

使用 MATLAB 仿真

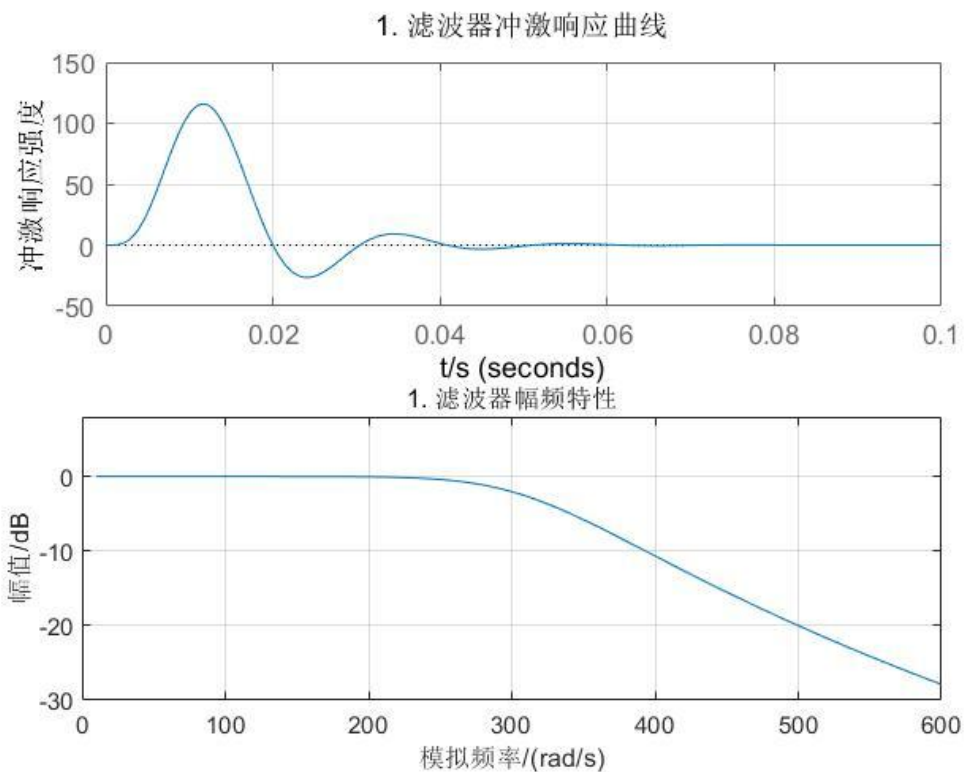
第一问

代码：

```
clear;
clc;

%1.
[n,wn]=buttord(300,500,3,20,'s');%计算滤波器阶数
[b a]=butter(n,wn,'low','s');
g=tf(b,a);
figure;
subplot(2,1,1);
impz(g); %画脉冲响应
xlim([0 0.1]);
title('1. 滤波器冲激响应曲线');
ylabel('冲激响应强度');
xlabel('t/s');
grid on;
subplot(2,1,2);
[h,w]=freqz(b,a,1000);
plot(w,20*log10(abs(h))); %画滤波器幅频特性
axis([0 600 -30 8]);
title('1. 滤波器幅频特性');
ylabel('幅值/dB');
xlabel('模拟频率/(rad/s)');
grid on;
```

运行截图：



第一行为滤波器的冲激响应曲线

第二行为滤波器的幅频特性

由幅频特性曲线可以观察到，巴特沃斯模拟滤波器在通带内几乎无衰减，阻带较为平滑的衰减

第二问

代码：

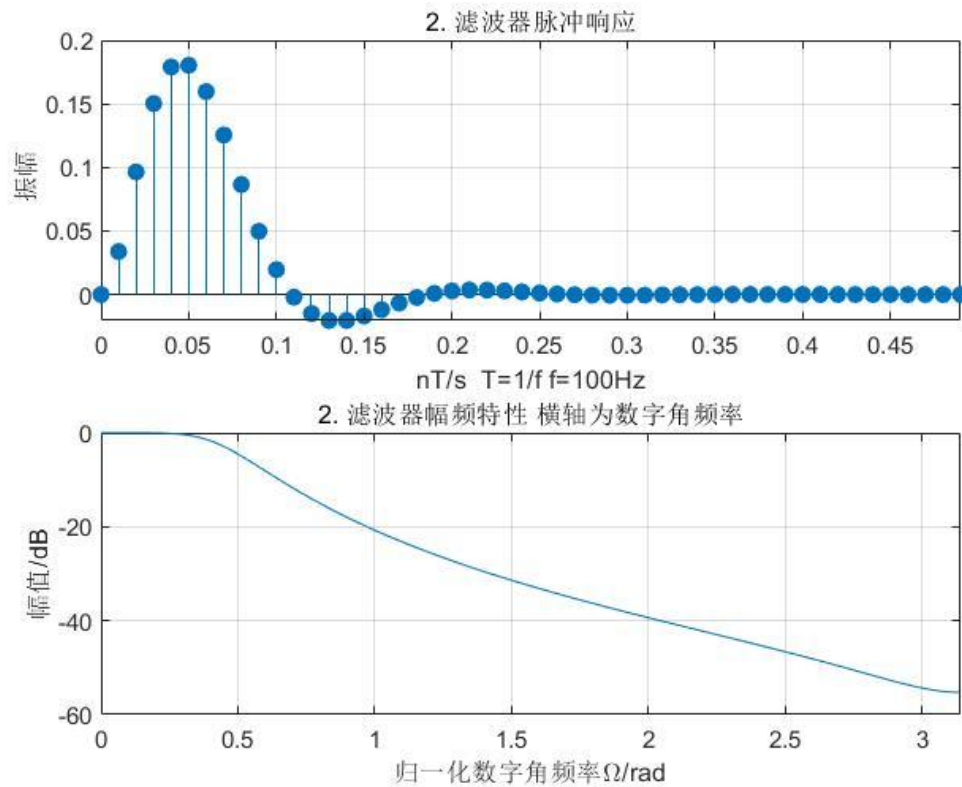
```
clear;
clc;
%2.
f=100;
n=50;
[n wn]=buttord(0.4*f,0.8*f,3,15,'s');%计算模拟滤波器阶数
[b a]=butter(n,wn,'low','s');
[b a]=impinvar(b,a,f); %转为数字滤波器
figure;
subplot(2,1,1);
impz(b,a,50,f);
title('2. 滤波器脉冲响应');%画脉冲响应
xlabel('nT/s T=1/f f=100Hz');
grid on;
subplot(2,1,2);
[h w]=freqz(b,a);
plot(w,20*log10(abs(h)));%画滤波器幅频特性
```

```

title('2. 滤波器幅频特性 横轴为数字角频率');
ylabel('幅值/dB');
xlabel('归一化数字角频率\Omega/rad');
xlim([0 pi]);
grid on;

```

运行截图：



第一行为滤波器的冲激响应曲线

第二行为滤波器的幅频特性

先由给定条件计算模拟滤波器参数，再利用冲激响应不变法转为数字滤波器
观察幅频特性，通带内几乎无衰减，截止频率后衰减迅速整体比较平滑

第三问

代码：

```

clear;
clc;
%3
f=100;
[n wn]=buttord(2*f*tan(0.4/2),2*f*tan(0.8/2),3,15,'s');%计算预畸变的模拟滤波器
阶数
[b a]=butter(n,wn,'low','s');
[b a]=bilinear(b,a,f);%双线性变换
figure;
subplot(2,1,1);

```

```

impz(b,a,50,f); %计算冲激响应
title('3. 滤波器脉冲响应');
xlabel('nT/s T=1/f f=100Hz');
grid on;
subplot(2,1,2);
[h w]=freqz(b,a);
plot(w,20*log10(abs(h))); %画滤波器幅频特性
title('3. 滤波器幅频特性 横轴为数字角频率');
ylabel('幅值/dB');
xlabel('归一化数字角频率\Omega/rad');
xlim([0 pi]);
grid on;
%与冲激响应不变法比较
%双线性变换法
figure;
subplot(2,2,1);
impz(b,a,50,f); %计算冲激响应
title('3. 双线性变换得到的滤波器脉冲响应');
xlabel('nT/s T=1/f f=100Hz');
grid on;
subplot(2,2,3);
[h w]=freqz(b,a);
plot(w,20*log10(abs(h))); %画滤波器幅频特性
title('3. 双线性变换得到的滤波器幅频特性');
ylabel('幅值/dB');
xlabel('归一化数字角频率\Omega/rad');
xlim([0 pi]);
grid on;
%冲激响应不变法
f=100;
n=50;
[n wn]=buttord(0.4*f,0.8*f,3,15,'s');%计算模拟滤波器阶数
[b a]=butter(n,wn,'low','s');
[b a]=impinvar(b,a,f); %转为数字滤波器
subplot(2,2,2);
impz(b,a,50,f);
title('3. 冲激响应得到的滤波器脉冲响应');%画脉冲响应
xlabel('nT/s T=1/f f=100Hz');
grid on;
subplot(2,2,4);
[h w]=freqz(b,a);
plot(w,20*log10(abs(h)));%画滤波器幅频特性
title('3. 冲激响应得到的滤波器幅频特性');
ylabel('幅值/dB');

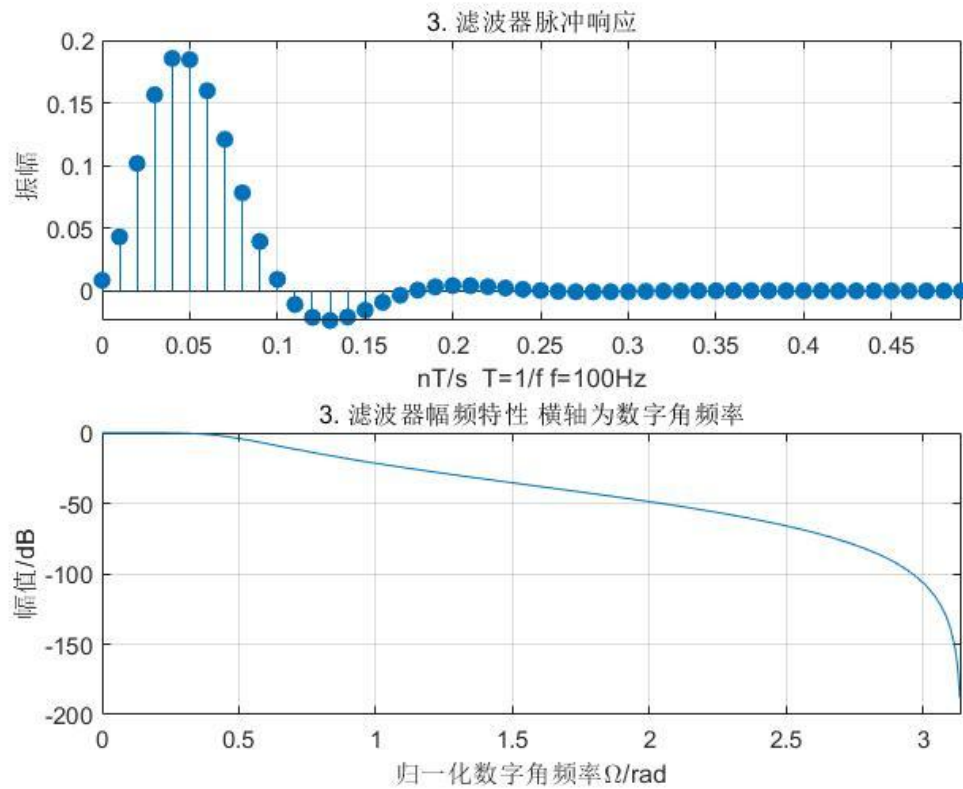
```

```

xlabel('归一化数字角频率\Omega/rad');
xlim([0 pi]);
grid on;

```

运行截图：



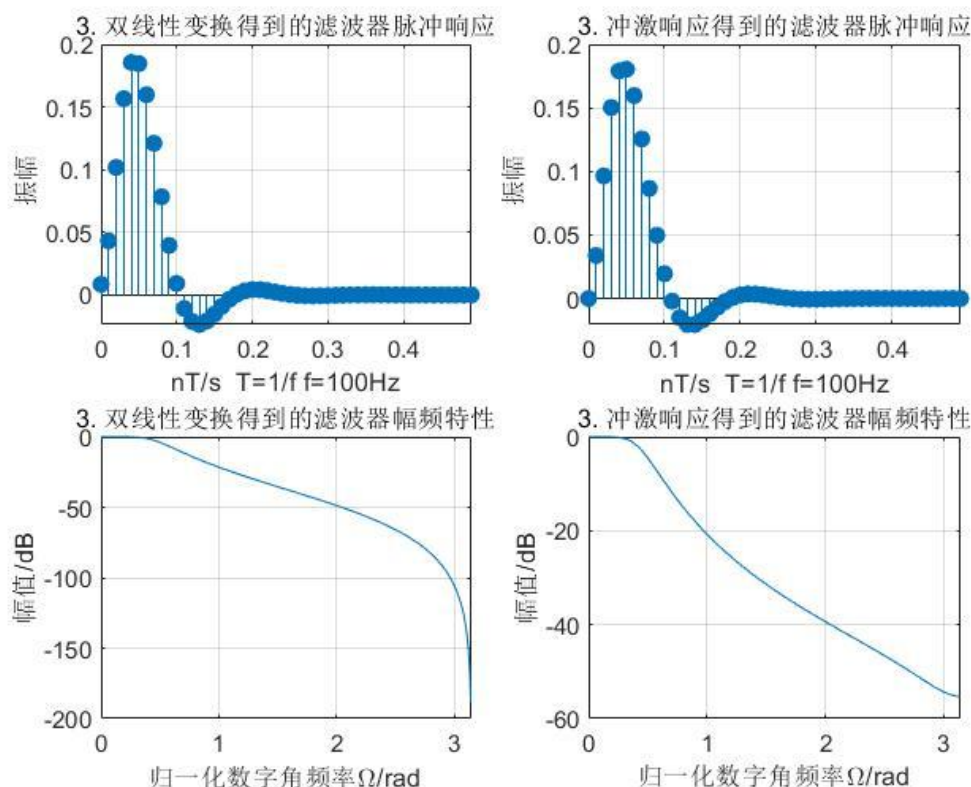
第一行为滤波器的冲激响应曲线

第二行为滤波器的幅频特性

先由给定条件计算模拟滤波器参数，再利用双线性变换法转为数字滤波器

观察幅频特性，通带内几乎无衰减，整体衰减非常平滑

与冲激响应不变法做对比



对比发现两种数字滤波器的冲激响应几乎一样
而双线性变换得到滤波器的幅频特性在通带外衰减的更剧烈，通带内，两种滤波器几乎都无衰减

、实验思考题

1. 总结巴特沃思低通滤波器幅频特性的特点。

(1) 滤波器幅频特性是单调递减的，在 $\omega=0$ 处具有最大值 1

(2) ω 等于截止频率时， $|H(\omega)|$ 比 $|H(0)|$ 下降了 3dB

(3) 当 ω 趋于无穷时 $|H(\omega)|$ 趋近于 0

(4) 当滤波器阶数 n 增加时，通带内幅频特性变平，阻带幅频特性衰减加快，过渡带变窄，整个滤波器幅频特性趋近于理想低通滤波器特性

但是 $\omega=0$ 和 $\omega=\omega_c$ 时， $|H(0)|=1$ $|H(\omega_c)|=0.707$ 的关系不变，及滤波器峰值不改变，滤波器截止频率时衰减程度不变

(5) 对于 n 阶巴特沃斯低通滤波器， $\omega=0$ 处，其幅频特性的前 $2n-1$ 阶导数都等于 0， $\omega=0$ 附近一段范围内是非常平直的

2. 双线性变换法中模拟频率与数字频率之间的关系是非线性的，在设计数字滤波器时，

应如何处理这种非线性关系？

提前做预畸变处理

按照公式将数字滤波器的通带截止频率 Ω_p 和阻带截止频率 Ω_s 转为模拟滤波器的 ω_p 和 ω_s

$$\omega = \frac{2}{T} \tan \frac{\Omega}{2}$$

之后按照这两个预畸变后的 ω_p 和 ω_s 设计模拟滤波器