

设计指南: TIDA-00834

使用 14、16、18 位 SAR ADC 且具有 ±10V 范围的高精度模拟前端参考设计



说明

该参考设计使用同步采样 18 位、16 位或 14 位 ±10V 双极输入 SAR 模数转换器 (ADC) 精确测量电压和电流输入。模拟前端 (AFE) 包含基于仪表或精密运算放大器的信号调节功能, 用于进行高达 125A 的电流测量, 还包含基于隔离放大器或运算放大器的 AFE, 用于进行高达 300V 的电压测量。增益放大器将传感器输出调节到 ADC 范围。它使用比较器和现场可编程门阵列来实现模拟输入信号的相干采样。使用 +5V 生成 AFE 所需的电源。

资源

[TIDA-00834](#)

[ADS8588S](#), [ADS8598H](#), [ADS8588H](#), [ADS8598S](#)

[ADS8586S](#), [ADS8584S](#), [ADS8578S](#), [INA188](#)

[INA821](#), [ISO224A](#), [ISO224B](#), [ISO7741](#)

[OPA2188](#), [OPA2180](#), [LM2903](#)

[OPA2277](#), [AMC1200](#), [TPS7A39](#)

[AMC1301](#), [AMC1300](#), [AMC1300B](#)

[LM5017](#), [LM5160](#), [TPS65131](#), [ISOW7841](#)

[SN6505B](#), [SN6501](#), [TPS7A30](#), [TVS1400](#)

[REF5025](#), [TLV1117](#), [LM27762](#), [TVS1401](#)

设计文件夹

产品文件夹

产品文件夹

产品文件夹

产品文件夹

产品文件夹

产品文件夹

产品文件夹

产品文件夹

产品文件夹

特性

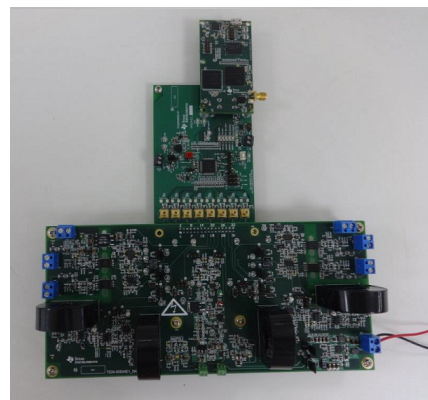
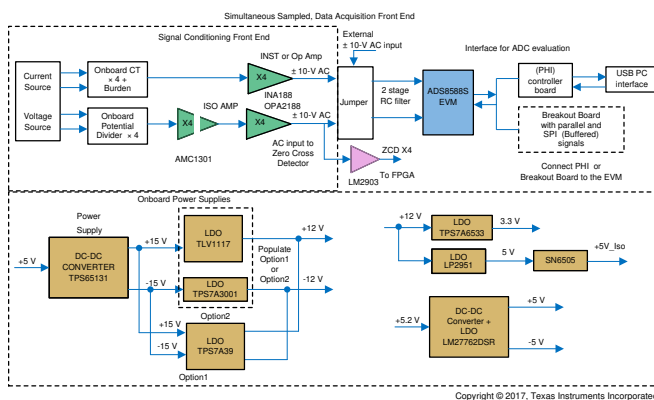
- 数据采集 AFE, 使用四、六或八通道 ADC
 - 低于 $\geq 1000:1$ 的动态范围, 测量精度在 18 位时处于 $\pm 0.1\%$ 之内, 在 16 位时处于 $\pm 0.3\%$ 之内, 在 14 位时处于 $\pm 1\%$ 之内
- 通过过采样 16 位 ADC 将 SNR 从 91.72 提高至 93.95dB
- 使用精密放大器或仪表放大器测量高达 125A 的电流 (涵盖保护和测量应用)
- 使用增强型隔离放大器在 $\pm 250\text{mV}$ 或 $\pm 12\text{V}$ 输入范围内进行电压测量, 以及使用固定增益放大器测量高达 300V 的电压
- 在可靠性测试 (包括 EFT 以及交流或直流输入过载) 期间观察到极小的性能变化
- 板载直流/直流转换器和 LDO (包含双路 150mA LDO), 用于通过单个 5V 输入生成 $\pm 12\text{V}$ 、 $\pm 15\text{V}$ 、5V、3.3V 和隔离式 5V 电压

应用

- 保护继电器、合并单元
- 功率分析仪、三相逆变器



咨询我们的 E2E 专家





该 TI 参考设计末尾的重要声明表述了授权使用、知识产权问题和其他重要的免责声明和信息。

1 系统 说明

电网基础设施应用中使用的保护继电器 可为人员和设备提供保护。这些保护继电器通过测量电力系统中在正常和故障情况下会有所不同的电量来检测和找到故障。它们安装在发电、电力传输和配电设施中以及用户位置，用于保护互感器、断路器和客户负载（电机、汇流条）等主要设备。保护继电器的任务是尽量减少由绝缘破坏引起的损坏和费用。这些故障是由绝缘老化或突发事件（例如，雷击或因接触树木和植物造成的电力跳闸）引起的。保护继电器在正常运行期间持续监控线路，并且必须能够快速启动以处理极端的系统状况。继电器系统必须能够响应网络中可能出现的无数次异常。这些继电器是可从电流互感器 (CT) 和电压互感器 (VT) 副边测量信号的智能电子器件 (IED)。继电器可检测受保护单元是否处于高负荷状态。必要时，保护继电器会向断路器发送跳闸信号，以断开故障器件与电力系统间的连接。保护继电器按照受保护设备的类型（例如发电机、传输线路、互感器和负载）进行分类。

1.1 主要系统规格

表 1. 主要系统规格

参数	规范	注释
用于测量模拟输入的 ADC (类型、分辨率)	同步采样 18 位、16 位或 14 位 SAR ADC 中添加了 14 位 ADC 选项	测量精度对于 18 位为 $\pm 0.1\%$ ，对于 16 位为 $\pm 0.3\%$ ，对于 14 位为 $\pm 1\%$
模拟输入数量	4、6 或 8 (根据 ADC 接口而定)	连接到 ADS8588SEVM-PDK
电压输入范围	5V 至 300V，使用电阻分压器和固定增益精密放大器	16 位时测量精度为 $\pm 0.3\%$
隔离式电压输入范围	5V 至 300V，使用电阻分压器、固定增益精密放大器和具有增强型隔离的隔离放大器	使 AMC1301 隔离放大器
电流输入范围	0.1A 至 120A，使用电流互感器和固定增益仪表放大器	使用仪表放大器 INA188 测试测量精度
电流输入范围	0.1A 至 120A，使用电流互感器和固定增益精密放大器	使用 OPA2188、OPA2180 或 OPA2171 运算放大器测试测量精度
基准	内部 VREF 2.5V 直流，V(REFCAP) 4V 直流	—
ADC 接口	串行或并行	—
ADC 的电源	DVDD 数字: +3.3V; AVDD 模拟: +5V	模拟输入电压: VAVDD 至 VAVSS; 使用 +5V
信号调节放大器的电源	$\pm 13V$ (使用双路输出 LDO 或独立 LDO)	使用单个 +5V 直流输入生成
隔离式电源	模拟: +5V	—
连接到 MCU 进行处理	AM3352 和 XC6SLX16 采用精密主机接口 (PHI) 控制器板	请参阅 3.1 节，了解连接详细信息
相干采样	使用 LM2903 比较器和 FPGA 实现数字 PLL	
电流和电压输入	板载 CT 和电阻分压器	—

2 系统概述

2.1 将 ADC 用于电网应用的子系统应用

在电网基础设施应用中使用模数转换 (ADC) 的子系统包括以下内容:

- 交流测量输入:
 - 标称频率 (FNOM): 50Hz 或 60Hz, 工作范围: 45Hz 至 66Hz
- CT 测量输入:
 - 额定电流: 1A 或 5A (I_N)
- VT 测量输入:
 - VT 测量输入
- 直流模拟输入范围 (可独立配置):
 - $\pm 1.25\text{mA}$ 、 $\pm 2.5\text{mA}$ 、 $\pm 5\text{mA}$ 以及 $\pm 10\text{V}$;
 - 或 $\pm 1\text{mA}$ 、 $\pm 5\text{mA}$ 、 $\pm 10\text{mA}$ 以及 $\pm 20\text{mA}$

2.2 电压和电流测量前端

电力监控系统依赖于对瞬时电流和电压的测量, 这种测量是通过 CT 和由高速 ADC 转换的变压器 (称为 PT, 即电压互感器) 输出来实现的。处理器使用这些测量数据来计算关键特性, 包括瞬时值和谐波。

数据采集 (DAQ) 前端包括:

- 电压输入测量包含以下选项:
 - 分压器 (PD) 和基于精密运算放大器的信号调节电路, 可将传感器输出缩放到 ADC 输入范围
 - 使用 PD、隔离放大器和基于精密运算放大器的差动放大器进行隔离式电压测量, 以将隔离放大器输出缩放到 ADC 输入范围
- 用于进行电压输入过零检测的比较器, 以实现相干采样
- 具有负载的板载高精度 CT, 可直接将交流输入连接到 DAQ 前端
- 基于仪表放大器或精密运算放大器的电流输入信号调节电路, 可将 CT 输出缩放到 ADC 输入范围
- 接口连接器, 可将 DAQ 前端连接到基于 16 位、18 位或 14 位同步采样 ADC ADS8588S、ADS8588H、ADS8598S 和 ADS8578S 的 EVM, 该 EVM 具有用于用户界面的精密主机接口 (PHI) 控制器板, 且过采样高达 64 倍
- 用于捕获所需周期数的选项, 以计算和显示均方根 (RMS) 值、直方图分析和直流偏移消减, 从而提高较低电流下的测量精度并增大可测量的电流范围
- 使用互感器驱动器和低压降 (LDO) 稳压器、直流/直流转换器和 LDO 的隔离式电源, 以便从单个 +5V 输入生成 $\pm 13\text{V}$ 、3.3V 和 5V 电压。

2.3 电压和电流输入的隔离

在使用 PD 进行电压测量和使用分流器进行电流测量的应用中, 可以使用隔离放大器提供系统所需的隔离。隔离要求可以是基础型或增强型。

2.4 相干采样

ADC 采样由锁相环 (PLL) 电路控制，该电路以某个电压通道为基准。PLL 会自动将采样率调整到电力线频率，以确保针对每个所需要的 ADC 通道在每个周期采集的样本都等间隔分布。PLL 系统产生的频率是 ADC 计时所需参考频率的倍数。为了满足 IEC 61000-4-7 标准（该标准描述了测量谐波分量的方法和允许发生的错误）的要求，我们必须使用 PLL 系统。该标准要求，作为单次谐波分量测量和评估的基础，测量窗口必须相当于 50Hz 电源系统中的 10 个周期和

60Hz 系统中的 12 个周期的持续时间，即 200ms。窗口持续时间可能并不正好等于 200ms，因为电源频率可能会受到周期性变化和波动的影响。该标准还建议，在傅里叶变换（以分离光谱分量）之前，数据不应受窗口操作的影响。没有频率同步并且允许对来自非整数周期的样本执行快速傅里叶变换 (FFT) 的情况可能会导致频谱泄漏。该现象导致谐波的谱线模糊额外的几个相邻的间谐波谱线，这可能导致与测试的谱线的实际水平和功率有关的数据丢失。

2.5 ADC 架构

ADC 采样可以通过同步采样或多路复用型采样来实现。

同步采样系统针对每个通道使用单独的 ADC，并具有以下优点：

- 消除通道之间的时间偏差，并简化基于时间和频率的分析技术
- 导致信号带宽增加，并在高速时提供更高的精度
- 对所有输入同步采样且具有统一的转换开始时间，以实现对所有通道的数据采集
- 消除几个误差来源，包括趋稳时间和通道间串扰

ADS8588S 器件对 ADC 的 8 个通道进行同步采样。采样是无间隙的，这意味着系统会对每个电压和电流周期进行连续采样，周期和样本之间没有间隙。为了正确测量与电流谐波及其功率相关的电压谐波之间的相移，重要的因素不是与基本频率相关的绝对相移，而是电压和电流电路的相位一致。相量测量单元 (PMU) 使用同步采样 ADC 以最小误差测量不同相位电压之间的相移。

2.6 过采样

过采样是用于提高 ADC 分辨率和增加动态范围的常用方法。在需要更高精度的应用中，可以使用特殊的信号处理技术来提高测量的分辨率。通过使用一种称为过采样和抽取的方法可以获得更高的分辨率。过采样是一个具有成本效益的过程，即以比奈奎斯特频率更高的速率对输入信号进行采样，以增加信噪比 (SNR) 和分辨率 (ENOB)，这也简化了對抗混叠滤波器的要求。通常来说，对 ADC 进行 4 倍过采样可提供一个额外的分辨率，或将动态范围 (DR) 增加 6dB。增加过采样率 (OSR) 可降低噪声，因过采样引起的 DR 增量为 $\Delta DR = 10 \times \log_{10}(OSR)$ （单位：dB）。通过对高吞吐量进行过采样，逐次逼近型寄存器 (SAR) ADC 可以提高抗混叠性能并降低总体噪声。为了获得模拟输入信号的最佳表示，必须对信号进行过采样，因为更大量的样本在取平均时可提供更好的输入信号表示。ADS8588S 器件可以配置为执行 64 倍的过采样。

2.7 方框图

图 1 中所示的高性能交流 DAQ AFE 实现的 ADS8588S ADC EVM 可连接到信号调节电路，并且提供四个电压和四个电流输入。设计中提供了电阻分压器来直接连接高达 300V 的交流电压。为了隔离需要输入至输出隔离的应用的电压输入，其中还提供了 可选的 隔离放大器。板载 CT 用于测量高达 120A 的电流输入，并且其中一个 CT 可为电流输入提供所需隔离。通过使用仪表和基于精密运算放大器的放大器，可将 CT 输出缩放到 $\pm 10V$ 的 ADC 输入范围。设计中提供了跳线，可用于选择两个输出中的一个。使用基于精密运算放大器的放大器可将电压输入缩放到 ADC 范围。隔离放大器用于为电压输入在输入和输出之间提供所需的隔离。电压输出被连接到过零检测器以实现相干采样。我们将比较器输出连接到 PHI 控制器板，并且通过数字方式实现相干采样。而且，通过使用直流/直流转换器和 LDO 稳压器生成了 $\pm 13V$ 、 $+5V$ 和 $+3.3V$ 的电源。

TIDA-00834 设计包括两种不同类型的板：

1. 第一个板提供阻抗 $\geq 1M\Omega$ 的分压器和 CT。
2. 第二个板提供阻抗 $\geq 1M\Omega$ 的分压器、隔离放大器和 CT。

两种板的电流测量电路和 ADC 接口是相同的。

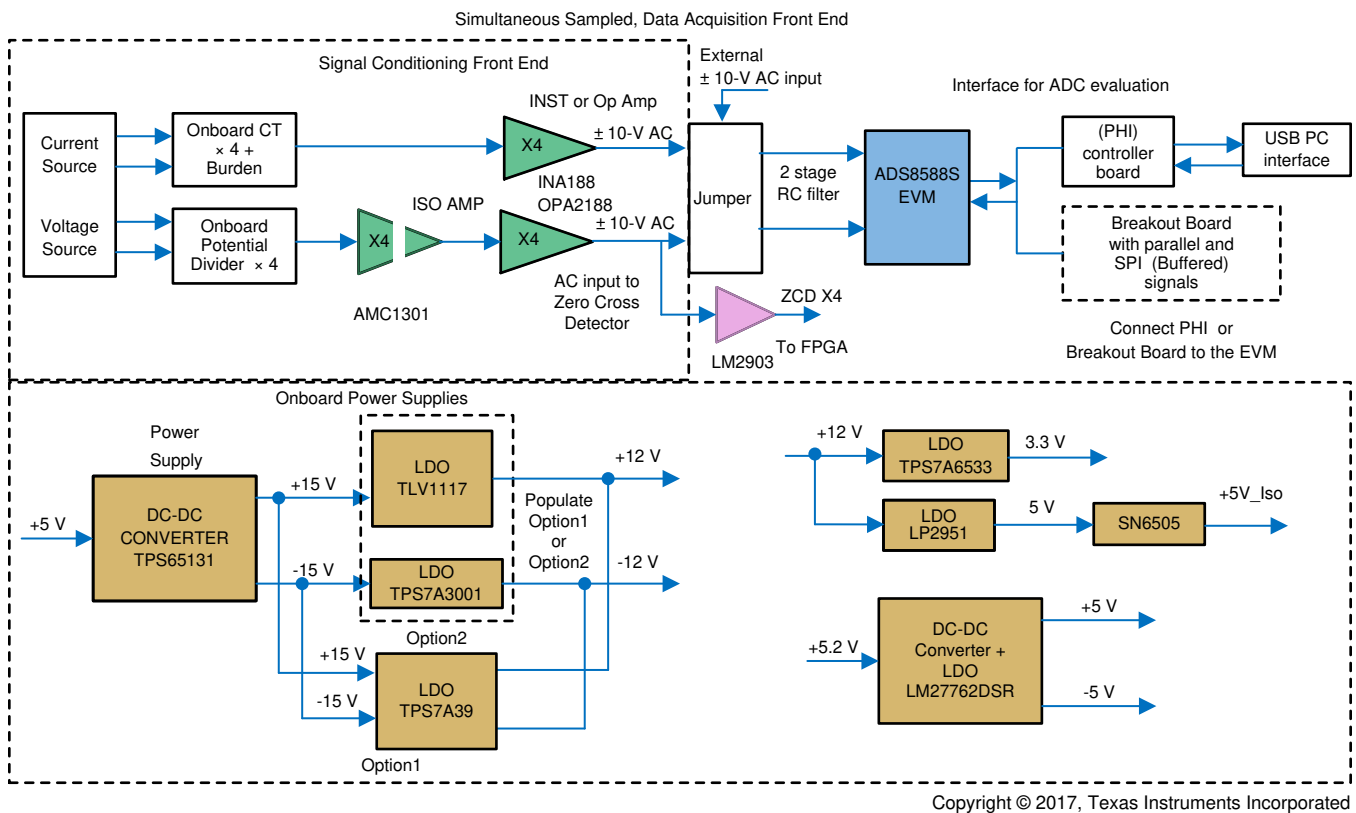


图 1. 具有隔离和双路 LDO 的 DAQ 前端方框图

方框图由 节 2.7.1 中的以下功能块组成。

2.7.1 连接到 DAQ 系统的 ADS8588SEVM-PDK 接口

交流电流和电压输入使用接口连接器连接到 ADS8588S EVM。

2.7.1.1 连接到 ADS8588S ADC EVM 接口连接器的 DAQ 前端接口

提供了 JP1、32 引脚、TSM-116-01-T-DV-P 连接器来帮助实现到 DAQ 系统的连接。通过接口连接器将 8 个 ADC 输入连接到 ADC。

2.7.1.2 包括 PHI 控制器板的 ADC EVM

ADS8588SEVM-PDK 是一个用于评估 ADS8588S SAR ADC 性能的平台。该评估套件包括 ADS8588EVM 板、PHI 控制器板和随附的计算机软件，借助此软件，用户便可通过通用串行总线 (USB) 与 ADC 进行通信，并可捕获数据和执行数据分析。

特性：

- 包括对 ADS8588 ADC 进行诊断测试和性能评估所需的硬件和软件
- 交货时随带 PHI EVM 控制器，可方便地通过 USB 2.0（或更高版本）连接至 EVM，以实现电力输送以及数字输入和输出
- 包含用于 Microsoft® Windows 7®和 Microsoft Windows 8®64 位操作系统的易于使用的评估软件
- 包含软件套件，其中包括用于数据捕获、输出代码直方图生成和线性分析的图形工具，还具有将数据导出到文本文件以便后期处理的配置

2.7.1.3 选择 ADC 的内部或外部基准

设计中提供了跳线配置，用于配置板载电压基准或 ADS8588S 内部基准。

2.7.1.4 在 AFE 输出和外部输出之间进行选择以供采样

设计中提供了跳线配置，用以选择 DAQ 板上的 ADC 输入。我们可以在放大器输出、传感器输出和 $\pm 10V$ 的外部输出之间选择输出，以用于电流或电压输入。

2.7.2 电流输入信号调节

电流信号调节电路包括具有可配置负载的 CT、可将 CT 输出缩放到 ADC 范围的仪表放大器或精密放大器，以及可在仪表或精密放大器输出之间进行选择的跳线。此外，还提供了连接分流式隔离放大器附加板输出的选项。此部分提供了在放大器输出、具有较高负载的 CT 输出和外部传感器输入之间进行选择的选项。

2.7.3 电压输入信号调节

电压信号调节电路包括可通过选择电阻器值配置输出的 PD、可将 PD 输出缩放到 ADC 范围的精密放大器，以及可在精密放大器输出、PD 输出和外部传感器输入之间进行选择的跳线。同时，我们还将精密放大器输出连接到过零检测器 (ZCD)，以生成用于计算产生转换启动脉冲所用时间段的方波。

2.7.4 电源

运行 ADC 和信号调节电路所需的电源由单个 5V 输入生成。直流/直流转换器用于生成 $\pm 15V$ ，然后连接到双路 LDO 或正负 LDO 以生成 $\pm 13V$ 、5V 和 3V。在输入范围限制为 $\pm 5V$ 的应用中，可通过使用具有集成 LDO 的直流/直流转换器生成 +5V 和 -5V 输出来简化设计。

2.7.5 用于电压测量隔离放大器的隔离式电源

对于使用 PD 来测量电压输入的隔离放大器，其运行所需的隔离式电源通过 SN6505B 互感器驱动器和 5V LDO 生成。

2.7.6 ADC 基准

ADC 具有可用于简化系统设计的内部基准。在需要在宽范围内具有良好精度性能的应用中，可以考虑将外部基准用于 ADC。有两个基准选项可供选择：一个是专门用于高性能应用的基准，另一个是成本优化型基准。我们需要先对基准的输出进行缓冲，然后才能将其连接到信号调节电路。设计中提供了跳线配置以供选择所需的基准电平，这可用于 DAQ 前端与单端 ADC 一起使用的情况。

2.8 主要产品 — 系统设计

2.8.1 ADS8588S EVM 接口

2.8.1.1 AFE 至 ADC EVM 接口连接器 JP5

下面的表 2 提供从 DAQ AFE 到 ADS8588S EVM 的所有 8 个 ADC 通道的接口连接细节。

表 2. JP5 插座接口连接

插座引脚编号	信号	说明
JP5.2	AIN_1P	通道 AIN1 的正模拟输入
JP5.4	AIN_1GND	通道 AIN1 的负模拟输入
JP5.6	AIN_2P	通道 AIN2 的正模拟输入
JP5.8	AIN_2GND	通道 AIN2 的负模拟输入
JP5.10	AIN_3P	通道 AIN3 的正模拟输入
JP5.12	AIN_3GND	通道 AIN3 的负模拟输入
JP5.14	AIN_4P	通道 AIN4 的正模拟输入
JP5.16	AIN_4GND	通道 AIN4 的负模拟输入
JP5.18	AIN_5P	通道 AIN5 的正模拟输入
JP5.20	AIN_5GND	通道 AIN5 的负模拟输入
JP5.22	AIN_6P	通道 AIN6 的正模拟输入
JP5.24	AIN_6GND	通道 AIN6 的负模拟输入
JP5.26	AIN_7P	通道 AIN7 的正模拟输入
JP5.28	AIN_7GND	通道 AIN7 的负模拟输入
JP5.30	AIN_8P	通道 AIN8 的正模拟输入
JP5.32	AIN_8GND	通道 AIN8 的负模拟输入

2.8.1.2 包括 PHI 控制器的 ADC EVM

ADS8588SEVM-PDK 是一个用于评估 ADS8588S SAR ADC（一种 8 通道、16 位、 $\pm 10V$ 、同步采样 ADC 器件）的性能的平台。此评估套件包括 ADS8588SEVM 板和 PHI 控制器板，借助此套件可使随附的计算机软件通过 USB 与 ADC 进行通信，以进行数据捕获和分析。

有关更多详细信息，请参阅 ADS8588S EVM 用户指南：<http://www.ti.com.cn/tool/cn/ADS8588SEVM-PDK>。

以下列表列出了 PHI 卡的主要器件。

- TPS65217BRSLT、TPS79133DBVT
- REG71055DDCT
- AM3352-ZCZ
- MT47H128M16RT-25E:C
- XC6SLX16-CSG225

2.8.1.3 选择 ADC 的内部或外部基准

内部和外部基准之间的选择通过 ADS8588S EVM 上的 J2 实现，打开时选择内部基准，关闭时选择外部基准。使用 J5 来选择外部基准，该跳线在使用内部基准时打开，在使用外部基准时关闭。有关更多详细信息，请参阅 ADS8588S EVM 上的跳线设置。

2.8.1.4 在 AFE 输出和外部输出之间进行选择以供采样

跳线用于为不同的传感器输出源配置 DAQ AFE。当已配置外部输入时，会启用 100K 阻抗。在将输入连接到 ADC 之前，会先提供一个一级电阻器/电容器 (RC) 滤波器。此外，ADC 还具有另外一级 RC 滤波器。有关更多详细信息，请参阅原理图第 11 页。

2.8.1.5 用于性能评估的 GUI

用于性能评估的图形用户界面 (GUI) 提供以下功能：

- $\pm 5V$ 和 $\pm 10V$ 之间的输入范围选择
- ADC 接口配置 – 串行或并行
- RMS 值显示
- 波形显示
- 相干采样选项

有关详细信息，请参阅以下工具文件夹和可用的用户指南：<http://www.ti.com.cn/tool/cn/ADS8588SEVM-PDK>。

2.8.1.6 GUI 的附加功能

GUI 具有一些用于完成测量应用中 ADS8588S ADC 的性能测试的附加功能：

- 相干采样，包括调整每周期样本数和要捕获的周期数的能力
- 从 ADC 输入中抽取直流偏移的配置

标准 GUI 上不提供这些功能。有关详细信息，请咨询 TI 工业系统团队。

2.8.1.7 相干采样和频率计算

相干采样由 GUI 按照如下说明进行计算：

过零检测器电路提供数字方波输出信号，该信号用于查找输入模拟信号的频率。当已选中“enable frequency track”选项并且已在 GUI 中按下“capture”按钮时，相干采样开始。

现场可编程门阵列 (FPGA) 计数器：

1. FPGA 对五个连续时钟周期的数字方波信号（上升到上升沿）进行计数（使用 50MHz 计数器计数），并存储每个周期的无线电信号数。

IP 信号频率计算：

1. 从 FPGA 中检索五个周期的无线电信号计数，并计算平均值。
2. 通过以下公式可将平均无线电信号计数转换为频率：
IP 信号频率 (Hz) = 50MHz/平均无线电信号计数 (50MHz FPGA 计数器)。
3. 检查计算的 IP 信号频率是否在 45Hz 至 66Hz 的范围内。如果不在范围内，则将 50Hz 的默认值视为信号频率。

采样率计算:

1. 通过以下公式计算采样率:
采样率 (Hz) = IP 信号频率 × 每周期样本数。
2. FPGA 配置为以计算的采样率生成转换启动脉冲。
3. 自定义图形发生器用于生成转换启动脉冲。

2.8.2 电流输入信号调节

电流输入信号调节电路通过仪表放大器或基于精密运算放大器的差分放大器实现（请参阅图 2）。

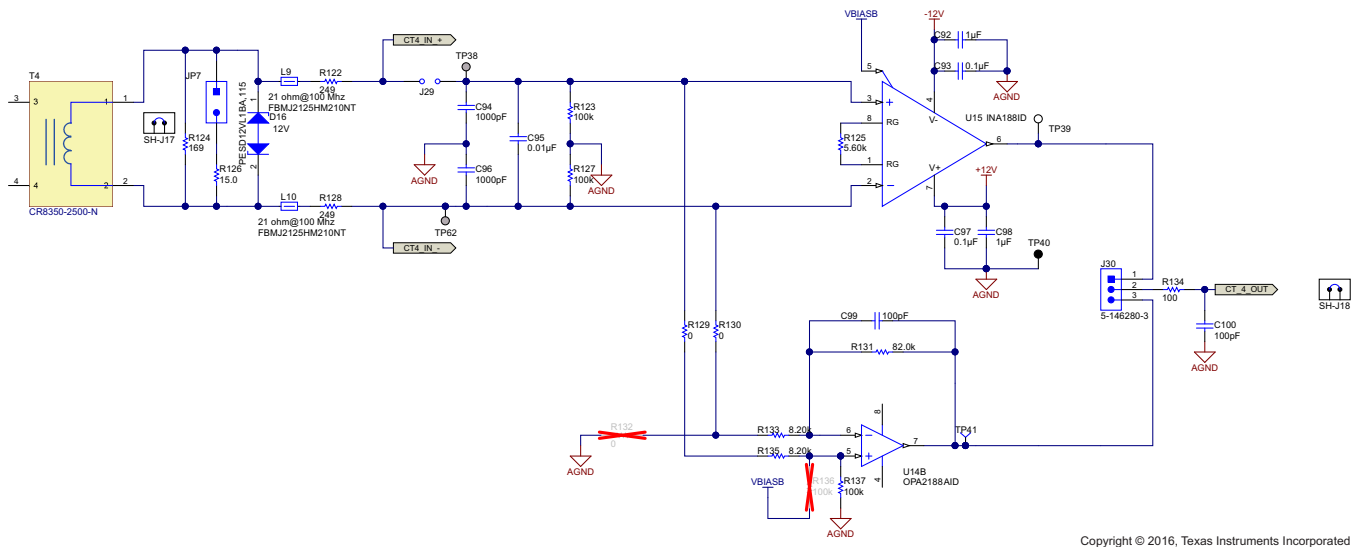


图 2. 使用放大器进行电流输入缩放

2.8.2.1 使用仪表放大器 INA188 进行测量

精确测量低压输出电流传感器的一种方法是使用仪表放大器，这可简化增益调节并提高精度。在实现了保护和测量功能的应用中，仪表放大器用于测量功能，因为通常需要对传感器输入进行增益不低于 20 的放大。在 TIDA-00834 设计中，输出增益被配置为 10。INA188 是一款精密仪表放大器，采用 TI 的专有自动归零技术实现近零偏移和增益漂移以及出色的线性。

有关 INA188 36V、零漂移、轨至轨输出仪表放大器的更多详细信息，请参阅工具文件夹，网址：<http://www.ti.com.cn/product/cn/INA188>。

2.8.2.2 使用精密运算放大器 OPA2188 或 OPA2180 进行测量

用于测量电流传感器的低压输出的另一种方法是使用精密运算放大器。这类运算放大器均在差分放大器模式下使用，以便实现最大精度。OPA2188 运算放大器提供低偏移电压（最大为 25 μ V），并可实现接近于零的时间和温度漂移。此高精度低静态电流放大器提供高输入阻抗和摆幅在电源轨 15mV 之内的轨至轨输出。输入共模范围包括负电源轨。在 4V 至 36V (\pm 2V 至 \pm 18V) 范围内，该器件既可使用单电源，也可以使用双电源。它的增益设置为 10，以将传感器输出缩放到 ADC 输入范围。运算放大器的选择基于系统性能要求和应用理想之选。

有关 0.03 μ V/ $^{\circ}$ C、6 μ V V_{OS} 、低噪声、轨至轨输出、36V 零漂移 OPA2188 运算放大器的更多详细信息，请参阅产品文件夹：<http://www.ti.com.cn/product/cn/OPA2188>。有关 0.1 μ V/ $^{\circ}$ C 漂移、低噪声、轨至轨输出、36V 零漂移 OPA2180 运算放大器的更多详细信息，请参阅产品文件夹：<http://www.ti.com.cn/product/cn/OPA2180>。

或者，对于成本敏感型应用，可以使用 OPA2171。OPA2171 是一款 36V、单电源、低噪声运算放大器，能够在 2.7V ($\pm 1.35V$) 至 36V ($\pm 18V$) 的电源电压范围内运行。该器件具有低失调电压、漂移和带宽以及低静态电流。大多数运算放大器仅有一个指定电源电压，OPA2171 系列则有所不同，可在 2.7V 至 36V 的额定电压范围内运行。超过电源轨的输入信号不会导致相位反转。输入可在负电源轨以下 100mV 到顶轨以上 2V 范围内正常运行。有关 OPA2171 的更多详细信息，请参阅位于 <http://www.ti.com.cn/product/cn/OPA2171> 的产品文件夹。

2.8.2.3 电流互感器

该设计中使用的电流互感器是 CR8350-2500-N，它是一款 100A、1:2500 电流传感互感器，57 Ω 穿孔、实心型且精度为 $\pm 0.2\%$ 。有关更多详细信息，请参阅以下产品页面：<http://www.digikey.com/product-detail/en/cr-magnetics-inc/CR8350-2500-N/582-1015-ND/1045171>。有关电流互感器的更多详细信息，请咨询 CR Magnetics Inc.。

2.8.2.4 隔离放大器的输出连接

设计中提供了一种配置来禁用 CT 输出并将来自 AMC1200、AMC1100 或 AMC1301 等隔离放大器的输出连接到差分放大器输入，以通过分流器测量电流。

2.8.2.5 仪表放大器和运算放大器选择

设计中提供了一种配置，用于选择是使用仪表放大器输出还是精密放大器输出来进行电流输入测量。3.1 节提供关于跳线的更多详细信息。

2.8.2.6 电流输入范围计算

表 3 提供了可通过 DAQ AFE 测量的最大电流输入范围的计算数据。

表 3. 电流输入测量范围计算

参数	规格
负载 (Ω)	13.7780
最大输入 (V_{RMS})	7.0700
仪表放大器增益 (A)	9.9200
最大放大器输入 (V_{RMS})	0.7127
最大二次电流 (mA_{RMS})	51.7275
初级电流 (A_{RMS})	129.3180

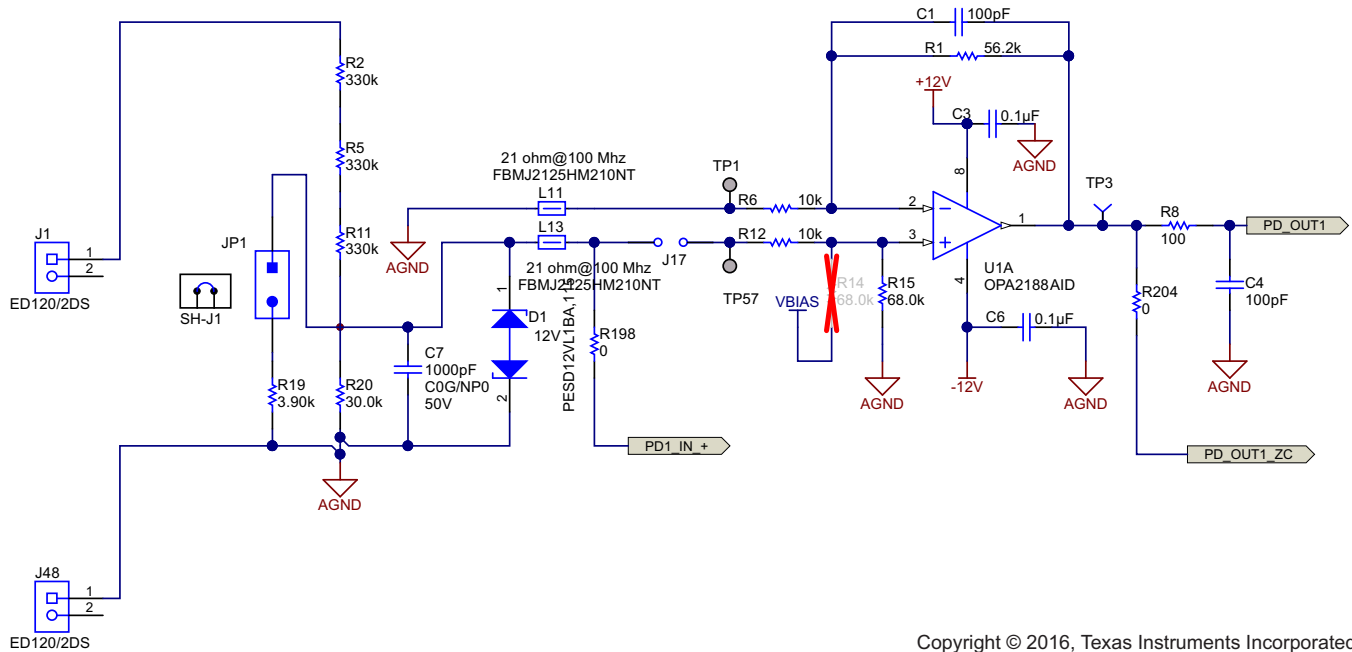
2.8.3 电压输入信号调节

2.8.3.1 使用分压器和 OPA2188 或 OPA2180 运算放大器进行测量

测量分压器的低压输出的方法是使用精密运算放大器。这类运算放大器均在差分放大器模式下使用，以便实现最大精度。OPA2188 运算放大器提供低偏移电压（最大为 25 μV ），并可实现接近于零的时间和温度漂移。此高精度低静态电流放大器提供高输入阻抗和摆幅在电源轨 15mV 之内的轨至轨输出（请参阅图 3）。输入共模范围包括负电源轨。在 4V 至 36V ($\pm 2V$ 至 $\pm 18V$) 范围内，该器件既可使用单电源，也可以使用双电源。它的增益设置为 5.6，以将传感器输出缩放到 ADC 输入范围。运算放大器的选择基于系统性能要求和应用理想之选。

有关 OPA2188 或 OPA2180 的更多详细信息，请参阅相应的产品文件夹，网址：<http://www.ti.com.cn/product/cn/OPA2188> 或 <http://www.ti.com.cn/product/cn/OPA2180>。

分压器的输入阻抗选择为 $\approx 1\text{ M}\Omega$ ，这是针对电压测量规定的典型输入阻抗。分压器值可以缩放为更高的值，从而在需要更高阻抗的应用中保持比率。



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

图 3. 使用精密放大器进行电压信号调节

2.8.3.2 使用精密运算放大器 OPA2188 和隔离放大器 AMC1301 或 ISO224 进行测量

测量电压的传统方法是使用电压互感器。电压互感器提供隔离和足够的测量精度。这些互感器价格昂贵且体积庞大。一种替代方案是使用电阻分压器测量电压，其限制是电阻分压器不提供隔离。使用隔离放大器是在使用电阻分压器的情况下提供隔离的一种方法。

具有基础型或增强型隔离的隔离放大器可用于此应用中。隔离放大器的输入电压范围为 $\pm 250\text{mV}$ 、固定增益为 8（精度为 0.5%），并具有带直流共模电压的输出信号。

精密运算放大器用于将隔离放大器的输出缩放到 ADC 范围。这类运算放大器均在差动放大器模式下使用，以便实现最大精度并去除共模直流输出。

OPA2188 运算放大器提供低偏移电压（最大为 $25\mu\text{V}$ ），并可实现接近于零的时间和温度漂移。此高精度低静态电流放大器提供高输入阻抗和摆幅在电源轨 15mV 之内的轨至轨输出。输入共模范围包括负电源轨。在 4V 至 36V ($\pm 2\text{V}$ 至 $\pm 18\text{V}$) 范围内，该器件既可使用单电源，也可以使用双电源。

有关 OPA2188、OPA2180、AMC1301 或 AMC1100 的更多详细信息，请参阅相关的产品文件夹，网址：<http://www.ti.com.cn/product/cn/OPA2188>、<http://www.ti.com.cn/product/cn/OPA2180>、<http://www.ti.com.cn/product/cn/AMC1301> 和 <http://www.ti.com.cn/product/cn/AMC1100>。

对于传感器输出为 $\pm 10\text{V}$ 且需要隔离测量的应用，可以考虑 ISO224。ISO224 是一款精密的隔离放大器，此放大器的输出与输入电路由抗电磁干扰性能极强的隔离栅隔开。ISO224 的输入专门针对精确感应 $\pm 10\text{V}$ 信号进行了优化，这些信号广泛用于电网应用。该器件由高侧单电源供电。集成的高侧电源电压检测功能可简化系统级诊断。ISO224 的 $\pm 4\text{V}$ 输出可支持使用更低成本的模数转换器 (ADC)。输出的差分结构具有更强的抗噪性能。有关 ISO224 的更多详细信息，请参阅位于 <http://www.ti.com.cn/product/cn/ISO224> 的产品文件夹。

2.8.4.2 使用 LM27762 的 ±5V 逆变器和 LDO

在 ADC 配置为 ±5V 输入的应用中，LM27762 可被视为可行的选择，因为它简化了整个系统设计。LM27762 器件提供极低噪声的正输出和负输出，可在 ±1.5V 至 ±5V 之间调节。输入电压范围指定为 2.7V 至 5.5V，输出电流高达 ±250mA。LM27762 器件的工作电流仅为 390μA，典型关断电流为 0.5μA，可为功率放大器、DAC 偏置和其他高电流、低噪声负电压要求提供理想的性能。该器件通过 5.5V 输入实现 ±5.2V 的输出电压。在将具有轨至轨输出的放大器连接到 ±5V 输入 ADC 并且需要测量完整范围的应用中，该规格非常有用。

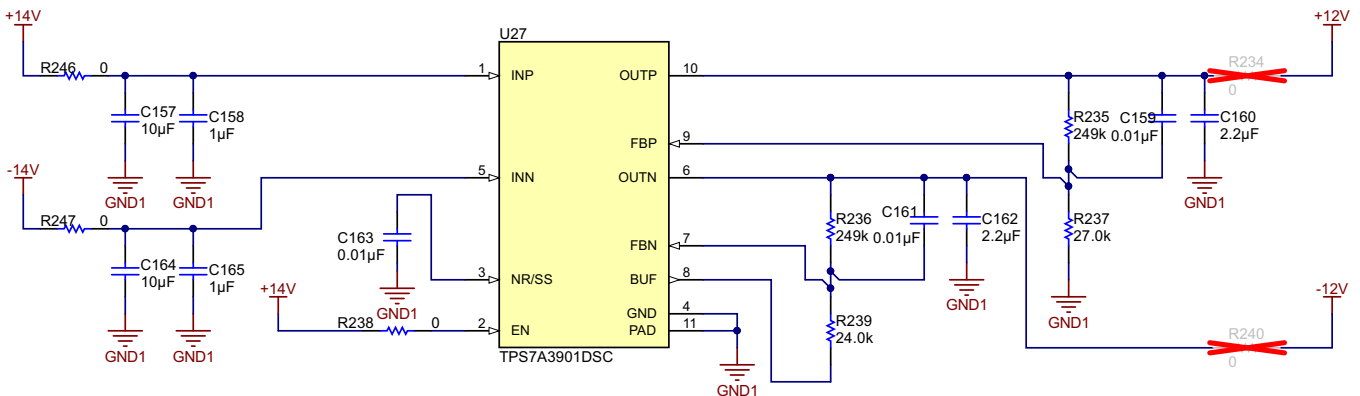
有关 LM27762 的更多详细信息，请参阅产品文件夹，网址：<http://www.ti.com.cn/product/cn/lm27762>。

或者，可以使用变压器驱动器 SN6501 或 SN6505B 来生成所需的双电源。有关变压器驱动器解决方案的更多详细信息，请访问 <http://www.ti.com.cn/zh-cn/isolation/transformer-driver/products.html>。

2.8.4.3 使用 TPS7A39 的 ±12V 直流输出双路 LDO

双路 150mA 正负 LDO TPS7A39 可用于调节 TPS65131 直流/直流转换器的输出。该 LDO 的输出连接到放大器级。TPS7A39 器件是双路单片、高 PSRR、正负极低压降 (LDO) 稳压器，可支持高达 150mA 的拉电流（和灌电流）。该器件的稳压输出可在外部独立调节为对称或不对称电压，因此这款双路双极电源非常适合进行信号调节。这些功能使得 TPS7A39 成为一款适合为运算放大器、数模转换器 (DAC) 以及其他精密模拟电路供电的强大而简单的解决方案。要配置双路输出 LDO 为增益放大器供电，应当装配 R234 和 R240，并取消装配 FB2 和 FB3。

有关 TPS7A39 的更多详细信息，请参阅产品文件夹，网址：<http://www.ti.com.cn/product/cn/TPS7A39>。



Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

图 6. 采用双路 LDO 配置的增益放大器电源

注：如果应用中反向电流过大，则必须使用外部保护以保护器件（请参阅 TPS7A39 数据表中的图 70：正电源轨使用肖特基二极管进行逆电流保护的示例电路）。

2.8.4.4 ±13V LDO

我们使用一个 LDO 来调节 TPS65131 直流/直流转换器的输出。该 LDO 的输出连接到放大器级。该设计实现了正负输出型稳压器的使用。所选择的 LDO 具有比 DAQ AFE 要求的电流更高的额定电流，以应对未来的扩展。TPS7A30 系列线性稳压器适用于后置直流/直流转换器稳压。通过滤除直流/直流开关转换所固有的输出电压纹波，可最大限度地提高灵敏仪表、测试和测量、音频以及射频应用中的系统性能理想之选。要配置单独 LDO 输出为增益放大器供电，应当装配 FB2 和 FB3，并取消装配 R234 和 R240。这是此设计的默认配置。

TLV1117 器件是一款正极 LDO 电压稳压器，其设计旨在提供高达 800mA 的输出电流。该器件具有 1.5V、1.8V、2.5V、3.3V、5V 和可调输出电压选项。指定的最大压差电压为 1.3V（电流为 800mA），该值在较低的负载电流时会降低。

有关 TPS7A30 或 TLV1117 的更多详细信息，请参阅相应的产品文件夹，网址：<http://www.ti.com.cn/product/cn/TPS7A30> 或 <http://www.ti.com.cn/product/cn/TLV1117>。

2.8.4.5 5V (LP2951) 和 3.3V (TPS71533DCK) LDO

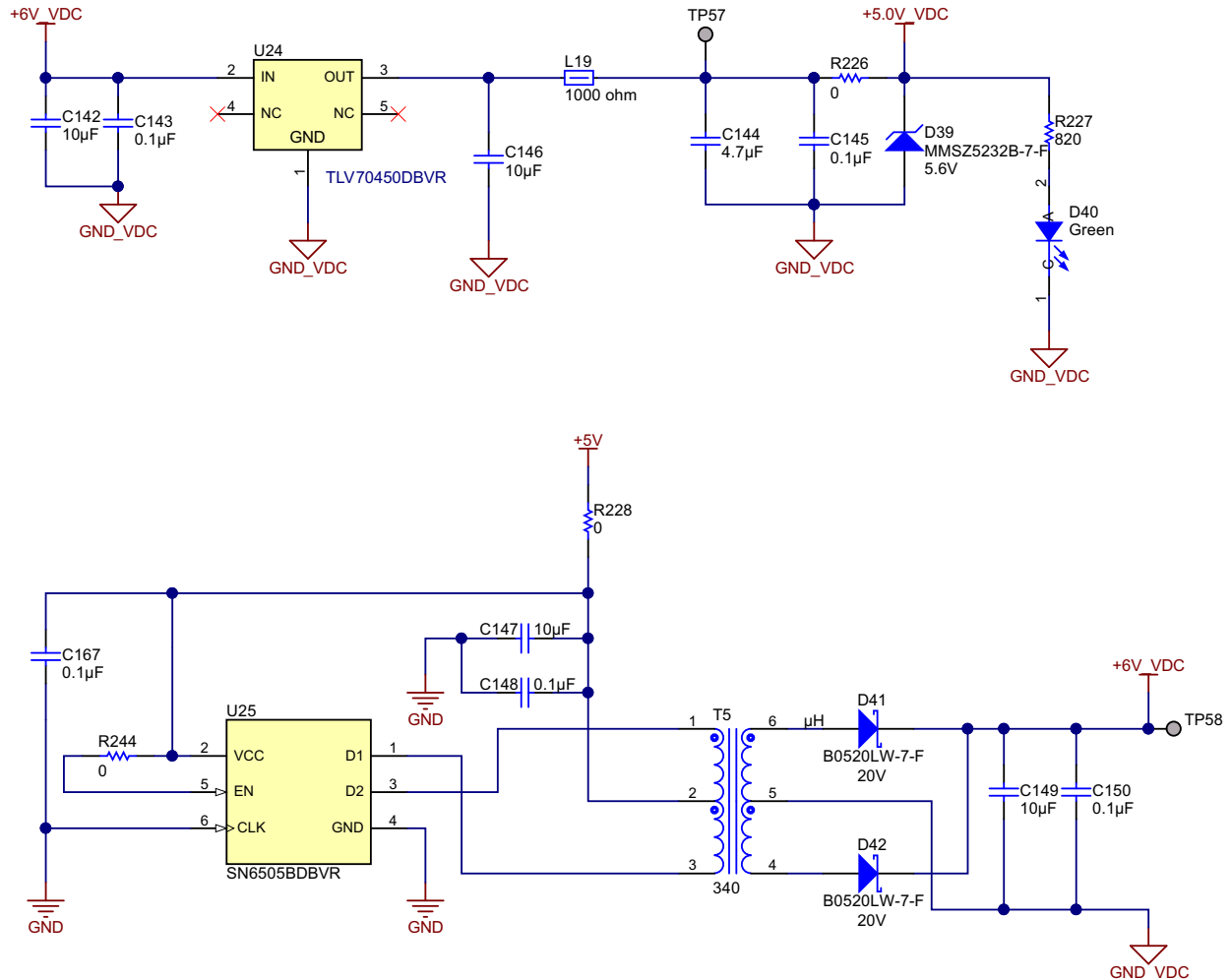
TPS715 LDO 电压稳压器具有高输入电压、LDO 电压、低功耗运行和小型化封装等优点。此类器件在 2.5V 至 24V 的输入范围内工作，它们可使用任何电容大于或等于 0.47μF 的电容器实现稳定运行。LDO 电压和低静态电流允许在极低功耗水平下运行。低静态电流（通常为 3.2μA）在整个输出负载电流（0mA 至 50mA）范围内都是稳定的。

LP2951 器件是双极、LDO 电压稳压器，它可以适应高达 30V 的宽输入电源电压范围。8 引脚 LP2951 能够从同一器件输出固定输出或可调输出。通过将 OUTPUT 和 SENSE 引脚连接在一起，以及将 FEEDBACK 和 VTAP 引脚连接在一起，LP2951 器件可根据版本的不同提供 5V、3.3V 或 3V 的固定输出。或者，通过将 SENSE 和 VTAP 引脚保持在断开状态，并且将 FEEDBACK 连接至一个外部电阻分压器，可将输出设定为 1.235V 至 30V 之间的任一值。

有关 LP2951 的更多详细信息，请参阅产品文件夹，网址：<http://www.ti.com.cn/product/cn/LP2951>。

2.8.4.6 隔离式电源

为隔离放大器的高侧供电所需的隔离式电源由互感器驱动器和 LDO 生成，如以下图 7 中原理图所示。



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

图 7. 使用互感器驱动器和 LDO 生成隔离式电源

2.8.4.7 使用变压器驱动器 SN6505B 的直流/直流转换器

可以考虑使用 SN6505B 为对电磁干扰 (EMI) 敏感的应用或需要符合 EN55022 或 EN55011 标准的应用生成隔离式电源。SN6505B 是一款低噪声、低 EMI、推挽式互感器驱动器，专为小型隔离式电源而设计。该器件通过 2.25V 至 5V 的直流电源来驱动低厚度、中间抽头式互感器。通过输出开关电压的转换速率控制和扩频时钟 (SSC) 可实现超低噪声和 EMI。SN6505B 包含一个振荡器，之后是一个栅极驱动器电路，此电路提供补偿输出信号以驱动接地基准型 N 通道电源开关。该器件包含两个 1A 功率 MOSFET 开关，以确保在重载下启动。开关时钟也可由外部提供，这样可确保准确定位开关谐波或者与多个互感器驱动器搭配使用。内部保护功能包括一个 1.7A 的电流限制、欠压锁定 (UVLO)、热关断且先断后通型电路。SN6505B 具有软启动特性，可防止大负载电容器在上电过程中出现高浪涌电流。SN6505B 采用小型 6 引脚 SOT23/DBV 封装。该器件的运行温度范围为 -55°C 至 125°C。

有关 SN6505B 的更多详细信息，请参阅相应的产品文件夹，网址：<http://www.ti.com.cn/product/cn/SN6505A> 或 <http://www.ti.com.cn/product/cn/SN6505B>。

或者，可以为需要较低输出电流的应用使用 SN6501，这是一款用于隔离式电源的低噪声、350mA、410kHz 变压器 驱动器。

有关 SN6501 的更多详细信息，请参阅位于 <http://www.ti.com.cn/product/cn/SN6501> 的产品文件夹。

2.8.5 稳定基准（用于未来扩展）

2.8.5.1 2.5V 基准 — REF5025 和缓冲器 OPA322

REF50xx 是一系列低噪声、低漂移、极高精密电压基准。这些基准同时支持灌电流和拉电流，并且具有出色的线路和负载调节性能。它们使用了专有的设计技术，可实现出色的温度漂移 (3ppm/°C) 和高精度 (0.05%)。这些功能与极低噪声相结合，使 REF50xx 系列非常适用于高精度 DAQ 系统。

OPA322 单通道 CMOS 运算放大器具有低噪声和轨至轨输入和输出，并针对低功耗、单电源应用进行了应用的理想之选。

1.8V 至 5.5V 的宽电源范围以及每通道的低静态电流使得这些器件非常适合于功耗敏感型应用理想之选。

有关 REF5025 或 OPA322 20MH 的更多详细信息，请参阅相应的产品文件夹，网址：<http://www.ti.com.cn/product/cn/REF5025> 或 <http://www.ti.com.cn/product/cn/OPA322>。

2.8.5.2 基准选择跳线

可以使用表 5 中的以下跳线将基准配置为正电压或接地。

表 5. 基准跳线配置

跳线	+2.5V	0V
J13	1-2	2-3
J47	1-2	2-3

2.8.6 设计增强功能

2.8.6.1 可连接到 DAQ 系统的其他 TI ADC

DAQ 系统可以连接到表 6 中的以下 ADC。可以根据输入范围调整增益，使放大器输出与 ADC 输入兼容。

表 6. 可连接到 DAQ 前端的 ADC 产品

序号	直流器件型号	ADC 说明	输入范围
1	ADS131A04	24 位、128kSPS、4 通道、同步采样 $\Delta\Sigma$ ADC	$\pm 4V$
2	ADS8881	18 位、1MSPS、串行接口、低功耗、真正差动输入 SAR ADC	$\pm 5V$
3	ADS9110	18 位、680kSPS、串行接口、低功耗、微型、真正差动输入 SAR ADC	$\pm 5V$
4	ADS8698	18 位 SAR ADC，8 通道、500kSPS 且在 +5V 电源上具有双极输入	$\pm 10.24V$
5	ADS8688	16 位 SAR ADC，4 通道、500kSPS 且在 +5V 电源上具有双极输入	$\pm 10.24V$
6	ADS8555	16 位、6 通道、同步采样 ADC	$\pm 12V$

2.8.6.2 运算放大器选择

电流设计已经通过 OPA2180 和 OPA2188 精密放大器进行了测试。TI 拥有一个精密放大器产品组合，以下表 7 列出了可基于应用要求考虑使用的运算放大器。

表 7. 适用于 DAQ 前端的精密运算放大器选择

序号	运算放大器器件型号	运算放大器 说明
1	OPA2197	36V 精密轨至轨输入/输出、低偏移电压运算放大器
2	OPA2192	使用电子修整的 36V 精密 RRIO 低偏移电压、低输入偏置电流运算放大器
3	OPA2172	36V 单电源 10MHz 轨至轨输出运算放大器
4	OPA2277	10 μ V、0.1 μ V/ $^{\circ}$ C 高精度低功耗运算放大器
5	OPA2131	通用 FET 输入运算放大器

2.8.6.3 仪表放大器选择

电流设计已经通过 INA188 仪表放大器进行了测试。TI 拥有一个仪表放大器产品组合，以下表 8 列出了可基于应用要求考虑使用的放大器。

表 8. 适用于 DAQ 前端的仪表选择

序号	运算放大器器件型号	仪表放大器 说明
1	INA827	增益大于 5 的 200 μ A、2.7V 至 36V 精密电源仪表放大器
2	INA826	200 μ A 电源电流、36V 电源精密仪表放大器
3	INA163	低噪声、低失真仪表放大器
4	INA126	低功耗仪表放大器 – 单路和双路版本
5	INA821	35 μ V 失调电压、7nV/ \sqrt Hz 噪声、低功耗、精密仪表放大器
6	INA828	50 μ V 失调电压、7nV/ \sqrt Hz 噪声、低功耗、精密仪表放大器

2.8.6.4 连接到其他使用磁通门传感器的 TI 设计

磁通门电流传感器用于测量电网基础设施应用中的交流或直流 电流理想之选。推荐用于电流测量的磁通门传感器包括 DRV421 和 DRV425。您可以考虑使用以下 TI 设计将磁通门电流传感器输出连接到 DAQ 前端：

- TIDA-00201: <http://www.ti.com.cn/tool/cn/TIDA-00201>
- TIDA-00208: <http://www.ti.com.cn/tool/cn/TIDA-00208>
- TIDA-00905: <http://www.ti.com.cn/tool/cn/TIDA-00905>

2.8.6.5 板载温度传感器

在精密电源测量 应用中，测量系统会根据实时温度读数自动调节其校准参数。系统中会提供板载传感器来进行温度测量。对于这些应用，可以考虑采用具有模拟输出 LMT70/TMP235 或数字输出 LM92/TMP112 的温度 传感器。对于测量温度和湿度的应用，可以考虑采用 HDC1080 或 HDC2010。

2.8.6.6 连接到 AM437x 处理器系列

ADS8588S EVM 上提供了一个接口接头，用于轻松连接到精密主机接口 (PHI) 控制器板。PHI 控制器板使用 Spartan-6 SLX16 和 AM335x 器件实现 ADC 和 GUI 之间的连接。TI 提供的其他系列处理器可以考虑用于与 ADS8588S EVM 进行连接。

Sitara™ AM437x 处理器具有：

- 可扩展的 ARM® Cortex®-A9，范围为 300MHz 至 1GHz
- 适用于增强型用户界面的 3D 图形选项
- 用于工业以太网协议和位置反馈控制的四核可编程实时单元子系统和工业通信子系统 (PRU-ICSS)
- 客户可编程的安全启动选项

有关更多详细信息，请参阅工具文件夹，网址：<http://www.ti.com.cn/tool/cn/TIDEP0025>。

2.8.6.7 连接到 AM572x 处理器系列

ARM® Cortex®-A15 处理器已在多个不同市场中得到验证，而且在网络基础设施领域越来越受欢迎，它可以提供高性能的处理能力，而且具有低功耗特性。Cortex-A15 处理器提供的性能大约是 Cortex-A9 处理器的两倍，可达到 3.5 DMIPS/MHz。

有关更多详细信息，请参阅工具文件夹，网址：<http://www.ti.com.cn/tool/cn/TIDEP0076>。

2.8.6.8 使用分流器测量电流

可以修改 DAQ AFE，以使用低值精密 Manganin® 分流器测量电流。有关详细信息，请参阅以下 TI 设计：

- TIDA-00738: <http://www.ti.com.cn/tool/cn/TIDA-00738>
- TIDA-00810: <http://www.ti.com.cn/tool/cn/TIDA-00810>
- TIDA-00835: <http://www.ti.com.cn/tool/cn/TIDA-00835>
- TIDA-00912: <http://www.ti.com.cn/tool/cn/TIDA-00912>
- TIDA-00445: <http://www.ti.com.cn/tool/cn/TIDA-00445>
- TIDA-020018: <http://www.ti.com.cn/tool/cn/TIDA-020018>

对于使用分流器进行电流测量，可以考虑使用表 9 中显示的以下隔离放大器。

表 9. 隔离放大器选择表

器件	说明
AMC1301	用于电流感应的精密增强型隔离放大器
AMC1302	具有 $\pm 50\text{mV}$ 输入和高 CMTI 的精密增强型隔离放大器
AMC1300	适用于电流感应的增强型隔离放大器
AMC1300B	适用于电流感应的增强型隔离放大器
AMC1200	用于电流感应的 $\pm 250\text{mV}$ 输入基本隔离式放大器
AMC1100	$\pm 250\text{mV}$ 输入基本隔离式放大器

2.8.6.9 ADS8588S 的隔离式接口

本节提供了使用串行接口连接 ADS8588S 时实现隔离式接口的方法。表 10 中显示的以下信号用于在使用串行接口连接 ADC 时最大程度地提高性能。

表 10. ADS8588S 与主机处理器之间的接口信号

功能	主机侧（处理器）	ADS8588S ADC 侧
CONVSTA	输出	输入
CONVSTB	输出	输入
DOUTA	输入	输出
DOUTB	输入	输出
SCLK	输出	输入
/CS	输出	输入
FRSTDATA	输入	输出
BUSY	输入	输出

对于隔离，每个信号需要一个隔离通道。根据性能要求，可以对接口进行优化，以最大程度地减少隔离通道，如表 11 所示。

表 11. ADS8588S 与主机之间的经优化的接口信号

功能	主机侧（处理器）	ADS8588S ADC 侧
CONVSTA 和 CONVSTB 短接	输出	输入
DOUTA	输入	输出
SCLK	输出	输入
/CS	输出	输入

可以通过多种方法来实现隔离式接口。通过使用数字隔离器来实现隔离，可以提供更高的性能和可靠性。可以使用以下器件来实现隔离式接口。可以使用外部直流/直流转换器或变压器驱动器来生成所需的隔离式电源。或者，可以使用具有集成电源的数字隔离器。表 12 列出了一些常用于隔离的器件。

表 12. 用于实现隔离式接口的器件

器件	说明
ISOW7841	具有集成电源的高效、低辐射、增强型数字隔离器
ISO7841	具有高抗扰性的 5.7kVRMS 增强型四通道 3/1 100Mbps 数字隔离器
ISO7741	具有强大 EMC 性能的高速低功耗四通道数字隔离器
DCH010505S	微型 1W、3k VDC 隔离式直流/直流转换器
DCR010505	微型 1W 隔离式稳压直流/直流转换器
DCP010505	微型 1W 隔离式非稳压直流/直流转换器
SN6501	适用于隔离式电源的低噪声 350mA、410kHz 变压器驱动器
SN6505B	适用于隔离式电源的低噪声 1A、420kHz 变压器驱动器

2.8.6.10 负 LDO 选择

输入端的信号调节放大器需要双电源。可以考虑使用以下 LDO 来生成所需的负电压电源，如表 13 所示。

表 13. 适用于双电源输出的 LDO 选择

LDO	说明
TPS7A30	-3V 至 -36V 输入电压、-200mA、超低噪声、高 PSRR、低压降 (LDO) 线性稳压器
TPS723	200mA 负输出低压降 (LDO) 线性稳压器
TPS7A3401	-20V、-200mA、低噪声、负电压低压降线性稳压器

3 硬件、测试要求和测试结果

3.1 所需硬件

测试 AFE 需要以下连接：

- 直流电源
- 基于输入选择的跳线配置
- 交流电压和电流输入选择
- 电流输入
- 使用 PHI 控制器板连接到 EVM
- 用于相干采样的连接

已提供连接器来连接输入。必须注意使用正确的连接器，我们在以下子章节中对这些连接器进行了定义。

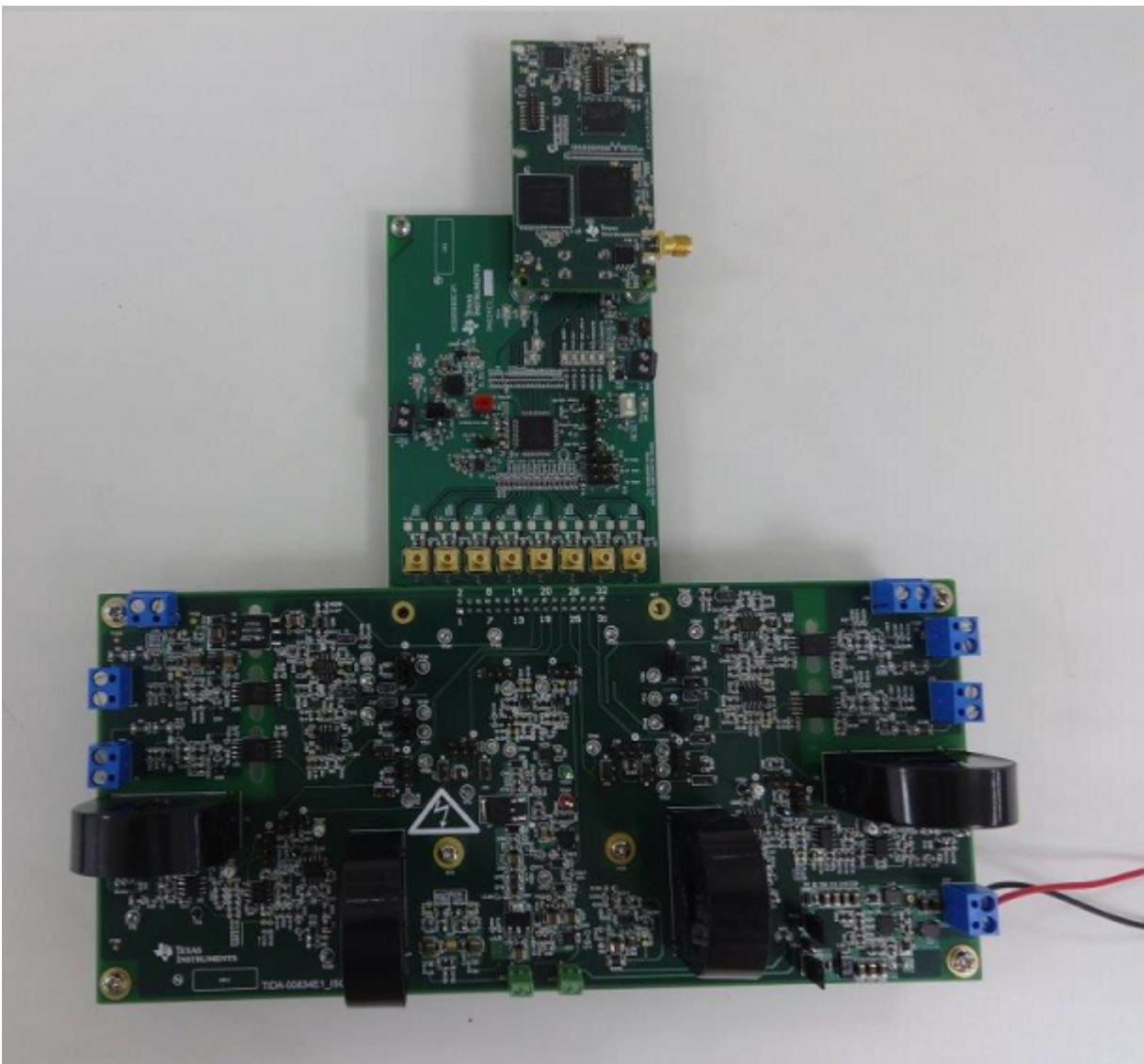


图 8. 用以进行性能测试的 DAQ 前端设置

3.1.1 电源跳线

3.1.1.1 外部直流输入

5V 的直流输入通过表 14 中所述的跳线进行连接。该 5V 输入可生成所需的所有电源。

表 14. 外部直流输入连接

跳线	引脚	说明
J10	1	DC_IN
	2	AGND

3.1.1.2 选择 $\pm 5V$ 或 $\pm 14V$ 以用于 *TIDA-00834_Isolated*

表 15 提供有关用于为信号调节电路选择直流电压的跳线配置的信息。

表 15. 用于配置信号调节所需不同电源电压的跳线

电源	跳线	安装	拆除
$\pm 14V$	+14V	J15	R198
	-14V	J16	R233
$\pm 5V$	+5V	R198	J15
	-5V	R233	J16

3.1.1.3 将外部 $\pm 15V$ 应用于信号调节电路

表 16 提供有关用于为信号调节电路选择外部直流电压的跳线配置的信息。

表 16. 用于应用外部 $\pm 15V$ 的跳线

电源	跳线	连接输入	拆除
$\pm 14V$	+14V	J11	J15
	-14V	J12	J16

3.1.1.4 外部 +15V 和 -15V 的连接

表 17 提供用于连接 $\pm 15V$ 外部输入以驱动 DAQ 前端的连接器引脚信息。

表 17. 连接 +15V 输入和 -15V 输入

电源	电源类型	连接输入	引脚编号
+15V	+15V_Inp	J11	1
	+15V_GND		2
-15V	-15V_Inp	J12	1
	-15V_GND		2

3.1.2 DAQ 前端接口

3.1.2.1 电流输入

3.1.2.1.1 使用电流互感器的电流输入

表 18 描述了可以为交流电流输入建立的用以支持 DAQ AFE 所执行的测量操作的电流互感器连接。

表 18. 电流输入连接

电流输入	ADC 通道	电流互感器
1	ADC_Ch5	T1
2	ADC_Ch6	T2
3	ADC_Ch7	T3
4	ADC_Ch8	T4

3.1.2.1.2 电流互感器的较高负载配置

表 19 提供有关可用于配置电流互感器负载的跳线的信息。我们可以使用跳线配置来增加或减少负载。

表 19. 电流互感器负载配置

电流输入	电流互感器	跳线	较低负载	较高负载
1	T1	JP3	安装	拆除
2	T2	JP4	安装	拆除
3	T3	JP5	安装	拆除
4	T4	JP6	安装	拆除

3.1.2.1.3 到 ADC 的较高负载输出配置

表 20 介绍了可用于配置具有较高负载值的电流互感器输出以支持测量操作的跳线。

表 20. 高负载电流互感器输出（到 ADC）配置

电流输入	电流互感器	跳线	较低负载	较高负载
1	T1	JP19	安装	拆除
2	T2	JP26	安装	拆除
3	T3	JP27	安装	拆除
4	T4	JP29	安装	拆除

3.1.2.1.4 在放大器、具有较高负载的 CT 和外部 CT 三种输出之间进行选择

表 21 描述了可用于配置连接 ADC 输入的 DAQ AFE 输出的跳线。

表 21. 用于选择连接到 ADC 的电流测量输出的跳线配置

ADC 通道	跳线	运算放大器输出	CT 输出	外部输入
ADC_CH5	J20	—	2-3	1-2
	J6	2-3	1-2	1-2
	J22	—	2-3	1-2
ADC_CH6	J21	—	2-3	1-2
	J7	2-3	1-2	1-2
	J23	—	2-3	1-2
ADC_CH7	J37	—	2-3	1-2
	J39	2-3	1-2	1-2
	J41	—	2-3	1-2
ADC_CH8	J38	—	2-3	1-2
	J40	2-3	1-2	1-2
	J42	—	2-3	1-2

3.1.2.1.5 在仪表放大器和精密放大器之间进行选择

表 22 描述了可用于配置电流测量所需的信号调节放大器输出的跳线。

表 22. 信号调节放大器输出选择

电流输入	电流互感器	跳线	INA 放大器	精密放大器
1	T1	J5	1-2	2.3
2	T2	J14	1-2	2.3
3	T3	J28	1-2	2.3
4	T4	J30	1-2	2.3

3.1.2.2 非隔离式电压输入

3.1.2.2.1 电压输入

表 23 介绍了可用于连接电压输入的用以支持 DAQ AFE 所执行的测量操作的连接器。

表 23. 电压输入连接

电压输入	ADC 通道	连接器
1	ADC_CH1	J1-Pin1
2	ADC_CH2	J2-Pin1
3	ADC_CH3	J31-Pin1
4	ADC_CH4	J48-Pin1
—	基准或中性	J48-Pin1、J49-Pin1

CAUTION

在连接输入之前，请确保电压源已编程为零，并且输出已经关闭。另请确保将回线连接到 J48 或 J49 连接器。

3.1.2.2.2 分压器的高压输出配置

表 24 介绍了用于通过更改分压因子来配置分压器输出的跳线。

表 24. 分压器输出的较高输出配置

电压输入	ADC 通道	跳线
1	ADC_CH1	JP1
2	ADC_CH2	JP2
3	ADC_CH3	JP8
4	ADC_CH4	JP9

CAUTION

在配置跳线之前，请确保电压源已编程为零，并且输出已经关闭。

3.1.2.2.3 到 ADC 的较高分压器输出配置

表 25 描述了可用于配置到 ADC 的分压器输出以支持测量操作的跳线。

表 25. 到 ADC 的分压器输出配置

电压输入	连接器	跳线	较低输出	较高输出
1	J1-Pin1	J17	安装	拆除
2	J2-Pin1	J18	安装	拆除
3	J31-Pin1	J32	安装	拆除
4	J34-Pin1	J33	安装	拆除

3.1.2.2.4 在放大器输出、分压器和外部之间进行选择

表 26 介绍了可用于配置连接到 ADC 输入的 DAQ AFE 输出的跳线。

表 26. 到 ADC 的电压测量输出的跳线配置

ADC 通道	跳线	运算放大器输出	PD 输出	外部输入
ADC_CH1	J24	—	2-3	1-2
	J8	2-3	1-2	1-2
ADC_CH2	J25	—	2-3	1-2
	J9	2-3	1-2	1-2
ADC_CH3	J43	—	2-3	1-2
	J45	2-3	1-2	1-2
ADC_CH4	J44	—	2-3	1-2
	J46	2-3	1-2	1-2

3.1.2.3 隔离式电压输入

3.1.2.3.1 电压输入

表 27 介绍了可用于连接交流电压输入的用以支持 DAQ AFE 所执行的测量操作的连接器。

表 27. 电压输入连接

电压输入	ADC 通道	连接器
1	ADC_CH1	J1-Pin1
2	ADC_CH2	J2-Pin1
3	ADC_CH3	J31-Pin1
4	ADC_CH4	J34-Pin1
—	基准或中性	J48-Pin1、J49-Pin1

CAUTION

在连接输入之前，请确保电压源已编程为零，并且输出已经关闭。另请确保将回线连接到 J48 或 J49 连接器。

3.1.2.3.2 在放大器输出和外部输入之间进行选择

表 28 介绍了可用于配置连接到 ADC 输入的 DAQ AFE 输出的跳线。

表 28. 到 ADC 的电压输出选择的跳线配置

ADC 通道	跳线	运算放大器输出	外部输入
ADC_CH1	J17	不安装	安装
	J8	2-3	1-2
ADC_CH2	J18	不安装	安装
	J9	2-3	1-2
ADC_CH3	J24	不安装	安装
	J45	2-3	1-2
ADC_CH4	J25	不安装	安装
	J46	2-3	1-2

3.1.3 相干采样

3.1.3.1 比较器输出

表 29 提供用于将 ZCD 输出连接到 ADC EVM 的跳线的有关信息。

表 29. 用于过零检测器输出的跳线配置

电压输出	跳线	输出连接器
PD_out1	J3	TP31
PD_out2	J4	
PD_out3	J35	TP46
PD_out4	J35	

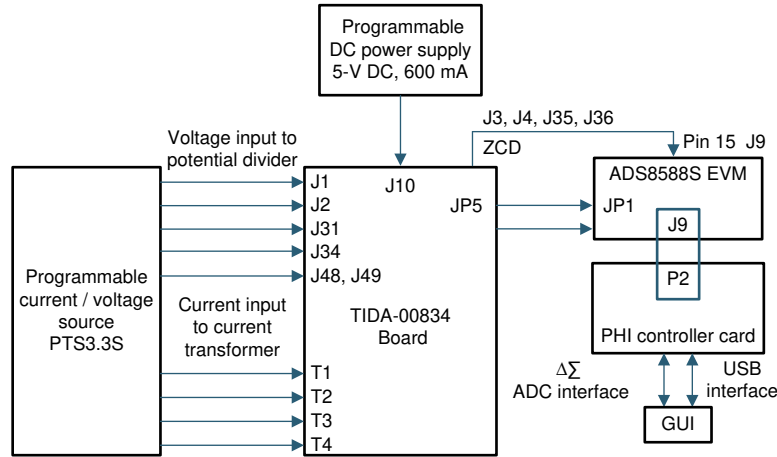
3.1.4 连接到 ADS8588S EVM JP5 的 DAQ 前端接口

设计中提供了一个连接四个电压和四个电流信号调节输入的 32 引脚连接器，用于与 ADS8588S EVM 进行连接。该 EVM 可以插入到 DAQ AFE 的接口上。

3.2 测试和结果

3.2.1 测试设置

图 9 显示使用 ADS8588S 器件评估 DAQ 系统性能的设置。



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

图 9. 用于将 TIDA-00834 与 ADS8588S EVM 和 PHI 控制器进行连接的测试设置

用于测试 DAQ AFE 的测试设置包括：

- 电流控制型直流电源
- 精确的可编程电压和电流源
- ADS8588S EVM
- 带 AM3352 器件的 PHI 控制器板
- 用于评估的 GUI

CAUTION

请确保测试工程师在源关闭的情况下建立所有连接，并使用可编程的电压和电流源进行体验。

3.2.2 测试结果

请注意以下有关测试结果的条件：

- 本节提供的所有测量值均为 RMS 值
- 源不确定性为 $\pm 0.05\%$
- 注意一定不要在测试期间打开电流输出
- 必须在交流电压和电流源输出已编程为零且输出已关闭的情况下连接输入
- 执行直流偏移并在 RMS 计算期间减去 DC 值

3.2.2.1 功能测试

功能测试通过应用直流输入并测量电源输出来完成。我们应用了所需的 AC_{RMS} 电压和 RMS 电流来测试 SAR ADC 的功能。

表 30 显示不同的电源电压和板载基准的测量。

表 30. 针对不同电源和基准的 AFE 功能测试

参数	规范	观察结果
非隔离式电源	+15V 直流/直流输出	15.220
	-15V 直流/直流输出	14.900
	+5V 直流/直流输出	14.900
	-5V 直流/直流输出	4.914
	+14V	14.200
	-13.5V	-13.760
	双路 LDO 输出 +12.2、-12.3	+12.220、-12.280
	+5V	5.067
隔离式电源	+3.3V	3.310
	+5V	5.025
基准	REF5025A 输出: 2.5V	2.501
	REF5025A 缓冲器 OPA322 运算放大器 1 输出	2.501
	REF5025A 缓冲器 OPA322 运算放大器 2 输出	2.501
	REF3025A 输出	2.501

表 31 显示了针对不同电流和电压输入的放大器输出测试结果，包括过零比较器输出。

表 31. 信号调节系统的 AFE 功能测试

参数	规范	观察结果
AFE – 电流输入测量	使用 INA 测量通道 5	正常
	使用精密放大器测量通道 5	正常
	使用 INA 测量通道 6	正常
	使用精密放大器测量通道 6	正常
	使用 INA 测量通道 7	正常
	使用精密放大器测量通道 7	正常
	使用 INA 测量通道 8	正常
	使用精密放大器测量通道 8	正常
AFE – 电压测量	使用隔离放大器和精密放大器测量通道 1	正常
	使用精密放大器测量通道 1	正常
	使用隔离放大器和精密放大器测量通道 2	正常
	使用精密放大器测量通道 2	正常
	使用隔离放大器和精密放大器测量通道 3	正常
	使用精密放大器测量通道 3	正常
	使用隔离放大器和精密放大器测量通道 4	正常
使用精密放大器测量通道 4	正常	
用于相干采样的 ZCD	电压输入 – 通道 1	正常
	电压输入 – 通道 2	正常
	电压输入 – 通道 3	正常
	电压输入 – 通道 4	正常

表 32 显示 DAQ 前端、PHI 控制器卡和人机界面 (HMI) 之间的连接的测试结果。

表 32. 使用 PHI 控制器板将 AFE 连接到 EVM

参数	规范	观察结果
ADC 接口	电压 - 通道 1	正常
	电压 - 通道 2	正常
	电压 - 通道 3	正常
	电压 - 通道 4	正常
	电流 - 通道 5	正常
	电流 - 通道 6	正常
	电流 - 通道 7	正常
	电流 - 通道 8	正常
相干采样	50Hz	正常
	60Hz	正常
ADC 每周周期采样率	每秒 50 个周期的情况下为 80	正常
	每秒 50 个周期的情况下为 256	正常
	每秒 50 个周期的情况下为 512	正常
	每秒 50 个周期的情况下为 1024	正常
	每秒 60 个周期的情况下为 80	正常
	每秒 60 个周期的情况下为 256	正常
	每秒 60 个周期的情况下为 512	正常
	每秒 60 个周期的情况下为 1024	正常
ADC 输入范围	±10V	正常
	±5V	正常
ADC 接口	串行	正常
	并行	正常
PHI 控制器板	USB 接口	正常
	GUI 功能	正常

注：我们在两个附加板上重复进行了测试并且观察结果与前述表 32 中所示结果相同。

3.2.2.2 性能测试

DAQ 前端完成了精度测试，该测试通过将其与 ADS8588S EVM 相连来实现。

EVM 针对内部基准进行了配置，并且交流输入由高精度可编程电源提供。执行测试时对 ADC 进行了以下配置：以每周周期 80 个样本进行采样并捕获五个周期的数据。

注：执行精度测试时使用的是 OPA2188、OPA2180 和 INA188 放大器。

3.2.2.2.1 交流输入测量精度

表 33 显示配置为使用精密放大器输出进行测量的测量电压的测量精度。

3.2.2.2.1.1 使用精密运算放大器测量交流电压输入的测量精度

表 33. $\pm 10V$ ADC 范围内的电压测量

电压 (V)	ADC 输入 (mV)	ACV-1 (mV)	ACV-2 (mV)	ACV-3 (mV)	ACV-4 (mV)	ACV-1 误差 (%)	ACV-2 误差 (%)	ACV-3 误差 (%)	ACV-4 误差 (%)
3	58.5716	58.990	59.006	58.920	58.916	0.714	0.742	0.595	0.588
4	78.0955	78.106	78.094	78.035	78.059	0.014	-0.002	-0.077	-0.046
5	97.6194	97.627	97.655	97.547	97.552	0.008	0.036	-0.074	-0.069
10	195.2388	195.267	195.246	195.095	195.021	0.014	0.004	-0.074	-0.122
25	488.0970	488.231	488.188	487.826	487.609	0.027	0.019	-0.055	-0.100
50	976.1940	976.724	976.488	975.888	975.469	0.054	0.030	-0.031	-0.074
110	2147.6268	2149.914	2150.507	2148.801	2147.207	0.106	0.134	0.055	-0.020
200	3904.7760	3906.183	3905.159	3902.910	3901.365	0.036	0.010	-0.048	-0.087
230	4490.4924	4492.253	4491.163	4488.549	4486.777	0.039	0.015	-0.043	-0.083
300	5857.1640	5859.704	5858.350	5854.879	5852.767	0.043	0.020	-0.039	-0.075
最小误差	—	—	—	—	—	0.008	0.004	-0.074	-0.112
最大误差	—	—	—	—	—	0.106	0.134	0.055	-0.020

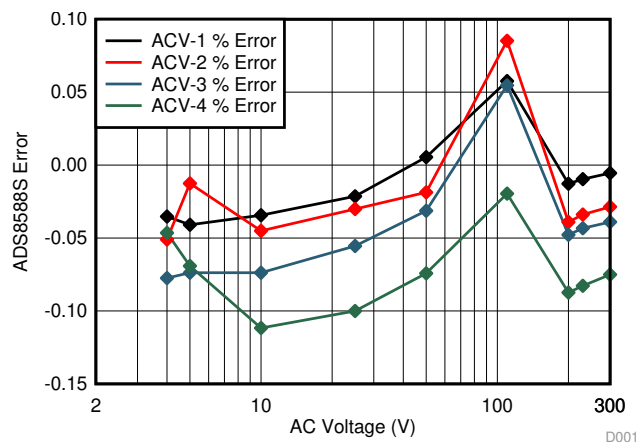


图 10. 使用基于精密运算放大器的放大器测量交流电压（电压测量，范围为 $\pm 10V$ ）

3.2.2.2.1.2 使用仪表放大器测量交流电流输入的测量精度

表 34 显示配置为使用仪表放大器输出进行测量的电流输入的测量精度。

表 34. 使用仪表放大器进行 ±10V ADC 范围内的电流测量

电流 (A)	ADC 输入 (mV)	ACI-5 (mV)	ACI-6 (mV)	ACI-7 (mV)	ACI-8 (mV)	ACI-5 误差 (%)	ACI-6 误差 (%)	ACI-7 误差 (%)	ACI-8 误差 (%)
0.1	5.4722	5.481	5.479	5.483	5.483	0.169	0.121	0.200	0.189
0.2	10.9444	10.947	10.947	10.945	10.945	0.027	0.026	0.006	0.009
0.3	16.4167	16.412	16.410	16.401	16.397	-0.030	-0.041	-0.094	-0.120
0.5	27.3611	27.362	27.370	27.341	27.321	0.004	0.031	-0.075	-0.148
1.0	54.7222	54.717	54.716	54.662	54.653	-0.009	-0.011	-0.110	-0.127
2.5	136.8056	136.886	136.951	136.775	136.777	0.059	0.106	-0.023	-0.021
5.0	273.6112	273.702	273.833	273.370	273.383	0.033	0.081	-0.088	-0.084
10.0	547.2224	547.212	547.494	546.484	546.649	-0.002	0.050	-0.135	-0.105
20.0	1094.4449	1093.979	1094.565	1093.613	1093.653	-0.043	0.011	-0.076	-0.072
50.0	2736.1122	2733.195	2735.373	2731.308	2731.298	-0.107	-0.027	-0.176	-0.176
80.0	4377.7795	4373.928	4376.577	4370.770	4370.669	-0.088	-0.027	-0.160	-0.162
100.0	5472.2244	5462.499	5465.866	5462.111	5462.088	-0.178	-0.116	-0.185	-0.185
125.0	6840.2805	6830.541	6834.835	6827.081	6826.802	-0.142	-0.080	-0.193	-0.197
最小误差	—	—	—	—	—	-0.178	-0.116	-0.193	-0.197
最大误差	—	—	—	—	—	0.169	0.121	0.200	0.189

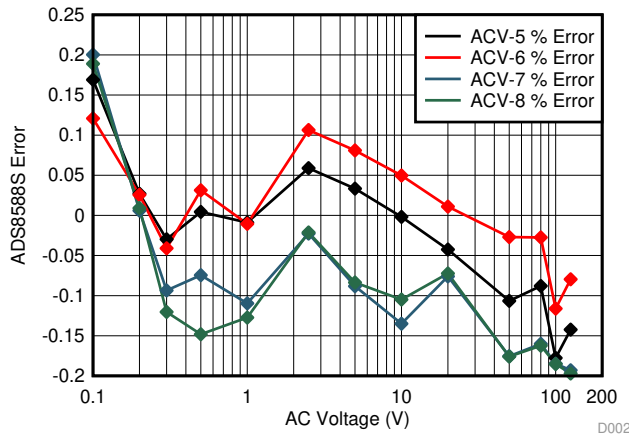


图 11. 使用仪表放大器测量交流电流 I (使用 INA 进行电流测量, 范围为 ±10V)

3.2.2.2.2 使用内部基准时的精度测量总结

本节提供了使用具有不同配置和采样率的 DAQ 前端进行的不同测量的总结。

3.2.2.2.2.1 具有 $\pm 10V$ 、50Hz ADC 输入范围时的电压输入的精度测量

表 35 提供不同输入和增益放大器配置情况下的电压输入的测量精度范围。该表通过显示输入电压范围和测量误差来给出具体的误差。

我们测量了足够多的点，以便能够根据客户的数据请求绘制图形。

表 35. 具有放大器来实现 $\pm 10V$ 、50Hz ADC 输入范围时的电压输入精度测量

输入类型	每周期样本数	平均周期数	ADC 输入通道	交流输入	最小误差 (%)	最大误差 (%)
分压器 + 精密运算放大器	80	5	1	3V 至 4V	0.0135	0.7144
				5V 至 300V	0.0079	0.1064
			2	3V 至 4V	-0.0021	0.7423
				5V 至 300V	0.0037	0.1341
			3	3V 至 4V	-0.0774	0.5945
				5V 至 300V	-0.0738	0.0546
			4	3V 至 4V	-0.0464	0.5877
				5V 至 300V	-0.1116	-0.0195
分压器 + 精密运算放大器 + 4x OSR	80	5	1	4V	0.0483	
				5V 至 300V	0.0183	0.1120
			2	4V	0.0981	
				5V 至 300V	-0.0053	0.0884
			3	4V	-0.0539	
				5V 至 300V	-0.0647	0.0430
			4	4V	-0.0432	
				5V 至 300V	-0.1024	-0.0055
分压器 + 精密运算放大器 + 隔离放大器	80	5	1	3V	0.5083	
				5V 至 300V	-0.060	0.0697
			2	3V	0.491986	
				5V 至 300V	-0.0714	0.0109
			3	3V	0.4894	
				5V 至 300V	-0.0685	0.0118
			4	3V	0.5901	
				5V 至 300V	-0.0094	0.0685

表 36 提供不带增益放大器时的电压输入的测量精度范围。

该表通过显示输入电压范围和测量误差来给出具体的误差。我们测量了足够多的点，以便能够根据客户的数据请求绘制图形。

表 36. 没有放大器来实现 $\pm 10V$ 、50Hz ADC 输入范围时的电压输入的精度测量

输入类型	每周期样本数	平均周期数	ADC 输入通道	交流输入	最小误差 (%)	最大误差 (%)
无放大的分压器	80	5	1	3V 至 4V	0.3131	1.2778
				5V 至 240V	-0.2138	0.3139
			2	3V 至 4V	0.2508	1.2032
				5V 至 240V	-0.3248	0.2508
			3	3V 至 4V	0.2593	1.2118
				5V 至 240V	-0.2619	0.2729
			4	3V 至 4V	0.2199	1.1829
				5V 至 240V	-0.3208	0.2199
无放大的 110V 电压互感器	80	5	1	1V 至 2V	0.2438	0.4677
				5V 至 150V	-0.1266	0.0177
			2	1V 至 2V	0.2233	0.4797
				5V 至 150V	-0.1350	0.0093
			3	1V 至 2V	0.2750	0.5152
				5V 至 150V	-0.1895	0.0446
			4	1V 至 2V	0.2167	0.4628
				5V 至 150V	-0.1291	0.0117

表 37 提供带精密增益放大器 OPA2180 时的电压输入的测量精度范围。该表通过显示输入电压范围和测量误差来给出具体的误差。我们测量了足够多的点，以便能够根据客户的数据请求绘制图形。

表 37. 具有 $\pm 10V$ 、50Hz ADC 输入范围 (OPA2180) 时的电压输入的精度测量

输入类型	每周期样本数	平均周期数	ADC 输入通道	交流输入	最小误差 (%)	最大误差 (%)
分压器 + 精密运算放大器 + 隔离放大器	80	5	1	3V	0.3130	
				5V 至 300V	-0.0840	0.0700
			2	3V	0.491986	
				5V 至 300V	-0.0450	0.0500
			3	3V	0.20	
				5V 至 300V	-0.0845	0.0198
			4	3V	0.20	
				5V 至 300V	-0.0250	0.0685

3.2.2.2.2 具有 $\pm 10V$ 、60Hz ADC 输入范围时的电压输入的精度测量

表 38 提供不同输入配置情况下的电压输入的测量精度范围。该表通过显示输入电压范围和测量误差来给出具体的误差。我们测量了足够多的点，以便能够根据客户的数据请求绘制图形。

表 38. 具有 $\pm 10V$ 、60Hz ADC 输入范围时的电压输入的精度测量

输入类型	每周期样本数	平均周期数	ADC 输入通道	交流输入	最小误差 (%)	最大误差 (%)
分压器 + 精密运算放大器 + 隔离放大器	80	5	1	3V	0.6803	
				5V 至 300V	-0.0757	0.0021
			2	3V	0.6949	
				5V 至 300V	-0.0762	0.0077
			3	3V	0.7443	
				5V 至 300V	-0.0311	0.0516
			4	3V	0.8042	
				5V 至 300V	0.0343	0.1122

3.2.2.2.3 具有 $\pm 5V$ 、50Hz ADC 输入范围时的电压输入的精度测量

表 39 提供不同输入配置情况下的电压输入的测量精度范围。该表通过显示输入电压范围和测量误差来给出具体的误差。我们测量了足够多的点，以便能够根据客户的数据请求绘制图形。

表 39. 具有 $\pm 5V$ 、50Hz ADC 输入范围时的电压输入的精度测量

输入类型	每周期样本数	平均周期数	ADC 输入通道	交流输入	最小误差 (%)	最大误差 (%)
分压器 + 精密运算放大器			1	2V 至 180V	-0.0775	0.1634
			2	2V 至 180V	-0.0871	0.1283
			3	2V 至 180V	-0.1872	0.0620
			4	2V 至 180V	-0.1637	0.0744
无放大的分压器	80	5	1	2V 至 3V	0.2850	0.5581
				5V 至 115V	-0.3277	0.2066
			2	2V 至 3V	0.3032	0.5615
				5V 至 115V	-0.3494	0.1308
			3	2V 至 3V	0.3237	0.5796
				5V 至 115V	-0.2970	0.3237
			4	2V 至 3V	0.3220	0.5844
				5V 至 115V	-0.3066	0.1651
仅 110V 电压互感器			1	1V 至 80V	-0.1805	0.1865
			2	1V 至 80V	-0.1835	0.1906
			3	1V 至 80V	-0.1841	0.1979
			4	1V 至 80V	-0.1848	0.1898

3.2.2.2.4 具有 $\pm 10V$ 、50Hz ADC 输入范围时的电流输入的精度测量

表 40 提供不同输入和放大器配置情况下的电流输入的测量精度范围。该表通过显示输入电压范围和测量误差来给出具体的误差。我们测量了足够多的点，以便能够根据客户的数据请求绘制图形。

表 40. 具有增益放大器来实现 $\pm 10V$ 、50Hz ADC 输入范围时的电流输入的精度

输入类型	每周样本数	平均周期数	ADC 输入通道	交流输入	最小误差 (%)	最大误差 (%)
电流互感器 + INA	80	5	5	0.1A 至 125A	-0.1777	0.1690
			6	0.1A 至 125A	-0.1162	0.1208
			7	0.1A 至 125A	-0.1929	0.2003
			8	0.1A 至 125A	-0.1970	0.1889
电流互感器 + INA + OSR			5	0.1A 至 125A	-0.1375	0.2258
			6	0.1A 至 125A	-0.0748	0.1684
			7	0.1A 至 125A	-0.2083	0.2960
			8	0.1A 至 125A	-0.2084	0.2562
电流互感器 + 精密运算放大器			5	0.1A 至 125A	-0.2089	0.1949
			6	0.1A 至 125A	-0.1016	0.1659
			7	0.1A 至 125A	-0.1073	0.1954
			8	0.1A 至 125A	-0.2106	0.1854

表 41 提供不带放大器配置时的电流输入的测量精度范围。该表通过显示输入电压范围和测量误差来给出具体的误差。我们测量了足够多的点，以便能够根据客户的数据请求绘制图形。

表 41. 没有增益放大器来实现 $\pm 10V$ 、50Hz ADC 输入范围时的电流输入的精度

输入类型	每周样本数	平均周期数	ADC 输入通道	交流输入	最小误差 (%)	最大误差 (%)
具有较高负载且无放大器的电流互感器	80	5	5	0.1A	0.3361	
				0.2A 至 105A	-0.1909	0.1750
			6	0.1A	0.2687	
				0.2A 至 105A	-0.1299	0.1895
			7	0.1A	0.1730	
				0.2A 至 105A	-0.1263	0.0681
			8	0.1A	0.0979	
				0.2A 至 105A	-0.0737	0.0889

3.2.2.2.2.5 具有 $\pm 5V$ 、50Hz ADC 输入范围时的电流输入的精度测量

表 42 提供不同输入配置情况下的电流输入的测量精度范围。该表通过显示输入电压范围和测量误差来给出具体的误差。我们测量了足够多的点，以便能够根据客户的数据请求绘制图形。

表 42. 具有 $\pm 5V$ 、50Hz ADC 输入范围时的电流输入的精度测量

输入类型	每周期样本数	平均周期数	ADC 输入通道	交流输入	最小误差 (%)	最大误差 (%)
电流互感器 + INA	80	5	5	0.06A	0.4067	
				0.1A 至 65A	-0.1790	0.2205
			6	0.06A	0.6540	
				0.1A 至 65A	-0.2049	0.1910
			7	0.06A	0.3794	
				0.1A 至 65A	-0.2005	0.2055
			8	0.06A	0.3804	
				0.1A 至 65A	-0.0605	0.2064
电流互感器 + 精密运算放大器	80	5	5	0.06A	0.544745	
				0.1A 至 65A	-0.2023	0.1830
			6	0.06A	0.3814	
				0.1A 至 65A	-0.1934	0.1104
			7	0.06A	0.1829	
				0.1A 至 65A	-0.1794	-0.0256
			8	0.06A	0.1613	
				0.1A 至 65A	-0.1561	0.0662
具有较高负载且无放大器的电流互感器	80	5	5	0.05A	0.3663	
				0.1A 至 65A	-0.1159	0.1745
			6	0.05A	0.23	
				0.1A 至 65A	-0.1366	0.056
			7	0.05A	0.525407	
				0.1A 至 65A	-0.1321	0.1430
			8	0.05A	0.1334	
				0.1A 至 65A	-0.1797	0.0139

3.2.2.2.2.6 具有 $\pm 10V$ 、50Hz ADC 输入范围时的单周期电流和电压输入的精度测量

表 43 提供不同输入配置情况下的电流和电压输入的测量精度范围。该表通过显示输入电压范围和测量误差来给出具体的误差。我们测量了足够多的点，以便能够根据客户的数据请求绘制图形。

表 43. 具有 $\pm 10V$ 、50Hz ADC 输入范围时的单周期电流和电压输入的精度测量

输入类型	每周期样本数	平均周期数	ADC 输入通道	交流输入	最小误差 (%)	最大误差 (%)
分压器 + 精密运算放大器	80	1	1	2V 至 300V	-0.1730	0.1786
			2	2V 至 300V	-0.1339	0.1830
			3	2V 至 300V	-0.1584	0.1891
			4	2V 至 300V	-0.2063	0.1785
电流互感器 + INA	80	1	7	0.1A 至 130A	-0.1735	0.3839
			8	0.1A 至 130A	-0.1540	0.2484

3.2.2.2.2.7 具有 $\pm 10V$ 、60Hz ADC 输入范围时的每周期 512 个样本情况下的电流和电压输入的精度测量

表 44 提供不同输入配置情况下的电流和电压输入的测量精度范围。该表通过显示输入电压范围和测量误差来给出具体的误差。我们测量了足够多的点，以便能够根据客户的数据请求绘制图形。

表 44. 具有 $\pm 10V$ 、60Hz ADC 输入范围时 512 个样本情况下的电流和电压输入的测量

输入类型	每周期样本数	平均周期数	ADC 输入通道	交流输入	最小误差 (%)	最大误差 (%)
分压器 + 精密运算放大器	512	5	1	2V 至 4V	0.4206	0.9390
				5V 至 300V	-0.0879	0.0184
			2	2V 至 4V	0.4607	1.0026
				5V 至 300V	-0.0312	0.0807
			3	2V 至 4V	0.4423	0.9741
				5V 至 300V	-0.058	0.0483
			4	2V 至 4V	0.4074	0.9237
				5V 至 300V	-0.1007	0.0309
电流互感器 + INA	512	5	7	0.1A	0.3555	
				0.2A 至 130A	-0.0823	0.0530
			8	0.1A	0.2295	
				0.2A 至 130A	-0.1164	0.1823

3.2.2.2.2.8 具有 $\pm 10V$ 、60Hz ADC 输入范围时每周期 1024 个样本情况下的电流和电压输入的精度测量

表 45 提供不同输入配置情况下的电流和电压输入的测量精度范围。该表通过显示输入电压范围和测量误差来给出具体的误差。我们测量了足够多的点，以便能够根据客户的数据请求绘制图形。

表 45. 具有 $\pm 10V$ 、60Hz ADC 输入范围时每周期 1024 个样本情况下的电流和电压输入的测量

输入类型	每周期样本数	平均周期数	ADC 输入通道	交流输入	最小误差 (%)	最大误差 (%)
分压器 + 精密运算放大器	1024	5	1	2V 至 4V	0.3205	0.8436
				5V 至 300V	-0.0682	0.0325
			2	2V 至 4V	0.3114	0.8551
				5V 至 300V	-0.0744	0.0464
			3	2V 至 4V	0.3545	0.8843
				5V 至 300V	-0.0503	0.0641
			4	2V 至 4V	0.3028	0.5666
				5V 至 300V	-0.0939	0.0447
电流互感器 + INA	1024	5	7	0.1A	0.2705	
				0.2A 至 130A	-0.1000	0.0246
			8	0.1A	0.1917	
				0.2A 至 130A	-0.1173	0.1634

3.2.2.2.3 使用外部基准时的精度测量总结

3.2.2.2.3.1 $\pm 10V$ 、50Hz ADC 输入范围时的精度测量

表 46 提供不同输入配置情况下的电流和电压输入的测量精度范围。该表通过显示输入电压范围和测量误差来给出具体的误差。我们测量了足够多的点，以便能够根据客户的数据请求绘制图形。

表 46. $\pm 10V$ 、50Hz ADC 输入范围时的精度测量

输入类型	每周周期样本数	平均周期数	ADC 输入通道	交流输入	最小误差 (%)	最大误差 (%)
分压器 + 精密运算放大器	80	5	1	1V 至 4V	-0.0683	0.5827
				5V 至 300V	-0.1808	-0.0071
			2	1V 至 4V	-0.0414	0.6396
				5V 至 300V	-0.1424	0.0496
			3	1V 至 4V	0.0849	0.7315
				5V 至 300V	-0.0190	0.1729
			4	1V 至 4V	-0.0064	0.6459
				5V 至 300V	-0.1151	0.0963
电流互感器 + INA	80	5	7	0.05A 至 0.1A	0.4033	0.9424
				0.2A 至 130A	-0.1356	0.0788
			8	0.05A 至 0.1A	0.3347	0.6370
				0.2A 至 130A	-0.1235	0.0985
分压器 + 精密运算放大器	256	5	1	1V 至 4V	0.1243	0.3896
				5V 至 300V	-0.1187	-0.0452
			2	1V 至 4V	0.1294	0.4542
				5V 至 300V	-0.0703	0.0136
			3	1V 至 4V	0.1159	0.4281
				5V 至 300V	-0.0880	-0.0129
			4	1V 至 4V	0.1249	0.3978
				5V 至 300V	-0.0954	0.0864
电流互感器 + INA	256	5	7	0.1A 至 130A	-0.1594	0.1752
			8	0.1A 至 130A	-0.1551	0.1634

3.2.2.2.3.2 $\pm 10V$ 、60Hz ADC 输入范围时的精度测量

表 47 提供不同输入配置情况下的电流和电压输入的测量精度范围。该表通过显示输入电压范围和测量误差来给出具体的误差。我们测量了足够多的点，以便能够根据客户的数据请求绘制图形。

表 47. $\pm 10V$ 、60Hz ADC 输入范围时的精度测量

输入类型	每周期样本数	平均周期数	ADC 输入通道	交流输入	最小误差 (%)	最大误差 (%)
分压器 + 精密运算放大器	80	5	1	2V 至 4V	0.1730	0.2878
				5V 至 300V	-0.1274	-0.0020
			2	2V 至 4V	0.0623	0.2844
				5V 至 300V	-0.0700	0.0564
			3	2V 至 4V	0.1103	0.2976
				5V 至 300V	-0.0434	0.0777
			4	2V 至 4V	0.1957	0.2926
				5V 至 300V	-0.0272	0.1004
电流互感器 + INA			7	0.1A 至 130A	-0.1502	0.1858
			8	0.1A 至 130A	-0.1541	0.1929

3.2.2.2.3.3 具有 $\pm 10V$ 、60Hz ADC 输入范围时 256 个样本情况下的精度测量

表 48 提供不同输入配置情况下的电流和电压输入的测量精度范围。该表通过显示输入电压范围和测量误差来给出具体的误差。我们测量了足够多的点，以便能够根据客户的数据请求绘制图形。

表 48. 具有 $\pm 10V$ 、60Hz ADC 输入范围时 256 个样本情况下的精度测量

输入类型	每周期样本数	平均周期数	ADC 输入通道	交流输入	最小误差 (%)	最大误差 (%)
分压器 + 精密运算放大器	256	5	1	2V 至 300V	-0.0556	0.1716
			2	2V 至 300V	-0.1149	0.1337
			3	2V 至 300V	-0.0679	0.1550
			4	2V 至 300V	-0.1200	0.0354
电流互感器 + INA			7	0.1A 至 130A	-0.1949	0.1641
			8	0.1A 至 130A	-0.0814	0.1457

3.2.2.2.3.4 具有 $\pm 10V$ 、50Hz ADC 输入范围时单个周期和三个周期情况下的精度测量

表 49 提供不同输入配置情况下的电流和电压输入的测量精度范围。该表通过显示输入电压范围和测量误差来给出具体的误差。我们测量了足够多的点，以便能够根据客户的数据请求绘制图形。

表 49. 具有 $\pm 10V$ 、50Hz ADC 输入范围时单个周期和三个周期情况下的精度测量

输入类型	每周样本数	平均周期数	ADC 输入通道	交流输入	最小误差 (%)	最大误差 (%)
分压器 + 精密运算放大器	80	3	1	2V 至 4V	0.1146	0.6893
				5V 至 300V	-0.1492	0.147115
			2	2V 至 4V	0.0872	0.7239
				5V 至 300V	-0.0911	0.2043
			3	2V 至 4V	0.0847	0.7055
				5V 至 300V	-0.1231	0.1769
			4	2V 至 4V	0.1112	0.6703
				5V 至 300V	-0.0944	0.2004
电流互感器 + INA	80	3	7	0.1A	0.5477	
				0.2A 至 130A	-0.1706	0.1406
			8	0.1A	0.4222	
				0.2A 至 130A	-0.1569	0.1433
分压器 + 精密运算放大器	80	1	1	1V 至 4V	0.4994	0.7521
				5V 至 300V	-0.0177	0.1275
			2	1V 至 4V	0.3078	0.6597
				5V 至 300V	-0.1565	-0.0062
			3	1V 至 4V	0.5421	0.7551
				5V 至 300V	0.00172	0.1578
			4	1V 至 4V	0.4740	0.7323
				5V 至 300V	-0.0382	0.1416
CT + INA	80	1	7	0.1A 至 130A	-0.1961	0.2861
			8	0.1A 至 130A	-0.1887	0.2080

3.2.2.2.3.5 没有放大功能来实现 $\pm 10V$ 、50Hz ADC 输入范围时的精度测量

表 50 提供不同输入配置情况下的电流和电压输入的测量精度范围。该表通过显示输入电压范围和测量误差来给出具体的误差。我们测量了足够多的点，以便能够根据客户的数据请求绘制图形。

 表 50. 没有放大功能来实现 $\pm 10V$ 、50Hz ADC 输入范围时的精度测量

输入类型	每周样本数	平均周期数	ADC 输入通道	交流输入	最小误差 (%)	最大误差 (%)
110V 电压互感器 - 无运算放大器	80	5	1	2V	-0.1545	
				5V 至 150V	-0.0221	0.1092
			2	2V	-0.1956	
				5V 至 150V	-0.0405	0.1480
			3	2V	-0.1799	
				5V 至 150V	-0.0414	0.1504
			4	2V	-0.2017	
				5V 至 150V	-0.0414	0.1550
无放大器且具有较高负载的 CT	80	5	7	0.1A 至 100A	-0.1533	0.2006
			8	0.1A 至 100A	-0.1946	0.1512

3.2.2.2.3.6 ±5V、60Hz ADC 输入范围时的精度测量

表 51 提供不同输入配置情况下的电流和电压输入的测量精度范围。该表通过显示输入电压范围和测量误差来给出具体的误差。我们测量了足够多的点，以便能够根据客户的数据请求绘制图形。

表 51. ±5V、60Hz ADC 输入范围时的精度测量

输入类型	每周期样本数	平均周期数	ADC 输入通道	交流输入	最小误差 (%)	最大误差 (%)
分压器 + 精密运算放大器	80	3	1	2V 至 4V	0.1637	0.2665
				5V 至 175V	-0.1798	0.1596
			2	2V 至 4V	0.1892	0.2703
				5V 至 175V	-0.156	0.1815
			3	2V 至 4V	0.2752	0.4019
				5V 至 175V	-0.0341	0.1731
			4	2V 至 4V	0.1531	0.2535
				5V 至 175V	-0.1702	0.1753
具有较高负载且无放大器的电流互感器			7	0.05A	0.6884	
				0.1A 至 65A	-0.1401	0.1964
			8	0.05A	0.5128	
				0.1A 至 65A	-0.2298	0.2200

3.2.2.2.3.7 具有 ±10V、60Hz ADC 输入范围时 512 个样本情况下的精度测量

表 52 提供不同输入配置情况下的电流和电压输入的测量精度范围。该表通过显示输入电压范围和测量误差来给出具体的误差。我们测量了足够多的点，以便能够根据客户的数据请求绘制图形。

表 52. 具有 ±10V、60Hz ADC 输入范围时 512 个样本情况下的精度测量

输入类型	每周期样本数	平均周期数	ADC 输入通道	交流输入	最小误差 (%)	最大误差 (%)
分压器 + 精密运算放大器	512	5	1	2V 至 4V	0.2274	0.5316
				5V 至 300V	-0.1495	0.0095
			2	2V 至 4V	0.2983	0.5547
				5V 至 300V	-0.1685	0.0240
			3	2V 至 4V	0.2494	0.5700
				5V 至 300V	-0.1452	0.0430
			4	2V 至 4V	0.2533	0.5556
				5V 至 300V	-0.1277	0.0714
电流互感器 + INA			7	0.1A	0.2894	
				0.2A 至 130A	-0.0906	0.0212
			8	0.1A	0.2200	
				0.2A 至 130A	-0.1182	0.1303

3.2.2.2.3.8 具有 $\pm 10V$ 、60Hz ADC 输入范围时 1024 个样本情况下的精度测量

表 53 提供不同输入配置情况下的电流和电压输入的测量精度范围。该表通过显示输入电压范围和测量误差来给出具体的误差。我们测量了足够多的点，以便能够根据客户的数据请求绘制图形。

表 53. 具有 $\pm 10V$ 、60Hz ADC 输入范围时 1024 个样本情况下的精度测量

ADC 输入范围和频率	输入类型	每周样本数	平均周期数	ADC 输入通道	交流输入	最小误差 (%)	最大误差 (%)
$\pm 10V$ 、60Hz	分压器 + 精密运算放大器	1024	5	1	2V 至 4V	0.2256	0.7443
					5V 至 300V	-0.1462	0.0300
				2	2V 至 4V	0.2095	0.7820
					5V 至 300V	-0.1381	0.0402
				3	2V 至 4V	0.2442	0.7969
					5V 至 300V	-0.1161	0.0566
	4			2V 至 4V	0.2463	0.8016	
				5V 至 300V	-0.0984	0.0882	
	电流互感器 + INA			7	0.1A	0.2705	
					0.2A 至 130A	-0.1073	0.0152
				8	0.1A	0.1728	
					0.2A 至 130A	-0.1332	0.1020

3.2.3 使用其他 ADS85XXS 系列器件进行性能测试

ADS85XXS 系列中的有些器件具有不同的模拟输入和分辨率。在此设计中，性能测试采用如表 54 所列的以下器件进行。性能处于预期的测量精度范围内。

表 54. 接入 TIDA-00834 TI 设计的不同 ADC 详细信息

器件	说明
ADS8578S	在单电源上具有双极性输入的 14 位、高速 8 通道同步采样 ADC
ADS8584S	在单电源上具有双极性输入的 16 位、高速 4 通道同步采样 ADC
ADS8586S	在单电源上具有双极性输入的 16 位、高速 6 通道同步采样 ADC
ADS8588H	采用单电源并具有双极性输入的 16 位 500kSPS 8 通道同步采样 ADC
ADS8598S	采用单电源并具有双极性输入的 18 位 200kSPS 8 通道同步采样 ADC
ADS8598H	采用单电源并具有双极性输入的 18 位 500kSPS 8 通道同步采样 ADC

3.2.4 使用 ADS85XXX 系列器件的额外精度测试结果

以下采用单电源并具有双极性输入的同步采样 ADC 系列已经过性能测试，可供选择。

- ADS8598H，一款采用单电源并具有双极性输入的 18 位 500kSPS 8 通道同步采样 ADC
- ADS8598S，一款采用单电源并具有双极性输入的 18 位 200kSPS 8 通道同步采样 ADC
- ADS8588H，一款采用单电源并具有双极性输入的 16 位 500kSPS 8 通道同步采样 ADC
- ADS8588S，一款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
- ADS8586S，一款采用单电源并具有双极性输入的 16 位高速 6 通道同步采样 ADC
- ADS8584S，一款采用单电源并具有双极性输入的 16 位高速 4 通道同步采样 ADC
- ADS9578S，一款采用单电源并具有双极性输入的 14 位高速 8 通道同步采样 ADC

表 55 提供了针对 ADS85XXX 系列器件执行的测试和测试结果总结。

表 55. ADS85XXX ADC 系列器件测试总结

测试	ADS8598S 和 ADS8598H 的观察结果	ADS8588H 的观察结果	ADS8584S 的观察结果	ADS8578S 的观察结果
±5V、±10V 范围测量精度	符合要求	符合要求	符合要求	符合要求
测量范围	>1:1000	>1:1000	>1:1000	>1:250
测量精度	±0.1%	±0.25%	±0.25%	±0.25%
串行和并行接口	正常	正常	正常	正常
所有输入通道测量精度	全部 8 个通道	全部 8 个通道	全部 4 个通道	全部 8 个通道
采样速度和测量精度	采样率高达 200KSPS，符合要求	采样率高达 500KSPS，符合要求	采样率高达 330KSPS，符合要求	采样率高达 200KSPS，符合要求
过采样和测量精度	符合要求	符合要求	符合要求	符合要求
采用内部基准电压的测量精度	符合要求	符合要求	符合要求	符合要求
采用外部基准电压的测量精度（在 EVM 上安装了 J2、J5）	符合要求	符合要求	符合要求	符合要求

3.2.4.1 ADS8598S 的测试结果

ADS8598S 器件是基于 18 位逐次逼近型 (SAR) 模数转换器 (ADC) 的 8 通道集成数据采集 (DAQ) 系统。所有输入通道均同时采样，以实现每通道 200kSPS 的最大吞吐量。该器件的每个通道都有一个完整的模拟前端 (AFE)，其中包含输入阻抗高达 1MΩ 的可编程增益放大器 (PGA)、输入钳位、低通滤波器和 ADC 输入驱动器。本节提供已完成的测试的详细信息。有关更多信息，请参阅位于 <http://www.ti.com.cn/product/cn/ADS8598S> 的产品文件夹。

在以下条件下进行了测试：

- 采样率和捕获的周期数：5 个周期，每个周期 256 个样本
- 输入频率：50Hz
- OSR：0
- 接口：串行

对于 0.1A 至 125A 的输入电流范围，测量精度小于 ±0.1%。针对 ADC 通道 4 和 ADC 通道 5 进行了精度测量，两个通道的结果都处于 ±0.1% 范围之内。表 56 提供了详细测试结果。

表 56. $\pm 10V$ ADC 范围内的 ADS8598S 测量

电流 (A)	ADC 输入 (mV)	ACI-5 (mV)	ACI-6 (mV)	ACI-5 (误差百分比)	ACI-6 (误差百分比)
0.10035	5.4914	5.494	5.49	0.054	-0.017
0.2003	10.9609	10.959	10.955	-0.019	-0.054
0.5003	27.3775	27.39	27.39	0.047	0.046
1	54.7222	54.715	54.749	-0.014	0.049
2.5	136.8056	136.886	136.885	0.058	0.058
5	273.6112	273.607	273.648	-0.002	0.013
10	547.2224	547.085	547.132	-0.025	-0.017
20	1094.4449	1094.662	1094.763	0.02	0.029
50	2736.1122	2734.931	2735.354	-0.043	-0.028
80	4377.7795	4378.214	4378.516	0.01	0.017
100	5472.2244	5474.075	5475.187	0.034	0.054
120	6566.6693	6570.111	6568.447	0.052	0.027
125	6840.2805	6838.087	6839.797	-0.032	-0.007
最小误差				-0.043	-0.054
最大误差				0.058	0.058

注：如上所示对 ADS8598H 进行了测试，观察到了类似的测量性能

3.2.4.2 ADS8588H 的测试结果

本节详细介绍了 ADS8588H 的不同性能测试和观察结果，包括采用不同 OSR 配置的精度和 SNR 性能。

3.2.4.2.1 测量精度测试

ADS8588H 器件是基于 16 位逐次逼近型 (SAR) 模数转换器 (ADC) 的 8 通道集成数据采集 (DAQ) 系统。所有输入通道均同时采样，以实现每通道 500kSPS 的最大吞吐量。该器件的每个通道都有一个完整的模拟前端，其中包含输入阻抗高达 $1M\Omega$ 的可编程增益放大器 (PGA)、输入钳位、低通滤波器和 ADC 输入驱动器。本节提供已完成的测试的详细信息。有关更多信息，请参阅位于 <http://www.ti.com.cn/product/cn/ADS8588H> 的产品文件夹。

在以下条件下进行了测试：

- 采样率和捕获的周期数：5 个周期，每个周期 256 个样本
- 输入频率：50Hz
- OSR：0
- 接口：串行

对于 0.1A 至 125A 的输入电流范围，测量精度小于 $\pm 0.25\%$ 。针对 ADC 通道 4 和 ADC 通道 5 进行了精度测量，两个通道的结果都处于 $\pm 0.25\%$ 范围之内。表 57 提供了详细测试结果。

表 57. $\pm 10V$ ADC 范围内的 ADS8588H 测量

电流 (A)	ADC 输入 (mV)	ACI-5 (mV)	ACI-6 (mV)	ACI-5 (误差百分比)	ACI-6 (误差百分比)
0.10035	5.4914	5.485	5.482	-0.112	-0.175
0.2003	10.9609	10.963	10.97	0.022	0.081
0.5003	27.3775	27.384	27.395	0.023	0.065
1	54.7222	54.749	54.788	0.049	0.119

表 57. $\pm 10V$ ADC 范围内的 ADS8588H 测量 (continued)

电流 (A)	ADC 输入 (mV)	ACI-5 (mV)	ACI-6 (mV)	ACI-5 (误差百分比)	ACI-6 (误差百分比)
2.5	136.8056	137.027	136.961	0.162	0.114
5	273.6112	273.903	274.065	0.107	0.166
10	547.2224	547.441	547.771	0.04	0.1
20	1094.4449	1095.466	1096.093	0.093	0.151
50	2736.1122	2737.949	2739.645	0.067	0.129
80	4377.7795	4379.613	4382.236	0.042	0.102
100	5472.2244	5476.774	5480.198	0.083	0.146
120	6566.6693	6577.261	6577.257	0.161	0.161
125	6840.2805	6845.213	6849.696	0.072	0.138
最小误差				-0.112	-0.175
最大误差				0.162	0.166

注： 注意：对于所有放大器，使用 OPA2180、OPA2188 和 OPA2171 验证了精度，性能处于预期的精度范围之内。

3.2.4.2.2 采用不同 OSR 配置的 SNR 性能测试

ADS8588H 器件是基于 16 位逐次逼近型 (SAR) 模数转换器 (ADC) 的 8 通道集成数据采集 (DAQ) 系统。所有输入通道均同时采样，以实现每通道 500kSPS 的最大吞吐量。在需要更高 SNR 的应用中，具有编程 OSR 的 ADS8588H 可提供更高的采样率和更高的 SNR。表 58 总结了具有不同 OSR 的 ADS8588H 的性能。

表 58. 具有不同 OSR 的 ADS8588H 性能

待定	待定	待定	待定	待定	待定
输入电压, RMS (V)	6.55	6.55	6.55	6.55	6.55
输入频率 (Hz)	1000	1000	1000	1000	1000 Hz
OSR	0, 500K	2, 260.42K	4, 128.2K	8, 63.6K	16, 31.65K
采样速率	500K	260.42K	128.2K	63.6K	31.65K
ENOB	14.93	15.042	15.089	15.097	15.127
SNR	91.72	92.43	92.86	93.457	93.942
THD	-108.1	-107.864	-108.86	-108.2	-108.7

注： 将 ADC 的负输入接地，以实现更佳的性能。

3.2.4.3 ADS8578S 的测试结果

ADS8578S 器件是基于 14 位逐次逼近型 (SAR) 模数转换器 (ADC) 的 8 通道集成数据采集 (DAQ) 系统。所有输入通道均同时采样，以实现每通道 200kSPS 的最大吞吐量。该器件的每个通道都有一个完整的模拟前端，其中包含输入阻抗高达 $1M\Omega$ 的可编程增益放大器 (PGA)、输入钳位、低通滤波器和 ADC 输入驱动器。本节提供已完成的测试的详细信息。有关更多信息，请参阅位于 <http://www.ti.com.cn/product/cn/ADS8578S> 的产品文件夹。

在以下条件下进行了测试：

- 采样率和捕获的周期数：5 个周期，每个周期 256 个样本
- 输入频率：50Hz

- OSR: 0
- 接口: 串行

对于 0.1A 至 125A 的输入电流范围, 测量精度小于 $\pm 0.75\%$ 。针对 ADC 通道 4 和 ADC 通道 5 进行了精度测量, 两个通道的结果都处于 $\pm 0.75\%$ 范围之内。表 59 提供了详细测试结果。

表 59. $\pm 10V$ ADC 范围内的 ADS8578S 测量

电流 (A)	ADC 输入 (mV)	ACI-5 (mV)	ACI-6 (mV)	ACI-5 (误差百分比)	ACI-6 (误差百分比)
0.10035	5.4914	5.52	5.523	0.528	0.571
0.2003	10.9609	10.955	10.965	-0.05	0.036
0.5003	27.3775	27.251	27.311	-0.461	-0.245
1	54.7222	54.522	54.632	-0.366	-0.164
2.5	136.8056	136.377	136.614	-0.314	-0.14
5	273.6112	272.531	273.005	-0.395	-0.222
10	547.2224	544.68	545.62	-0.465	-0.293
20	1094.4449	1089.684	1091.561	-0.435	-0.264
50	2736.1122	2726.247	2730.038	-0.361	-0.222
80	4377.7795	4359.421	4367.056	-0.419	-0.245
100	5472.2244	5445.562	5455.2	-0.487	-0.311
120	6566.6693	6538.846	6550.469	-0.424	-0.247
125	6840.2805	6815.437	6826.393	-0.363	-0.203
最小误差				-0.487	-0.311
最大误差				0.528	0.571

3.2.5 可靠性测试

已对 ADS8588S 进行了大量可靠性测试。下表列出了其中一些测试, 包括测试和观察结果的详细信息。已执行了额外的可靠性测试。可根据要求提供有关可靠性测试和观察结果的更多详细信息。

3.2.5.1 采用 B 类标准的 EFT 测试

以下部分提供了在 ADS858XS 上执行的 EFT 测试的详细信息。EFT 测试的测试设置如下所示:

1. EFT 发生器, 用于根据 IEC61000-4-4 在 50Hz 电源输入上生成 EFT 脉冲。
2. EFT 连接到电压互感器 PT。PT 的次级侧通过 R (在两个输入端) 和 C (在 ADC 上) 滤波器连接到 ADS8588S 输入, EFT 通过低串联保护电阻同时施加在多个通道上。
3. 在应用 EFT 之前和应用 EFT 之后捕获 SNR 性能数据。
4. 针对两个 ADS858XS 器件捕获数据。
5. 对于 ADS858XS 器件, 承受应力的通道是 CH1、CH3、CH4、CH5 和 CH6。

表 60 提供了捕获的数据详细信息。

表 60. ADS858XS EFT 测试观察结果

测试	器件	应力等级	突发信号振幅	突发频率	承受应力的通道	捕获的通道	振幅 (dBFS)	SNR
EFT 之前	1	不适用	不适用	不适用	不适用	1	-2.43	89.67
EFT 之前	1	不适用	不适用	不适用	不适用	2	-0.44	91.4
EFT 之后	1	500V	22.7V	5kHz	1	1	-2.43	89.75

表 60. ADS858XS EFT 测试观察结果 (continued)

测试	器件	应力等级	突发信号振幅	突发频率	承受应力的通道	捕获的通道	振幅 (dBFS)	SNR
EFT 之后	1	500V	22.7V	5kHz	1	2	-0.44	91.4
EFT 之后	1	2kV	90.9V	5kHz	1	1	-2.43	89.8
EFT 之后	1	2kV	90.9V	5kHz	1	2	-0.44	91.51
EFT 之后	1	4kV	181.8V	5kHz	1	1	-2.4	89.65
EFT 之后	1	4kV	181.8V	5kHz	3、4、5、6	1	-2.38	89.67
EFT 之后	1	4kV	181.8V	5kHz	1	2	-0.44	91.44
EFT 之后	1	4kV	181.8V	5kHz	3、4、5、6	2	-0.44	91.52
EFT 之后	1	4kV	181.8V	5kHz	3、4、5、6	3	-0.44	91.13
EFT 之后	1	4kV	181.8V	5kHz	3、4、5、6	4	-0.44	91.2
EFT 之后	1	4kV	181.8V	5kHz	3、4、5、6	5	-0.44	91.1
EFT 之后	1	4kV	181.8V	5kHz	3、4、5、6	6	-0.44	91.47
EFT 之后	1	5.5kV	250V	5kHz	1	1	-2.38	89.91
EFT 之后	1	5.5kV	250V	5kHz	1	2	-0.44	91.29
EFT 之前	2	不适用	不适用	不适用	不适用	1	-2.38	89.88
EFT 之前	2	不适用	不适用	不适用	不适用	2	-0.44	91.24
EFT 之后	2	2kV	90.9V	5kHz	1	1	-2.38	89.87
EFT 之后	2	2kV	90.9V	5kHz	1	2	-0.44	91.14
EFT 之后	2	4kV	181.8V	5kHz	1	1	-2.38	89.73
EFT 之后	2	4kV	181.8V	5kHz	1	2	-0.44	91.11
EFT 之后	2	4kV	181.8V	100kHz	1	1	-2.37	89.61
EFT 之后	2	4kV	181.8V	100kHz	1	2	-0.44	91.51
EFT 之后	2	5.5kV	250V	5kHz	1	1	-2.37	89.78
EFT 之后	2	5.5kV	250V	5kHz	3、4、5、6	1	-2.37	89.87
EFT 之后	2	5.5kV	250V	5kHz	1	2	-0.44	91.29
EFT 之后	2	5.5kV	250V	5kHz	3、4、5、6	2	-0.44	91.39
EFT 之后	2	5.5kV	250V	5kHz	3、4、5、6	3	-0.44	91.49
EFT 之后	2	5.5kV	250V	5kHz	3、4、5、6	4	-0.44	91.26

表 60. ADS858XS EFT 测试观察结果 (continued)

测试	器件	应力等级	突发信号振幅	突发频率	承受应力的通道	捕获的通道	振幅 (dBFS)	SNR
EFT 之后	2	5.5kV	250V	5kHz	3、4、5、6	5	-0.44	91.5
EFT 之后	2	5.5kV	250V	5kHz	3、4、5、6	6	-0.44	91.66

表 60 的各列说明如下：

- 性能测试：在 EFT 之前和 EFT 之后捕获的数据
- 应力等级：在变压器之前 – EFT 生成器的 EFT 突发振幅（500V、2kV、4kV、5.5kV）
- 突发信号振幅：变压器连接到系统输入后正弦波上的 EFT 突发振幅（22.7V、90.9V、181.84V、250V）
- 突发频率：来自 EFT 发生器（5kHz、100kHz）
- 承受应力的通道：施加了突发信号的通道
- 捕获的通道：在上面捕获了性能数据的通道
- 振幅 (dBFS)：测量的信号振幅
- SNR (dB)：测量的 SNR 性能

3.2.5.2 超出范围的直流输入电压应力测试

该测试的目的是检查在 ADC 的 CH1 上施加超出范围的直流输入电压时对相邻通道的影响。本节提供应用了超出范围的直流输入电压的测试设置和性能详细信息。设置包括：

1. 针对每个设置至少施加 5 分钟的高电压直流输入。
2. 承受应力的 ADC 通道的输入结构是 R（在两个输入上）和 C（在 ADC 上）滤波器。
3. 承受应力的 ADC 通道是 CH1。
4. 在电压应力之后捕获 ADC CH2 SNR 性能。
5. 表 61 提供了捕获的数据。

表 61. 高电压直流输入测试观察结果

CH 1 直流电压 (V)	直流电流 (mA)	0.3dBFS 时的 Dev1 CH 2 SNR	0.3dBFS 时的 Dev2 CH 2 SNR
浮点	0	92.33	92.33
1	0	92.16	92.16
5	0	92.27	92.27
11.4	0	92.2	92.2
21.8	0	92.16	92.16
30.1	0	92.4	92.4
40.5	0	92.21	92.21
50.9	0	92.31	92.31
61.3	0	92.21	92.21
75.9	0	92.3	92.3
90.4	0	92.3	92.3
100.9	5	92.27	92.27
125.8	7	92.12	92.12
150.8	8	92.2	92.2
175.7	9	92.18	92.18
200.7	10	92.02	92.02

表 61 的各列说明如下：

- CH1 直流电压：施加了直流电压应力的通道。
- 直流电流 (mA)：从高电压直流电源获取的电流。
- 0.3dBFS 时的 CH 2 SNR：在相邻的 CH 2 上测量的 SNR 性能。

注： 具有较低串联电阻值并且四个通道同时承受应力的额外测试也不影响器件性能。

3.2.5.3 超出范围的交流信号输入应力测试

该测试的目的是展示在 ADC 的 CH1 上施加交流信号应力 (V_{stress}) 时对相邻通道的影响。本节提供应用了超出范围的交流输入电压的测试和性能详细信息。测试条件如下：

1. 向驱动通道施加高交流电压 (V_{stress})。
2. 增大振幅并检查相邻通道上的 FFT。
3. 在相邻通道上施加交流信号 (V_s)，其振幅为 $\pm 9.39\text{V}$ (18.76Vpp)，即 -0.5dBFS。
4. 所有测试都在相同的 EVM 板、相同的 RC 器件和相同的 GUI 上完成。

3.2.5.3.1 ADS8588S 的性能测量和图

本节提供在竞争器件上执行的应力测试的详细信息。表 62 提供了所有未承受应力的通道的 SNR 和 THD 值。

表 62. ADS8588S ADC 测量

	$V_{\text{stress}} V_{\text{pp}}$:	30	34.9	36	37.8	42	48	60
ADS8588S 单元 2	CH1 上的 V_{stress} (振幅)	$\pm 15.0\text{V}$	$\pm 17.44\text{V}$	$\pm 18\text{V}$	$\pm 18.9\text{V}$	$\pm 21.0\text{V}$	$\pm 24.0\text{V}$	$\pm 30.0\text{V}$
CH2	SNR (dB)	91.7	91.6	91	87	84.2	83.2	83.1
	THD (dB)	-107.8	-108.9	-106.1	-102.3	-99.9	-97.4	-95.6
CH3	SNR (dB)	92.1	92.1	92.1	92.1	92	92	92.1
	THD (dB)	-110.7	-110.8	-110.9	-110.5	-110.7	-110.8	-109.7
CH4	SNR (dB)	92.3	92.2	92.2	92.2	92.1	92.1	92.1
	THD (dB)	-111.9	-110.4	-112.4	-111	-111.4	-111.9	-111.8
CH5	SNR (dB)	92.1	92.3	92.2	92.1	92.1	91.9	92.2
	THD (dB)	-109.8	-110	-111.2	-109.6	-109.6	-109.7	-110.4
CH6	SNR (dB)	92.2	91.9	92.3	92.1	92	92.1	92.1
	THD (dB)	-108.1	-109.2	-109.3	-108.5	-108.7	-108.2	-108.7
CH7	SNR (dB)	92.3	92.2	92.2	92.2	92.2	92.4	92.1
	THD (dB)	-110.2	-110.4	-110.1	-110.5	-110.1	-110	-110.5
CH8	SNR (dB)	92	92.1	92.2	92	92	92	92.1
	THD (dB)	-110.1	-110.2	-109.6	-110.2	-109.8	-110	-109.9

图 12 提供了所有未受应力的通道的 ADS8588S SNR 性能 (D001_TIDUC09) 图, 并显示了电压应力对相邻通道的影响。

图 12. 施加了电压应力的 ADS8588S SNR 性能

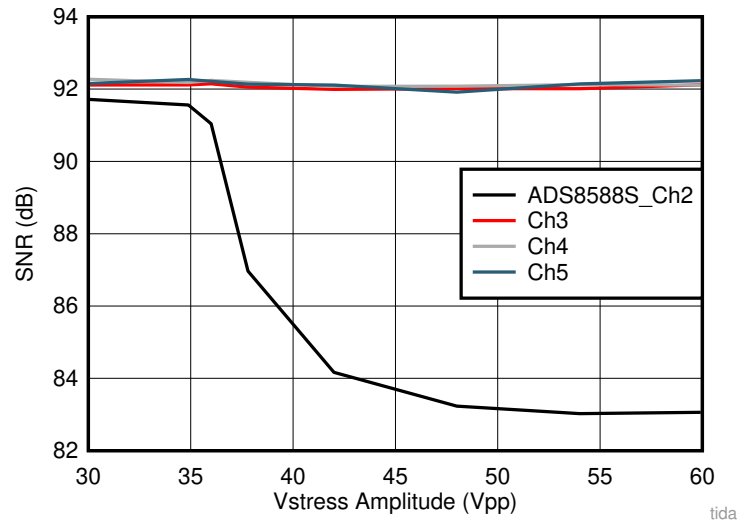
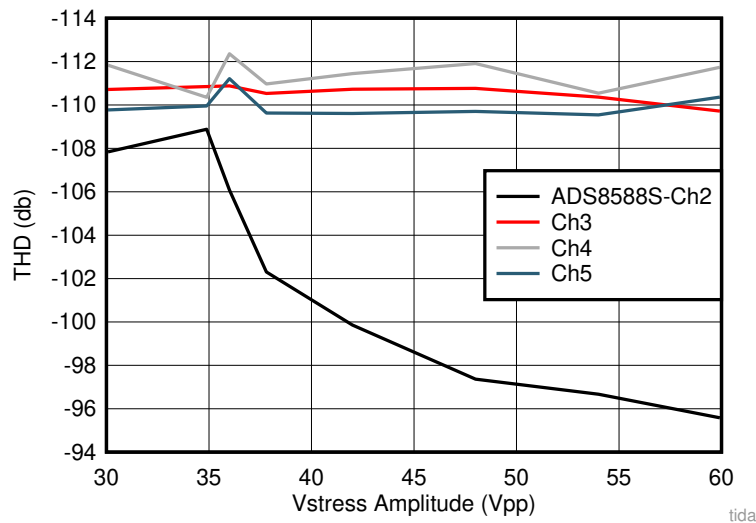


图 13 提供了所有未受应力的通道的 ADS8588S THD 性能 (D003_TIDUC09) 图, 并显示了电压应力对相邻通道的影响。

图 13. 施加了电压应力的 ADS8588S THD 性能



3.2.5.3.2 各种测量和图（使用竞争器件）

本节提供在竞争器件上执行的应力测试的详细信息。表 63 提供了所有未承受应力的通道的 SNR 和 THD 值。

表 63. 竞争 ADC 测量

	$V_{\text{stress } V_{\text{pp}}}$	30	34.9	35.1	36	40	48	60
竞争单元 1	CH1 上的 V_{stress} (振幅)	$\pm 15.0\text{V}$	$\pm 17.44\text{V}$	$\pm 17.55\text{V}$	$\pm 18.0\text{V}$	$\pm 20.0\text{V}$	$\pm 24.0\text{V}$	$\pm 30.0\text{V}$
CH2	SNR (dB)	89.3	71.8	51	36	31.9	30.3	29.8
	THD (dB)	-103.5	-94.5	-74.5	-57.6	-50.2	-45.7	-44
CH3	SNR (dB)	89.2	88.1	71.6	56.7	52.2	50.7	50.4
	THD (dB)	-104.7	-103.5	-96.6	-78.6	-71.5	-67	-64.9
CH4	SNR (dB)	89.2	89.2	89.1	81.4	77.5	76.2	76.1
	THD (dB)	-105	-104.2	-104	-100.4	-94.6	-91.4	-89.3
CH5	SNR (dB)	89.2	89.1	89.2	88.1	86.5	85.1	85.8
	THD (dB)	-104.6	-104.2	-104.5	-104.3	-104.3	-102.7	-101.3
CH6	SNR (dB)	89.1	89.3	89.3	89.3	89.4	89.4	89.3
	THD (dB)	-105.2	-105	-105.7	-105.5	-104.7	-105.1	-105.7
CH7	SNR (dB)	89.3	89.1	89.3	89.4	89.3	89.2	89.4
	THD (dB)	-104.9	-104.7	-105.8	-105	-105.1	-105.3	-105.1
CH8	SNR (dB)	89.3	89.2	89.2	89	89.3	89.3	89.5
	THD (dB)	-104.5	-103.9	-105.2	-105.1	-104	-104.3	-104.4

图 14 提供了所有未受应力的通道的 SNR 性能 (D002_TIDUC09) 图，并显示了电压应力对相邻通道的影响。

图 14. 施加了电压应力的 ADC SNR 性能

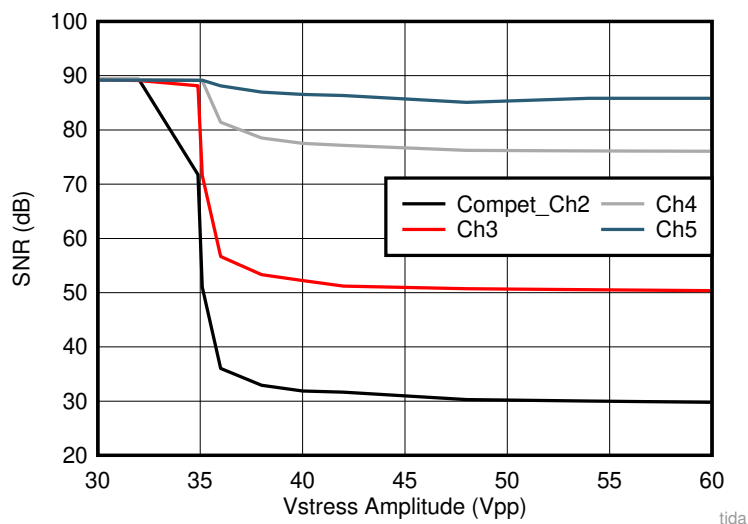
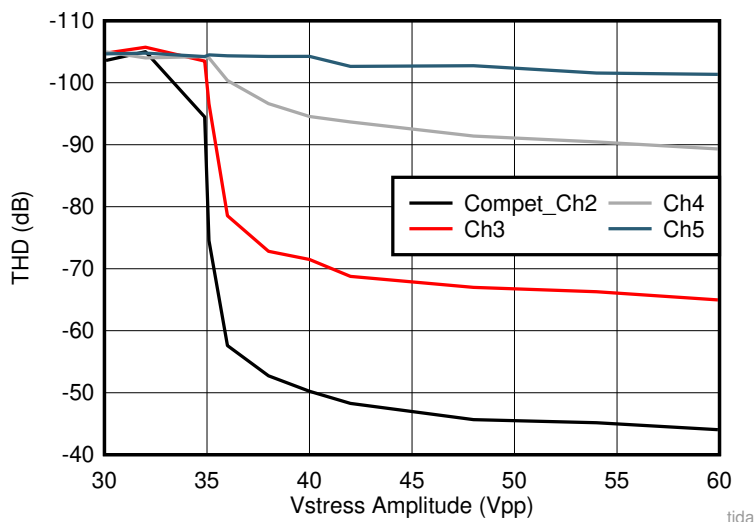


图 15 提供了所有未受应力的通道的 THD 性能 (D004_TIDUC09) 图, 并显示了电压应力对相邻通道的影响。

图 15. 施加了电压应力的 ADC THD 性能



3.2.6 ISO224 隔离放大器性能测试

ISO224 是一款精密隔离放大器, 此放大器的输出与输入电路由抗磁干扰性能极高的二氧化硅 (SiO₂) 隔离层隔开。该隔离层经过了认证, 可以按照 UL1577 和 IEC60747-5-2 规格的要求提供高达 7000V_{PEAK} 的基本电隔离。ISO224 的输入专门针对精确检测 $\pm 10V$ 信号进行了优化, 该信号在工业应用当中十分普遍理想之选。ISO224 在高侧由单个 5V 电源供电, 这极大地简化了隔离式电源的设计, 从而降低整体系统成本。

3.2.6.1 连接到 ADS8588H 的 ISO224 隔离放大器性能

ADS8588S ADC 用于具有 $\pm 10V$ 输入的应用。当需要隔离输入时, TI 提供隔离放大器解决方案 ISO224, 该解决方案可直接测量此 $\pm 10V$ 输入, 从而简化系统设计。ISO224 是一款精密隔离放大器, 此放大器的输出与输入电路由抗磁干扰性能极高的二氧化硅 (SiO₂) 隔离层隔开。该隔离层经过了认证, 可以按照 UL1577 和 IEC60747-5-2 规格的要求提供高达 7000V_{PEAK} 的基本电隔离。ISO224 的输入专门针对精确检测 $\pm 10V$ 信号进行了优化, 该信号在工业应用当中十分普遍理想之选。ISO224 在高侧由单个 5V 电源供电, 这极大地简化了隔离式电源的设计, 从而降低整体系统成本。使用 ISO224 评估模块测试了性能。请参阅位于 <http://www.ti.com.cn/tool/cn/iso224evm> 的产品文件夹

ISO224 的模拟输出是以 VDD2/2 为中心的全差分信号。还包含两个差分到单端输出选项。U4 通过 $\pm 10V$ 的输入提供双极性输出信号, U4 的输出连接到 ADS8588H, 用于测试。通过三端子螺钉连接器 J5 为 U4 提供高达 ± 15 的电源。测试是通过大量的运算放大器系列完成的, 表 64 总结了相关性能。

表 64. 采用不同运算放大器的隔离放大器 ISO224 性能测试

参数	施加的交流输入	OPA277	OPA188	OPA180	OPA171
交流电压, 1000Hz	6.746	6.653	6.652	6.655	6.656
交流电压, 50Hz	6.746	6.633	6.632	6.635	6.636
交流电压, 1000Hz	3.42	3.374	3.374	3.375	3.375
ENOB	位	13.65	13.41	13.68	13.71
SNR	dB	86.78	86.74	87.3	87.1
THD	dB	-87.5	-87.5	-87.3	-87.52

3.2.6.2 高侧电源电压检测

集成的高侧电源电压检测功能可简化系统级诊断。ISO224 提供失效防护输入，从而简化系统级诊断。当器件的高侧电源 VDD1 缺失时，无论 IN 引脚上的输入信号如何，失效防护输出都会启用。当器件的电源 VDD1 缺失时，器件的两个输出 OUTP 和 OUTN 被主动驱动至接近 GND2。

3.2.7 使用平缓钳位为 ADC 输入提供浪涌和过压保护

ADS8588S、ADS8598S 和 16 位 8 通道同步采样 SAR ADC 系列中的其他器件具有 ± 15 的连续最大额定值，并连接到恶劣环境中的传感器。连接在输入端的平缓钳位 TVS TVS1400 或 TVS1401 可保护 ADC 免受这些瞬态的影响。有关更多详细信息，请参阅位于 <http://www.ti.com.cn/zh-cn/interface/circuit-protection/esd-protection-and-tvs-surge-diodes/overview.html> 的产品文件夹并参阅 [用于电网应用、可提供瞬态保护且基于平缓钳位 TVS 的参考设计](#)。

3.2.8 总结

表 65 提供有关对 DAQ AFE 执行的测试和所执行测试的观察结果的总结

表 65. DAQ 前端的测试结果总结

序号	参数	观察结果
1	$\pm 15V$ 直流/直流转换器输出	正常
2	带 LDO 的 $\pm 5V$ 直流/直流输出	正常
3	+13V、-13V、+5V、+3.3V LDO 输出	正常
4	隔离式电源直流/直流和 LDO 输出	正常
5	$\pm 12.2V$ 双路 LDO 输出	正常
6	基准输出	正常
7	用于不同电压输出的 ZCD 比较器输出	正常
8	ADS8588S ADC 接口（可通过 GUI 选择并行或串行接口）	正常
9	使用仪表放大器测量电流	正常
10	使用精密运算放大器测量电流	正常
11	使用分压器和运算放大器测量电压	正常
12	使用分压器、隔离放大器和差动运算放大器测量电压	正常
13	在配置 $\pm 10V$ 和 $\pm 5V$ 输入范围的情况下的测量精度	正常
14	在配置不同采样率（每周期 80、256、512、1024 个样本）的情况下的测量精度	正常
15	配置内部或外部基准时的测量精度	正常
16	具有 1、3 或 5 个周期的样本值捕获时的测量精度	正常

4 设计文件

4.1 电路原理图

要下载原理图，请参阅 [TIDA-00834](#) 的设计文件。

4.2 物料清单

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-00834](#) 的设计文件。

4.3 PCB 布局建议

4.3.1 布局图

要下载层图，请参阅 [TIDA-00834](#) 的设计文件。

4.4 Altium 项目

要下载 Altium 项目文件，请参阅 [TIDA-00834](#) 的设计文件。

4.5 Gerber 文件

要下载 Gerber 文件，请参阅 [TIDA-00834](#) 的设计文件。

4.6 装配图

要下载装配图，请参阅 [TIDA-00834](#) 的设计文件。

5 相关文档

- 德州仪器 (TI), [ADS8588S 评估模块](#), ADS8588EVM-PDK 工具文件夹 (<http://www.ti.com.cn/tool/cn/ads8588sevm-pdk>)
- 德州仪器 (TI), 《使用 PCB Rogowski 线圈传感器的高精度交流电流测量参考设计》
- 德州仪器 (TI), 《使用增强型隔离放大器的基于分流的 200A 峰值电流测量参考设计》
- 德州仪器 (TI), 《用于瞬态保护、基于平缓钳位 TVS 的参考设计》
- 德州仪器 (TI), 《从传统变电站转向智能变电站白皮书》
- 德州仪器 (TI), 《将多个 ADC 连接到单个处理器以实现电网保护和控制》

5.1 商标

ARM, Cortex are registered trademarks of ARM Ltd..

Microsoft, Windows 7, Windows 8 are registered trademarks of Microsoft Corporation.

6 术语

AFE— 模拟前端

CT— 电流互感器

DAQ— 数据采集

INA— 仪表放大器

OPA— 运算精密放大器

PD— 分压器

PHI— 精密主机接口

ZCD— 过零检测器**7 关于作者**

KALLIKUPPA MUNIYAPPA SREENIVASA 是德州仪器 (TI) 的系统架构师，负责开发面向工业领域的参考设计解决方案。**Sreenivasa** 在高速数字和模拟系统设计方面拥有丰富经验。**Sreenivasa** 拥有印度迈索尔韦斯科技大学电子与通信工程的工程学士学位 (BE-E&C)。

AMIT KUMBASI 是达拉斯德州仪器 (TI) 的系统架构师，负责开发适用于工业系统电网基础设施的子系统解决方案。**Amit** 在工作中充分利用了他在使用精密模拟和混合信号器件进行产品定义、业务开发和板级设计方面的经验。他拥有 ECE 硕士学位 (德克萨斯理工大学) 和 MBA 学位 (亚利桑那大学)。

修订历史记录

注：之前版本的页码可能与当前版本有所不同。

Changes from A Revision (September 2017) to B Revision	Page
• 已更改 更改了文档标题	1
• 已更改 更改了说明中的信息	1
• 已更改 更改了特性中的信息	1
• 已添加 在资源中添加了 ADS8588H、ADS8598S、INA821、ISO224A、ISO224B、OPA2180、OPA2277、AMC1200、AMC1300、AMC1300B、LM5017、LM5160、SN6505B 和 SN6501	1
• 已更改 更改了表 1 中的信息	3
• 已添加 在 2.2 节中添加了有关接口连接器的信息	4
• 已添加 在节 2.8.2.2 中添加了有关 OPA2171 的信息	11
• 已更改 将节 2.8.3.2 的标题从使用精密运算放大器 OPA2188 或 OPA2180 和隔离放大器 AMC1301 进行测量 更改为使用精密运算放大器 OPA2188 和隔离放大器 AMC1301 或 ISO224 进行测量	12
• 已添加 在节 2.8.3.2 中添加了有关 ISO224 的信息	12
• 已添加 在节 2.8.4.1 和节 2.8.4.2 中添加了有关 SN6501 和 SN6505B 的信息	14
• 已添加 在节 2.8.4.7 中添加了有关 SN6501 的信息	17
• 已更改 将表 8 的标题从适用于 DAQ 前端的精密仪表选择 更改为用于 DAQ 前端的仪表选择	19
• 已添加 在表 8 中添加了信息	19
• 已添加 在节 2.8.6.5 中添加了 TMP235 和 HDC2010	19
• 已添加 在节 2.8.6.8 中添加了 TIDA-020018 和表 9	20
• 已添加 节 2.8.6.9	20
• 已添加 在表 54 中添加了信息	44
• 已添加 节 3.2.4	45
• 已添加 在 5 节中添加了列表项 4、5 和 6	57

Changes from Original (January 2017) to A Revision	Page
• 已更改 更改了布局以适应当前设计指南模板	1
• 已添加 在表 1：主要系统规格	3
• 更新了图 1：具有隔离和双路 LDO 的 DAQ 前端方框图	6
• 已更改 将 2.8.4.2 部分的标题从 $\pm 5V$ LM27762 的直流/直流转换器更改为使用 LM27762 的 $\pm 5V$ 逆变器和 LDO	15
• 已添加 2.8.4.3 部分：使用 TPS7A39 的 $\pm 12V$ 直流输出双路 LDO	15
• 已添加 在表 25：针对电源和基准的 AFE 功能测试中添加了双路 LDO 输出信息	30
• 已添加 4.3 部分：使用其他 ADS85XXS 系列器件进行性能测试	44

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 © 2022，德州仪器 (TI) 公司