

# 用于保护 ADS131M0x ADC 免受 电气过载影响的电路



Data Converters

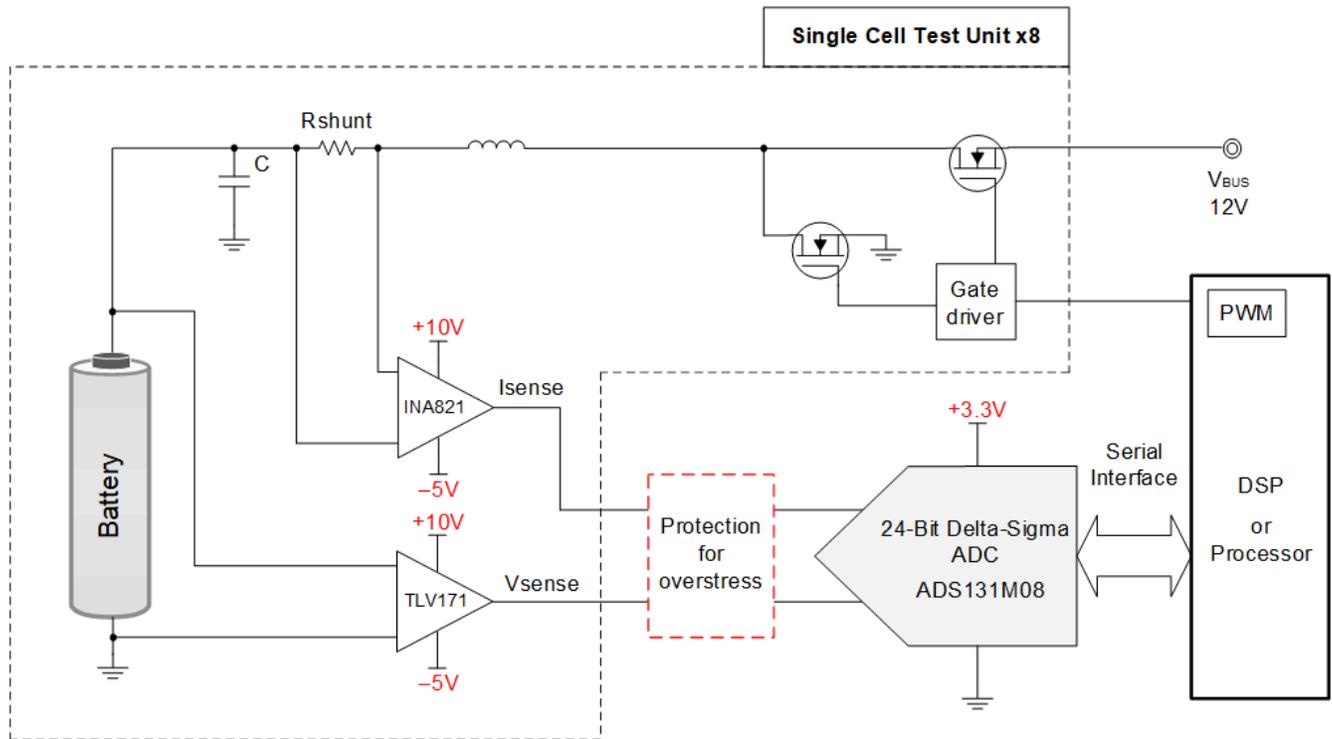
Dale Li

ADS131M0x 相关规格		最小 (AGND = 0V)	最大 (AVDD = 3.3V)
绝对最大额定值	模拟输入电压 ( $V_{IN\_Abs}$ )	-1.6V	+3.6V
	模拟输入电流 ( $I_{IN\_Abs}$ )	-10mA	+10mA
模拟输入范围 (增益=1 且 $V_{REF}=1.2V$ 时的 $V_{IN}$ )	差分输入	-1.2V	+1.2V
	单端输入	-1.2V	+1.2V

## 设计说明

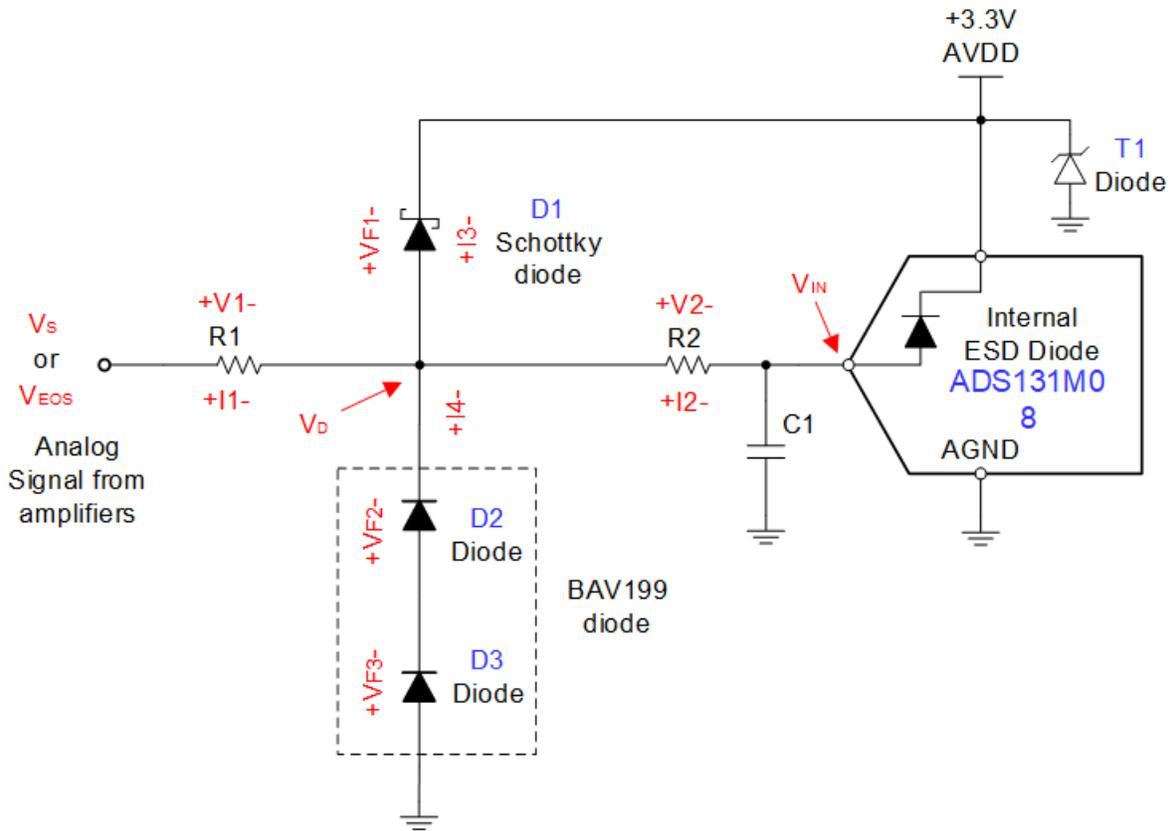
此电路显示了一种用于保护 [ADS131M02](#)、[ADS131M03](#)、[ADS131M04](#)、[ADS131M06](#) 和 [ADS131M08](#)  $\Delta$ - $\Sigma$  ADC 免受电气过载 (EOS) 影响的外部解决方案。该保护由外部肖特基二极管和开关二极管实现。本文档说明了肖特基二极管和开关二极管如何与限流电阻器一起使用，以实现过载信号的外部保护钳位，并将对性能的影响降至最低，尤其是信噪比 (SNR) 和总谐波失真 (THD)。该电路在以下终端设备中很有用：[电池测试](#)、[半导体测试](#)、[电表](#)、[电能质量分析仪](#) 和 [电源品质测定器](#)。有关保护高压 SAR ADC 免受电气过载影响的信息，请参阅 [采用 TVS 二极管的高电压 ADC 电路输入保护](#) 和 [通过 TVS 二极管和 PTC 保险丝保护 ADC 的电路](#)。有关保护低压 SAR ADC 免受电气过载影响的信息，请参阅 [用于保护低压 SAR ADC 免受电气过载的影响且对性能影响最低的电路](#)。

下图来自 [电池测试](#) 应用中的 [成本优化型电池测试系统参考设计的数字控制参考设计](#)。在电气过载事件期间，该电路可能会对 ADS131M08 ADC 的输入施加破坏性电压和电流：放大器 (INA821 和 TLV171) 产生的电压可以达到电源电压 (+10V 或 -5V)，放大器产生的过载电流可以达到各放大器的短路电流。



## 设计注意事项

1. 选择 BAT54 肖特基二极管 (D1) 来保护 ADS131M08 免受正向电气过载信号的影响，因为它比传统瞬态电压抑制器 (TVS) 二极管具有更低正向电压、更低的泄漏电流和更低的电容，可以最大限度地减少由这些因素引起的附加误差。
2. 在本设计中，为 D2 和 D3 选用了在 1mA 正向电流下具有典型的 0.9V 正向电压的 BAV199 双串联开关二极管，以保护 ADC 免受负过载信号的影响。BAT54 肖特基二极管在 1mA 正向电流下具有典型的 0.3V 正向电压，因此可以采用四个单肖特基二极管 (BAT54) 作为替代解决方案来对抗负过载信号。
3. 串联电阻 (R1 和 R2) 用于限制故障电流，以保护二极管和 ADC。另外，通过选择合适的电阻，有助于钳制二极管上的输入过载信号。
4. 前端 RC 滤波器中的 C1 选用 C0G 型电容器，以最小化失真，因为 C0G 电容器的电容更稳定，并且 C0G 电容器的电压、频率和温度系数比 X7R、X5R 和 Z5U 等其他类型电容器小。
5. 建议将 TVS 或齐纳二极管 (T1) 用于电源钳位，因为电源可能无法吸收通过保护二极管 (D1) 和 ADC 上的内部 ESD 二极管馈送的故障电流。
6. 有关数据转换器上过载的理论解释，请观看 TI 精密实验室 - ADC 视频系列中的 [数据转换器上的电气过载视频](#)。本系列详细讨论了不同类型 ADC 的保护解决方案，包括二极管选择和限流电阻器选择。



$V_s$ : normal operation signal.

$V_{Eos}$ : electrical overstress signal.

## 元件选择

- 下表列出了 INA821 和 TLV171 放大器的输出电压和电流范围。这些是可以施加到 ADS131M08 输入的最大过载电压和电流。这些输入参数应限制在第 2 步中的绝对最大额定值范围内，以保护 ADS131M08 免受损坏。

INA821 输出范围		TLV171 输出范围	
输出电压 ( $V_O$ )	$-5V \leq V_O \leq +10V$	输出电压 ( $V_O$ )	$-5V \leq V_O \leq +10V$
短路电流 ( $I_{SC}$ )	$-20mA \leq I_{SC} \leq +20mA$	短路电流 ( $I_{SC}$ )	$-35mA \leq I_{SC} \leq +25mA$

由于 TLV171 的规格是最坏的情况，因此 TLV171 放大器的所有规格都用于设计一个保护电路，该保护电路可以工作于 ADS131M08 上的电压 ( $V_{sense}$ ) 和电流 ( $I_{sense}$ ) 测量通道。

ADS131M08 的电气过载电压可以高达 TLV171 的电源，因此  $V_{EOS\_MAX} = +10V$ ，并且  $V_{EOS\_MIN} = -5V$ 。ADS131M08 的电气过载电流可以与 TLV171 的短路电流一样高，因此  $I_{1\_MAX} = I_{SC\_MAX} = +25mA$ ，并且  $I_{1\_MIN} = I_{SC\_MIN} = -35mA$ 。

- 在打开内部 ESD 二极管之前，将 ADS131M08 的输入电压范围设置为绝对最大电压 ( $V_{IN\_Abs}$ )。ADS131M08 的输入电流范围设置为内部 ESD 二极管可连续支持的绝对最大电流 ( $I_{IN\_Abs}$ )。

下表来自 [ADS131M08 8 通道、同时采样、24 位  \$\Delta-\Sigma\$  ADC 数据表](#) 中的绝对最大额定值表，显示了当 AVDD 为 3.3V 时，ADS131M08 上的绝对最大输入电压为 3.6V，因此，任何高于 3.3V 的正向电气过应力信号都应受到钳制，以保护 ADS131M08 输入。在该解决方案中，选择 BAT54 肖特基二极管作为 D1，以保护 ADC 免受正向电气过载信号的影响，因为它具有较小的正向压降以及合理的低泄漏和电容。

ADS131M08		最小 (AGND = 0V)	最大 (AVDD = 3.3V)
绝对最大额定值	模拟输入电压 ( $V_{IN\_Abs}$ )	-1.6V	+3.6V
	模拟输入电流 ( $I_{IN\_Abs}$ )	-10mA	+10mA

- 选择限流电阻器 R1 作为  $R_{1\_P}$  和  $R_{1\_N}$  之间较大的电阻值，其中， $R_{1\_P}$  由以下正电压过应力公式计算得出， $R_{1\_N}$  由以下负电压过应力公式计算得出。

- 正过应力电压：

对于大于 +3.3V 的正过载电压，肖特基二极管 D1 在正向状态下工作。电路中来自 TLV171 的最大输入电流为 +25mA。根据 Diodes Incorporated 提供的 BAT54 数据表，在 25°C 的 25mA 正向电流下，D1 的正向电压约为 0.4V。因此， $V_{F1} = 0.4V$  且  $I_{1\_POS} = I_{SC\_MAX} = 25mA$ 。

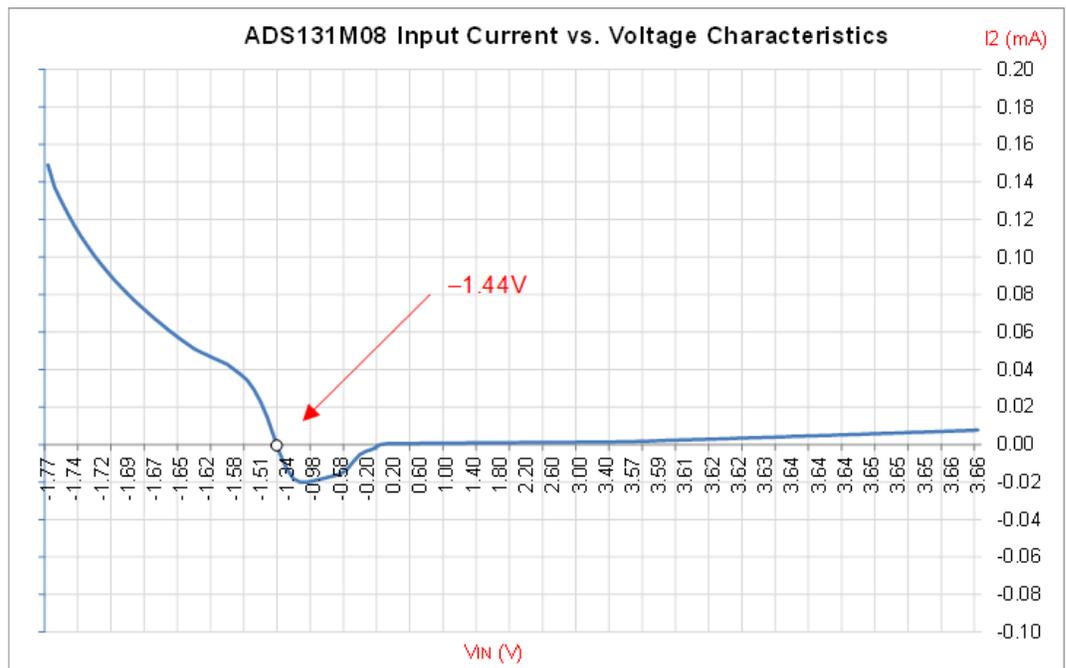
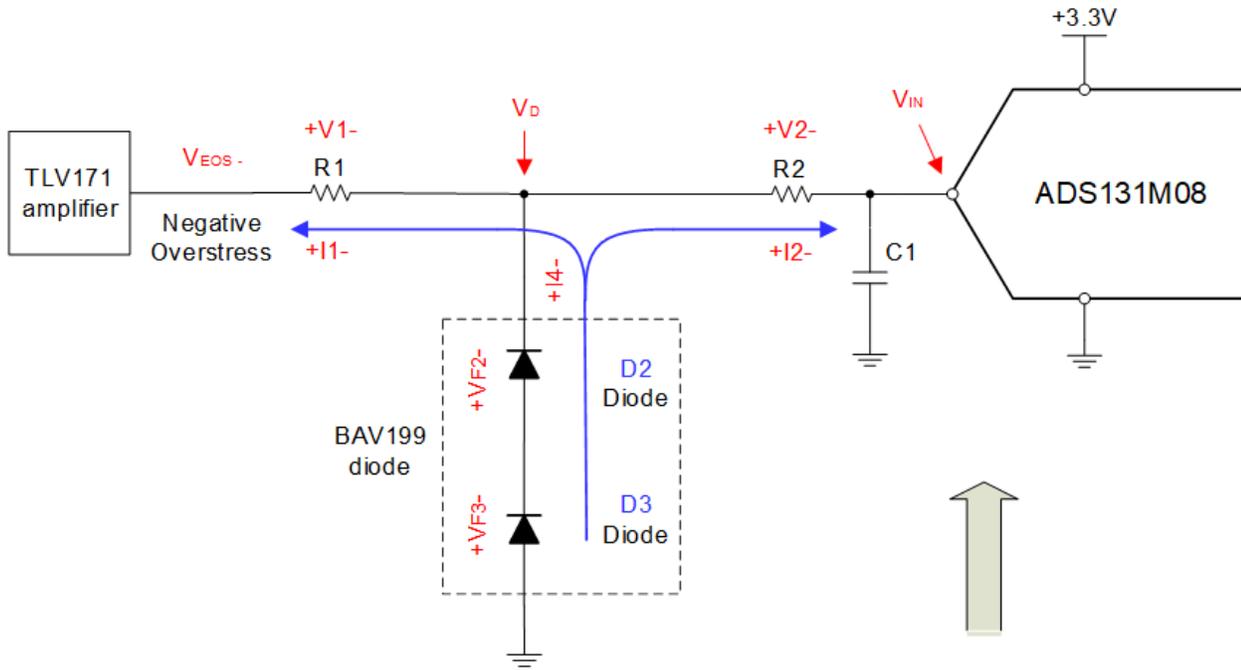
在 +10V ( $R_{1\_P}$ ) 的正过载下，R1 所需的电阻可计算为：

$$R_{1\_P} = \frac{V_{EOS\_MAX} - V_{F1} - AVDD}{I_{1\_POS}} = \frac{10V - 0.4V - 3.3V}{25mA} = 252\Omega$$

- 负过载电压：

ADS131M08 具有集成负电荷泵，允许使用单极电源在低于接地值的输入电压 (AGND) 下工作。当向 ADS131M08 输入端施加低于 -1.44V 的负过载电压时，内部开关打开，电流 ( $I_2$ ) 流入 ADC 输入端，如 ADS131M08 上的 [输入电流和电压特性曲线](#) 中所示。电路中的蓝色线表示施加到 ADS131M08 输入端且低于 -1.44V 负过载电压的电流方向。

ADS131M08 ( $V_{IN\_MIN}$ ) 的最小输入电压额定值为 -1.6V，这是避免损坏设备的最小安全电压。因此，要在 ADC 输入引脚 ( $V_{IN}$ ) 上实现 -1.6V 的最小电压信号，节点电压  $V_D$  应等于或大于 -1.6V。两个 BAV199 二极管用于钳制  $V_D$  上的负过载信号，两个二极管均正向导通。因此，每个 BAV199 二极管上的正向电压预计等于或小于 0.8V。当出现负过载信号时，保护电路中的 D1 肖特基二极管在反向状态下工作。由于 D1 肖特基二极管 (BAT54) 上的泄漏电流仅为 2 $\mu A$ ，因此在以下电路中忽略 D1 二极管。



可在 Diodes Incorporated 提供的 [BAV199 数据表](#) 中的典型正向特性曲线中找到正向电流。要将 BAV199 上每个二极管的正向电压限制为 0.8V ( $V_{F2} = V_{F3} = 0.8V$ )，需要将正向电流 ( $I_4$ ) 限制为 4mA。

由于  $V_D$  等于  $V_{IN\_MIN}$  (-1.6V)，4mA 电流流入 TLV171 放大器，-5V 负过应力电压 ( $I_{1\_NEG}$ ) 下的电流  $I_1$  等于 -4mA。因此，在-5V 的负过载电压 ( $R_{1\_N}$ ) 下所需的 R1 电阻可计算为：

$$R_{1\_N} = \frac{V_{EOS\_MIN} - (-V_{F2} - V_{F3})}{I_{1\_NEG}} = \frac{-5V - (-0.8V - 0.8V)}{-4mA} = 850\Omega$$

前面公式中的两个电阻值中较大者为 850Ω。大电阻有助于限制电气过载电流和钳制电气过载电压。因此，R1 选择为 1kΩ 来考虑额外的设计余量。

- 电阻器额定功率：

在以下公式中，计算了 R1 在正电过应力事件期间的故障电流和功耗，正电过应力事件是 R1 的最坏情况应力。

$$P_{R1} = \frac{(V_{EOS\_MAX} - V_{F1} - AVDD)^2}{R_1} = \frac{(10V - 0.4V - 3.3V)^2}{1k\Omega} = 39.69mW$$

目标是确保为 R1 选择正确的额定功率。根据前面的公式计算出 R1 的最小额定功率为 39.69mW。可选择额定功率为 0.1W 的电阻来考虑额外的设计裕度。

- 电阻 R2 与电容器 C1 一起充当低通滤波器，并在故障条件下限制流向 ADC 输入端的电流。选择 R2 的值为 R<sub>2\_P</sub> 与 R<sub>2\_N</sub> 之间较大的电阻值，其中，R<sub>2\_P</sub> 由正电压过应力公式计算得出，R<sub>2\_N</sub> 由以下负电压过应力公式计算得出。

- 正过应力电压：

ADS131M08 的绝对最大输入电流额定值 (I<sub>IN\_Abs</sub>) 为 ±10mA。流向 ADC 输入端的输入电流越小，电路的性能就越可靠。±1mA 用作 ADC 的目标最大输入电流，以计算比绝对最大额定值小一个数量级的裕度。因此，I<sub>2\_POS</sub> = ±1mA。根据 Diodes Incorporated 提供的 BAT54 数据表，在 25°C 的 25mA 正向电流下，D1 的正向电压约为 0.4V。因此，V<sub>F1</sub> = 0.4V。V<sub>IN\_MAX</sub> = 3.6V，这是 ADS131M08 的最大绝对输入电压额定值。

在 +10V (R<sub>2\_P</sub>) 的正过载电压下，R2 所需的电阻可计算为：

$$R_{2\_P} = \frac{(V_{F1} + AVDD) - V_{IN\_MAX}}{I_{2\_POS}} = \frac{(0.4V + 3.3V) - 3.6V}{1mA} = 100\Omega$$

- 负过载电压：

由于节点电压 V<sub>D</sub> 设计为等于 V<sub>IN\_MIN</sub>，这是负过载电压下 ADS131M08 的最小输入电压额定值 (-1.6V)，因此流入 ADC 输入端的电流非常小。因此，在 -5V 的负过载电压 (R<sub>2\_N</sub>) 下 R2 所需的电阻并不重要。

R<sub>2\_P</sub> 值用于选择 R2，因为在负过载条件下，流入 ADC 的电流应最小，并且二极管 (D2 和 D3) 限制输入电压以避免过载区域。因此，R2 选择为 100Ω。

- 电阻器额定功率：

在以下公式中，计算了 R1 在正电过载事件期间的故障电流和功耗，正电过应力事件是 R1 的最坏情况应力。目标是确保为 R2 选择正确的额定功率。V<sub>F1</sub> = 0.4V，这是 BAT54 (D1) 在 25°C 的 25mA 正向电流下的正向电压。V<sub>IN\_MAX</sub> = 3.6V，这是 ADS131M08 的最大绝对输入额定电压。

$$P_{R2} = \frac{(V_{F1} + AVDD - V_{IN\_MAX})^2}{R_2} = \frac{(0.4V + 3.3V - 3.6V)^2}{100\Omega} = 0.1mW$$

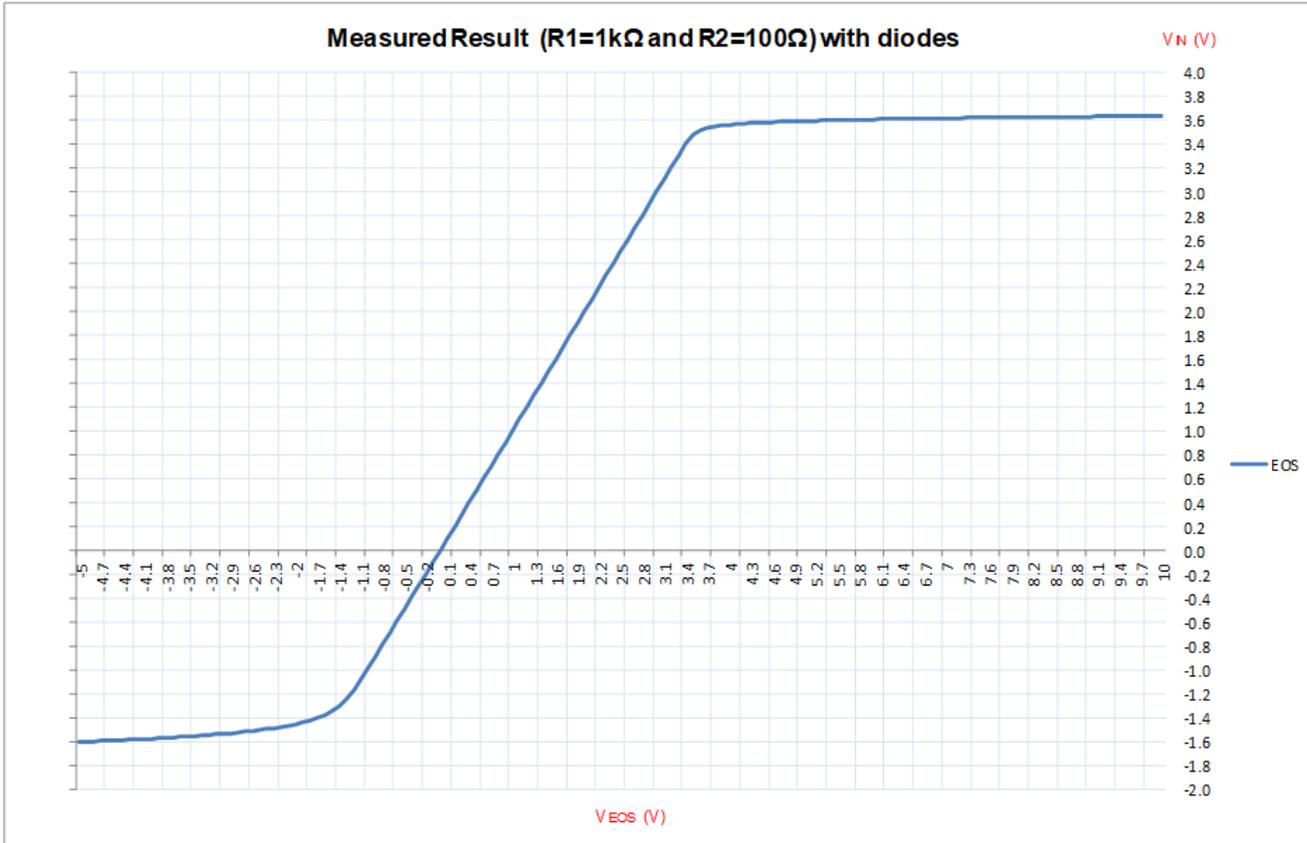
根据前面的公式，R1 的最小额定功率计算为 0.1mW。可选择额定功率为 0.1W 的电阻来考虑额外的设计裕度。如步骤 5 所示，可以调整 R2 的电阻，以设置滤波器的截止频率。

- 电容器 C1 与 R2 并联用于滤除前端电路的噪声。基于输入电阻器和电容器的截止频率公式如下所示。精确值可能不是非常关键，因此我们在以下公式中使用 10nF 的标准值。

$$f_c = \frac{1}{2 \times \pi \times (R_1 + R_2) \times C_1} = \frac{1}{2 \times \pi \times (1k\Omega + 100\Omega) \times 10nF} = 14.4kHz$$

## ADC 输入过压条件

下图显示了在 -5V 至 +10V 之间施加连续过载信号 (VEOS) 时，使用万用表在 ADC 输入端测量的电压 ( $V_{IN}$ )。请注意，对于正过压信号，外部 BAT54 肖特基二极管 (D1) 接通，对于负过压信号，外部 BAV199 双串联开关二极管 (D2 和 D3) 接通。过载信号被钳制为约 +3.6V 和 -1.6V，相当于 ADS131M08 上的绝对最大输入电压额定值 ( $V_{IN\_Abs}$ )，因此成功地保护 ADC 不受外部过压事件的影响。



## 在硬件上检查 AC ( SNR 和 THD ) 性能

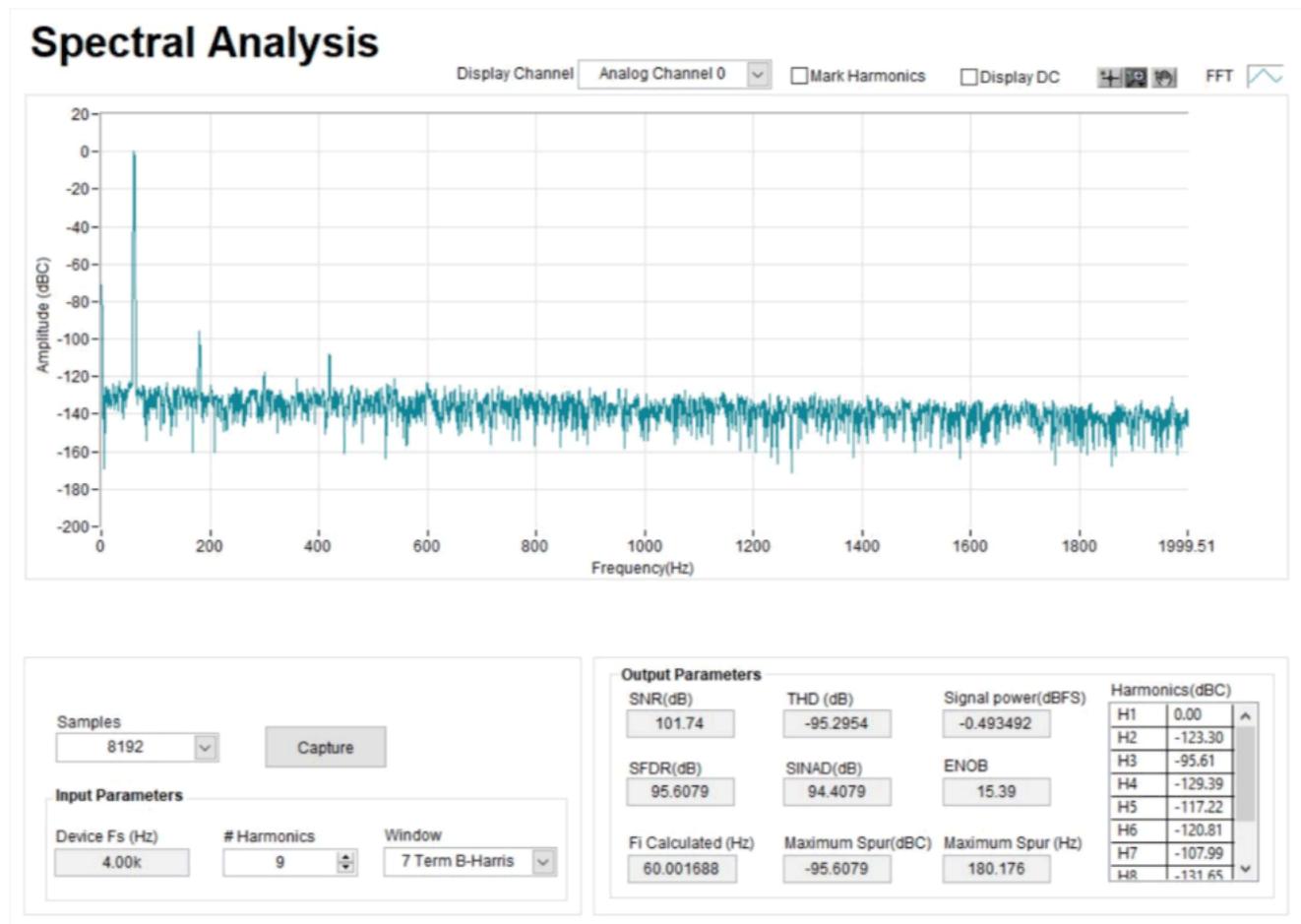
下表显示了使用带有肖特基二极管 (BAT54) 和双串联开关二极管 (BAV199) 的 ADS131M08EVM 硬件以及  $\Delta-\Sigma$  ADC 评估软件测量的性能。

ADS131M08	数据表中的规格	测试 1	测试 2
SNR	101dB	101.7dB	101.9dB
THD	-100dB	-95.3dB	-95.2dB

测试条件：

1. 测试 1：带 BAT54 (D1) 和 BAV199 (D2 和 D3) 时，R1 = 1k $\Omega$ ，R2 = 100 $\Omega$ 。
2. 测试 2：不带 BAT54 (D1) 和 BAV199 (D2 和 D3) 时，R1 = 1k $\Omega$ ，R2 = 100 $\Omega$ 。
3. 保护：在 ADS131M08 的 AINxP 和 AINxN 输入端上设计了相同的保护电路，并在 AINxP 和 AINxN 输入端之间施加差分电容器。
4. 测试信号：频率为 60Hz 的差分正弦波以及振幅为 -0.5dBFS，数据速率为 4kSPS，增益为 1，OSR 为 1024 的内部基准电压。

使用包括 BAT54 和 BAV199 二极管在内的所有保护电路测量的 SNR 性能均符合 [ADS131M08 8 通道、同时采样、24 位  \$\Delta-\Sigma\$  ADC 数据表](#) 中列出的典型规格。测量的 THD 性能比 ADS131M08 数据表中的典型 THD 规格差。附加测试 (测试 2) 表明，测试 1 中稍差的 THD 性能不是由保护二极管引起的，而是由这两个系列 (R1 和 R2) 的大电阻与 ADC 输入结构参数 (随 ADC 输入上施加的电压而变化) 共同造成的。下图显示了测试 1 中测得的频谱分析。



## 在硬件上检查精度

下表显示了所有保护电路 ( 包括 BAT54、BAV199 二极管、1k $\Omega$  和 100 $\Omega$  串联电阻器 ) 的测量增益误差。输入是用于测量的差分信号。在没有校准的室温下, 存在增益误差。一旦对 ADS131M08 的测量结果进行校准 ( 两点校准 ), 增益误差最小化至接近零。

室温 (25°C) 下的测量结果					
$V_S$ (V)	测量的 $V_S$ (V)	代码	未经校准的 $V_S$ (V)	未经校准的电压误差 (%)	经过校准的电压误差 (%)
1.14	1.139898	7913462	1.132030	0.690	0.000
1.0	0.999916	6941921	0.993050	0.687	0.002
0.8	0.799941	5553901	0.794492	0.681	0.003
0.5	0.499973	3471737	0.496636	0.667	0.004
0.05	0.050034	348389	0.049837	0.393	0.000
0	0.000043	1068	0.000153	—	—
-0.05	-0.049958	-345711	-0.049454	1.008	0.000
-0.5	-0.499903	-3469100	-0.496259	0.729	0.003
-0.8	-0.799879	-5551380	-0.794131	0.719	0.004
-1.0	-0.999867	-6939513	-0.992705	0.716	0.003
-1.14	-1.139845	-7910985	-1.131675	0.717	0.000

## 设计参考资料

有关 TI 综合电路库的信息，请参阅《[模拟工程师电路设计指导手册](#)》。

## 设计特色器件

器件	关键特性	链接	其他可能的器件
ADS131M08	24 位 32kSPS 8 通道同步采样 $\Delta$ - $\Sigma$ ADC	<a href="https://www.ti.com.cn/product/cn/ADS131M08">https://www.ti.com.cn/product/cn/ADS131M08</a>	<a href="https://www.ti.com/adcs">https://www.ti.com/adcs</a>
ADS131M06	24 位 32kSPS 6 通道同步采样 $\Delta$ - $\Sigma$ ADC	<a href="https://www.ti.com.cn/product/cn/ADS131M06">https://www.ti.com.cn/product/cn/ADS131M06</a>	<a href="https://www.ti.com/adcs">https://www.ti.com/adcs</a>
ADS131M04	24 位 32kSPS 4 通道同步采样 $\Delta$ - $\Sigma$ ADC	<a href="https://www.ti.com.cn/product/cn/ADS131M04">https://www.ti.com.cn/product/cn/ADS131M04</a>	<a href="https://www.ti.com/adcs">https://www.ti.com/adcs</a>
ADS131M03	24 位 32kSPS 3 通道同步采样 $\Delta$ - $\Sigma$ ADC	<a href="https://www.ti.com.cn/product/cn/ADS131M03">https://www.ti.com.cn/product/cn/ADS131M03</a>	<a href="https://www.ti.com/adcs">https://www.ti.com/adcs</a>
ADS131M02	24 位 32kSPS 2 通道同步采样 $\Delta$ - $\Sigma$ ADC	<a href="https://www.ti.com.cn/product/cn/ADS131M02">https://www.ti.com.cn/product/cn/ADS131M02</a>	<a href="https://www.ti.com/adcs">https://www.ti.com/adcs</a>
ADS131B04-Q1	汽车类 24 位 32kSPS 4 通道同步采样 $\Delta$ - $\Sigma$ ADC	<a href="https://www.ti.com.cn/product/cn/ADS131B04-Q1">https://www.ti.com.cn/product/cn/ADS131B04-Q1</a>	<a href="https://www.ti.com/adcs">https://www.ti.com/adcs</a>
INA821	高带宽 (4.7MHz)、低噪声 (7nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ )、精密 (35 $\mu\text{V}$ )、低功耗仪表放大器	<a href="https://www.ti.com.cn/product/cn/INA821">https://www.ti.com.cn/product/cn/INA821</a>	<a href="https://www.ti.com/inas">https://www.ti.com/inas</a>
TLV171	36V 低功耗 RRO 通用运算放大器	<a href="https://www.ti.com.cn/product/cn/TLV171">https://www.ti.com.cn/product/cn/TLV171</a>	<a href="https://www.ti.com/opamps">https://www.ti.com/opamps</a>

## 重要声明和免责声明

TI 提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保或其他要求。这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 TI 的销售条款 (<https://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com.cn](https://www.ti.com.cn) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122  
Copyright © 2021 德州仪器半导体技术（上海）有限公司