

# 作业1：

## 一、

基于理想运放的虚短  $V_3 = V_4$  和虚断特性，对电路节点列写 KCL 方程：

- 节点②：

$$\frac{V_s - V_2}{R} = sCV_2 + sC(V_2 - V_3)$$

- 节点③：

$$sC(V_2 - V_3) = \frac{V_3}{2R}$$

- 运放反相端与输出：

$$\frac{V_3}{R} = \frac{V_o - V_3}{R_f}, \text{ 化简得 } V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R}\right)V_3 = \mu V_3 \quad (\text{其中 } \mu = 1 + \frac{R_f}{R})$$

## 二、

推导可得：

$$H(s) = \frac{2(\mu - 1) \frac{s}{\omega_n/Q}}{s^2 + \frac{\omega_n}{Q}s + \omega_n^2}$$

其中：

$$\omega_n = \frac{1}{RC}, \quad \mu = 1 + \frac{R_f}{R}, \quad Q = \frac{1}{3 - \mu}$$

联立上述步骤，系统函数最终化简为：

$$H(s) = \frac{2(2Q - 1) \cdot \frac{s}{\omega_n}}{s^2 + \frac{\omega_n}{Q}s + \omega_n^2}$$

## 三、编程绘制幅频响应曲线

MATLAB 代码：

```
clear; clc; close all;

R = 20e3;
C = 0.01e-6;
Rf_list = [10e3, 15e3, 20e3, 30e3];
omega_n = 1/(R*C);

f = logspace(2, 5, 1000);
omega = 2*pi*f;
figure('Name', '二阶有源带通滤波器幅频特性', 'Position', [100, 100, 800, 600]);
hold on; grid on; box on;

for i = 1:length(Rf_list)
    Rf = Rf_list(i);
    mu = 1 + Rf/R;
```

```

Q = 1/(3 - mu);

num = [mu*omega_n, 0];
den = [1, omega_n/Q, omega_n^2];
sys = tf(num, den);

[mag, ~] = bode(sys, omega);
mag_dB = squeeze(20*log10(mag));

plot(f, mag_dB, 'LineWidth', 1.5, ...
      'DisplayName', sprintf('Rf=%0fkΩ, Q=%2f', Rf/1e3, Q));
end

xlabel('频率 (Hz)', 'FontSize', 12);
ylabel('幅度 (dB)', 'FontSize', 12);
title('不同Q值下二阶有源带通滤波器的幅频特性', 'FontSize', 14);
legend('Location', 'best', 'FontSize', 10);
set(gca, 'xScale', 'log'); % x轴设为对数刻度
xlim([min(f), max(f)]);

```

python代码:

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy import signal

R = 20e3
C = 0.01e-6
Rf_list = [10e3, 15e3, 20e3, 30e3]
wn = 1 / (R * C)

f = np.logspace(2, 5, 1000)
w = 2 * np.pi * f

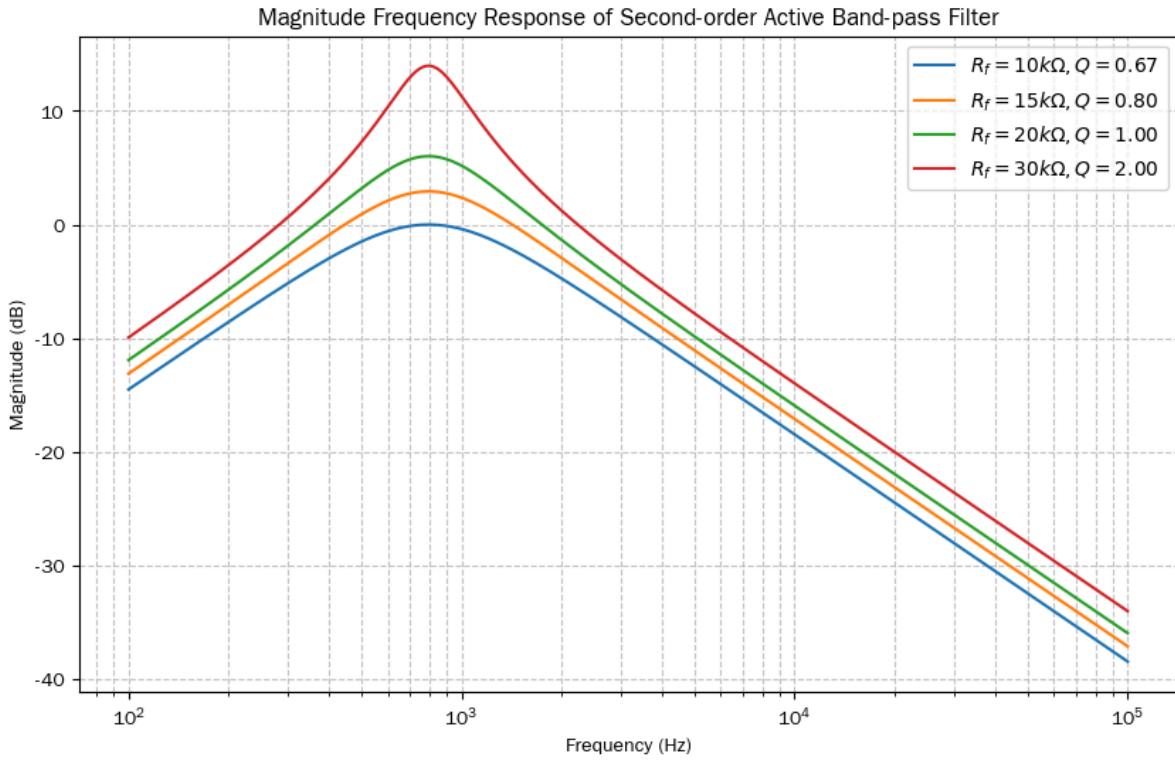
plt.figure(figsize=(10, 6))
for Rf in Rf_list:
    μ = 1 + Rf / R
    Q = 1 / (3 - μ)
    num = [μ * wn, 0]
    den = [1, wn / Q, wn**2]
    sys = signal.TransferFunction(num, den)

    w, mag, _ = signal.bode(sys, w)
    plt.semilogx(f, mag, label=f'R_f={Rf/1e3:.0f}kΩ, Q={Q:.2f}')

plt.xlabel('Frequency (Hz)')
plt.ylabel('Magnitude (dB)')
plt.title('Magnitude Frequency Response of Second-order Active Band-pass Filter')
plt.legend()
plt.grid(which='both', linestyle='--', alpha=0.7)
plt.show()

```

曲线图:



## 四、讨论输出结果

### 结果讨论

**Q值与通带特性：**

$$R_f \text{越大, } \mu = 1 + \frac{R_f}{R} \text{越大, } Q = \frac{1}{3 - \mu} \text{也越大。}$$

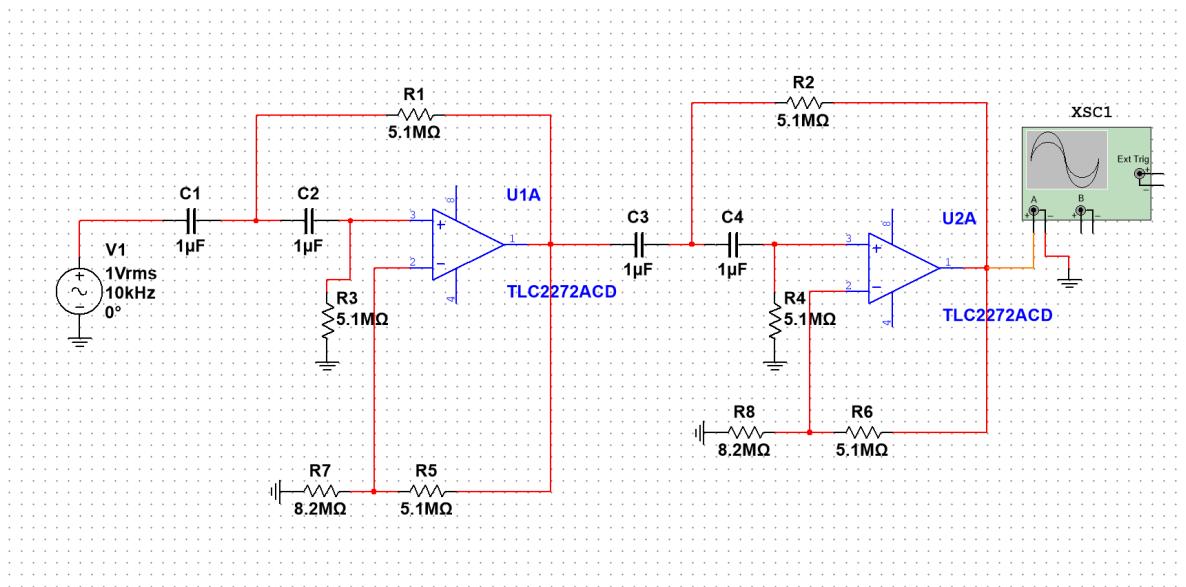
Q值越大，滤波器通带越窄，选频特性越尖锐；Q值越小，通带越宽，选频特性越平缓。

**曲线变化趋势：**随着Rf从 10k $\Omega$  增加到 30k $\Omega$ ，幅频特性的峰值逐渐升高且变尖，带宽逐渐减小，体现了Q值对带通滤波器选频特性的显著影响。

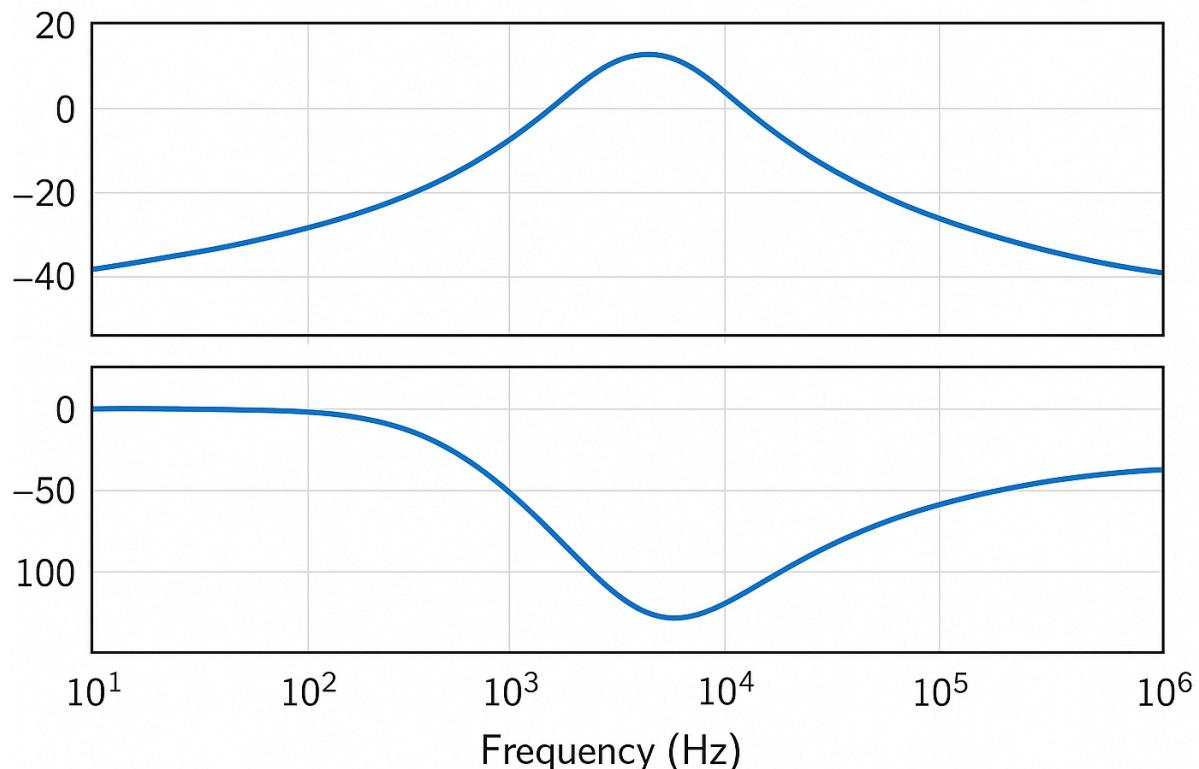
## 作业2：四阶高通滤波器

### 电路搭建

Multisim电路搭建图：



波特图：



### (1) 通带增益：

由放大器电阻比得：

$$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1} \approx 1 + \frac{8.2}{5.1} \approx 2.6$$

四阶结构总增益约为  $2.6^2 = 6.76$

### (2) 截止频率：

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_2 C} \approx \frac{1}{2\pi \times 8.2 M\Omega \times 1\mu F} \approx 19.4 Hz$$

### (3) 通带外衰减率:

四阶高通 → 滤波器阶数  $n=4$  → 衰减速率约为 24 dB/oct 或 80 dB/dec。