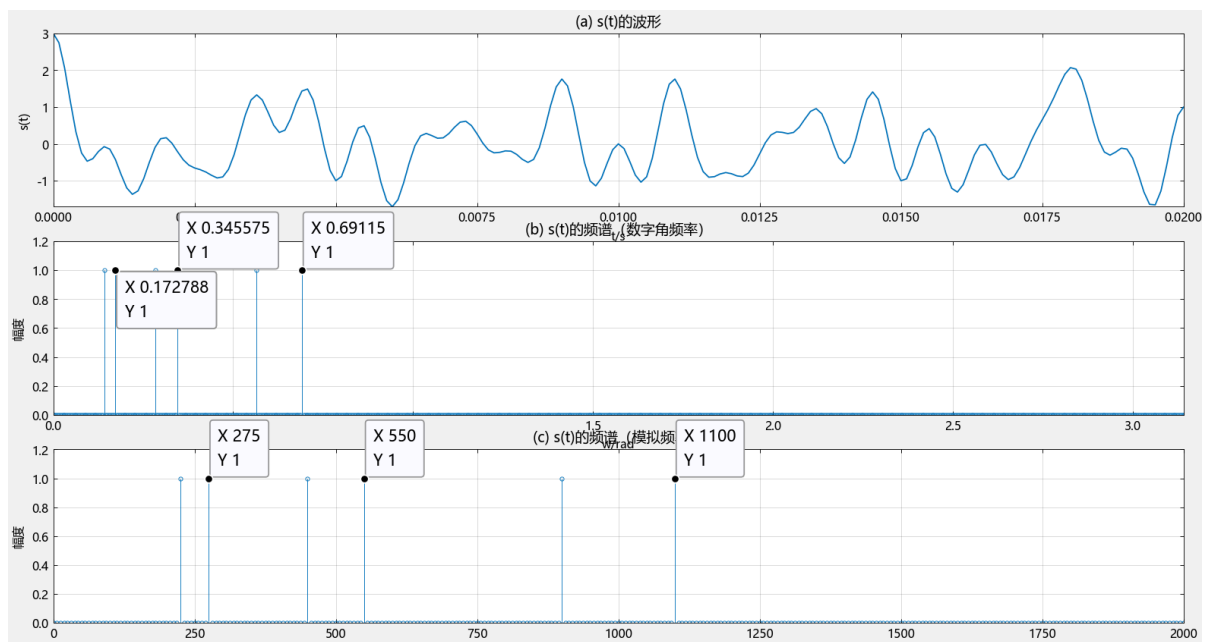


实验三：IIR数字滤波器设计及软件实现

任务一：绘制出待滤波调幅信号 $s(t)$

```
1 %experiment3_1
2 clear,clc,clf
3
4 N=1600; %N为信号st的长度。
5 Fs=10000;T=1/Fs;Tp=N*T; %采样频率Fs=10kHz, Tp为采样时间
6 t=0:T:(N-1)*T;k=0:N-1;w=k*2*pi/N;f=w/T/(2*pi);%w是数字角频率, f是相应的模拟频率
7 fc1=Fs/10; %第1路调幅信号的载波频率fc1=1000Hz,
8 fm1=fc1/10; %第1路调幅信号的调制信号频率fm1=100Hz
9 fc2=Fs/20; %第2路调幅信号的载波频率fc2=500Hz
10 fm2=fc2/10; %第2路调幅信号的调制信号频率fm2=50Hz
11 fc3=Fs/40; %第3路调幅信号的载波频率fc3=250Hz,
12 fm3=fc3/10; %第3路调幅信号的调制信号频率fm3=25Hz
13 xt1=cos(2*pi*fm1*t).*cos(2*pi*fc1*t); %产生第1路调幅信号
14 xt2=cos(2*pi*fm2*t).*cos(2*pi*fc2*t); %产生第2路调幅信号
15 xt3=cos(2*pi*fm3*t).*cos(2*pi*fc3*t); %产生第3路调幅信号
16 st=xt1+xt2+xt3; %三路调幅信号相加
17 fxt=fft(st,N); %计算信号st的频谱
18
19 %===绘制st的时域波形和幅频特性曲线
20 subplot(3,1,1)
21 plot(t,st);grid;xlabel('t/s');ylabel('s(t)');
22 axis([0,Tp/8,min(st),max(st)]);title('(a) s(t)的波形')
23 subplot(3,1,2)
24 stem(w,abs(fxt)/max(abs(fxt)),'. ');grid;title('(b) s(t)的频谱 (数字角频率)')
25 axis([0,pi,0,1.2]);
26 xlabel('w/rad');ylabel('幅度')
27 subplot(3,1,3)
28 stem(f,abs(fxt)/max(abs(fxt)),'. ');grid;title('(c) s(t)的频谱 (模拟频率)')
29 axis([0,Fs/5,0,1.2]);
30 xlabel('f/Hz');ylabel('幅度')
```



可以观察到，该信号由3组DSB双边带调幅信号组成，接下来分别设计三组滤波器来分离三组信号。中间的频谱图横坐标是数字角频率，下面的频谱图横坐标是模拟频率。

任务二：设计IIR滤波器

用双线性变换法设计低通、高通和带通滤波器，并绘图显示其损耗函数曲线。并对两种滤波器函数（巴特沃斯和切比雪夫1型）下设计的滤波器进行性能对比分析。（横坐标为归一化角频率 ω/π ，纵坐标为相对值 $20 * \log_{10}(m/\max(m))\text{dB}$ ）

1. 低通数字滤波器

通带截止频率280Hz，通带最大衰减0.1dB；阻带截止频率450Hz，阻带最小衰减60dB。

1. 巴特沃斯

```

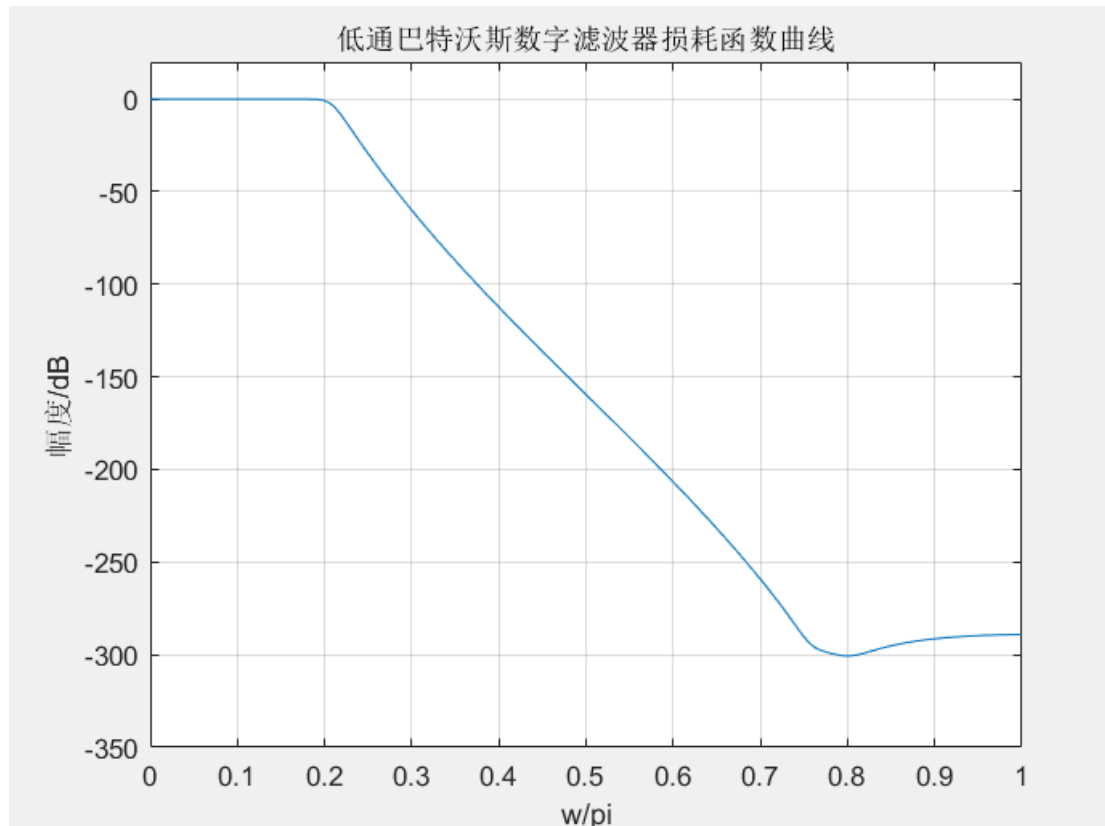
1  %experiment3_2_LF_Butterworth
2  %用双线性变换法设计低通巴特沃斯数字滤波器
3  clear,clc,clf
4
5  Fs=3000;T=1/Fs;N=1600;%采样率设置为3000Hz
6  fp=280;fs=450;%低通滤波器的指标
7  wpz=fp*2*pi*T;wsz=fs*2*pi*T;%设计DF要求的数字指标，wpz是数字通带截止频率，wsz是数字阻带截止频率
8  %===设置双线性变换法的滤波器参数
9  wp=2/T*tan(wpz/2);ws=2/T*tan(wsz/2);%预畸变公式把数字角频率转换为模拟角频率
10 rp=0.1;rs=60;%通带最大衰减和阻带最小衰减(dB)
11 %===设计巴特沃斯低通模拟滤波器
12 [M,wc]=buttord(wp,ws,rp,rs,'s');%计算滤波器阶数M和3dB截止频率wc
13 [B,A]=butter(M,wc,'s');%计算滤波器系统函数Hs分子分母多项式系数
14 %===用双线性变换法转换成数字滤波器
15 [Bz,Az]=bilinear(B,A,Fs);%系统函数Hz的分子分母多项式系数
16 %===把Z域系统函数转换成频率响应
17 [h,wz]=freqz(Bz,Az,N);%N是在Z域单位圆上的采样点数，wz是[0,pi]区间内的N个频率等分点，h是wz对应的频率响应值
18 %===损耗函数曲线

```

```

19 plot(wz/pi,20*log10(abs(h)/max(abs(h))));grid on
20 xlabel('w/pi');ylabel('幅度/dB');title('低通巴特沃斯数字滤波器损耗函数曲线')
21 axis([0,1,-350,20])

```

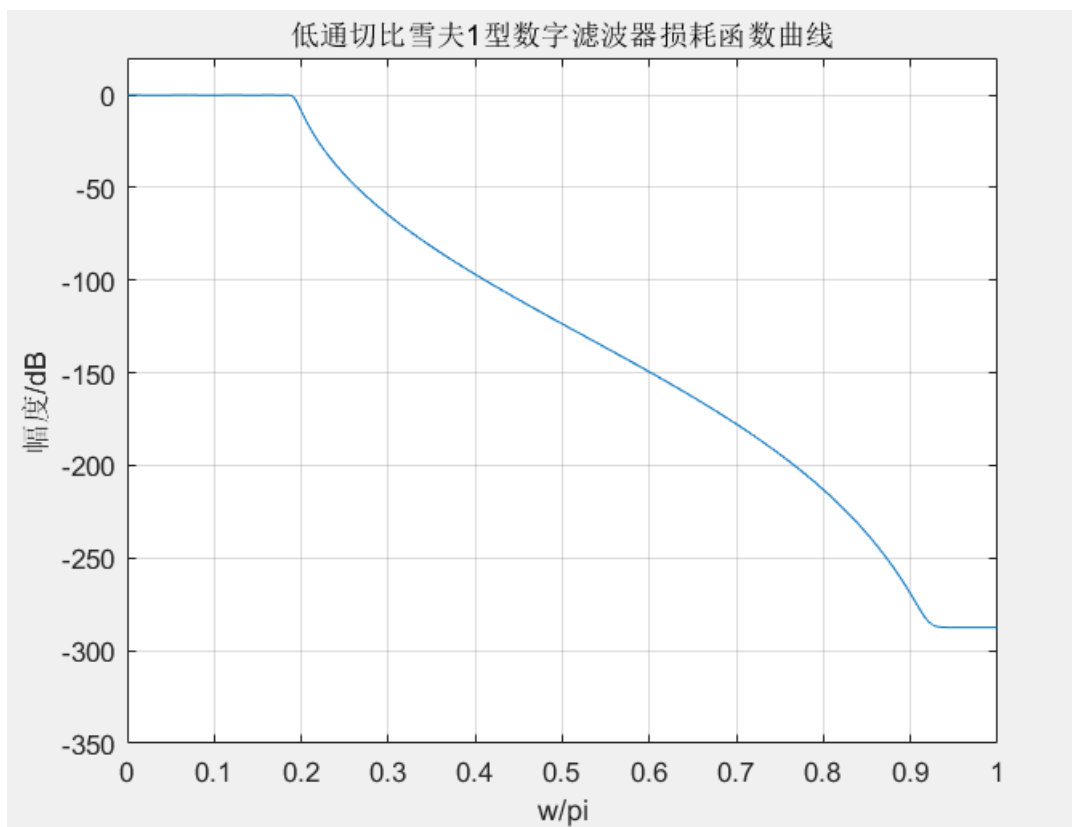


2. 切比雪夫1型

```

1 %experiment3_2_LF_Chebyshev
2 %===用双线性变换法设计低通切比雪夫1型数字滤波器
3 clear,clc,clf
4
5 Fs=3000;T=1/Fs;N=1600;
6 fp=280;fs=450;%低通滤波器的指标
7 wpz=fp*2*pi*T;wsz=fs*2*pi*T;%设计DF要求的数字指标，wpz是数字通带截止频率，wsz是数字阻
  带截止频率
8 %===设置双线性变换法的滤波器参数
9 wp=2/T*tan(wpz/2);ws=2/T*tan(wsz/2);%预畸变公式把数字角频率转换为模拟角频率
10 rp=0.1;rs=60;%通带最大衰减和阻带最小衰减(dB)
11 %===设计切比雪夫1型低通模拟滤波器
12 [M,wpo]=cheb1ord(wp,ws,rp,rs,'s');%计算滤波器阶数M和切比雪夫1型通带截止频率wpo
13 [B,A]=cheby1(M,rp,wpo,'s');%计算滤波器系统函数Hs分子分母多项式系数
14 %===用双线性变换法转换成数字滤波器
15 [Bz,Az]=bilinear(B,A,Fs);%系统函数Hz的分子分母多项式系数
16 %===把Z域系统函数转换成频率响应
17 [h,wz]=freqz(Bz,Az,N);%N是在Z域单位圆上的采样点数，wz是[0,pi]区间内的N个频率等分点，h
  是wz对应的频率响应值
18 %===损耗函数曲线
19 plot(wz/pi,20*log10(abs(h)/max(abs(h))));grid on
20 xlabel('w/pi');ylabel('幅度/dB');title('低通切比雪夫1型数字滤波器损耗函数曲线')
21 axis([0,1,-350,20])

```



从工作区变量中可以看到，相同参数要求下巴特沃斯阶数 $M=17$ ，而切比雪夫1型阶数 $M=9$ 。所以切比雪夫1型滤波器的结束更低，更节省计算量。

2. 带通数字滤波器

通带截止频率440Hz，560Hz，通带最大衰减0.1dB；阻带截止频率275Hz，900Hz，阻带最小衰减60dB。

1. 巴特沃斯

```

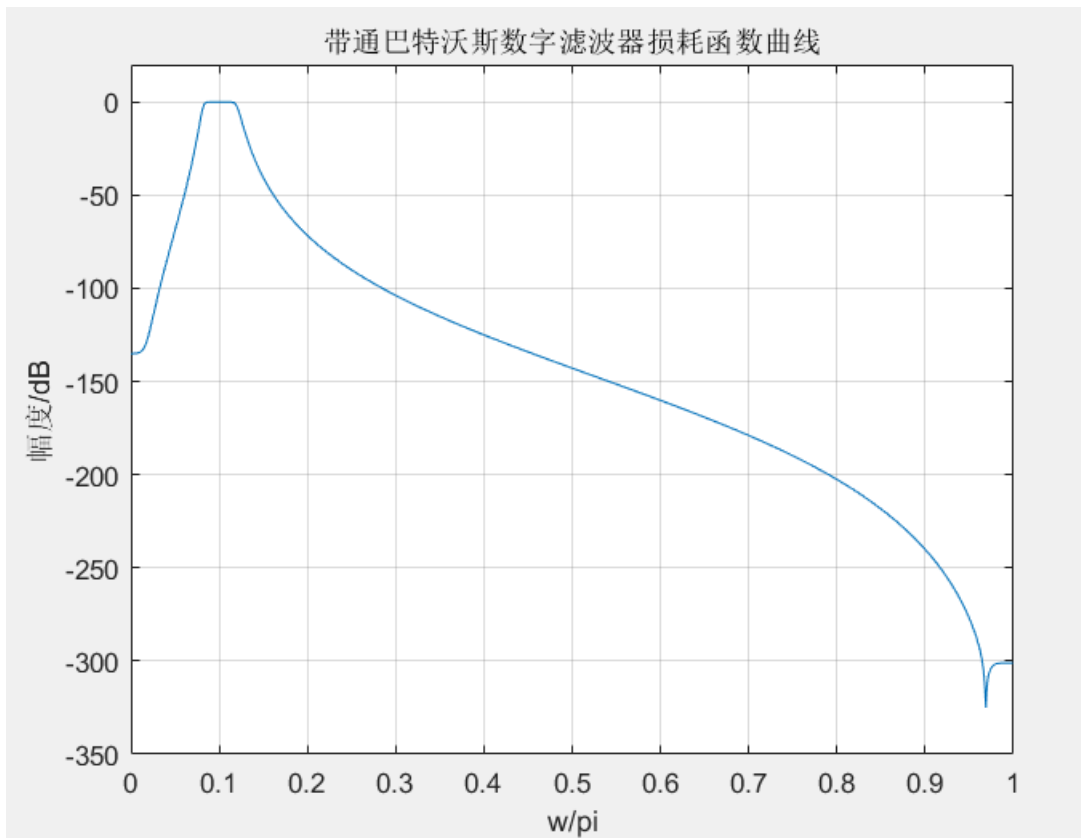
1  %experiment3_2_BPF_Butterworth
2  %用双线性变换法设计带通巴特沃斯数字滤波器
3  clc,clear,clf
4
5  Fs=10000;T=1/Fs;N=1600;%采样率设置为10000Hz
6  fp=[440,560];fs=[275,900];%带通滤波器的指标
7  wpz=fp*2*pi*T;wsz=fs*2*pi*T;%设计BPF要求的数字指标，wpz是数字通带截止频率，wsz是数字
   阻带截止频率
8  %===设置双线性变换法的滤波器参数
9  wp=2/T*tan(wpz/2);ws=2/T*tan(wsz/2);%预畸变公式把数字角频率转换为模拟角频率
10 rp=0.1;rs=60;%通带最大衰减和阻带最小衰减(dB)
11 %===设计巴特沃斯带通模拟滤波器
12 [M,wc]=buttord(wp,ws,rp,rs,'s');%计算滤波器阶数M和3dB截止频率wc
13 [B,A]=butter(M,wc,'s');%计算滤波器系统函数Hs分子分母多项式系数
14 %===用双线性变换法转换成数字滤波器
15 [Bz,Az]=bilinear(B,A,Fs);%系统函数Hz的分子分母多项式系数
16 %===把Z域系统函数转换成频率响应
17 [h,wz]=freqz(Bz,Az,N);%N是在Z域单位圆上的采样点数，wz是[0,pi]区间内的N个频率等分点，h
   是wz对应的频率响应值
18 %===损耗函数曲线
19 plot(wz/pi,20*log10(abs(h)/max(abs(h))));grid on

```

```

20 xlabel('w/pi');ylabel('幅度/dB');title('带通巴特沃斯数字滤波器损耗函数曲线')
21 axis([0,1,-350,20])

```

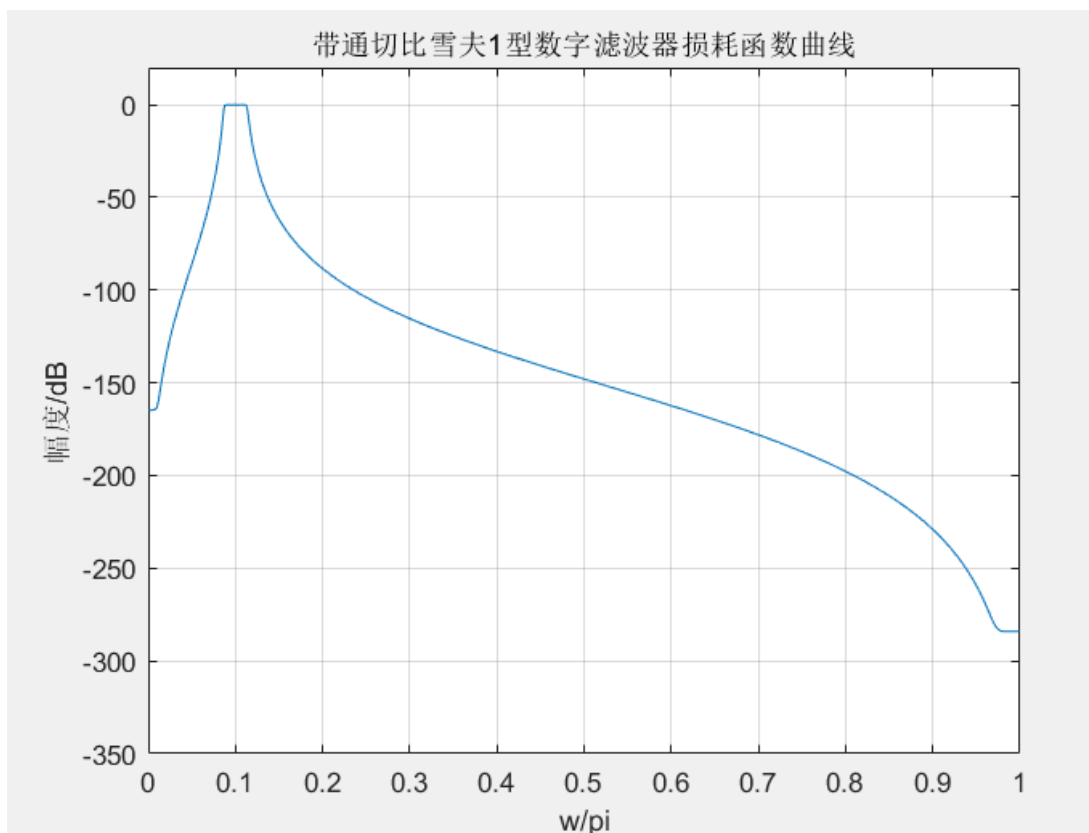


2. 切比雪夫1型

```

1  %experiment3_2_BPF_chebyshev
2  %===用双线性变换法设计带通切比雪夫1型数字滤波器
3  clear,clc,clf
4
5  Fs=10000;T=1/Fs;N=1600;
6  fp=[440,560];fs=[275,900];%带通滤波器的指标
7  wpz=fp*2*pi*T;wsz=fs*2*pi*T;%设计BPF要求的数字指标，wpz是数字通带截止频率，wsz是数字
   阻带截止频率
8  %===设置双线性变换法的滤波器参数
9  wp=2/T*tan(wpz/2);ws=2/T*tan(wsz/2);%预畸变公式把数字角频率转换为模拟角频率
10 rp=0.1;rs=60;%通带最大衰减和阻带最小衰减(dB)
11 %===设计切比雪夫1型带通模拟滤波器
12 [M,wpo]=cheb1ord(wp,ws,rp,rs,'s');%计算滤波器阶数M和切比雪夫1型通带截止频率wpo
13 [B,A]=cheby1(M,rp,wpo,'s');%计算滤波器系统函数Hs分子分母多项式系数
14 %===用双线性变换法转换成数字滤波器
15 [Bz,Az]=bilinear(B,A,Fs);%系统函数Hz的分子分母多项式系数
16 %===把Z域系统函数转换成频率响应
17 [h,wz]=freqz(Bz,Az,N);%N是在Z域单位圆上的采样点数，wz是[0,pi]区间内的N个频率等分点，h
   是wz对应的频率响应值
18 %===损耗函数曲线
19 plot(wz/pi,20*log10(abs(h)/max(abs(h))));grid on
20 xlabel('w/pi');ylabel('幅度/dB');title('带通切比雪夫1型数字滤波器损耗函数曲线')
21 axis([0,1,-350,20])

```



从工作区变量中可以看到，相同参数要求下巴特沃斯阶数 $M=6$ ，而切比雪夫1型阶数 $M=5$ 。所以切比雪夫1型滤波器的结束更低，更节省计算量。

3. 高通数字滤波器

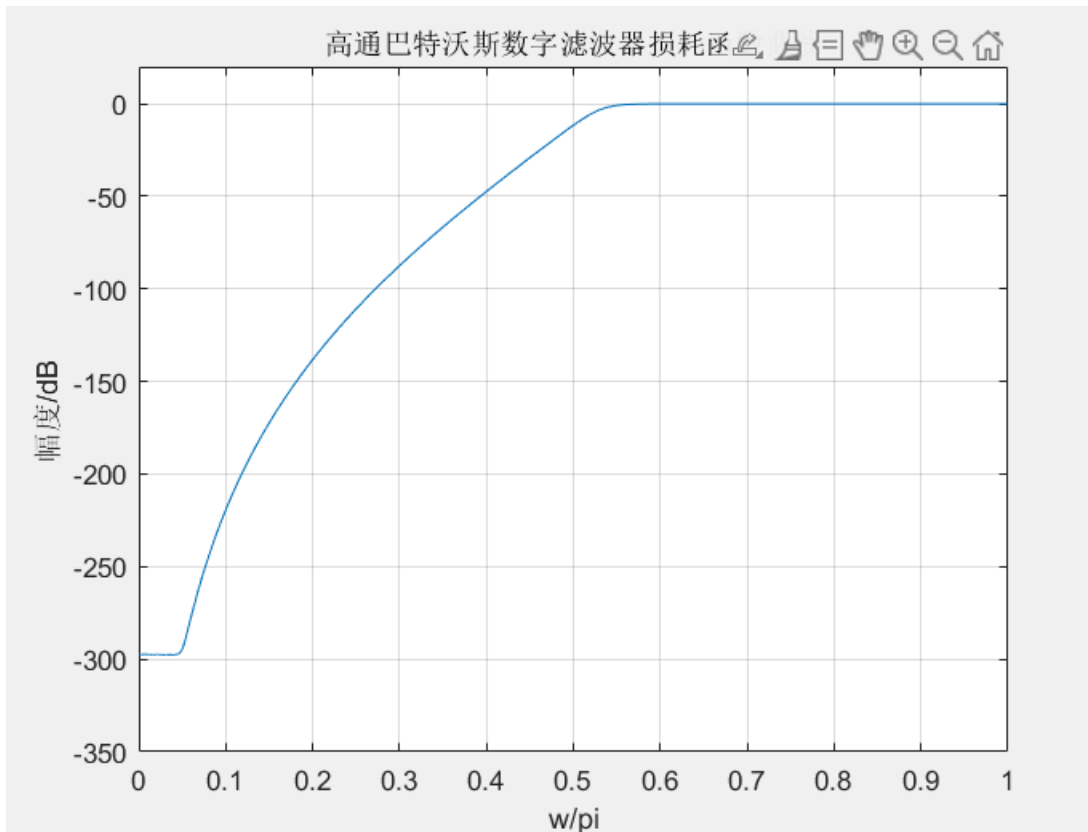
通带截止频率890Hz，通带最大衰减0.1dB；阻带截止频率550Hz，阻带最小衰减60dB。

1. 巴特沃斯

```

1  %experiment3_2_HP_Butterworth
2  %用双线性变换法设计高通巴特沃斯数字滤波器
3  clc,clear,clf
4
5  Fs=3000;T=1/Fs;N=1600;%采样率设置为3000Hz
6  fp=890;fs=550;%高通滤波器的指标
7  wpz=fp*2*pi*T;wsz=fs*2*pi*T;%设计HF要求的数字指标，wpz是数字通带截止频率，wsz是数字阻
   带截止频率
8  %===设置双线性变换法的滤波器参数
9  wp=2/T*tan(wpz/2);ws=2/T*tan(wsz/2);%预畸变公式把数字角频率转换为模拟角频率
10 rp=0.1;rs=60;%通带最大衰减和阻带最小衰减(dB)
11 %===设计巴特沃斯高通模拟滤波器
12 [M,wc]=buttord(wp,ws,rp,rs,'s');%计算滤波器阶数M和3dB截止频率wc
13 [B,A]=butter(M,wc,'high','s');%计算高通滤波器系统函数Hs分子分母多项式系数
14 %===用双线性变换法转换成数字滤波器
15 [Bz,Az]=bilinear(B,A,Fs);%系统函数Hz的分子分母多项式系数
16 %===把Z域系统函数转换成频率响应
17 [h,wz]=freqz(Bz,Az,N);%N是在Z域单位圆上的采样点数，wz是[0,pi]区间内的N个频率等分点，h
   是wz对应的频率响应值
18 %===损耗函数曲线
19 plot(wz/pi,20*log10(abs(h)/max(abs(h))));grid on
20 xlabel('w/pi');ylabel('幅度/dB');title('高通巴特沃斯数字滤波器损耗函数曲线')

```

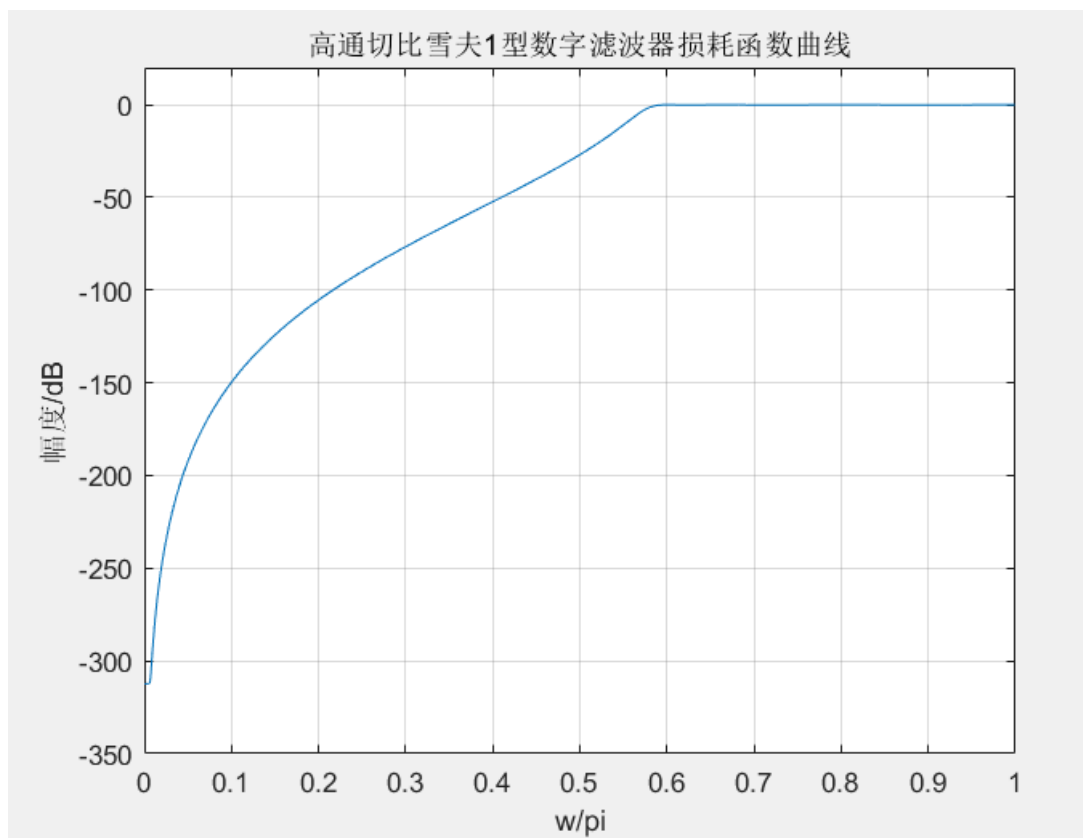


2. 切比雪夫1型

```

1  %experiment3_2_HP_Chebyshev
2  %用双线性变换法设计高通切比雪夫1型数字滤波器
3  clc,clear,clf
4
5  Fs=3000;T=1/Fs;N=1600;
6  fp=890;fs=550;%高通滤波器的指标
7  wpz=fp*2*pi*T;wsz=fs*2*pi*T;%设计HF要求的数字指标，wpz是数字通带截止频率，wsz是数字阻
   带截止频率
8  %===设置双线性变换法的滤波器参数
9  wp=2/T*tan(wpz/2);ws=2/T*tan(wsz/2);%预畸变公式把数字角频率转换为模拟角频率
10 rp=0.1;rs=60;%通带最大衰减和阻带最小衰减(dB)
11 %===设计切比雪夫1型高通模拟滤波器
12 [M,wpo]=cheb1ord(wp,ws,rp,rs,'s');%计算滤波器阶数M和切比雪夫1型通带截止频率wpo
13 [B,A]=cheby1(M,rp,wpo,'high','s');%计算滤波器系统函数Hs分子分母多项式系数
14 %===用双线性变换法转换成数字滤波器
15 [Bz,Az]=bilinear(B,A,Fs);%系统函数Hz的分子分母多项式系数
16 %===把Z域系统函数转换成频率响应
17 [h,wz]=freqz(Bz,Az,N);%N是在Z域单位圆上的采样点数，wz是[0,pi]区间内的N个频率等分点，h
   是wz对应的频率响应值
18 %===损耗函数曲线
19 plot(wz/pi,20*log10(abs(h)/max(abs(h))));grid on
20 xlabel('w/pi');ylabel('幅度/dB');title('高通切比雪夫1型数字滤波器损耗函数曲线')
21 axis([0,1,-350,20])

```



从工作区变量中可以看到，相同参数要求下巴特沃斯阶数 $M=13$ ，而切比雪夫1型阶数 $M=7$ 。所以切比雪夫1型滤波器的结束更低，更节省计算量。

任务三：滤波

调用滤波器实现函数`filter`，用三个滤波器分别对信号 $s(t)$ 进行滤波，分离出 $s(t)$ 中的三路不同载波频率的调幅信号，并绘图显示时域波形，观察分离效果。

下面统一选用任务二中巴特沃斯数字滤波器，切比雪夫1型同理。

1. 用低通滤波器选出原信号 st 中以250Hz为载频，50Hz为带宽的分量

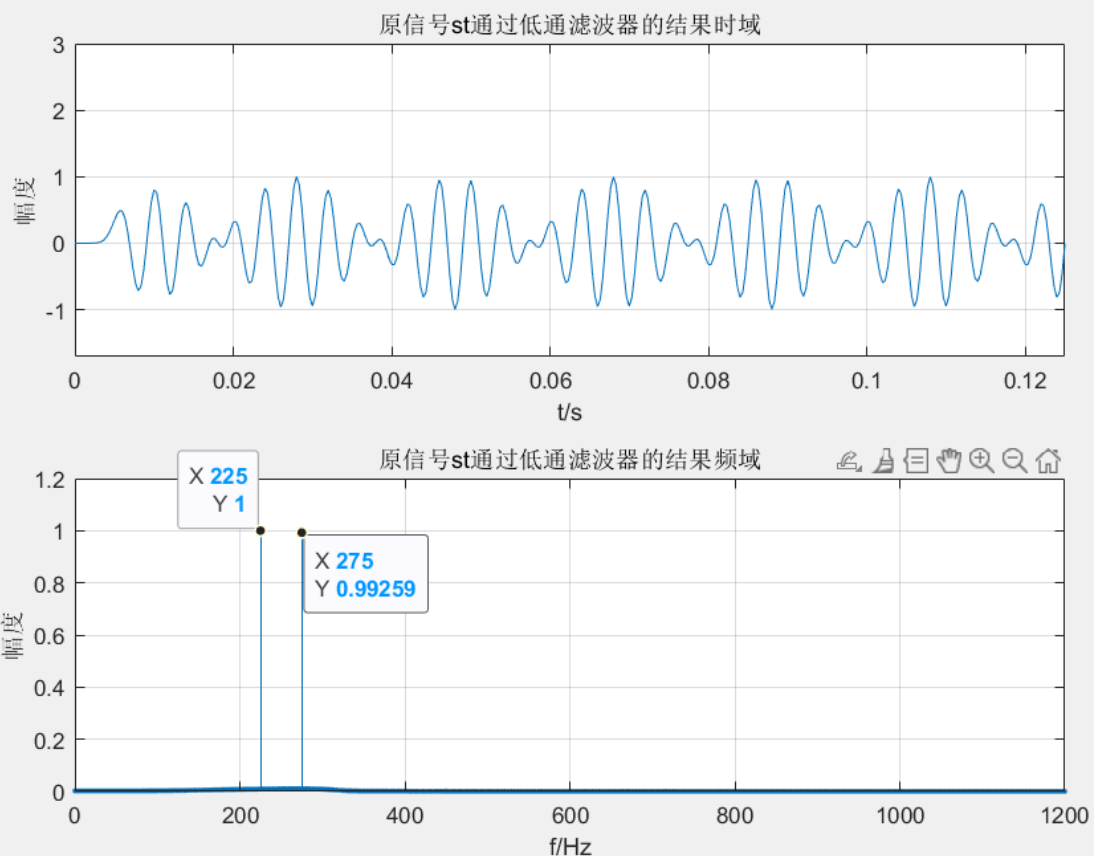
```
1 %experiment3_3_1
2 %用低通滤波器选出原信号st中以250Hz为载频，50Hz为带宽的分量
3 clear,clc,clf
4
5 %===原始信号st
6 N=3000; %N为信号st的长度，注意此处频率分辨率Fs/N应当是st六个频率分量的整数倍，来防止频谱泄露
7 Fs=3000;T=1/Fs;Tp=N*T; %采样频率Fs=3000Hz，Tp为采样时间
8 t=0:T:(N-1)*T;k=0:N-1;w=k*2*pi/N;f=w/T/(2*pi);%w是数字角频率，f是相应的模拟频率
9 fc1=1000;
10 fm1=fc1/10;
11 fc2=500;
12 fm2=fc2/10;
13 fc3=250;
14 fm3=fc3/10;
15 xt1=cos(2*pi*fm1*t).*cos(2*pi*fc1*t);
16 xt2=cos(2*pi*fm2*t).*cos(2*pi*fc2*t);
17 xt3=cos(2*pi*fm3*t).*cos(2*pi*fc3*t);
```



```

18 st=xt1+xt2+xt3; %三路调幅信号相加
19
20 %===低通巴特沃斯数字滤波器
21 fp=280;fs=450;%低通滤波器的指标(Hz)
22 wpz=fp*2*pi*T;wsz=fs*2*pi*T;%设计DF要求的数字指标，wpz是数字通带截止频率，wsz是数字阻带截止频率
23 %===设置双线性变换法的滤波器参数
24 wp=2/T*tan(wpz/2);ws=2/T*tan(wsz/2);%预畸变公式把数字角频率转换为模拟角频率
25 rp=0.1;rs=60;%通带最大衰减和阻带最小衰减(dB)
26 %===设计巴特沃斯低通模拟滤波器
27 [M,wc]=buttord(wp,ws,rp,rs,'s');%计算滤波器阶数M和3dB截止频率wc
28 [B,A]=butter(M,wc,'s');%计算滤波器系统函数Hs分子分母多项式系数
29 %===用双线性变换法转换成数字滤波器
30 [Bz,Az]=bilinear(B,A,Fs);%系统函数Hz的分子分母多项式系数
31
32 %===滤波
33 yt=filter(Bz,Az,st);%st为时域信号
34 yw=fft(yt,N);
35
36 subplot(211)
37 plot(t,yt);grid on
38 xlabel('t/s');ylabel('幅度');title('原信号st通过低通滤波器的结果时域')
39 axis([0,Tp/8,min(st),max(st)])
40 subplot(212)
41 stem(f,abs(yw)/max(abs(yw)),'.');grid on
42 xlabel('f/Hz');ylabel('幅度');title('原信号st通过低通滤波器的结果频域')
43 axis([0,1200,0,1.2])

```



2. 用带通滤波器选出原信号st中以500Hz为载频，100Hz为带宽的分量

```

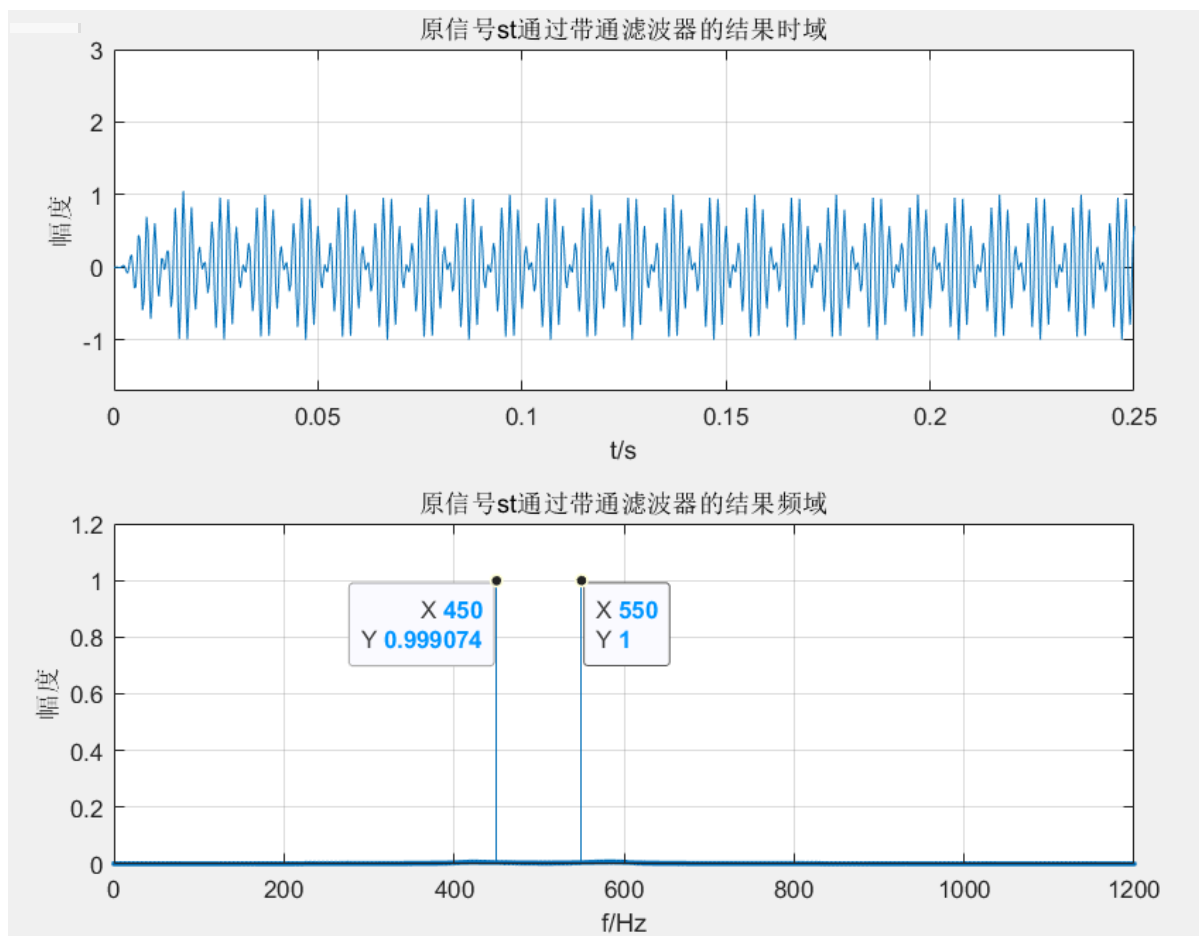
1 %experiment3_3_2

```

```

2 clear,clc,clf
3
4 %===原始信号st
5 N=3000; %N为信号st的长度，注意此处频率分辨率Fs/N应当是st六个频率分量的整数倍，来防止频谱泄露
6 Fs=3000;T=1/Fs;Tp=N*T; %采样频率Fs=3000Hz，Tp为采样时间
7 t=0:T:(N-1)*T;k=0:N-1;w=k*2*pi/N;f=w/T/(2*pi);%w是数字角频率，f是相应的模拟频率
8 fc1=1000;
9 fm1=fc1/10;
10 fc2=500;
11 fm2=fc2/10;
12 fc3=250;
13 fm3=fc3/10;
14 xt1=cos(2*pi*fm1*t).*cos(2*pi*fc1*t);
15 xt2=cos(2*pi*fm2*t).*cos(2*pi*fc2*t);
16 xt3=cos(2*pi*fm3*t).*cos(2*pi*fc3*t);
17 st=xt1+xt2+xt3; %三路调幅信号相加
18
19 %===带通巴特沃斯数字滤波器
20 fp=[440,560];fs=[275,900];%带通滤波器的指标
21 wpz=fp*2*pi*T;wsz=fs*2*pi*T;%设计BPF要求的数字指标，wpz是数字通带截止频率，wsz是数字阻带截止频率
22 %===设置双线性变换法的滤波器参数
23 wp=2/T*tan(wpz/2);ws=2/T*tan(wsz/2);%预畸变公式把数字角频率转换为模拟角频率
24 rp=0.1;rs=60;%通带最大衰减和阻带最小衰减(dB)
25 %===设计巴特沃斯带通模拟滤波器
26 [M,wc]=buttord(wp,ws,rp,rs,'s');%计算滤波器阶数M和3dB截止频率wc
27 [B,A]=butter(M,wc,'s');%计算滤波器系统函数Hs分子分母多项式系数
28 %===用双线性变换法转换成数字滤波器
29 [Bz,Az]=bilinear(B,A,Fs);%系统函数Hz的分子分母多项式系数
30
31 %===滤波
32 yt=filter(Bz,Az,st);%st为时域信号
33 yw=fft(yt,N);
34
35 subplot(211)
36 plot(t,yt);grid on
37 xlabel('t/s');ylabel('幅度');title('原信号st通过带通滤波器的结果时域')
38 axis([0,Tp/4,min(st),max(st)])
39 subplot(212)
40 stem(f,abs(yw)/max(abs(yw)),'.');grid on
41 xlabel('f/Hz');ylabel('幅度');title('原信号st通过带通滤波器的结果频域')
42 axis([0,1200,0,1.2])

```



3. 用高通滤波器选出原信号st中以1000Hz为载频，200Hz为带宽的分量

```

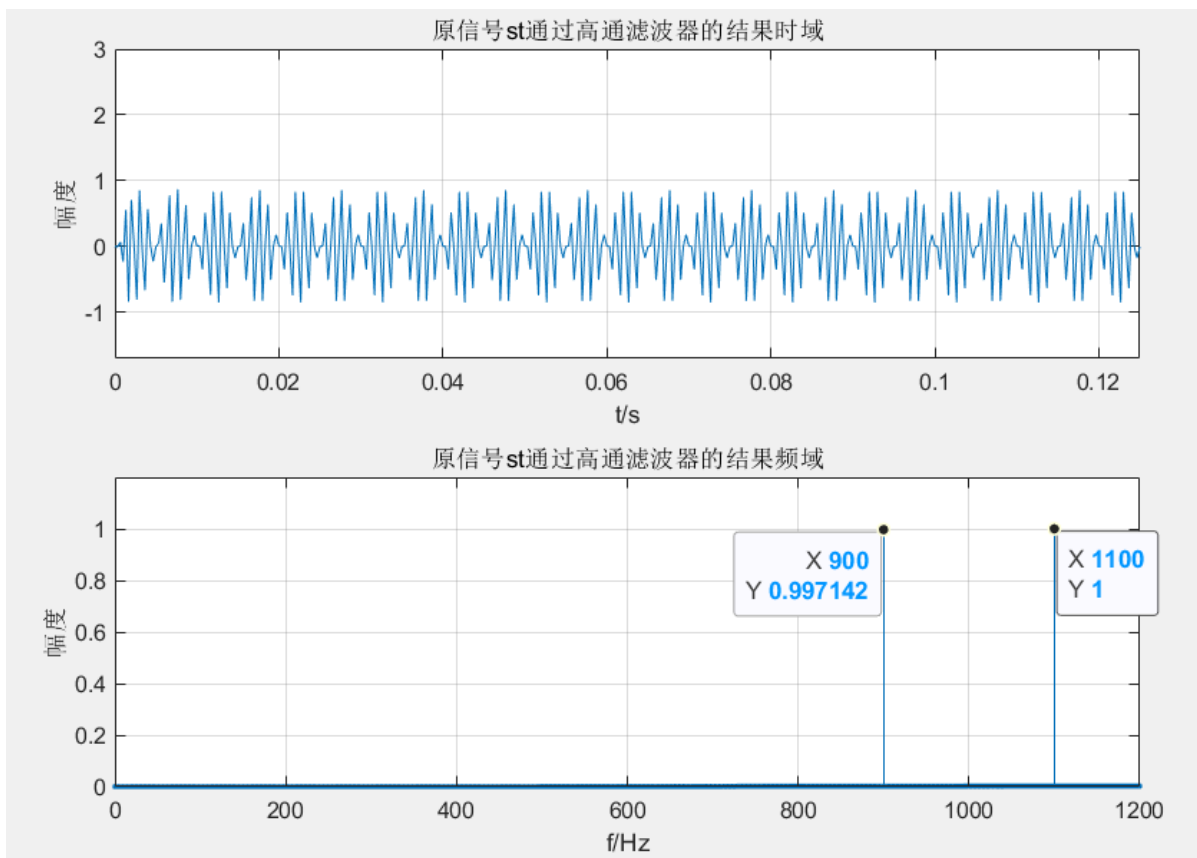
1 %experiment3_3_3
2 %用高通滤波器选出原信号st中以1000Hz为载频，200Hz为带宽的分量
3 clear,clc,clf
4
5 %===原始信号st
6 N=3000; %N为信号st的长度，注意此处频率分辨率Fs/N应当是st六个频率分量的整数倍，来防止频谱泄露
7 Fs=3000;T=1/Fs;Tp=N*T; %采样频率Fs=3000Hz，Tp为采样时间
8 t=0:T:(N-1)*T;k=0:N-1;w=k*2*pi/N;f=w/T/(2*pi);%w是数字角频率，f是相应的模拟频率
9 fc1=1000;
10 fm1=fc1/10;
11 fc2=500;
12 fm2=fc2/10;
13 fc3=250;
14 fm3=fc3/10;
15 xt1=cos(2*pi*fm1*t).*cos(2*pi*fc1*t);
16 xt2=cos(2*pi*fm2*t).*cos(2*pi*fc2*t);
17 xt3=cos(2*pi*fm3*t).*cos(2*pi*fc3*t);
18 st=xt1+xt2+xt3; %三路调幅信号相加
19
20 %===高通巴特沃斯数字滤波器
21 fp=890;fs=550;%高通滤波器的指标
22 wpz=fp*2*pi*T;wsz=fs*2*pi*T;%设计HF要求的数字指标，wpz是数字通带截止频率，wsz是数字阻带截止频率
23 %===设置双线性变换法的滤波器参数
24 wp=2/T*tan(wpz/2);ws=2/T*tan(wsz/2);%预畸变公式把数字角频率转换为模拟角频率
25 rp=0.1;rs=60;%通带最大衰减和阻带最小衰减(dB)
26 %===设计巴特沃斯高通模拟滤波器

```

```

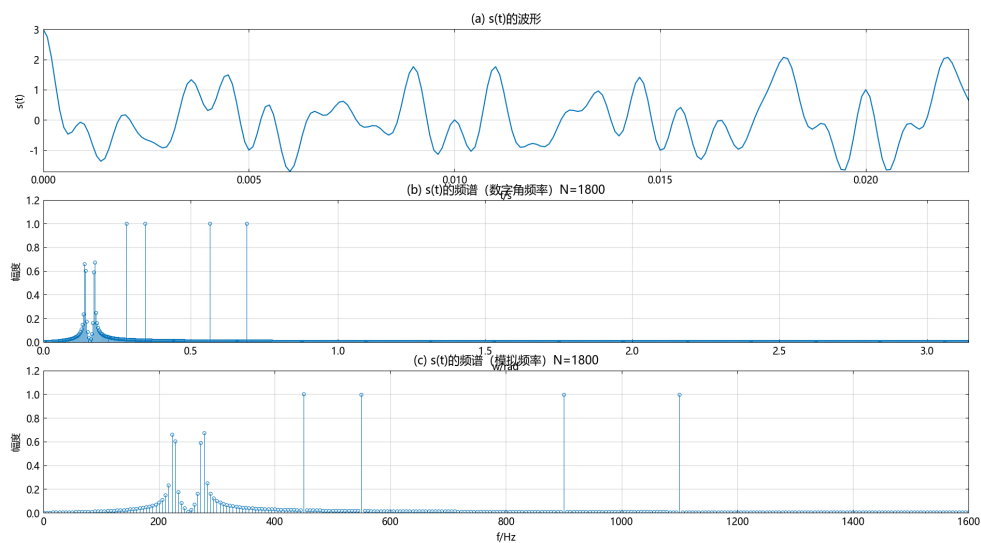
27 [M,wc]=buttord(wp,ws,rp,rs,'s');%计算滤波器阶数M和3dB截止频率wc
28 [B,A]=butter(M,wc,'high','s');%计算高通滤波器系统函数Hs分子分母多项式系数
29 %===用双线性变换法转换成数字滤波器
30 [Bz,Az]=bilinear(B,A,Fs);%系统函数Hz的分子分母多项式系数
31
32 %===滤波
33 yt=filter(Bz,Az,st);%st为时域信号
34 yw=fft(yt,N);
35
36 subplot(211)
37 plot(t,yt);grid on
38 xlabel('t/s');ylabel('幅度');title('原信号st通过高通滤波器的结果时域')
39 axis([0,Tp/8,min(st),max(st)])
40 subplot(212)
41 stem(f,abs(yw)/max(abs(yw)),'.');grid on
42 xlabel('f/Hz');ylabel('幅度');title('原信号st通过高通滤波器的结果频域')
43 axis([0,1200,0,1.2])

```

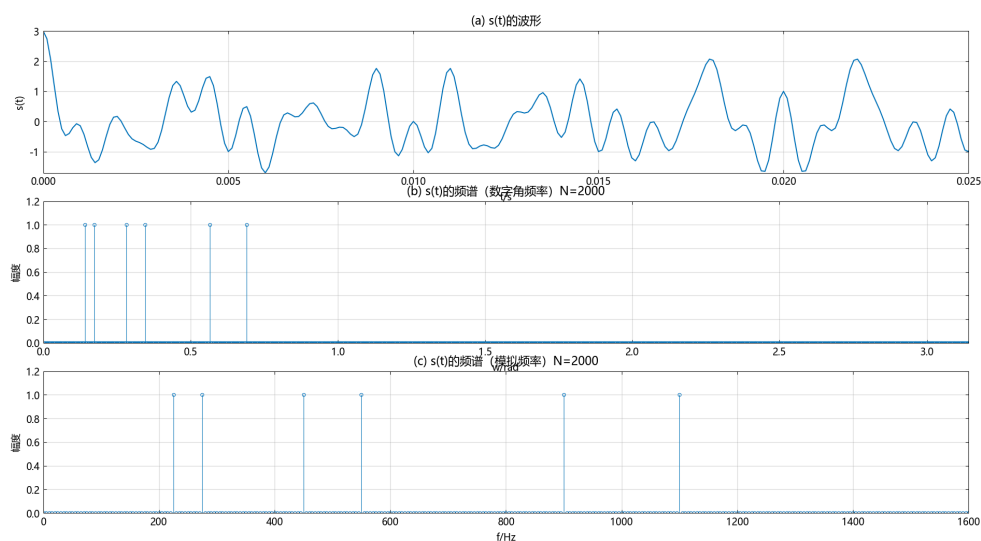


思考题

N=1800时:



N=2000时:



仿真结果如上图所示，可以看到在N=1800时得不到6根理想谱线，在N=2000时得到6根理想谱线。下面是我的理解：

假设原始信号的频率成分为 f_1, f_2, \dots, f_6 ，且这些频率是 F_s 的整数分频，即 $f_i = k_i \cdot F_s / N$ ，其中 k_i 是整数。当N改变时， F_s/N 发生变化，频率分辨率改变，但信号的频率 f_i 保持不变。因此，如果 f_i 不是新的 F_s/N 的整数倍，那么谱线就不会落在FFT的整数倍频率上，从而不会得到理想谱线。

具体来说：对于N=1800，频率分辨率变为 $F_s/1800$ ；对于N=2000，频率分辨率变为 $F_s/2000$ 。如果信号的频率 f_i 不是 $F_s/1800$ 或者 $F_s/2000$ 的整数倍，那么在FFT中，这些频率成分就不会正好落在频域的整数点上，从而导致频谱泄漏，得不到理想的谱线。因此，是否能得到6根理想谱线，取决于信号的频率是否与新的采样点数N兼容，即信号的频率是否是新的 F_s/N 的整数倍。如果信号的频率保持不变，而N改变，除非信号的频率恰好是新的频率分辨率的整数倍，否则无法得到理想谱线。

综上，由于 $F_s=10000\text{Hz}$,

- N=1600时，频率分辨率 $F_s/N=6.25$ ，上面的六个频率分量恰好都是6.25的整数倍，所以能得到6根理想谱线；
- N=1800时，频率分辨率 $F_s/N=5.55$ ，上面的六个频率分量不都是5.55的整数倍，所以不能得到6根理想谱线；

- $N=2000$ 时，频率分辨率 $F_s/N=5$ ，上面的六个频率分量恰好都是5的整数倍，所以能得到6根理想谱线；

遇到的问题

1. 设计巴特沃斯和切比雪夫模拟滤波器的MATLAB函数在Syslab上不兼容，最后使用MATLAB运行出结果

```
1 %===设计巴特沃斯低通模拟滤波器
2 [M,wc]=buttord(wp,ws,rp,rs,'s');%计算滤波器阶数M和3dB截止频率wc
3 [B,A]=butter(M,wc,'s');%计算滤波器系统函数Hs分子分母多项式系数
4
5 %===设计切比雪夫1型低通模拟滤波器
6 [M,wpo]=cheb1ord(wp,ws,rp,rs,'s');%计算滤波器阶数M和切比雪夫1型通带截止频率wpo
7 [B,A]=cheby1(M,rp,wpo,'s');%计算滤波器系统函数Hs分子分母多项式系数
```

2. buttord()和butter()函数中频率的参数都是模拟角频率，在第一次设计数字滤波器时，误将还没有通过双线性变换法的预畸变公式计算的数字角频率带入，导致错误。下面是错误代码

```
1 Fs=3000;T=1/Fs;N=1600;%采样率设置为3000Hz
2 fp=280;fs=450;%低通滤波器的指标
3 wpz=fp*2*pi*T;wsz=fs*2*pi*T;%设计DF要求的数字指标，wpz是数字通带截止频率，wsz是数字阻带截止频率
4 rp=0.1;rs=60;%通带最大衰减和阻带最小衰减(dB)
5 %===设计巴特沃斯低通模拟滤波器
6 [M,wc]=buttord(wpz,wsz,rp,rs,'s');%计算滤波器阶数M和3dB截止频率wc
7 [B,A]=butter(M,wc,'s');%计算滤波器系统函数Hs分子分母多项式系数
```

3. filter()函数中，被滤波的序列应当是时域信号，第一次使用时把频域信号作为函数输入，导致错误。下面是错误代码

```
1 %===滤波
2 y=filter(Bz,Az,fxt);%fxt的位置应当放时域信号st
```

4. freqz()是用来由系统函数 $H(z)$ 来求频率响应的函数，第一次使用时不知道输出参数h和wz有相应的匹配关系，导致画h的幅频特性时找不到频率

```
1 %===把Z域系统函数转换成频率响应
2 [h,wz]=freqz(Bz,Az,N);%N是在Z域单位圆上的采样点数，wz是[0,pi]区间内的N个频率等分点，h是wz对应的频率响应值
```

5. 损耗函数画错，数字角频率没有归一化，abs(h)没有与最大值作比值，下面是错误代码

```
1 %===损耗函数曲线
2 plot(wz,20*log10(abs(h)));grid on
3 xlabel('w');ylabel('幅度/dB');title('低通巴特沃斯数字滤波器损耗函数曲线')
```

6. 最后一个问题是我做完思考题后发现的，在任务三中为了实现滤波器，我把采样频率从10000Hz改成3000Hz，却没有相应的改采样点数N，导致信号的频率分量不是频率分辨率 F_s/N 的整数倍，那么在FFT中，这些频率成分就不会正好落在频域的整数点上，从而导致频谱泄漏。所以在 $F_s=3000$ 时，N可以取3000，频率分辨率 $F_s/N=1$ 。从而错误代码和结果如下：

```
1 %experiment3_3_1
2 %用低通滤波器选出原信号st中以250Hz为载频，50Hz为带宽的分量
3 %===原始信号st
4 N=1600; %N为信号st的长度。
5 Fs=3000; T=1/Fs; Tp=N*T; %采样频率Fs=3000Hz，Tp为采样时间
6 %===下面的代码正确，在此处省略，详细代码在任务三
```

