

# 电子技术基础模拟部分

- 1 绪论
- 2 运算放大器
- 3 二极管及其基本电路
- 4 场效应三极管及其放大电路
- 5 双极结型三极管及其放大电路
- 6 频率响应
- 7 模拟集成电路
- 8 反馈放大电路
- 9 功率放大电路
- 10 信号处理与信号产生电路
- 11 直流稳压电源

# 10 信号处理与信号产生电路

本章分为三部分内容：

- 滤波电路
- 正弦波振荡电路
- 非正弦信号产生电路

# 10.1 滤波电路的基本概念与分类

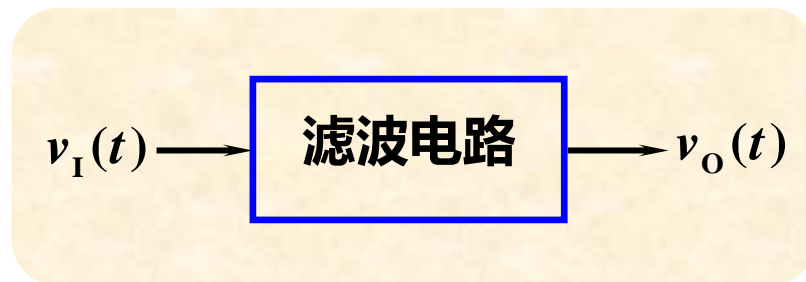
## 1. 基本概念

**滤波器：**是一种能使有用频率信号通过而同时抑制或衰减无用频率信号的电子装置。**不同场景有不同的滤波理由。**

**有源滤波器：**由有源器件构成的滤波器。

**滤波电路传递函数定义**

$$A(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)}$$



**$s = j\omega$  时，有  $A(j\omega) = |A(j\omega)| \angle \varphi(\omega)$**

**其中  $|A(j\omega)|$  —— 模，幅频响应**

**$\varphi(\omega)$  —— 相位角，相频响应**

$$\tau(\omega) = -\frac{d\varphi(\omega)}{d\omega} \quad (s)$$

**群时延响应**

# 10.1 滤波电路的基本概念与分类

## 2. 分类 (传递函数)

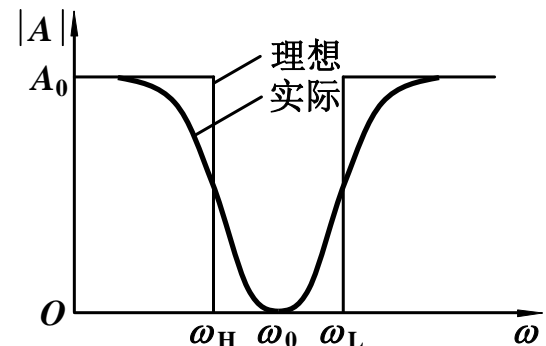
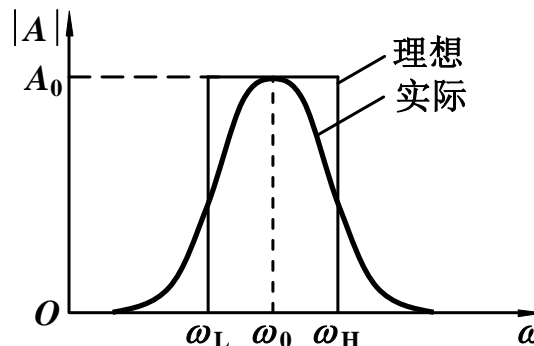
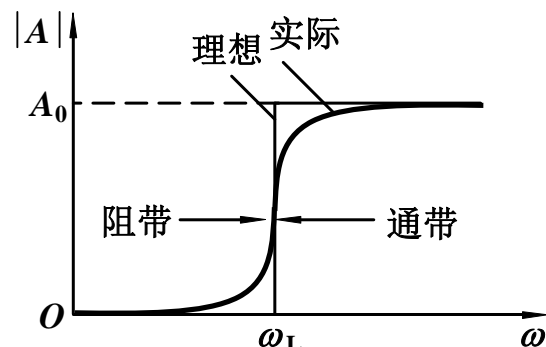
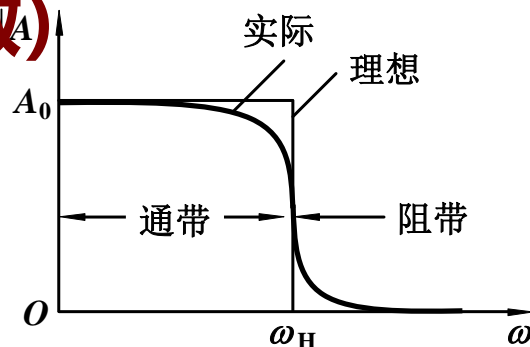
低通 (LPF)

高通 (HPF)

带通 (BPF)

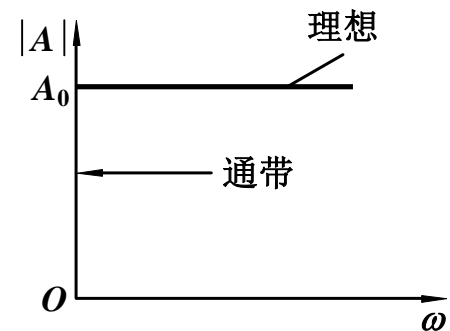
带阻 (BEF)

全通 (APF)



希望抑制50Hz的干扰信号，应选用哪种类型的滤波电路？

放大音频信号，应选用哪种类型的滤波电路？



# 10.1 滤波电路的基本概念与分类

## 2. 分类（其他）

按信号类型方式：模拟滤波、数字滤波。

模拟滤波按是否需要能源供给：有源和无源滤波器。

按应用场景：音频滤波、射频滤波、电力滤波等。音频/基带信号可能是模拟滤波和数字滤波一起用；射频和电力能量都是模拟滤波，无源滤波和有源滤波都会用到。

无源和有源滤波按频率、功率等不同，其实现方式很多，本门课只涉及入门级的部分有源滤波基础知识！

## 10.2 一阶有源滤波电路

### 1. 低通滤波电路

传递函数  $A(s) = \frac{A_0}{1 + \frac{s}{\omega_c}}$

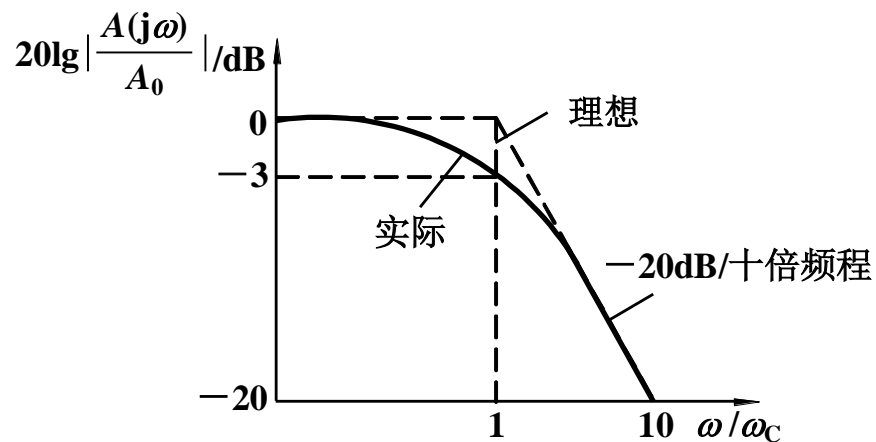
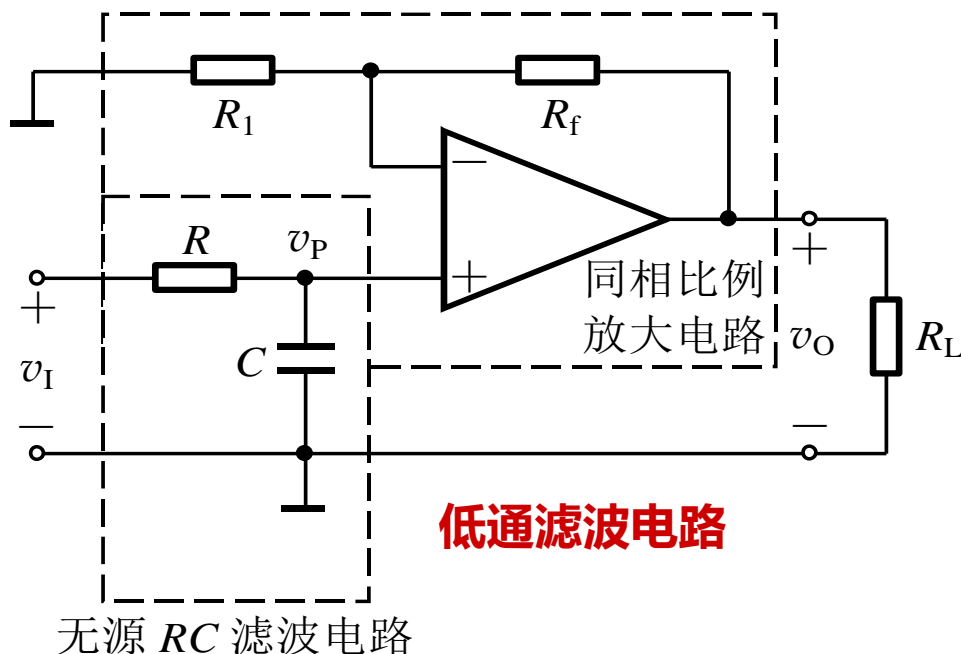
其中

$$A_0 = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad \text{同相比例放大系数}$$

$$\omega_c = \frac{1}{RC} \quad \text{特征角频率}$$

故，幅频相应为

$$|A(j\omega)| = \frac{A_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2}}$$



## 10.2 一阶有源滤波电路

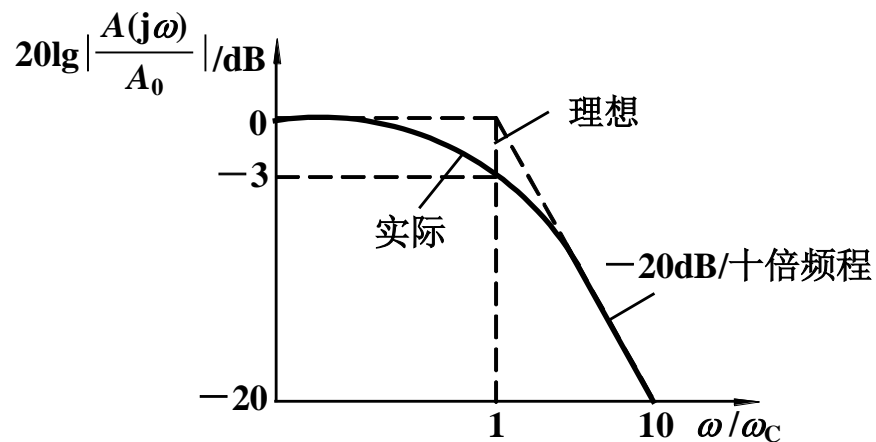
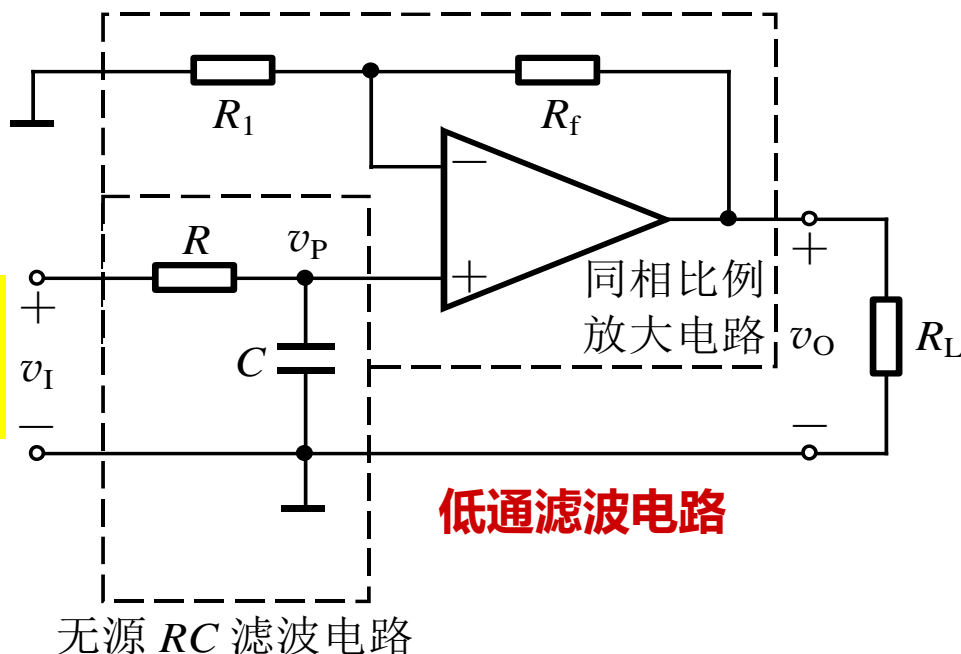
### 2. 高通滤波电路

电路如何改变？

幅频响应如何变化？

低通电路中的R和C交换位置便构成高通滤波电路

一阶有源滤波电路通带外衰减速率慢（-20dB/十倍频程），与理想情况相差较远。一般用在对滤波要求不高的场合。



## 10.3 高阶有源滤波电路

10.3.1 有源低通滤波电路

10.3.2 有源高通滤波电路

10.3.3 有源带通滤波电路

10.3.4 二阶有源带阻滤波电路



## 10.3.1 有源低通滤波电路

### 1. 二阶有源低通滤波电路

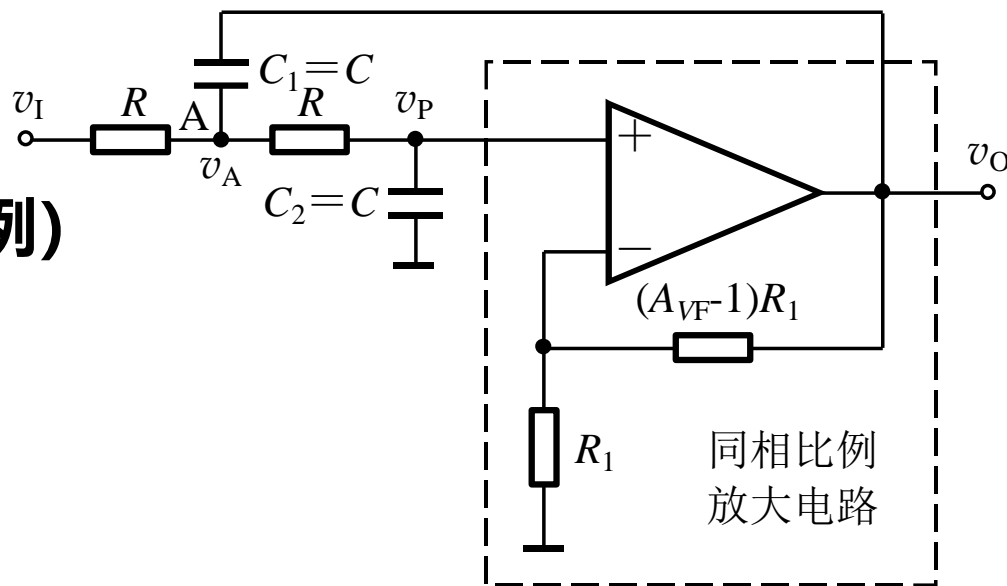
### 2. 传递函数

$$A_{VF} = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad (\text{同相比例})$$

对于滤波电路, 有

$$\left\{ \begin{array}{l} A_{VF} = \frac{V_o(s)}{V_P(s)} \\ V_P(s) = \frac{1/sC}{R + 1/sC} \cdot V_A(s) \\ \frac{V_i(s) - V_A(s)}{R} - \frac{V_A(s) - V_o(s)}{1/sC} - \frac{V_A(s) - V_P(s)}{R} = 0 \end{array} \right.$$

得滤波电路传递函数  $A(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{A_{VF}}{1 + (3 - A_{VF})sCR + (sCR)^2}$   
(二阶)



## 10.3.1 有源低通滤波电路

### 2. 传递函数

$$A(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{A_{VF}}{1 + (3 - A_{VF})sCR + (sCR)^2}$$

令  $A_0 = A_{VF}$  称为**通带增益**

$$Q = \frac{1}{3 - A_{VF}} \quad \text{称为**等效品质因数**}$$

$$\omega_c = \frac{1}{RC} \quad \text{称为**特征角频率**}$$

$$\text{则 } A(s) = \frac{A_0 \omega_c^2}{s^2 + \frac{\omega_c}{Q} s + \omega_c^2}$$

**注意:**当  $3 - A_{VF} > 0$ , 即  $A_{VF} < 3$  时, 滤波电路才能稳定工作。

## 10.3.1 有源低通滤波电路

### 2. 传递函数

用  $s = j\omega$  代入, 可得传递函数的频率响应:

归一化的幅频响应

$$20\lg\left|\frac{A(j\omega)}{A_0}\right| = 20\lg\frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{\omega}{\omega_c Q}\right)^2}}$$

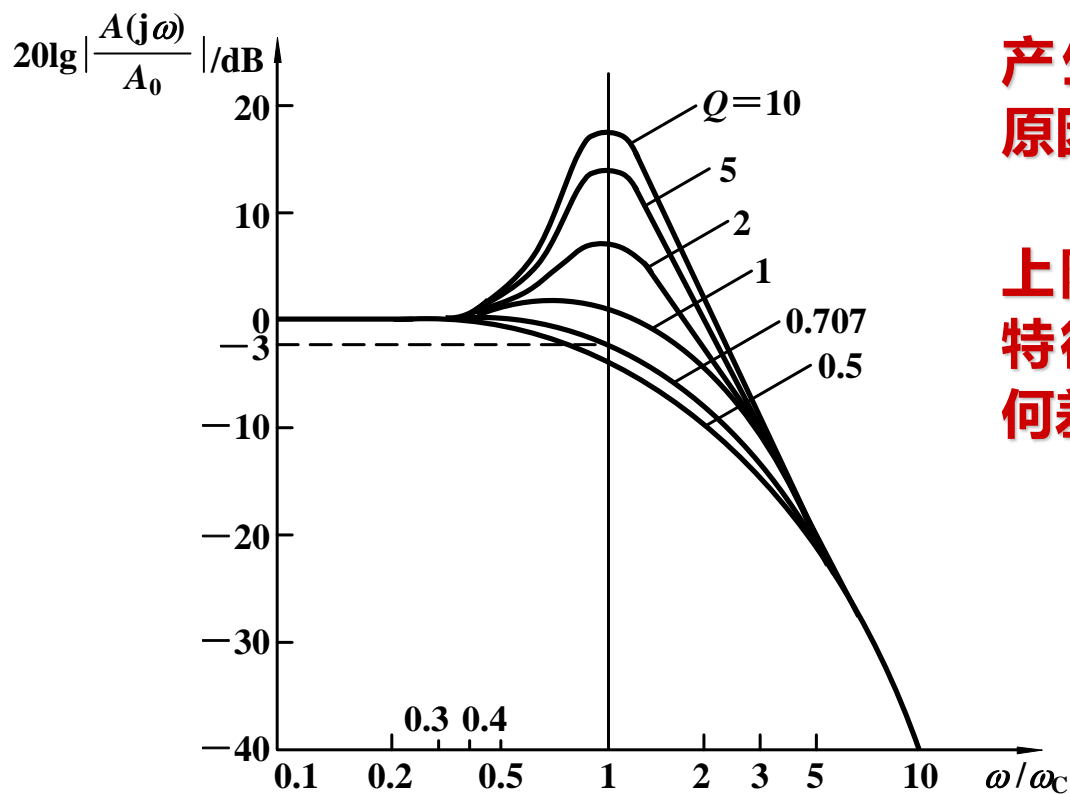
相频响应

$$\varphi(\omega) = -\arctg\frac{\frac{\omega}{\omega_c Q}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2}$$

## 10.3.1 有源低通滤波电路

### 3. 幅频响应

$$20\lg\left|\frac{A(j\omega)}{A_0}\right| = 20\lg \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{\omega}{\omega_c Q}\right)^2}}$$



归一化的幅  
频响应曲线

产生增益过冲的  
原因是什么？

上限角频率 $\omega_H$ 和  
特征角频率 $\omega_c$ 有  
何差别？

# 二阶低通滤波器传递函数matlab例子

%matlab code for low pass filter transmission function

%by XIANG Qinayin @2016051

clear

close all

pp=1:1000;

freq=10.^(pp/(1000/8));

s=2\*pi\*j.\*freq;

Av=100;

R=10e3;

C=1e-9;

for x=2:2:10;

Q=x;

H=Av./(1+1./Q.\*s\*R\*C+(s\*C\*R).^2);

loglog(freq,abs(H),'r-');

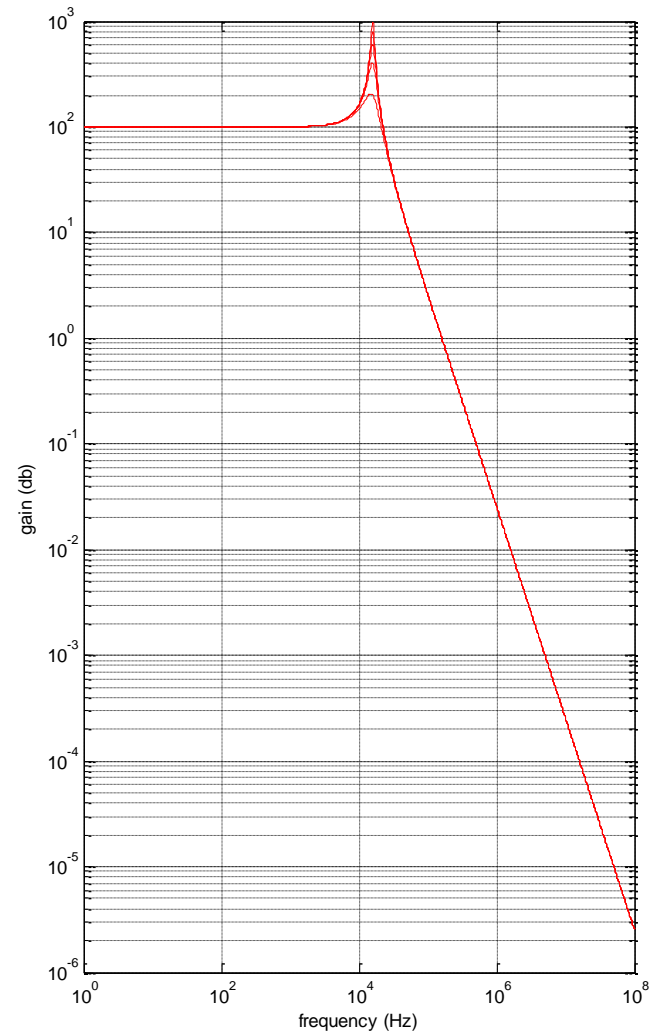
hold on

end

xlabel('frequency (Hz)');

ylabel('gain (db)');

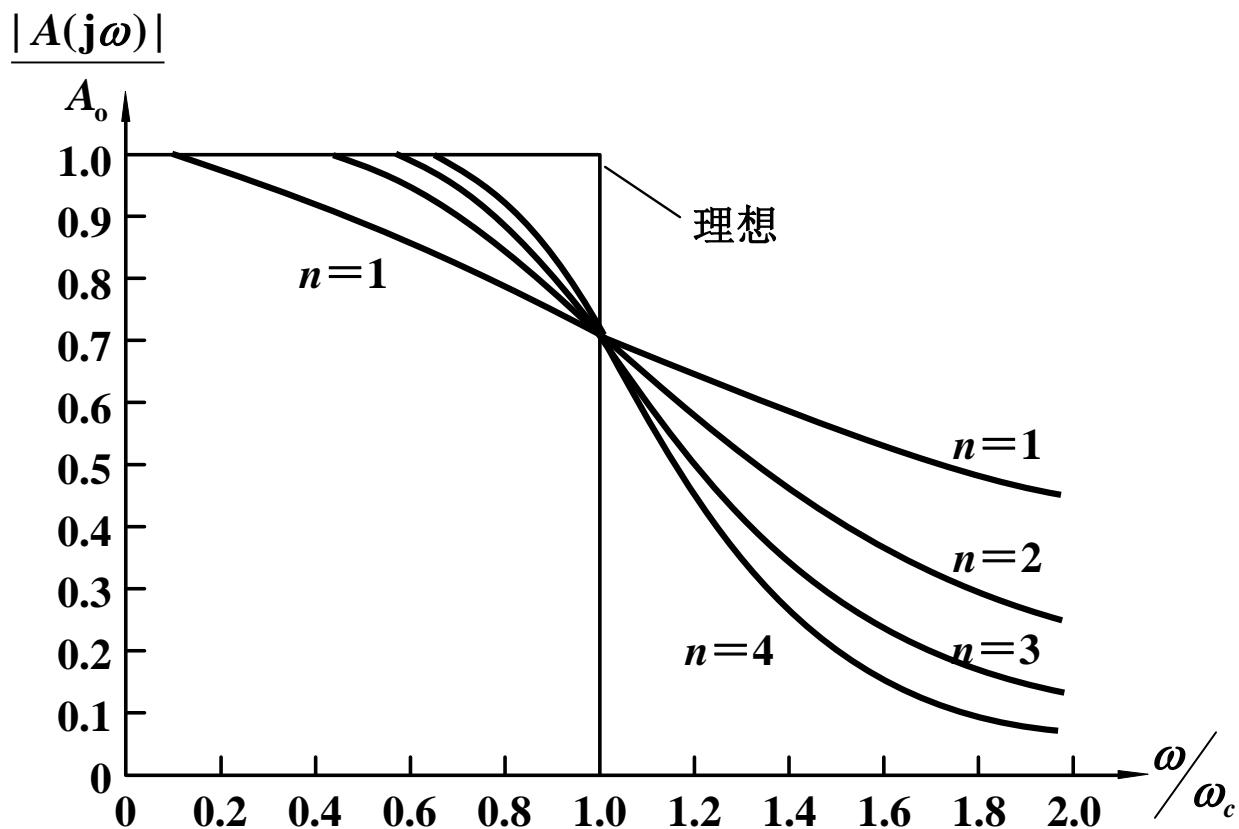
grid on



## 4. $n$ 阶巴特沃斯传递函数

传递函数为  $|A(j\omega)| = \frac{A_0}{\sqrt{1 + (\omega / \omega_c)^{2n}}}$

式中 $n$ 为阶滤波电路阶数， $\omega_c$ 为3dB截止角频率， $A_0$ 为通带电压增益。



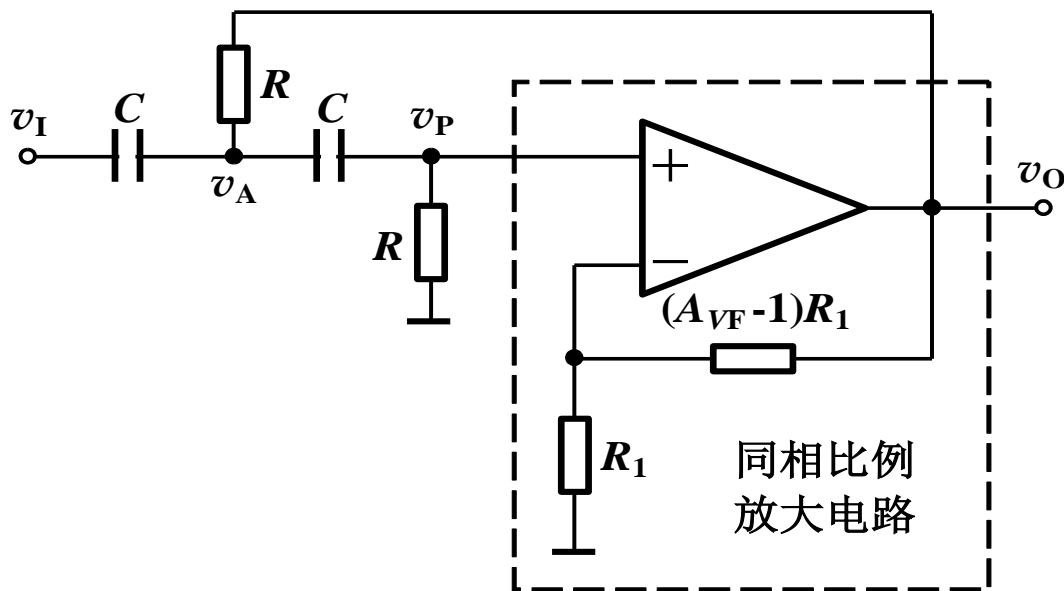
## 10.3.2 有源高通滤波电路

### 1. 二阶高通滤波电路

将低通电路中的电容和电阻对换，便成为高通电路。

传递函数

$$A(s) = \frac{A_0 s^2}{s^2 + \frac{\omega_c}{Q}s + \omega_c^2}$$



归一化的幅频响应

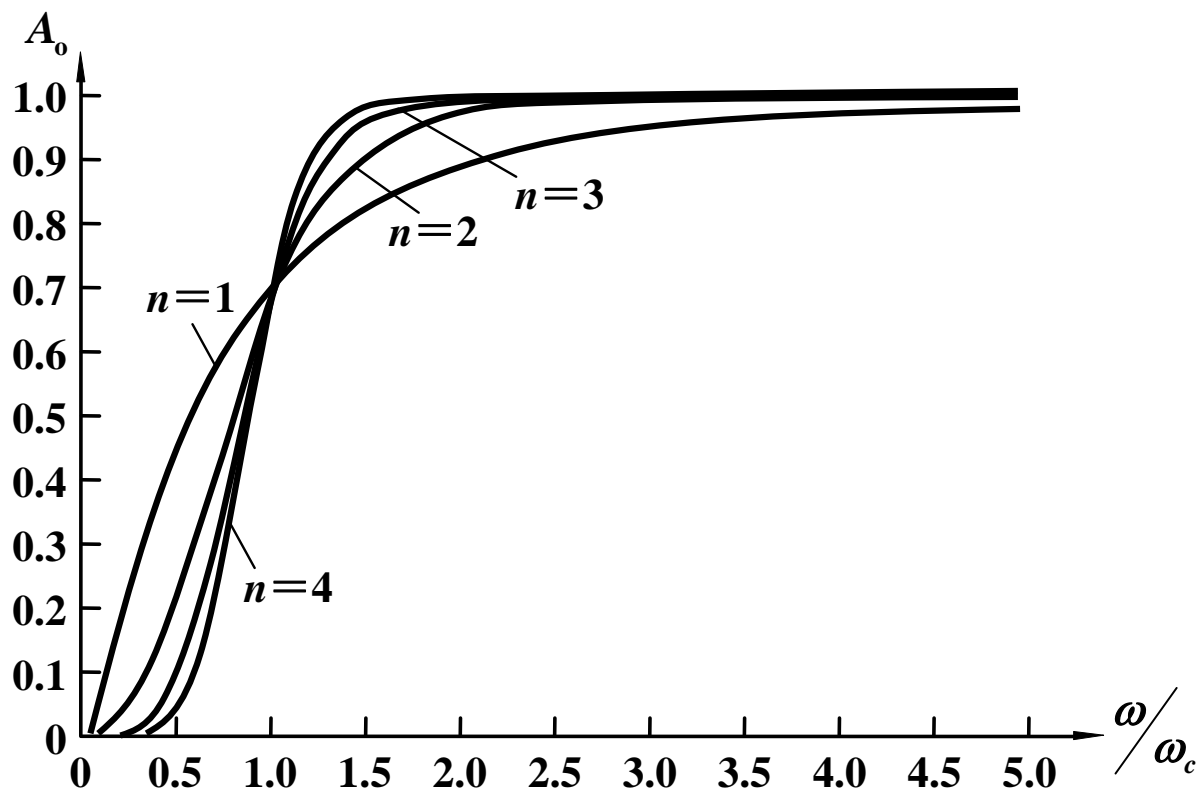
$$20\lg\left|\frac{A(j\omega)}{A_0}\right| = 20\lg\frac{1}{\sqrt{\left[\left(\frac{\omega_c}{\omega}\right)^2 - 1\right]^2 + \left(\frac{\omega_c}{\omega Q}\right)^2}}$$

## 10.3.2 有源高通滤波电路

### 2. 巴特沃斯传递函数及其归一化幅频响应

$$|A(j\omega)| = \frac{A_0}{\sqrt{1 + (\omega_c / \omega)^{2n}}}$$

归一化幅频响应  $|A(j\omega)|$





## 10.3.3 有源带通滤波电路

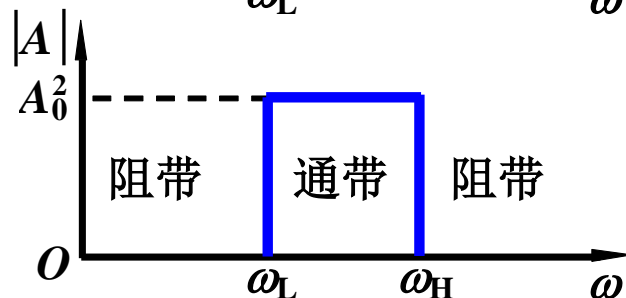
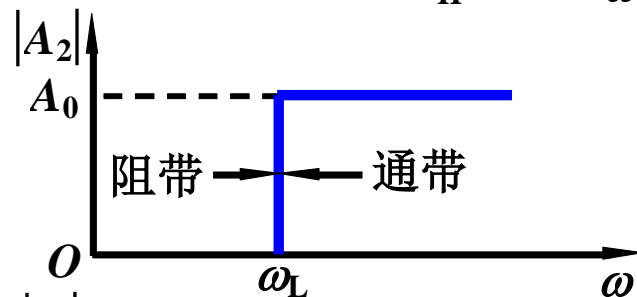
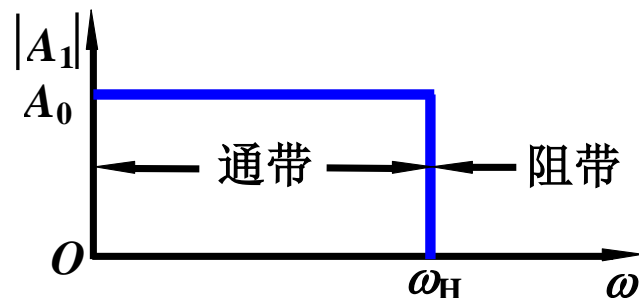
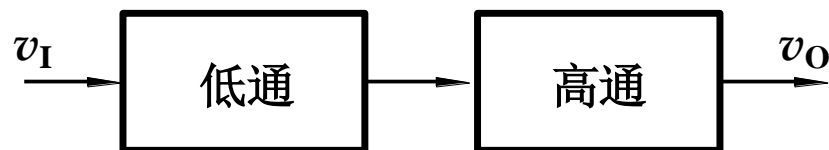
### 1. 电路组成原理

可由低通和高通串联得到

$$\omega_H = \frac{1}{R_1 C_1} \quad \text{低通截止角频率}$$

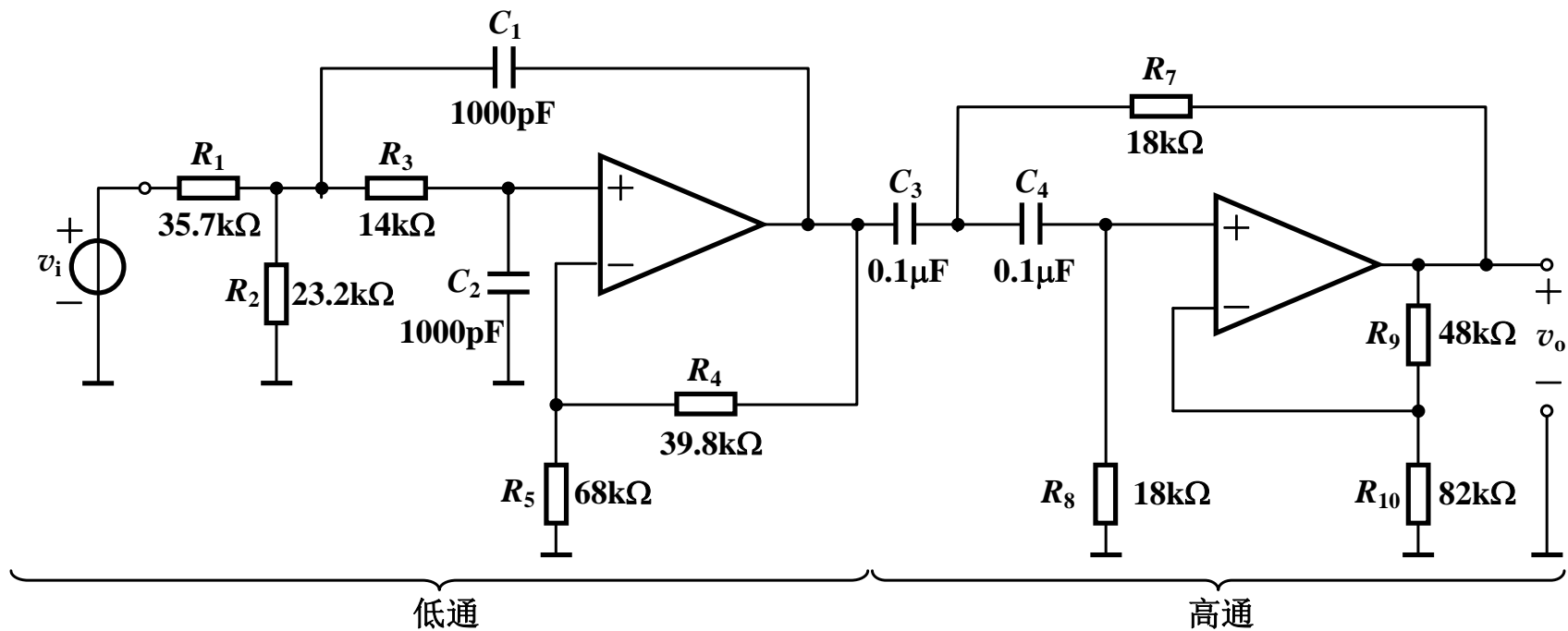
$$\omega_L = \frac{1}{R_2 C_2} \quad \text{高通截止角频率}$$

必须满足  $\omega_L < \omega_H$



## 10.3.3 有源带通滤波电路

### 2. 例



## 10.3.3 有源带通滤波电路

### 3. 二阶有源带通滤波电路

传递函数

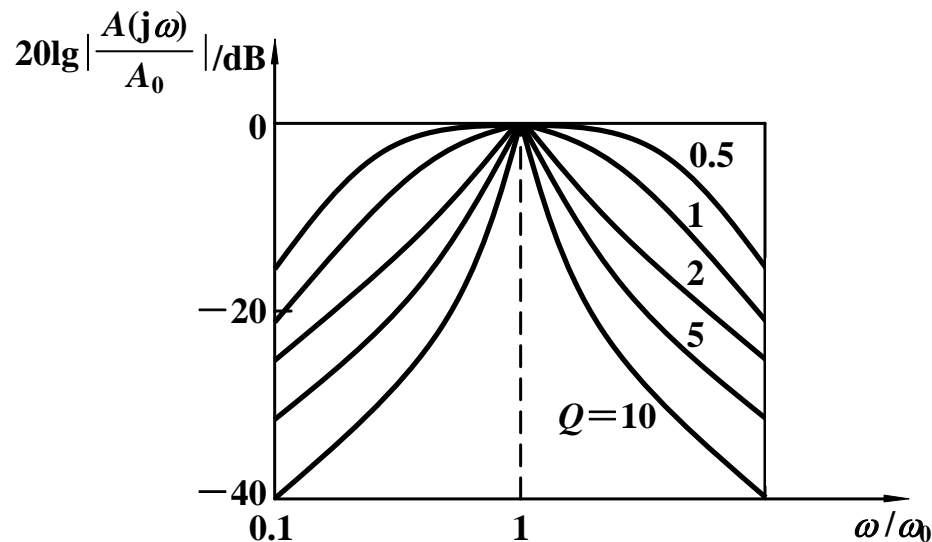
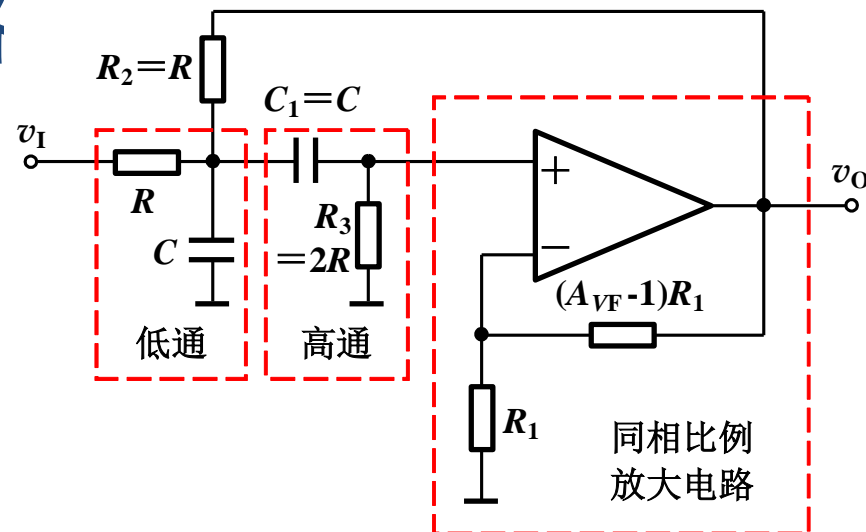
$$A(s) = \frac{A_{VF} sCR}{1 + (3 - A_{VF})sCR + (sCR)^2}$$

令

$$\begin{cases} A_0 = \frac{A_{VF}}{3 - A_{VF}} \\ \omega_0 = \frac{1}{RC} \\ Q = \frac{1}{3 - A_{VF}} \end{cases}$$

得

$$A(s) = \frac{A_0 \frac{s}{Q\omega_0}}{1 + \frac{s}{Q\omega_0} + \left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2}$$

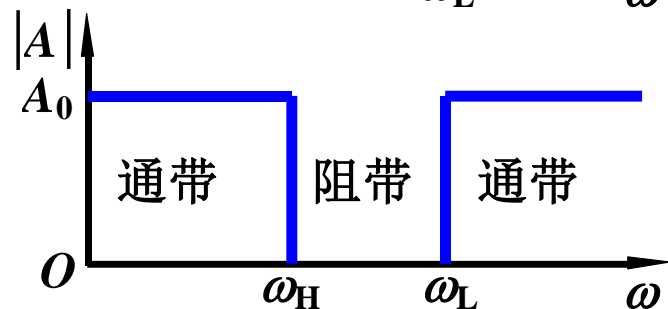
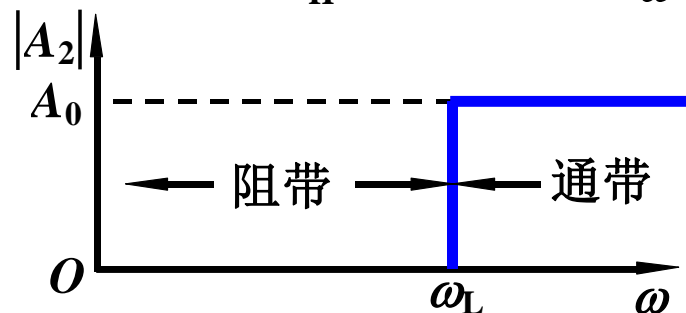
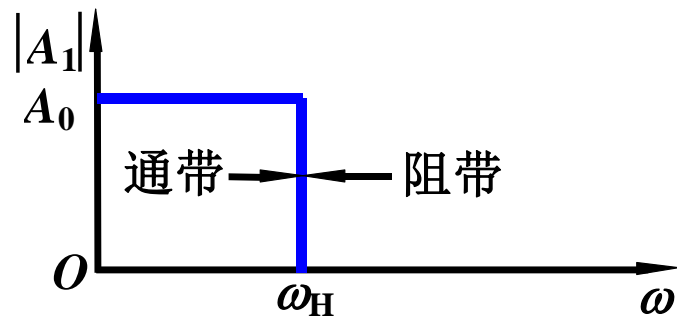
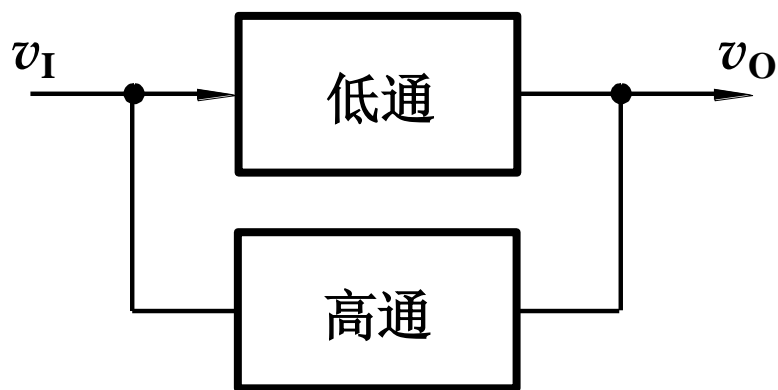


关于选择性

## 10.3.4 二阶有源带阻滤波电路

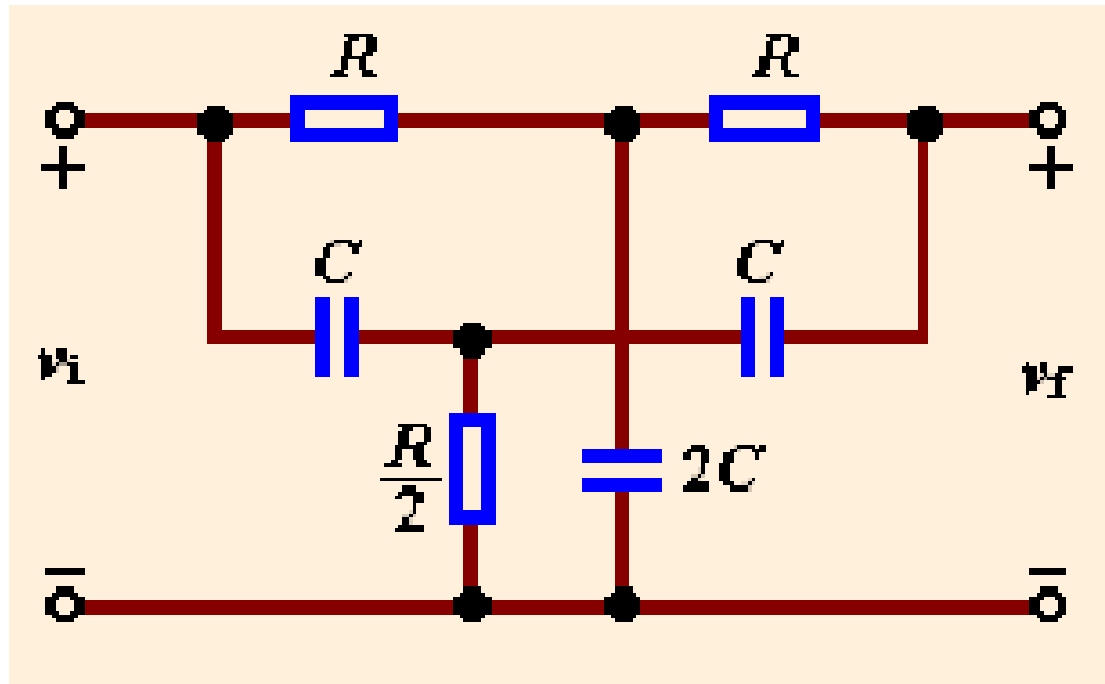
可由低通和高通并联得到

必须满足  $\omega_L > \omega_H$



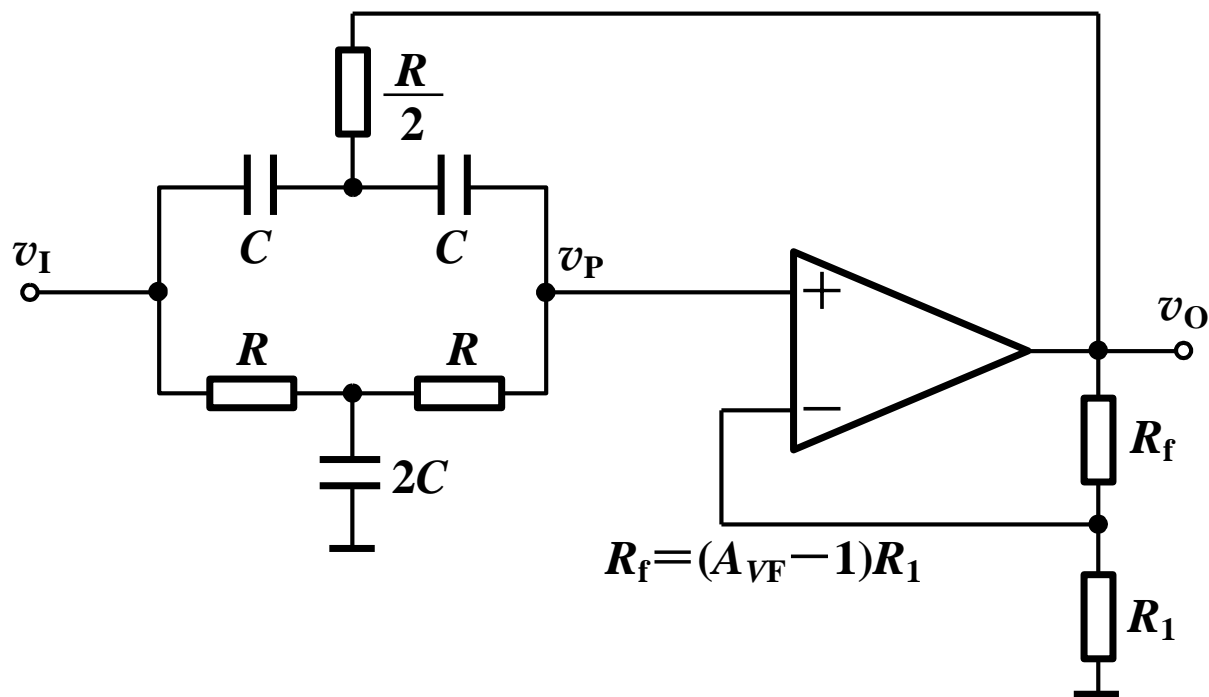
## 10.3.4 二阶有源带阻滤波电路

### 双T选频网络



## 10.3.4 二阶有源带阻滤波电路

### 双T带阻滤波电路



## 10.3.4 二阶有源带阻滤波电路

### 阻滤波电路的幅频特性

