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

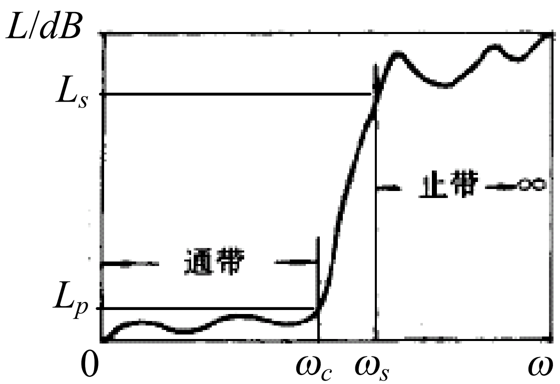
- 滤波器是在频域中对信号进行处理的基本器件
- 早期滤波器基于无源RLC电路
- 有源RC滤波器用集成运放替代电感，便于滤波器的集成

滤波器工作原理

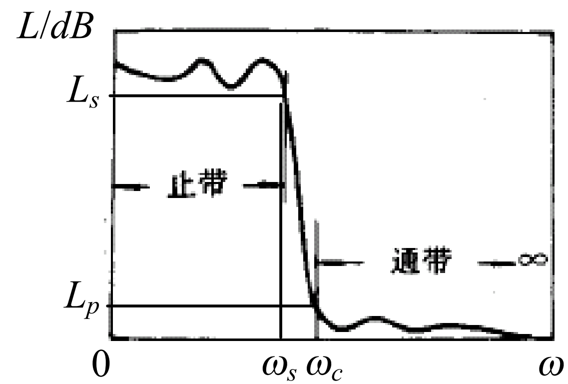
- 将携带有信息的信号，同不需要的混杂分离
- 携带有信息的频谱分量
  - 衰减很小，呈“通”的状态
- 不需要的频谱分量
  - 衰减很大，呈“阻”的状态
- 对输入信号，具有根据频率选择衰减的特征
- 称为经典滤波器

滤波器分类

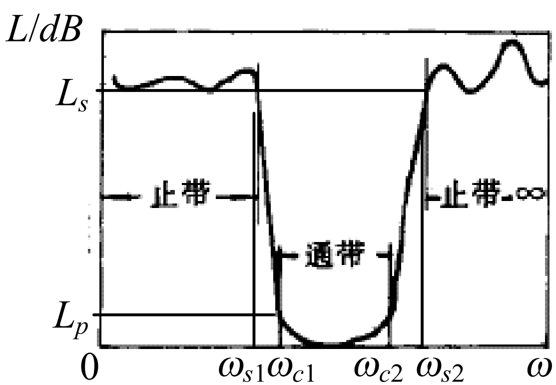
- 插入衰减：信号通过滤波器被衰减的程度



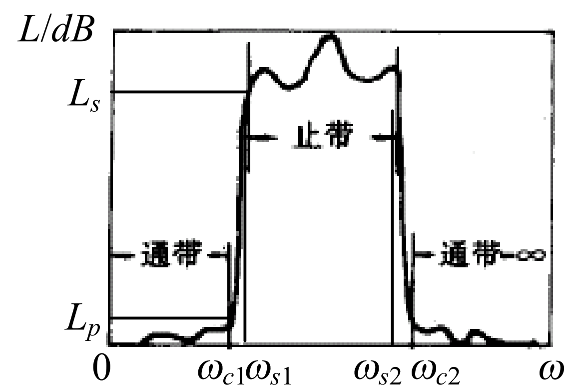
低通滤波器



高通滤波器

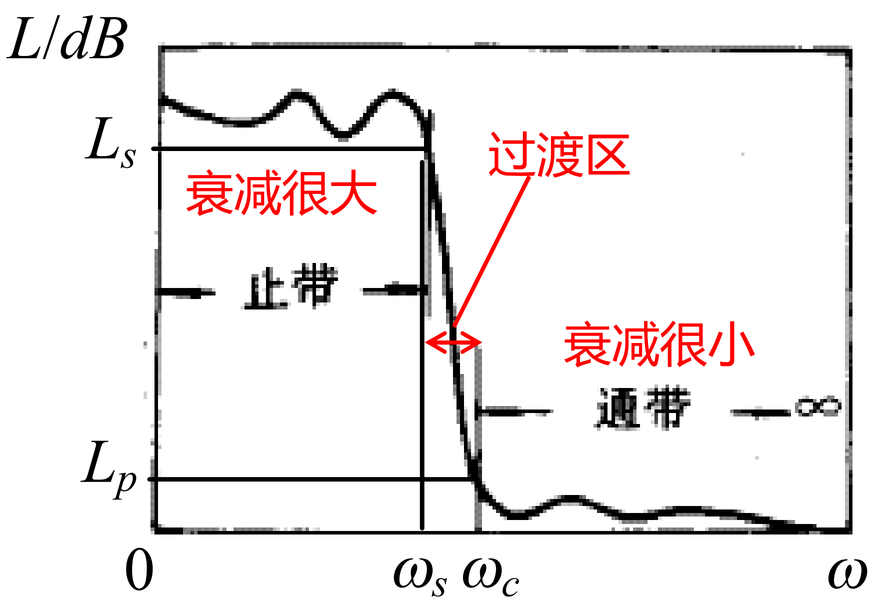


带通滤波器



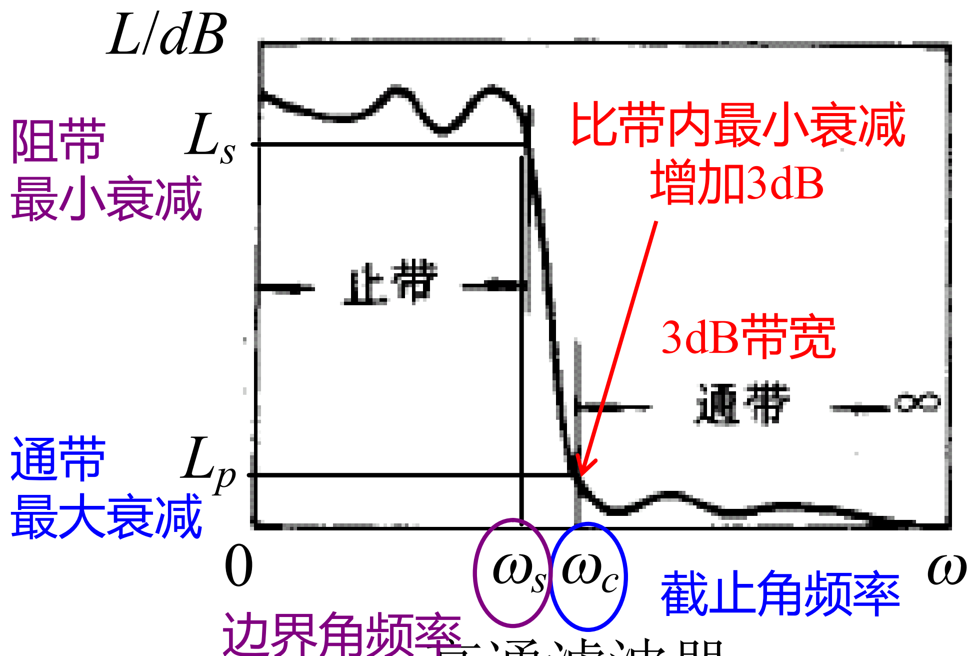
带阻滤波器

滤波器特征参数



高通滤波器

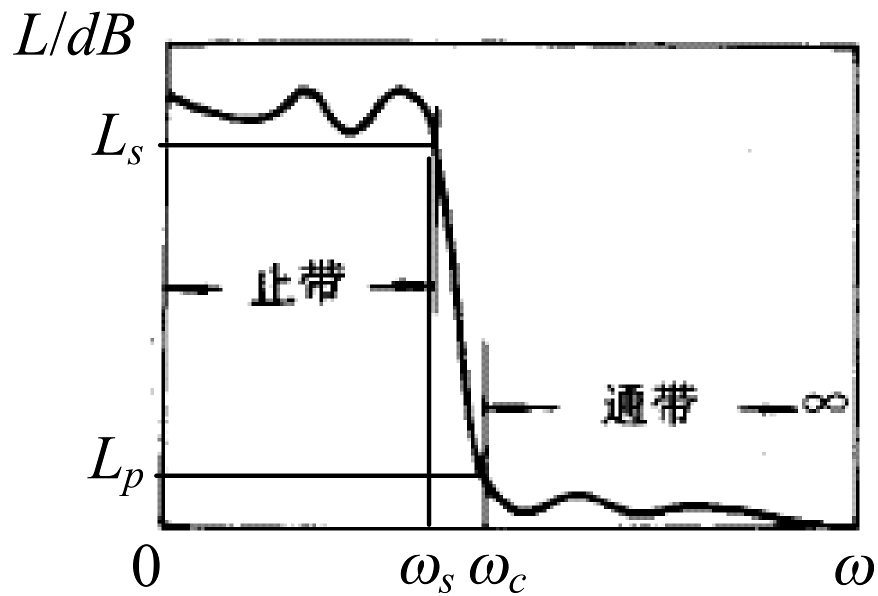
滤波器特征参数



高通滤波器

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 $H(s)=\dfrac{V_o}{V_i}$
- 电流信号 $H(s)=\dfrac{I_o}{I_i}$
- 系统函数是滤波器特性分析的主要内容



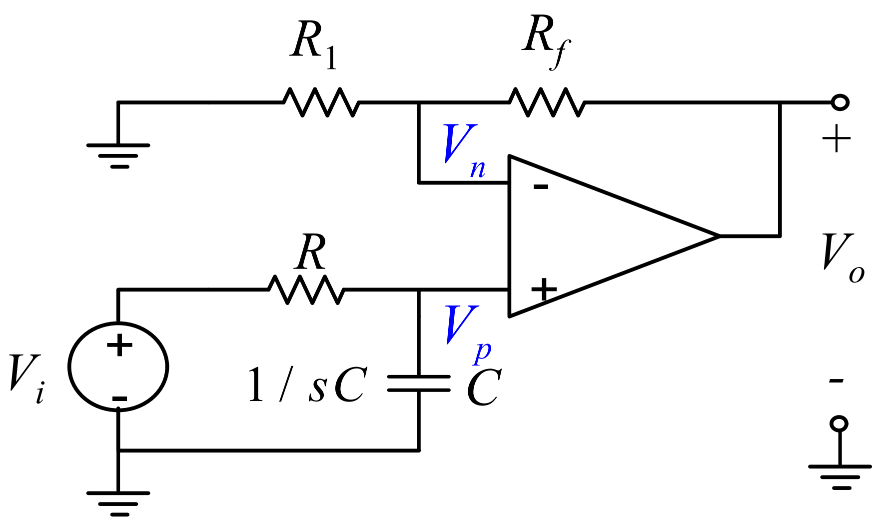
高通滤波器

一阶有源RC低通滤波器

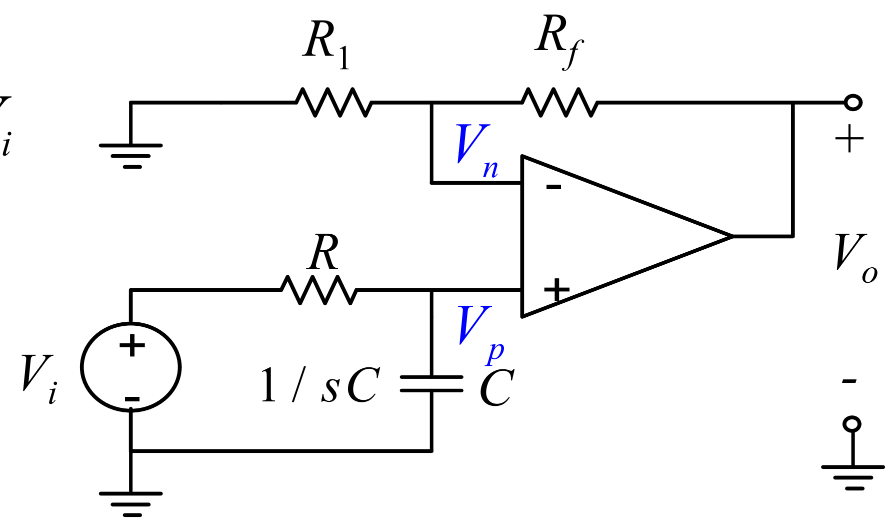
- 具有一个独立电容C，频率特性由RC电路决定

- 滤波由RC实现

- 运放仅起放大作用



一阶有源RC低通滤波器



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

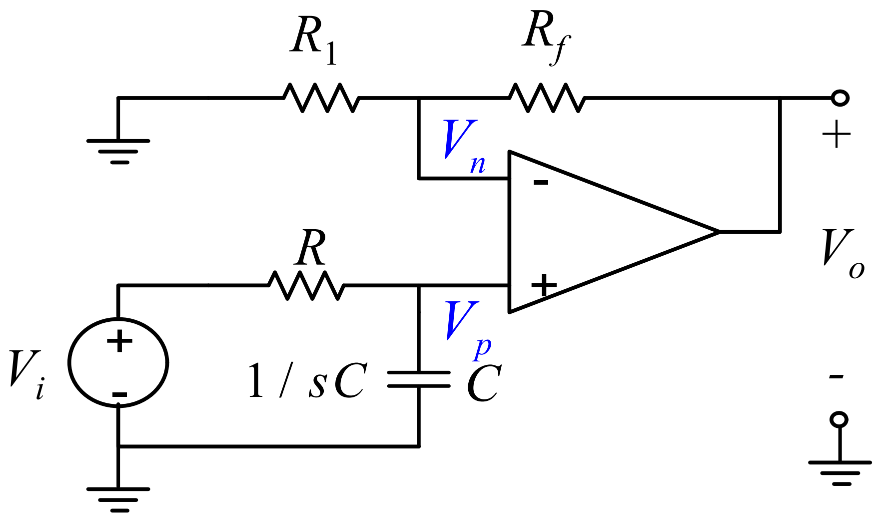
$$A_v = \frac{V_o}{V_p} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

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

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

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



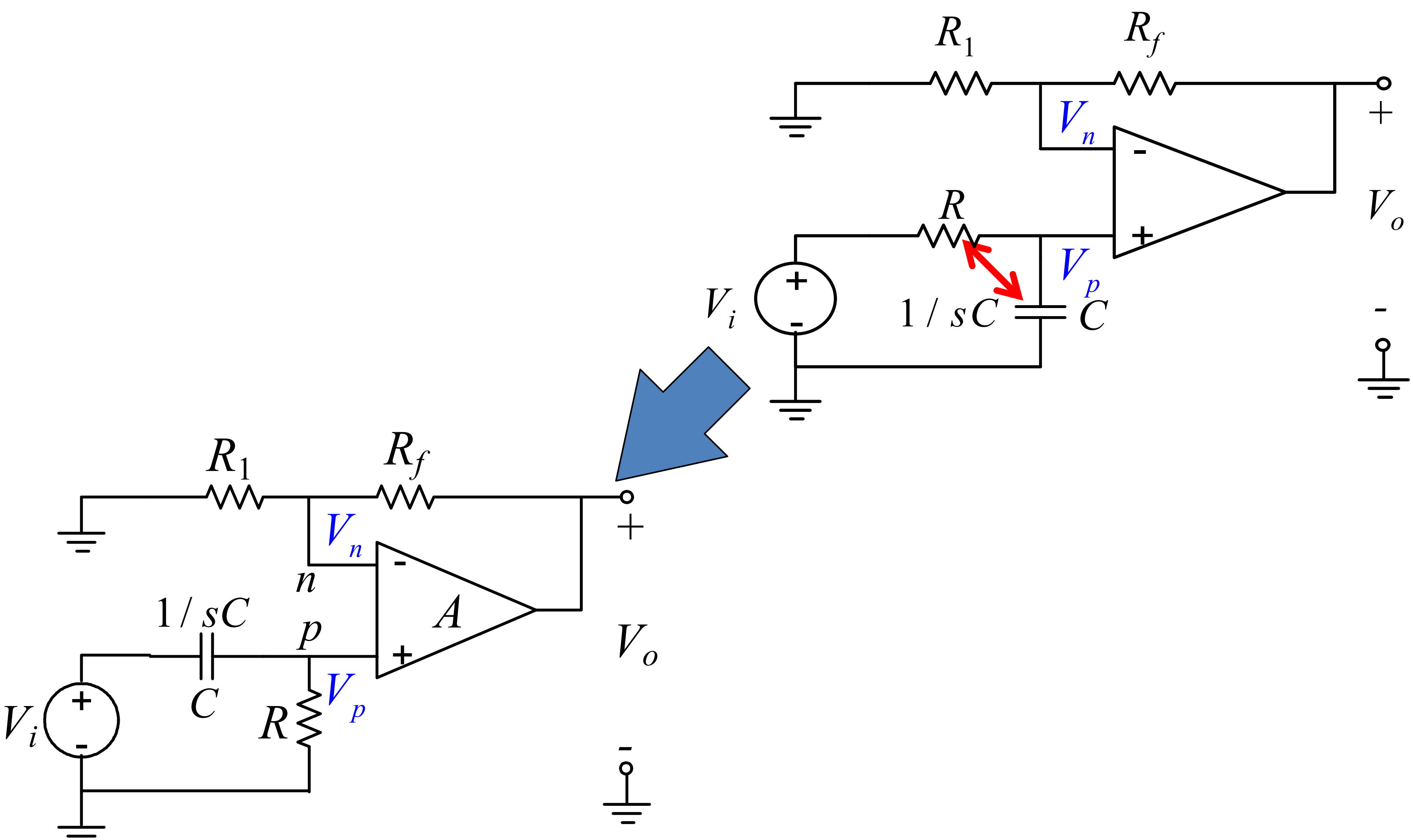
$$\omega\to 0,\quad |H(j\omega)|\to A_v$$

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

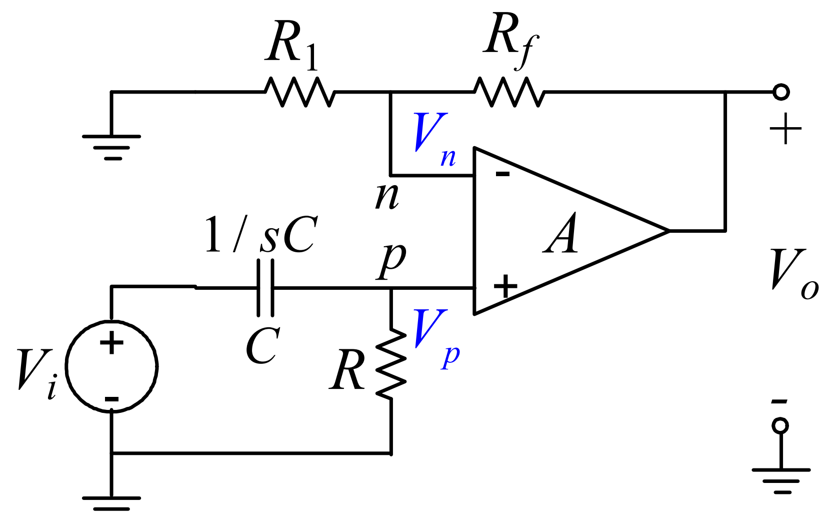
低通滤波特性

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

一阶有源RC高通滤波器



一阶有源RC高通滤波器



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

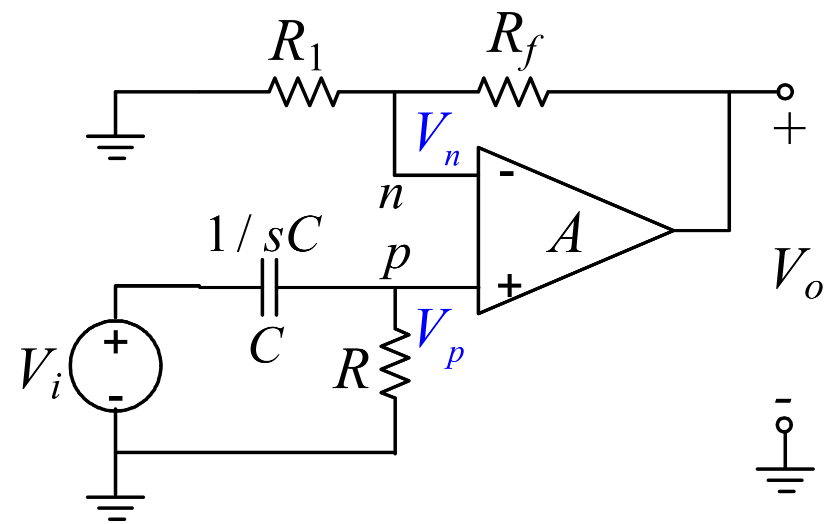
$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$

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

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

一阶有源RC高通滤波器

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



$$\omega\to 0,\quad \left|H(j\omega)\right|\to 0$$

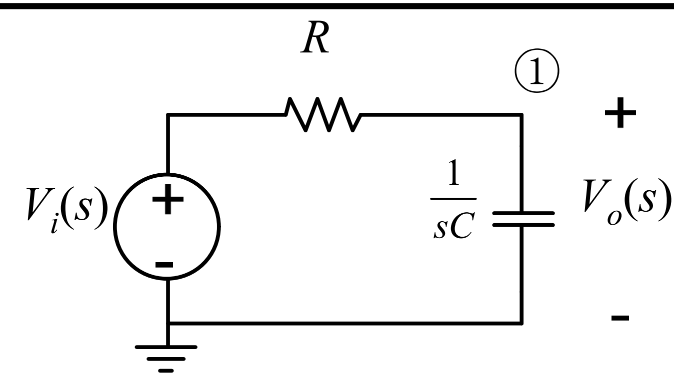
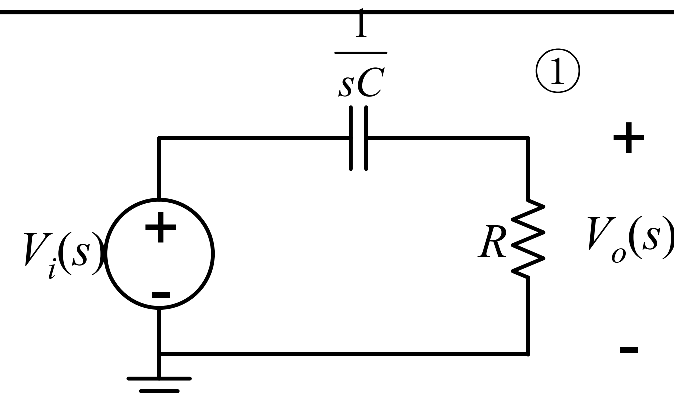
$$\omega\to\infty,\quad \left|H(j\omega)\right|\to A_v$$

高通滤波特性

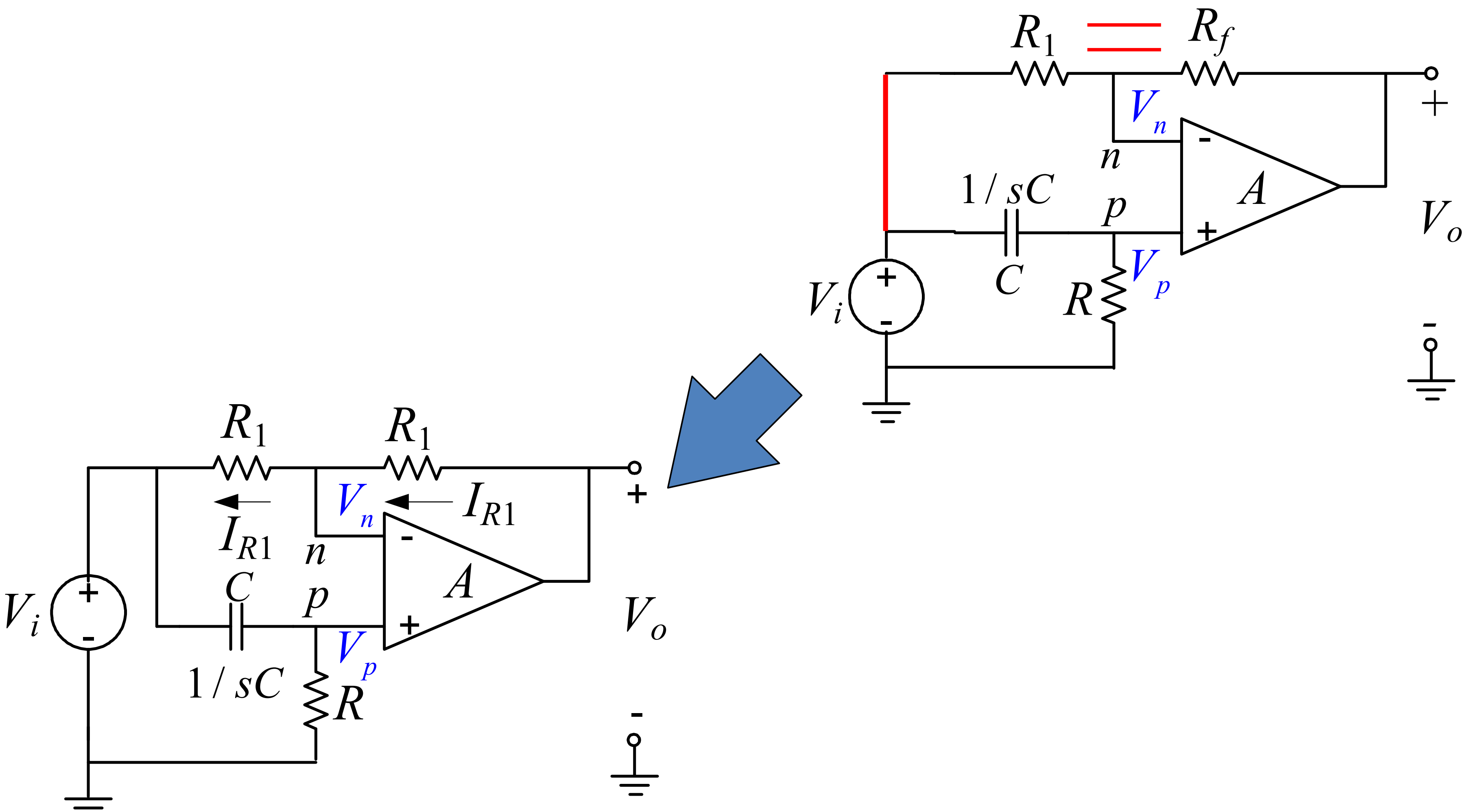
$$\left|H(j\omega)\right|_{\omega=\omega_0}=\frac{1}{\sqrt{2}}A_v\approx 0.7A_v$$ **下降3dB**

与RC电路频率响应对比

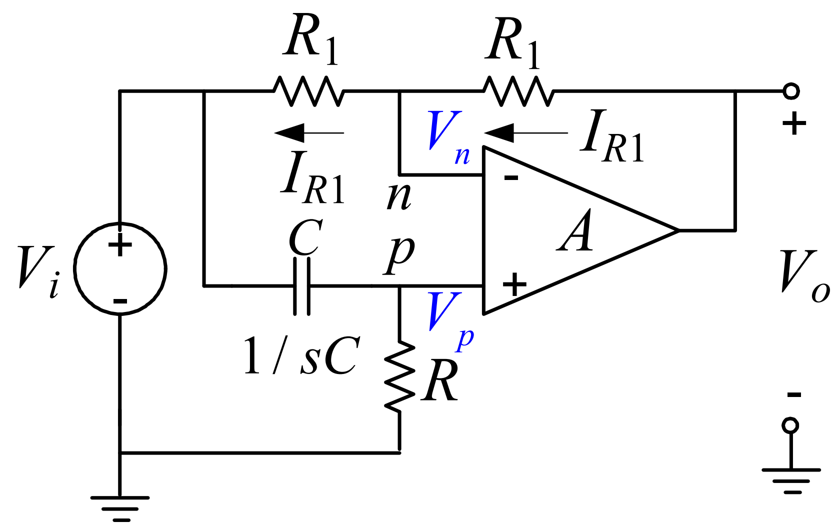
一阶有源RC滤波器频率响应 **1阶RC电路频率响应**

低通	$H(s)=\dfrac{A_v}{1+\dfrac{j\omega}{\omega_0}}$	$H(j\omega)=\dfrac{1}{1+\dfrac{j\omega}{\omega_o}}$	
高通	$H(j\omega)\Big\vert=\dfrac{A_v}{1+\dfrac{\omega_0}{j\omega}}$	$H(j\omega)=\dfrac{1}{1+\dfrac{\omega_n}{j\omega}}$	

一阶有源RC全通滤波器



一阶有源RC全通滤波器



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

$$V_n = V_p$$

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

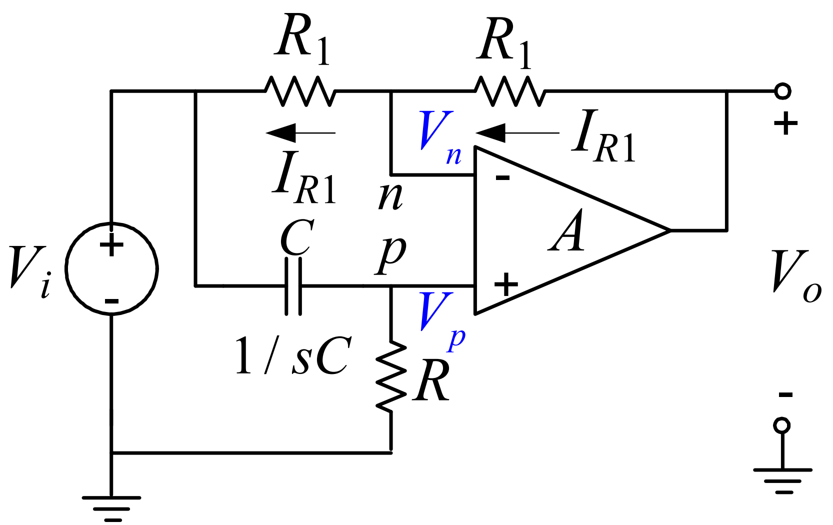
$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$

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

一阶有源RC全通滤波器

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

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



全通滤波特性

一阶有源RC全通滤波器

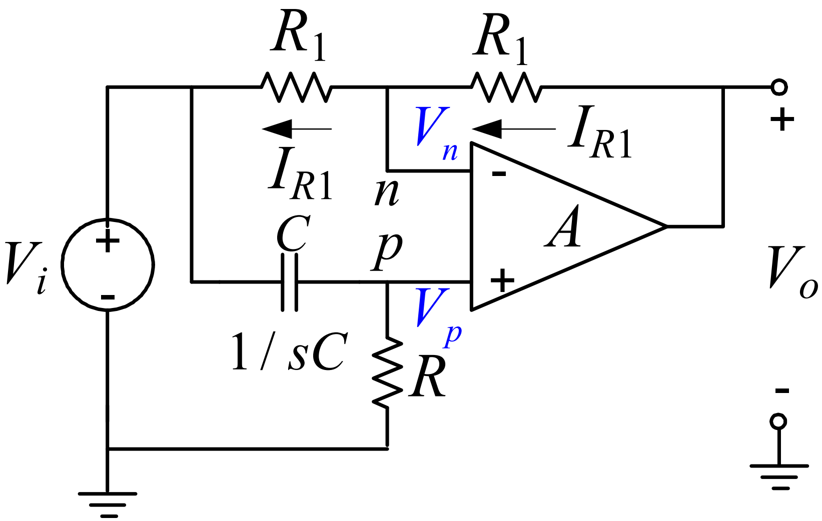
$$H(j\omega)=H(s)\Big|_{s=j\omega}=\frac{j\omega-\omega_0}{j\omega+\omega_0}$$

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

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

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

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



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