

全通滤波器

作者: ADI公司
Hank Zumbahlen

引言

全通滤波器(包括一阶全通滤波器和二阶全通滤波器)只需要一个运算放大器。全通滤波器是一系列小型指南中描述的各种分立式电路之一。

全通滤波器简介

在多数情况下,滤波器的幅度响应是首要考虑因素。不影响信号幅度但会导致相移的另一类滤波器称为全通滤波器。

该滤波器的目的是给电路的响应增加相移(延迟)。全通滤波器的幅度在所有频率下一致。然而,在频率从0扫描至无穷大时,相位响应会从0°变化至360°(双极点滤波器)。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(SSB-SC)调制电路中。

全通滤波器的传递函数为:

$$H(s) = \frac{s^2 - \left(\frac{\omega_0}{Q}\right)s + \omega_0^2}{s^2 + \left(\frac{\omega_0}{Q}\right)s + \omega_0^2} \quad (1)$$

请注意,全通传递函数可以合成为

$$H_{AP} = H_{LP} - H_{BP} + H_{HP} = 1 - 2H_{BP} \quad (2)$$

一阶全通

一阶全通滤波器的一般形态如图1所示。如果其功能为简单的RC高通(图1A),则电路的相移范围为-180°(0 Hz)至0°(高频)。当 $\omega = 1/RC$ 时,为-90°。可将电阻设为可变,以便在具体频率下进行延迟调节。

如果将功能改成低通功能(图1B),则滤波器仍然为一阶全通,延迟等式仍然有效,但信号会反相,变化范围为0°(直流)至-180°(高频)。

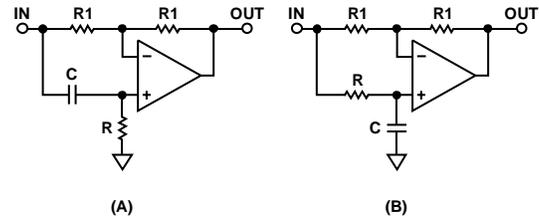


图1. 一阶全通滤波器

二阶全通

图2所示二阶全通电路首次由Delyiannis描述(见参考文献部分)。这种电路的最大魅力在于只需要一个运算放大器。同时记住,全通滤波器也可实现为1-2 BP。

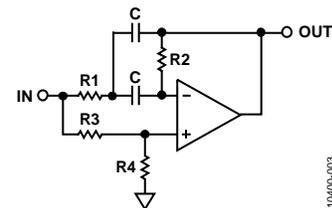


图2. 二阶全通滤波器

我们可以利用本小型指南系列中讨论的带通实现方式来构建该滤波器,但一定要知道,BP是否会使相位反转。另外需要记住BP部分的增益必须为2。为此,双放大器带通滤波器(DABP)结构十分有用,因为其增益固定为2。在选择运算放大器时,我们主要考虑带宽问题。根据经验,放大器在谐振频率下的开环增益不得低于20 dB。同时,由于反馈网络中有一个电容,所以,可能不大适合使用电流反馈放大器。

图3和图4总结了多种有源滤波器实现方式的设计方程式。在所有情况下,H、 ω_0 、Q和 α 都是已知的,取自设计表。

一阶全通设计方程式

$$\frac{V_O}{V_{IN}} = \frac{s - \frac{1}{RC}}{s + \frac{1}{RC}}$$

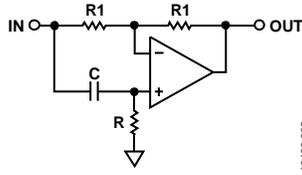


Figure 3.

$$\text{Phase Shift } (\phi) = -2 \tan^{-1} \left(\frac{RC}{2\pi F} \right)$$

$$\text{Group Delay} = \frac{2RC}{(2\pi FRC)^2 + 1}$$

直流下延迟 = $2RC$

若频率 = F 时，相移为 ϕ

$$RC = 2\pi F \tan \left(-\frac{\phi}{2} \right)$$

图4中的设计与图3相同，只是相位的符号变了。

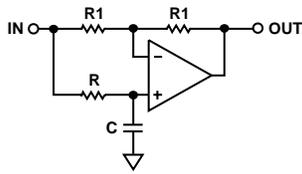


图4.

参考文献

Delyiannis, T. *High-Q Factor Circuit with Reduced Sensitivity*, Electronic Letters, Volume 4, December 1968. p. 577.

Zumbahlen, Hank. *Linear Circuit Design Handbook*. Elsevier. 2008. ISBN: 978-7506-8703-4.

修订历史

2012年4月—修订版0: 初始版

二阶全通设计方程式

$$\frac{s^2 - s \left(\frac{\omega_0}{Q} \right) + \omega_0^2}{s^2 + s \left(\frac{\omega_0}{Q} \right) + \omega_0^2}$$

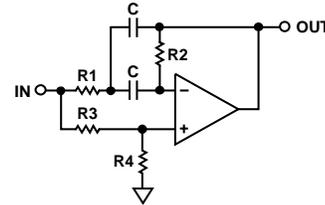


图5.

$$\frac{V_O}{V_{IN}} = \frac{s^2 - s \left(\frac{2}{R2C} \right) + \frac{1}{R1 R2 C^2}}{s^2 + s \left(\frac{2}{R2C} \right) + \frac{1}{R1 R2 C^2}}$$

要设计该滤波器，请选择 C 。

$$k = 2\pi F_0 C$$

$$R2 = \frac{2Q}{k}$$

$$R1 = \frac{1}{2kQ}$$

$$R3 = R1$$

$$R4 = \frac{Q}{2}$$