

带内部旁路电容的数据采集μModule器件的PSRR特性表征

作者: Naveed Naeem, 产品测试开发工程师;
Samantha Fontaine, 产品工程师

摘要

在优化数据采集(DAQ)系统时,设计人员必须仔细考虑电源对高精度性能的影响。电源电路中通常都包含低压差线性稳压器和DC-DC开关模式转换器的组合。开关模式转换器的一个缺点是:它们会产生输出纹波。虽然纹波幅度相对较低,但它们会耦合到模拟信号路径的关键元件中,可能会破坏测量和降低性能。电源元件通常必须具备极低的噪声,并且在PCB的多个位置进行充分的电源去耦,以防止信号链的性能下降。

电源电压抑制比(PSRR)是衡量系统抑制电源噪声和干扰能力的量化指标。随着DAQ解决方案通过系统级封装(SiP)技术发展成更为完整的信号链解决方案,可将电源去耦和精密信号链封装在一起,以提高整个系统的PSRR。

PSRR定义

电源电压抑制比也称为电源纹波抑制,实质上是电源电压变化与输出电压的比值,用dB表示。

以下公式定义了如何计算PSRR (A_v 为电压增益)。

$$PSRR \text{ (dB)} = 10 \log_{10} \left(\frac{\Delta V_{SUPPLY}^2 A_v^2}{\Delta V_{OUT}^2} \right) \quad (1)$$

PSRR是一个重要的参数,用于量化电路对电源噪声和扰动的敏感度及其对电路输出的影响。通常在较宽的频率范围(直流到数MHz)内测量,PSRR会随频率升高而降低。

系统设计人员经常在电路的电源节点中添加解耦电容,以减少可能耦合到敏感元件中的噪声和毛刺。对于放大器,将0.1 μF陶瓷电容放置在尽量靠近电源引脚的位置,以减少高频耦合。此外,为了提供低频解耦,可并联连接较大的10 μF钽电容,一般将其放置在更靠近电源的位置。

PSRR推动因素

一些系统设计人员不愿使用高功耗、低噪声功率转换元件,其中一个原因是他们希望获得高能效比。电池供电的DAQ系统就是这种要求以低功耗获取高性能的应用,因此需要设计对电源噪声不敏感的DAQ系统。

现代设备通常包含多个由同一电池供电的系统。在一定条件下,如果一个系统或设备的功耗增加,那么电池电压,以及由该电池供电的其他设备的电源电压都可能发生变化。由于这些原因,在设计系统的电池管理电路时,dc PSRR参数非常重要。设计人员可以根据系统的灵敏度,使用LDO稳压器来帮助消除降压。在电池供电系统中,如果需要纹波触发降压、升压或反相稳压器,则AC PSRR也是一个重要参数。

对于工业应用,系统噪声是关键指标。例如,附近设备的电磁干扰(EMI)会与电源耦合,导致出现噪声杂散和其他误差。为了帮助最大限度减少这些噪声杂散,使用解耦电容和合适的PCB设计技术(例如接地、屏蔽,以及正确放置元件)非常重要。

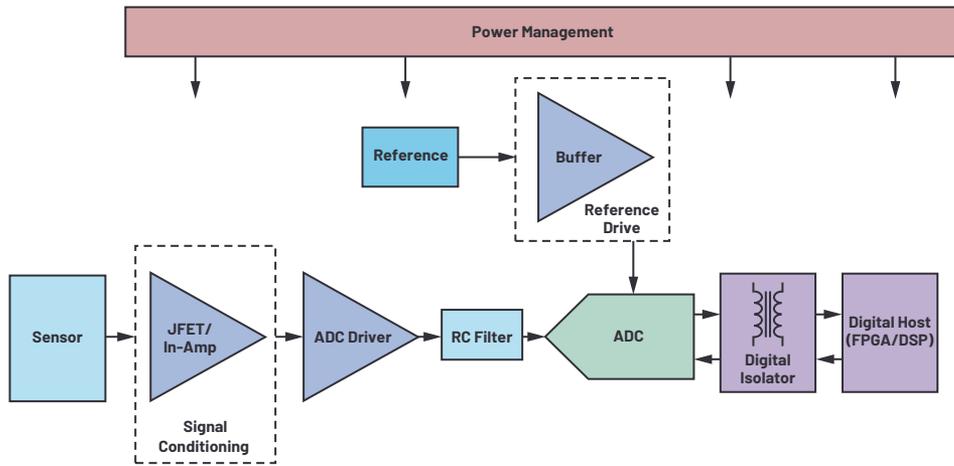


图1. 典型的精密数据采集信号链。

图1展示典型的精密数据采集系统信号链。各个元件都不同程度地受电源噪声的影响。添加合适的解耦电容，可以提高图1所示的信号链各元件在更高频率下的PSRR性能。

ADI公司的信号链 μ Module[®]数据采集解决方案可以帮助解决一些电源设计难题，例如优化线路布局、添加解耦电容，以及在某些情况下，添加电源管理元件，例如LDO稳压器。ADAQ4003是一款 μ Module数据采集解决方案，所有电源都包含解耦电容，以降低其对抗动的敏感度。ADAQ7980/ADAQ7988 μ Module数据采集系统包括解耦电容和一个LDO稳压器。集成式LDO稳压器可以进一步简化设计——系统设计人员只需提供一个干净电源为 μ Module器件供电，如果需要，还可以旁路LDO稳压器。

当前测试分立元件PSRR的方法

分立元件PSRR测试是特性表征计划中的常见组成部分，它采用一套完善的标准和方法进行。分立元件PSRR测试通常在没有任何外部电源去耦电容的情况下进行，以揭示供电轨上的大量噪声对性能的直接影响。

通常，可以使用函数发生器和示波器，或者使用网络分析仪，通过向直流电源电压注入不同的频率，并测量DUT输出的扰动量来确定放大器的PSRR特性。

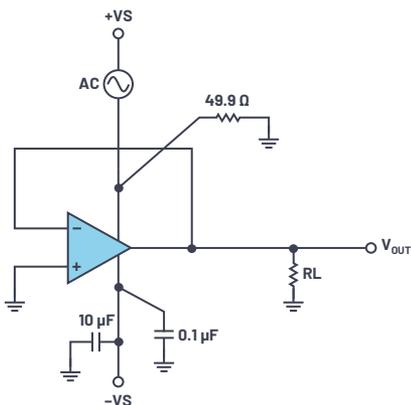


图2. 分立式PSRR测试电路示例。

对分立器件执行ac PSRR测试需要将交流信号注入直流电源电压，并测量相对于电源激励的输出干扰。例如，在100 kHz频率下，ADA4945的PSRR为115 dB。这意味着电源上1 V_{PEAK}、100 kHz的交流干扰表现为器件输出端约1.79 μ V_{PEAK}的电压信号。

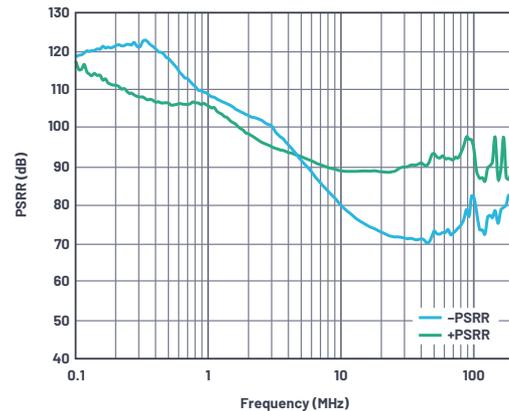


图3. ADA4945全差分ADC驱动器的PSRR与频率的关系。

测试ADC的PSRR性能与测试放大器类似，但它不是测试电压输出，而是数字码输出。对于ac PSRR，ADC的PSRR是该频率下ADC输出功率与该频率下施加于ADC V_{DD} 电源的200 mV p-p正弦波功率的比值。图4和图5分别显示SAR ADC的测试配置和得到的典型响应。

$$PSRR \text{ (dB)} = 10 \log \left(\frac{P_{V_{DD_IN}}}{P_{V_{ADC_OUT}}} \right) \quad (2)$$

对于dc PSRR测试，误差是由于电源电压偏离标称值而引起的满量程转换点的最大变化。

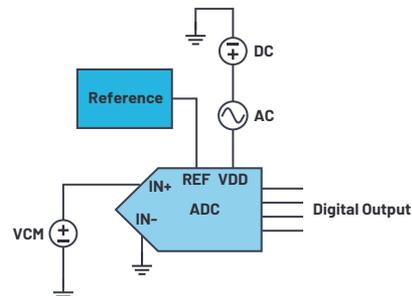


图4. 单端ADC ac PSRR测试电路。

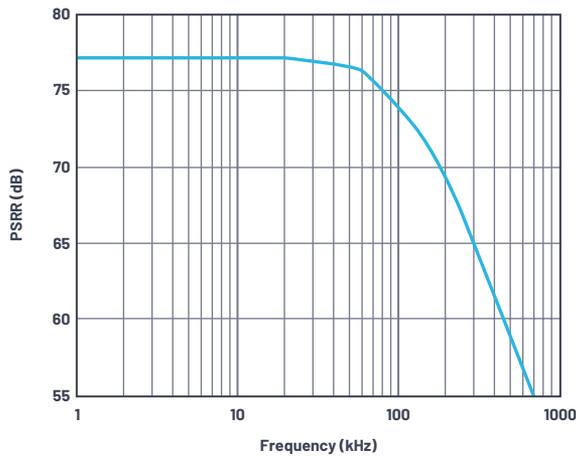


图5. ADC ac PSRR响应。

测试SiP以确定PSRR的挑战在于：它们包含多个高达30 μF 的内部旁路电容，且大部分信号发生器和网络分析仪需要竭力在更高频率下驱动如此大的电容负载。

如何确定信号链 μModule 解决方案的PSRR特性

确定信号链 μModule 解决方案的PSRR特性时，使用的测试方法基本上与测试放大器时使用的方法相同。在直流电源电压上叠加一个交流信号，然后测量电源激励和 μModule 输出之间的关系。但是，受内部电源解耦电容影响，在电源的输入频率增加时，也需要信号源提供更高的电流驱动能力。内部电容确实可以提高对ac PSRR的抗干扰能力，但该测试旨在考虑最糟糕的情况。

信号链 μModule 解决方案可用于各种应用，所以在最终应用中，必须和测试分立元件一样测试SiP的PSRR。虽然包含多个分立元件，但很难预测整个系统会如何响应交流电源激励。

从特性表征角度来看，要正确测试PSRR，首要考虑因素包括内部旁路电容和合适的评估板设计（本文的“评估板开发设计考量”一节会进一步介绍评估板设计）。任何内部旁路电容都会提高信号链 μModule 解决方案的ac PSRR，但这种电容也会影响执行测试的方式。

如前所述，信号发生器不具备驱动较大电容负载的能力。例如，如果信号链 μModule 解决方案的主电源上总共有3 μF 内部旁路电容，并且PSRR测试需要最高10 MHz频率和50 mV p-p振幅。根据这些条件，生成正弦波信号发生器需要能够驱动约4.71 A电流，并且具有足够带宽来处理10 MHz信号。这是基于解耦电容在10 MHz时的电阻得出。

$$I_C = \frac{V_{PEAK}}{\left(\frac{1}{2\pi f C}\right)} \geq \frac{25 \text{ mV}}{\left(\frac{1}{2\pi \times 10 \text{ MHz} \times 3 \mu\text{F}}\right)} \geq 4.7124 \text{ A} \quad (3)$$

要提供足够电流，可以使用高功率放大器（例如ADA4870）来提供额外的源电流能力。此设置假设使用的函数发生器可以提供偏置DUT所需的直流电压。如果不是这种情况，可以使用偏置器来隔离直流和交流信号路径，或者可以从给定的信号发生器获取可用的直流偏置，以满足其他所需的输出要求。

ADA4870评估板具备SMA输入和SMA输出，因此能够提供一种相对简单的方法来连接评估板和信号发生器。

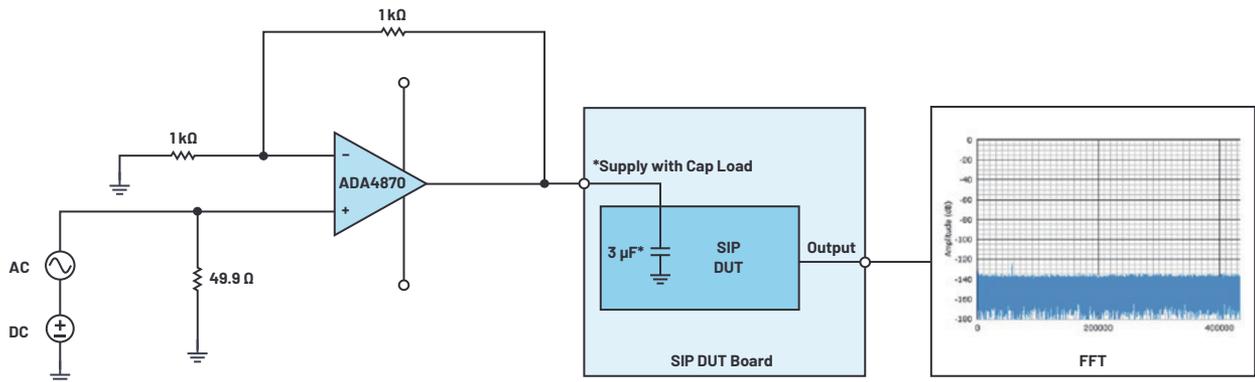


图6. 使用ADA4870的PSRR设置框图。

评估板开发设计考量

设计也可用于实施PSRR测试的评估板并不等于要大幅变更设计。牢记以下几点：

- ▶ 对于要实施PSRR测试的每个电源，需提供一个通过SMA驱动选项，以保持信号源信号的完整性。
- ▶ 注意减少从SMA输入到DUT上相关电源层这一路径中的任何寄生电感和电容。任何寄生电容或电感都可能在相关频率产生干扰谐振。

- ▶ 对于每个电源，确保其相关电源层是整体，也就是说，不会被无源元件和多个层分成多个部分。例如，一个电流检测电阻不应横跨两个电源层（如图7所示）。此外，尽量减少电源跨层的次数，避免通孔产生寄生电感，如图8中的高频模型所示。图7所示的电阻可用于电流检测，但在这种情况下，它们为 $0\ \Omega$ 。图9显示更好的PCB电源层布线，图10则显示高频等效模型。

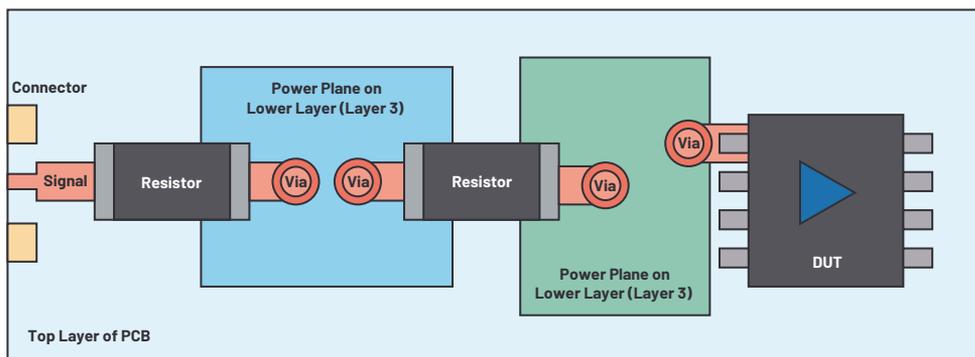


图7. 不良的电源层连接设计示例。

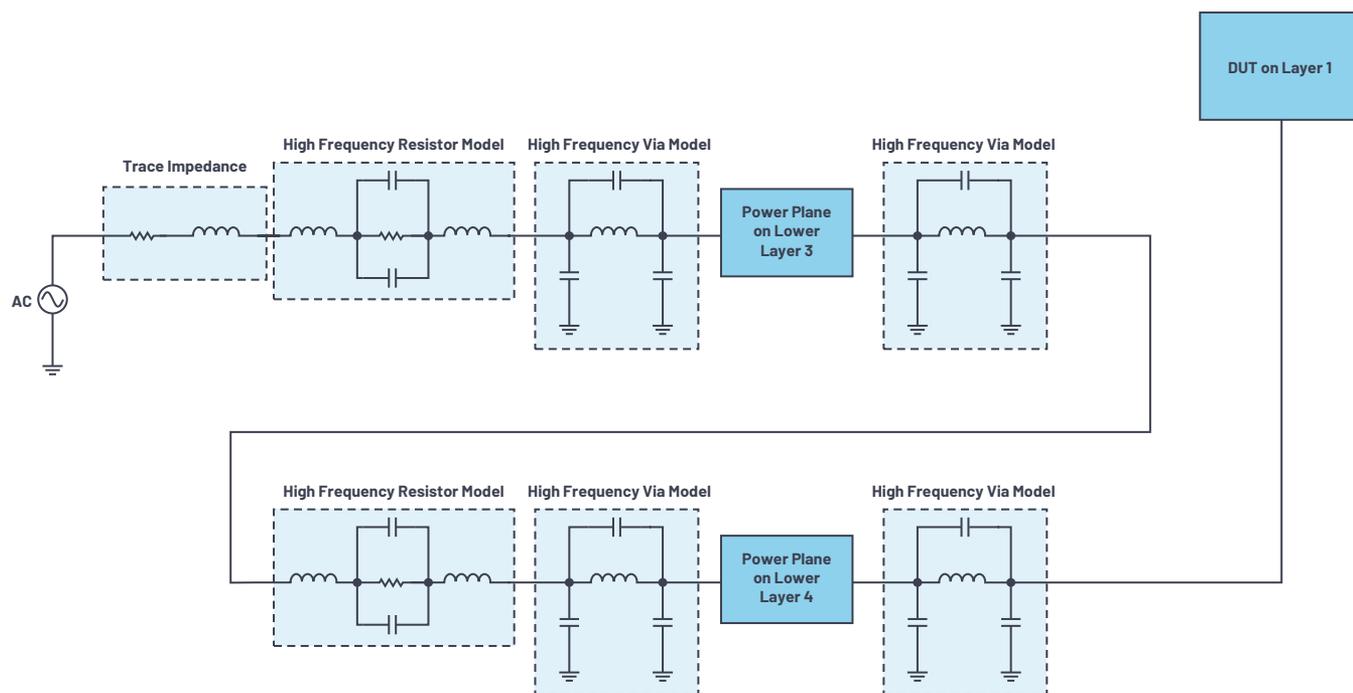


图8. 图7的高频等效原理图。

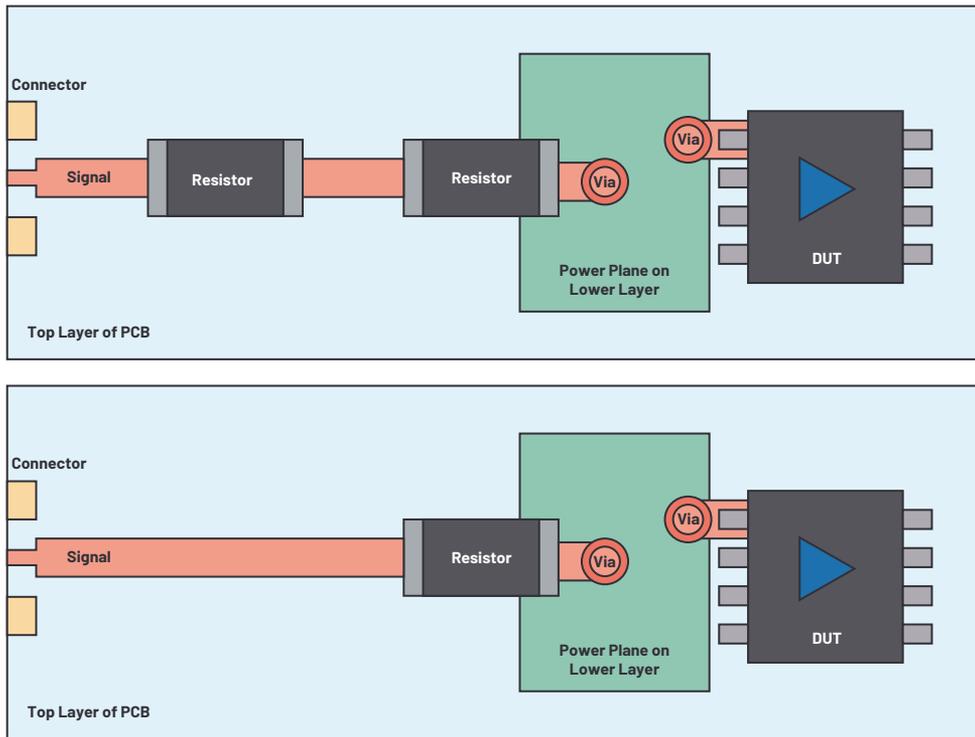


图9. 优化PCB电源层布线: 更优性能。

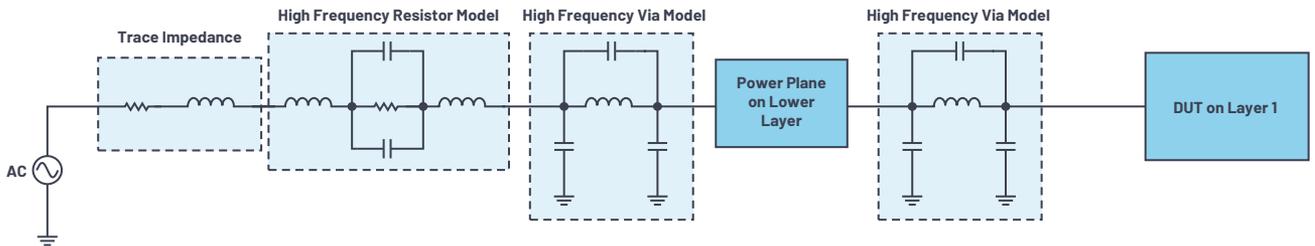


图10. 图9的高频等效原理图。

必须在没有DUT的情况下测试评估板, 以确保相关频率范围内没有任何干扰谐振。如果存在谐振, 应在数据处理期间加以解决。对于每个频率, 都要通过示波器验证电源信号是否符合预期, 不要相信信号发生器上的拨盘。

测试设置

如前所述, 受测信号链 μ Module解决方案的电源必须能够提供额定直流偏置, 以便在最大输入频率下为DUT供电, 为交流激励提供足够电流。要在图中所示的设置中实现这一目标, 需结合使用ADA4870评估板(同相增益为2)和AD3256函数发生器。

图11显示自定义的ADA4870功率放大器评估板和ADA4355评估板。

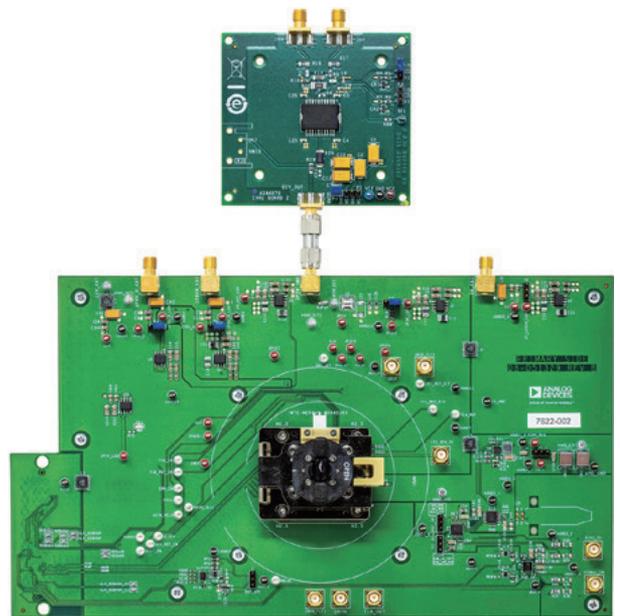


图11. 用于执行PSRR测试的ADA4355评估板和ADA4870评估板。

图12中所示的数据是通过捕捉每个输入频率下的数据并查看每个频率下FFT (dBFS)的功率而生成的。可以使用公式4求解该频率下的电压电平:

$$V_{OUT_PSRR} = 10^{\frac{P_{OUT_PSRR}}{20}} \times V_{FULLSCALE} \quad (4)$$

利用得出的 V_{OUT_PSRR} 来计算PSRR:

$$PSRR(F) = 20 \log_{10} \left(\frac{V_{OUT_PSRR}}{V_{SUPPLY_AC}} \right) \quad (5)$$

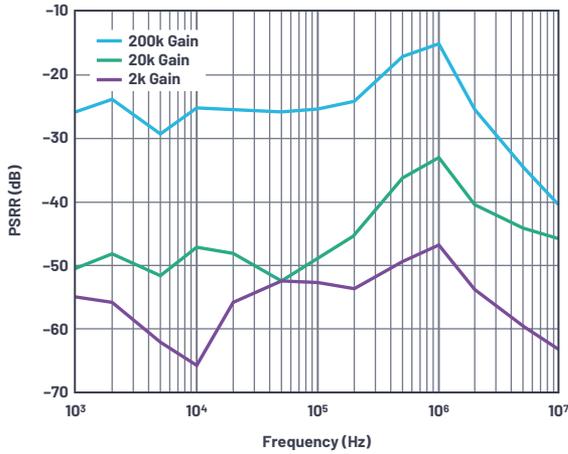


图12. ADA4355 PSRR测试结果。

结论

ADI公司的信号链μModule解决方案集成了信号调理、电源产生和无源内部元件。这些一体化系统级封装设计有助于客户在极小的PCB尺寸空间内快速实现符合市场需求的预期性能。虽然信号链μModule解决方案简单易用,但必须进行适当的测试。尽管可以采用PSRR标准测试方法,但由于标准设备本身的限制,通常需要额外的电流驱动能力。

参考文献

“运算放大器电源电压抑制比(PSRR)与电源电压。” (ADI公司, 2009年)

Rob Reeder. “高速ADC的电源设计”, ADI公司, 2012年2月。

Glenn Morita. “理解低压差稳压器(LDO)概念, 实现系统优化设计。” 模拟对话, 第48卷第12期, 2014年12月。

Alan Walsh. “在功率敏感型应用中利用高效率、超低功耗开关稳压器为精密SAR ADC供电。” ADI公司, 2016年3月。



作者简介

Naveed Naeem于2016年加入ADI公司担任产品测试开发工程师。加入ADI公司之前,他曾在一家汽车传感器公司担任了3年的电气工程师。他的工作领域包括传感器应用、模数转换器、音频应用和软件开发。他于2013年毕业于伍斯特理工学院,获得电子和计算机工程学士学位。联系方式: naveed.naeem@analog.com。



作者简介

Samantha Fontaine是ADI线性产品和解决方案(LPS)部的产品工程师。她获得伍斯特理工学院(WPI)电气和计算机工程学士学位后,于2012年6月加入ADI公司。她目前在攻读塔夫斯大学工程管理硕士学位。联系方式: samantha.fontaine@analog.com。

