

## 多反馈带通滤波器设计示例

作者: ADI公司  
Hank Zumbahlen

### 引言

本小型指南讨论多反馈带通滤波器设计示例，是一系列介绍运算放大器分立式电路的小型指南之一。

多反馈拓扑结构广泛用作带通滤波器，它能提供简单可靠的带通实施，特别是Q值低于20左右时。图1给出了多反馈带通滤波器的原理图。

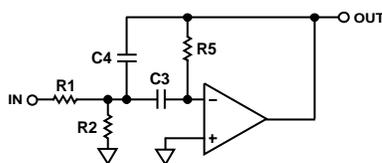


图1. 多反馈带通滤波器

本例中，滤波器采用任意选择的中心频率( $F_0$ ) (1 kHz)和Q(10)。放大器增益任意设定为1 (0 dB)。请注意，这不代表输出增益将小于或等于输入。事实上，由于滤波器功能的Q峰化，增益将为10 (20 dB)。

使用“多反馈带通滤波器设计方程”部分的设计方程，可以计算适当的元件值。请注意，计算出的元件值很可能不是标准值。

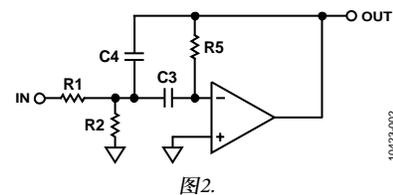
选择最接近的标准值。虽然这会造成一些误差，但通常不会超出规格。否则可能需要调谐。谐振频率 $F_0$ 的调谐可通过可变的R2来实现。也可对电路的Q(参见MT-210)进行调节(通过R5)，但同时会改变 $F_0$ 值。

调节 $F_0$ 时，可将滤波器输入端与示波器的垂直通道相连，通过示波器水平通道对滤波器输出进行监控即可。结果显示为李萨如(Lissajous)图形，这一图形是一个椭圆，谐振时将退化一条直线，因为相移为180°。

也可对输出进行调节，以获得最大输出，谐振时同样会发生这种情况；但其精确度往往不够，Q值较低时尤其如此，因为低Q值存在不太明显的峰值。

### 多反馈带通滤波器设计方程

$$\frac{-H \omega_0 s}{s^2 + \alpha \omega_0 s + \omega_0^2}$$



$$\frac{V_O}{V_{IN}} = \frac{-s \frac{1}{R1 C4}}{s^2 + s \frac{C3 + C4}{C3 C4 R5}} + \frac{1}{R5 C3 C4} \left( \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} \right)$$

### 设计流程

选择C3。

那么

$$k = 2 \pi F_0 C3$$

$$C4 = C3$$

$$R1 = \frac{1}{H k}$$

$$R2 = \frac{1}{(2Q - H) k}$$

$$R5 = \frac{2Q}{k}$$

选择运算放大器时，请选择增益带宽积足以支持输出的放大器。本例中， $F_0$ 为1 kHz。滤波功能引起的峰化为20 dB。作为安全措施，此器件添加了20 dB焊盘。因此运算放大器在1 kHz时必须具有至少40 dB的开环增益。本例中，AD711是任意选择的。

图3显示了AD711的开环增益。1 kHz时的开环增益约为65 dB，远高于要求水平。

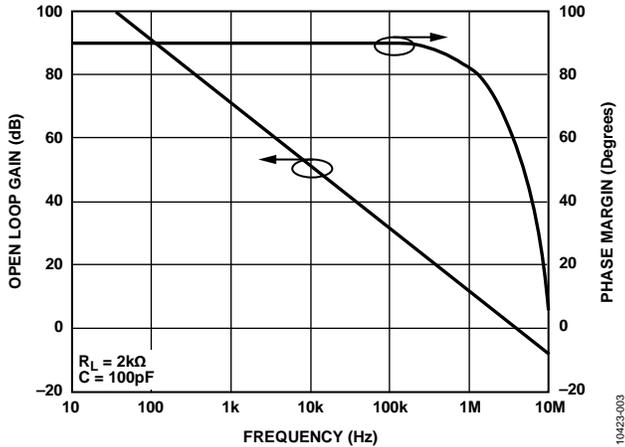


图3. AD711的开环增益

如果运算放大器的开环增益过低，Q乘法现象就会出现，并影响滤波器的响应。

## 多反馈带通滤波器最终设计

图4给出了滤波器的最终设计。电阻标准值已经替换。请注意，National Instrument电子实验台中显示了此电路。此程序的一种版本可从ADI公司网站下载。各种可供立即使用的电路，包括本滤波器，也可从上述网站下载。

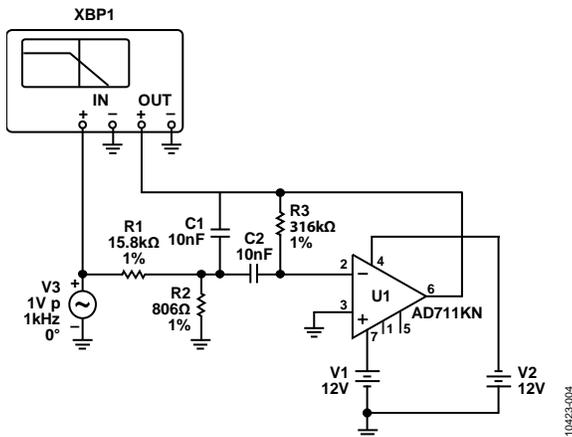


图4.

图5显示了该电路的电压；图6显示了相位响应。

## 修订历史

2012年2月—修订版0：初始版

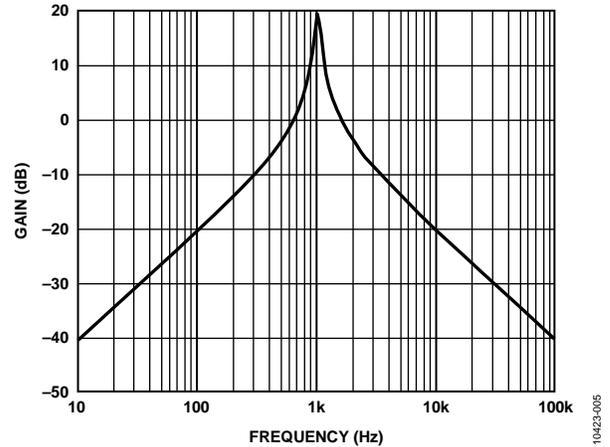


图5.

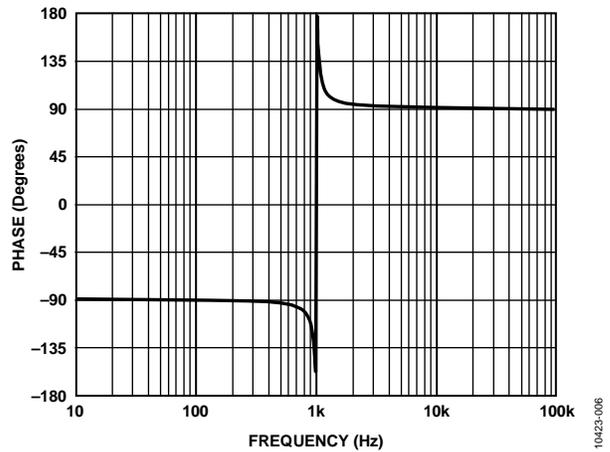


图6.

## 参考文献

- Jung, Walter G., editor. 2006. *Op Amp Applications Handbook*, Newnes, ISBN 0-916550-26-5.
- Kester, Walt, editor. 1992. *Amplifier Applications Guide*, Analog Devices, Inc. ISBN: 0-916550-10-9.
- Zumbahlen, Hank, editor. 2007. *Basic Linear Design*, Analog Devices, Inc. ISBN 0-916550-28-1.
- Zumbahlen, Hank. "Phase Relations in Active Filters." *Analog Dialogue*, Vol. 14, No. 4, 2008.
- Zumbahlen, Hank, editor, 2008. *Linear Circuit Design Handbook*, Newnes, ISBN 978-0-7506-8703-4.