

从低通到高通滤波器的转换

作者: ADI公司
Hank Zumbahlen

引言

有一种转换算法可将低通极点转换成高通极点。这是一系列介绍分立式运算放大器电路的小型指南之一。

简介

滤波器一般用低通原型进行描述, 因为低通是标准配置。高通滤波器可以视为侧面接通的低通滤波器。

受原点零值的影响, 其直流响应并不平坦, 而是 $n \times (20 \text{ dB}/\text{十倍频程})$ 的上升响应, 其中 n 为极点数。在转折频率条件下, 受极点影响, 上述上升响应会增加 $n \times (-20 \text{ dB}/\text{十倍频程})$ 的响应。结果是, 在转折频率以外, 会呈现平坦的响应。

以 $1/s$ 缩放传递函数, 可将低通原型转换成高通滤波器。实际上, 这通常相当于将电容变成值为 $1/C$ 的电感, 而对于无源设计, 则相当于将电感变成值为 $1/L$ 的电容。对于有源设计, 电阻变成值为 $1/R$ 的电容, 而电容则变成值为 $1/C$ 的电阻。这仅适用于频率设置电阻, 不适用于增益设置电阻 (即并非适用于电路中的每个电阻或电容)。

一种转换算法

考察转换的另一种方式是研究 s 平面的转换。低通原型的复数极点对由一个实部 α 和一个虚部 β 构成。归一化高通极点通过以下公式算出

$$\alpha_{HP} = \frac{\alpha}{+\beta^2} \quad (1)$$

以及

$$\beta_{HP} = \frac{\beta}{+\beta^2} \quad (2)$$

这样, 一个简单的极点 α_0 转换成

$$\alpha_{\omega,HP} = \frac{1}{\alpha_0} \quad (3)$$

低通零点 ($\omega_{Z,LP}$) 通过以下公式转换

$$\omega_{Z,HP} = \frac{1}{\omega_{Z,LP}} \quad (4)$$

此外, 原点处将增加与极点数量相等的零点。

在将归一化低通原型极点和零点转换成高通之后, 接着以与低通相同的方式 (即以频率和阻抗) 进行反向归一化处理。

作为例子, 此处转换的是一个 1 kHz、3 极点、0.5 dB 切比雪夫滤波器。选择切比雪夫滤波器的原因在于, 如果响应不正确, 它可以更清楚地显示出来; 这种情况下, 巴特沃兹则可能过于宽松。选择 3 极点滤波器是为了分别转换一个极点对和单个极点。

极点位置

低通原型的极点位置来自设计表 (见 MT-206)。

表 1.

级	α	β	F_0	α
1	0.2683	0.8753	1.0688	0.5861
2	0.5366		0.6265	

第一级为极点对, 第二级为单极点。请注意, 用 α 表示两个完全不同的参数的做法是不可取的。左侧的 α 和 β 为复平面上的极点位置。这些是转换算法中使用的值。右侧的 α 为 $1/Q$, 这正是物理滤波器设计等式所希望看到的。

转换结果将产生如表 2 所示结果。

表 2.

级	α	β	F_0	α
1	0.3201	1.0443	0.9356	0.5861
2	1.8636		1.596	

这里需要提醒一下。由于描述切比雪夫滤波器的一种习惯做法 (即此处所用做法) 是引用误差带的末端而非 3 dB 频率, 因此, F_0 必须除以 (高通) 纹波带与 3 dB 带宽的比值。

MT-217

用Sallen-Key高通拓扑结构来构建滤波器(见MT-222)。原理图见图1。

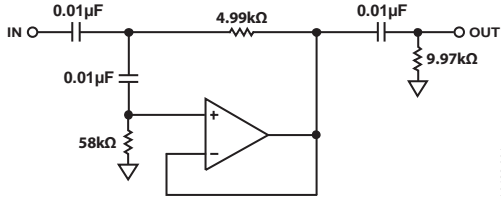


图1. 高通转换

10422-001

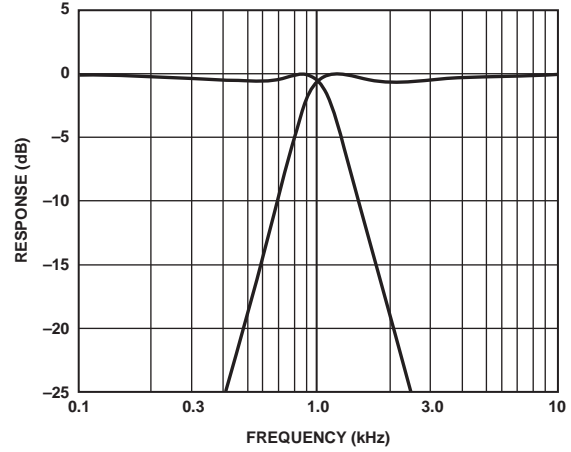


图2. 低通和高通响应

10422-002

图2所示为低通原型和高通转换的响应。请注意，它们在1 kHz截止频率左右是对称的。还应注意，0.5 dB误差带位于1 kHz，而不是-3 dB点，这是切比雪夫滤波器的一个特征。响应的对称性验证了转换的精度。

修订历史

2012年3月—修订版0：初始版