

## Analog Engineer's Circuit

## 带集成模拟前端且具有对 ADC 过载保护的电路



Dale Li

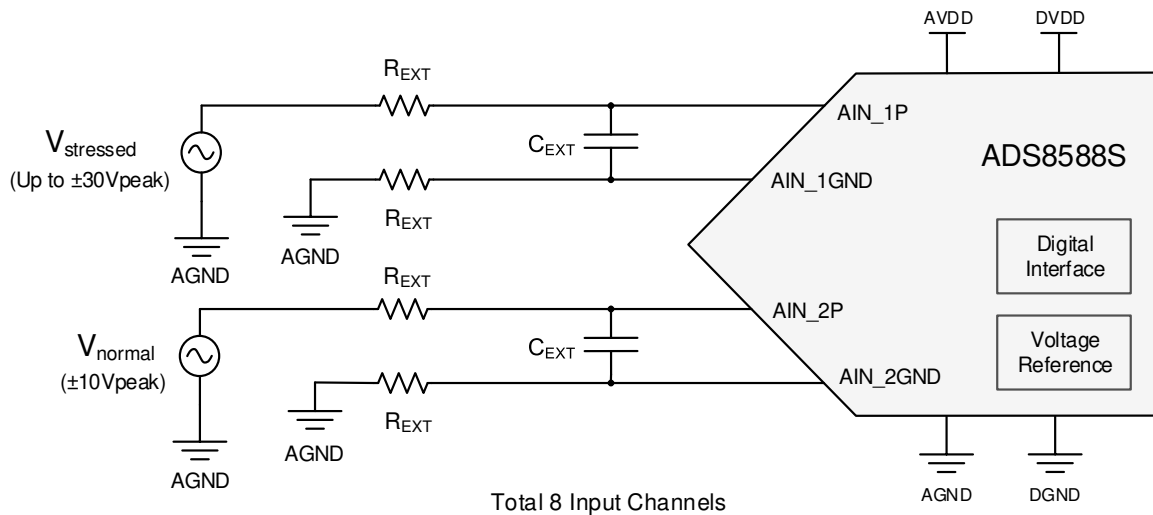
输入	ADC 输入	数字输出 ADS7042
VinSEMin = -10V	CH_x = -10V	8000H
VinSE = 0V	CH_x = 0V	0000H
VinSEMax = +10V	CH_x = +10V	7FFFH

## 电源

AVDD	DVDD	有效输入 $V_{normal}$	过压输入 $V_{stressed}$
5V	3.3V	$\pm 10V$	

## 设计说明

对于智能电网市场中的保护继电器应用，诸如 ADS8588S 之类的同步采样 ADC 广泛用于维持不同电压和电流之间的相位信息。这些系统的工作环境非常苛刻，并且信号链上可能出现幅度高达  $\pm 30V_{pk}$  ( $60V_{pp}$ ) 的不良信号。因此，保护 ADC 输入免受过压损害并保持良好性能非常重要。本文档介绍如何设计过压保护，并说明过压信号对相邻通道的性能影响。最后将比较德州仪器 (TI) 器件和引脚对引脚兼容型竞争对手器件之间的性能影响结果。



## 规格

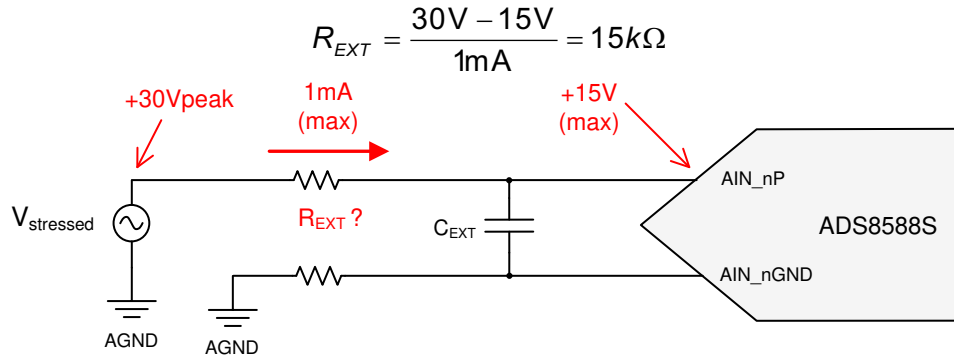
规格	计算值	测得值
60Vpp 过压	最大输入电流 = 1mA	SNR 和 THD 性能和过压馈通

## 设计说明

1. 使用 COG 型电容器作为  $C_{EXT}$  滤波电容器。
2. 观看 [电气过载](#) 视频系列，了解放大器过载的理论解释。虽然该部分介绍的是放大器，但其中的理论也适用于数据转换器。

## 元件选型

1. 查找  $R_{\text{ext}(\text{min})}$  以将电流限制为小于 1mA。流入 ADS8588S 输入引脚的建议最大电流为  $\pm 10\text{mA}$ ，这一电流值是基于 ADC 内部结构的普遍要求值。此 10mA 电流是绝对最大限制值，最好在该数值附近留有一些余量，建议限制电流小于 1mA。在此示例设计中，最小外部电阻为  $15\text{k}\Omega$ 。

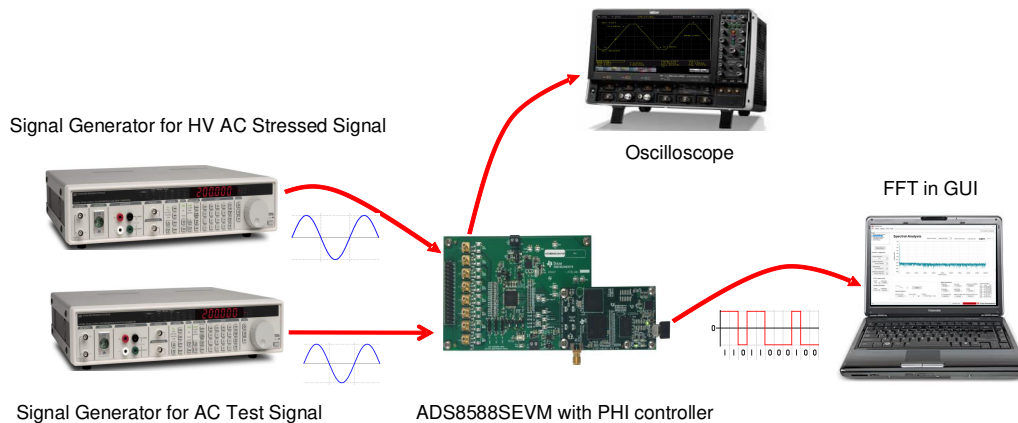


2. 选择  $R_{\text{ext}}$  或  $C_{\text{ext}}$  以将输入滤波器的带宽设置为所需频率。根据应用的不同，可能需要不同的截止频率。在此示例中，为适应 50Hz 信号的 128 次谐波，截止频率必须为 6.4kHz。此示例还需要 1nF 电容器，因为 1nF 是常见的工业输入滤波器电容值。应用公式后，外部电阻器 ( $R_{\text{ext}}$ ) 确定为  $24.9\text{k}\Omega$ 。请注意，在该步骤中计算出的外部电阻器大于步骤 1 中的最小电阻值 (即  $R_{\text{ext}} > R_{\text{ext}(\text{min})}$ )。

$$R_{\text{EXT}} = \frac{1}{2\pi \cdot f_c \cdot C_{\text{EXT}}} = \frac{1}{2\pi (6.4\text{kHz})(1\text{nF})} = 24.9\text{k}\Omega$$

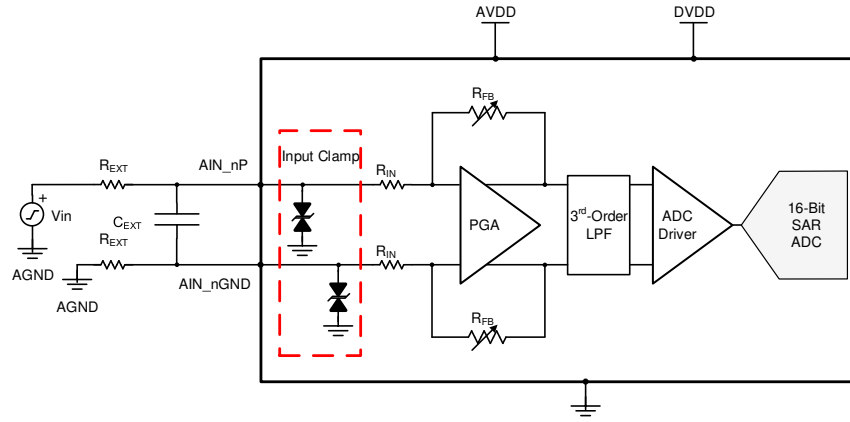
## 测试设置

在具有多通道器件的实际应用中，可能一个通道上施加了过压信号，而其他通道上有有效信号。在此示例中，希望在有效信号的通道上实现良好的性能，同时保护通道免受过压信号的损害。本指导手册文档中的测量均通过施加到通道 1 的过压信号和施加到其他通道上的有效信号完成。所有输入均使用“组件选择”中设计的电路予以保护。下图显示了测试设置。



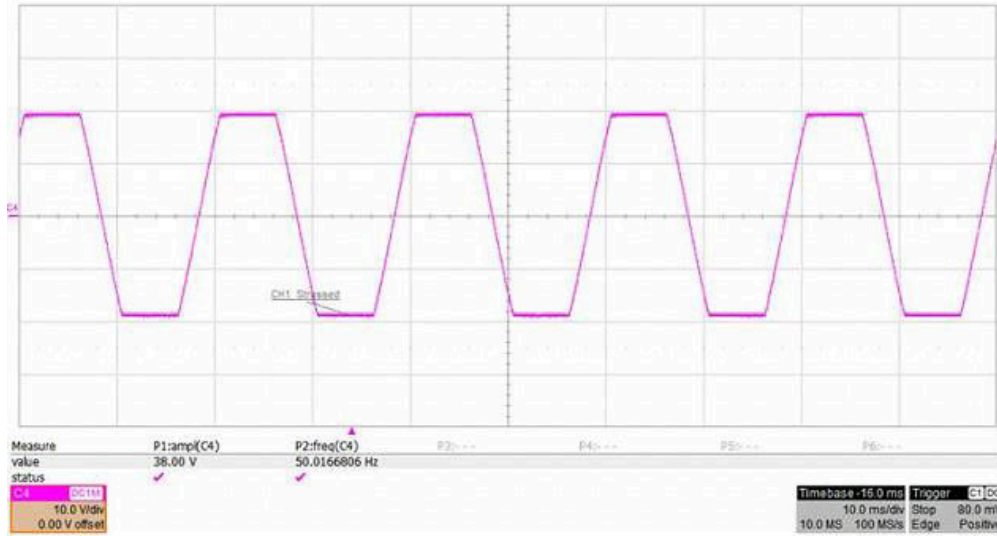
## 器件保护

下图显示了 ADS8588S 内每个模拟输入通道的简化电路。在 8 个模拟输入通道的每一个通道上设计了一个内部钳位保护电路，它允许每个模拟输入摆动高达  $\pm 15\text{V}$  的最大电压。如果输入电压超过  $\pm 15\text{V}$ ，内部输入钳位电路会开启。进一步增加过压信号将导致保护电路中的电流升高 (请参阅 [ADS8588S 采用单电源并具有双极性输入的 16 位高速 8 通道同步采样 ADC](#) 数据表中输入钳位保护电路的 I-V 曲线)。高输入电流可能具有破坏性，降低甚至破坏 ADC 器件。这就是我们将电流限制在 1mA 以下的原因 (请参阅“组件选择”部分)。发生故障事件时，钳位保护电路将开启，并将输入电压限制在大约 15V，而将电流限制在 1mA 以下。



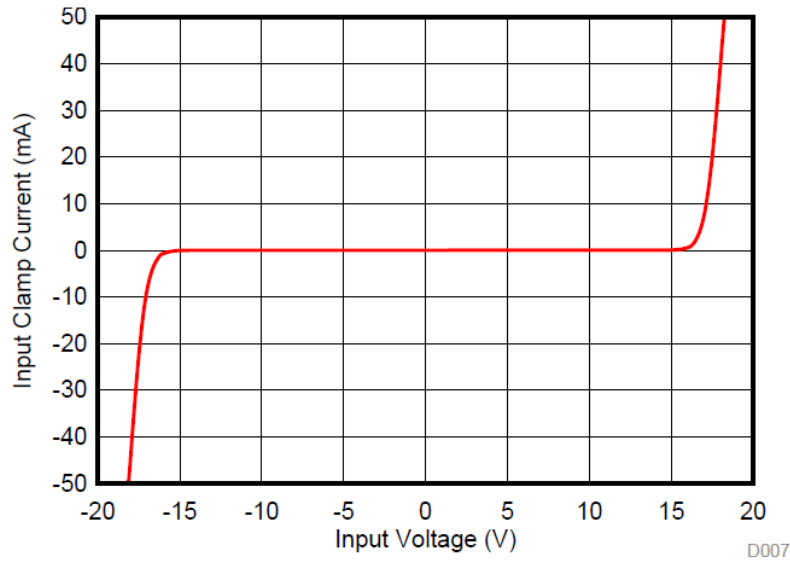
### 过压条件下的 ADC 输入 (AIN\_P)

下图显示了施加  $\pm 30\text{V}_{\text{peak}}$  过压信号时的 ADC 输入电压。请注意，钳位将开启并把 ADC 输入限制为  $\pm 15\text{V}_{\text{peak}}$ 。为保护 ADC 免受损坏，外部电阻器  $R_{\text{EXT}}$  会将电流限制在 1 毫安以下。



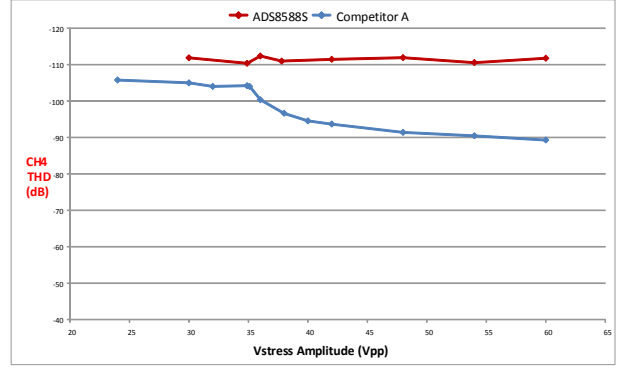
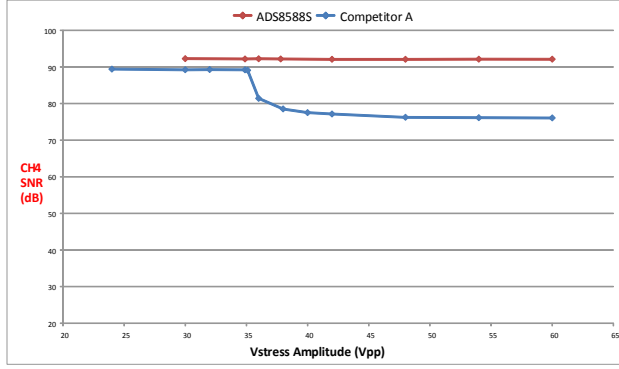
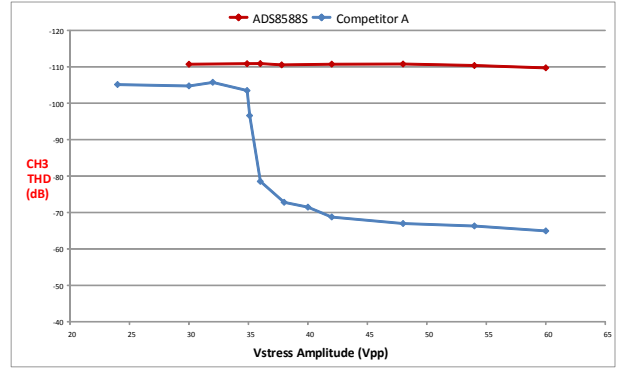
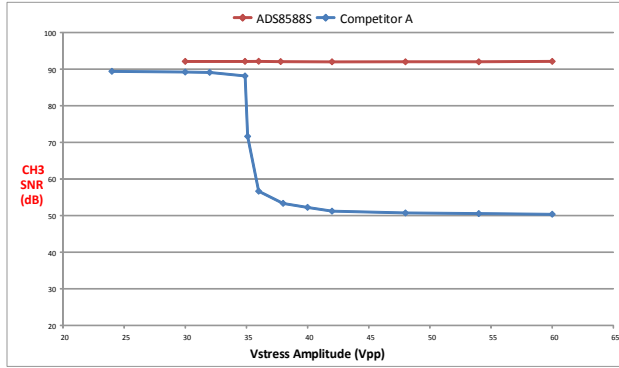
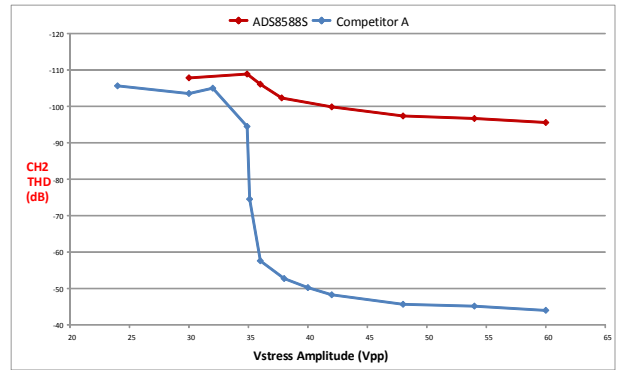
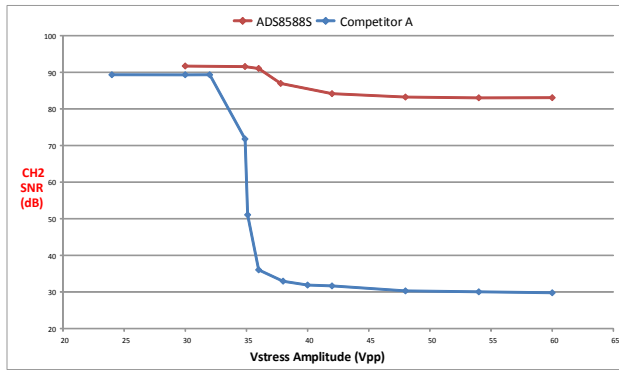
### 内部输入钳位保护电路的 I-V 曲线

下图显示了内部钳位的 V-I 曲线。请注意，对于  $\pm 15\text{V}$  范围内的输入电压，钳位将保持关闭状态且泄漏非常低。而当电压超出  $\pm 15\text{V}$  范围时，它将开启并进行限制。

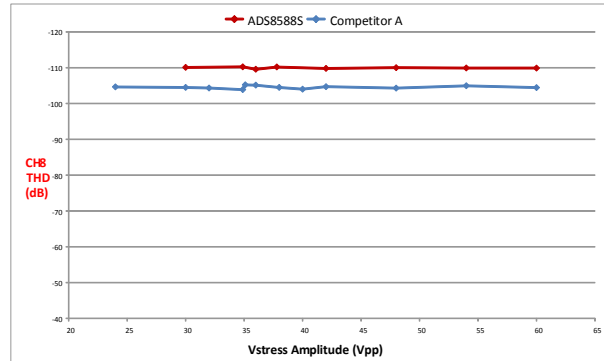
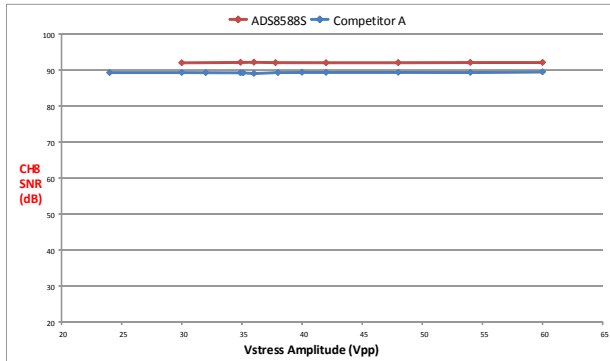
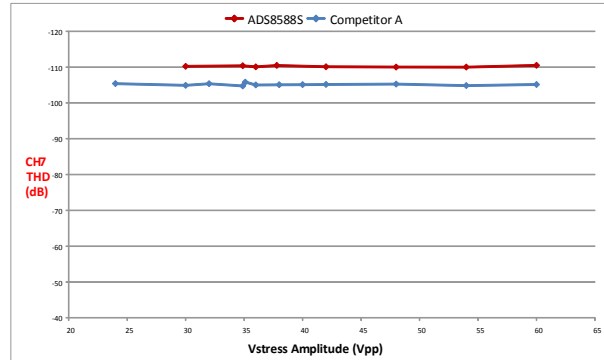
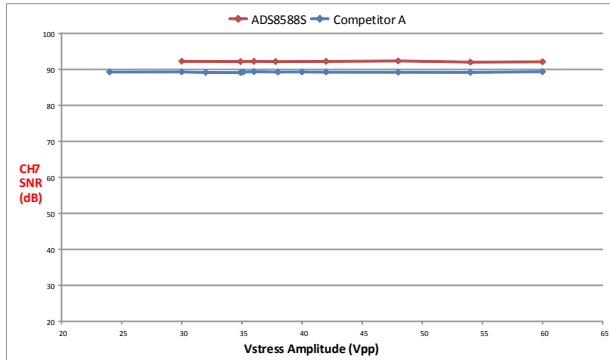
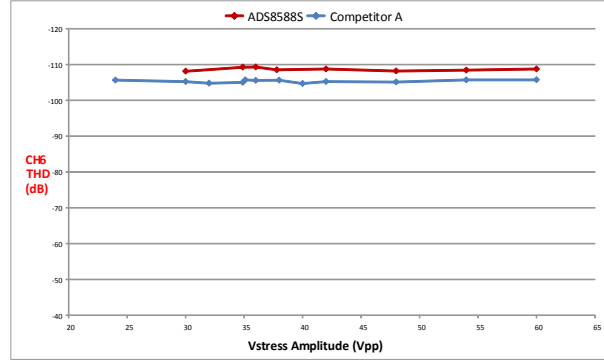
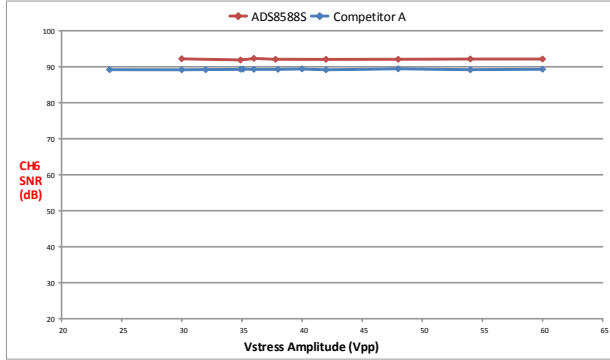
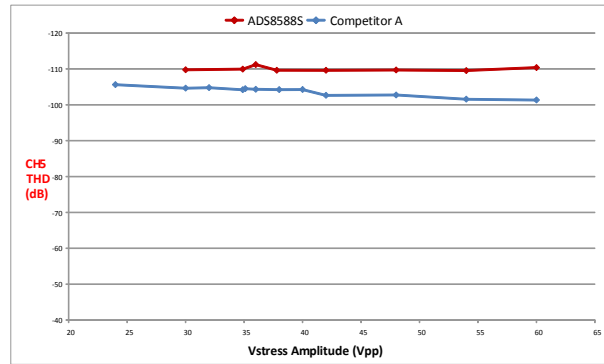
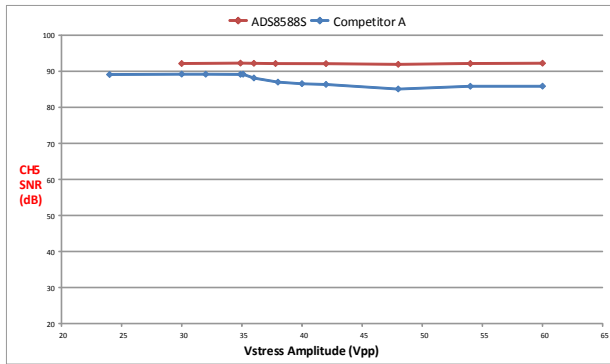


### SNR 和 THD (通道 1 = 过压)

以下几个图采集了在通道 1 上施加  $\pm 30\text{Vpeak}$  (60Vpp) 电气过载信号并且其余通道连接到有效输入信号 (1kHz、-0.5dBFS 正弦波) 时的数据。具有有效输入信号的通道的 SNR 和 THD 是通过施加到通道 1 的过压信号来测出的。该测试针对 ADS8588S 以及引脚对引脚兼容型竞争对手器件进行。请注意，ADS8588S SNR 和 THD 不受故障信号的影响，即使受到影响，影响也很小。另一方面，竞争对手器件的 SNR 和 THD 性能在很大程度上受故障信号的影响。请注意，该电路也使用  $\pm 15\text{Vpeak}$ 、 $\pm 18\text{Vpeak}$ 、 $\pm 21\text{Vpeak}$ 、 $\pm 24\text{Vpeak}$  和  $\pm 27\text{Vpeak}$  信号进行了测试。正如预期的那样，较大的过载信号会产生最坏情况的结果。

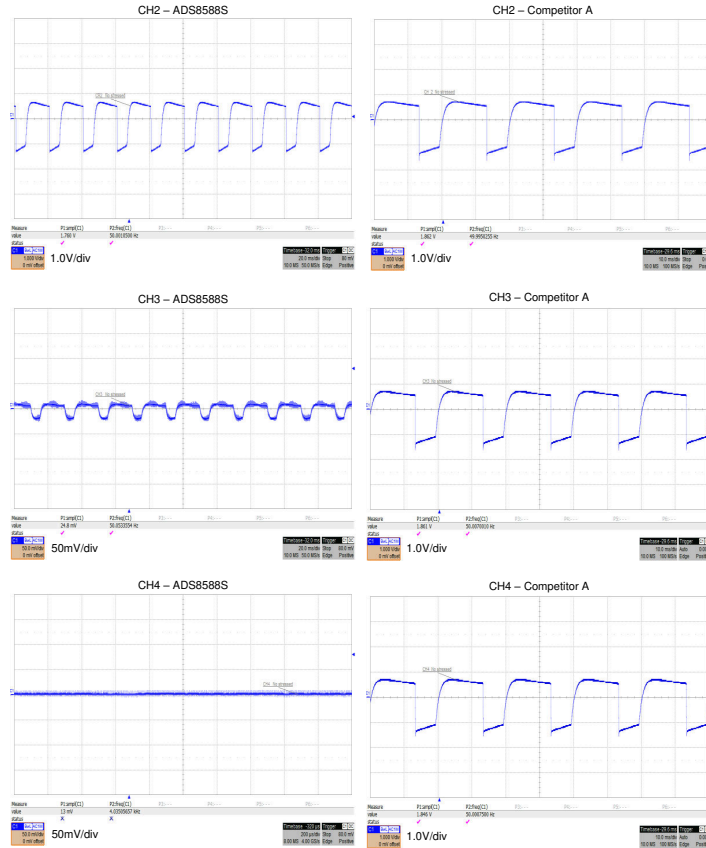


这是 SNR 和 THD 测量的延续，其中将  $\pm 30V_{peak}$  (60Vpp) 故障信号应用于通道 1，并将有效输入信号应用于其他通道的性能验证。

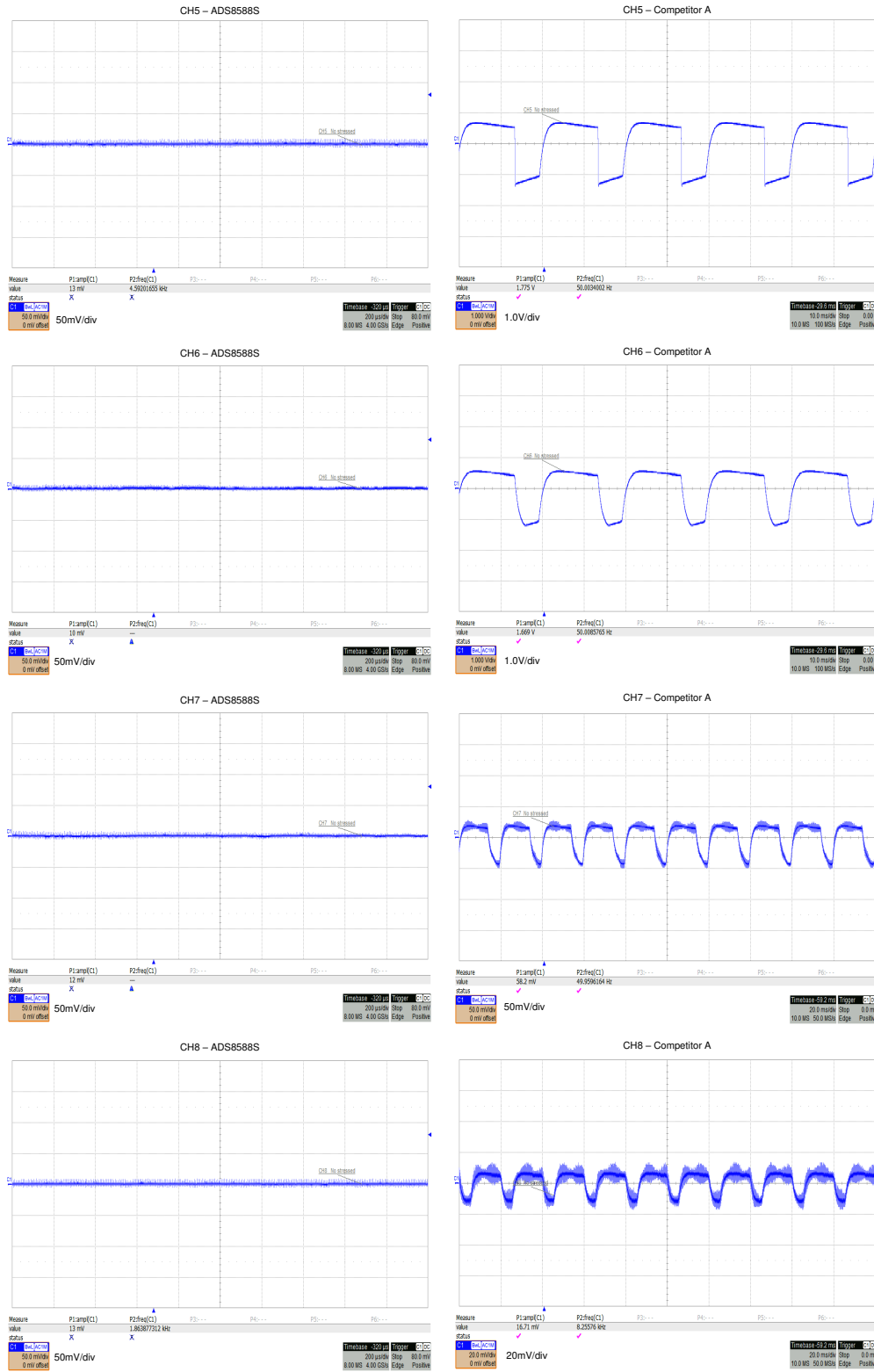


## 故障信号馈通到其余通道

以下几个图采集了在通道 1 上施加  $\pm 30\text{Vpeak}$  ( $60\text{Vpp}$ ) 电气过载信号并且其余通道悬空时的数据。我们使用示波器来测量过压信号到悬空通道的馈通。请注意，对于通道 2，ADS8588S 和竞争对手器件是类似的。在其余通道 (CH3 至 CH8) 上，ADS8588S 的馈通远小于 TI 器件。这一情况明显表明，对于 ADS8588S，当系统中的一个通道出现过压故障时，具有有效输入信号的通道的运行不会受到显著影响。相反，对于竞争对手器件，所有通道都受到故障的不利影响。请注意，该电路也使用  $\pm 15\text{Vpeak}$ 、 $\pm 18\text{Vpeak}$ 、 $\pm 21\text{Vpeak}$ 、 $\pm 24\text{Vpeak}$  和  $\pm 27\text{Vpeak}$  信号进行了测试。正如预期的那样，较大的过载信号会产生最坏情况的结果。



这是馈通测试的延续，表明具有有效输入信号的 ADS8588S 通道不受故障通道的影响。



### 设计中采用的器件

器件	主要特性	链路	其他可能的器件
ADS8588S	16 位、8 通道同步采样、双极性输入 SAR ADC	采用单电源并具有双极性输入的 16 位高速 8 通道同步采样 ADC	精密 ADC
REF5025	低噪声、低漂移、高精度电压基准	2.5V、3µVpp/V 噪声、3ppm/°C 温漂精密串联电压基准	串联电压基准



## 设计参考资料

德州仪器 (TI), [在集成模拟前端 \(AFE\) 中减少外部 RC 滤波器电路对增益和漂移误差的影响 :  \$\pm 10V\$](#) , 模拟工程师电路

德州仪器 (TI), [可在集成式模拟前端 \(AFE\) SAR ADC 上增大输入范围的电路](#), 模拟工程师电路

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司