

# 衰减系数为60的 AD8479漏斗放大器

Rusty Juskiewicz, 产品工程师

许多应用需要在高共模电压存在的情况下进行差分测量，而有些测量电压在几百伏以上。在这些电压下进行精确测量不但很难，而且成本高昂。但是，AD8479能够轻松做到这一点。如AD8479数据手册所述，电阻网络在提供单位差分增益的同时，将非常大的共模电压衰减了60倍。然而，许多应用可从漏斗放大器中受益，因为这种放大器能够在承受高电压同时，通过将信号衰减到可用的电压阈值范围内来测量非常高的信号。通过利用AD8479中的精密电阻，内置衰减系数来实现这种测量。

由于AD8479将信号衰减了60倍，为实现单位差分增益设备内部的其他运算放大器就必须将该差分信号再放大60倍。该增益通过连接到负基准电压(Ref-)引脚的电阻和连接到输出的电阻的比率实现。由于此处的目标只是实现衰减，因此可通过将输出信号反馈给Ref-引脚来旁路该增益。在此配置中，不再获得单位增益，而是实现精密漏斗放大器。由于AD8479采用固定增益配置，放大器可适当进行补偿，因此单位增益可能不稳定。为保持稳定性，此处的一个设计目标是确保在放大器的增益滚降之前，放大器处于初始预期增益中。AD8479数据手册将典型带宽列为310 kHz，因此负基准电压反馈应在此频率之前滚降。通过利用低通滤波器连接AD8479输出，并缓冲滤波器的输出（在滤波器后加缓冲器），以及将缓冲器输出反馈回AD8479的负基准引脚，由此AD8479可构建为高电压精密漏斗放大器。

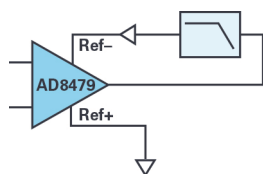


图1. AD8479: 增益为1/60的功能框图。

对于精密信号链，将噪声和失调电压保持在最小值至关重要。为保证这一要求，需要具有低噪声和低失调电压的缓冲器。出于这些原因及其宽电源范围，选择运放ADA4522作为单位增益缓冲器。这就使得ADA4522与AD8479采用相同的电源供电，从而降低了系统的复杂性。由于ADA4522的输入电压最高不能超过 $V_+$ 减1.5 V，所以使用ADA4522需要权衡整个电路输出电压的范围。由于AD8479和ADA4522具有宽电源范围，在必要时增加

电源电压可以减轻对供电的压力。AD8479的输入电压范围限值为 $\pm 600$  V，因此使用 $\pm 11.5$  V或更高的电源电压时（假定0 V基准电压），ADA4522的输入电压范围不会限制整个电路。

对于低通滤波器，单极点RC滤波器会达到所需效果。还需要将低通滤波器中的电阻保持为最小值，以减少缓冲器的噪声，因为运放输入端的电流噪声乘以电阻值以及电阻本身的热噪声会最终影响运放的输出噪声。此外，电阻值太小将需要大滤波电容才能实现相同的-3 dB频率，这可能会超过AD8479的驱动容性负载能力。如前所述，直流增益为1/60，为了保证运放的稳定，300 kHz时的增益应为单位增益。因此，由于使用了单极点RC滤波器，其应在5 kHz时发生滚降。为了实现上述特性，RC值选择10 nF和3.16 k $\Omega$ 其RC也是标准电阻和电容值。

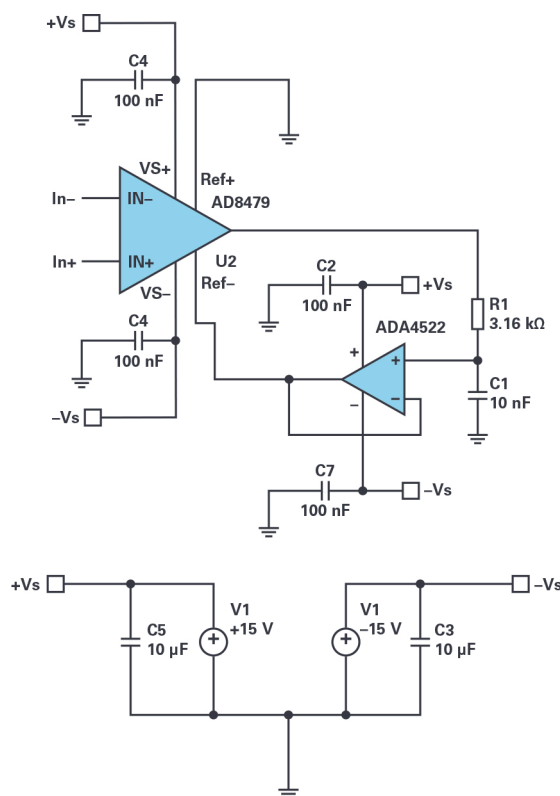


图2. AD8479: 增益为1/60的示意图。

如前所述，低通滤波器的-3 dB为5 kHz。由于缓冲器会为AD8479内的运算放大器提供负反馈，因此当低通滤波器在 $f > 5\text{ kHz}$ 开始滚降时，AD8479的输出增益也将同步增加。由于在低通滤波器开始滚降时，AD8479输出也以20 dB/十倍频程的速率增加，由此滤波器的输出和缓冲器输出将持平。若缓冲器的输出作为系统的输出，则整个系统的带宽将仅受AD8479的带宽和输出范围的限制。这种限制是由于AD8479的输出随着输出频率大于5kHz后，其增益的增加而导致的，因此对于5 kHz及高于5 kHz的频率，此电路需要在输入电压范围和频率之间进行平衡。例如，150 kHz时30 V p-p输入将具有-6 dB的AD8479输出增益，从而产生15 V p-p，这接近AD8479的全功率带宽。

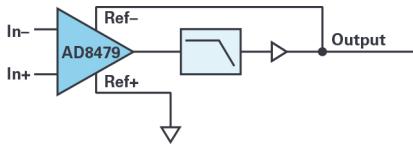


图3. AD8479：增益为1/60的改进功能框图。

图4中的示波器显示了AD8479的配置漏斗放大器的结果。通道1显示的信号为100 Hz、1200 V p-p，为避免损坏示波器将信号衰减100倍。通道2是缓冲放大器的输出，结果完全符合预期。对于1200 V p-p输入，漏斗放大器的输出为20 V p-p。

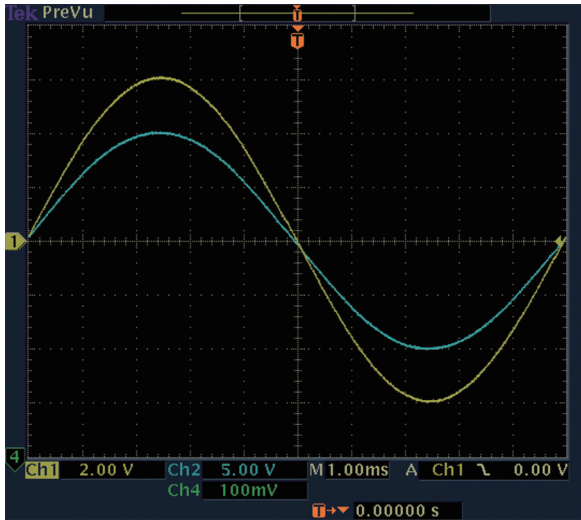


图4. AD8479：增益为1/60的示波器输入和输出信号捕获。

图5中的示波器显示了30 V p-p、100 kHz输入信号的结果。和图4中一样，漏斗电路在100 kHz时也衰减1/60。

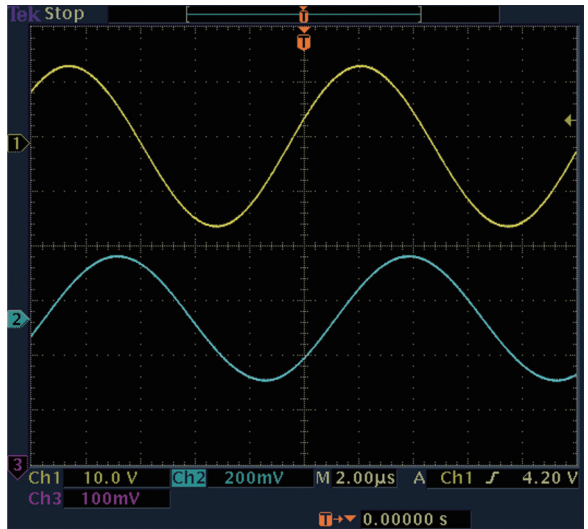


图5. AD8479：100 kHz时增益为1/60的示波器输入和输出信号捕获。

图6显示AD8479漏斗电路的阶跃响应。用15 V p-p方波驱动输入端可以实现建立时间在几微秒以内的250 mV p-p阶跃响应。

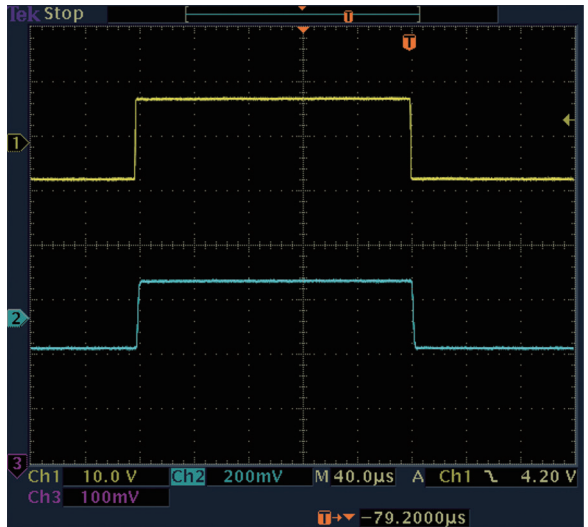


图6. AD8479：增益为1/60的脉冲响应。

由于AD8479漏斗放大器配置会以比标准AD84791倍增益低的多的增益（衰减）获得差分信号，因此噪声得以降低。对于漏斗放大器的配置，100 Hz的频谱噪声密度为27 nV/√Hz，0.1 Hz至10 Hz范围内的电压噪声峰峰值为580 nV。如您所见，这些噪声值大约是AD8479数据手册中列出的噪声值的1/60，因此滤波器和缓冲器对噪声的影响可以忽略不计。这是由于在两级放大器电路中，第二级的噪声和失调电压被第一级的增益分压而至衰减。由于从AD8479 Ref-引脚到AD8479输出引脚之间的增益为-59，此(-1)为缓冲器噪声和失调电压将减小的因子(1/(59+1))。

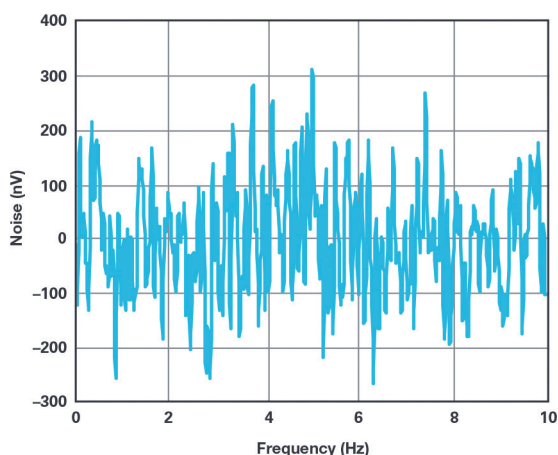


图7. AD8479: 增益为1/60的峰峰值噪声(nV) 0.1 Hz至10 Hz。

AD8479的两个关键指标是失调电压和共模抑制比。由于AD8479的直流噪声增益现在约为1，因此AD8479内运算放大器的失调电压将是AD8479数据手册中标称失调电压的1/60，AD8479 B级的失调电压为 $\pm 1$  mV)。由于从AD8479的Ref-到其输出的直流增益，缓冲器的失调电压实际上降低了60倍，因此AD8479本身的失调电压是造成电压失调的主要原因。此电路产生的最大失调电压为 $\pm 17$   $\mu$ V。同样，由于AD8479运算放大器的直流噪声增益不再为60，AD8479中的CMRR误差也不会增加60倍。由于CMRR是共模增益与差分增益的比值，这两个量都减少了60倍，因此对于AD8479漏斗放大器电路，这两者的CMRR是相同的，AD8479 B级的CMRR为90 dB。

一种应用是测量交流电动机的电压和电流。由于交流电源是数百伏电压，因此很难准确监测电流和电压。由于AD8479能够在这些电压下工作，因此可以使用分流器测量通过电机的电流。使用上述电路可以实现电机电压的测量，由此可轻松实现精确的功率监控解决方案。

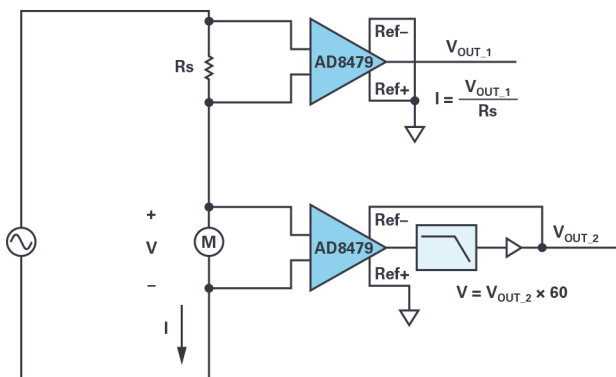


图8. AD8479: 增益为1/60的高电压阻抗测量。

尽管AD8479是固定单位增益放大器，但仍可实现精密漏斗放大器。漏斗放大器可用于许多应用，包括补充测量针对相关电压加载所需要的高压电流的测量。虽然漏斗放大器的带宽限制了输入电压范围，但典型的市电频率在限定的输入电压频率范围以内，因此对于这些类型的测量，此电路性能是理想的。

## 作者简介

Matthew “Rusty” Juskiewicz是位于马萨诸塞州威尔明顿的ADI公司线性产品与解决方案(LPS)部的一名产品工程师。他在2015年获得东北大学的电气工程硕士学位之后加入ADI公司。联系方式: [rusty.juskiewicz@analog.com](mailto:rusty.juskiewicz@analog.com)。

## 在线支持社区



访问ADI在线支持社区，中文技术论坛

与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答，或参与讨论。

请访问[ez.analog.com/cn](http://ez.analog.com/cn)



超越一切可能™

ADI公司  
请访问[analog.com/cn](http://analog.com/cn)

如需了解区域总部、销售和分销商，或联系客户服务和  
技术支持，请访问[analog.com/cn/contact](http://analog.com/cn/contact)。

向我们的ADI技术专家提出棘手问题、浏览常见问题解  
答，或参与EngineerZone在线支持社区讨论。  
请访问[ez.analog.com/cn](http://ez.analog.com/cn)。

©2019 Analog Devices, Inc. 保留所有权利。  
商标和注册商标属各自所有人所有。

“超越一切可能”是ADI公司的商标。

TA21596sc-10/19

