# 低通、高通、带通和带阻

滤波器解决方案将滤波器类别定义为以下之一:低通、高通、带通、带阻和双工器。双工器仅针对具有非零源电阻的无源电路进定义。

滤波器通常从其原型派生而来,原型是通带频率为每秒一弧度的低通情况,然后转换为低通、高通、带通和带阻传递函数,其中通带频率、中心频率和/或带宽设置为所需值。

每种情况的翻译如下:

$$\mathrm{LP}:\ S' = S/Wo$$

$$\mathrm{HP}:\ S' = WoWo$$

$$\mathrm{BW}:\ S' = \frac{Wo}{Bw} * \left[\frac{\left(\frac{S}{Wo}\right)^2 + 1}{\left(\frac{S}{Wo}\right)}\right]$$

$$\mathrm{BS}:\ S' = \frac{Bw}{Wo} * \left[\frac{\left(\frac{S}{Wo}\right)}{\left(\frac{S}{Wo}\right)^2 + 1}\right]$$

Where :

S = Prototype Complex Frequency

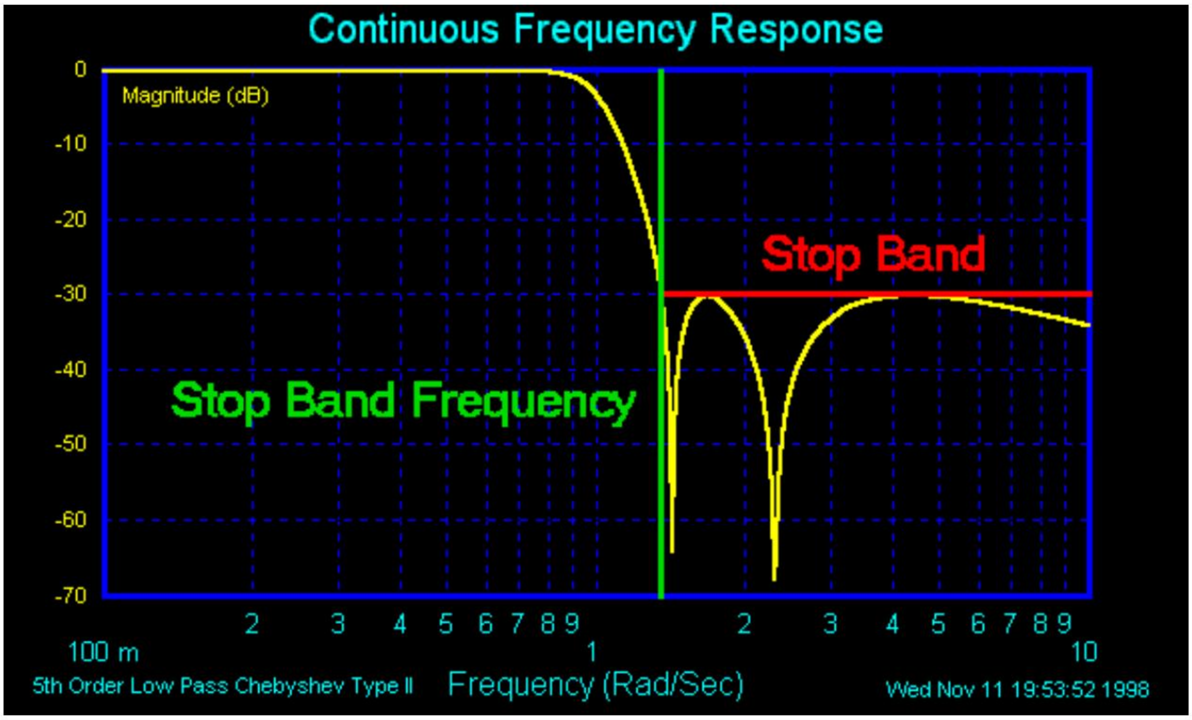
S' = Mapped Complex Frequency

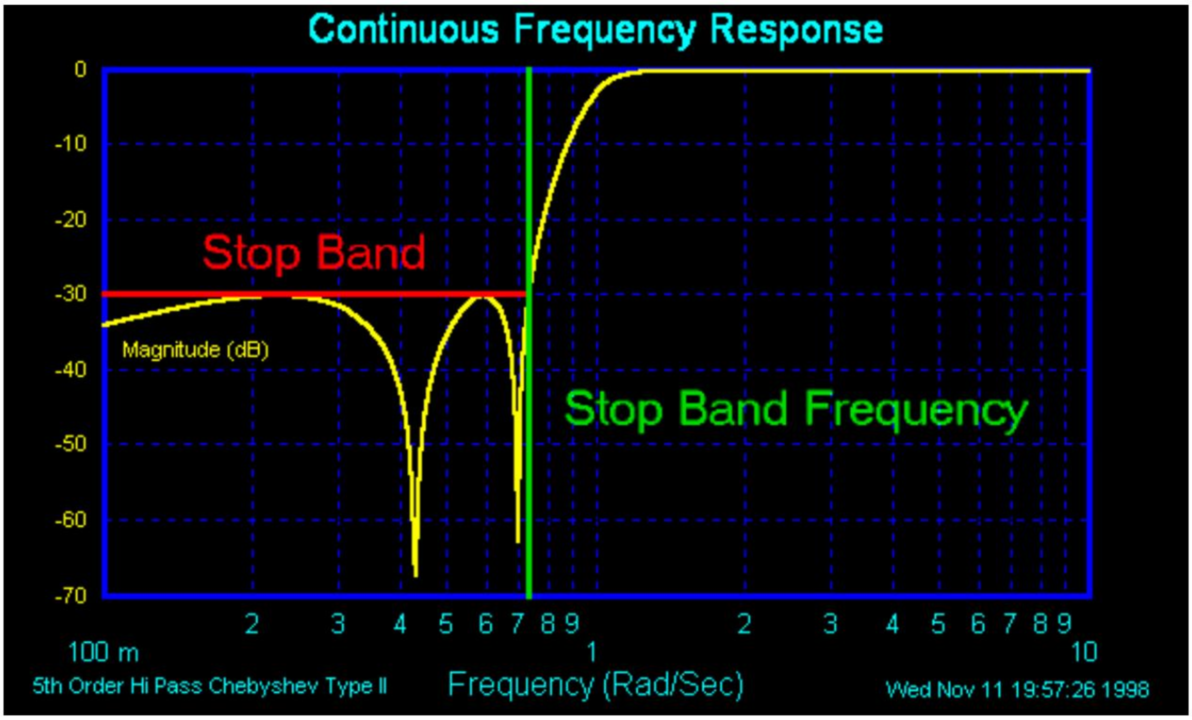
Wo = Desired Pass Band or Center Frequency

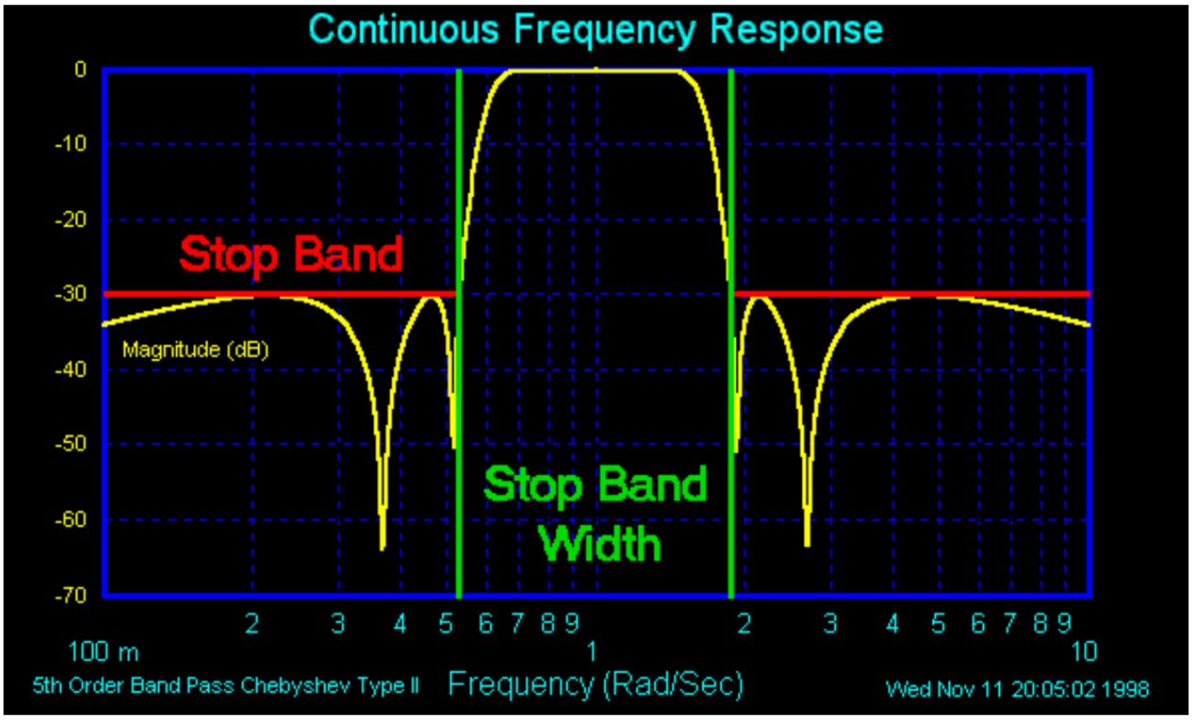
Bw = Desired Bandwidth

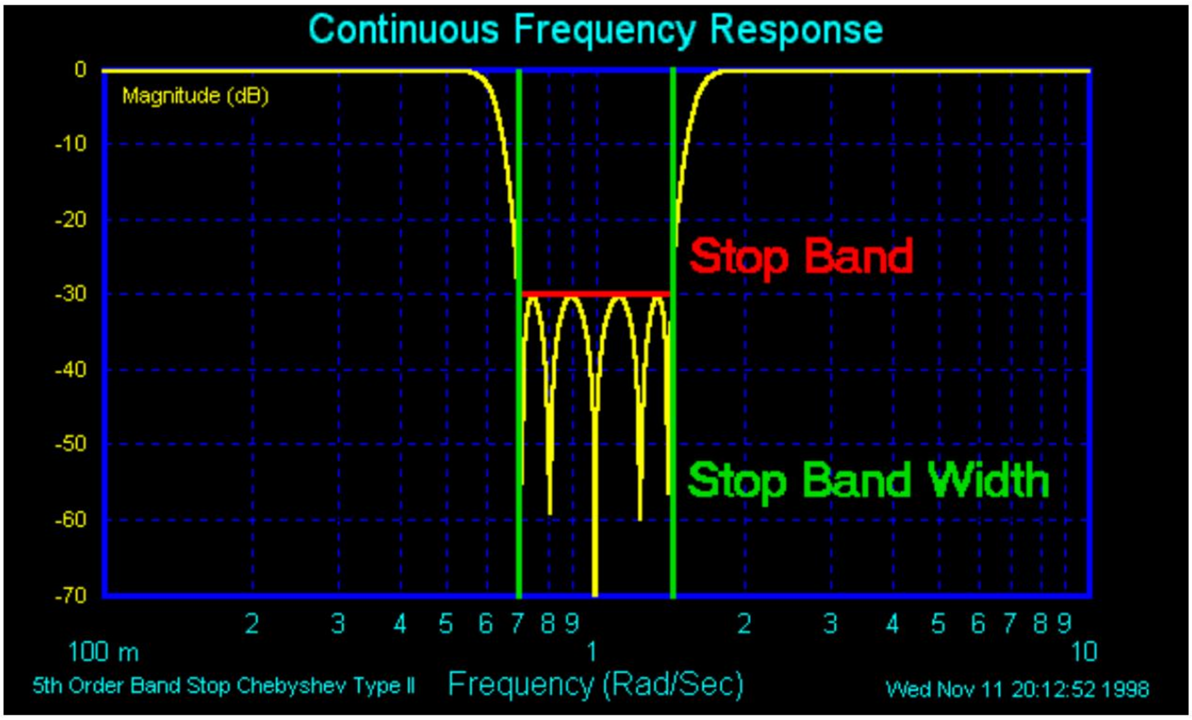
# 通带和阻带定义

以下是滤波器解决方案使用的通带和阻带的图形定义






## 频率不对称带通滤波器

非对称滤波器是使用不同阶数的滤波器高通和低通部分创建的带通滤波器。对于 Chebyshev I1、Chebyshev II、Hourglass 和椭圆滤波器,低通和高通阶数必须均为奇数,才能使用无源或 tx 线路滤波器实现。

要创建非对称带通滤波器,请在选择带通滤波器时选中 “非对称”复选框。在相应的文本框中输入所需的低通和高通阶数。

参数滤波器

具有奇数总阶的频率不对称带通滤波器称为参数滤波器。参数滤波器必然在实频率轴上具有反射零点。完全支持 Butterworth 和 Chebyshev I 参数滤波器。目前不支持其他滤波器类型的参数形式。

## 源电阻限制和补偿

无源和分布式滤波器的源电阻规格具有设置反射系数的效果,该反射系数将与对称滤波器中的反射系数相匹配。结果是计算出的源电阻与指定的源电阻不同。如果显示,右侧集总控制面板中的 “设置源电阻”开关将使用一个或多个诺顿变换重置源电阻并保留反射系数,但会增加滤波器的组件数量,因为诺顿变换需要额外的组件。

位于非对称开关正下方的 “Set Src Res”开关将尝试重新计算滤波器以实现所需的源电阻,而无需添加任何新组件,但会导致反射系数不匹配。

设置阻带

切比雪夫 II、沙漏和椭圆形的阻带滤波器可以通过选择相应的 “低阻带比”和 “高阻带比”文本条目来单独设置其高通和低通支路阻带。对于椭圆形滤波器,可以单独选择高通和低通支路的阻带衰减。下图 1 是频率不对称椭圆形滤波器、5 阶低通、11 阶高通滤波器的示例,其低通和高通支路的衰减分别设置为 40dB 和 80dB。

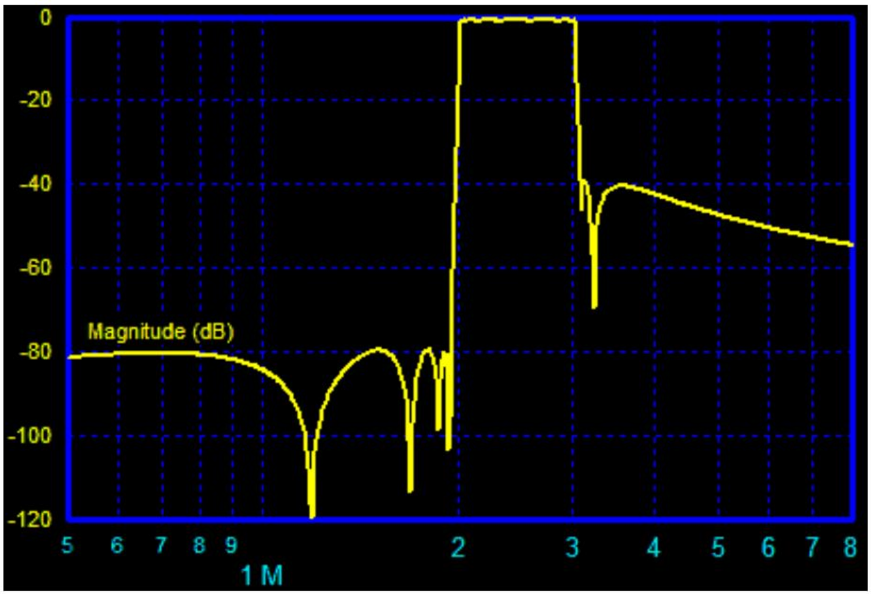



图 1:频率不对称椭圆滤波器

## 高斯滤波器

高斯滤波器是一种滤波器类型,可产生最平缓的通带滚降和最低的群延迟。顾名思义,高斯滤波器是从推导高斯分布的相同基本方程中推导出来的。高斯滤波器的重要特征是阶跃响应完全不包含过冲。

滤波器解决方案将高斯滤波器标准化,使原型高频衰减与巴特沃斯滤波器相匹配。应用此标准化后,高斯滤波器的通带衰减会随着滤波器阶数的增加而增加。但是,滤波器解决方案允许用户选择所需的通带衰减(以 dB 为单位)。

## 推导

原型高斯滤波器的传递函数是麦克劳林函数的平方根除以一

$e^{(s^2)}$

使用与滤波器阶数相同数量的项并且仅对平方根使用左半平面极点的级数展开式。

原型传递函数被归一化,使得高频衰减与

巴特沃斯滤波器。

过渡过滤器

3 阶或更高阶的高斯滤波器可使用过渡选项。如果选择了过渡,则高斯滤波器的衰减会随着高于过渡 dB 选择点处存在的频率而大大增加。高斯过渡滤波器是使用数值方法创建的,该方法可最大限度地减少可实现的高斯过渡滤波器与理想高斯过渡滤波器之间的幅度 RMS 误差。

所有高斯过渡滤波器均使用 -3 dB 作为衰减截止频率。陡峭的衰减频率可由用户选择。

合成选项

合成滤波器的特定元素值并不唯一。高级面板中提供了三种不同的选项以实现设计灵活性。FilterQuick 设计面板使用最有可能产生所有正元素值的选项。

阻带和传输零点

高斯滤波器和过渡滤波器可以采用先进的合成技术,合成具有阻带（等波纹和单点波纹)和任意放置的传输零点的滤波器。

阻带合成可能会导致不良的负元素值,尤其是在小衰减时。增加阻带衰减最终会使所有值都为正值。负元素值的衰减阈值会随着不同的合成选项选择而变化,因此获得全正元素值解决方案的第一次尝试是尝试不同的合成选项。当使用的传输零点较少时,元素值更有可能为正,因此手动创建具有传输零点放置的阻带也可能有帮助。选择最大化阻带衰减的衰减要求也有助于缓解负元素值问题。

贝塞尔滤波器

贝塞尔滤波器的显著特征是低通滤波器整个通带内的接近恒定的群延迟。

滤波器解决方案将贝塞尔滤波器标准化,使原型高频衰减与巴特沃斯滤波器相匹配。应用此标准化后,贝塞尔滤波器的通带衰减会随着滤波器阶数的增加而增加。但是,滤波器解决方案允许用户选择所需的通带衰减（以 dB 为单位）。

推导：

原型贝塞尔滤波器的连续传递函数为 K/F(S),其中 F(S) 是递归
贝塞尔关系：

$$Fn(S) = (2n-1)\,F_{n-1}(S) + S^2F_{n-2}(S)$$

Where :

$$F0(S) = 1$$

$$F1(S) = 1 + S$$

## 具有等波纹群延迟的线性相位滤波器

选中“等波纹延迟”框以生成具有等波纹群延迟的线性相位滤波器。
线性相位滤波器是一组包含贝塞尔滤波器的滤波器。等波纹群延迟的合成过程与延迟滤波器相同,只是原型传递函数的分子是常数。
线性相位等波纹滤波器的低通群延迟在比贝塞尔滤波器更高的频率下几乎保持恒定。

群延迟设计为精确到大约 (N-1) /(T*PI) Hz 或

2*(N-1)/T Rad/Sec 其中 N 是滤波器的阶数,T 是设计传输延迟。该数字随波纹周期的变化而变化。

涟漪周期

滤波器解决方案允许通过改变纹波周期来微调贝塞尔滤波器。当等纹波周期为 2.0 时,滤波器的群延迟设置为大约每 R/
(T*2*PI) Hz 或 R/T Rad/Sec,其中 R 是波纹周期,T 是传输延迟。增加波纹周期会延长群延迟的上限频率,但代价是增加群延迟的误差。每个单独波纹的周期略有修改,即可获得群延迟的等波纹效果。

纹波周期的允许值为 0 至 2.8。将纹波周期设置为零会产生经典的贝塞尔群延迟响应。

波纹幅度

可以选择几个预先计算的群延迟纹波幅度来代替选择纹波周期。使用预先计算的滤波器的优点是群延迟是更精确的等纹波。

带阻带

带阻带的低通线性相位滤波器本质上是针对频率响应进行了优化的匹配滤波器。原型直接源自延迟滤波器原型:

$$F_{\substack{Linear\\Phase}}(S)=\frac{\left(1-F_{Delay}(S)\right)}{S}$$

合成选项

合成滤波器的特定元素值并不唯一。高级面板中提供了三种不同的选项以实现设计灵活性。FilterQuick 设计面板使用最有可能产生所有正元素值的选项。

阻带和传输零点

贝塞尔和线性相位滤波器可以使用先进的合成技术与阻带（等波纹和单点波纹)以及任意放置的传输零点进合成。

阻带合成可能会导致不良的负元素值,尤其是在小衰减时。增加阻带衰减最终会使所有值都为正值。负元素值的衰减阈值会随着不同的合成选项选择而变化,因此获得全正元素值解决方案的第一次尝试是尝试不同的合成选项。当使用的传输零点较少时,元素值更有可能为正,因此手动创建具有传输零点放置的阻带也可能有帮助。选择最大化阻带衰减的衰减要求也有助于缓解负元素值问题。

巴特沃斯滤波器

巴特沃斯滤波器是一种可产生最平坦通带并具有中等群延迟的滤波器类型。

标准巴特沃斯滤波器的通带衰减为 -3.01dB。但是,Filter Light 允许用户选择任意通带衰减（以 dB 为单位）,以定义滤波器截止频率。

Filter Light 还为用户提供了在阻带中放置用户定义零点的选项。这种具有阻带零点的滤波器不再是真正的巴特沃斯滤波器,但仍属于最大平坦滤波器系列。

推导：

巴特沃斯滤波器的特征方程为

$$K(S) = es^{N}$$

Where:

e = Arithmetic Pass Band Attenuation

N = Order of the Filter

添加阻带零点（通常称为“最大平坦”滤波器)会将特征方程修改为：

$$K(s) = \frac{es^{N}}{\prod_{i=1}^{N_p}(s - z_i)}$$

Where:

e = Arithmetic Pass Band Attenuation

N = Total Order of the Filter

$Z_i$ = Finite Stop Band Zeros (Complex)

$N_p$ = Number of Complex Stop Band Zeros

非对称带通滤波器

对于不对称带通滤波器，不能使用低通原型。特征方程为：

$$K(s) = \frac{e(s^2+1)^{N/2}}{\prod_{i=1}^{N_p}(s-z_i)}$$

Where:

e = Arithmetic PassBand Attenuation

N = Total Order of the Filter

$Z_i$ = Finite StopBand Zeros (Complex)

$N_p$ = Number of Complex StopBand Zeros

注意,函数的带宽本质上由变量“e”设置。通常需要迭代才能将带宽设置为指定衰减下的所需宽度。

传递函数为

$$G(S) = \sqrt{\frac{1}{1+K(S)K(-S)}}$$

仅使用左半平面极点。

如果将零点分配给滤波器,则这些零点将以多项式形式放置在特征方程的分母中。

阻带零点可以放置在 JW 轴上阻带外的任意位置,也可以放置在实轴的任意位置。要输入实数零点,请在频率值后添加后缀“re”以表示实数。

# 勒让德滤波器

Legendre 滤波器是一种全极点滤波器,可产生最陡峭的截止频率,而不会产生任何振荡斜率的通带波纹。通带曲线斜率仅在向下和零之间变化,而不会向上变化。Legendre 滤波器有时被称为单调 L 类滤波器。

勒让德滤波器适用于需要在通带边缘具有陡峭截止而无通带纹波的应用中,或者在切比雪夫 I 滤波器在通带边缘产生过多群延迟的情况下。

推导

该滤波器的特征函数源于该滤波器所命名的勒让德多项式。

传递函数为:

$$G(S) = \sqrt{\frac{1}{1 + e^2 L(S^2)}}$$

其中 L(S) 是根据勒让德多项式推导出来的平方特征多项式。

-3dB 带宽由变量 e 设置。勒让德滤波器没有提供阻带零点或非对称带通。

逆勒让德滤波器

Legendre 函数也可能适用于阻带,在截止频率附近的阻带中产生最快速的单调衰减。然而,这需要复杂的阻带零点,使得该函数无法用理想的电感器和电容器实现。Filter Solutions 支持用于有源、开关电容器和数字滤波器的逆 Legendre 滤波器。

## 切比雪夫 I 型滤波器

切比雪夫 I 型滤波器是通带截止最锐利且群延迟最大的滤波器类型。该滤波器最显著的特征是通带幅度的波动。

标准切比雪夫 I 型滤波器的通带衰减定义为与通带纹波幅度相同的值。但是,滤波器解决方案允许用户选择以 dB 为单位的任何通带衰减,以定义滤波器截止频率。

滤波解决方案还为用户提供了在阻带中放置用户定义的零点的选项。

推导:

切比雪夫I型滤波器的特征方程为:

$$K(S) = eCS(N)$$

Where:

e = Arithmetic Ripple Magnitude

CS(N) = Nth Order Chebyshev Polynomial

阻带零点可以放置在 JW 轴上阻带外的任意位置,也可以放置在实轴的任意位置。要输入实数零点,请在频率值后添加后缀"re"以表示实数。更多

广义表达式用于创建具有阻带零点的切比雪夫滤波器

非对称带通滤波器

对于非对称带通滤波器,不能使用低通原型。特征方程被更广义的等波纹函数取代。

阻带零点

如果将零点分配给滤波器阻带,则这些零点将以多项式形式放置在 K(S) 特征方程的分母中,而 K(S) 分子中的切比雪夫多项式则被更一般的等波纹方程所取代。

收缩等波纹

有时,通过将等波纹限制在截止频率附近的通带百分比,可以提高 Chebyshev I 滤波器(以及椭圆滤波器)的性能。Filter Solutions 提供了"限制等波纹"功能来实现此目的。如果截止频率以外的通带性能不是问题,有时可以通过限制波纹来降低滤波器所需的阶数。

请参阅帮助中的"收缩等波纹通带"了解更多信息和示例。

## 切比雪夫 II 型滤波器

切比雪夫 II 型滤波器(也称为逆切比雪夫滤波器)包含巴特沃斯型(或最大平坦度)通带、中等群延迟和等波纹阻带。

与巴特沃斯滤波器一样,切比雪夫 II 型滤波器的通带衰减定义为 -3.01 dB。但是,滤波器解决方案允许用户选择任意通带衰减（以 dB 为单位）,以定义滤波器的截止频率。

推导:

切比雪夫I型滤波器的特征方程为:

$$K(S) = \frac{es^N}{CrS(N)}$$

Where:

e = Arithmetic Pass Band Attenuation

N = Order of the Filter

CrS(N) = Nth order Chebyshev Polynomial Revolved About the Stop Band Ratio.

非对称带通滤波器

如果要创建非对称带通滤波器,则步骤是创建 Chebyshev I 非对称滤波器,然后围绕相应的转角频率旋转 K(s) 分子根。

此过程会创建一个平坦的阻带,但会稍微破坏通带。滤波器通带使用数值迭代固定,但会牺牲阻带质量。

传递函数为

$$G(S) = \sqrt{\frac{1}{1 + K(S)K(-S)}}$$

仅使用左半平面极点。

## 沙漏滤镜

沙漏滤波器的显著特征是反射零频率与传输零频率正好相反。沙漏滤波器与切比雪夫 II 型滤波器类似,但截止更尖锐、群延迟更高、阻带衰减更大。通带还包含轻微的等波纹特性,这使其成为椭圆滤波器的一个特例。

与 Chebyshev II 型滤波器一样,Chebyshev II 型滤波器的通带衰减定义为 -3.01 dB。但是,Filter Solutions 允许用户选择任意通带衰减（以 dB 为单位）,以定义滤波器的截止频率。

推导：

沙漏滤波器推导涉及许多产生定义特征的迭代步骤。

沙漏滤波器最早由蒙大拿州立大学的 Byron Bennett 博士推导并记录下来,记录在 IEEE 电路与系统学报 1988 年 12 月第 12 卷第 1469 页。

## 椭圆滤波器

椭圆滤波器包含一个切比雪夫 I 型等波纹通带、一个配备的阻带、一个锐截止、高群延迟和最大的阻带衰减。

与切比雪夫 I 型滤波器一样,椭圆通带衰减被定义为与通带纹波幅度相同的值。但是,滤波器解决方案允许用户选择以 dB 为单位的任何通带衰减,以定义滤波器截止频率。

推导：

切比雪夫 I 和 II 滤波器中所示的方程式被迭代使用，直到建立 K(S)，使通带和阻带都保持等波纹。然后传递函数为

$$G(S)=\sqrt{\frac{1}{1+K(S)K(-S)}}$$

仅使用左半平面极点。

收缩等波纹通带

有时，通过将等波纹限制在截止频率附近的通带百分比，可以提高椭圆滤波器（以及切比雪夫 I 滤波器）的性能。滤波器解决方案提供了“限制等波纹”功能来实现这一点。如果截止频率以外的通带性能不是问题，有时可以通过限制波纹来降低滤波器所需的阶数。

请参阅帮助中的“收缩等波纹通带”了解更多信息和示例。

频率不对称椭圆带通滤波器。

带通椭圆滤波器可以独立设置高通和低通支路。下图 1 示出了频率不对称椭圆滤波器、5 阶低通、11 阶高通滤波器，其低通和高通支路分别设置为 40dB 和 80dB 的衰减。

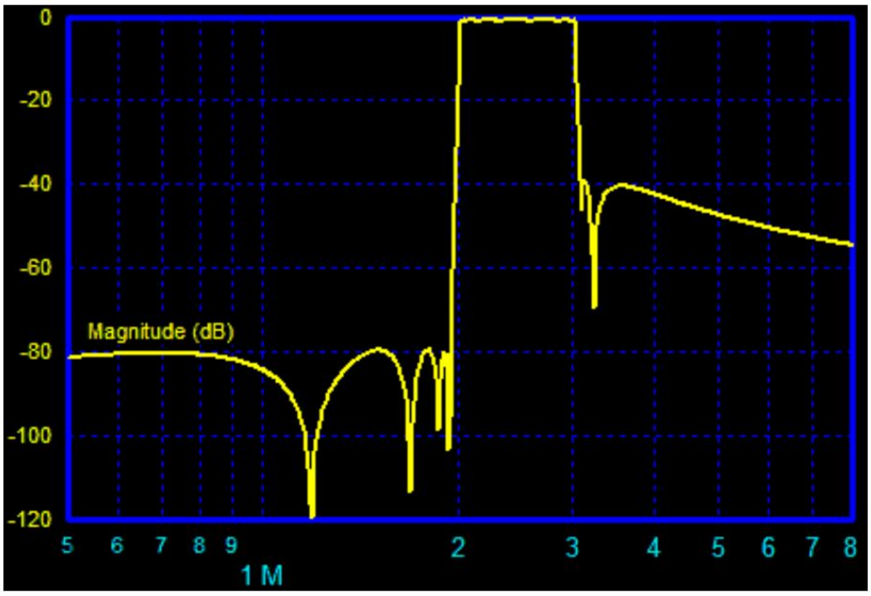



图 1:频率不对称椭圆滤波器

自定义过滤器

通过在滤波器类型选择框中选择“自定义”,滤波器解决方案提供了基于现有拉普拉斯变换创建滤波器的功能。在选择“自定义”之前,请先选择实施方法。如果拉普拉斯变换是原型,请同时选择所需的截止频率和带宽。可以通过将所需的极点和零点放入自定义滤波器表单条目来创建分级滤波器。

原型

原型变换是一种截止频率为每秒 1 弧度的低通滤波器。如果在自定义框中选择了“Proto S”,则 Filter Solutions 将转换为所需的高通、带通或带阻滤波器,并在生成无源或有源滤波器之前提供频率缩放。用户必须输入通带频率、带宽和滤波器类别。

实际,S 变换

如果选择“Act S”以及左下角的“S Trans”,Filter Solutions 将设置滤波器的幅度,并根据输入的内容生成数字或模拟电路滤波器。需要注意的是,并非所有传递函数都可以以无源电路形式实现,尤其是当

负载和源电阻相等。滤波器解决方案不会根据实际的拉普拉斯变换生成带通或带阻无源滤波器。

实际,磁频率

如果在左下角选择“Act S”和“Mag Freq”,Filter Solutions 将使用 RMS 误差优化算法生成数字或模拟滤波器。可以输入最小和最大传递函数级 Q 以及传输零点的数量和传输零点的频率限制。仅允许使用低通和高通滤波器。Filter Solutions 会自动检测低通和高通条目。

G 值

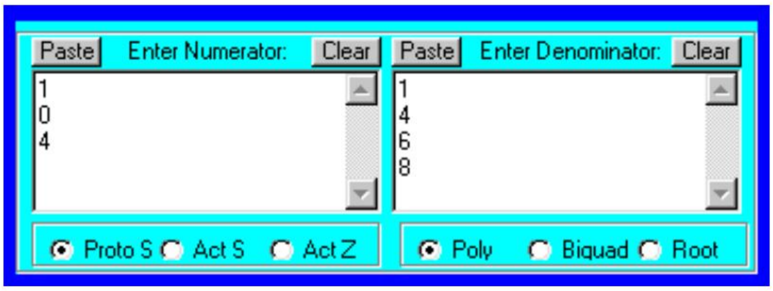
G 值是低通、全极点原型元件值。这些值用作微波滤波器设计的起点频率。选择“Gvals”可输入一串 G 值。G 值串必须终止,即它们必须包含源电阻 (Go) 和负载电阻 (G(n+1))。对于同样终止的滤波器,Go 和 (G(n+1)) 均为 1 (1.000)。

## 数字的

如果选择“Act Z”,Filter Solutions 将假定已输入 Z 变换,并将输出输入的 Z 变换的频率和时间轨迹以及极点零点图。

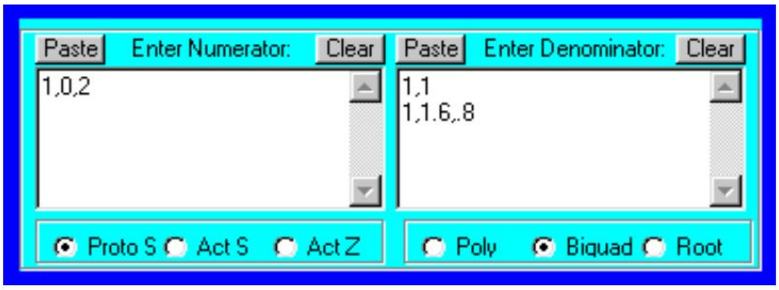
格式

以多项式形式输入变换时,请按降幂输入多项式:



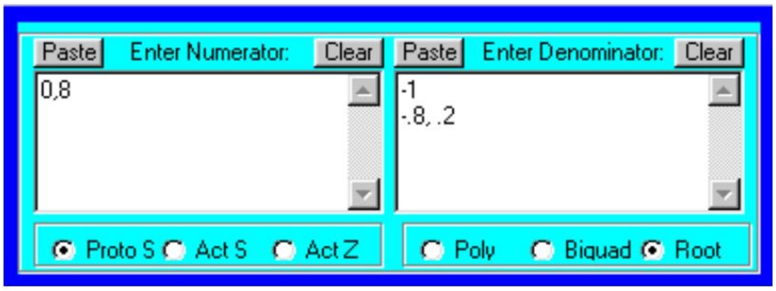
$$\frac{S^2+4}{S^3+4S^2+6S+8}$$

输入双二阶时,使用逗号分隔双二阶项。每输入一个双二阶。应用于此自定义面板的术语 “双二阶”是指任何多项式或阶数为 2 或更低的多项式。




$$\frac{S^2+2}{(S+1)(S^2+1.6S+0.8)}$$

输入根时,使用逗号分隔实部和虚部。每个共轭对只能输入一个根。



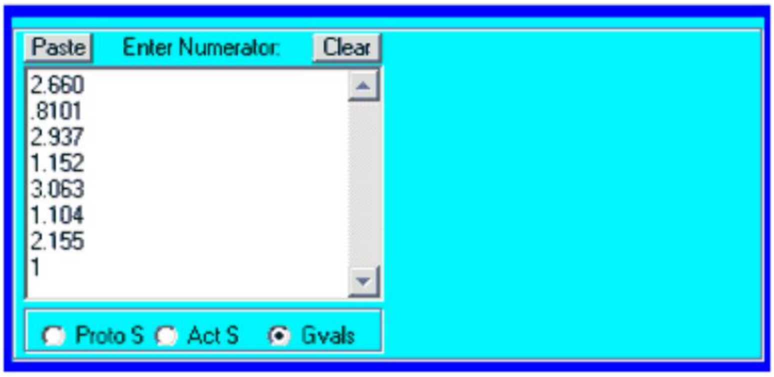

$$\frac{S^2 \pm J8}{(S+1)(S^2+0.8\pm J0.2)}$$

由于根不包含任何增益信息,过滤解决方案将尝试估算增益,但估算的增益可能不是用户所期望的。如果对从根生成的传递函数的增益不满意,则需要改用双二阶或多项式选择。

G 值

输入 G 值时,从顶部的 Go 开始,从底部的 G(n+1) 开始。以下是条目

对于具有 1dB 通带纹波的 6 阶切比雪夫。请注意,Go 是归一化源
阻力位为2.660。




升余弦滤波器

升余弦滤波器用于通信。升余弦滤波器的显著特征是通带截止频率两侧的幅频响应对称,并且在整个通带和阻带中具有恒定的群延迟,直到实现 15 到 20 dB 的衰减。滤波器的幅频响应理想情况下是升余弦函数。升余弦函数的精度随着滤波器阶数的增加而增加。FIR 升余弦滤波器比模拟或 IIR 升余弦滤波器更精确。

滤波器解决方案模拟和 IIR 升余弦滤波器是通过最小化理想滤波器和实际滤波器之间的误差平方,然后延迟均衡到 20 dB 的衰减而产生的

在滤波器解决方案中,模拟或 IIR 升余弦滤波器的阶数定义不包括滤波器的延迟均衡部分。

理想的升余弦滤波器频率响应包括低频的单位增益、中间的升余弦函数和高频的总衰减。中频的宽度由滚降因子常数 Alpha 定义(0<Alpha<1)。在 Filter Solutions 中,通带频率定义为 50% 信号衰减点。

Alpha 的选择取决于滤波器要求。Alpha 值较低的真实滤波器会因滤波误差而产生更多 ISI,但占用更少的带宽。Alpha 值较高的真实滤波器会产生更少的 ISI,但占用更多带宽。

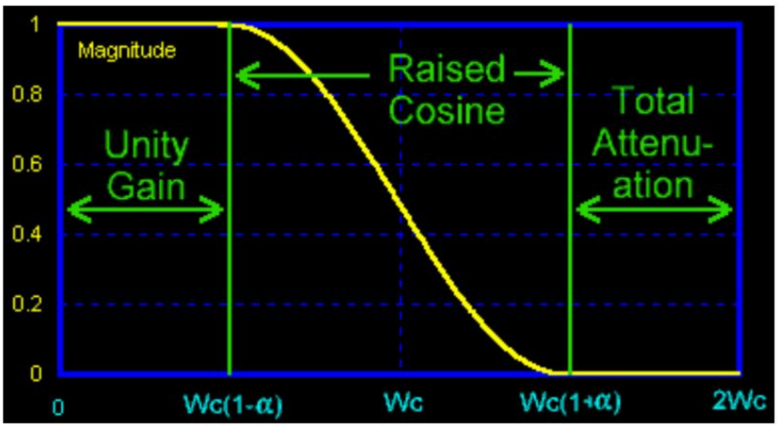
当升余弦滤波器的通带频率设置为数据速率的一半时,脉冲响应奈奎斯特第一标准得到满足,即当 T = NTs 时脉冲响应为零,其中 N 是整数,T 是数据周期。

从数学上来说,频率响应可以写成:

$$F(\omega)=\begin{cases}1 & \text{For } \omega<\omega_c(1-\alpha)\\[2ex] 0 & \text{For } \omega>\omega_c(1+\alpha)\\[2ex] \dfrac{1+COS\left(\dfrac{\pi(\omega-\omega_c(1-\alpha))}{2\alpha\omega_c}\right)}{2} & \text{For } \omega(1-\alpha)<\omega_c<\omega(1+\alpha)\end{cases}$$

升余弦滤波器频率响应

理想的升余弦滤波器频率响应如下所示:




理想升余弦频率响应

FIR 升余弦滤波器是通过将其脉冲响应直接编码到 Z 变换分子中来合成的：

$$h(t)=\frac{4\alpha}{\pi\sqrt{T}}\frac{\cos\left(\frac{(1+\alpha)\pi t}{T}\right)+\frac{T}{4\alpha t}\sin\left(\frac{(1-\alpha)\pi t}{T}\right)}{1-\left(\frac{4\alpha t}{T}\right)^{2}}$$

升余弦脉冲响应

根升余弦滤波器

理想的根升余弦滤波器频率响应包括低频的单位增益、中间的升余弦函数的平方根以及高频的总衰减。中频的宽度由滚降因子常数 Alpha 定义（0<Alpha<1）。在 Filter Solutions 中,通带频率定义为 .707 半功率点。

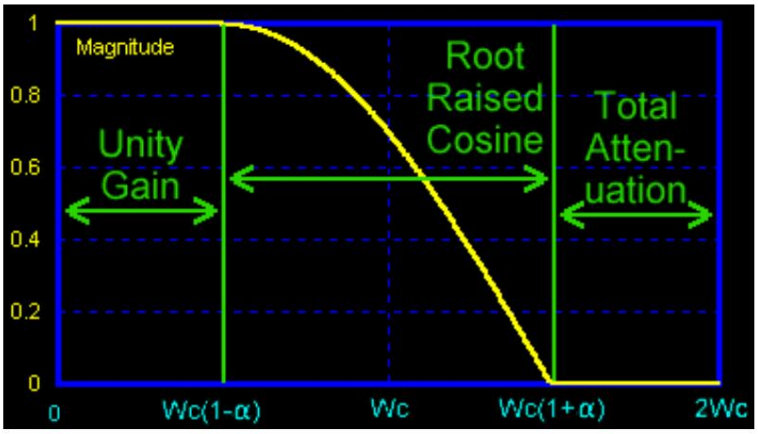
根升余弦滤波器通常以双串联的方式使用,因此总的滤波效果与升余弦滤波器相同。根升余弦滤波器通常以串联的方式使用,因此总的滤波效果与升余弦滤波器相同。其优点是,如果发射侧滤波器受到脉冲刺激,则接收侧滤波器被迫过滤与其自身脉冲响应相同的输入脉冲形状,从而设置匹配滤波器并最大化信噪比,同时最小化 ISI。

从数学上来说,频率响应可以写成：

$$F(\omega) = \begin{cases} 1 & \text{For } \omega < \omega_c(1-\alpha) \\ 0 & \text{For } \omega > \omega_c(1+\alpha) \\ \sqrt{\dfrac{1+COS\left(\dfrac{\pi(\omega-\omega_c(1-\alpha))}{2\alpha\omega_c}\right)}{2}} & \text{For } \omega(1-\alpha) < \omega_c < \omega(1+\alpha) \end{cases}$$

根升余弦滤波器频率响应

理想的根升余弦滤波器频率响应如下所示：




理想根升余弦频率响应

FIR 升余弦滤波器是通过将其脉冲响应直接编码到 Z 变换分子中来合成的：

理想根升余弦脉冲响应

数据传输过滤器

数据传输滤波器是设计用于最小化 ISI 而无需恒定群延迟的滤波器。这些滤波器比模拟升余弦滤波器更有效,因为它们不需要延迟均衡组件。但是,只能消除后置 ISI,即在脉冲响应峰值之后发生的 ISI。数据传输滤波器是在滤波器解决方案中通过使用数值方法最小化平方 ISI 误差的总和来创建的。这种推导并不是唯一的。

已知存在其他数据传输滤波器解决方案,例如《电气滤波器 CRC 手册》中提供的解决方案。滤波器解决方案提供的解决方案的优势在于,通过选择不同的 Alpha 值,为用户提供灵活性,让他们能够灵活地设计精度与带宽。

检查数据传输滤波器脉冲响应表明,通常可以通过加倍通带频率来消除前兆ISI。然而,这会产生不良影响,即数据通道所需带宽加倍或滤波质量降低。

与升余弦滤波器一样,元素值误差的存在会使低 alpha 滤波器中的 ISI 比高 alpha 滤波器中的 ISI 增加更多,并且高 alpha 滤波器比低 alpha 滤波器需要更多的带宽。

## 匹配的过滤器

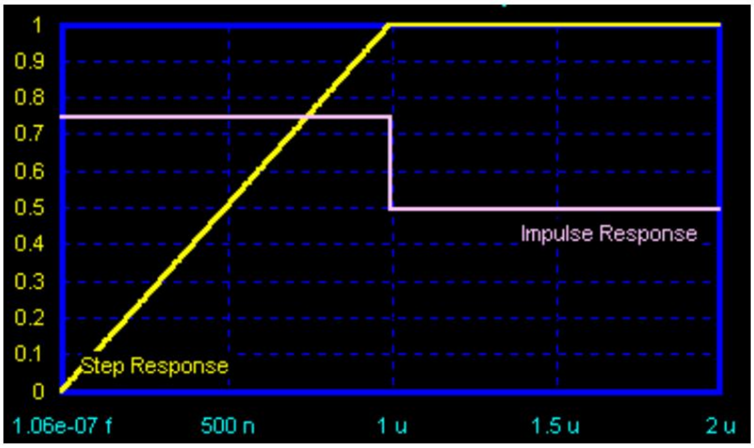
匹配滤波器用于通信。匹配滤波器的显著特征是阶跃响应近似于斜坡,脉冲响应近似于脉冲。

匹配滤波器的目的是最大化矩形脉冲采样点的信噪比,从而最大限度地降低从信号中接收到未检测到的错误的概率。

为了实现最大的信噪比,匹配滤波器脉冲响应必须是被采样脉冲形状的时间倒数。因此,滤波器解决方案匹配滤波器仅与矩形脉冲匹配。

滤波器解决方案允许通过设置斜坡的上升时间来定义匹配滤波器。匹配滤波器的正确用法是将上升时间设置为等于比特流中脉冲的脉冲宽度。

理想匹配滤波器步长和脉冲响应如下所示。它可以通过 FIR 滤波器实现。
FIR 匹配滤波器也称为移动平均滤波器。



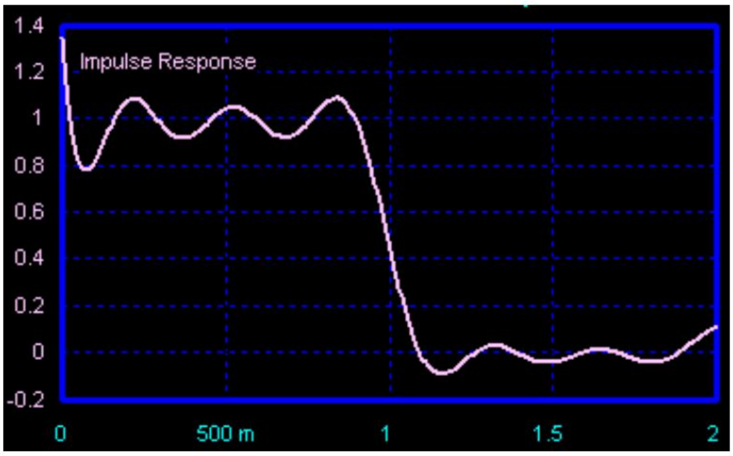

理想匹配滤波器时间响应

匹配滤波器的连续近似

由于理想的连续和 IIR 匹配滤波器解决方案无法实现,因此必须对其进近似。滤波器解决方案使用近似解决方案,该解决方案优化了滤波器的时间响应,但传递函数零点保持在 JW 轴上。具体而言,在上述约束条件下,滤波器脉冲响应和理想脉冲响应（方波)之间的误差平方的积分被最小化。JW 零点约束的目的是允许使用无源元件实现滤波器。

过大的双端接匹配滤波器和大多数单端接匹配滤波器可能会产生负的无源元件值,因此仍然无法用无源元件实现。

下面显示了具有最小脉冲误差的七阶示例。




连续匹配滤波器近似

脉冲误差

正如预期的那样,脉冲误差通常会随着滤波器阶数的增加而下降,但并非总是如此。较大的奇数阶滤波器比较小的偶数阶滤波器更有效。

下表显示了上升时间为一秒的匹配滤波器的从零到五个脉冲宽度的脉冲误差平方的积分。

| 命令 | 脉冲误差平方的积分 |
|---|---|
| 1 | 0.1932 |
| 2 | 0.1309 |
| 3 | 0.05975 |
| 4 | 0.05850 |
| 5 | 0.03397 |
| 6 | 0.03626 |
| 7 | 0.02354 |
| 8 | 0.02609 |
| 9 | 0.01795 |
| 10 | 0.02029 |
| 11 | 0.01449 |
| 12 | 0.01629 |
| +三 | 0.01221 |

| | |
|---|---|
| 14 | 0.01368 |
| 15 | 0.01064 |
| 16 | 0.01166 |
| 17 | 0.009349 |
| 18 | 0.01021 |
| 19 | 0.008332 |
| 20 | 0.009057 |

## 延迟滤波器

延迟滤波器模拟传输延迟频率响应。理想传输延迟滤波器的频率响应幅度对于所有频率都是统一的,并且频率响应群延迟等于所有频率的传输延迟持续时间。

在控制应用中,经常需要考虑传输延迟,有时为了定时目的而延迟信号也是有用的。滤波器解决方案提供了理想传输延迟频率响应的 Pade 近似值,该响应由一系列具有受控群延迟的全通道级组成。群延迟设计为对高达约 (N-1) /

（T*PI)Hz 或 2*（N-1）/T Rad/Sec,其中 N 是滤波器阶数,T 是设计传输延迟

滤波器解决方案允许通过设置滤波器的延迟时间来定义延迟滤波器。

重要的是要记住,Filter Solutions 实现的延迟滤波器优化了滤波器的频率响应,而不是时间响应。

涟漪周期

滤波器解决方案允许通过改变纹波周期来微调延迟滤波器。滤波器的群延迟设置为大约每 R/(T*2*PI) Hz 或 R/T Rad/Sec 的强制值,其中 R 是纹波周期,T 是设计传输延迟。增加纹波周期会延长群延迟的上限频率,但代价是增加群延迟的误差。每个单独纹波的周期略有修改,以获得群延迟的等纹波效果。

纹波周期的允许值为 0 至 2.8。将纹波周期设置为零会产生贝塞尔滤波器样式的最大平坦群延迟。

波纹幅度

可以选择几个预先计算的群延迟纹波幅度来代替选择纹波周期。使用预先计算的滤波器的优点是群延迟是更精确的等纹波。