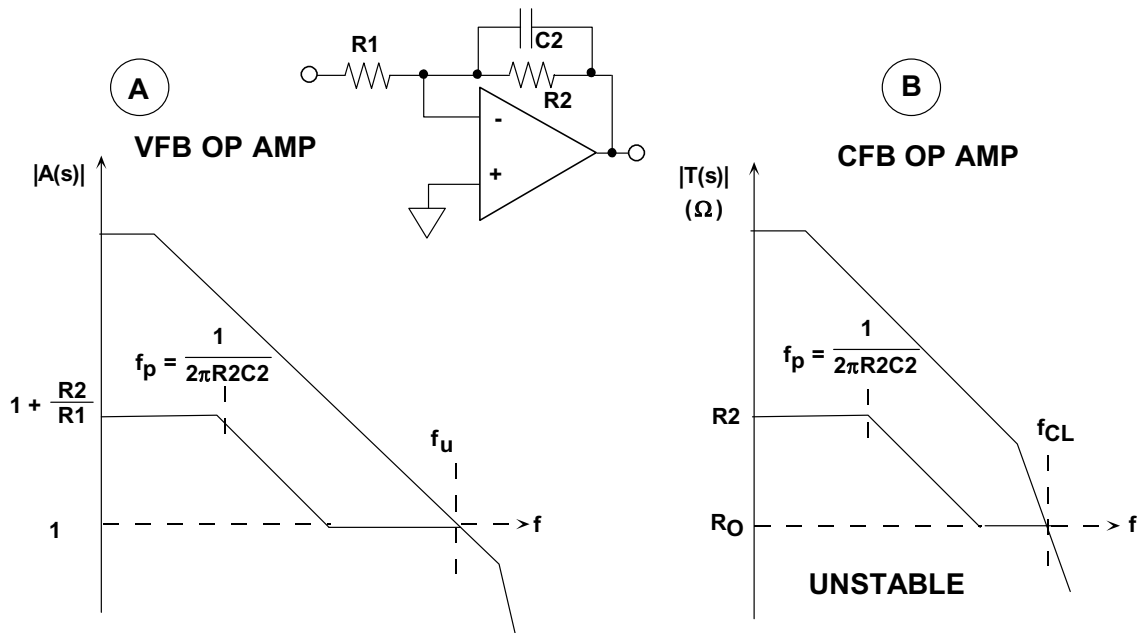


## 反馈电容对VFB和CFB运算放大器的影响

在VFB运算放大器的反馈环路中使用一个电容是非常常见的做法，其目的是影响频率响应，就如在简单的单极点低通滤波器中一样，如下面的图1所示。结果将噪声增益绘制成了一幅波特图，用于分析稳定性和相位裕量。系统的稳定性取决于噪声增益的净斜率以及开环增益(二者相交时)。



**图1：基于反馈电容的VFB和CFB运算放大器的噪声增益稳定性分析**

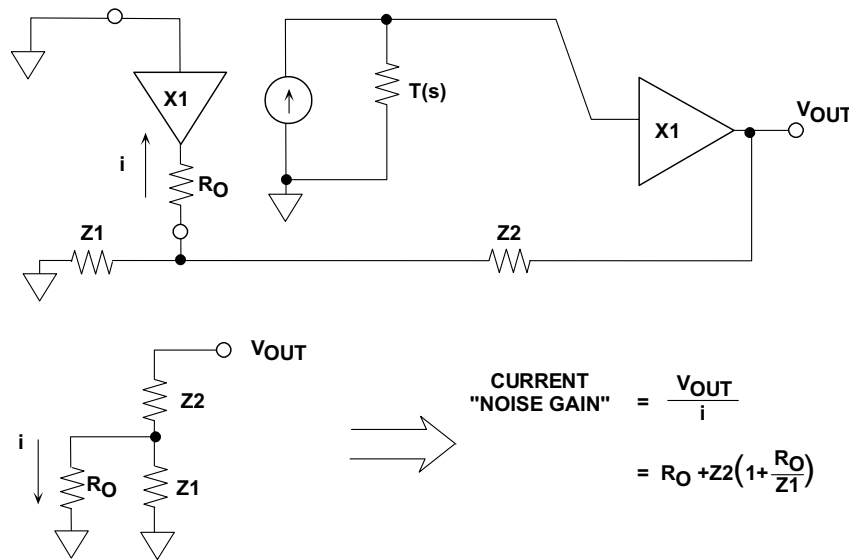
如需无条件稳定性，噪声增益图必须以小于12 dB/倍频程的净斜率与开环增益相交。本例中，二者相交时的净斜率为6 dB/倍频程，表明非常稳定。请注意，对于图1A所示情况，频率响应中的第二个极点出现的频率显著高于 $f_u$ 。

对于CFB运算放大器(图1B)，使用的分析方法相同，只是在绘制波特图时用的是开环跨导增益 $T(s)$ 。

然而，CFB运算放大器的噪声增益(出于稳定性分析需要)定义必须重新界定，将即一个电流噪声源附于反相输入端上，如下面的图2所示。该电流由一个阻抗反映到输出端，我们将该阻抗定义为CFB运算放大器的“电流噪声增益”：

$$\text{"CURRENT NOISE GAIN"} \equiv R_O + Z_2 \left( 1 + \frac{R_O}{Z_1} \right). \quad \text{等式1}$$

现在回到图1B，观察一下CFB电流噪声增益图。在低频率下，CFB电流噪声增益非常简单，为R<sub>2</sub>(设R<sub>o</sub>远远低于Z<sub>1</sub>或Z<sub>2</sub>。第一个极点取决于R<sub>2</sub>和C<sub>2</sub>。随着频率继续增加，C<sub>2</sub>变成短路，所有反相输入电流都会流过R<sub>o</sub>(再次参看图1B)。



**图2：针对稳定性分析的CFB运算放大器电流“噪声增益”定义**

CFB运算放大器一般针对一个固定反馈电阻R<sub>2</sub>而优化，以实现最佳性能。跨导增益T(s)中的额外极点出现的频率高于闭环带宽f<sub>d</sub>(由R<sub>2</sub>设定)。请注意，CFB电流噪声增益与开环T(s)的相交点出现在T(s)函数的斜率为12 dB/倍频程时。这表明存在不稳定情况，而且可能有振荡。

正因如此，CFB运算放大器不适合要求反馈环路中有电容的配置，比如简单的有源积分器或低通滤波器。

CFB运算放大器一般针对一个固定反馈电阻R<sub>2</sub>而优化，以实现最佳性能。跨导增益T(s)中的额外极点出现的频率高于闭环带宽f<sub>d</sub>(由R<sub>2</sub>设定)。请注意，CFB电流噪声增益与开环T(s)的相交点出现在T(s)函数的斜率为12 dB/倍频程时。这表明存在不稳定情况，而且可能有振荡。

正因如此，CFB运算放大器不适合要求反馈环路中有电容的配置，比如简单的有源积分器或低通滤波器。

但它们可以用于某些有源滤波器当中，比如图3所示的Sallen-Key配置，该配置不要求反馈网络中有电容。

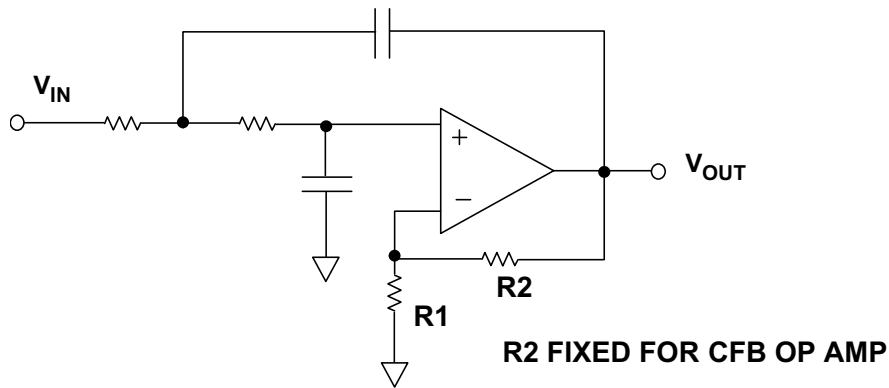


图3: Sallen-Key滤波器配置

另一方面，VFB运算放大器确实能够成为非常灵活的有源滤波器。下面的图4所示为采用一个运算放大器AD8048的多路反馈20 MHz低通滤波器示例。

一般而言，如果需要避免因放大器相移而引起问题，有源滤波器放大器的带宽应至少为滤波器带宽的10倍。(在该配置下，AD8048的带宽超过200 MHz)。

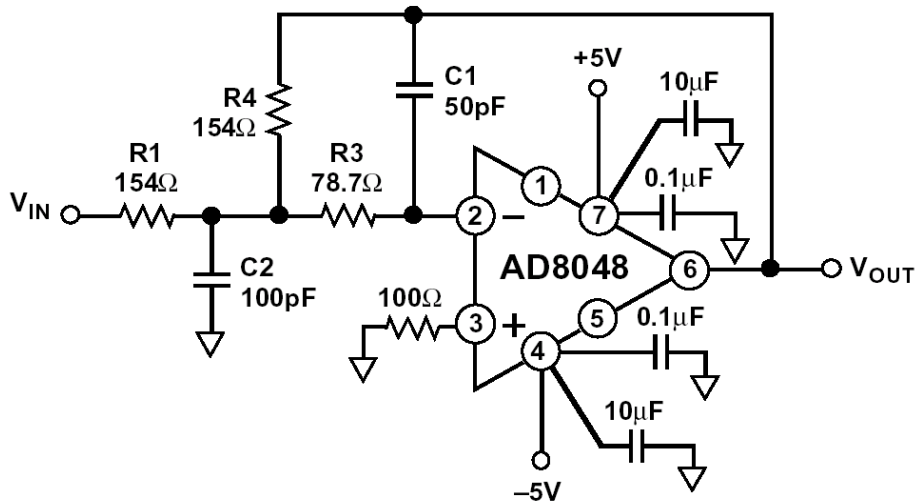


图4: 基于AD8048 VFB运算放大器的多反馈20MHz低通滤波器

有关这种特定滤波器设计的详情，请参阅AD8048数据手册。有关有源滤波器设计的更多讨论，请参阅参考文献的第5章。ADI网站上提供一个滤波器向导设计工具，以便为有源滤波器的设计提供帮助。

## 参考文献

1. Hank Zumbahlen, *Basic Linear Design*, Analog Devices, 2006, ISBN:0-915550-28-1. 另见 [Linear Circuit Design Handbook](#), Elsevier-Newnes, 2008, ISBN-10:0750687037, ISBN-13:978-0750687034。 Chapter 1.
2. Walter G. Jung, *Op Amp Applications*, Analog Devices, 2002, ISBN 0-916550-26-5, 另见 [Op Amp Applications Handbook](#), Elsevier/Newnes, 2005, ISBN 0-7506-7844-5. Chapter 1.

Copyright 2009, Analog Devices, Inc. All rights reserved. Analog Devices assumes no responsibility for customer product design or the use or application of customers' products or for any infringements of patents or rights of others which may result from Analog Devices assistance. All trademarks and logos are property of their respective holders. Information furnished by Analog Devices applications and development tools engineers is believed to be accurate and reliable, however no responsibility is assumed by Analog Devices regarding technical accuracy and topicality of the content provided in Analog Devices Tutorials.