

第六章 有源滤波电路

6.1 一阶有源RC滤波器

一阶有源RC滤波器

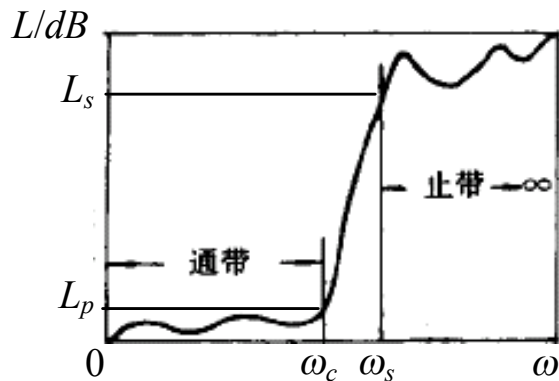
- 滤波器是在频域中对信号进行处理的基本器件
- 早期滤波器基于无源RLC电路
- 有源RC滤波器用集成运放替代电感，便于滤波器的集成

滤波器工作原理

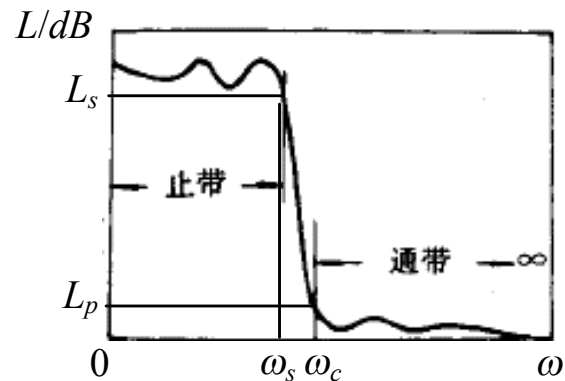
- 将携带有信息的信号，同不需要的混杂分离
- 携带有信息的频谱分量
 - 衰减很小，呈“通”的状态
- 不需要的频谱分量
 - 衰减很大，呈“阻”的状态
- 对输入信号，具有根据频率选择衰减的特征
- 称为经典滤波器

滤波器分类

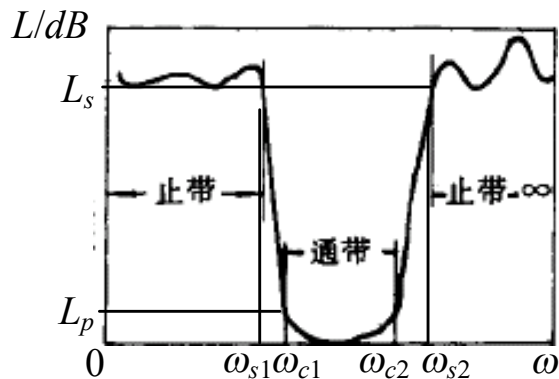
- 插入衰减：信号通过滤波器被衰减的程度



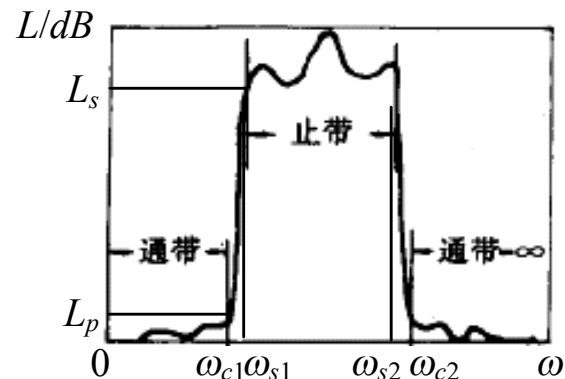
低通滤波器



高通滤波器

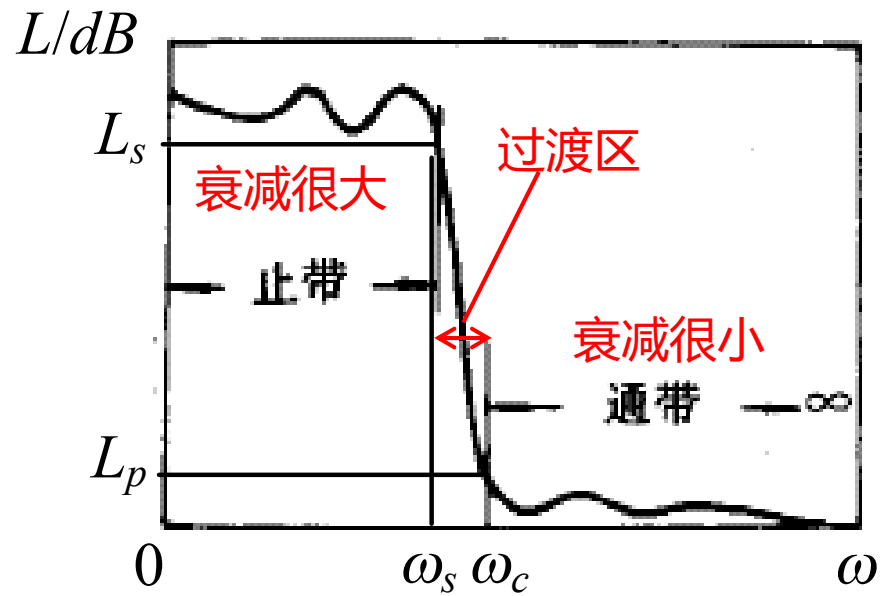


带通滤波器



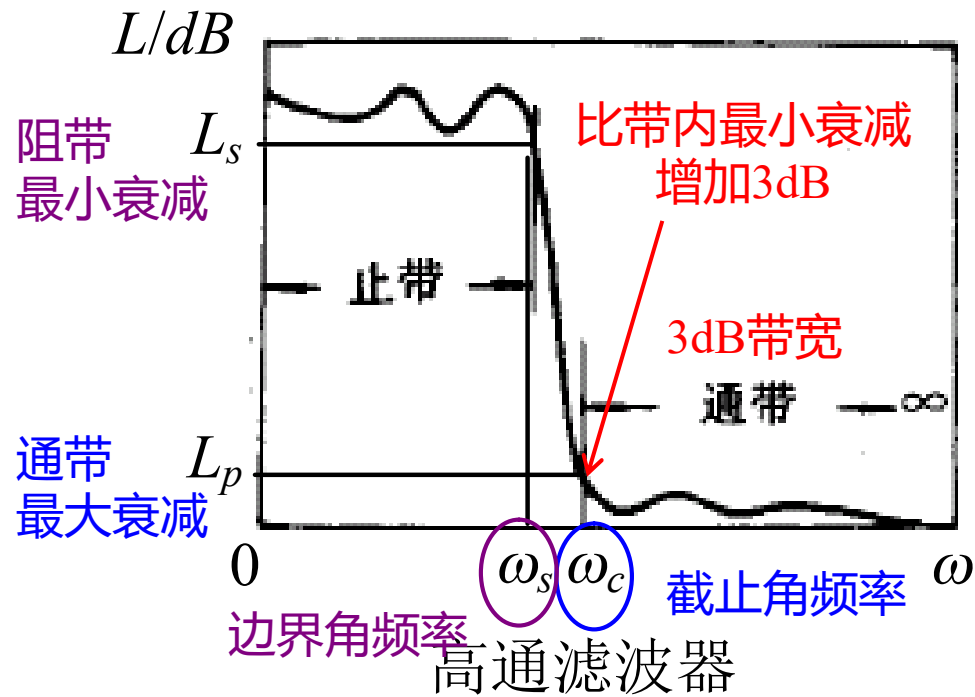
带阻滤波器

滤波器特征参数



高通滤波器

滤波器特征参数



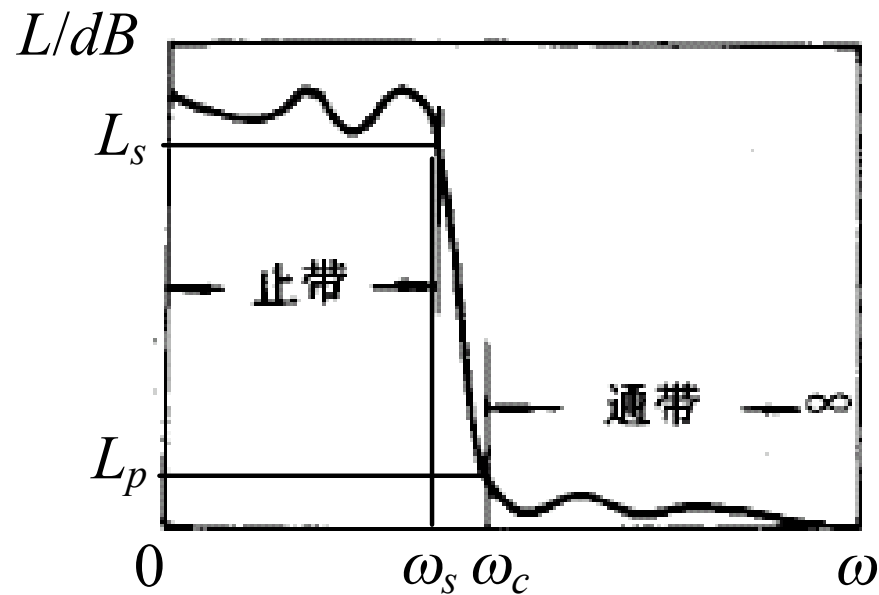
滤波器频率特性表示

- 常用系统函数、及相应的波特图表示

- 电压信号 $H(s) = \frac{V_o}{V_i}$

- 电流信号 $H(s) = \frac{I_o}{I_i}$

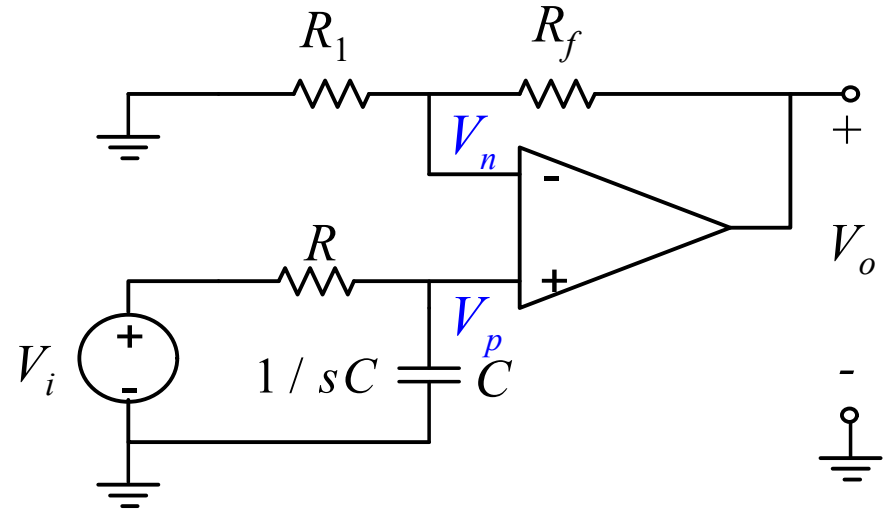
- 系统函数是滤波器特性分析的主要内容



高通滤波器

一阶有源RC低通滤波器

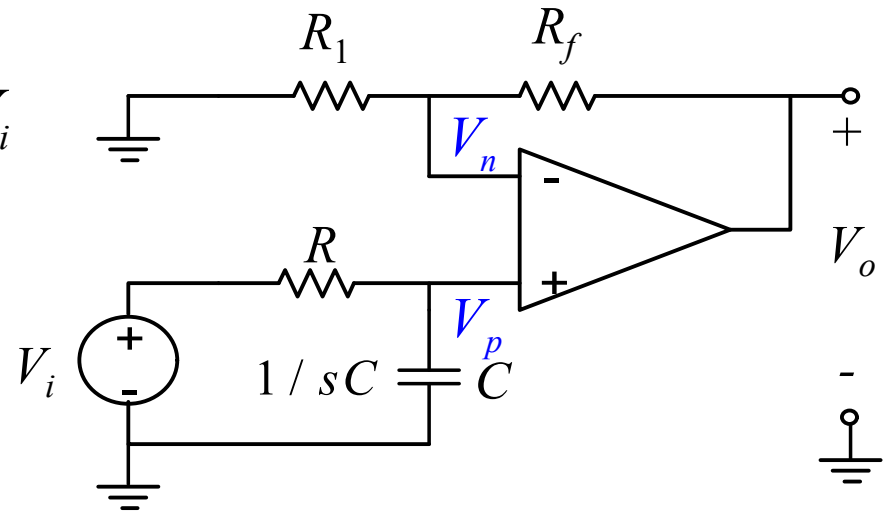
- 具有一个独立电容 C ，频率特性由RC电路决定
- 滤波由RC实现
- 运放仅起放大作用



一阶有源RC低通滤波器

$$V_p = \frac{1/(sC)}{R + 1/(sC)} V_i = \frac{1}{1 + RCs} V_i$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_p} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$



$$H(s) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{V_p} \cdot \frac{V_p}{V_i} = \frac{A_v}{1 + RCs}$$

特征角频率 $\omega_0 = \frac{1}{RC}$ $H(s) = \frac{A_v}{1 + \frac{s}{\omega_0}}$

一阶有源RC低通滤波器

$$H(j\omega) = H(s)\big|_{s=j\omega} = \frac{A_v}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}}$$

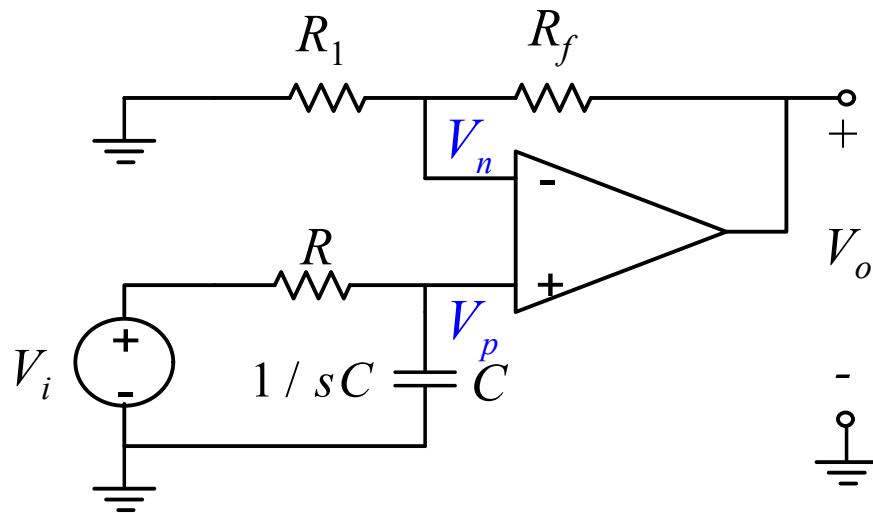
$$\omega \rightarrow 0, \quad |H(j\omega)| \rightarrow A_v$$

$$\omega \rightarrow \infty, \quad |H(j\omega)| \rightarrow 0$$

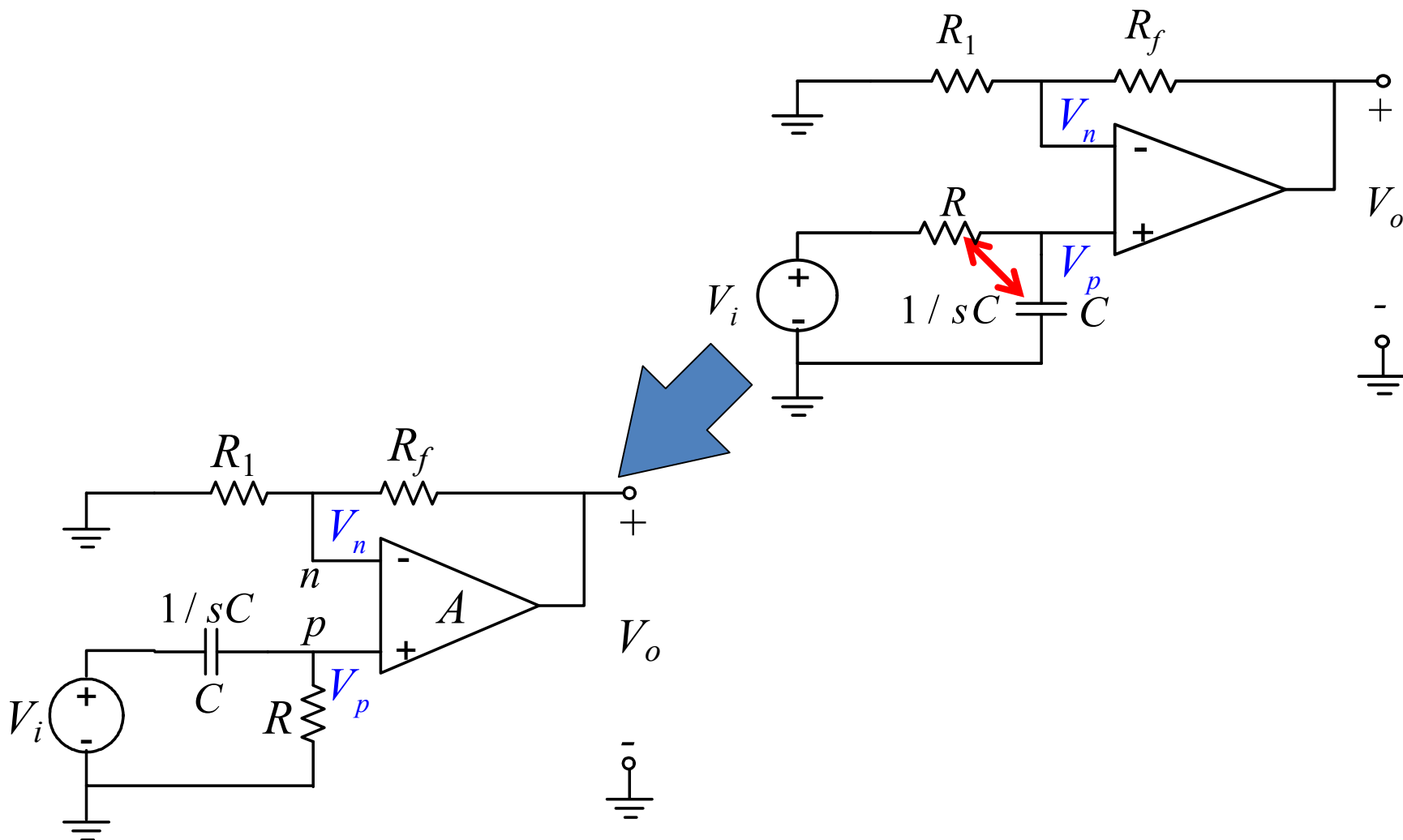
低通滤波特性

$$|H(j\omega)|_{\omega=\omega_0} = \frac{1}{\sqrt{2}} A_v \approx 0.7 A_v$$

下降3dB



一阶有源RC高通滤波器



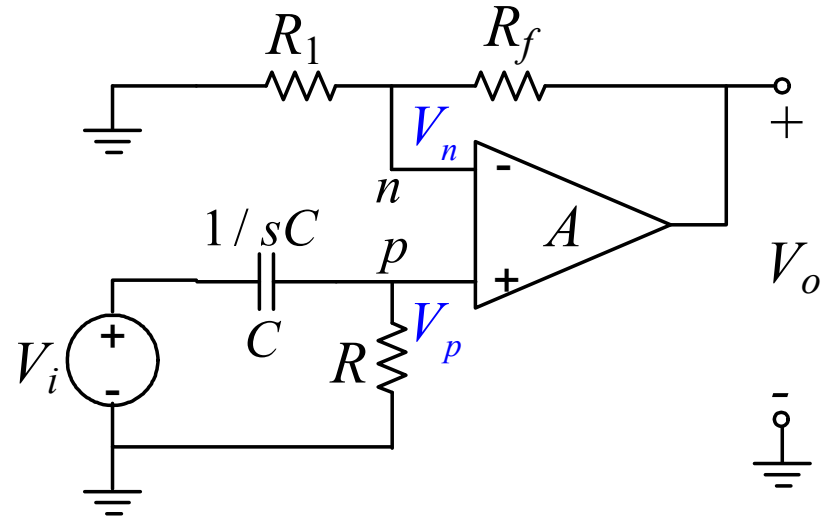
一阶有源RC高通滤波器

$$V_p = \frac{R}{R + 1/(sC)} V_i = \frac{RCs}{1 + RCs} V_i$$

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$

$$H(s) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{V_p} \cdot \frac{V_p}{V_i} = \frac{A_v RCs}{1 + RCs} = \frac{A_v}{1 + \frac{\omega_0}{s}}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_p} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$



一阶有源RC高通滤波器

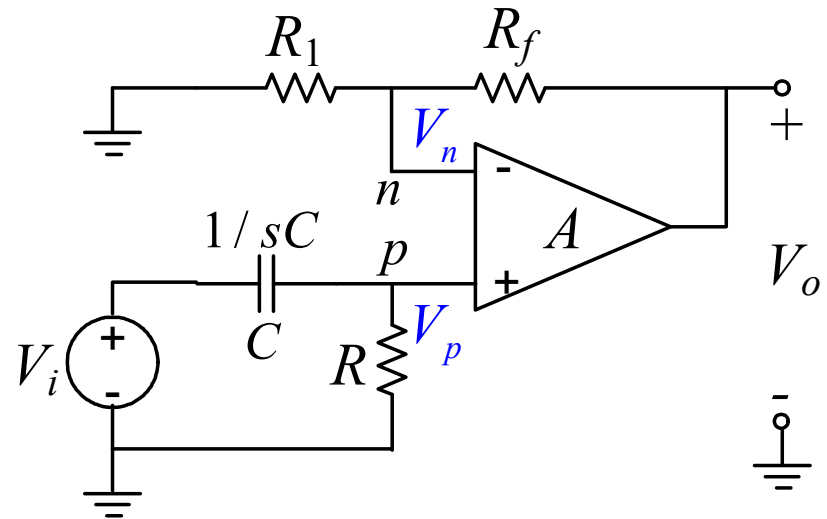
$$H(j\omega) = H(s)\big|_{s=j\omega} = \frac{A_v}{1 + \frac{\omega_0}{j\omega}}$$

$$\omega \rightarrow 0, \quad |H(j\omega)| \rightarrow 0$$

$$\omega \rightarrow \infty, \quad |H(j\omega)| \rightarrow A_v$$

高通滤波特性

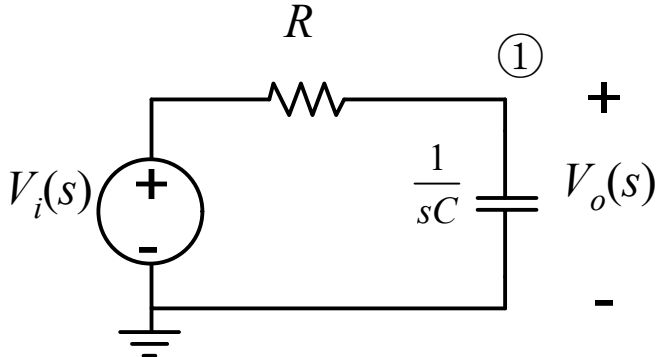
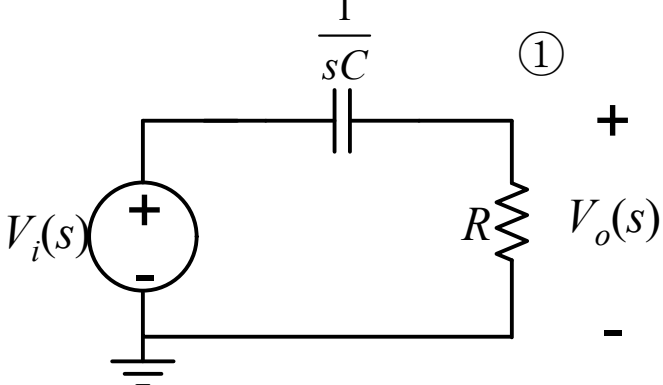
$$|H(j\omega)|_{\omega=\omega_0} = \frac{1}{\sqrt{2}} A_v \approx 0.7 A_v \quad \text{下降3dB}$$



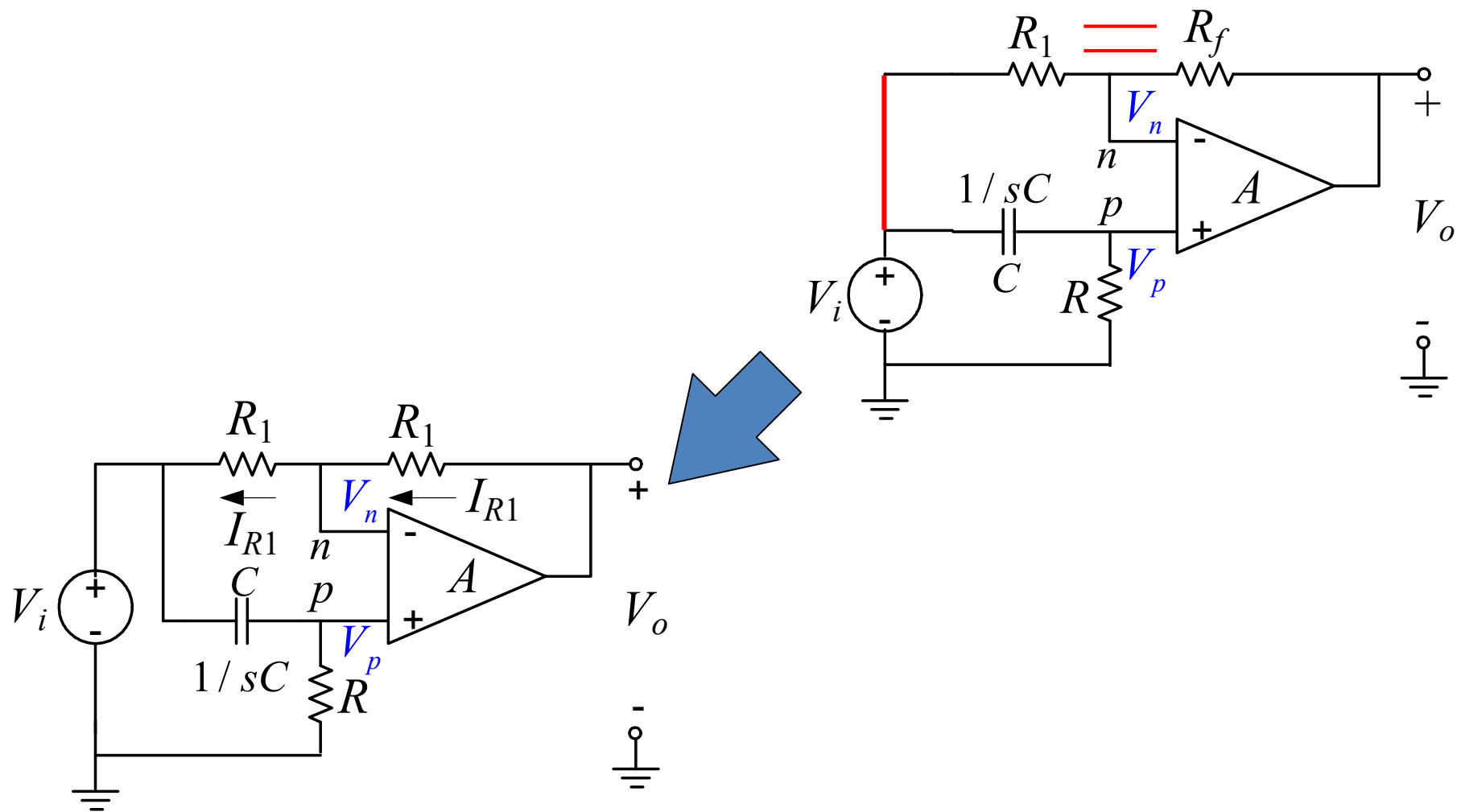
与RC电路频率响应对比

一阶有源RC滤波器频率响应

1阶RC电路频率响应

<p>低通</p> $H(s) = \frac{A_v}{1 + \frac{j\omega}{\omega_0}}$	$H(j\omega) = \frac{1}{1 + \frac{j\omega}{\omega_o}}$ 
<p>高通</p> $H(j\omega) = \frac{A_v}{1 + \frac{\omega_0}{j\omega}}$	$H(j\omega) = \frac{1}{1 + \frac{\omega_n}{j\omega}}$ 

一阶有源RC全通滤波器



一阶有源RC全通滤波器

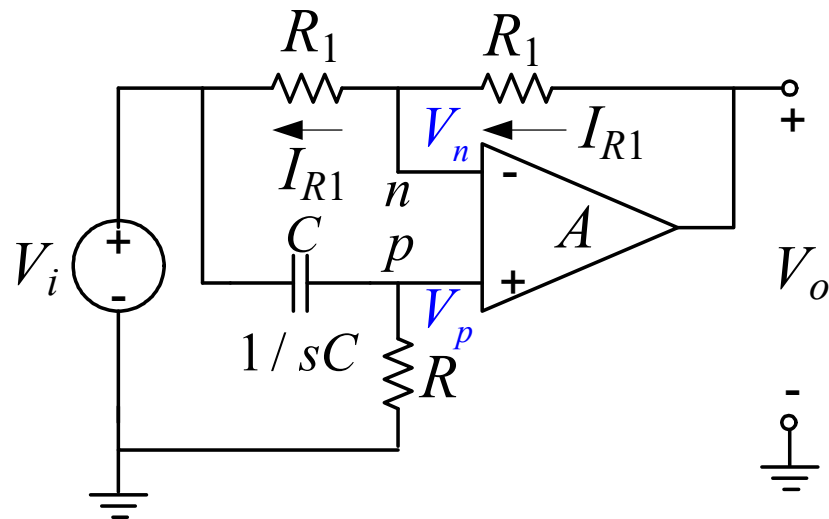
$$V_p = \frac{R}{R + 1 / (sC)} V_i = \frac{RCs}{1 + RCs} V_i$$

$$V_n = V_p$$

$$\frac{V_n - V_i}{R_1} = \frac{V_o - V_n}{R_1}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$

$$H(s) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{RCs - 1}{RCs + 1} = \frac{s - \omega_0}{s + \omega_0}$$

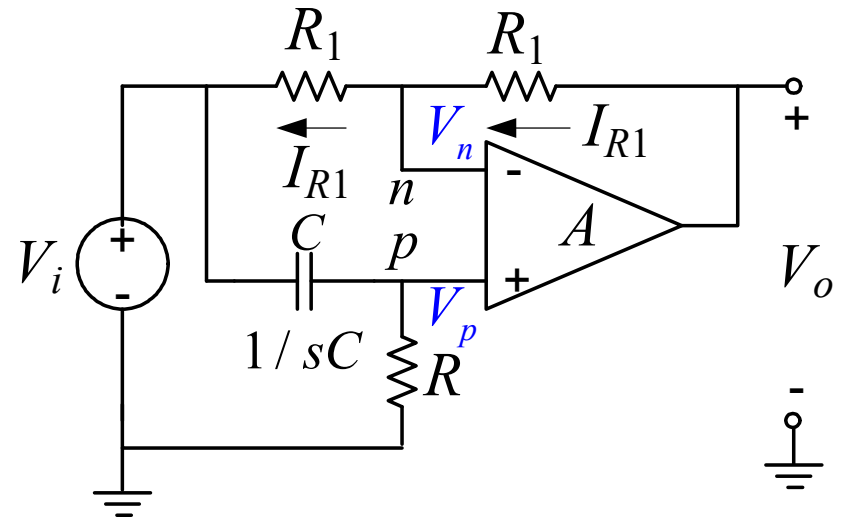


一阶有源RC全通滤波器

$$H(j\omega) = H(s)\big|_{s=j\omega} = \frac{j\omega - \omega_0}{j\omega + \omega_0}$$

$$\left| H(s)\big|_{s=j\omega} \right| = \left| \frac{j\omega - \omega_0}{j\omega + \omega_0} \right| = 1$$

全通滤波特性



一阶有源RC全通滤波器

$$H(j\omega) = H(s)|_{s=j\omega} = \frac{j\omega - \omega_0}{j\omega + \omega_0}$$

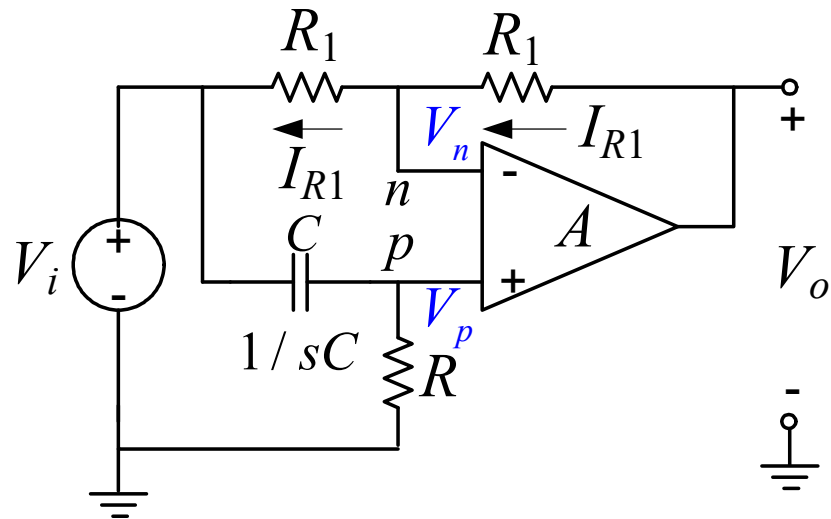
$$\varphi(j\omega) = -2 \arctan\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$$

$$\omega \rightarrow 0, \quad \varphi(j\omega) \rightarrow 0$$

$$\omega = \omega_0, \quad \varphi(j\omega) = -90^\circ$$

$$\omega \rightarrow \infty, \quad \varphi(j\omega) \rightarrow -180^\circ$$

输入不同频率分量，相移不同



小结

- 低通、高通、和全通滤波器
- 1阶滤波器所需电路元件少，但是滤波性能较差
- 只适用于滤波要求不高的场合