

从低通到带阻(陷波)滤波器的转换

作者: Hank Zumbahlen,
Analog Devices, Inc.

引言

有一种转换算法可将低通极点转换成等效带阻极点。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

就如带通滤波器一样,根据极点的距离,可将带阻滤波器分成宽带或窄带两种。为避免混淆,可采用一种惯例。如果滤波器为宽带,则称为带阻滤波器。窄带滤波器被称为陷波滤波器。

在某些情况下,如从低电平传感器测量值中消除电力线频率(嗡嗡声),可以设计一种针对具体频率的陷波滤波器。

就如带通是由低通原型直接转换的一样(其中,直流被转换成 F_0),陷波滤波器可以先转换成高通滤波器,然后再将直流(现在为零)转换为 F_0 。

构建陷波滤波器的一种方法是将其当作带通滤波器构建,并从输入中减去输出(1 - BP)。另一种方法是采用级联低通和高通部分,尤其是在带阻(宽带)的情况下。在这种情况下,各部分相并行,差异体现在输出上。

一种更通行的做法是直接转换极点。陷波转换会给每一个低通极点对带来两对复数极点和一对二阶虚数零点。

通过以下方式确定 Q_{BP} 的值

$$Q_{BR} = \frac{F_0}{BW} \quad (1)$$

其中, BW 为某电平下的带宽,一般为-3 dB。

一种转换算法

若已知低通原型的极点位置

$$-\alpha \pm j\beta \quad (2)$$

以及 F_0 和 Q_{BR} 的值,则以下计算将得到两组Q值和频率 F_H 和 F_L ,结果定义了一对陷波滤波器部分。

$$C = \alpha^2 + \beta^2 \quad (3)$$

$$D = \frac{\alpha}{Q_{BR}C} \quad (4)$$

$$E = \frac{\beta}{Q_{BR}C} \quad (5)$$

$$F = E^2 - D^2 + 4 \quad (6)$$

$$G = \sqrt{\frac{F}{2} + \sqrt{\frac{F^2}{4} + D^2 E^2}} \quad (7)$$

$$H = \frac{DE}{G} \quad (8)$$

$$K = \frac{1}{2} \sqrt{(D+H)^2 + (E+G)^2} \quad (9)$$

$$Q = \frac{K}{D+H} \quad (10)$$

极点频率取决于

$$F_{BR1} = \frac{F_0}{K} \quad (11)$$

$$F_{BR2} = K F_0 \quad (12)$$

$$F_Z = F_0 \quad (13)$$

$$F_0 = \sqrt{F_{BR1} \times F_{BR2}} \quad (14)$$

其中, F_0 为陷波频率以及 F_{BR1} 和 F_{BR2} 的几何均值。

一个简单的实数极点 α_0 转换成一个部分,其Q值用下式算出:

$$Q = Q_{BP} \alpha_0 \quad (15)$$

其中,频率 $F_{BR} = F_0$ 。在 F_0 处还有转换零点。

假设在B的带宽下需要A dB的衰减,则单频陷波需要的Q取决于

$$Q = \frac{\omega_0}{B\sqrt{10^{0.1A} - 1}} \quad (16)$$

原型被转换成一种带阻滤波器。对此,再次使用了以上一系列等式。原型滤波器的每个极点都转换成一个极点对。因此,转换完成时,3极点原型将拥有6个极点(3个极点对)。

就如带通一样,转换过程的部分工作是指定合并后的滤波器的3 dB带宽。

MT-216

同样，在这种情况下，该带宽被设为500 Hz。LP原型的极点位置来自设计表(见MT-206)。

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	F_0	Q	F_{0z}
1	763.7	6.54	1000
2	1309	6.54	1000
3	1000	1.07	1000

请注意，所需陷波滤波器有三种情况。即标准陷波($f_0 = f_z$ ，第3部分)，低通陷波($F_0 < F_z$ ，第1部分)，以及高通陷波($F_0 > F_z$ ，第2部分)。由于需要全部三类陷波，因而用Bainter陷波来构建滤波器。

图1为滤波器的示意图。滤波器的响应如图2所示，图3为其详细情况。同时注意，中心频率周围存在对称性，而且这些频率拥有的是几何对称性。

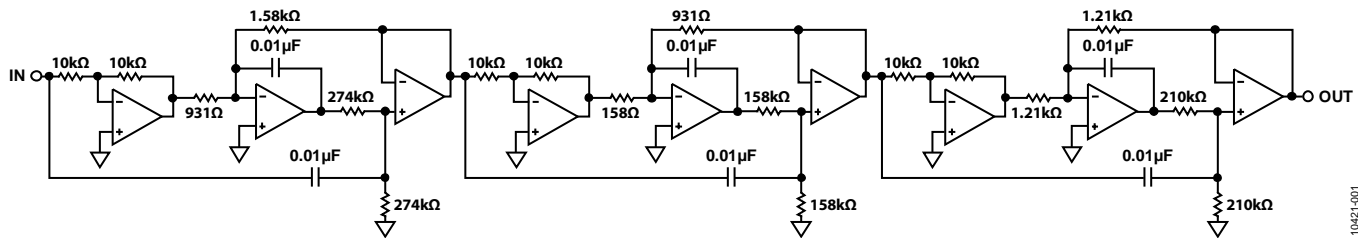


图1. 带阻转换

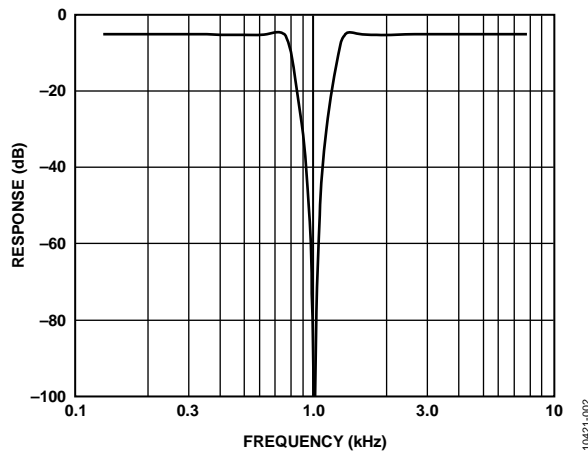


图2. 带阻响应

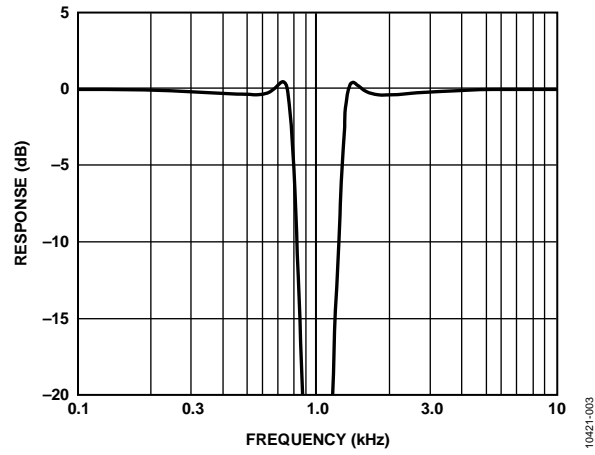


图3. 带阻响应(详情)

修订历史

2012年2月—修订版0：初始版