

学子专区——2018年11月

ADALM1000 SMU培训

主题11: 频率补偿分压器

作者: Doug Mercer和Antoniu Miclaus

共享



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](#)。

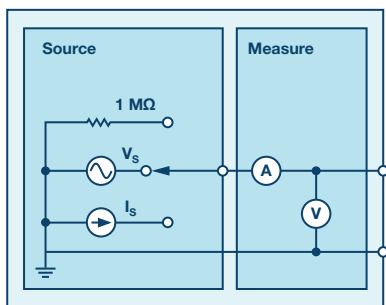


图1. ADALM1000原理图。

目标:

本次实验的目的是研究电阻分压器的容性负载及其对频率响应的影响。

背景:

频率补偿分压器或衰减器是一个简单的双端口RC网络,在宽频率范围而不仅仅是直流范围内,提供固定分压比或衰减。当电路中负载分压器输出的部分为电容性时,就会使用这种网络。当信号具有宽带宽,即非正弦型时,该网络尤其重要。最简单的电压衰减器是具备传输功能的纯电阻分压器: $H(j\omega) = V_2/V_s = R_2/(R_1 + R_2)$, 其中输入为 $V_s = V_1 + V_2$, 输出为 V_2 (如图2所示)。只有当电阻为理想状态,且与电路有关的寄生电容非常小时,电阻分压器的传输功能才与电频无关。

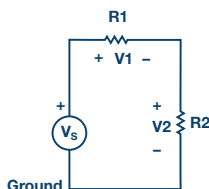


图2. 一个简单的电阻分压器。

在高频率下发现的问题是杂散(寄生)电容对电阻分压器总体响应造成的影响。解决这个问题最简单的方法就是将电容与电阻并联。请考虑图3所示的分压器电路。电容器C2横跨整个输出V2, 可视为分压器输出(可能是系统的一部分)的杂散寄生电容。可以看到, 此电路(称为频率补偿分压器)在直流或低频率下充当电阻分压器, 在高频率下则充当电容分压器。分压器可以由无功元件构成, 就像它们可以由电阻构成一样。此外, 与电阻分压器一样, 电容分压器的分压比不受信号频率变化的影响, 即使电容电抗与频率有关。

分压比为 $V_2/V_s = X_{C2}/(X_{C1} + X_{C2})$ 。电容电抗XC与1/C成正比, 所以 $V_2/V_s = C_1/(C_1 + C_2)$ 与电阻分压器的公式类似。在 $R_1 = R_2$ 的简单示例中, 电阻分压比等于1/2。电容的分压比要同样等于1/2, C1必须等于C2。

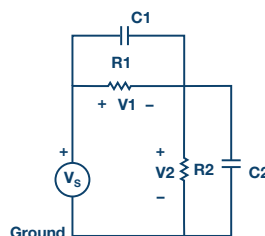


图3. 频率补偿分压器。

补偿分压器采用极点-零点抵消来抑制不必要的频率依赖, 由网络输出端的杂散电容引发。如果调整电阻值和电容值, 使H(s)的极点和零点重合, 则|H(jω)|变得与频率无关。

了解极点-零点抵消条件的有益方式是写下|H(jω)|的低和高频率限制表达式, 然后将它们设成相同值。结果就是R1、R2、C1和C2之间的简单关系。

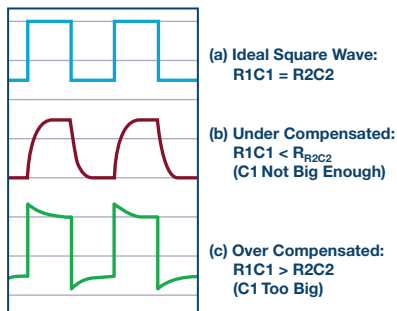


图4. 方格的边缘: (a)合理调整, (b)低于补偿值, (c)高于补偿值。

补偿ALM1000的输入电容的实验

材料:

- ▶ 一个ADALM1000硬件模块
- ▶ 一个1 kΩ电阻
- ▶ 一个电容, 数值待定

指导:

回顾图3, 在高阻抗模式下, 我们可以考虑用R2代表ALM1000通道的1 MΩ输入电阻。同样, 可以考虑用C2来代表输入的杂散寄生电容。绿色方框中的电阻和电容如图5所示。用另一个1 MΩ作为R1, 以实现1/2的分压比。在不包含C1的情况下, 开始计算C2对频率响应的影

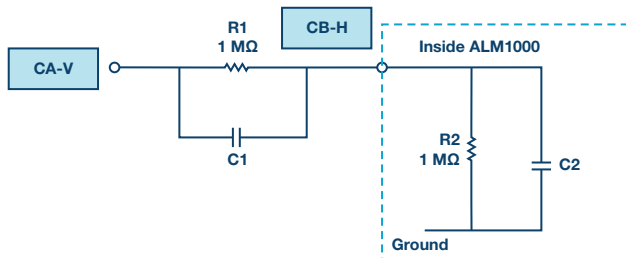


图5. 分压器设置。

步骤:

将AWG A设置为SVMI模式, 其中最小值设置为1.0, 最大值设置为4.0。将形状设置为方形, 频率为500 Hz。将AWG B设置为高阻抗模式。在曲线下, 选择要显示的CA-V和CB-V。点击运行, 然后调整水平时标, 使其可以显示约三个周期。可以看到, 通道A上有幅度变化很大的方波, 通道B上的波形则与图4中的红色曲线 (b) 相似。这是因为计算中未包含C1。通过通道B波形, 估算RC时间常数和C2的值。

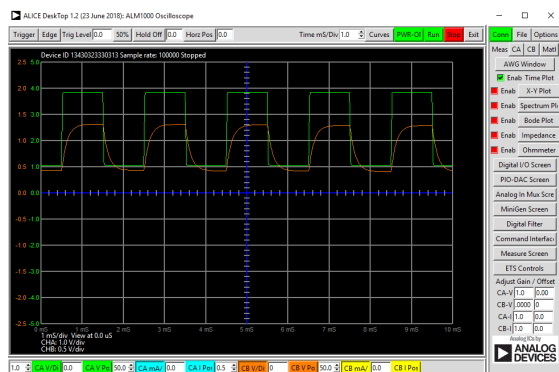


图6. 分压器图表。

打开波德图窗口。生成频率响应曲线时, 如果您愿意, 可以禁用时间曲线图。将AWG A最小值设为1.082, 最大值设为3.92 (1 V rms或0 dBV)。确认形状是否已经变更为正弦。将开始频率设置为100, 停止频率设置为20,000。将CH-A选为扫频源。在曲线下, 选择要显示的CA-dBV、CB-dBV和CA-dB - CB-dB迹线。在FFT窗口下, 使用平坦化窗口选项可以达到最佳效果。将扫频点的值设为300, 并设为单扫描。点击运行按钮。

您现在可以得出未补偿分压器的增益 (衰减) 比与频率响应。从增益图的-3 dB点, 估算RC时间常数和C2的值。这些值与您使用时域响应计算的值相比如何? 基于最准确的C2估算值, 计算用于补偿C2的C1值。得出的值可能与标准电容值大相径庭。找到两个或更多电容的并联组合 (或串联组合), 这些电容组合起来接近要求的C1值。

在试验板添加涵盖R1的新的C1组合。

在这个新电路上重复时间域和频率域测试。现在, 分压器的输出时间域响应是否更接近图4中 (a) 的蓝色波形? 如果不是, 原因是什么? 比较添加C1之前和之后, 电路的频率响应。-3 dB频率现在等于多少?

电容分压器路径响应:

现在来看看电容分压路径。将R1从C1端部断开, 然后连接至2.5 V固定电源 (如图7所示)。仅穿过C1的路径会阻碍通道A的直流路径。将R1连接至2.5 V固定电源之后, 可以恢复通道B输入上的直流电压电平。

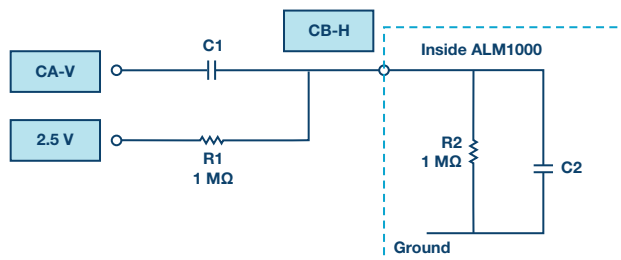


图7. 一个电容分压路径。

在这个电路上重复时间域和频率域测试。比较仅连接R1, 以及R1和C1并行连接 (图5) 时获得的值和电路的时间和频率域响应。-3 dB频率现在等于多少? 频率响应是平坦、低通, 或者高通的? 说明原因。

使用分压器来测量9 V电池:

我们现在将使用分压器来测量高于ALM1000硬件允许的0 V至5 V范围的电压。但是, 我们需要先校准分压器的偏移和增益。

如图5所示, 从通道A断开R1和C1端部, 然后连接至接地电路。将通道B的增益值设置为2.0, 即目前的近似分压比。监测通道B的直流平均值时, 调节在通道B的偏移输入窗口中输入的值。

现在, 重新将R1/C1后端连接至通道A输出。通道A和B的波形现在应该更紧密地排列在一起。根据需要稍微调整增益值, 使方波的顶部和底部的平面部分正好在彼此的顶部。您可能需要稍微调整偏移量, 以实现精确对准。现在, 已经调整好分压器的软件。

从通道A断开R1/C1的连接。将9 V电池的负 (-) 极连接至接地电路, 将正 (+) 极连接至R1/C1。现在, 通道B的直流平均读数应该是9 V电池的直流电压。您需要将通道B的垂直范围更改为1 V/div, 将位置更改为5.0, 以便网格范围中显示9V。

Adjust Gain / Offset			
CA-V	1.0	0	CH-B Gain
CB-V	2.0	0.049	
CA-I	1.0	0.0	CH-B Offset
CB-I	1.0	0.0	

示波器探头:

示波器采用1 M Ω 输入阻抗范围时, 10 $\times$ 无源示波器探头使用串联电阻 (9 M Ω) 来提供10:1衰减。对于大部分示波器输入, 1 M Ω 阻抗是标准值。因此, 示波器探头能够互换用于不同制造商提供的示波器。图7所示为典型的10 $\times$ 探头的原理图。10 $\times$ 示波器探头也支持一定量的频率补偿, 允许示波器通道输入电容存在差值。如图所示, 在探针中设计加入了电容分压器网络。因此, 可以使用可调节的接地电容来均衡探头的频率响应。

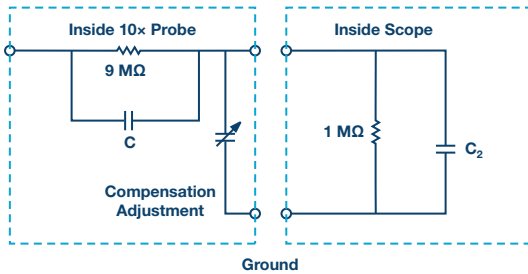


图8. 典型的示波器探头原理图。

ALM1000的输入通道具有1 M Ω 输入电阻, 但其输入电容远超出大部分10 $\times$ 探头的10 pF至50 pF调节范围。与9 M Ω 电阻并联的电容器一般为10 pF, 而示波器输入电容和示波器中可调节的补偿电容的并联组合需要接近90 pF。这意味着, 如果标准探头被直接连接至ALM1000输入, 则无法对频率响应实施补偿。

如图9所示, 可以在探头电路和ALM1000输入之间插入单位增益缓冲放大器 (例如AD8541或AD8542)。R1和C1补足了10 $\times$ 探头的电阻/电容分压电路。

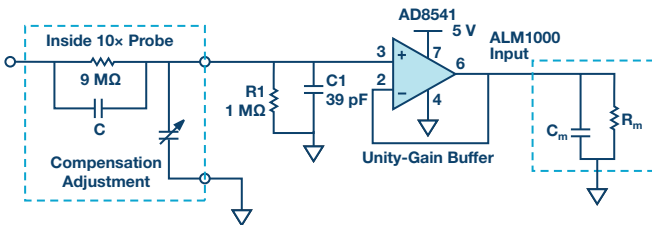


图9. 插入一个单位增益缓冲器, 以降低输入电容。

电阻R1接地时, 只能测量正电压。如果R1连接至2.5 V, 即放大器输入的中等范围值 (0 V至5 V), 则会产生一个偏移值, 之后可以测量正电压和负电压。

问题:

考虑图8所示的典型探头示意图, 确定应如何计算可调电容值来补偿频率响应。

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。当通道配置为高阻态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连接到你的PC才能使用该软件。

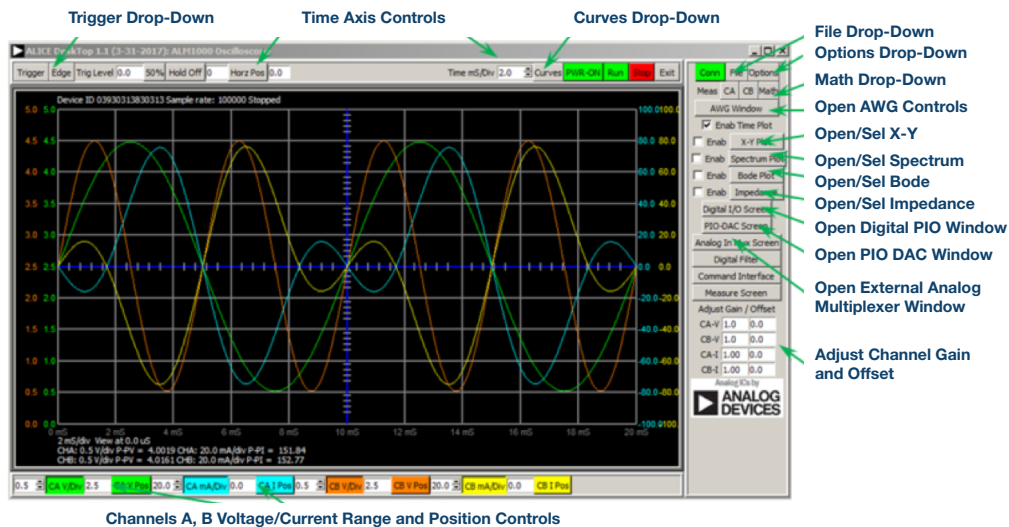


图10. ALICE桌面1.1菜单。

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10: 低通和高通滤波器
[学子专区——2018年10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10: 低通和高通滤波器
[学子专区——2018年10月](#)