

状态变量滤波器

作者: ADI公司
Hank Zumbahlen

引言

本小型指南讨论三种状态变量滤波器设计示例, 是一系列介绍精密运算放大器分立式电路的小型指南之一。

图1所示为Tow介绍的状态变量实现方式(见参考文献部分)以及设计公式。

这种配置是滤波器功能最精确的实现方式, 但其代价是电路元件数量大增。全部三个主要参数(增益、Q和 ω_0)都可以单独调节, 同时提供低通、高通和带通三种输出。需要注意的是, 低通和高通输出的相位会反转, 而带通输出的相位则保持不变。

状态变量滤波器各种输出的增益也是独立可变的。利用增加的放大器部分对低通部分和高通部分求和, 也可以集成陷波功能。通过改变求和部分的比值, 可以实现低通陷波、标准陷波和高通陷波功能。标准陷波也可以利用增加的运算放大器部分从输入中减去带通输出来实现。也可以

通过从输入中减去带通输出, 构建四个放大器配置的全通滤波器。这种情况下, 带通增益必须等于2。

由于状态变量滤波器的全部参数均支持独立调节, 因而可将元件分布降至最低。还可将因温度和元件容差导致的偏移降至最低。

通过改变R4和R5即可对状态变量滤波器的谐振频率进行调节。尽管并非一定要对二者同时进行调节, 但如果变异范围较大, 则还是以调节为上。使R1保持不变, 调节R2, 结果设定低通增益, 调节R3则设定高通增益。带通增益和Q则通过R6与R7之比设定。

由于状态变量滤波器的参数相互独立且可调, 因而可轻松添加电子频率控制, 即Q和 ω_0 。这种调节是通过使用模拟乘法器、乘法DAC (MDAC)或数据电位计来实现的(见MT-208)。

在选择放大器以构建状态变量滤波器时, 根据经验, 在带通输出端, 中心频率至少具有20 dB的环路增益。在状态变量滤波器中, 放大器被用作积分器(在带通输出中), 满足带宽要求。

与状态变量滤波器相似的是双二阶滤波器(见MT-205)。

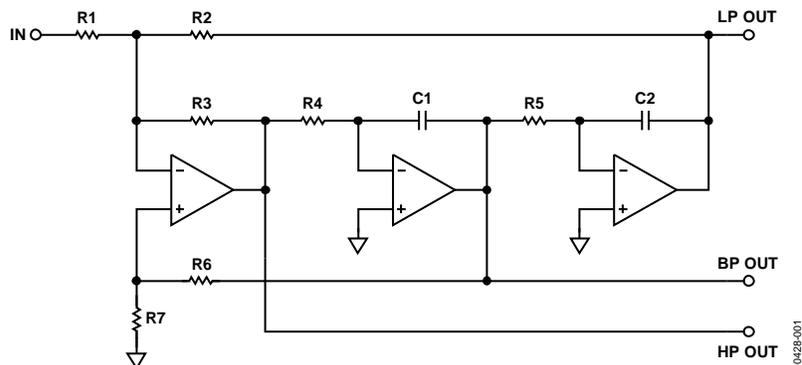


图1. 状态变量滤波器

MT-223

状态变量设计公式

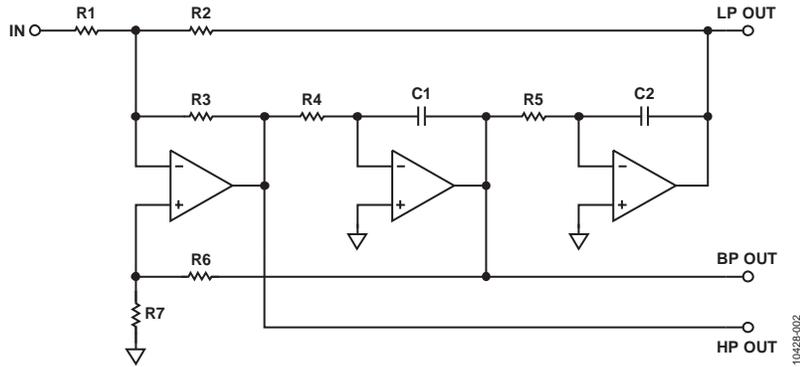


图2.

现在选择C。

$$A_{LP(s=0)} = -\frac{R2}{R1}$$

$$A_{HP(s=\infty)} = -\frac{R3}{R1}$$

要设计该滤波器，请选择R1。

$$R2 = A_{LP} R1$$

$$R3 = A_{HP} R1$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{R3}{R2 R4 R5 C1 C2}}$$

令 $R4 = R5 = R$ 且 $C1 = C2 = C$

$$R = \frac{2\pi F_0}{C} \sqrt{\frac{A_{HP}}{A_{LP}}}$$

$$A_{BP(s=\omega_0)} = \frac{\frac{R6 + R7}{R7}}{R1 \left(\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} \right)}$$

现在选择R7。

$$R6 =$$

$$R7 \sqrt{R2 R3} Q \left(\frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3}} \right)$$

陷波滤波器的状态变量设计公式

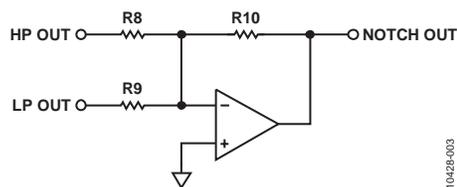


图3.

10428-003

要设计该滤波器，请选择 $R10$ 。

然后选择 A_{HP} , A_{LP} , $A_{NOTCH} = 1$ 。

对于 $\omega_z = \omega_0$: $R8 = R9 = R10$

对于 $\omega_z < \omega_0$: $R9 = R10$

$$R8 = \frac{\omega_0^2}{\omega_z^2} R10$$

对于 $\omega_z > \omega_0$: $R8 = R10$

$$R9 = \frac{\omega_z^2}{\omega_0^2} R10$$

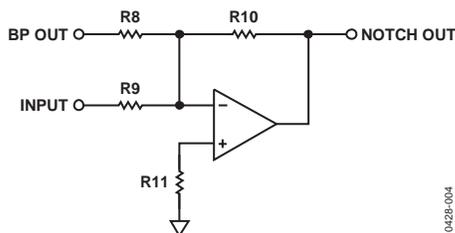


图4.

10428-004

要设计该滤波器，请选择 $A_{NOTCH} = 1$ 。

然后选择 $R10$ ：

$R8 = R9 = R11 = R10$ 。

修订历史

2012年4月—修订版0：初始版

全通滤波器的状态变量设计公式

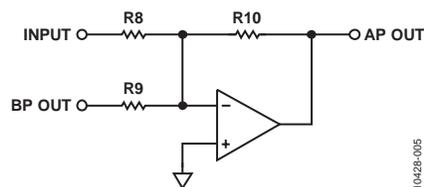


图5.

10428-005

$H = 1$

$R8 = R10$

$R9 = R8/2$

参考文献

Tow, J. "Active RC Filters—A State-Space Realization", Proc. IEEE, 1968, Vol.56, pp. 1137-1139.

Zumbahlen, Hank, editor, 2008. *Linear Circuit Design Handbook*, Newnes, ISBN 978-0-7506-8703-4.