

SaberEXP 仿真实例：有源低通滤波器的设计

概述

本实例使用 SaberEXP 软件描述了有源低通滤波器的工作原理。通过级联一阶和二阶滤波器来显示提高滤波器阶数的效果。

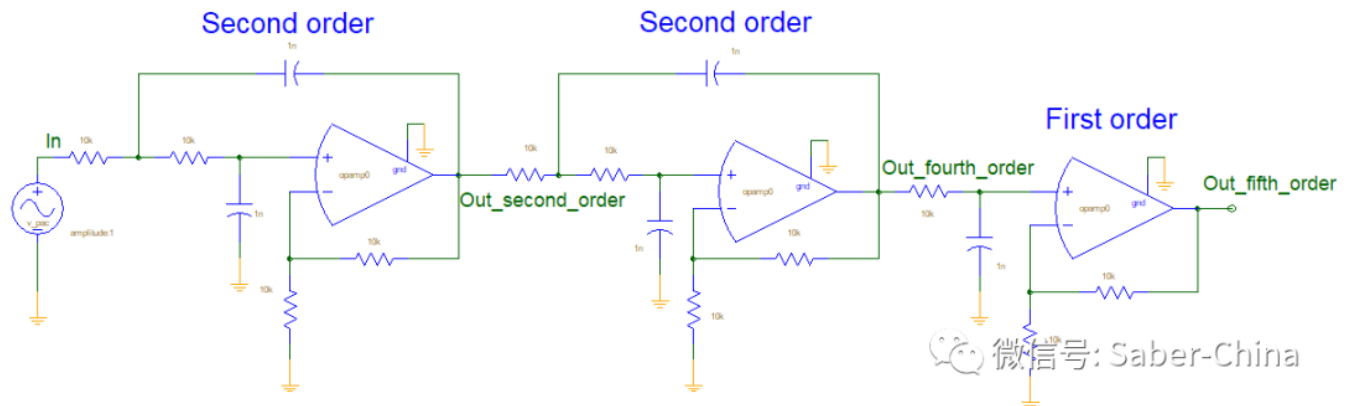


图 1 五阶有源低通滤波器

介绍

在设计低通滤波器时，尤其是将其级联以增加频率衰减时，衰减是关键问题。有源滤波器的优点是增益大于 1，可以补偿衰减。

在该示例中，添加了多个阶数以增加同相有源低通滤波器电路的频率滚降。

该设计分为几个电路，以简化构建过程。

SaberEXP 的 Design Examples 里面有这个例子。

1、 first_order_lowpass.xdsn

此设计表示具有放大功能的一阶有源低通滤波器。电路的频率响应将与无源 RC 滤波器的频率响应相同。输出幅度通过通带增益增加（图 2）。

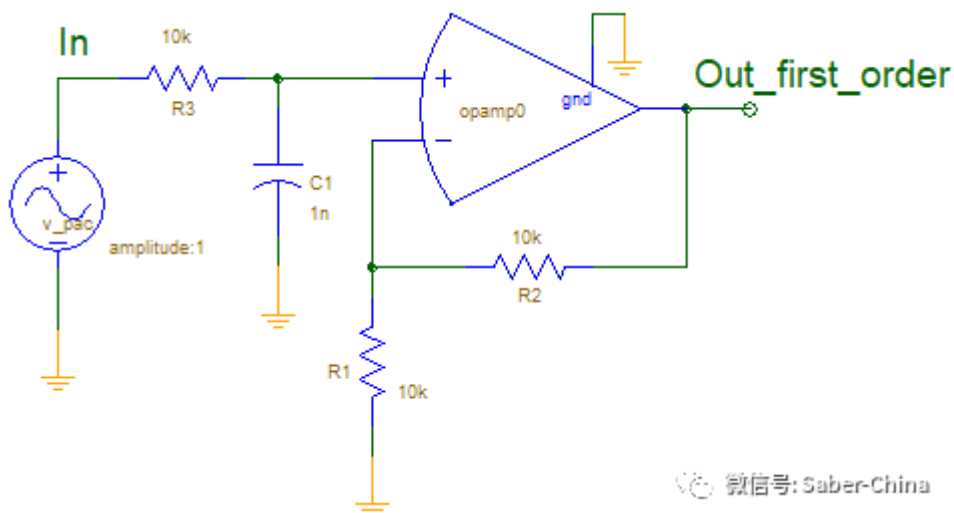


图 2 一阶有源低通滤波器

2、 second_order_lowpass.xdsn

本设计是一种二阶有源低通滤波器。其频率响应与一阶滤波器相同。阻带衰减将是 40 dB/decade 时一阶滤波器的两倍（图 3）。

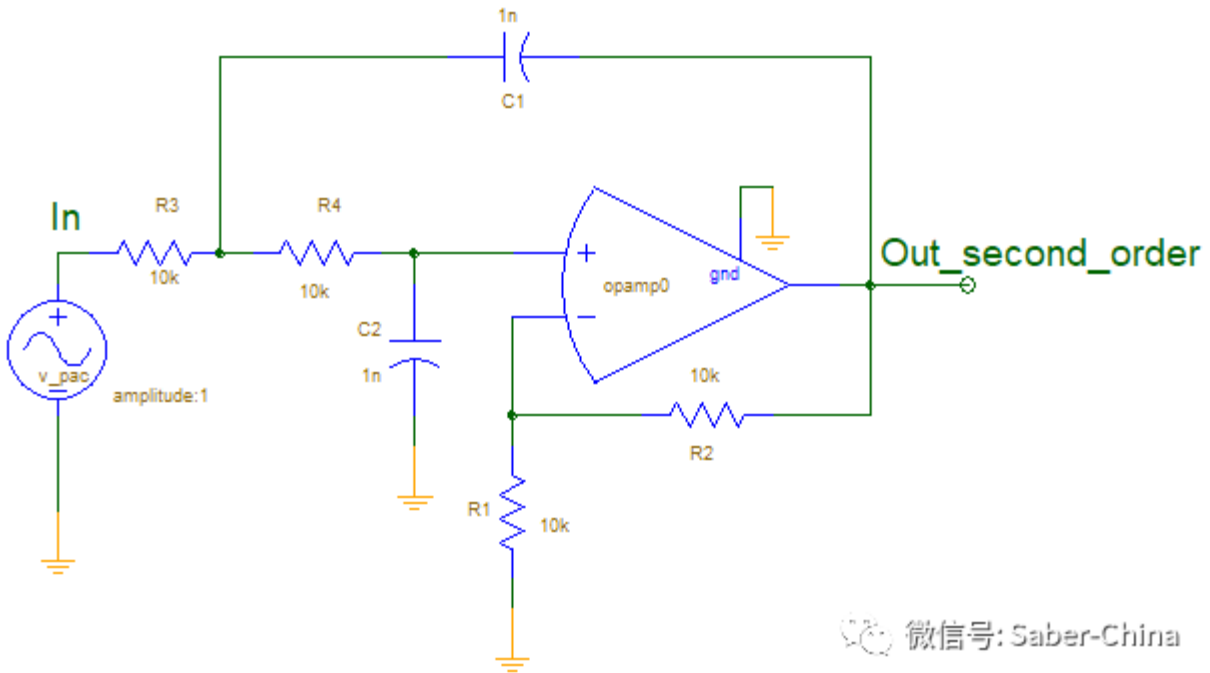


图 3 二阶有源低通滤波器

3、 third_order_lowpass.xdsn

本设计是一种三阶有源低通滤波器。将一阶和二阶滤波器级联以获得三阶滤波器。总增益是一阶和二阶滤波器增益的乘积（图 4）。

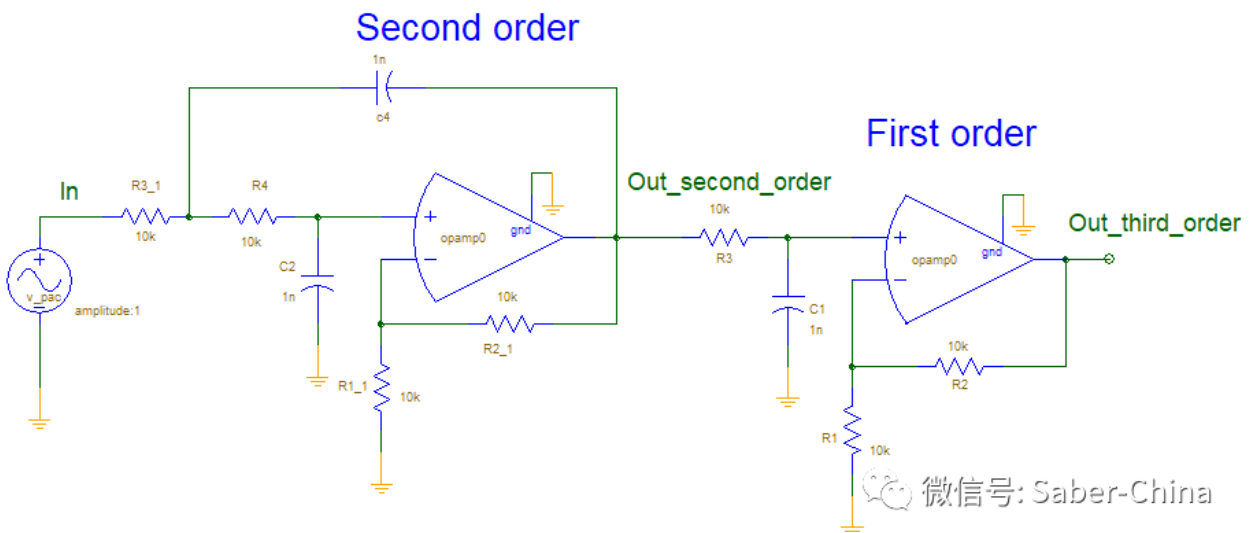


图 4 三阶有源低通滤波器

4、 four_order_lowpass.xdsn

此设计是五阶有源低通滤波器。将两个二阶滤波器和一个一阶滤波器级联以获得一个五阶滤波器。

图 1 显示了五阶有源低通滤波器。

设计

设计规格见下表：

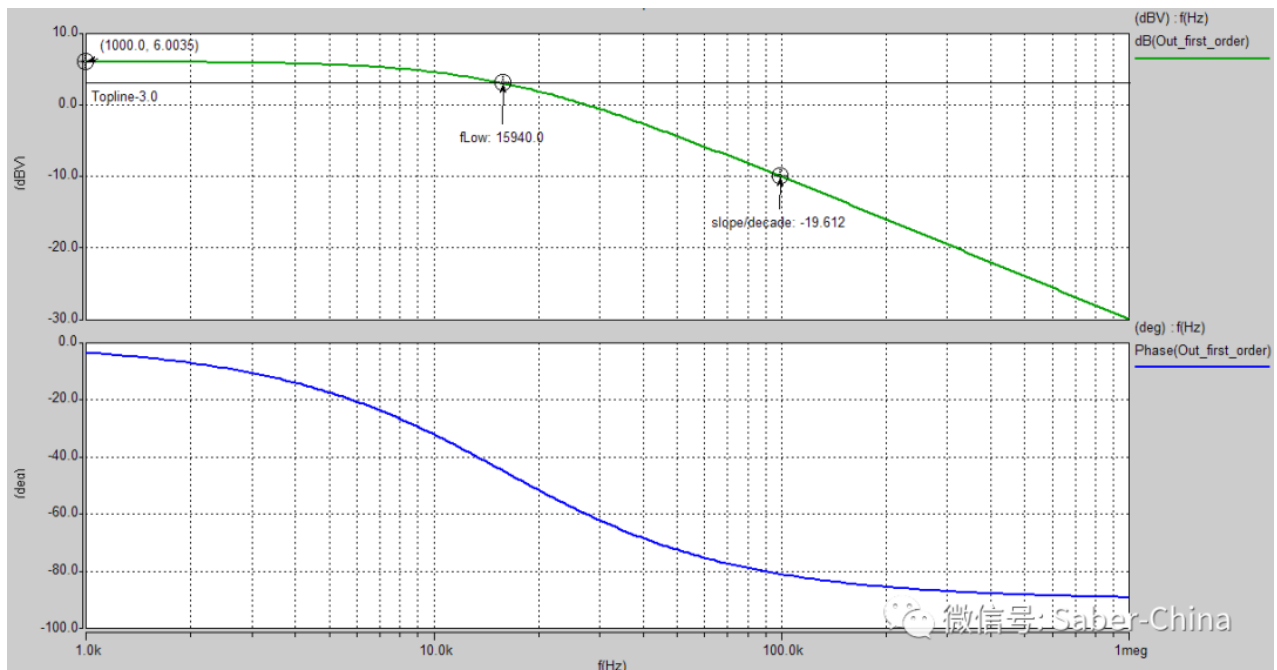
Parameter	Formula	Calculation
DC Gain (A_f)	$1 + \frac{R2}{R1}$	$1 + \frac{10k}{10k} = 2$
Cut-off Frequency for first-order filter (F_{c1})	$\frac{1}{2 \times \pi \times R3 \times C1}$	$\frac{1}{2 \times \pi \times 10k \times 1n} = 15.9 \text{ kHz}$
Voltage Gain (A_v)	$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{A_f}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{c1}}\right)^2}}$	Simulation Result
Cut-off Frequency for second-order filter (F_{c2})	$\frac{1}{2 \times \pi \times \sqrt{R3 \times R4 \times C1 \times C2}}$	Simulation Result

我们可以将一阶和二阶滤波器电路级联在一起形成高阶滤波器。滤波器的总增益等于每级的乘积。

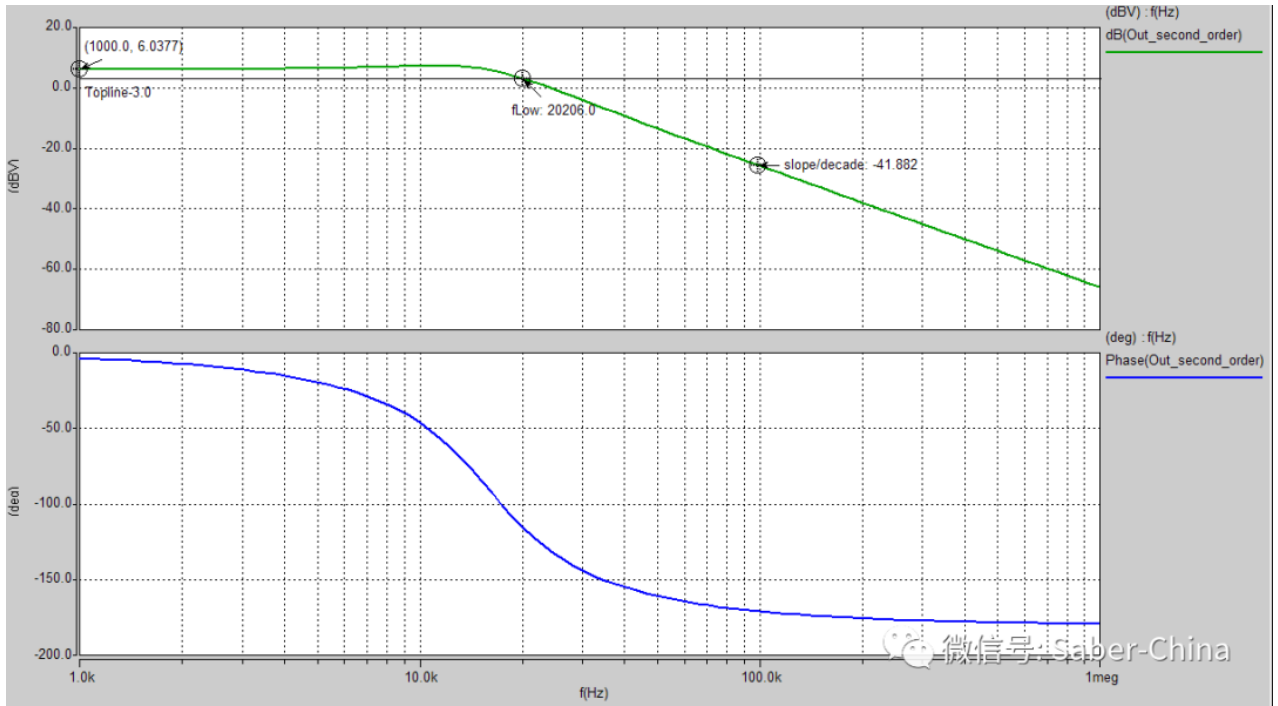
验证

使用 SaberEXP 中的 PAC 环路分析工具，可以很方便的实现滤波器的环路相应分析。

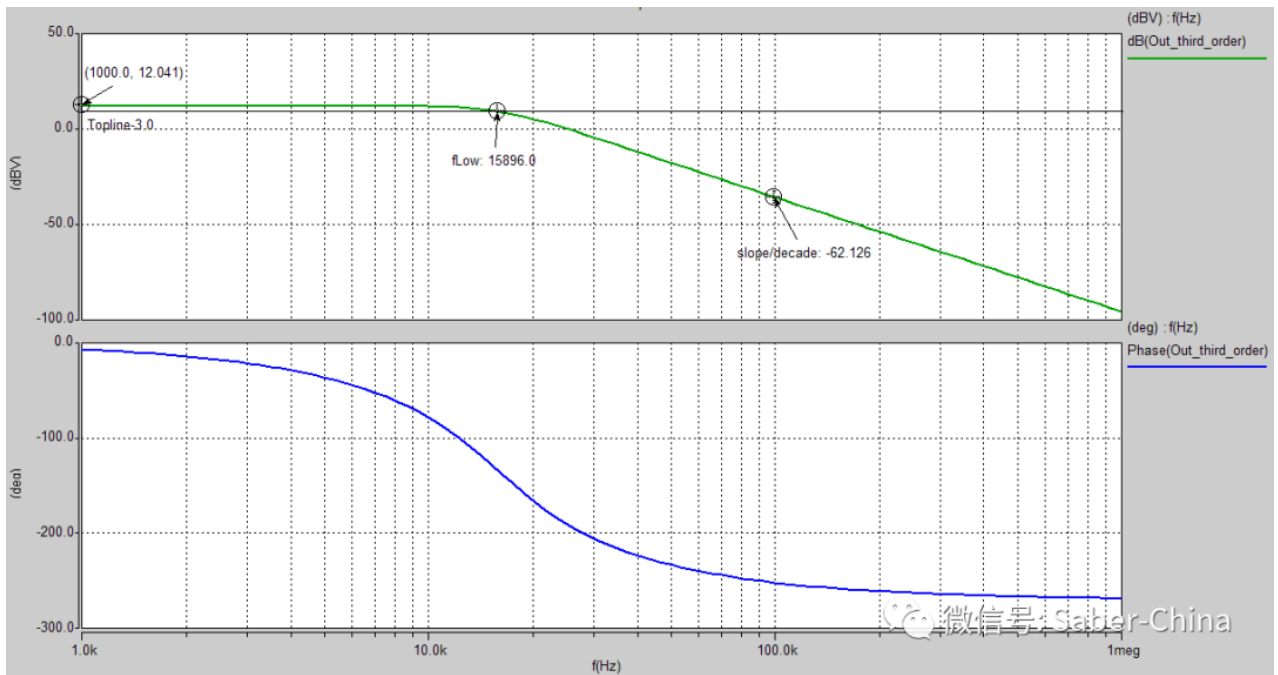
一阶滤波器的响应如下：



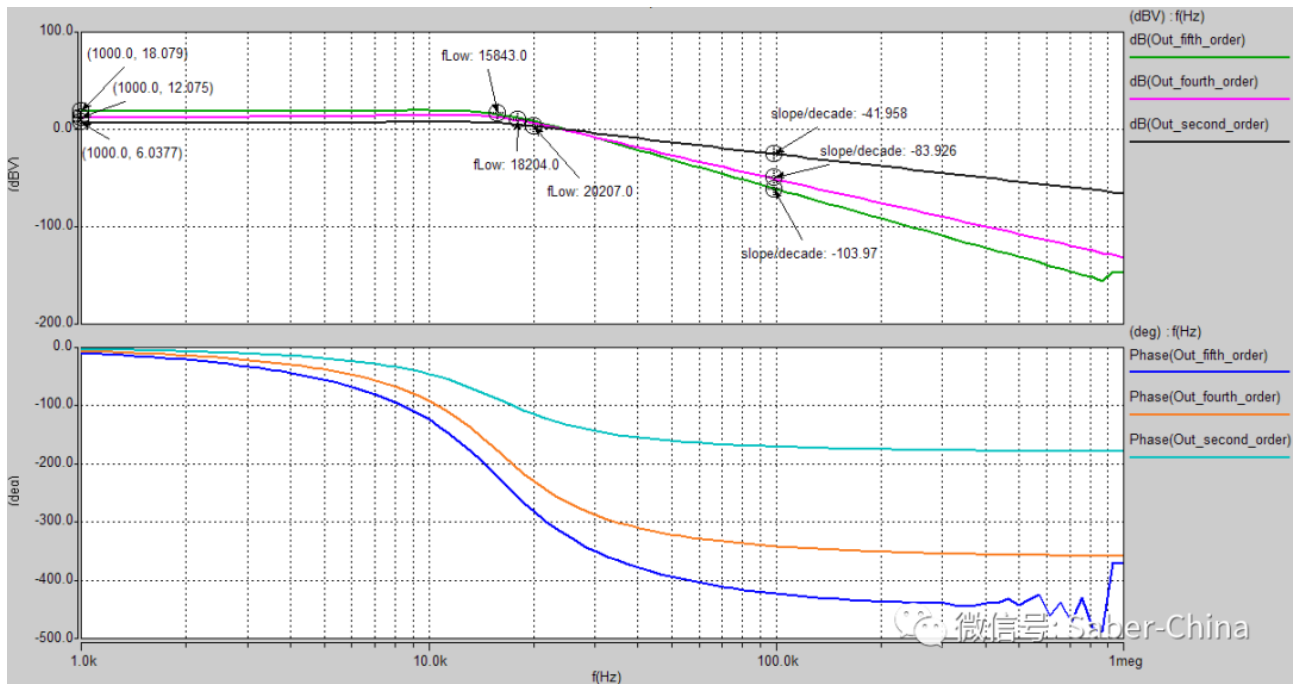
二阶滤波器的响应如下：



三阶滤波器的响应如下：



五阶滤波器的响应如下：



结论

本例设计了一个五阶有源低通滤波器，并对其频率响应进行了仿真，以测量设计截止频率之后的衰减。这些滤波器的两个主要版本（一阶和二阶）级联形成一个五阶滤波器。PAC 分析用于产生滤波器幅度与频率的关系曲线图，并测量滚降斜率。

可以将设计从 SaberEXP 导出到 SaberRD，以进行进一步的详细实施，具有特征性组件的验证，可靠性和功能安全性分析。