

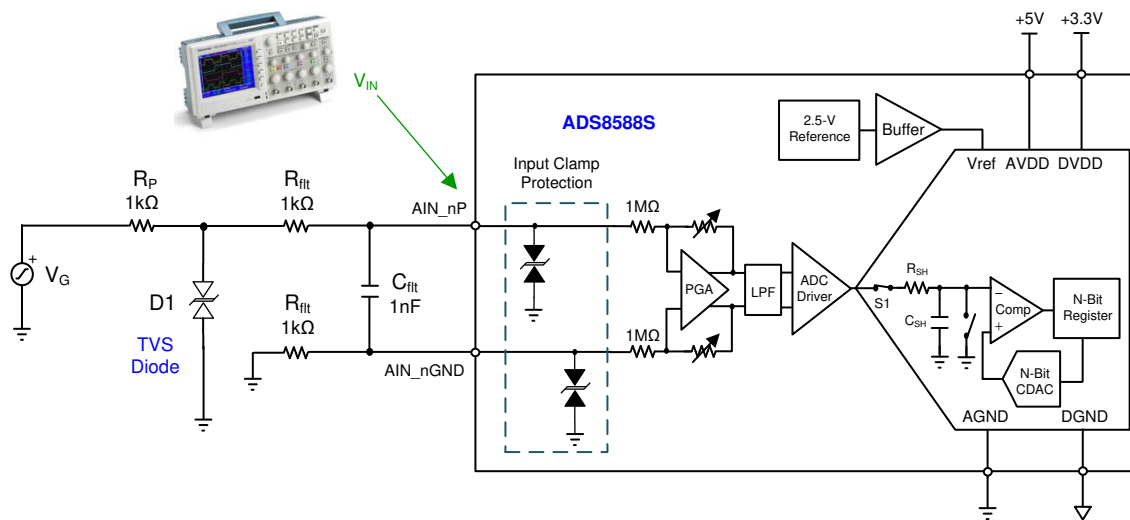
Dale Li

输入	ADC 输入	数字输出 ADS8588S
VinMax = +10 V	CH_nP = +10V	7FFFF _H
V _{IN} = 0V	CH_nP = 0V	0000 _H
VinMin = -10 V	CH_nP = - 10V	8000 _H

电源和输入				
AVDD	DVDD	正常输入 V _{IN}	绝对最大输入电压额定值 (V _{in_Abs})	绝对最大输入电流额定值 (I _{in_Abs})
+5V	+3.3V	±10V	±15V	±10mA

设计说明

此电路所示的解决方案，可保护具有集成模拟前端 (AFE) 的高压 SAR ADC 免受电过应力的影响。这种保护通过一个外部瞬态电压抑制器 (TVS) 二极管、限流电阻器和 RC 滤波器实现。本文档展示了外部保护钳位对系统性能的影响，并介绍了如何提升性能。该电路在以下终端设备中很有用：[多功能继电器](#)、[交流模拟输入模块](#)以及[列车控制和管理系统](#)。有关保护低压 SAR ADC 免受电过应力影响的信息，请参阅[用于保护低压 SAR ADC 免受电过应力的影响且对性能影响超低的电路](#)。



规格

规格	目标值	测得值
最大持续故障电压	±40 V	施加 40V 峰值正弦波无损坏
SNR (ADS8588S)	91.0dB (±10V 范围)	92.0dB
THD (ADS8588S)	-114dB	-81.8dB

设计说明

- TVS 二极管通常用于对具有集成 AFE 的高压 SAR ADC 进行电过应力保护，因为这种 ADC 仅需要一个 +5V 模拟电源，但支持高压模拟输入。例如，ADS8588S 器件在使用 5V 模拟电源时支持 ±10V。TVS 二极管导通，并将输入电压钳制为其击穿电压。
- R_P 用于限制流入 TVS 二极管和 ADC 的电流，该电阻器有助于将输入故障信号与 TVS 二极管一同钳制。外部保护电路中的元件选择取决于特定 ADC 的绝对最大输入电压和电流额定值，以及故障信号。有关详细信息，请参阅 [元件选择](#) 部分。
- 为 C_{filt} 选择 COG 类型的电容器，最大限度减少失真。
- 有关数据转换器上过应力的理论解释，请观看 [TI 高精度实验室](#) 视频系列中的 [数据转换器上的电过应力](#) 视频。此视频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。

元件选型

- 根据以下指导原则选择一个双向 TVS 二极管：
 - $V_R \geq V_{IN}$ (V_R 是 TVS 二极管的关断电压)， V_{IN} 是 ADC 的正常输入电压，在 ADS8588S 器件上为 ±10V)
 - $V_{BR} \leq V_{in_Abs}$ (V_{BR} 是 TVS 二极管的关断电压， V_{in_Abs} 是 ADC 的绝对输入电压，在 ADS8588S 器件上为 ±15V)
- 此外，根据以下限制选择一个双向 TVS 二极管：
 - 低漏电流，因为漏电流在流经串联电阻时可转化为失调电压误差。
 - 低电容，因为电容具有强电压系数，会使输入信号失真。
 - TVS 二极管会在故障条件下消耗最大功率。TVS 二极管的稳态功耗应高于故障信号的最大功率。

根据这些指导原则，本设计使用了台湾积体电路制造股份有限公司 (TSMC®) 的 PGSM AJ10CA 双向 TVS 二极管，以保护 ADS8588S 器件，这是一款广泛使用的 TVS 二极管。本文档稍后提供了三种不同 TVS 二极管的规格，用于比较所有相关参数。

- 可使用以下公式找出 R_P 的最小值，在故障情况下将其功率耗散限制在指定水平。该公式使用最大故障电压 (V_{EOS_Max})、最小击穿电压 (V_{BR_Min}) 和最大功率耗散 (P_{RP_Max})。在该设计中，电过应力信号上限选为 ±40V，因为这是工业系统的常见要求。PGSM AJ10CA 二极管的最低击穿电压为 11.1V，最大电阻器功率设置为 1W。在此示例中， R_P 的最小值为 835 Ω ， R_P 取整为 1k Ω 。必须注意的是，电阻器额定功率必须具有一定的裕度，才能在温度范围内安全运行。通常的指导原则是将额定功率加倍 (在本示例中为 2W)。

$$R_P \geq \frac{(V_{EOS_Max} - V_{BR_Min})^2}{P_{RP_Max}} = \frac{(40V - 11.1V)^2}{1W} = 835 \Omega \text{ (round up to 1k}\Omega\text{)}$$

以下公式显示了电过应力故障事件期间 R_P 中的最大电流：

$$I_{Max} = \frac{V_{EOS_Max} - V_{BR_Min}}{R_P} = \frac{40V - 11.1V}{1k\Omega} = 28.9mA$$

在 PGSM AJ10CA TVS 二极管上使用最大电流 (I_{Max}) 和最大钳位电压 (V_{C_Max})，计算电过应力故障事件期间二极管上消耗的最大功率。此公式的目标是确保使用 TVS 二极管的正确额定功率。对于 PGSM AJ10CA 二极管，稳态额定功率为 1W。因此本设计中有余量，因为预计不会出现超过 491mW 的连续功率。

$$P_{TVS\max} = I_{Max} \cdot V_{C_Max} = (28.9mA)(17V) = 491mW$$

4. 电阻器 R_{flt} 与电容器 C_{flt} 一起充当滤波器，并在故障条件下限制流向 ADC 输入端的电流。ADS8588S 器件的绝对最大输入电压 (V_{in_Abs}) 为 $\pm 15V$ ，最大输入电流 (I_{in_Abs}) 为 $\pm 10mA$ 。当 23.5A 的峰值电流 (I_{pp}) 短暂流经 PGSM AJ10CA TVS 二极管时，它的最大钳位电压 (V_{C_Max}) 为 17V。因此， R_{flt} 的最小值可以由以下公式确定：

$$R_{flt} \geq \frac{V_{C_Max} - V_{in_AbsMax}}{I_{in_AbsMax}} = \frac{17V - 15V}{10mA} = 200\Omega \text{ (round up to } 1k\Omega)$$

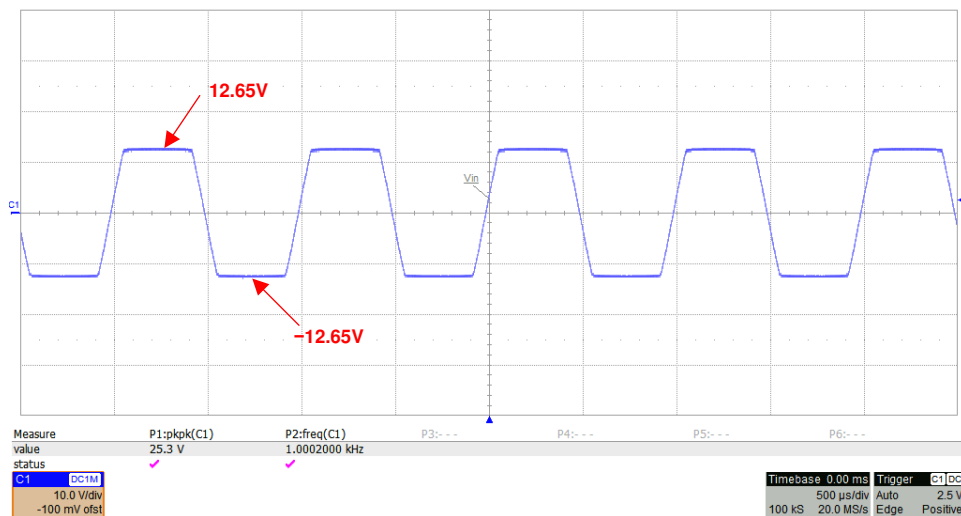
该公式计算出的 R_{flt} 为 200Ω 。在此设计中， 200Ω 取整为 $1k\Omega$ ，显著增加设计裕度。可以调整 R_{flt} ，以设置滤波器的截止频率，如第 5 步所示。

5. 与 R_{flt} 并联的电容器 C_{flt} 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。确切值并不重要，因此在此设计中使用 $1nF$ 的标准值。

$$f_c = \frac{1}{2\pi(R_P + 2R_{flt})C_{flt}} = \frac{1}{2\pi(3k\Omega)(1nF)} = 53kHz$$

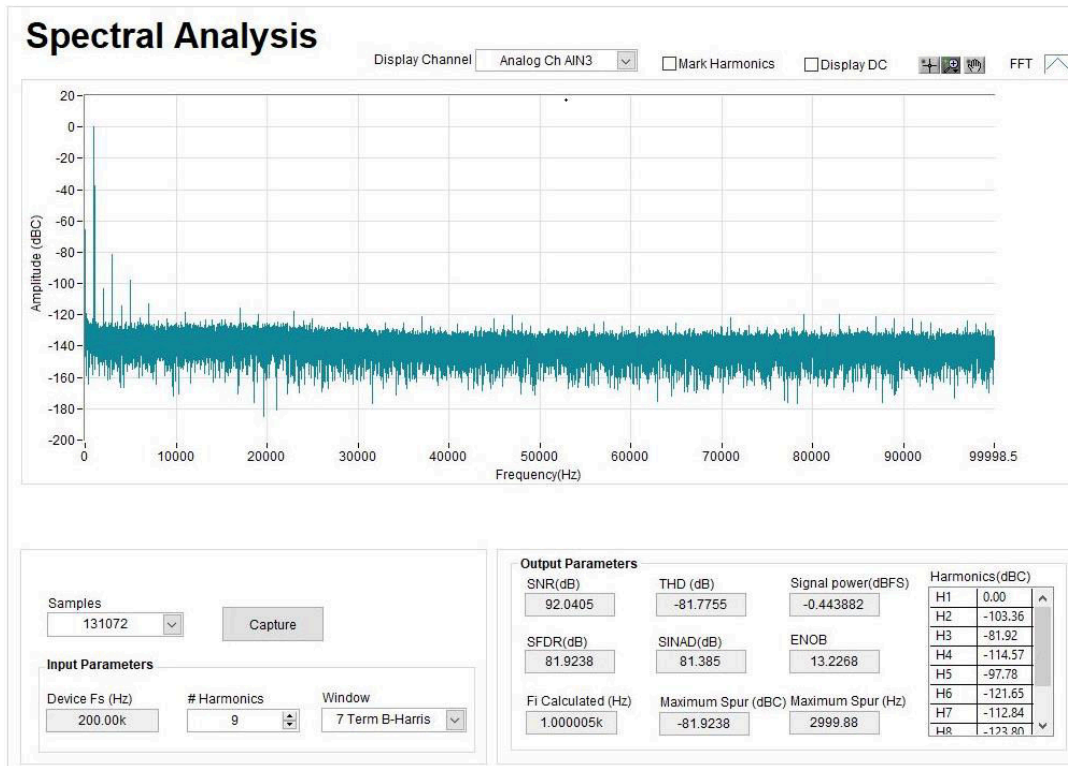
ADC 输入 (AIN_P) 过压条件

下图显示了施加高压连续过压正弦波信号 (60Vpp) 时的 ADC 输入电压。请注意，外部双向 TVS 二极管已导通，且过压正弦波信号被钳位至 $\pm 12.5V_{peak}$ ，该电压低于 ADS8588S 器件上 $\pm 15V$ 的绝对最大输入电压 (V_{in_Abs})，因此 ADC 器件能够得到保护，不会受到过压信号的影响。



在硬件上检查 AC (SNR 和 THD) 性能

以下频谱分析使用 [ADS8588SEVM-PDK](#) 和专门为此次测试设计的过压保护 (OVP) 电路板进行测量。使用包括 TVS 二极管在内的所有保护电路，测得的 THD 性能低于 [采用单电源并提供双极性输入的 ADS8588S 16 位高速 8 通道同步采样 ADC 数据表](#) (测得的 SNR = 92dB，THD = - 81.8dB)。



TVS 二极管上的电容变化会导致 THD 变差

之前的测试结果表明，测得的 SNR 性能符合 ADS8588S 数据表中的规格；然而，测得的 THD 性能低于数据表中的规格。导致 THD 性能变差的主要原因是电容变化较大，电容会随 TVS 二极管上施加的电压而变，请参阅 [模数转换器 \(ADC\) 上的电过应力 \(EOS\) 和静电放电 \(ESD\)](#) 视频（属于 TI 高精度实验室 视频系列），了解有关此主题的详细理论和分析。

可通过两种解决方案来提高系统 THD 性能：使用低电容变化双向 TVS 二极管；如果系统中可以接受，则降低输入信号频率，减少 TVS 二极管上的电容和变化带来的影响。

低电容变化 TVS 二极管

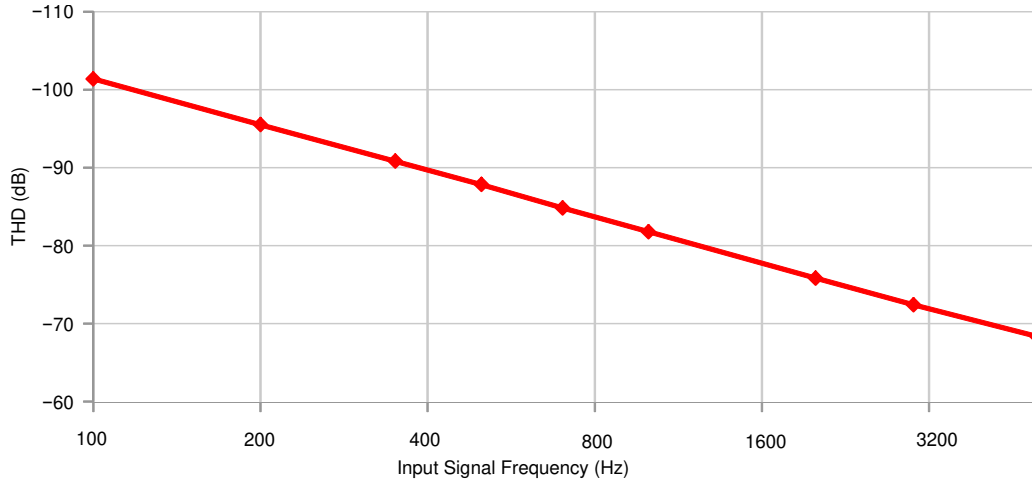
TVS 二极管的电容对失真有很大影响，下表比较了 TVS 二极管在不同电容规格下的测量结果。该表说明，THD 性能随 TVS 二极管上电容的降低而得到改善。使用相同的保护电路，TSMC 的低电容双向 TVS 二极管 PG5MAJ10CA 可实现更出色的 THD 性能 (-81.8dB)。为了实现更好的 THD 性能，请使用具有更低电容和变化更小的 TVS 二极管。

器件型号	反向关断电压 (V _R)	击穿电压 (V _{BR})		钳位电压 (V _C)	电容变化 (C _T)	反向漏电流最大值 (V _R 时的 I _R)	峰值脉冲电流 (I _{PP})	测得的 THD (dB)	钳制电压 (1kΩ R _O , V _{IN} = 40V)
		最小值	最大值						
SMCJ10CA	10V	11.1	12.3	17V	2.3nF 至 10nF	5μA	88.3A	-69.6	±12.6V
SMA6J10A	10V	11.1	12.3	15.7V	200 至 400pF	5μA	38.2A	-79.5	±12.6V
PG5MAJ10CA	10V	11.1	12.3	17V	80 至 160pF	5μA	23.5A	-81.8	±12.6V
CDSOD323-T12C (1)	12V	13.3		19V	3pF	1μA	11A	-102.1	±15.6V

(1) 本设计选择了 PG5MAJ10C，因为它能够有效地保护 ADS8588S 器件。在 40V 故障条件下，使用 1kΩ 限流电阻器，该二极管的钳位电压为 12.6V。12.6V 钳位电压低于 ADS8588S ±15V 的绝对最大输入电压，因此可有效保护 ADC。CDSOD323-T12C 二极管是可用于 ADS8688 和 ADS8681 器件的可选 TVS 二极管。该二极管具有低电容 (3pF)，可显著提高 THD 性能 (THD = -102.1dB)。在 40V 故障条件下，使用 1kΩ 限流电阻器，该二极管的钳位电压为 15.6V，因此不能与绝对最大输入电压为 ±15V 的器件 (ADS8588S) 搭配使用。ADS8688 和 ADS8681 器件的绝对最大输入电压为 ±20V，因此 CDSOD323-T12C 上的 15.6V 钳位电压可保护该器件并实现出色的 THD 性能。

更低的输入信号频率

根据下图可知，降低输入信号频率可提高测得的 THD 性能。此图使用 PGSM10CA TVS 二极管测量， $R_p = 1k\Omega$ ， $R_{fit} = 1k\Omega$ ， $C_{fit} = 1nF$ ，ADS8588S 在 EVM 上以 200kSPS 运行。



设计采用的器件和备选器件

器件	关键特性	链接	其他可能的器件
ADS8588S	在单电源上具有双极性输入的 16 位、200kSPS、8 通道同步采样 SAR ADC	https://www.ti.com.cn/product/cn/ADS8588S	http://www.ti.com/adcs
ADS8688	在单电源上具有双极性输入的 16 位、500kSPS、8 通道非同步采样 SAR ADC	http://www.ti.com.cn/product/cn/ADS8688	http://www.ti.com/adcs
ADS8681	在单电源上具有双极性输入的 16 位、1MSPS、单通道 SAR ADC	http://www.ti.com.cn/product/cn/ADS8681	http://www.ti.com/adcs

设计参考资料

有关 TI 综合电路库的信息，请参阅 [模拟工程师电路手册](#)。

商标

TSMC® is a registered trademark of Taiwan Semiconductor Manufacturing Company, Ltd.

所有商标均为其各自所有者的财产。

修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision * (June 2019) to Revision A (May 2023)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	1

重要声明和免责声明

TI“按原样”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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

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](#) 或 [ti.com](#) 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。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司