



# 滤波器基础04——全通滤波器



徐晓康 / 2024年10月30日 / 硬件基础

标签： 滤波器

📊 浏览量 230

**滤波器基础系列博客**，传送门：

**滤波器基础01——滤波器的种类与特性** – 徐晓康的博客  
([myhardware.top](https://myhardware.top))

**滤波器基础02——滤波器的传递函数与性能参数** – 徐晓康的  
博客 ([myhardware.top](https://myhardware.top))

**滤波器基础03——Sallen-Key滤波器、多反馈滤波器与Bainter陷波器 – 徐晓康的博客 (myhardware.top)**

**滤波器基础04——全通滤波器 – 徐晓康的博客 (myhardware.top)**

**滤波器基础05——巴特沃斯、切比雪夫与贝塞尔滤波器 – 徐晓康的博客 (myhardware.top)**

**滤波器基础06——滤波器设计软件 – 徐晓康的博客 (myhardware.top)**

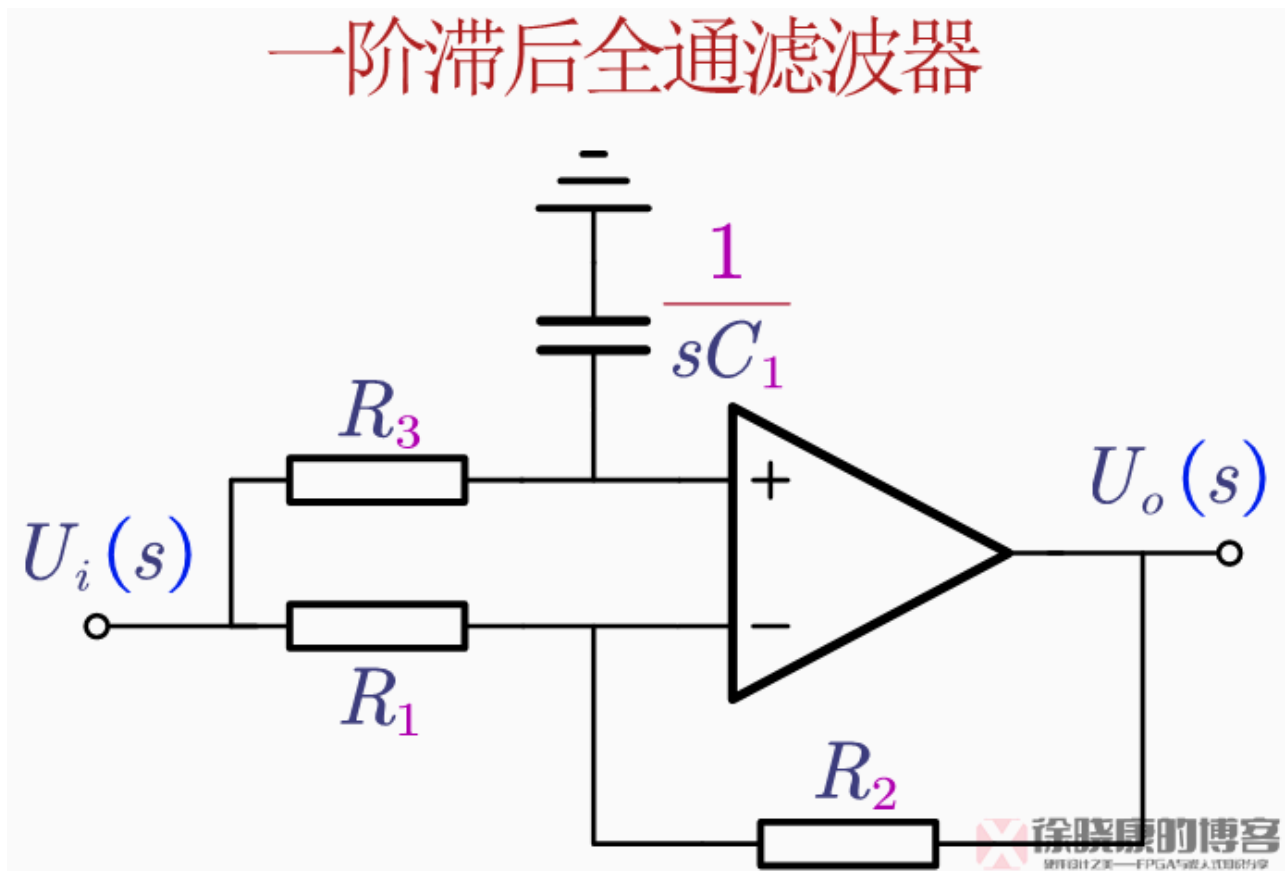
## 前言

全通滤波器不改变信号的幅值，仅改变信号的相位。全通滤波器的一种用途是提供相位均衡，一般用在脉冲电路中。同时也可用在单边带、抑制载波调制电路中。

### 一. 一阶全通滤波器

## 1.1 一阶滞后全通滤波器

电路图如下图所示：



设运放正输入的电压为  $X(s)$ ，有：

$$\begin{cases} \frac{U_i(s) - X(s)}{R_3} = \frac{X(s)}{\frac{1}{sC_1}} \\ \frac{U_i(s) - X(s)}{R_1} = \frac{X(s) - U_o(s)}{R_2} \end{cases}$$

$$\Rightarrow H(s) = \frac{\frac{R_2}{R_1} - sR_3C_1}{1 + sR_3C_1}$$

对于全通滤波器,  $R_1$ 与 $R_2$ 必须相等, 有:

$$H(s) = \frac{1 - R_3 C_1 s}{1 + R_3 C_1 s}$$

幅频特性:

$$A(\omega) = \frac{\sqrt{1 + (R_3 C_1 \omega)^2}}{\sqrt{1 + (R_3 C_1 \omega)^2}} = 1$$

相频特性: 相角 = 分子相角 - 分母相角。

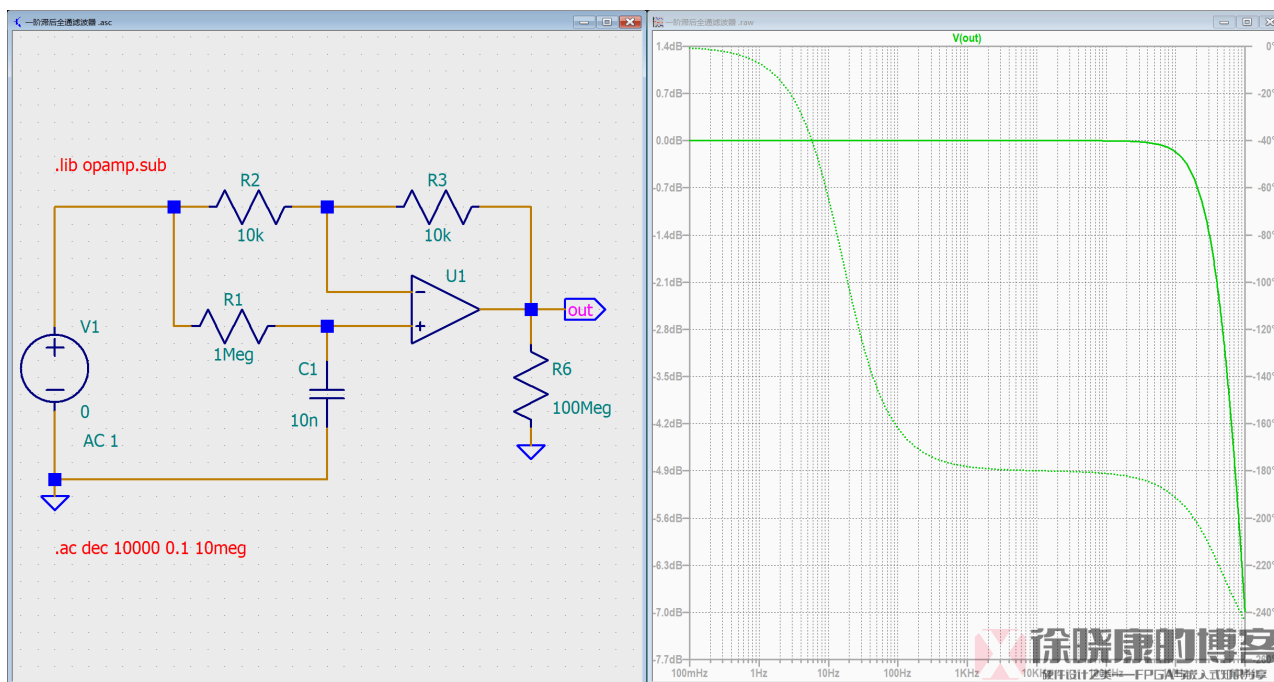
$$\varphi(\omega) = \arctan\left(\frac{-R_3 C_1 \omega}{1}\right) - \arctan\left(\frac{R_3 C_1 \omega}{1}\right)$$



又 $\arctan(R_3 C_1)$ 的值在  $0 \sim 90^\circ$  之间, 所以相角在  $-180^\circ \sim 0^\circ$  之间, 为滞后。

一阶滞后全通LTspice仿真电路与Bode图如下图所示。注意通带内相位从 $0^\circ$ 向 $-180^\circ$ 变化。

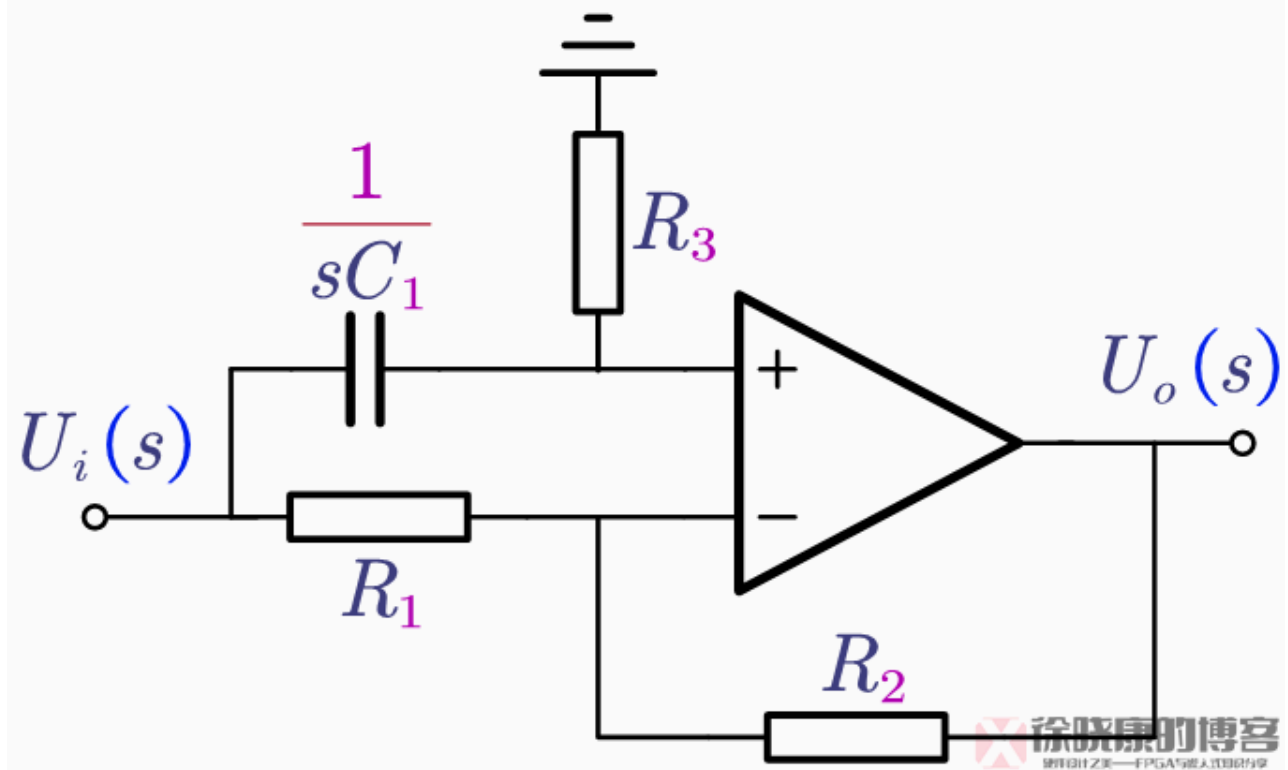
注意，实际电路容值的选择一般在100pF~100nF之间，这时电容介质一般为C0G或X7R，有着比较好的温度特性。电阻值最大不要超过1M $\Omega$ ，不然可能接近运放的输入电阻，使得运放的虚断特性不再成立。



## 1.2 一阶超前全通滤波器

电路图如下图所示：

# 一阶超前全通滤波器



设运放正输入的电压为 $X(s)$ ，有：

$$\begin{cases} \frac{U_i(s) - X(s)}{\frac{1}{sC_1}} = \frac{X(s)}{R_3} \\ \frac{U_i(s) - X(s)}{R_1} = \frac{X(s) - U_o(s)}{R_2} \end{cases}$$

$$\Rightarrow H(s) = \frac{-\frac{R_2}{R_1} + sR_3C_1}{1 + sR_3C_1}$$

同样有 $R_1 = R_2$ ，则

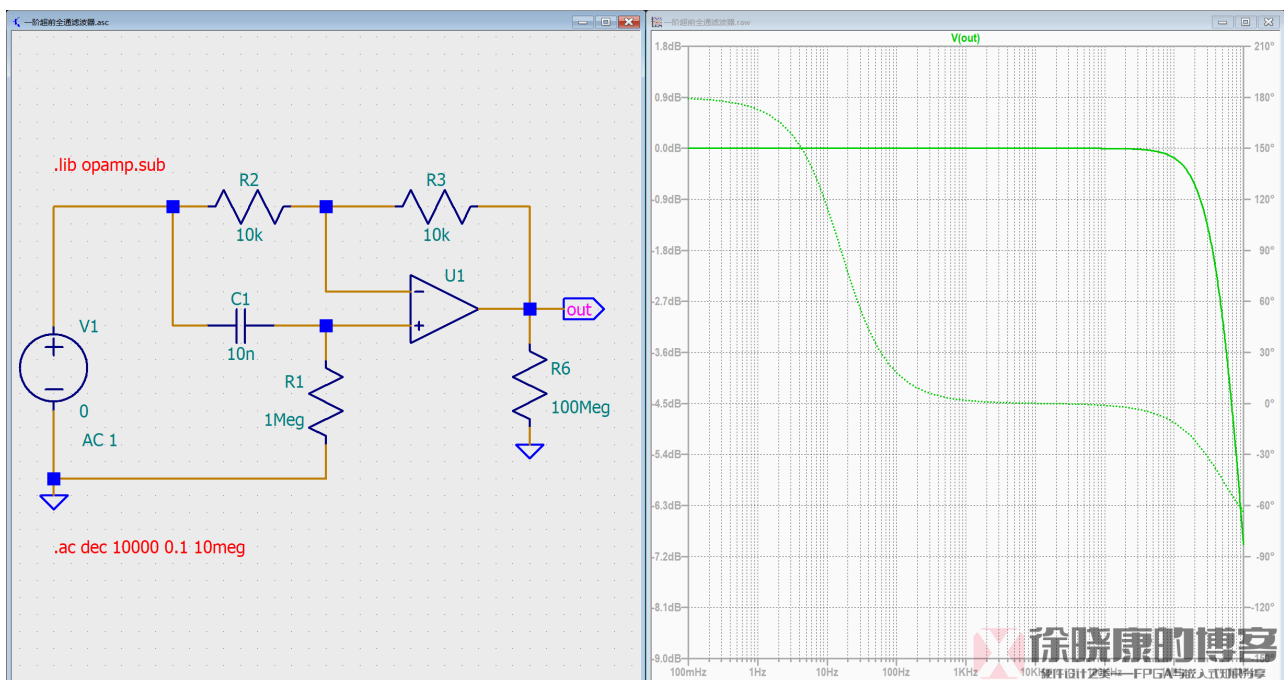
$$H(s) = \frac{-1 + sR_3C_1}{1 + sR_3C_1}$$

相频特性：

$$\varphi(\omega) = 180 + \arctan\left(\frac{R_3C_1\omega}{-1}\right) - \arctan\left(\frac{R_3C_1\omega}{1}\right)$$

又 $\arctan(R_3C_1\omega)$ 的值在  $0 \sim 90^\circ$  之间，所以相角在  $0 \sim 180^\circ$  之间，为超前。

一阶超前全通滤波器LTspice仿真电路图与Bode图如下图所示。注意通带内相位从 $180^\circ$ 向 $0^\circ$ 变化。



## 二. 二阶全通滤波器

二阶全通滤波器电路如下图所示。

设运放正输入电压为 $X(s)$ ， $R_1$ 与 $C_1$ 连接点电压为 $Y(s)$ ，有：

$$\begin{cases} \frac{U_i(s) - X(s)}{R_3} = \frac{X(s)}{R_4} \\ \frac{Y(s) - X(s)}{\frac{1}{sC_2}} = \frac{X(s) - U_o(s)}{R_2} \\ \frac{U_i(s) - Y(s)}{R_1} = \frac{Y(s) - X(s)}{\frac{1}{sC_2}} + \frac{Y(s) - U_o(s)}{\frac{1}{sC_1}} \end{cases}$$

最上式  $\Rightarrow X(s) = \frac{R_4}{R_3 + R_4} U_i(s) = k U_i(s)$ ，其中 $k$



$$\text{中间式} \Rightarrow Y(s) = \frac{k(1 + R_2 C_2 s)U_i(s) - U_o(s)}{R_2 C_2 s}$$

$$\text{最下式} \Rightarrow Y(s) = \frac{U_i(s)(1 + sR_1 C_2 k) + sR_1 C_1 U_o(s)}{1 + sR_1 C_1 + sR_1 C_2}$$

有：

$$\frac{k(1 + R_2 C_2 s)U_i(s) - U_o(s)}{R_2 C_2 s} = \frac{U_i(s)(1 + sR_1 C_2 k) + sR_1 C_1 U_o(s)}{1 + sR_1 C_1 + sR_1 C_2}$$

$$U_o(s) \left( \frac{sR_1 C_1}{1 + sR_1 C_1 + sR_1 C_2} + \frac{1}{R_2 C_2 s} \right) = U_i(s)$$

$$\Rightarrow H(s) = \frac{U_o(s)}{U_i(s)} = \frac{\frac{1 + sR_1 C_2 k}{1 + sR_1 C_1 + sR_1 C_2} - k \frac{1 + R_2 C_2 s}{R_2 C_2 s}}{\frac{sR_1 C_1}{1 + sR_1 C_1 + sR_1 C_2} + \frac{1}{R_2 C_2 s}}$$

最终的通用传递函数为：

$$\Rightarrow H(s) = k \frac{1 + (R_1 C_1 + R_1 C_2 + \frac{k-1}{k} R_2 C_2) s +}{1 + (R_1 C_1 + R_1 C_2) s + R_1 R_2}$$

因为是全通滤波器，有：

$$R_1 C_1 + R_1 C_2 + \frac{k-1}{k} R_2 C_2 = -R_1 C_1 - R_1 C_2$$

$$\Rightarrow 2R_1 C_1 + 2R_1 C_2 = \frac{1-k}{k} R_2 C_2$$

一般来说，两个电容会选择相同容值的即  $C_1 = C_2$ ，有：

$$4R_1 = \frac{1-k}{k} R_2 \Rightarrow R_2 = \frac{4k}{1-k} R_1$$

则实际电路传递函数为：

$$H(s) = k \frac{1 - j2R_1 C_1 \omega + \frac{4k}{1-k} R_1^2 C_1^2 s^2}{1 + j2R_1 C_1 \omega + \frac{4k}{1-k} R_1^2 C_1^2 s^2}$$

$$H(j\omega) = k \frac{1 - \frac{4k}{1-k} R_1^2 C_1^2 \omega^2 - j2R_1 C_1 \omega}{1 - \frac{4k}{1-k} R_1^2 C_1^2 \omega^2 + j2R_1 C_1 \omega}$$

幅频特性:

$$A(\omega) = k$$

因为  $k = \frac{R_4}{R_3 + R_4}$ ，所以信号经过此二阶全通滤波器会被衰减，但衰减与频率无关。

相频特性:

$$\varphi(\omega) = \begin{cases} -2\arctan\left(\frac{2R_1 C_1 \omega}{1 - \frac{4k}{1-k} R_1^2 C_1^2 \omega^2}\right) & 1 - \frac{4k}{1-k} F \\ -180 & 1 - \frac{4k}{1-k} F \end{cases}$$



$\omega$  从  $0 \rightarrow \infty$  的过程中， $\varphi(\omega)$  从  $0 \rightarrow -180$  (等同于  $+180$ )



可见相位在低频段是滞后，高频段是超前。

将相应限制条件加入电路，得最终的二阶全通滤波器电路如下图所示。

LTspice仿真电路与Bode图如下：

可见，通带幅值为-6dB，对应幅值衰减为原来的1/2。相位从0°向-360°变化，注意-180°~ -360°相当于+180°~ 0°。

设计时，注意电容的取值，以100pF ~ 100nF为最佳；电阻取值不要超过1MΩ。

### 三. 仿真工程分享

滤波器基础04——全通滤波器的LTspice仿真工程。

欢迎大家关注我的公众号：徐晓康的博客，回复以下代码获取。

1365

建议复制过去不会码错字！

## 四. 参考

《ADI新概念模拟电路》—— 4.运放电路的频率特性和滤波器，作者杨建国

《ADI滤波器设计教程》—— ADI智库

参考资料下载见：[滤波器基础02——滤波器的传递函数与性能参数 – 徐晓康的博客 \(myhardware.top\)](#)

如果本文对你有所帮助，欢迎点赞、转发、收藏、评论让更多人看到，赞赏支持就更好了。

如果对文章内容有疑问，请务必清楚描述问题，留言评论或私信告知我，我看到会回复。

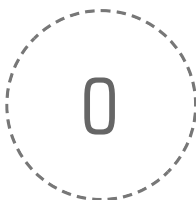
**徐晓康的博客**持续分享高质量硬件、FPGA与嵌入式知识，软件，工具等内容，欢迎大家关注。

上一个

[滤波器基础03—Sallen-Key滤波器、多反馈滤波器与Bainter陷波器](#)

下一个

[滤波器基础05—巴特沃斯、切比雪夫与贝塞尔滤波器](#)



文章评分



 订阅评论 ▼

[登录](#)

登录后发表评论

0 评论