《数字信号处理》课程设计

周子涵

2018011218014

《数字信号处理》课程设计

某雷达系统接收机框架如图 1 所示。

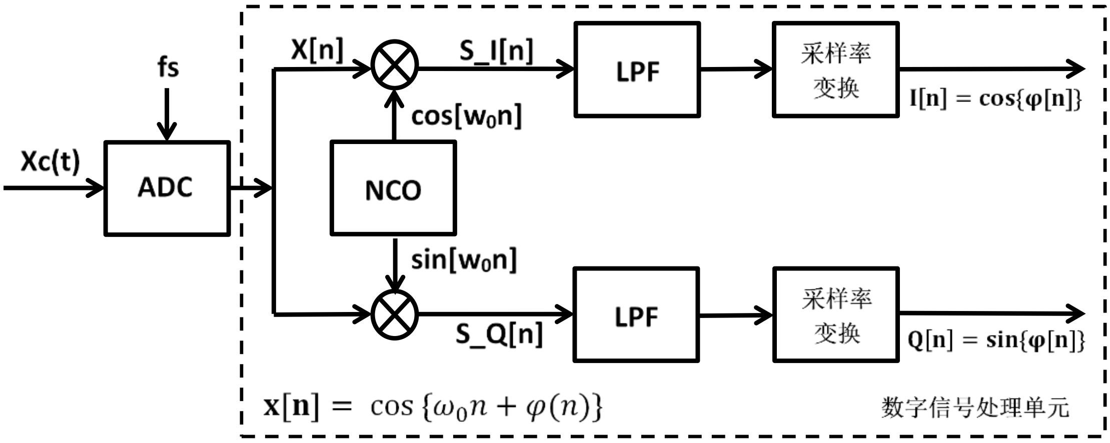


图 1　接收机原理框架

接收机输入 LFM 信号可描述为

$$x_c(t) = \sin\{2\pi(f_0 - \frac{B}{2})t + \pi\frac{B}{T}t^2\},\ 0 \le \mathrm{t} \le \mathrm{T}$$

其中，接收信号中心频率f_0=(学号后两位数+120) MHz，调制带宽 B=10MHz，时宽 T=50us，信号谱示意图如图 2。输出基带信号 I[n]、Q[n]数据率(采样率)为 12MHz

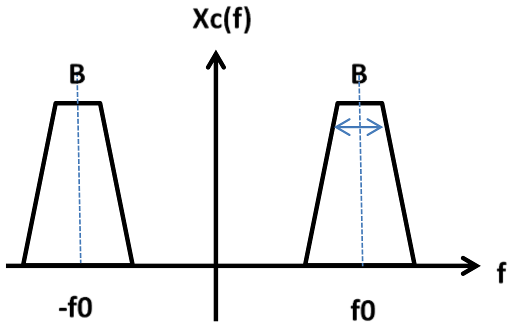


图 2　接收信号参数

1.　设计 ADC 的采样率 fs(低通采样或带通采样均可)，给出设计分析过程，并给出中频 LFM 采样序列 x[n]的时域和频谱仿真结果。

采用低通采样

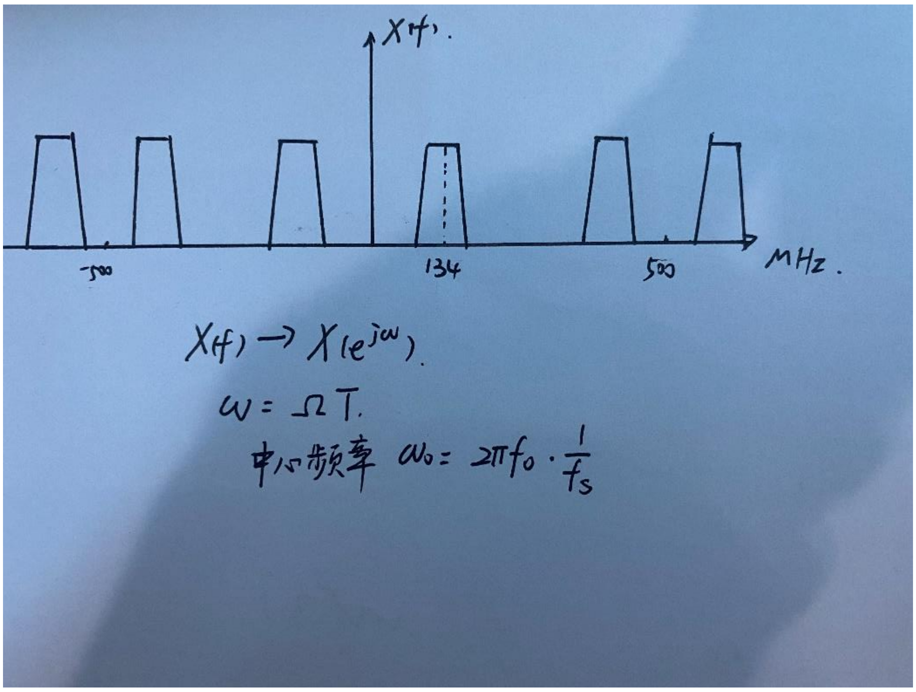
Xc(f)的截止频率为 fc=134+5=139MHz

根据奈奎斯特采样定理

采样率 fs⩾2fc=278MHz

所以设计采样率为 500MHz

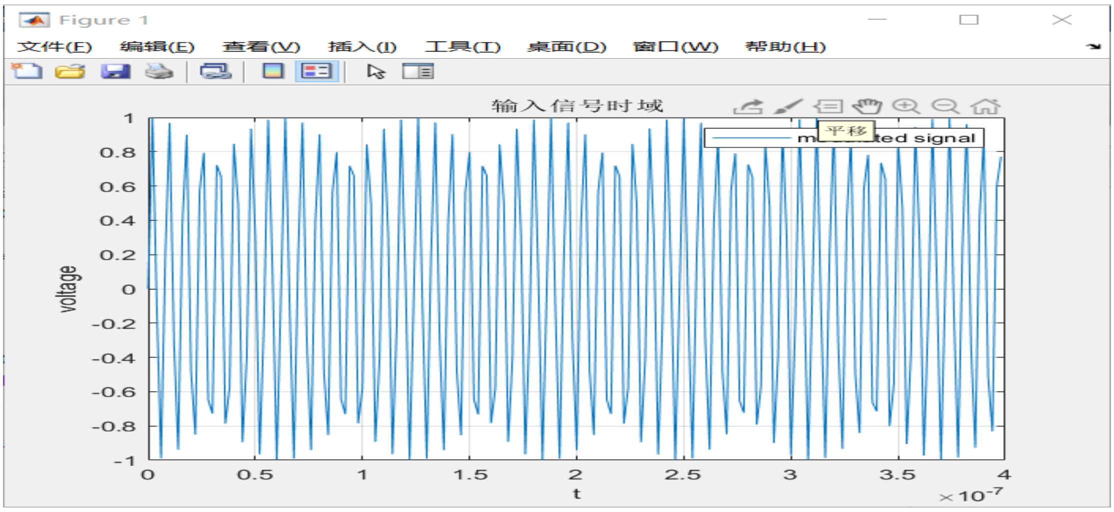
草图如下：

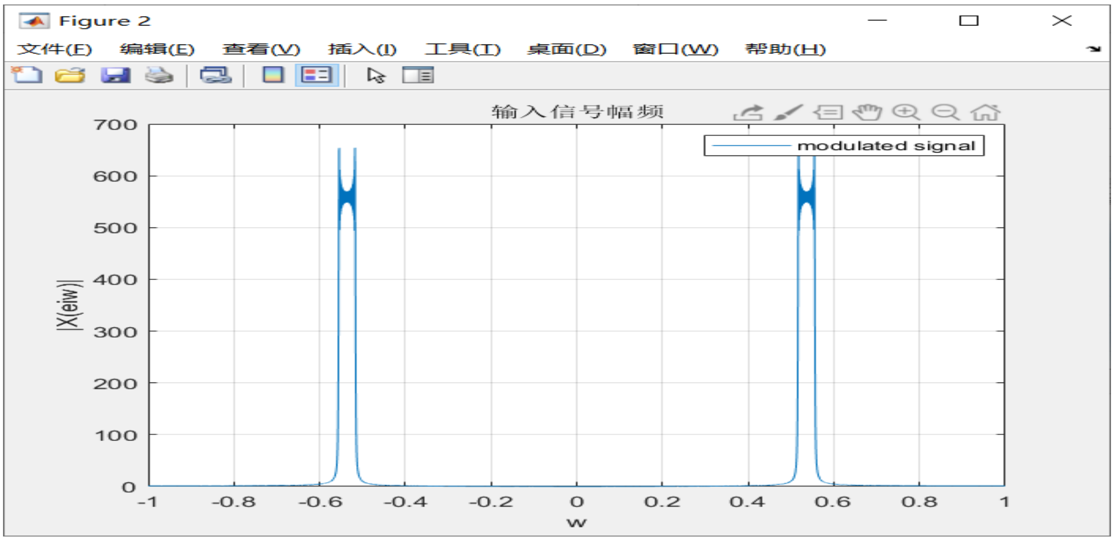


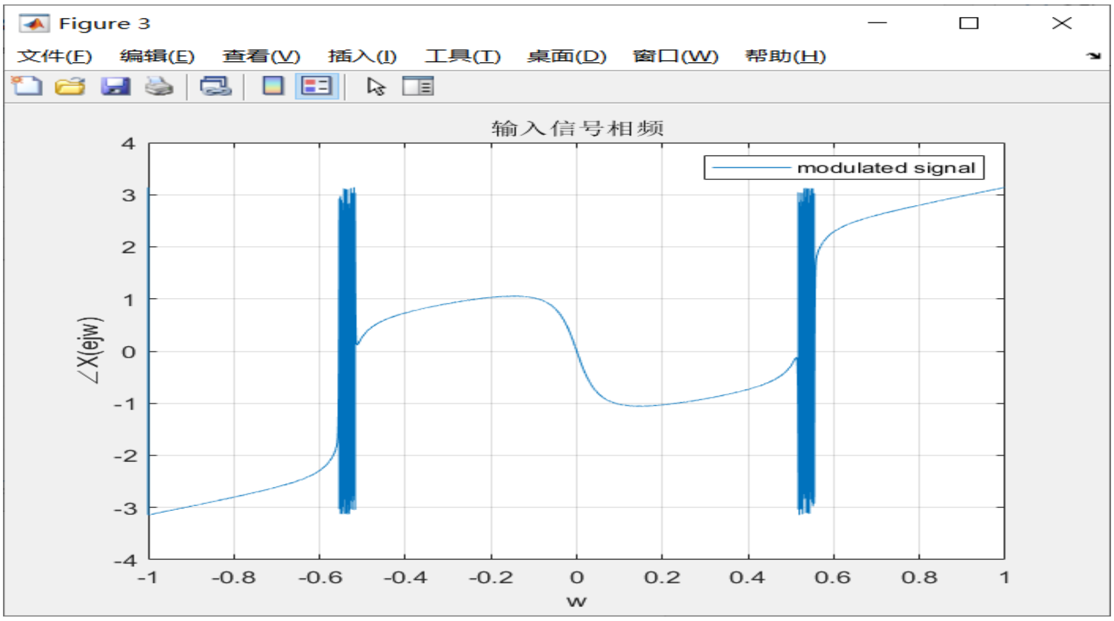
设计代码如下:

```
clear;clc;clf;

f0 = 134000000;
B = 10000000;

n0 = 25000;
sprate = 500000000;
t0 = n0/sprate;
fc = 139000000;

t = linspace(0,t0,n0);
ipsig = sin((2*pi*(f0-B/2)*t)+(pi*(B/t0)*t.*t));

figure(1);

plot(t(1:250),ipsig(1:250));
title('输入信号时域');
xlabel('t');ylabel('voltage');
grid on;
legend('modulated signal');

figure(2);

w = linspace(-1,1,n0);
plot(w,(20*log10(fftshift(abs(fft(ipsig))))));
title('输入信号幅频');
xlabel('w');ylabel('|X(eiw)|');
grid on;
legend('modulated signal');

figure(3);

plot(w,(20*log10(fftshift(angle(fft(ipsig))))));
title('输入信号相频');
xlabel('w');ylabel('∠X(ejw)');
grid on;
```

得到的时域和频谱图如下:



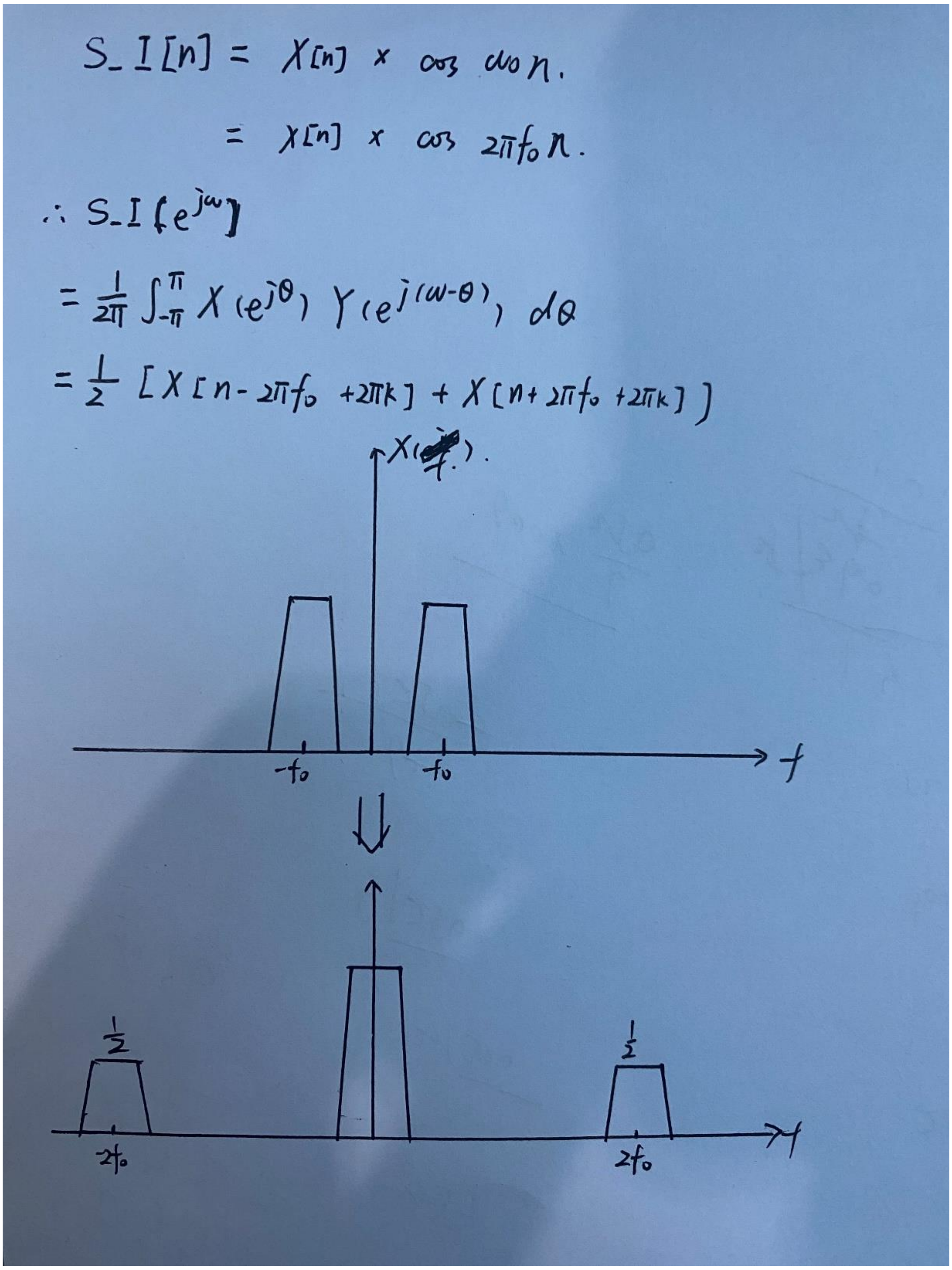




图中，中心频率为 0.536×500MHz/2=134MHz

2. 给出正交解调器输出 S_I[n]和 S_Q[n]的时域和频谱频谱仿真结果；若要将信号谱搬移到零中频，确定 NCO 频率 W0 的计算方法及结果。

设计草图如下：



同理，对 S_Q 也是如此

设计代码如下：

```
ipsig = sin((2*pi*(f0-B/2)*t)+(pi*(B/t0)*t.*t));
w = linspace(-1,1,n0);
SI = ipsig.*cos(2*pi*f0*t);
figure(1);
subplot(3,1,1);
plot(t(1:250),SI(1:250));
title('SI时域');
xlabel('t');ylabel('voltage');
grid on;
legend('modulated signal');

figure(1);
subplot(3,1,2);
plot(w,fftshift(abs(fft(SI))));
title('SI幅频');
xlabel('w');ylabel('|X(eiw)|');
grid on;
legend('modulated signal');

figure(1);
subplot(3,1,3);
plot(w,fftshift(angle(fft(SI))));
title('SI相频');
xlabel('w');ylabel('∠X(ejw)');
grid on;
legend('modulated signal');


SQ = ipsig.*sin(2*pi*f0*t);
figure(2);
subplot(3,1,1);
plot(t(1:250),SQ(1:250));
title('SQ时域');
xlabel('t');ylabel('voltage');
grid on;
legend('modulated signal');

figure(2);
subplot(3,1,2);
plot(w,fftshift(abs(fft(SQ))));
title('SQ幅频');
xlabel('w');ylabel('|X(eiw)|');
grid on;
legend('modulated signal');

figure(2);
subplot(3,1,3);
plot(w,fftshift(angle(fft(SQ))));
title('SQ相频');
xlabel('w');ylabel('∠X(ejw)');
grid on;
```

得到的仿真结果如下:

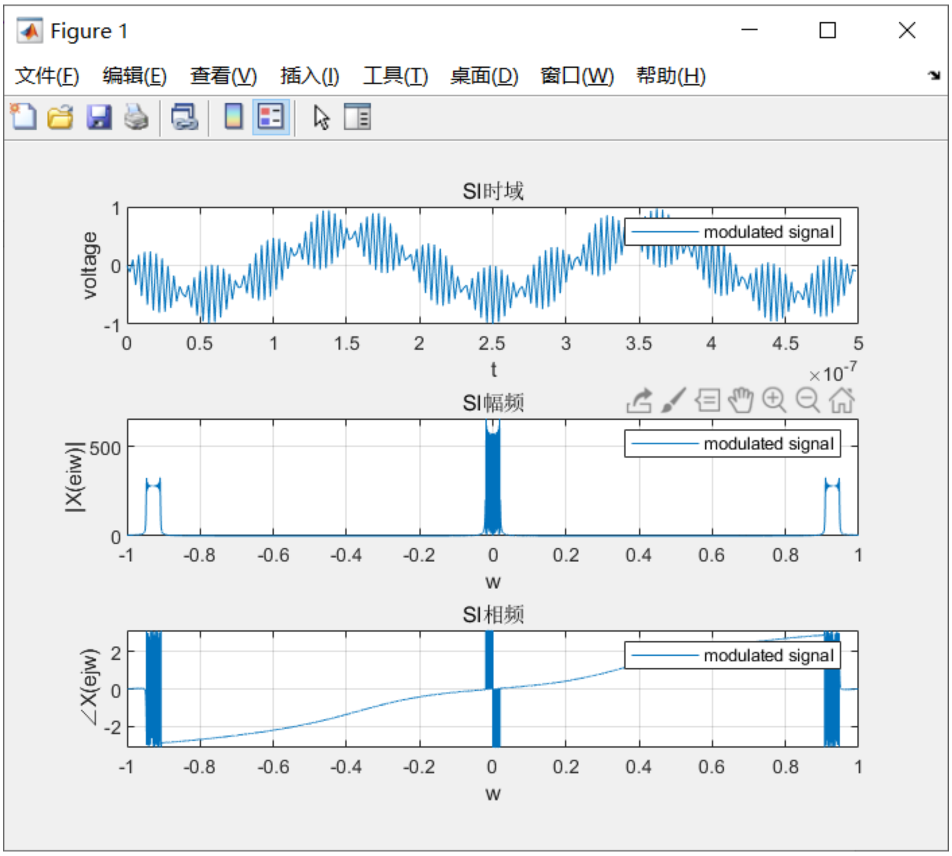


Figure 1
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 插入(I) 工具(T) 桌面(D) 窗口(W) 帮助(H)
SI时域
voltage
modulated signal
t
×10-7
SI幅频
|X(ejw)|
w
SI相频
∠X(ejw)

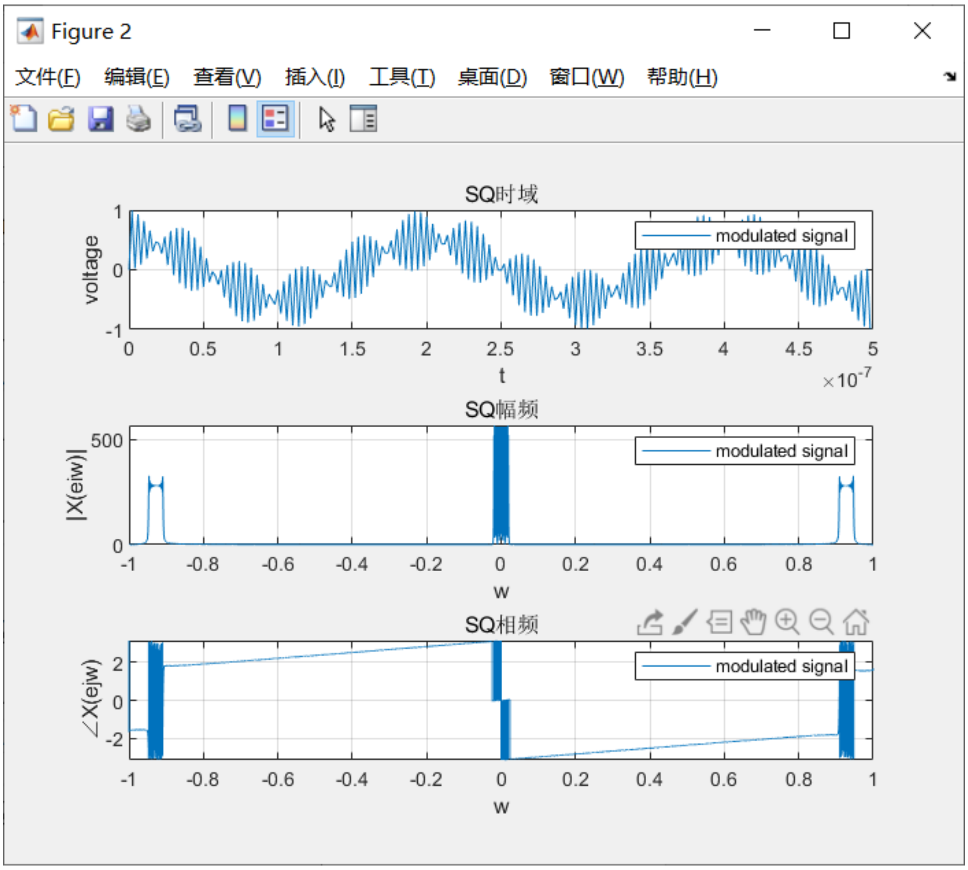


Figure 2
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 插入(I) 工具(T) 桌面(D) 窗口(W) 帮助(H)
SQ时域
voltage
modulated signal
t
×10-7
SQ幅频
|X(ejw)|
w
SQ相频
∠X(ejw)

要将信号谱搬移到零中频，w0 应该设计为：

$\omega = \Omega T$

$= 2\pi f0 \times 1/fs$

$= 2\pi\times134\times1/500$

$= 67/125\pi$

3. 设计一个 FIR 线性相位 LPF 对正交解调器输出进行滤波，要求谐波抑制超过 60dB，确定滤波器设计指标(如截至频率等)；给出滤波器设计过程及频响仿真(幅频、相频和群延迟)结果；给出 S_I[n]和 S_Q[n]经低通滤波后输出信号的时域和频谱仿真结果。

采用 Kaiser 窗进行滤波

由频谱图可以看出，在 0.9×500/2 = 225MHz 左右需进行滤波，

因此，首先给出滤波器设计指标：

通带频率设计为 110MHz，阻带频率设计为 185MHz，

因此设计 $\omega p = 0.44\pi$，$\omega st = 0.74\pi$，$\delta = 0.001$，

所以基本理想低通滤波器的截止频率为 $\omega c = \omega p+\omega st/2 = 0.59\pi$，

计算 $\Delta\omega = \omega st-\omega p = 0.3\pi$，$A = -20\lg\delta = 60$，

根据公式 $\beta = 0.1102\ (A-8.7)$，$M = A-8/2.285\Delta\omega$；

可以计算出 $\beta = 5.653$，$M = 24.146$；

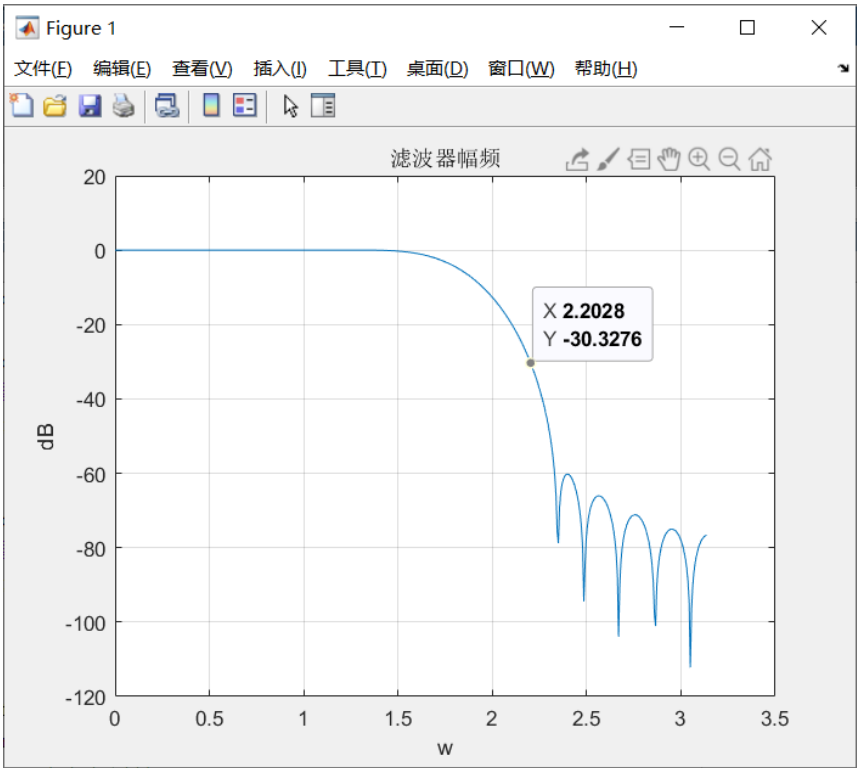
所以取 M = 25

根据设计参数可设计出滤波器

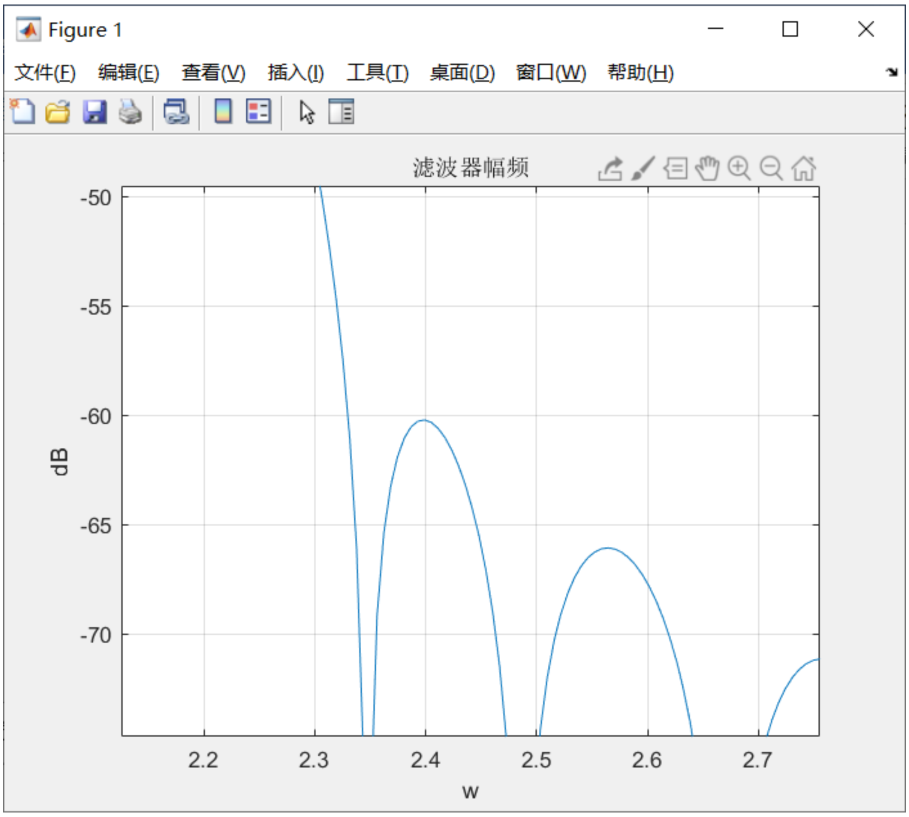
滤波器设计代码如下：

```
window = kaiser(25,5.653);
b = fir1(24,0.59,window);
[H,W] = freqz(b,1);
figure(1);
plot(W,20*log10(abs(H)));
title('滤波器幅频');
xlabel('w');ylabel('dB');
grid on;
figure(2);
plot(W,20*log10(angle(H)));
title('滤波器相频');
xlabel('w');ylabel('dB');
grid on;

%群延时
grd = -1*diff(angle(H));
grd = padarray(grd,[1 0],'replicate','post') ;
% ee = linspace(-1,1,511);
figure(3);
plot(W,20*log10(grd));
title('群延时');
xlabel('w');ylabel('dB');
grid on;
```

得到的仿真结果如下:



放大图如下:



相频:

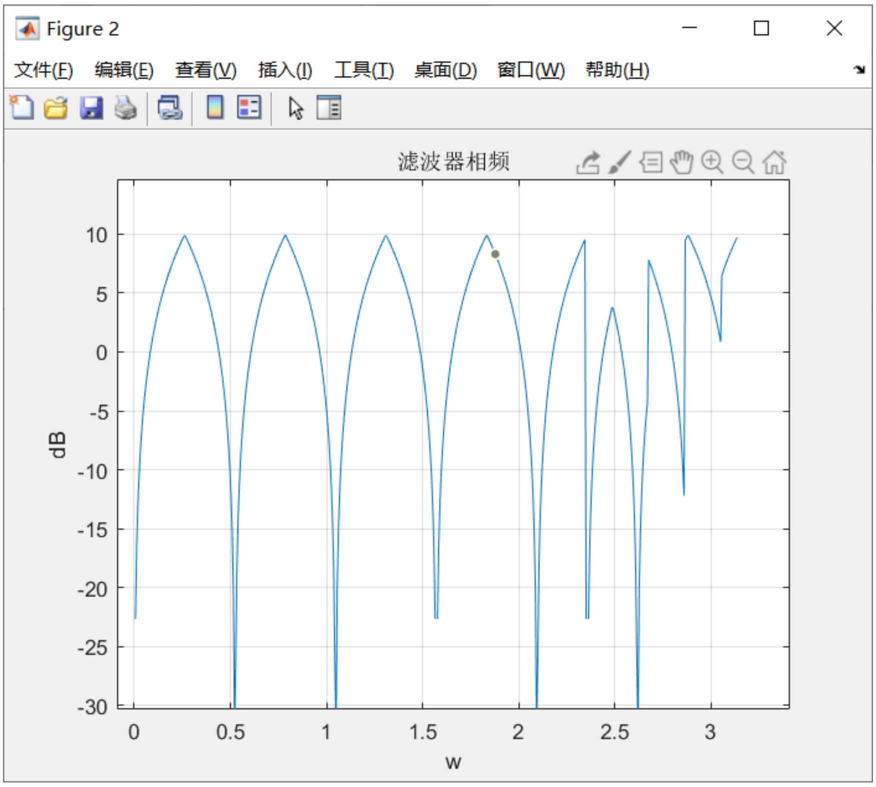


Figure 2
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 插入(I) 工具(T) 桌面(D) 窗口(W) 帮助(H)
滤波器相频
dB
w
10
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3

群延时:

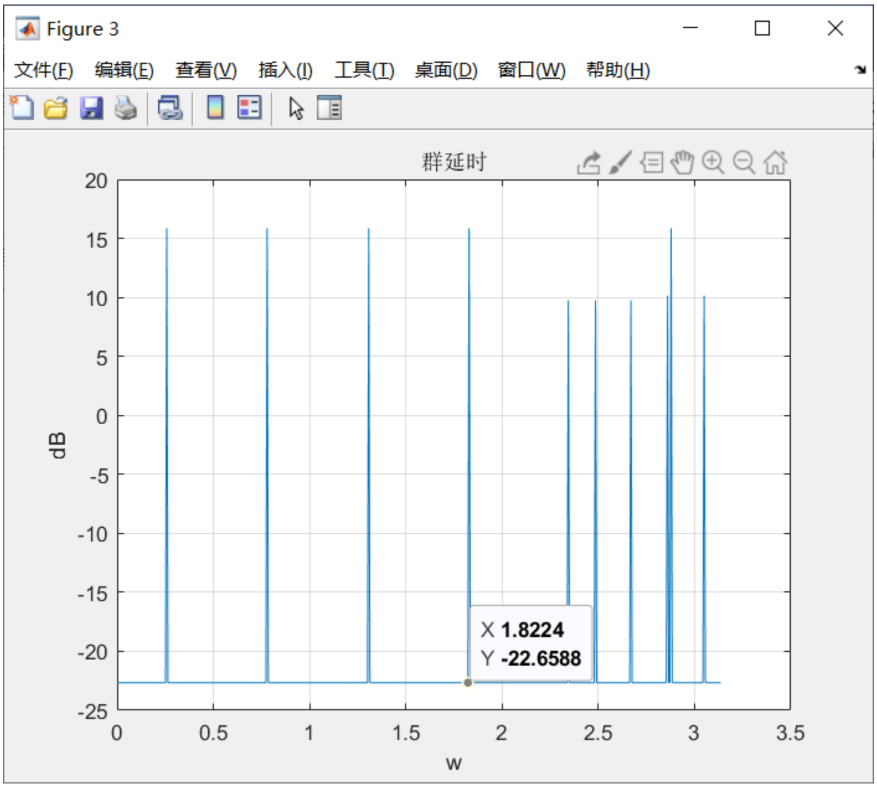


Figure 3
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 插入(I) 工具(T) 桌面(D) 窗口(W) 帮助(H)
群延时
dB
w
X 1.8224
Y -22.6588
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5

低通滤波的代码如下:

```
%I
y1 = fftfilt(b,SI);
figure(4);

plot(t(1:1000),y1(1:1000));
title('SI滤波后时域');
xlabel('t');ylabel('voltage');
grid on;
legend('modulated signal');

figure(5);

plot(w,fftshift(abs(fft(y1))));
title('SI滤波后幅频');
xlabel('w');ylabel('|X(eiw)|');
grid on;
legend('modulated signal');

%Q
y2 = fftfilt(b,SQ);
figure(7);

plot(t(1:1000),y1(1:1000));
title('SQ滤波后时域');
xlabel('t');ylabel('voltage');
grid on;
legend('modulated signal');

figure(8);

plot(w,fftshift(abs(fft(y2))));
title('SQ滤波后幅频');
xlabel('w');ylabel('|X(eiw)|');
grid on;
legend('modulated signal');
```

得到的仿真如下:

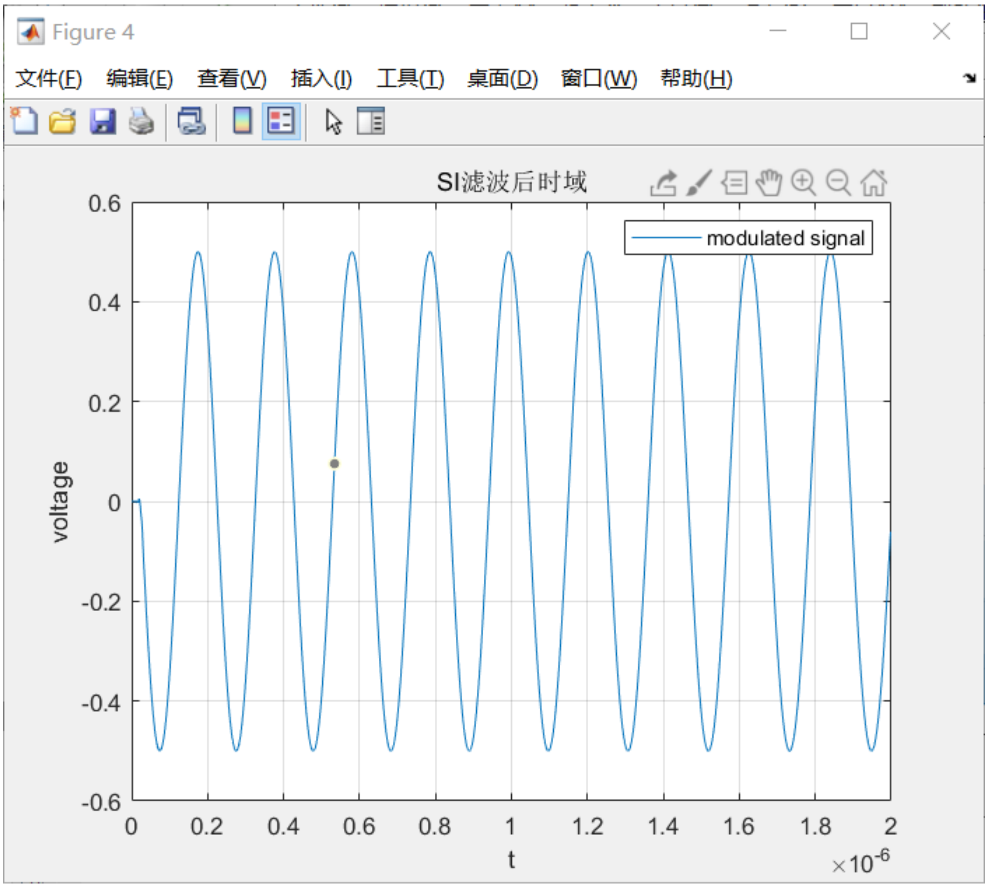


Figure 4
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 插入(I) 工具(T) 桌面(D) 窗口(W) 帮助(H)
SI滤波后时域
modulated signal
voltage
t
×10^-6
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4 1.6 1.8 2

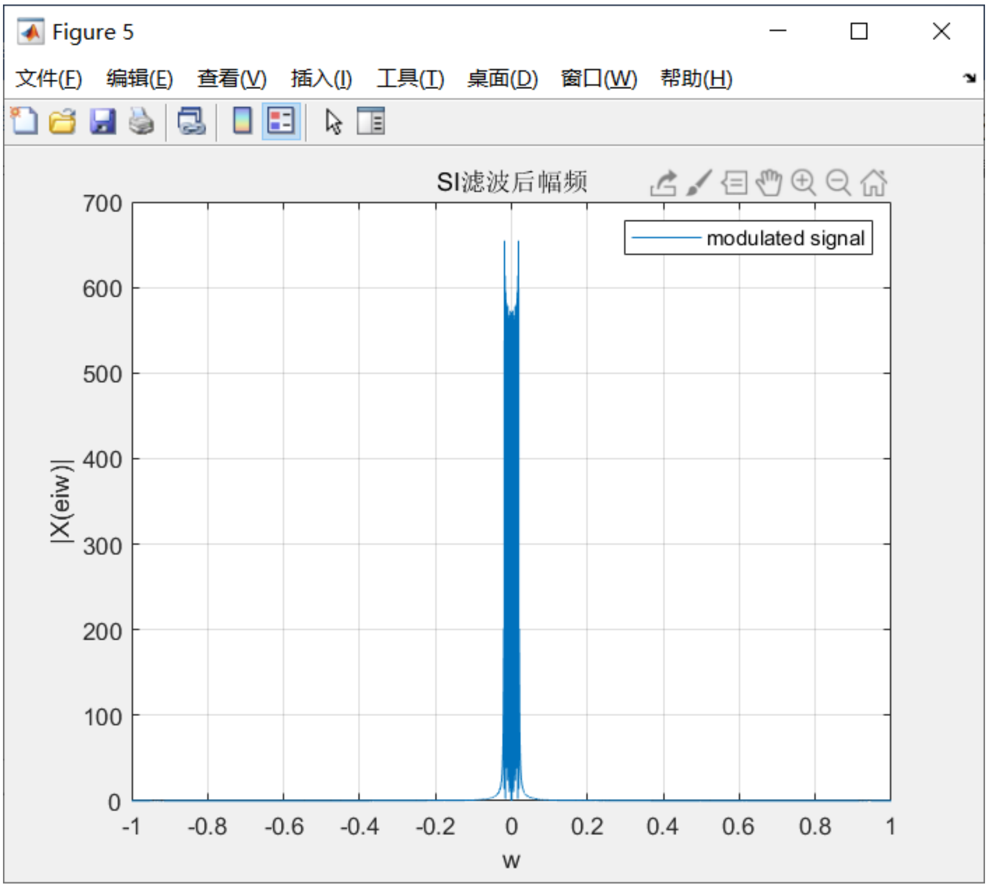


Figure 5
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 插入(I) 工具(T) 桌面(D) 窗口(W) 帮助(H)
SI滤波后幅频
modulated signal
|X(eiw)|
w
700
600
500
400
300
200
100
0
-1 -0.8 -0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6 0.8 1

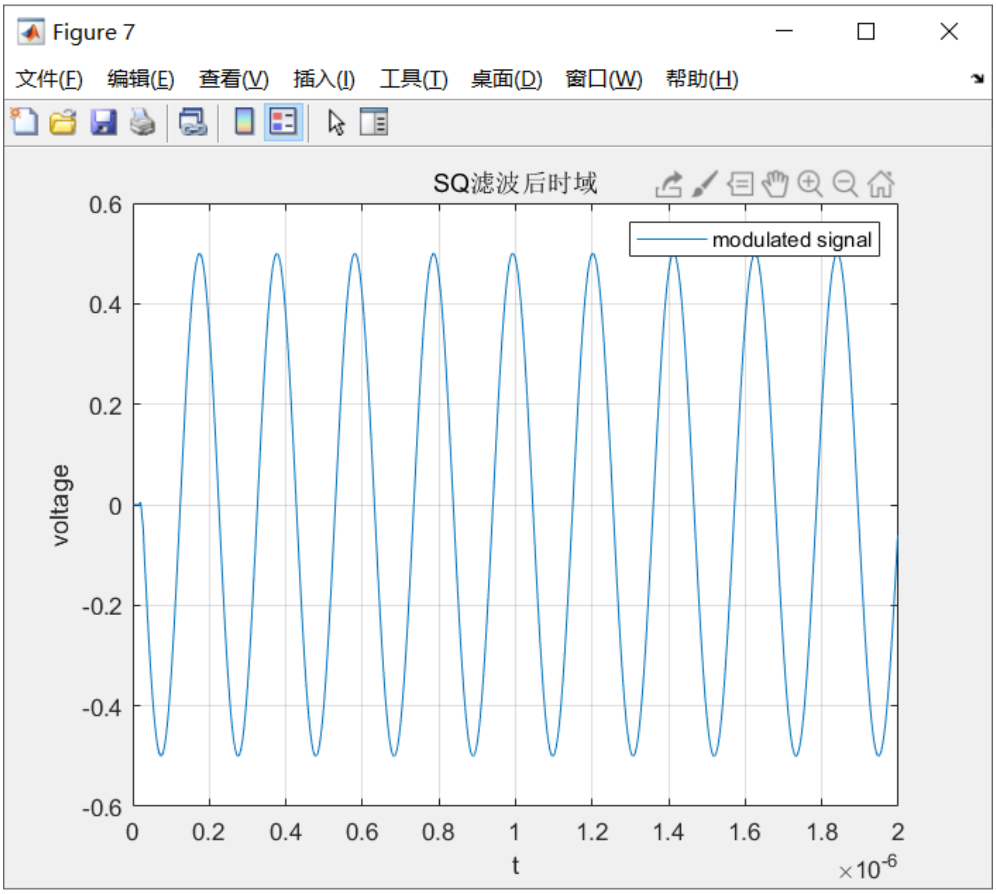


Figure 7
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 插入(I) 工具(T) 桌面(D) 窗口(W) 帮助(H)
SQ滤波后时域
modulated signal
voltage
t
$\times 10^{-6}$
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4 1.6 1.8 2

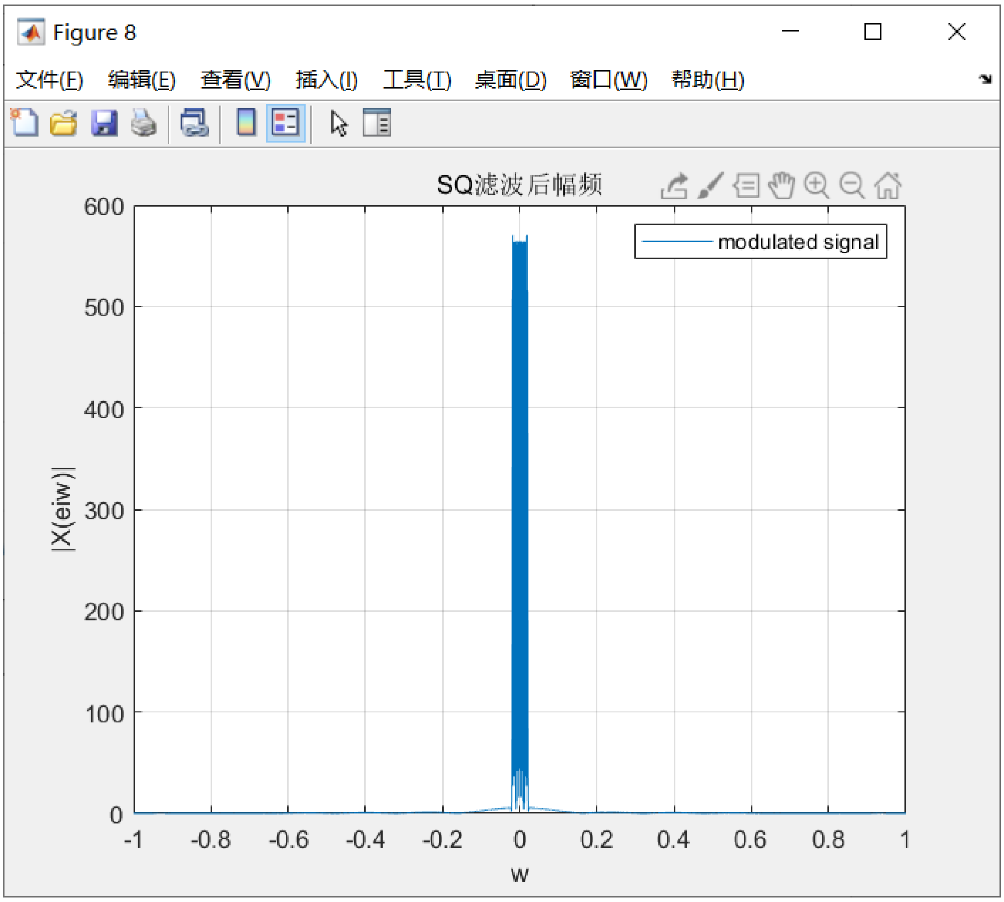


Figure 8
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 插入(I) 工具(T) 桌面(D) 窗口(W) 帮助(H)
SQ滤波后幅频
modulated signal
|X(eiw)|
w
600
500
400
300
200
100
0
-1 -0.8 -0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6 0.8 1

4.　确定采样率变换模块的参数(抽取或内插系数)，给出输出基带 I、Q 信号的时域和频谱仿真结果(注：基带频谱使用 I[n]+jQ[n]的复信号分析)。

新的采样率为 12MHz，所以应该先经过 3 倍的增采样，再经过 125 倍的减采样，得到 I[n]和 Q[n]。

改变采样率的代码如下:

```
t1 = linspace(0,t0,600);
w1 = linspace(-1,1,600);

figure(1);
plot(t1(1:50),SII(1:50));
title('改变采样率后SI时域');
figure(2);
plot(w1(1:600),20*log10(fftshift(abs(fft(SII)))));
title('改变采样率后SI幅频');
figure(3);
plot(w1(1:600),20*log10(fftshift(angle(fft(SII)))));
title('改变采样率后SI相频');

figure(4);
plot(t1(1:50),SQQ(1:50));
title('改变采样率后SQ时域');
figure(5);
plot(w1(1:600),20*log10(fftshift(abs(fft(SQQ)))));
title('改变采样率后SQ幅频');
figure(6);
plot(w1(1:600),20*log10(fftshift(angle(fft(SQQ)))));
title('改变采样率后SQ相频');
```

得到的仿真结果如下:

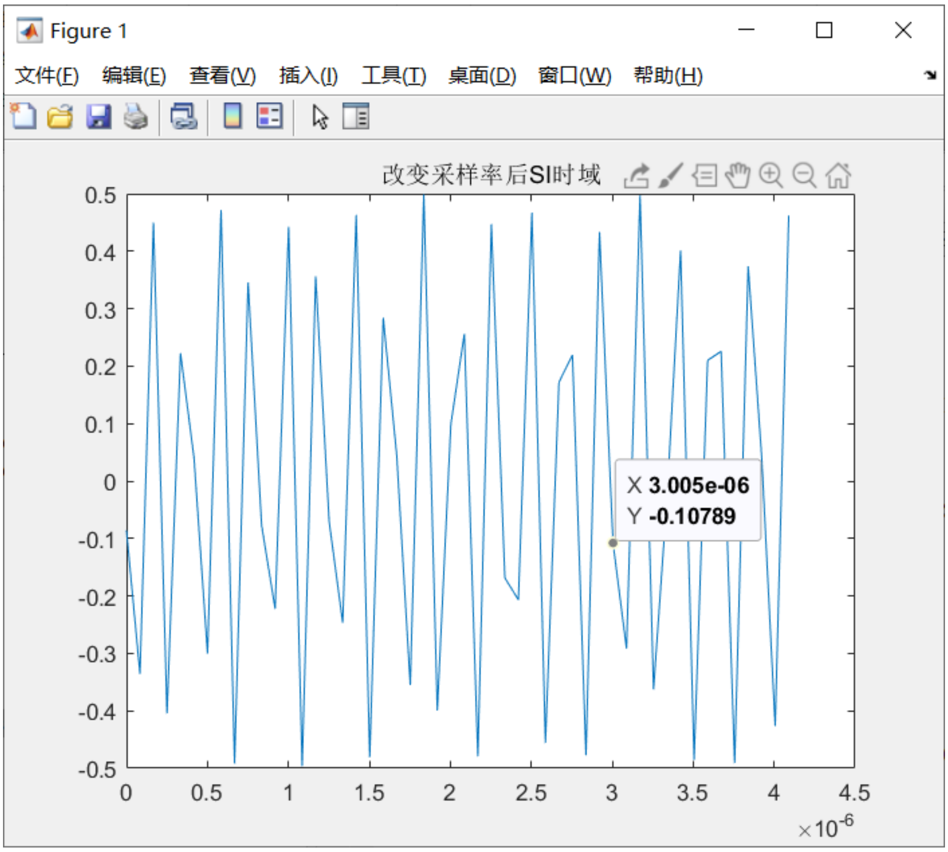


Figure 1
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 插入(I) 工具(T) 桌面(D) 窗口(W) 帮助(H)
改变采样率后SI时域
X 3.005e-06
Y -0.10789
×10-6

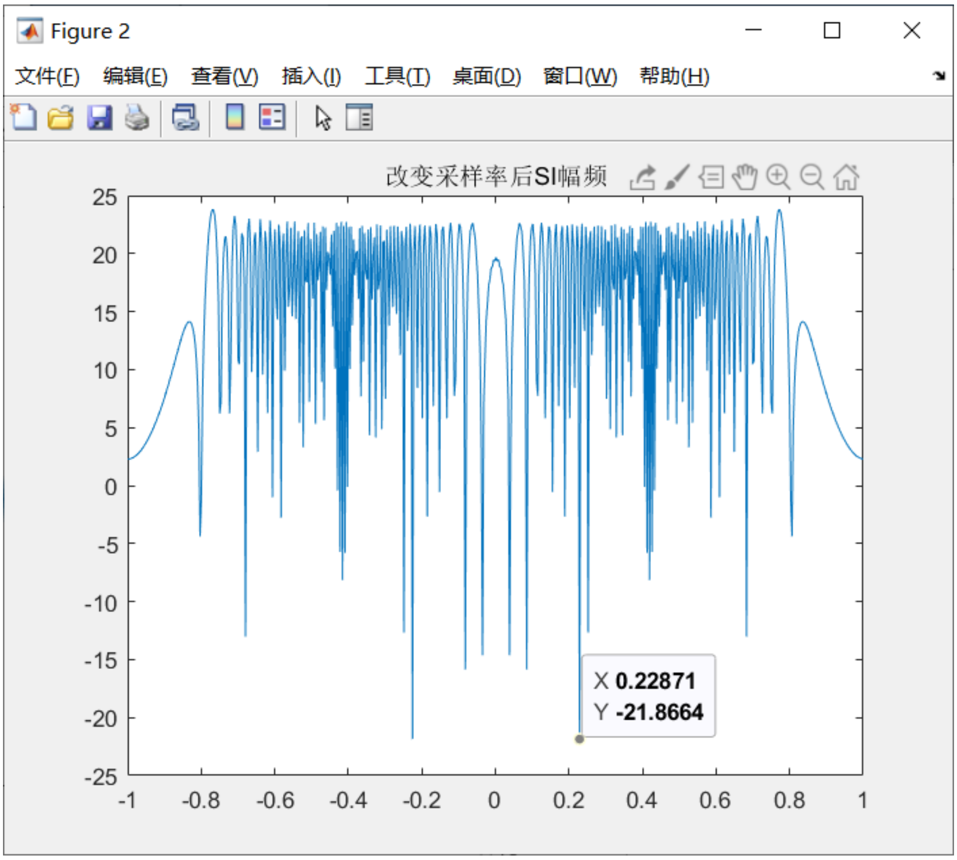


Figure 2
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 插入(I) 工具(T) 桌面(D) 窗口(W) 帮助(H)
改变采样率后SI幅频
X 0.22871
Y -21.8664

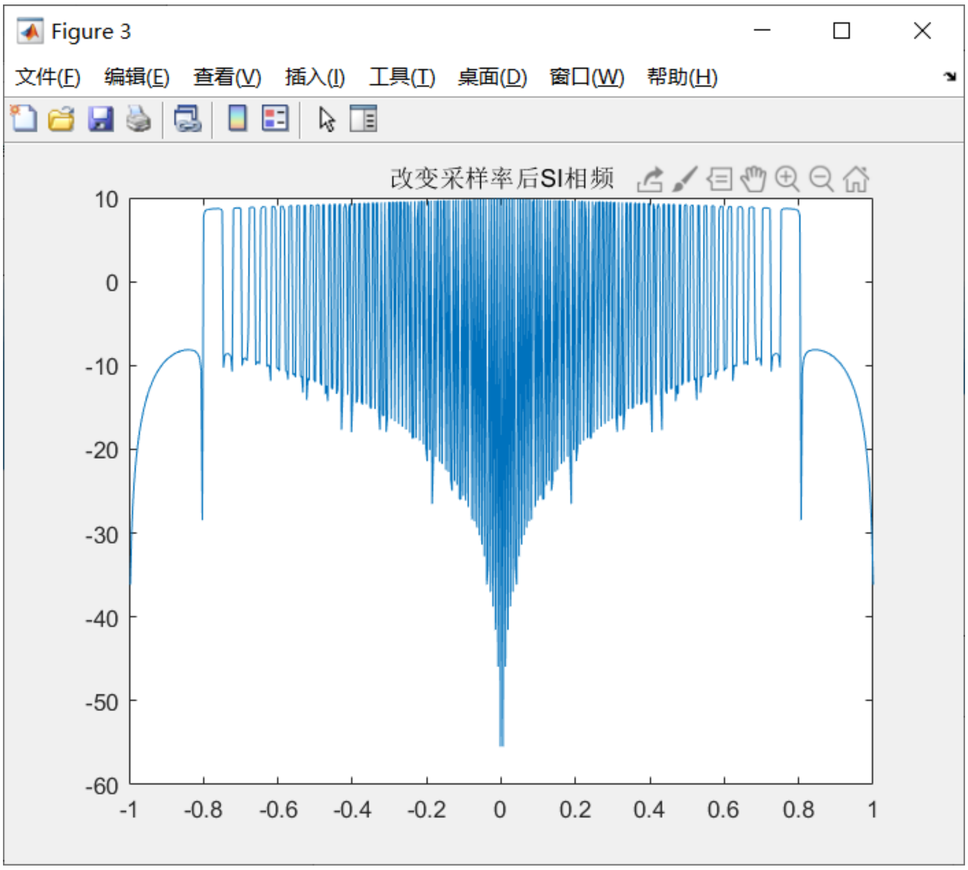


Figure 3
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 插入(I) 工具(T) 桌面(D) 窗口(W) 帮助(H)
改变采样率后SI相频
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-1
-0.8
-0.6
-0.4
-0.2
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1

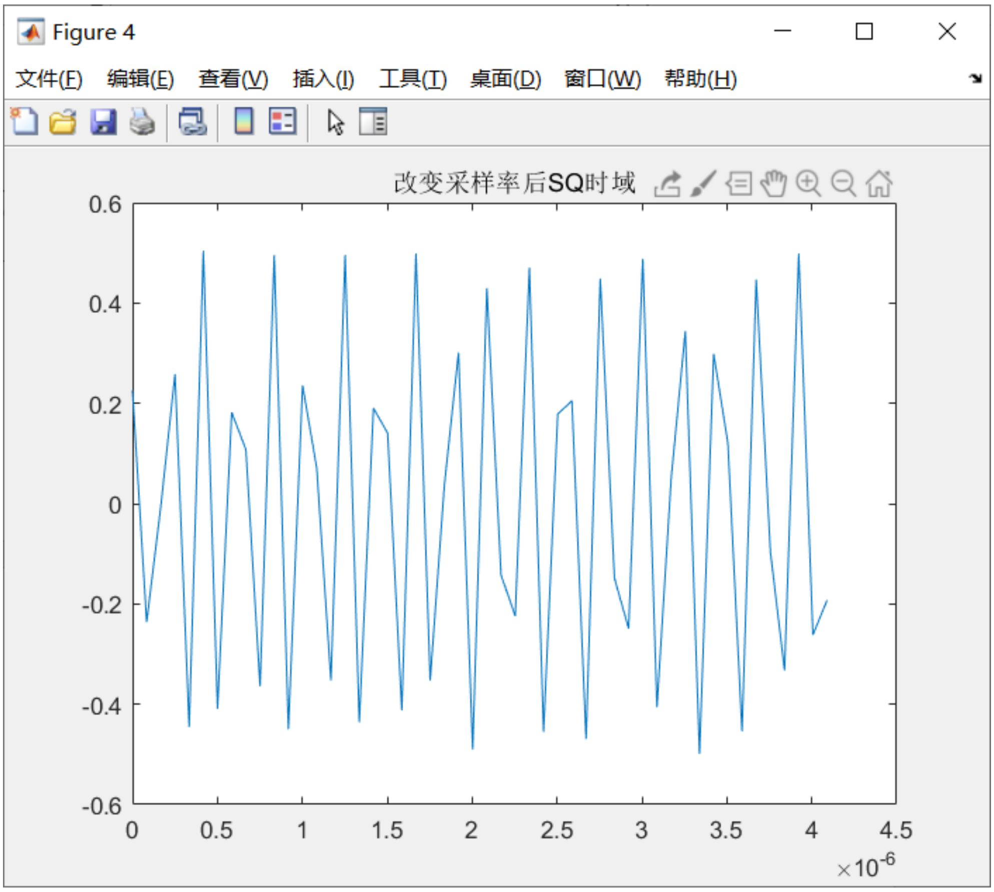
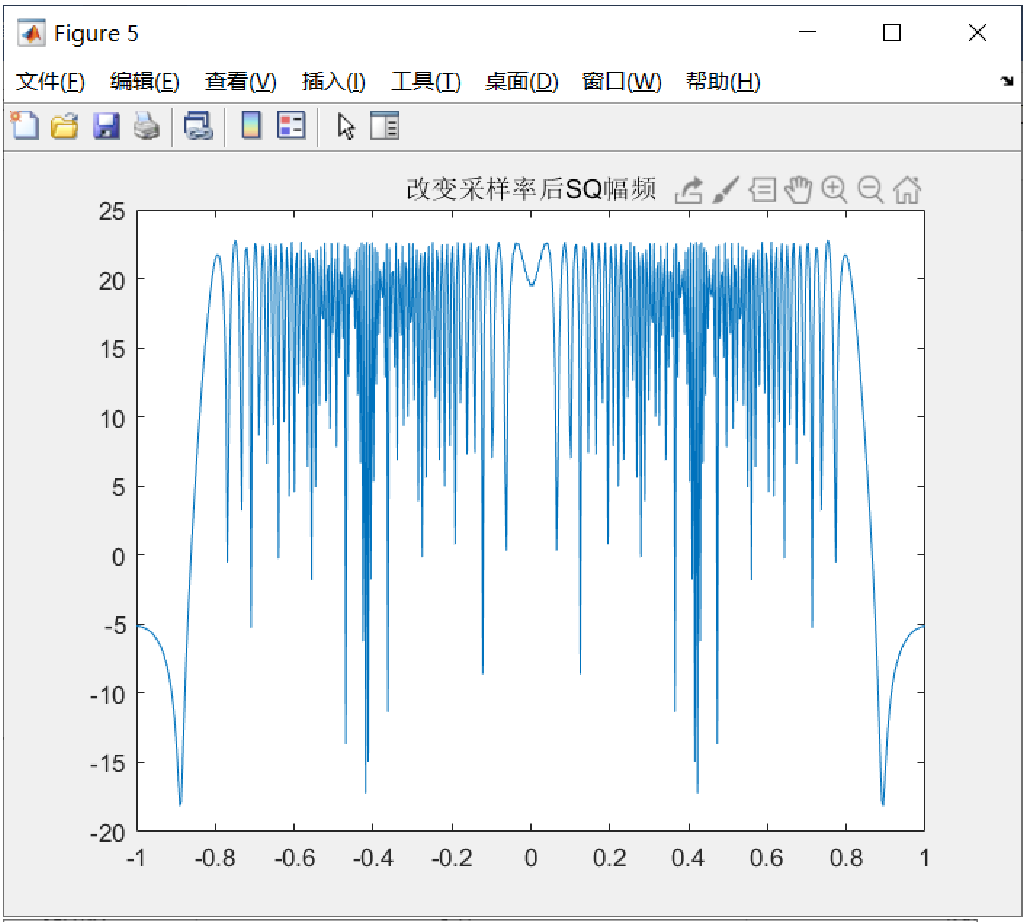
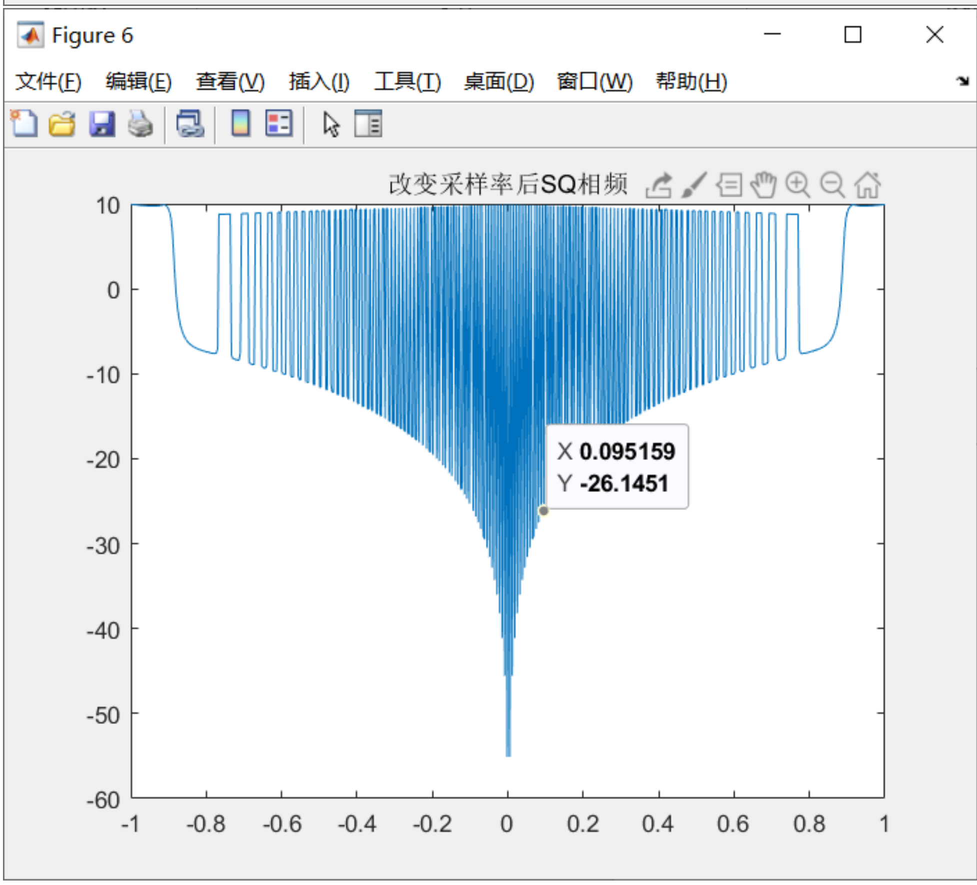


Figure 4
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 插入(I) 工具(T) 桌面(D) 窗口(W) 帮助(H)
改变采样率后SQ时域
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
4.5
×10-6





使用 I[n]+jQ[n]的复兴号分析:

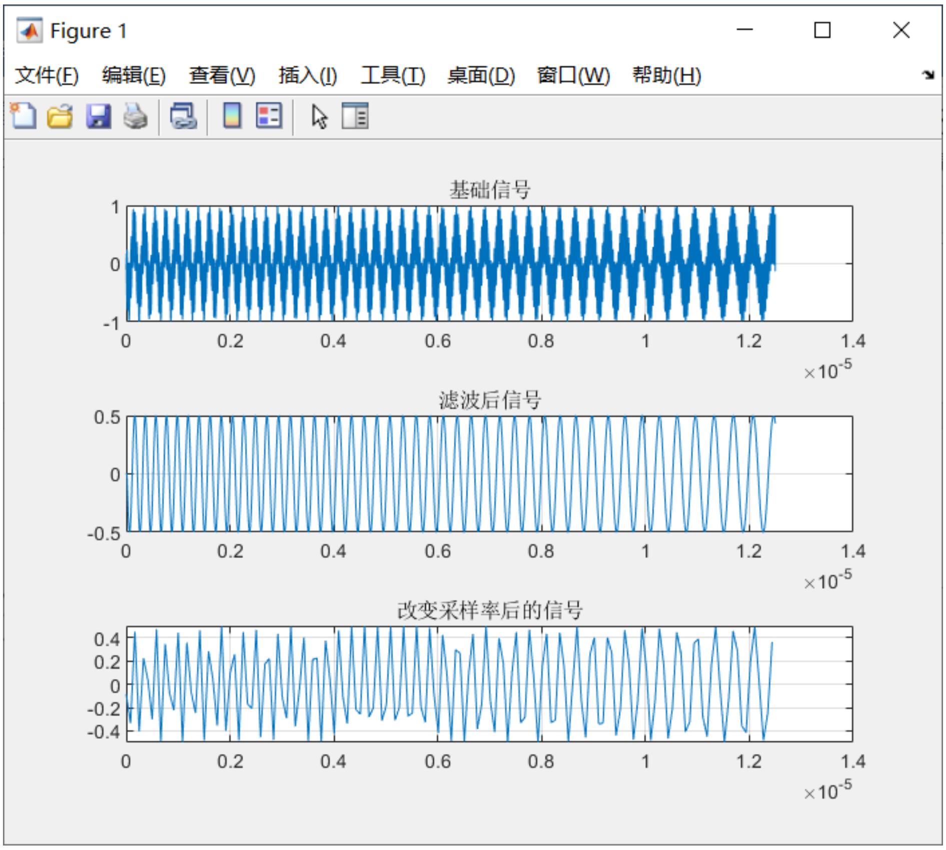


Figure 1
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 插入(I) 工具(T) 桌面(D) 窗口(W) 帮助(H)
基础信号
滤波后信号
改变采样率后的信号

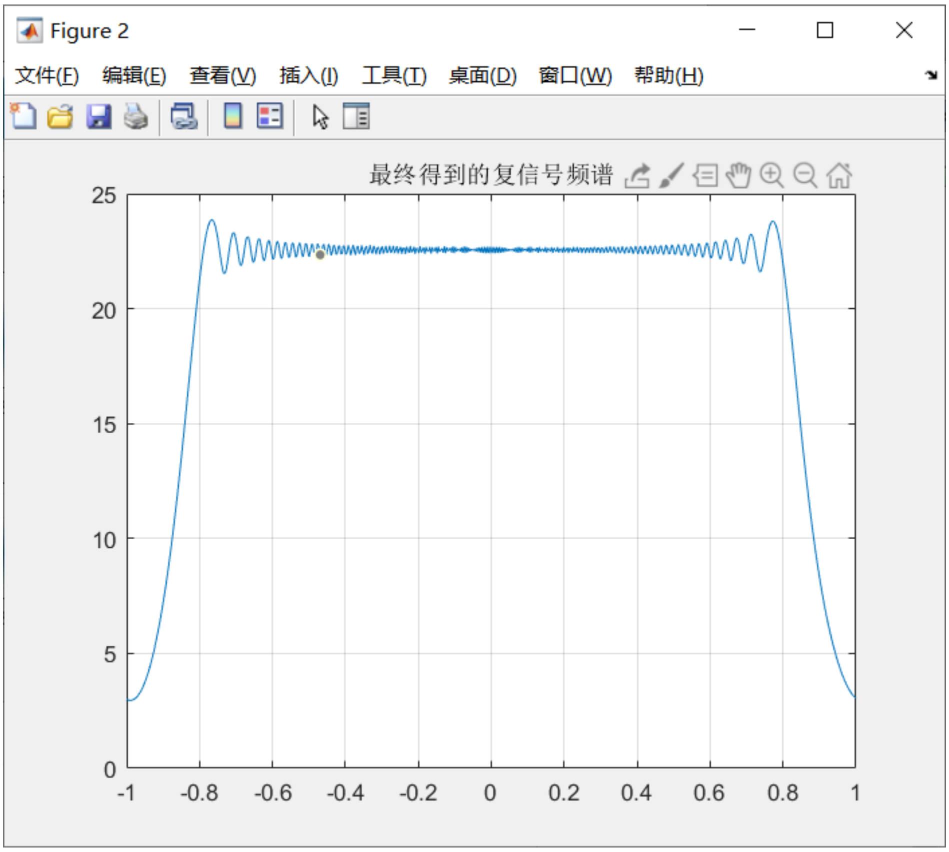


Figure 2
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 插入(I) 工具(T) 桌面(D) 窗口(W) 帮助(H)
最终得到的复信号频谱