

学子专区—2019年2月

ADALM1000 SMU培训

主题14：级联RC低通滤波器

作者：Doug Mercer和Antoniu Miclaus

在《模拟对话》2017年12月文章中介绍SMU ADALM1000之后，我们希望继续进行一些小的基本测量。如需参阅之前的ADALM1000文章，请点击[此处](#)。

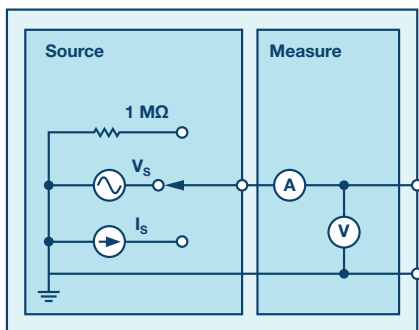


图1. ADALM1000原理图。

目标

本实验活动的目标是在考虑二级和三级级联滤波器部分导致的负载影响的情况下，研究简单的无源RC低通滤波器的频率响应变化。

背景知识

如果将两个RC低通滤波器级联在一起，那么级联低通滤波器的频率响应与两个单独的一阶RC低通滤波器的传递函数无关。这是因为理想的单极响应假设是由零源阻抗驱动滤波器，且输出端没有负载；也就是说，滤波器驱动一个无限阻抗。但是，通过有效改变RC组合时间常数，可以直接连接第二个滤波器作为第一个滤波器的负载。如果您尝试通过简单添加相量来分析级联电路，您很快就会意识到这种简单技术的缺点。这就是电路仿真软件发挥用处的地方。

作为预习练习，请在ADIsimPE™或LTspice®电路模拟原理图入门软件中输入图2所示的原理图。其中包括三个不同的RC低通滤波器部分。三个滤波器的输入都由同一交流源V1驱动。电阻R5和电容C5构成一个简单的单极（一阶）滤波器，输出取节点dB-0处的

值。电阻R3和R4及电容C1和C3构成一个二阶滤波器，其中 $R4 = R3$ ， $C3 = C1$ 。应该绘制这个过滤器中两个点的图：第一部分在节点dB-1处的输出和第二部分在节点dB-2处的输出。电阻R2和R1及电容C4和C2构成另一个二阶滤波器，其中 $R1 = 10 \times R2$ ， $C2 = C4/10$ 。也应该绘制这个过滤器中两个类似点的图：第一部分在节点dB-3处的输出和第二部分在节点dB-4处的输出。第二个滤波器让滤波器两个部分的RC时间常数保持不变，但通过将第二个电阻的值扩大10倍来降低负载效应，将第二个电容的值除以10来降低电容的值（让RC产品保持不变）。在设计级联无源RC滤波器时，使用10作为因素基本是惯例。

运行仿真软件，扫描从100Hz到20kHz的输入频率范围。您应该会获得如图3所示的频率响应图。

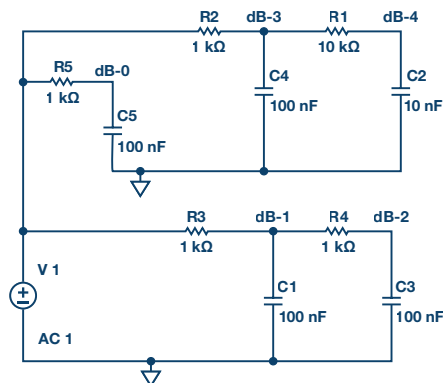


图2. RC滤波器的LTspice原理图。

运行了一次仿真，扫描的频率范围为从100Hz到20kHz。如图3所示，完全卸载的一阶滤波器（dB-0绿色线）和轻度加载的一阶点（dB-3橙色线）几乎重叠在一起。在RC时间常数频率下，加载的一阶点（dB-1蓝色线）明显低于另外两条线。但是，三条线在20kHz的高频率下会处在同一点。dB-2（红色线，加载）和dB-4（粉色线，轻度加载）这两处的二阶输出点在RC时间常数频率位置也有显著差异，但在20kHz处也到达同一点。在20kHz时，如大家所料，二阶滤波器的响应比一阶滤波器低20 dB。

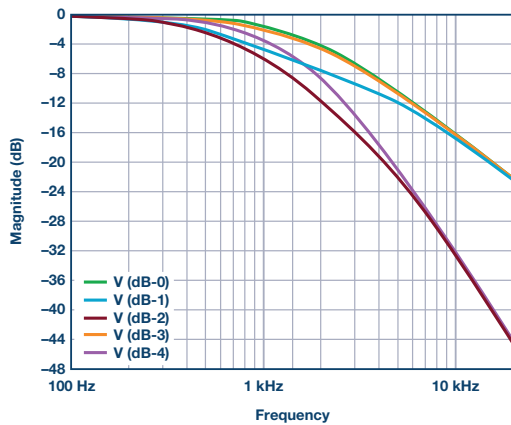


图3. AC扫描仿真图。

材料

- ▶ ADALM1000硬件模块
- ▶ 三个1 k Ω 电阻
- ▶ 一个10 k Ω 电阻
- ▶ 一个100 k Ω 电阻
- ▶ 三个0.1 μ F电容（标记为104）
- ▶ 一个0.01 μ F电容（标记为103）
- ▶ 一个0.001 μ F电容（标记为102）

指导

在您的无焊试验板上构建图3所示的一阶无源RC低通滤波器。

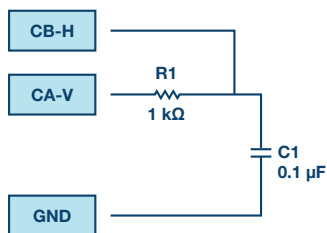


图4. 一阶无源RC低通滤波器。

按如下步骤，设置ALICE桌面Bode Plotter屏幕。Bode屏幕打开之后，取消选择**Enab Time Plot**选择器，并最小化主**Scope**窗口。

将**Frequency Scale**设置为对数。

在**Curves**下拉菜单中，选择**CA-dBV**（确认输入电平）和**CB-dB - CA-dB**（绘制与输入对应的输出响应图）。

将初始频率设为100 Hz。

将终止频率设为20,000 Hz。

选择**CHA**作为扫频源。

将扫频点的值设为300。

将FFT窗口形状设为**Flat-Top**。

在**Options**下拉菜单中，确保已选择**Cut-DC**选项。

使用**+dB/div**和/或**-dB/div**按钮，在垂直标尺上选择5 dB/div。

使用**LVL+1**和/或**LVL-1**按钮，将网格的顶部线条电平设置为5 dB。

在**AWG**控件窗口中，确认通道A设置为**SVMI**模式和**Shape Sin**，通道B设置为**Hi-Z**模式。

将通道A的**Min**值设置为1.0，**Max**值设置为4.0。

选择**Single Sweep**模式后，点击绿色的**Run**按钮。几秒钟后，您就会获得RC滤波器的频率响应图。在**Options**下拉菜单中，点击**Store Trace**按钮以保存绘图副本。在**Curves**下拉菜单中，选择已保存且要显示的**Math**图。

二阶滤波器

现在如图5所示，向滤波器添加第二个RC低通部分。通道B的输入将交替连接到C1的顶部，即第一个RC部分的输出，以及C2的顶部，即第二个RC部分的输出。

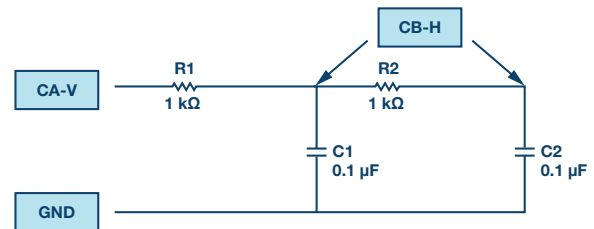


图5. 二阶无源RC低通滤波器。

在通道B连接到C1顶部之后，再次点击绿色的**Start**按钮。新一轮扫描完成后，您会看到已保存的如图4所示的对滤波器第一次扫描的一阶图，以及如图5所示的电路中的新的实时（负载）一阶图。

这两个图是否相同？如果不同，解释其不同之处和导致不同的原因。使用您最喜欢的截屏方法，或者在文件下拉窗口中，点击**Save Screen**或**Save Data**按钮。

在**Options**下拉菜单中，点击**Store Trace**按钮以保存新扫描图的副本。现在，已保存的图和实时图会相互重叠。

将通道B移到C2的顶部，再次点击绿色的**Start**按钮。新一轮扫描完成后，C1顶部应显示已保存的一阶响应图，C2顶部应显示新的实时二阶响应图。请对此图截图，并随附在实验报告中。

点击**Options**下拉菜单，然后点击**Store Trace**按钮以保存新扫描图的副本。

将R2的值更改为10 k Ω ，C2的值更改为0.01 μ F，然后再次点击绿色的**Start**按钮。新一轮扫描完成后，0.1 μ F C2电容顶部应显示已保存的二阶响应图，0.01 μ F C2电容顶部应显示新的实时二阶响应图。

这两个图是否相同？如果不同，解释其不同之处和导致不同的原因。请再次对此图截图，并随附在实验报告中。

为了更好地理解R2和C2变化会导致的情况，请将通道B移回C1的顶部，并再次点击绿色的**Start**按钮。比较这个响应曲线和在R2=1 k Ω ，C2=0.1 μ F时C1顶部的曲线。解释两者之间的差异以及导致差异的原因。请对此图截图，并随附在实验报告中。

三阶滤波器

作为RC低通滤波器部分级联的进一步扩展，添加第三个RC部分，通过将R3和C3连接到电路来生成一个三阶滤波器，如图5所示。重复对二阶滤波器实施的操作（R1 = R2 = R3 = 1 k Ω ，C1 = C2 = C3 = 0.1 μ F）。运行新一轮的扫描。

针对您观察到的频率响应图中的差异做出解释，并随时在您的实验报告中插入截图。

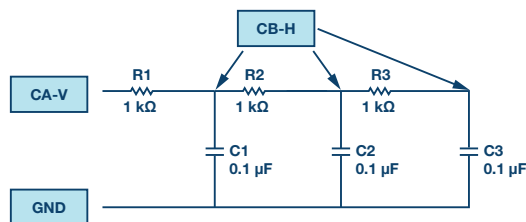


图6. 三阶无源RC低通滤波器。

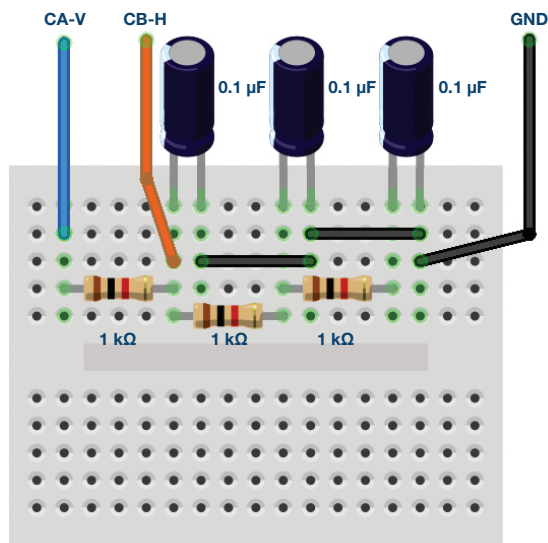


图7. 三阶无源RC低通滤波器试验板连接。

下一步，将元件值更改为以下值：R1 = 1 k Ω ，R2 = 10 k Ω ，R3 = 100 k Ω ，C1 = 0.1 μ F，C2 = 0.01 μ F，C3 = 0.001 μ F。再次运行扫描。

问题

计算上述三阶RC滤波器的截止频率，并与实测结果和仿真结果对比。解释为何存在差异。

您可以在[学子专区博客](#)上找到问题答案。

注释

与所有ALM实验室一样，当涉及与ALM1000连接器的连接和配置硬件时，我们使用以下术语。绿色阴影矩形表示与ADALM1000模拟I/O连接器的连接。模拟I/O通道引脚被称为CA和CB。当配置为驱动电压/测量电流时，添加-V，例如CA-V；当配置为驱动电流/测量电压时，添加-I，例如CA-I。当通道配置为高阻抗模式以仅测量电压时，添加-H，例如CA-H。

示波器迹线同样按照通道和电压/电流来指称，例如：CA-V和CB-V指电压波形，CA-I和CB-I指电流波形。

对于本文示例，我们使用的是ALICE 1.1版软件。

文件：alice-desktop-1.1-setup.zip。请点击[此处](#)下载。

ALICE桌面软件提供如下功能：

- ▶ 双通道示波器，用于时域显示和电压/电流波形分析。
- ▶ 双通道任意波形发生器(AWG)控制。
- ▶ X和Y显示，用于绘制捕捉的电压/电流与电压/电流数据，以及电压波形直方图。
- ▶ 双通道频谱分析仪，用于频域显示和电压波形分析。
- ▶ 波特图绘图仪和内置扫描发生器的网络分析仪。
- ▶ 阻抗分析仪，用于分析复杂RLC网络，以及用作RLC仪和矢量电压表。
- ▶ 一个直流欧姆表相对于已知外部电阻或已知内部50 Ω 电阻测量未知电阻。
- ▶ 使用ADALP2000模拟器件套件中的AD584精密2.5 V基准电压源进行电路板自校准。
- ▶ ALICE M1K电压表。
- ▶ ALICE M1K表源。
- ▶ ALICE M1K桌面工具。

欲了解更多信息，请点击[此处](#)。

注：需要将ADALM1000连接到您的PC才能使用该软件。

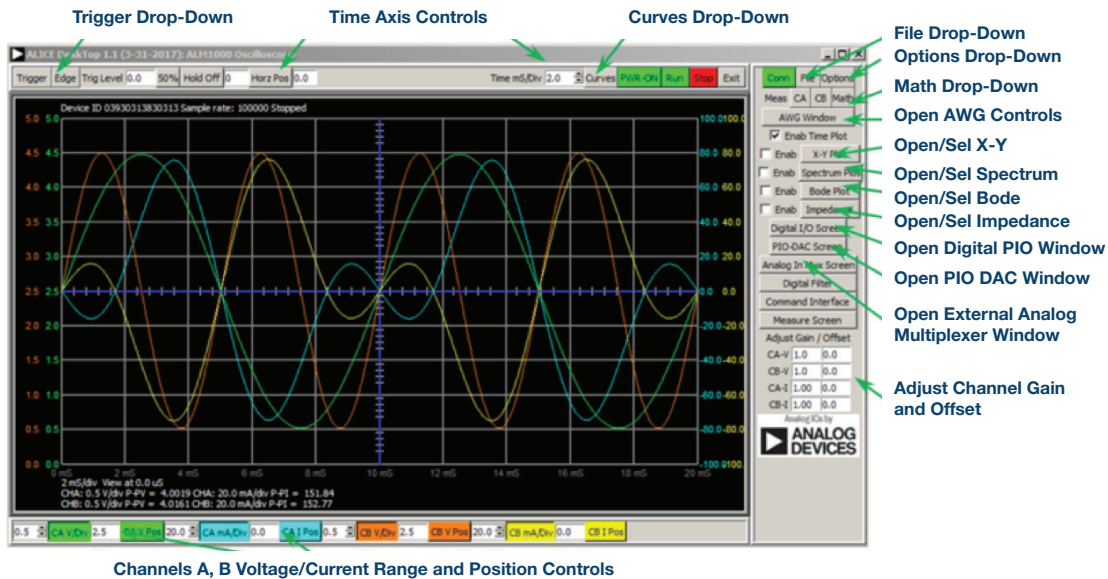


图8. ALICE桌面1.1菜单。

Doug Mercer [doug.mercer@analog.com]于1977年获得伦斯勒理工学院 (RPI)电气工程学士学位。自1977年加入ADI公司以来,他直接或间接贡献了30多款数据转换器产品,并拥有13项专利。他于1995年被任命为ADI研究员。2009年,他从全职工作转型,并继续以名誉研究员身份担任ADI顾问,为“主动学习计划”撰稿。2016年,他被任命为RPI ECSE系的驻校工程师。



Doug Mercer

该作者的其他文章

[ADALM1000 SMU 培训, 主题13: 阻带滤波器](#)

[学子专区——2019年1月](#)

Antoniu Miclaus [antoniu.miclaus@analog.com]是ADI公司的系统应用工程师,从事ADI学术项目、Circuits from the Lab®嵌入式软件和QA过程管理工作。他于2017年2月在罗马尼亚克卢日-纳波卡开始在ADI公司工作。

他目前是贝碧思鲍耶大学软件工程硕士项目的理学硕士生,拥有克卢日-纳波卡科技大学电子与电信工程学士学位。



Antoniu Miclaus

该作者的其他文章

[ADALM1000 SMU 培训, 主题13: 阻带滤波器](#)

[学子专区——2019年1月](#)