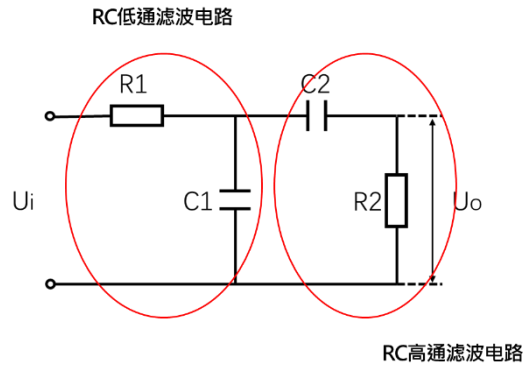


# RC 二阶带通滤波器

## 一、电路设计

### 1.1 电路一般原理：

电阻  $R_2$  与电容  $C_2$  串联后与电容  $C_1$  并联，之后与电阻  $R_1$  串联：电阻  $R_1$  与电容  $C_1$  构成低通滤波器，LPF 滤除高频信号，输出低频信号；电阻  $R_2$  与电容  $C_2$  组成高通滤波器，HPF 输出高频信号，滤除低频信号；综上，全电路组成带通滤波器。



### 1.2 电路参数计算

设定低通滤波器上限截止频率  $f_H = 6000\text{Hz}$ ，高通滤波器下限截止频率  $f_L = 50\text{Hz}$ 、 $R_1 = R_2 = 10\text{K}\Omega$ ，由式  $f = \frac{1}{2\pi RC}$  计算可得：

低通电路电容  $C_1 = \frac{1}{2\pi RC}$ ，其中此处  $R$  值应取为在输入端和  $C_2$  短路情况下，以  $C_1$  两端为端口的电阻电路网络经戴维南等效后的电阻值，即  $R = R_1 || R_2$ 。计算得  $C_1 = 5.035\text{nF}$ 。

同理高通电路电容  $C_2 = \frac{1}{2\pi RC}$ ，其中式中  $R$  值应为将输入端短路， $C_1$  断路后，以  $C_2$  两端为端口的电阻电路网络经戴维南等效后的电阻值，即  $R = R_1 + R_2$ 。计算得  $C_2 = 159\text{nF}$ 。

## 二、电路分析

### 2.1 时域分析（阻抗变换）

$$R_2 \text{ 与 } C_2 \text{ 串联: } Z_1 = R_2 + \frac{1}{j\omega C_2} = \frac{(1+j\omega C_2 R_2)}{j\omega C_2}$$

$$Z_1 \text{ 与 } C_1 \text{ 并联: } Z_2 = \frac{1}{j\omega C_1 + \frac{j\omega C_2}{1+j\omega C_2 R_2}} = \frac{1+j\omega C_2 R_2}{j\omega(C_1+C_2)-\omega^2 C_1 C_2 R_2}$$

$$Z_2 \text{ 与 } R_1 \text{ 串联: } Z = Z_2 + R_1 = \frac{1+j\omega C_2 R_2+j\omega(C_1+C_2)R_1-\omega^2 C_1 C_2 R_1 R_2}{j\omega(C_1+C_2)-\omega^2 C_1 C_2 R_2}$$

由分压定理得：  $U_o = \frac{Z_2}{Z} * \frac{R_2}{Z_1} * U_i$ ，带入有：

$$\frac{U_o}{U_i} = \frac{j\omega C_2 R_2}{1+j\omega C_2 R_2+j\omega(C_1+C_2)R_1-\omega^2 C_1 C_2 R_1 R_2}$$

## 2.2 频域分析（电容特性）

1) 电路分析:

$$U_I = R_1 * (C_1 * \frac{dU_{C_1}}{dt} + C_2 * \frac{dU_{C_2}}{dt}) + U_{C_1}$$

$$U_{C_1} = U_{C_2} + R_2 * C_2 * \frac{dU_{C_2}}{dt}$$

$$U_O = C_2 * C_2 * \frac{dU_{C_2}}{dt}$$

2) 傅里叶变换:

$$U_I(j\omega) = (j\omega C_1 R_1 + 1) * U_{C_1}(j\omega) + j\omega C_2 R_1 * U_{C_2}(j\omega) \quad ①$$

$$U_{C_1}(j\omega) = (j\omega C_2 R_2 + 1) * U_{C_2}(j\omega) \quad ②$$

$$U_O(j\omega) = j\omega C_2 R_2 * U_{C_2}(j\omega) \quad ③$$

将②式带入①式得到 $U_{C_2}(j\omega)$ 与 $U_I(j\omega)$ 的关系后:

$$U_I(j\omega) = [(j\omega C_1 R_1 + 1) * (j\omega C_2 R_2 + 1) + j\omega C_2 R_1] * U_{C_2}(j\omega)$$

再将③式带入得 $U_O(j\omega)$ 与 $U_I(j\omega)$ 的关系如下:

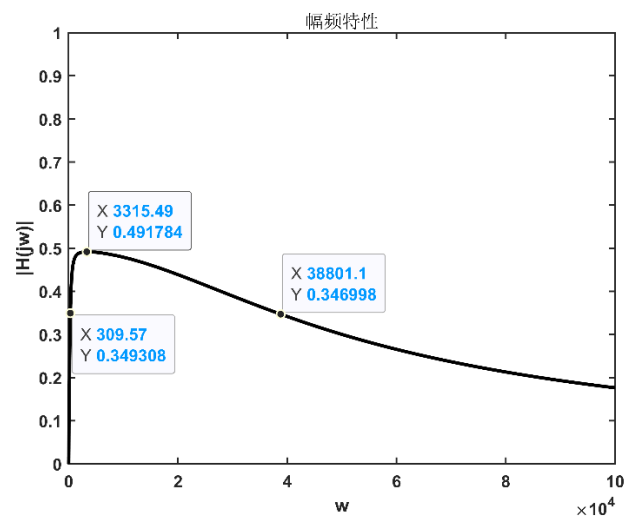
$$\frac{U_O}{U_I} = \frac{j\omega C_2 R_2}{1 + j\omega C_2 R_2 + j\omega(C_1 + C_2)R_1 - \omega^2 C_1 C_2 R_1 R_2}$$

## 2.3 单位冲激响应

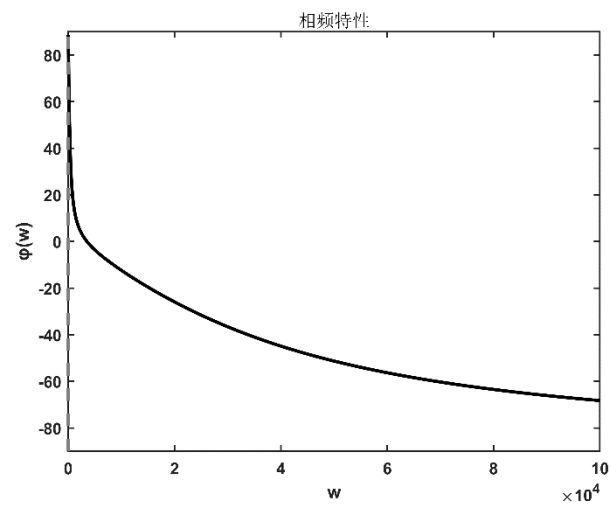
由上分析可得:

$$H(j\omega) = \frac{j\omega C_2 R_2}{1 + j\omega C_2 R_2 + j\omega(C_1 + C_2)R_1 - \omega^2 C_1 C_2 R_1 R_2}$$

### 2.3.1 幅频特性曲线

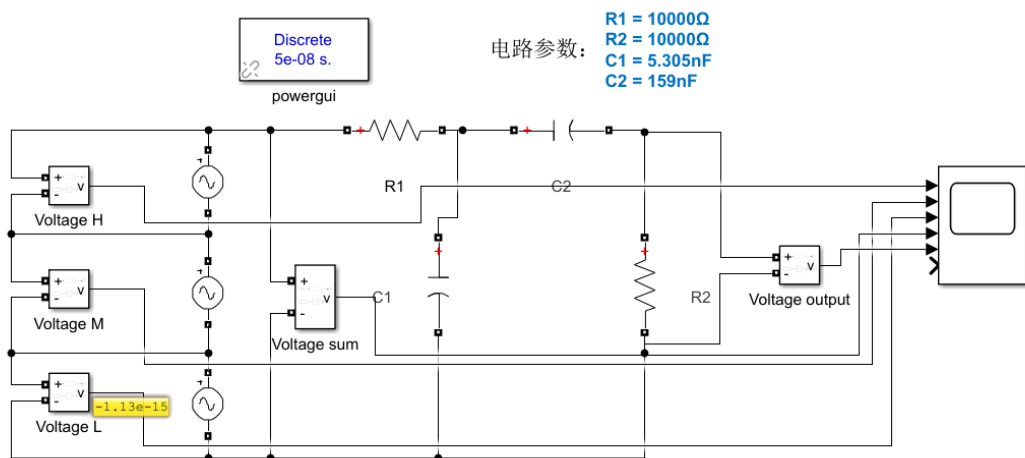


### 2.3.2 相频特性曲线



## 三、仿真实验

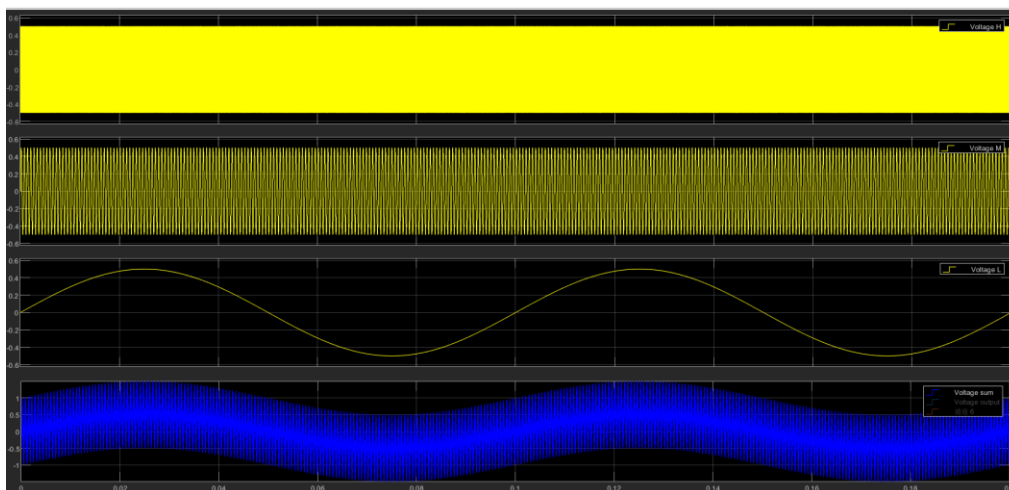
### 3.1 仿真电路



### 3.2 实验结果:

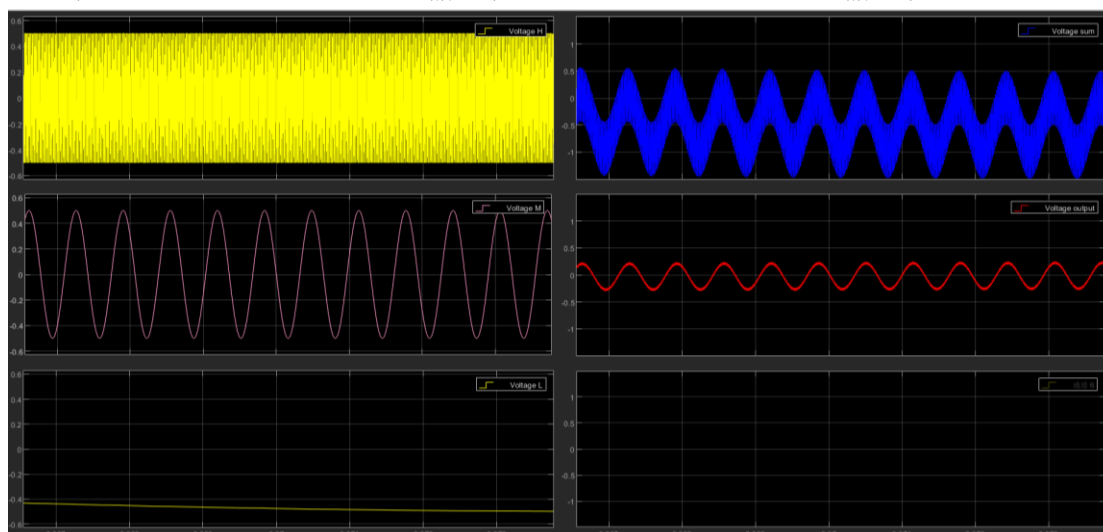
#### 3.2.1 输入:

黄颜色信号从上往下依次是频率为 60kHz、1550Hz、10Hz，幅值均为 0.5V 的正弦信号。蓝颜色为三个信号叠加后总输入信号。



### 3.2.2 输出：

如图左半边为混合输入的三个频率不同、幅值相同的正弦信号，其中粉颜色为待提取信号。右半边蓝颜色为总输入信号，红颜色为滤波后的输出信号。



### 3.2.3 观察结果：

观察上图输入输出可知：该电路成功滤除了频率较高和频率较低的信号，实现了带通滤波器的功能。

## 四、总结

在本实验中，通过 RC 电路来设计带通网络，虽能起到一定的滤波作用，但是其选频特性较差（Q 值低），当输入信号中含有与待提取信号是一个量级的噪声干扰时，这样的网络就很难起到效果很好的滤波作用了。

## 五、分工

电路设计：李延涛

电路分析：李祖乐、李延涛、李帅

报告撰写：李帅（主要），李祖乐（排版与部分内容优化）

PPT 制作与相关绘图：李祖乐

## 附录 MATLAB 代码

```
%% 定义变量
r1 = 10000;
r2 = 10000;
c1 = 503.5e-11;
c2 = 159e-9;
Ui = 0;
Uo = 0;
%% 定义函数 h(jw)
syms w real;
U0 = 1j*w*c2*r2/(1 - w^2*c1*c2*r1*r2 + 1j*w*c1*r1 + 1j*w*c2*r2 +
1j*w*c2*r1) * Ui;
h_jw_ = 1j*w*c2*r2/(1 - w^2*c1*c2*r1*r2 + 1j*w*c1*r1 + 1j*w*c2*r2 +
1j*w*c2*r1);

figure(1)
fplot(abs(h_jw_), [0, 100000], Color='black', LineWidth=2)
axis([0, 100000, 0, 1])
title('幅频特性')
ylabel('|H(jw)|')
xlabel('w')

figure(2)
fplot(rad2deg(angle(h_jw_)), [0, 100000], Color='black', LineWidth=2)
axis([0, 100000, -90, 90])
title('相频特性')
ylabel('φ(w)')
xlabel('w')
```