的幅频和相位特性曲线，观察它的实际 3dB 和 20dB 带宽。如果 $N=45$ ，重复这一设计，观察幅频和相位特性的变化，注意长度N变化对结果的影响。

此时调用Matlab的参数设置界面为：

响应类型 <input type="radio"/> 低通 <input type="radio"/> 高通 <input checked="" type="radio"/> 带通 <input type="radio"/> 带阻 <input type="radio"/> 微分器 设计方法 <input type="radio"/> IIR Butterworth <input checked="" type="radio"/> FIR 窗	滤波器阶数 <input checked="" type="radio"/> 指定阶: 14 <input type="radio"/> 最小阶 选项 <input checked="" type="checkbox"/> 缩放通带 窗: Hann 视图	频率设定 单位: 归一化(0 到 1) Fs: 48000 wc1: 0.3 wc2: 0.5	幅值设定 截止频率处的衰减固定为 6 dB (通带增益的一半)
---	---	--	---

注意此处滤波器阶数需指定为 $15-1=14$ ，因为Hanning窗序列长度 $N=15$ 中还包含 $n=0$ 的点，因此滤波器阶数需要减一。设计出的滤波器单位脉冲响应 $h(n)$ 的序列图为：



其中15个序列值分别给出为：

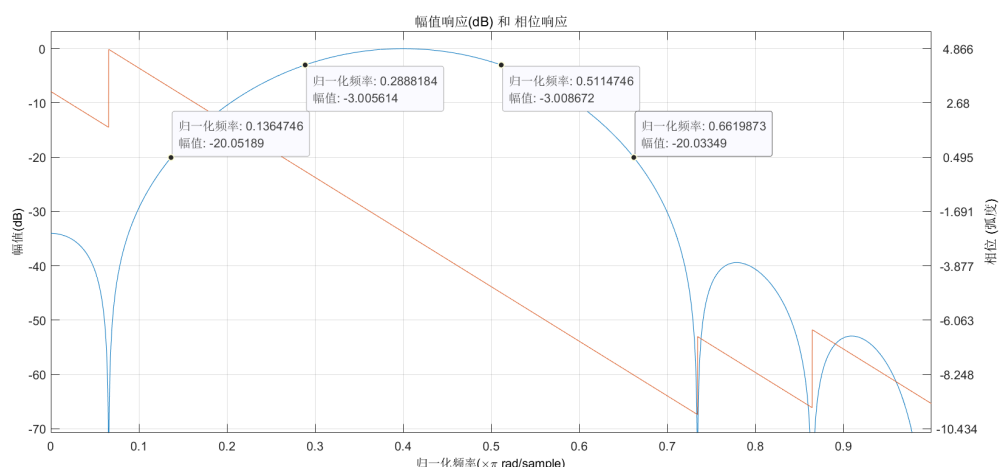
```

滤波器系数

分子:
0
0. 00244303392087588666479459563561249524
0. 037925127862204602302576006422896170989
0. 028769857885357161958461702511158364359
-0. 13432926950089715822933555953874190897
-0. 194408931411621216378549092951288912445
0. 091423963788241816019741747822990873829
0. 316446416767846239181949385965708643198
0. 091423963788241816019741747822990873829
-0. 194408931411621216378549092951288912445
-0. 13432926950089715822933555953874190897
0. 028769857885357161958461702511158364359
0. 037925127862204602302576006422896170989
0. 00244303392087588666479459563561249524
0

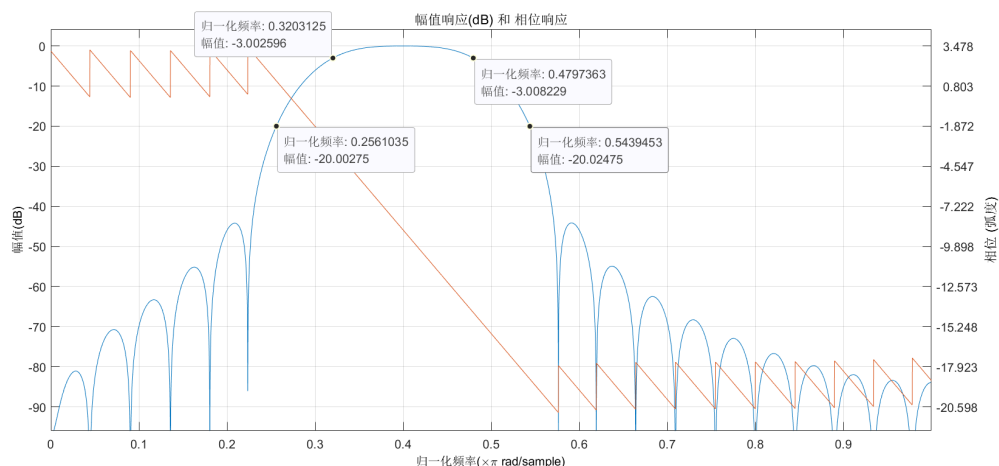
```

它的幅频和相位特性曲线为：



由幅频特性曲线可知，实际的3dB带宽约为 $0.5115\pi - 0.2888\pi = 0.22\pi$ （比设定的通带带宽 0.2π 略宽），实际的20dB带宽约为 $0.6620\pi - 0.1365\pi = 0.53\pi$ 。

若修改 $N = 45$ ，则幅频和相位特性曲线变为：

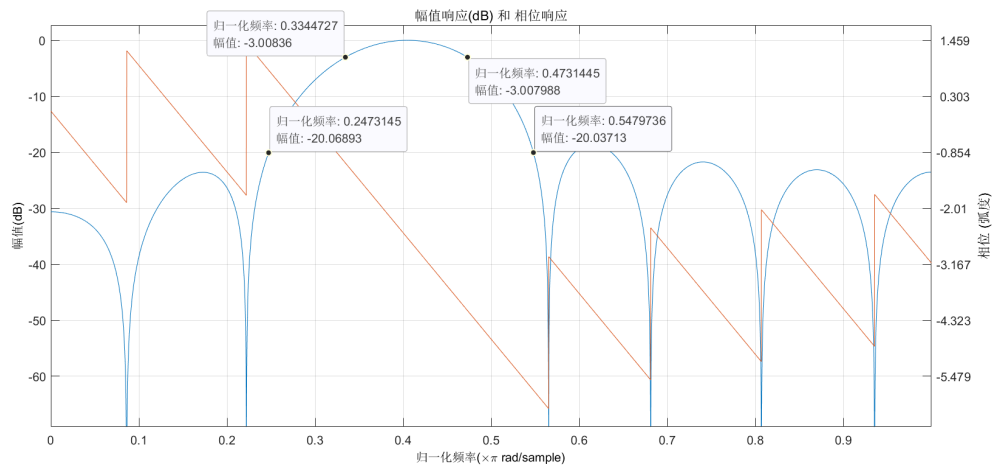


由幅频特性曲线可知，实际的3dB带宽约为 $0.4797\pi - 0.3203\pi = 0.16\pi$ （未达到所设定的通带带宽 0.2π ），实际的20dB带宽约为 $0.5439\pi - 0.2561\pi = 0.29\pi$ （比 $N = 15$ 的情况大幅降低）。

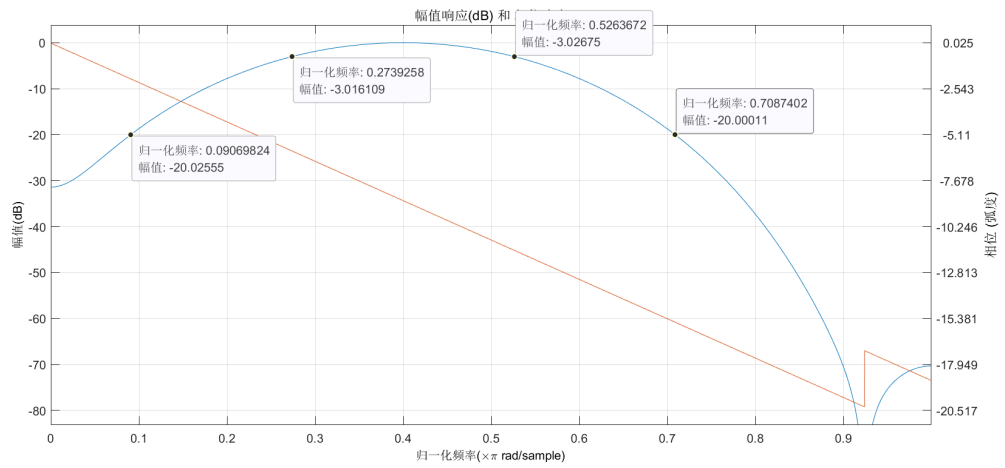
对比二者可以发现，增加长度 N ，可以有效减小过渡带宽度，使滤波器的幅频特性曲线更接近理想滤波器，或说使过渡带更加陡峭，这从上面所计算的实际3dB和20dB带宽的变化也可以看出；但增加长度 N 并不能改变肩峰（过冲）的幅度大小，只能使起伏振荡变密，这种现象称为吉布斯（Gibbs）效应。肩峰值大小直接决定着通带内的平稳和阻带的衰减，对滤波器的性能影响很大。如果想要改善阻带的衰减特性，只改变 N 是无能为力的，只能从改善窗函数的形状上找出路。

2. 改用矩形窗和 Blackman 窗，设计步骤（1）中的带通滤波器，观察并记录窗函数对滤波器幅频和相位特性的影响，比较这三种窗函数的特点。

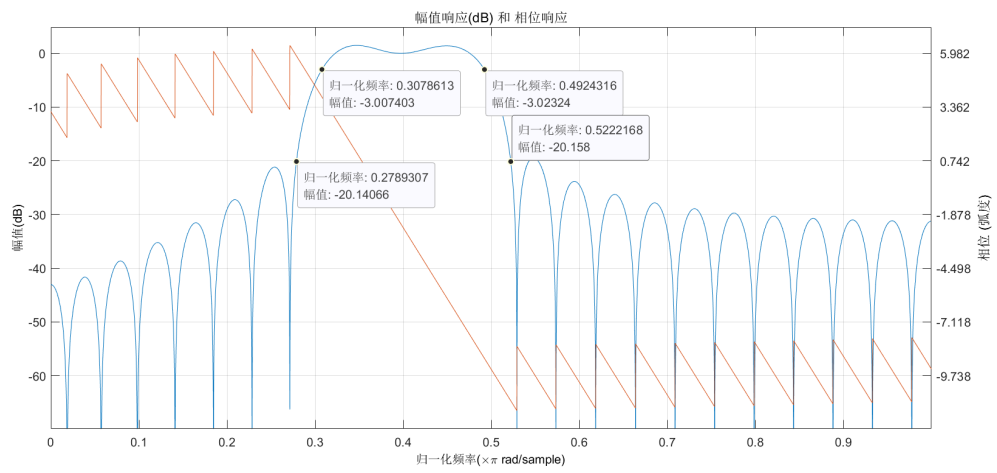
当 $N = 15$ 时，改用矩形窗：



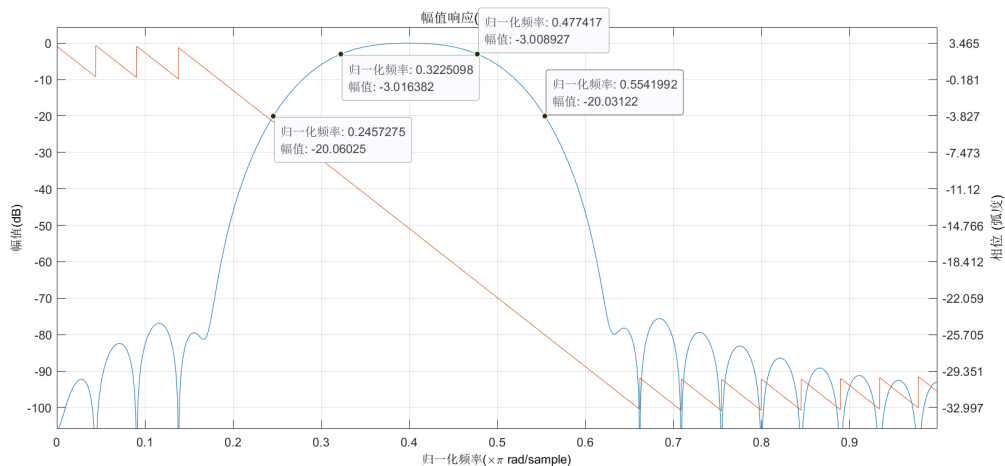
改用Blackman窗:



当 $N = 45$ 时, 改用矩形窗:



改用Blackman窗:

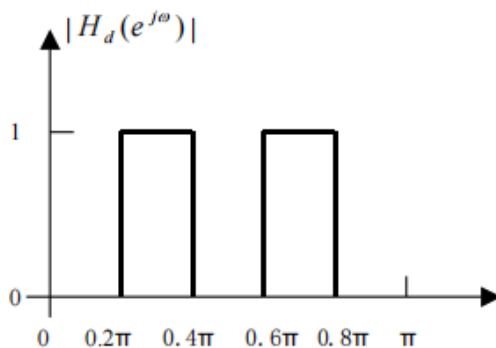


对比在N相同时各窗函数的幅频和相位特性，可得出结论：各窗函数的**主瓣宽度**、**旁瓣电平**、**通带起伏**会影响到设计出滤波器的**通带宽度**、**阻带衰减**和**通带波动**。三种窗函数的性能对比如下表所示：

窗函数	主瓣宽度	旁瓣电平/dB	阻带衰减/dB	通带起伏/dB
矩形窗	$4\pi/N$	-13	-21	0.7
Hanning窗	$8\pi/N$	-32	-44	0.05
Blackman窗	$12\pi/N$	-57	-74	0.002

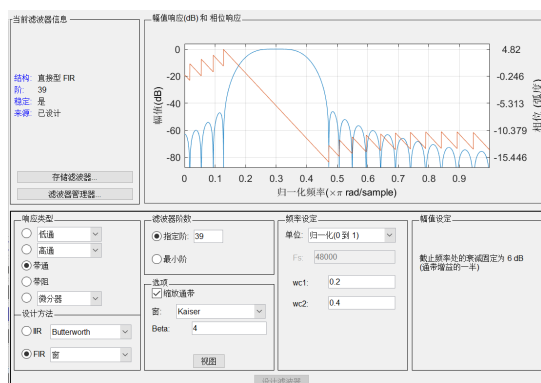
从上面所展示的各幅频曲线也可以看出，在N相同时，**矩形窗的过渡带宽度最小**，Hanning窗次之，Blackman窗最大；**矩形窗的阻带衰减最小**，Hanning窗次之，Blackman窗最大。

3. 用 Kaiser 窗设计一个专用的线性相位滤波器。N=40，理想的幅频特性如下图所示：

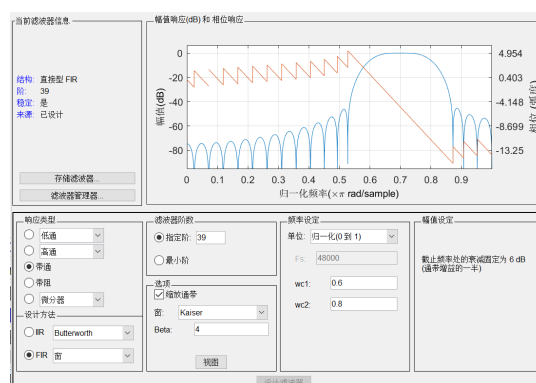


当 beta 值分别 4,6,8 时，设计相应的滤波器，比较它们的幅频和相位特性，观察并分析 beta 值不同的时候对结果有什么影响。

考虑到该理想幅频特性为一个双带通的滤波器，考虑使用一个 $[0.2\pi, 0.4\pi]$ 的带通滤波器和一个 $[0.6\pi, 0.8\pi]$ 的带通滤波器**并联而成**。对于单位脉冲响应而言，**两滤波器的并联在单位脉冲响应上即是相加操作**，即有总响应为 $h(n) = h_1(n) + h_2(n)$ 。例如当 $\beta = 4$ 时，分别设计两带通滤波器为：



$[0.2\pi, 0.4\pi]$ 的带通滤波器

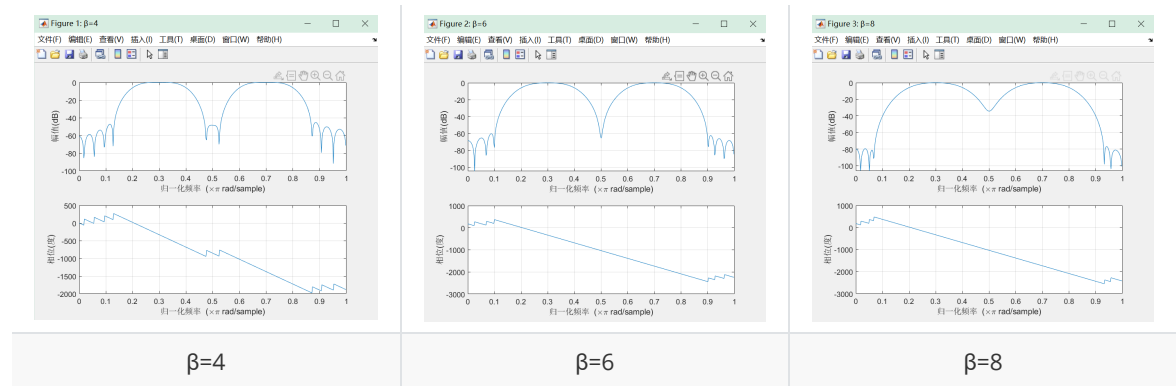


$[0.6\pi, 0.8\pi]$ 的带通滤波器

利用 fdatool 中的“导出——系数”功能，将所设计的 $[0.2\pi, 0.4\pi]$ 带通滤波器和 $[0.6\pi, 0.8\pi]$ 带通滤波器系数分别导出到Matlab工作区再相加，利用freqz函数查看总单位脉冲响应的幅频和相位特性。给出matlab实现代码为：

```
figure('name','β=4'); freqz( Num1_1 + Num1_2 );
figure('name','β=6'); freqz( Num2_1 + Num2_2 );
figure('name','β=8'); freqz( Num3_1 + Num3_2 );
```

最终输出的各幅频和相位特性曲线如下图所示：



由图像可见，对于Kaiser窗而言，其 β 值会影响滤波器的旁瓣特性——随着 β 的增加，相对旁瓣衰减降低，主瓣宽度增加。而由于上述滤波器采用两带通滤波器并联的形式，在 β 值较大时，主瓣宽度过大会导致中间阻带 $[0.4\pi, 0.6\pi]$ 的幅频特性发生一部分重叠。

3) 滤波器特性分析

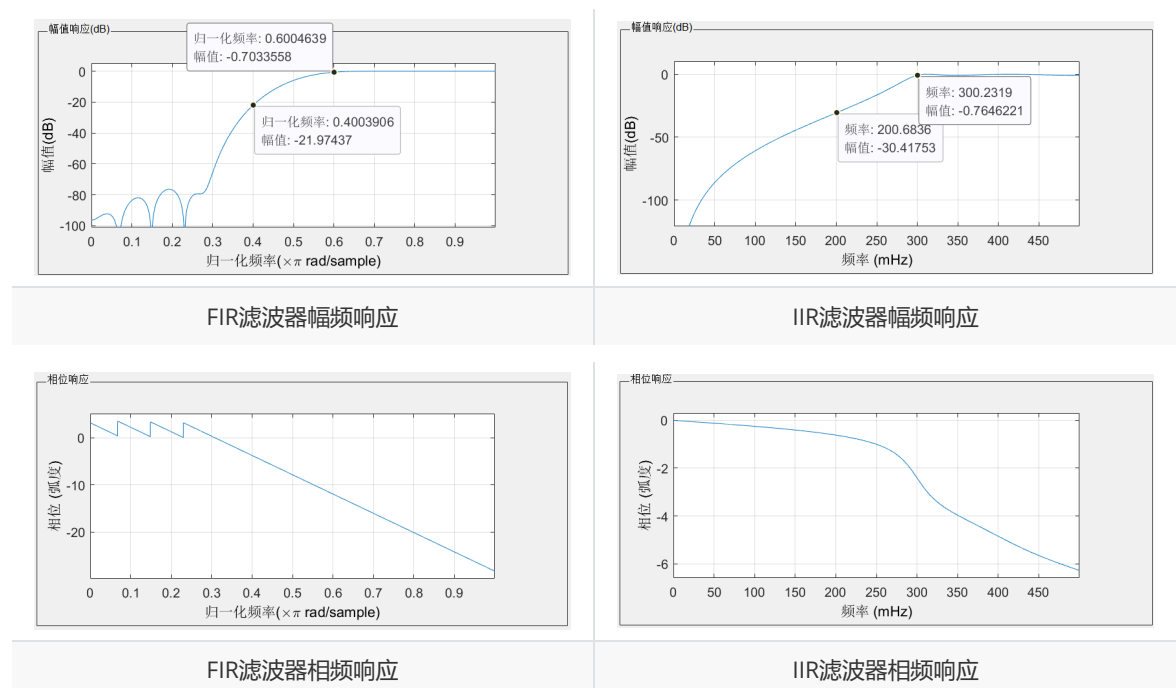
备注：实验报告要求中的第3条在此部分给出：记录滤波器特性分析中滤波器特性比较的结论并进行解释。

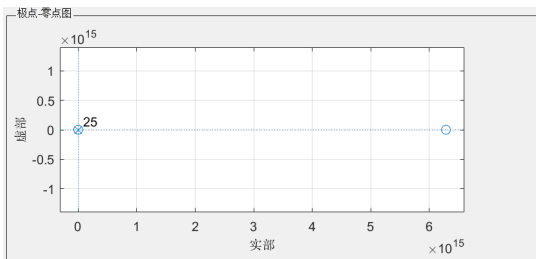
针对IIR滤波器设计实验内容中的三款滤波器（低通、高通和带通），采用基于blackman窗函数的FIR设计方法重新设计，比较用IIR与FIR方法得到的滤波器的幅频特性、相频特性、零极点、群延时、相位延时。对比较的结论进行原理解释。

1. **FIR重新设计高通滤波器**——通带临界频率 $f_p = 0.6\pi$ ，通带内衰减 $\alpha_p = 0.8\text{dB}$ ，阻带临界频率 $f_s = 0.4\pi$ ，阻带内衰减 $\alpha_s = 20\text{dB}$ [已将采样频率1Hz归一化为 2π]

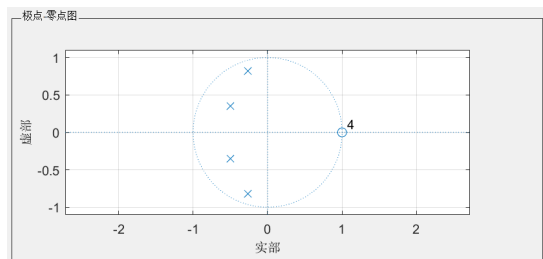
因为FIR窗函数设计中已经固定截止频率处的衰减固定为6dB，且并不能选择阻带内衰减，所以只能将截止频率 ω_c 设置得比通带临界频率更小（如此处设为 $\omega_c = 0.5\pi$ ，并不断调整滤波器阶数，以使得通带和阻带内衰减满足设计要求。最终选定当阶数为25时可以达到设计要求。

比较FIR、IIR滤波器的各项性能如下：

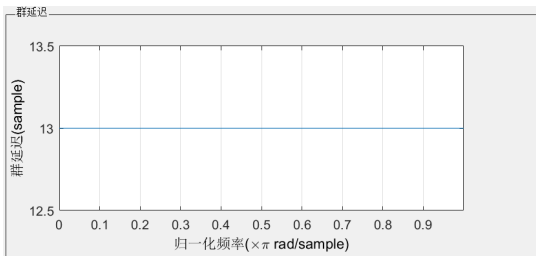




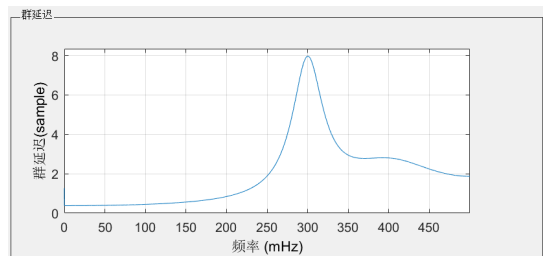
FIR滤波器零极点图



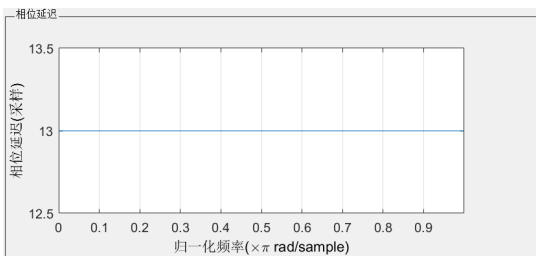
IIR滤波器零极点图



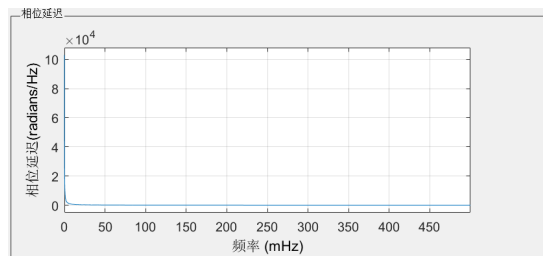
FIR滤波器群延迟



IIR滤波器群延迟



FIR滤波器相位延迟

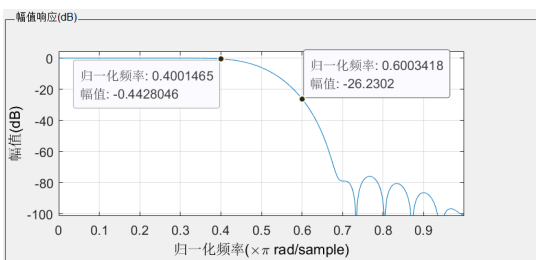


IIR滤波器相位延迟

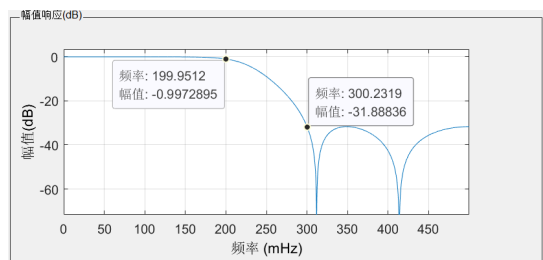
2. **FIR重新设计低通滤波器**——通带临界频率 $f_p = 0.4\pi$ ，通带内衰减 $\alpha_p = 1\text{dB}$ ，阻带临界频率 $f_s = 0.6\pi$ ，阻带内衰减 $\alpha_s = 25\text{dB}$

与1同理，只能将截止频率设为比通带截止频率更大的 $\omega_c = 0.5\pi$ ，并不断调整滤波器阶数，以使得通带和阻带内衰减满足设计要求。最终选定当阶数为29时可以达到设计要求。

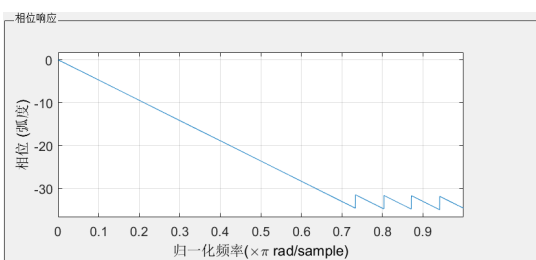
比较FIR、IIR滤波器的各项性能如下：



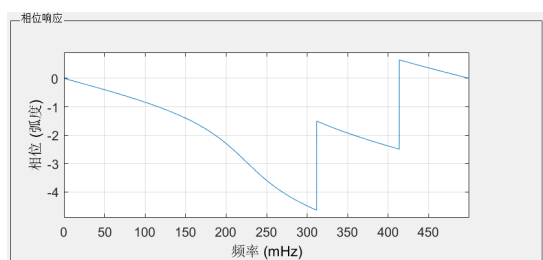
FIR滤波器幅频响应



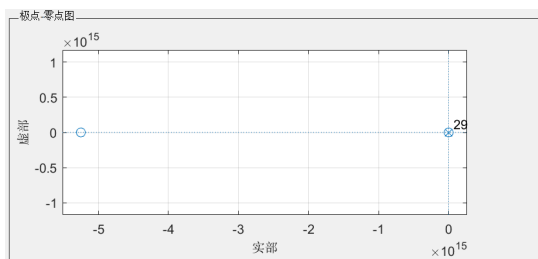
IIR滤波器幅频响应



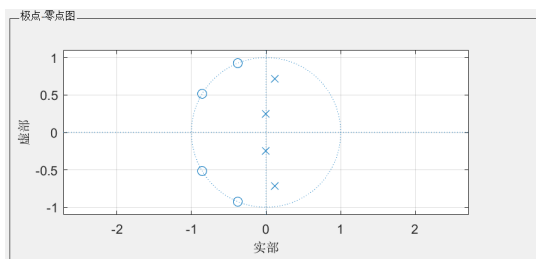
FIR滤波器相频响应



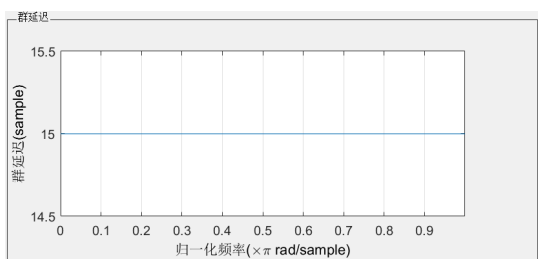
IIR滤波器相频响应



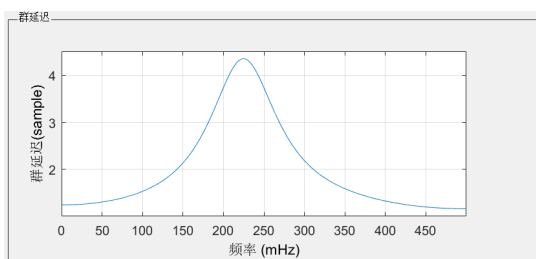
FIR滤波器零点图



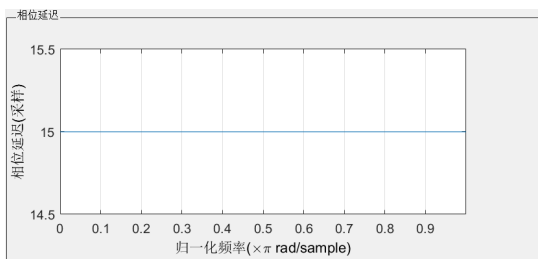
IIR滤波器零点图



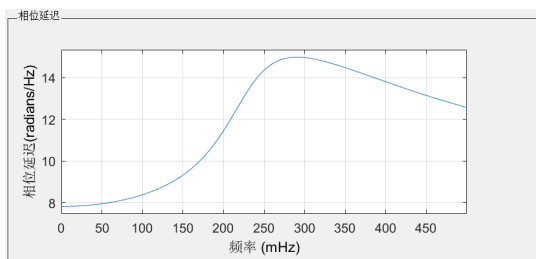
FIR滤波器群延迟



IIR滤波器群延迟



FIR滤波器相位延迟

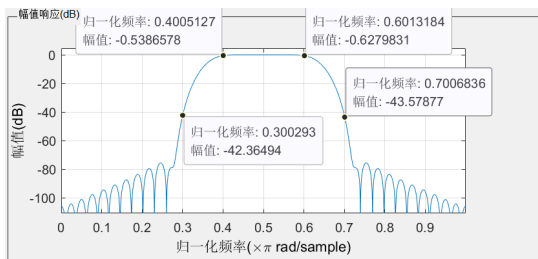


IIR滤波器相位延迟

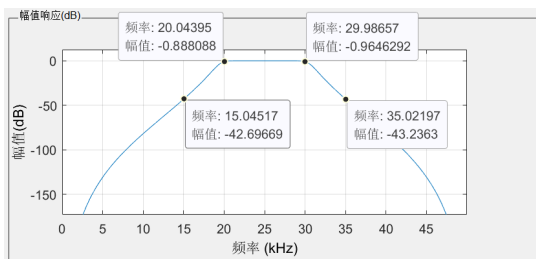
3. **FIR重新设计带通滤波器**——通带临界频率 $f_{p1} = 20\text{kHz}/0.4\pi$ ， $f_{p2} = 30\text{kHz}/0.6\pi$ ，通带衰减 $\alpha_p = 1\text{dB}$ ，阻带临界频率 $f_s = 15\text{kHz}/0.3\pi$ ，阻带衰减 $\alpha_s = 40\text{dB}$ [已将采样频率100kHz归一化为 2π]

与1同理，只能将FIR滤波器的通带范围由 $[\omega_{p1} = 0.4\pi, \omega_{p2} = 0.6\pi]$ 扩大至 $[\omega_{c1} = 0.36\pi, \omega_{pc2} = 0.64\pi]$ ，并不断调整滤波器阶数，以使得通带和阻带内衰减满足设计要求。最终选定当阶数为69时可以达到设计要求。该阶数的选定非常艰难，因为所扩展的 ω_{c1} 和 ω_{c2} 也需要进行调整，如果 ω_{c1} 到 ω_{c2} 范围大了可能会发生通带衰减已远满足要求，但阻带衰减远没达到要求；范围小了则会倒过来，阻带到达要求而通带没有。从下面的幅值响应图也能看出，在这样 ω_{c1} 到 ω_{c2} 的范围仍偏大，阻带衰减刚好到达要求，但通带衰减仍有一定的裕量。

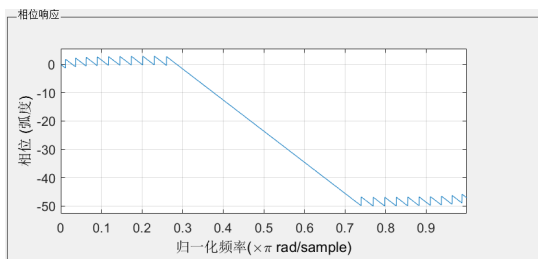
比较FIR、IIR滤波器的各项性能如下：



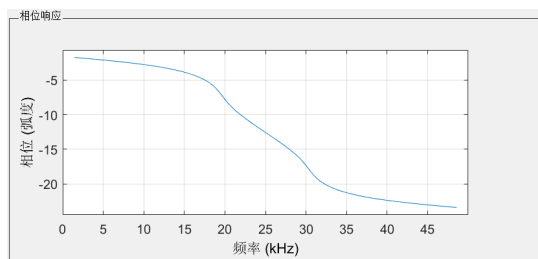
FIR滤波器幅频响应



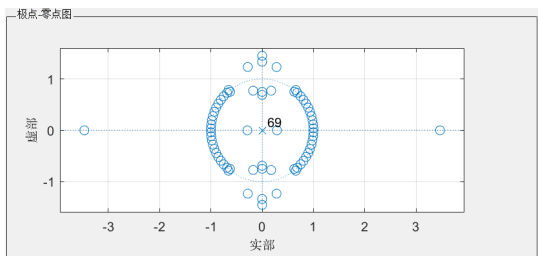
IIR滤波器幅频响应



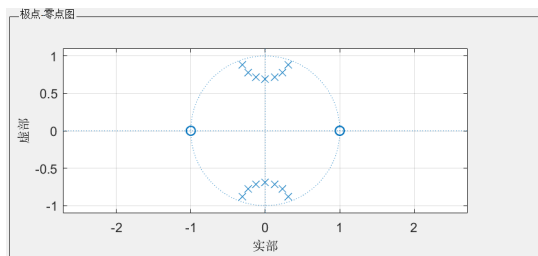
FIR滤波器相频响应



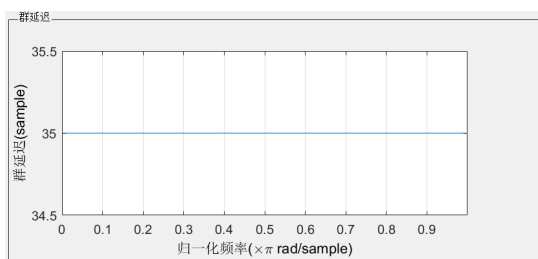
IIR滤波器相频响应



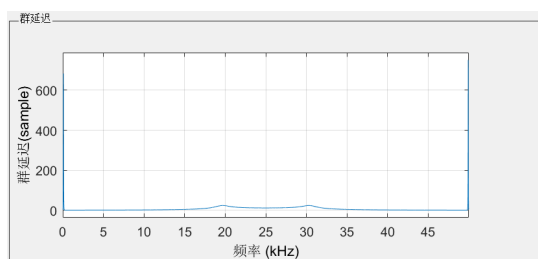
FIR滤波器零极点图



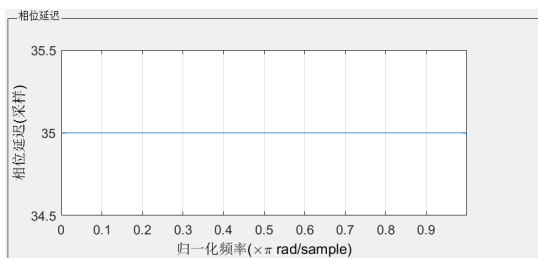
IIR滤波器零极点图



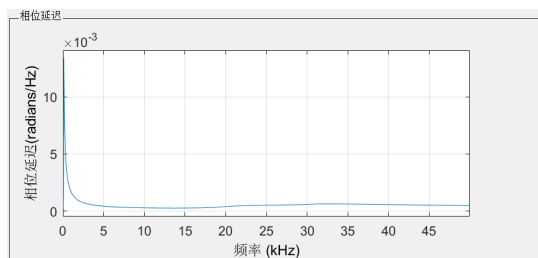
FIR滤波器群延迟



IIR滤波器群延迟



FIR滤波器相位延迟



IIR滤波器相位延迟

对比上述FIR和IIR滤波器，结合FIR滤波器和IIR滤波器设计原理，可以发现：

- **幅频特性上**，IIR滤波器的幅频响应优于FIR滤波器。IIR滤波器幅频响应形状取决于所设计的类型，如Butterworth型、Chebyshev型等；FIR滤波器幅频响应形状取决于所采用的窗函数，直接体现为阻带处的纹波振荡。当滤波器阶数N越高时，FIR滤波器阻带振荡次数也就越多。**对于相同的滤波器指标设计要求，IIR滤波器所要求的滤波器阶数远远小于FIR滤波器；**
- **相频特性上**，IIR滤波器优异的幅度响应是以非线性的相位响应为代价的，而非线性相位会引起频率色散。而FIR滤波器具有严格的线性相位特性，这一点从FIR滤波器的相频响应中也可以看出，其中锯齿状折线是由于其频率响应符号发生变化所附加的相位 π ；
- **零极点分布上**，FIR滤波器具有N-1个可位于有限z平面任何位置的零点和N-1个位于原点位置的极点，而IIR滤波器具有N个位于单位圆内的零点和极点。因为IIR滤波器对零极点的约束较少，因此可用较低的阶数获得高的选择性，所用的存储单元少，计算量小，效率高。FIR滤波器传递函数的极点固定在原点，所以只能靠改变零点位置来改变它的性能。所以要达到高的选择性，必须用较高的阶数。
- **群延迟和相位延迟上**，FIR滤波器具有线性相位特性，故其群延迟和相位延迟为常数，且可以证明 $\alpha = \frac{N-1}{2}$ ；IIR滤波器不具有线性相位特性，因而其群延迟和相位延迟也是非线性的。

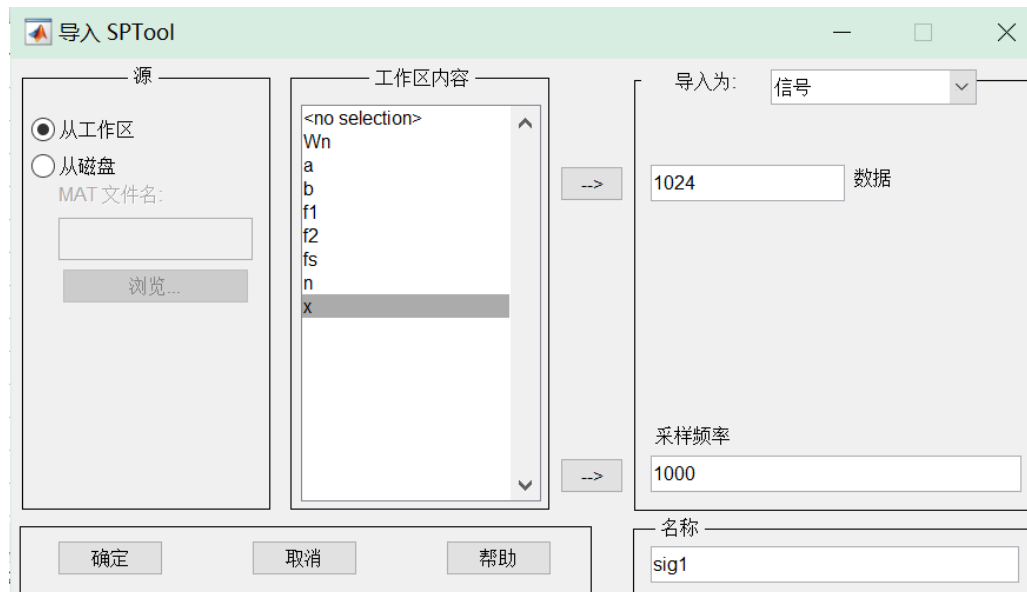
4) 滤波器的实际应用

1. 用Matlab产生信号 $x(t) = 0.5 + 1.2\sin(2\pi f_1 t) + 0.5\cos(2\pi f_2 t) + \omega(t)$ ，其中 $f_1=50\text{Hz}$ ， $f_2=200\text{Hz}$ ， $\omega(t)$ 为高斯白噪声，采样频率 $f_s=1000\text{Hz}$ 。利用sptool工具导入该信号，并观察其频谱特性。

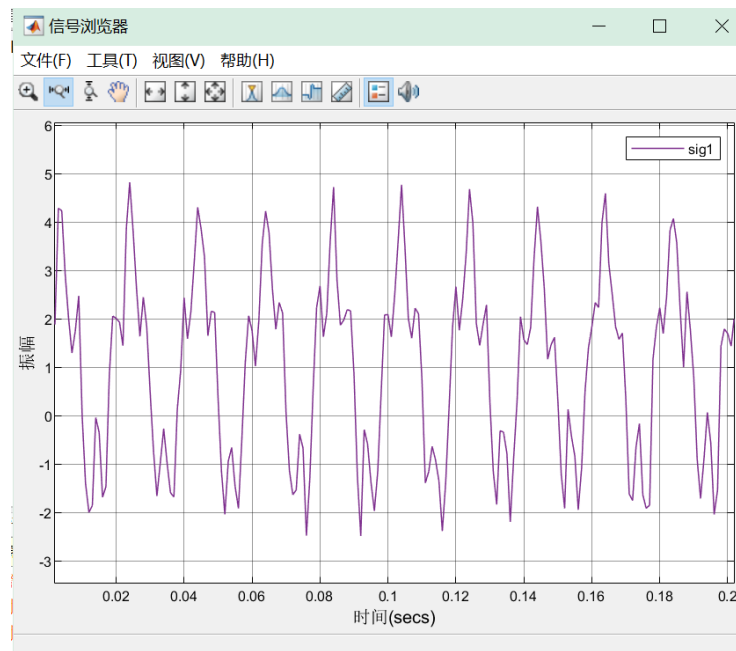
利用matlab产生信号的代码如下：

```
f1=50;f2=200;fs=1000;  
n=1:1024; % 取1024点  
x=0.5+1.2*sin(2*pi*f1*n/fs)+0.5*cos(2*pi*f2*n/fs);  
x=x+awgn(x,10,'measured');  
%在信号中加入高斯白噪声。参数10为信噪比SNR,单位dB;参数'measured'表示在添加噪声之前测量x的能量
```

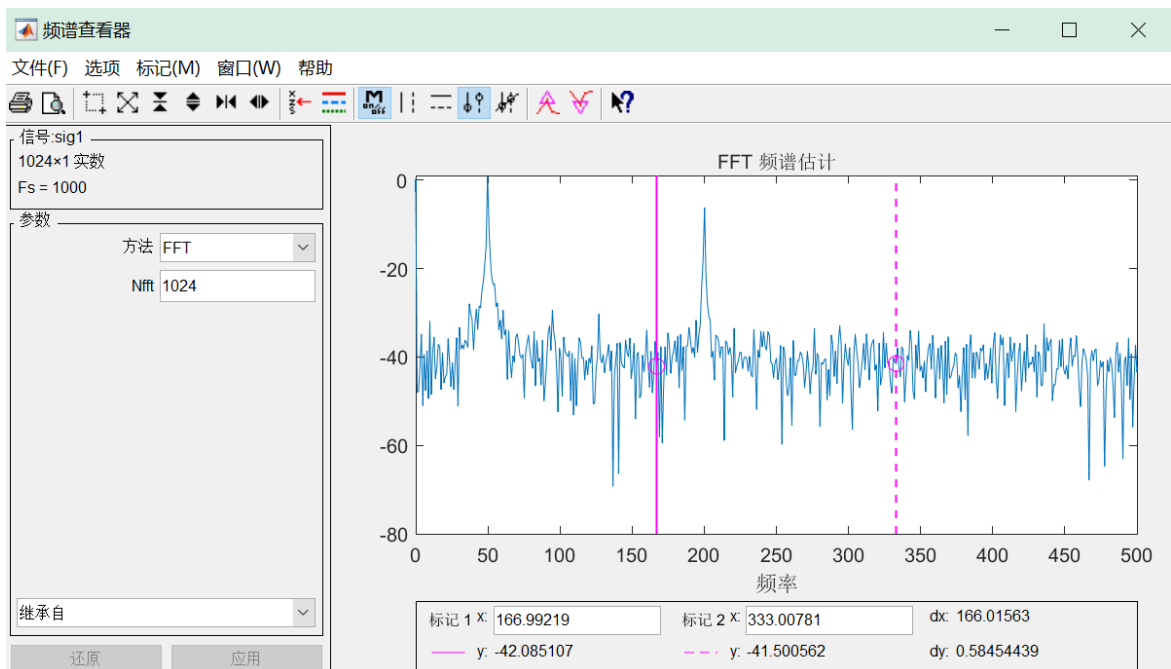
利用sptool工具导入该信号，导入界面如下：



导入后可观察到该信号的时域特性为：



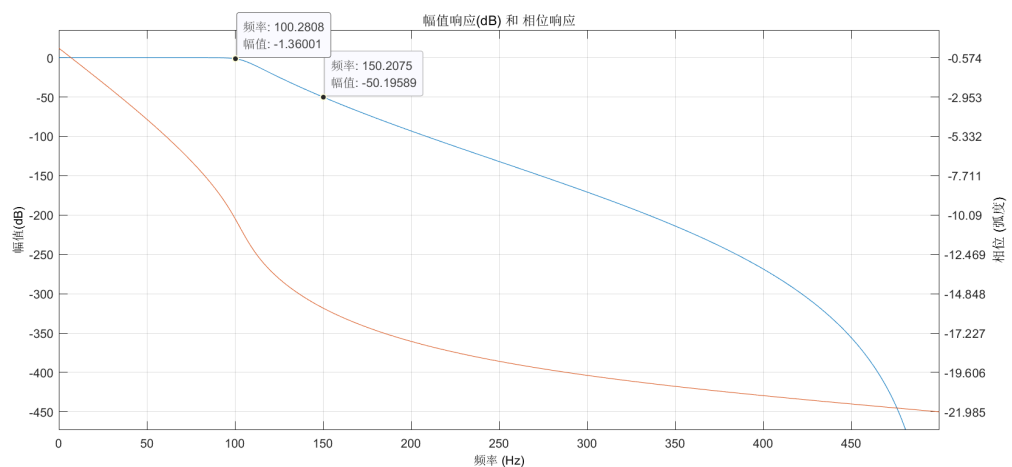
其频域特性为：



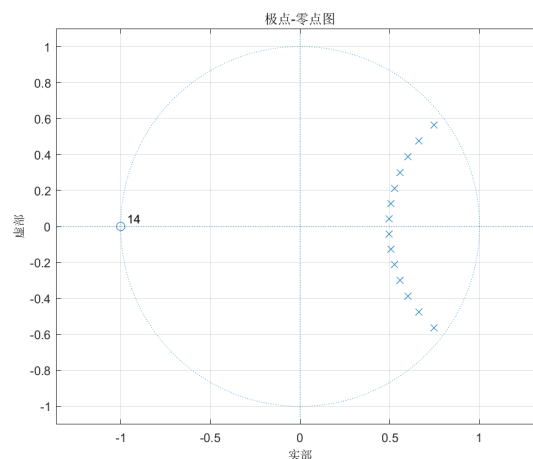
可见在直流点和引入的两正弦频率点 $f=50\text{Hz}$ 和 $f=200\text{Hz}$ 处有三个峰值，其余频率处的杂波由所引入的高斯白噪声所导致。

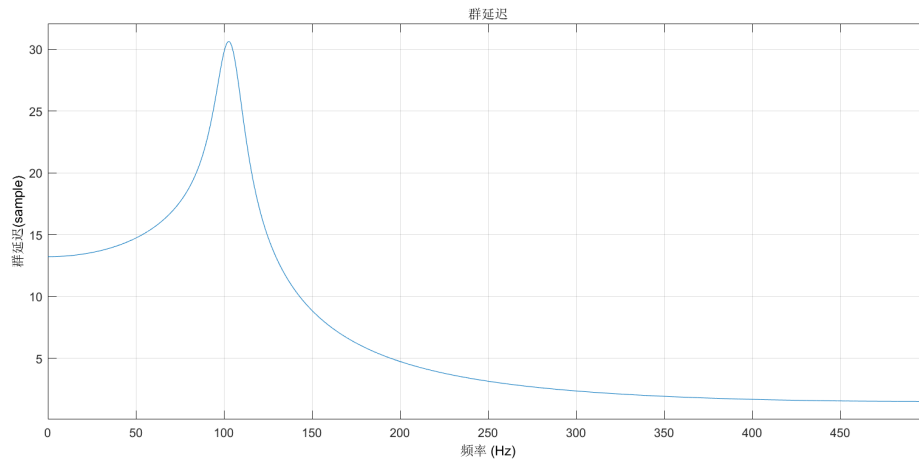
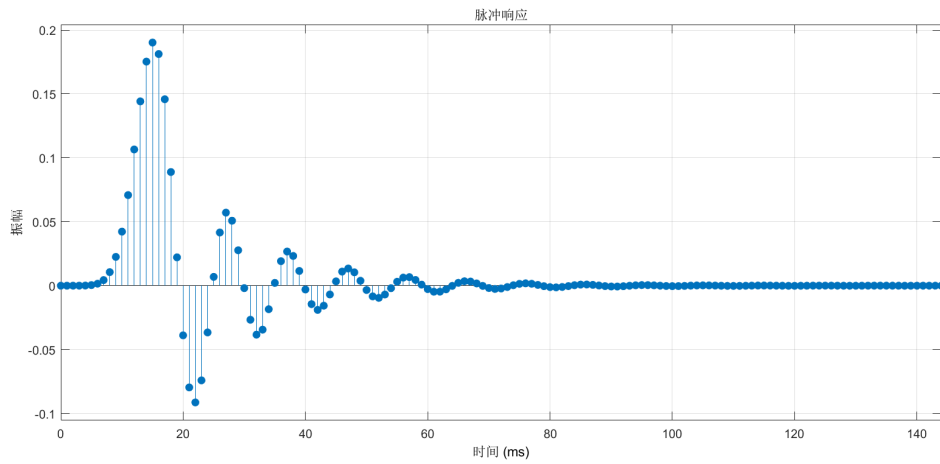
- 在sptool中调用fdatool工具，设计一个butterworth低通滤波器，通带边界频率为100Hz，阻带边界频率为150Hz，通带波纹不大于2dB，阻带衰减不小于50dB，观察所设计滤波器的幅频特性、相频特性、零极点、群延时和脉冲响应。

所设计滤波器的幅频特性为：



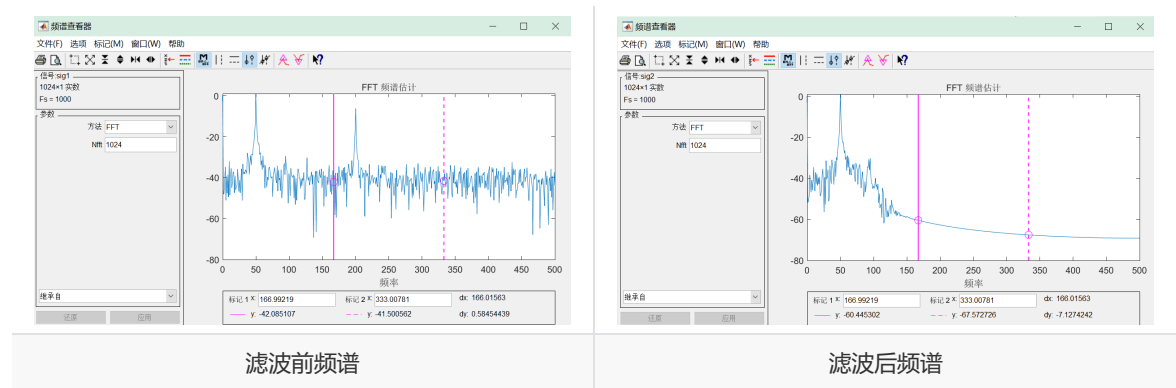
其零极点分布图、群延时和脉冲响应分别为：





3. 在sptool中用（2）中设计的滤波器对（1）中的信号进行滤波处理，并分析滤波前后信号的频谱变化。

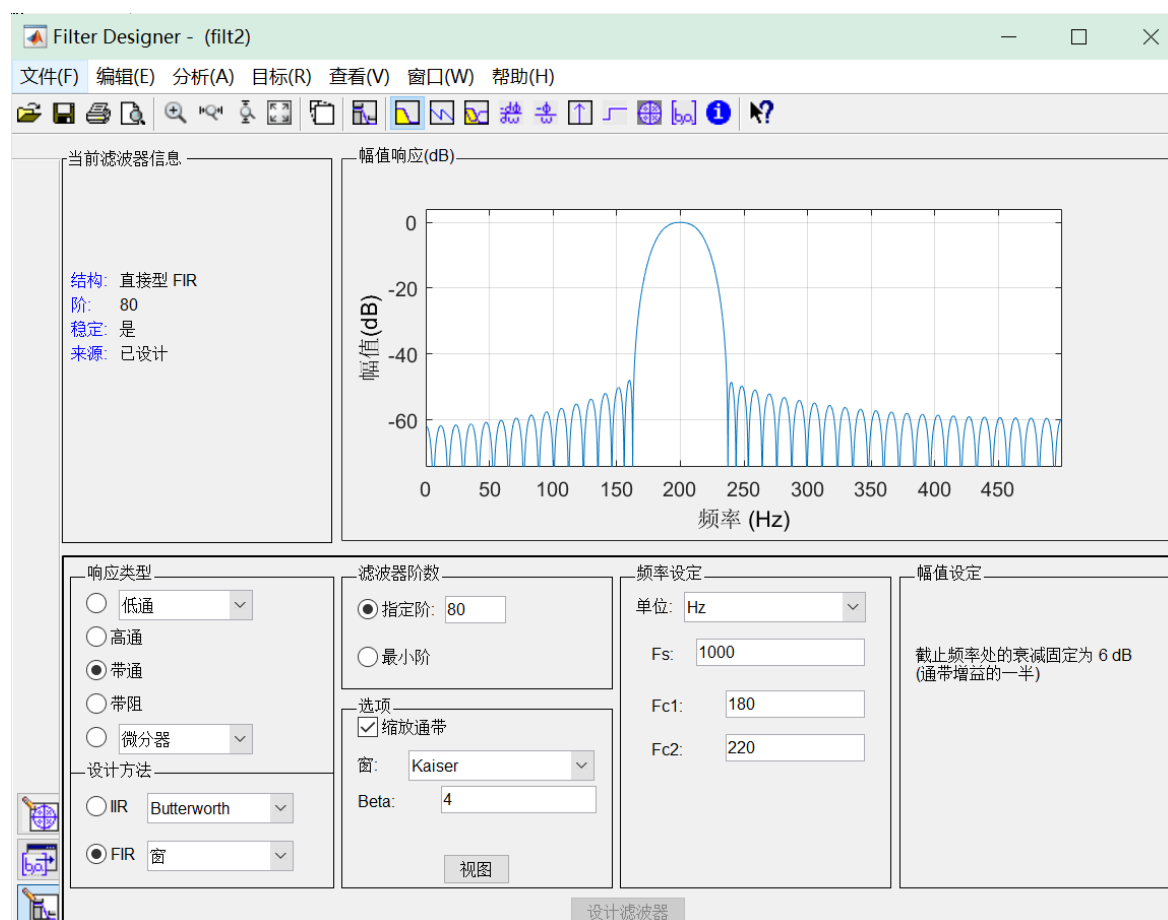
调用sptool工具，选中待处理的x信号和（2）中所设计的滤波器，点击“应用”进行信号处理，得到滤波前后的频谱对比如下图所示：



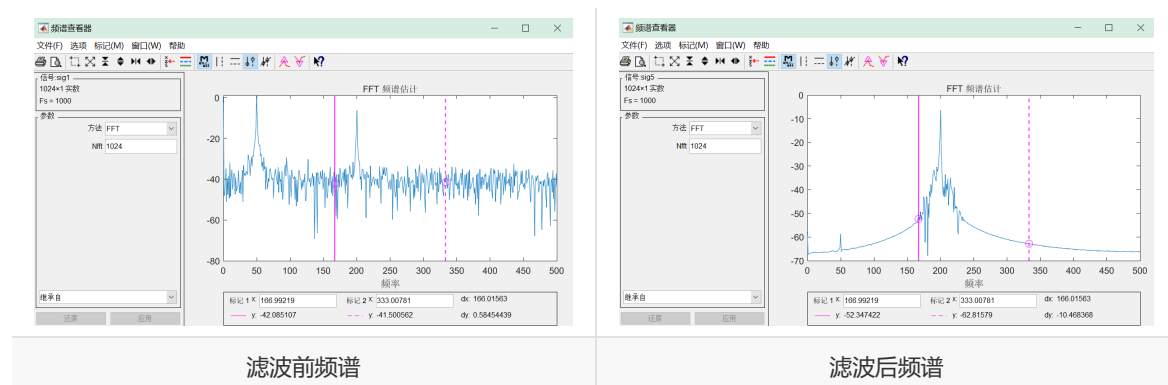
可以观察到，在频率大于150Hz部分的频谱分量几乎被完全滤除，符合预期结果。

4. 在sptool中调用fdatool工具，用Kaiser窗设计一个能滤除（1）中信号x(t)的直流分量和f1频率分量的滤波器，观察滤波前后的频谱变化。

根据设计要求，该滤波器需要滤除0Hz（即直流分量）、50Hz、和高频白噪声部分成分，保留200Hz频率分量，因此可考虑利用Kaiser窗设计一个带通滤波器。通带定为[180Hz, 200Hz]，取定 $\beta=4$ ，阶数为80，调用sptool的fdatool工具设计滤波器界面为：



调用sptool工具，选中待处理的x信号和上面所设计的滤波器，点击“应用”进行信号处理，得到滤波前后的频谱对比如下图所示：



可以观察到，在直流成分、低频 $f_1=50\text{Hz}$ 成分和高频白噪声成分的频谱分量被较好地滤除，符合预期结果。

四、分析总结

- 1、记录在上机实验内容中所设计的IIR滤波器的传递函数 $H(z)$ 及对应的幅频特性曲线，定性分析它们的性能，判断设计是否满足需求。
- 2、记录在实验过程中FIR滤波器设计结果的 $h(n)$ 的幅频和相位特性曲线，比较它们的性能，说明滤波器N和窗函数对滤波器性能的影响。
- 3、记录滤波器特性分析中滤波器特性比较的结论并进行解释。
(1、2、3点已在第三部分实验内容中完成)
- 4、对IIR滤波器设计和FIR滤波器设计的优缺点进行总结。

- IIR滤波器系统函数的极点可以位于单位圆内任何地方，因此可用较低的阶数获得高选择性，所用存储单元少，经济且效率高。但这是以相位的非线性为代价的。选择性越好，则相位的非线性越严重。相反，FIR滤波器却可以得到严格的线性相位，然而由于FIR滤波器系统函数的极点固定在原点，所以只能用较高的阶数达到高选择性，对于同样的滤波器设计指标，FIR所要求的阶数可以比IIR滤波器高5~10倍，导致成本较高，信号延时也较大。如果按相同的选择

性和相同的线性相位要求来说，则IIR滤波器就必须加全通网络进行相位校正，同样要大大增加滤波器的节数和复杂性；

- **FIR滤波器可以用非递归方式来实现，有限精度的计算不会产生振荡。**同时由于量化舍入以及系数的不准确所引起的误差的影响比IIR滤波器要小得多。显然**IIR滤波器必须留心稳定性问题**，注意极点是否会位于单位圆之外，另外有限字长效应有时会引起寄生振荡。再者**FIR滤波器可采用FFT算法**，在相同阶数下，运算速度可以快得多；
- **IIR滤波器可以借助于模拟滤波器的成果**，一般都有有效的封闭形式设计公式可供准确计算，**计算工作量比较小**，对计算工具要求不高。**FIR滤波器没有现成设计公式**。窗函数法仅可以给出窗函数的计算公式，但计算通、阻带衰减仍无显式表达式。其他大多数设计FIR滤波器的方法都需要借助计算机辅助设计；
- IIR滤波器设计法，主要是设计规格化的，频率特性为分段常数的滤波器，而**FIR滤波器则易于适应某些特殊应用**，如构成微分器或积分器，或用于巴特沃斯、切比雪夫等逼近不可能达到预定指标的情况，例如由于某些原因要求三角形振幅响应。

5、总结实验中根据实验现象得到的其他个人结论。

- 通过本次实验，我对于IIR和FIR滤波器的设计原理有了进一步的认识，同时掌握了matlab环境下滤波器设计工具fdatool和信号处理与分析工具sptool的使用技巧。在理论学习FIR和IIR滤波器设计方法的同时，借助本次实验我也体会到了计算机辅助设计滤波器的便捷与快速。
- 值得注意的是，理论知识在介绍关于线性相位滤波器时曾提及，若要限制滤波器的相位特性是线性的，则需要限制其单位脉冲响应满足： $h(n) = \pm h(N - 1 - n)$ ，其中正负号分别对应偶对称和奇对称的情况。当h(n)特性不同，以及单位脉冲响应长度N不同时，对滤波器的幅频特性有如下限制：

$h(n)$	N	对滤波器类型的限制
偶对称	奇数	没有限制
偶对称	偶数	不能用于逼近高通和带阻滤波器
奇对称	奇数	只能用于逼近带通滤波器
奇对称	偶数	不能用于逼近低通和带阻滤波器

在本次实验设计FIR滤波器的内容中，通过fdatool可以观察到各滤波器的单位脉冲响应h(n)特性。通过观察发现它们都满足 $h(n) = \pm h(N - 1 - n)$ ，即滤波器确实是线性相位的。进而可观察它们是奇对称还是偶对称的，结合N的奇偶性进行验证，发现所设计出的所有滤波器均满足上表格对于滤波器类型的限制。这也体现出，实际设计必须要满足理论推导所导出的限制条件，才说明设计是合理可行的。