



设计概述

本 TI 参考设计演示如何使用基于 AMC1100 的模拟前端 (AFE) 测量电压和电流。本设计详细介绍了采用输入到输出隔离配置测量电压输入以及采用通道间隔离配置测量电流输入的方法。本设计还演示了电源隔离,使其成为一套针对隔离电压与电流测量的完整子系统。此 AFE 可用于需要将电流互感器 (CT) 替换为分流器的应用。此设计提供了板载分流器和分压器,可直接连接电流和电压输入。AMC1100 隔离放大器的非线性误差较低,其精度 < 0.5%。

设计资源

TIDA-00555	包含设计文件的工具文件夹
AMC1100	产品文件夹
SN6501	产品文件夹
TLV704	产品文件夹
TPS7A30	产品文件夹
TPS7A6533-Q1	产品文件夹
CSD17571Q2	产品文件夹
ADS131E08EVM-PDK	工具文件夹
MSP430FR5869	产品文件夹

设计特性

电压与电流测量:

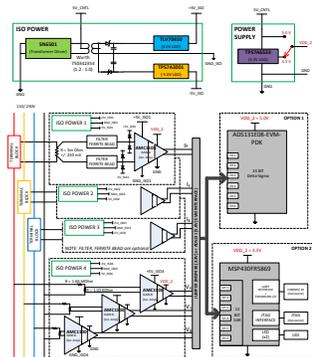
- 基于 AMC1100 固定增益全差分放大器的通道间隔离式电流输入和分组隔离式电压输入
- 为 ADS131E08 多通道同步采样 24 位 Δ - Σ 模数转换器 (ADC) 提供接口并提供评估模块 (EVM), 以供性能测试使用
- 用于三路电流输入的板载分流器以及用于三路电压输入的分压器
- 低侧电源电压可配置为 3.3V 或 5V
- 在电流和电压输入的 5% 至 100% 满量程 (175mV RMS) 范围内满足 <0.5% 精度
- 使用 SN6501 变压器驱动器生成隔离式电源
- 可在 AMC1100 低侧电源电压配置为 3.3V 时与微控制器 (MCU) 相连

特色应用

- 便携式和高级电能质量分析仪
- 保护继电器、智能电子设备 (IED) 和故障记录器



请咨询我们的 E2E 专家
[WEBENCH® 设计中心](#)



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

电网基础设施应用包括保护、控制和监视系统。电网基础设施终端应用包括多功能保护继电器、变压器和电机监视系统以及电能质量分析仪等。这些系统可以安装于机架中（交流市电供电），也可以是便携式设备（电池供电）。便携式系统要求通过彼此独立且完全隔离电流的通道来测量交流-直流电压和电流输入。

保护继电器是可从电流互感器 (CT) 和电压互感器 (VT) 二次侧接收模拟信号的智能电子设备。继电器可检测受保护单元是否处于超负荷状态。必要时，保护继电器会向断路器发送一个跳闸信号，以断开故障组件与电力系统间的连接。保护继电器可按受保护设备类型（例如发电机、传输线路、变压器和负载）进行分类。

保护继电器具有以下功能模块：

- CPU
- 用于处理 CT 或 VT 的模拟输入的数字信号处理器 (DSP)
- 数字 I/O
- 直流模拟 I/O
- 电源
- 通信模块

模拟输入要求包括：

- 电流和电压输入
 - 二次侧 CT，二次侧分压器
- 保护继电器电流和电压通道数
 - 4 至 16 通道
- 测量精度
 - 0.2% 至 1%

精确测量电流和电压是保护继电器的一项关键功能要求。

电压通过电压互感器或分压器（分压器中应用多个串联电阻）进行测量。与电压互感器相比，使用分压器可减小电路板尺寸并改善线性性能。但电压互感器可以提供隔离，这也是基于分压器的电压测量的局限性所在。系统需要进行电压隔离才能够符合安全标准。

电流互感器常用于电流测量。与电压输入相比，电流输入的动态范围更宽。系统性能取决于所用电流互感器的类型。

电流传感器的关键要求包括：

- 测量精度 — 直流到 400Hz
- 时间、频率和温度漂移
- 线性度和相移
- 饱和度
- 可靠性
- 成本
- 尺寸
- 安全（隔离）和电磁兼容 (EMC) 性能

为满足上述性能标准的要求，第一选择是高精度 CT。

使用 CT 的优势在于可提供电流隔离、低功耗并且不受共模噪声输入的影响。而使用 CT 的劣势则是体积和成本会随着精度要求的提高而增长。如果 CT 体积过大，会对需要测量多条通道的多功能保护继电器平台产生不利影响。外部磁场也会影响 CT 的性能，因为它们会在有大电流流经的故障状态下使 CT 发生饱和。持续暴露于磁场之下或频繁超负荷运行会缩短 CT 的使用寿命。基于 CT 的这些缺点，可使用分流器替代 CT 进行电流测量。分流器是由 Manganin® 合金制成的廉价金属片。分流性能满足前文提到的大部分要求。只使用分流器的局限性在于无法提供三相应用中所需的隔离。

1.1 隔离方法

下列选项详细介绍了几种隔离方法：

输入到输出隔离：在这种情况下，所有通道以相同接地端为基准。隔离放大器的隔离栅两侧均需供电。

通道间隔离：在这种情况下，各输入通道分别以各自的接地端为基准。隔离放大器隔离栅的输入端需要单独供电，而输出端可由公共电源统一供电。

1.2 输入配置

可采用以下输入配置：

单端：

单端、非均衡、输入共地的配置成本最低。该输入可与差分输出阻抗相对较低的信号源很好地搭配使用。IN+ 引脚的对地阻抗必须远高于源差分阻抗以避免负载问题。对于以接地为基准的源，采用此类输入意味着信号地和仪器接地端必须相同。实际应用场景中，这两个端子的电压准位通常会不同，但如果二者较为接近且信号较大，用户可以使用该方法进行测量。

差分：

差分输入放大器是测量系统中最为常用的放大器类型，因为此类放大器可针对两输入信号或电压之间的差模分量提供高增益，并且为两输入的共模分量提供低增益。差分电压测量是另一种可为模拟输入信号降低噪声的方法。由于两输入的增益和阻抗相同，因此差分输入可得到均衡调节。两输入均不直接接地，因此差分输入可处理单端接地或不接地的差分源。不过，由于放大器以接地为基准，因此各输入能够处理的最大信号有限。

1.3 TI 参考设计的优势

1.3.1 电压测量输入到输出隔离

电压输入在板载分压器的作用下发生衰减，表 1 列出了这些输入：

表 1. 电压测量

参数	说明
提供输入到输出隔离的电压输入	三个全差分隔离放大器用于测量三相电压输入。
提供输入到输出隔离的电源	一个直流-直流转换器用于生成隔离式电源。该电源与高电压侧的全部三个隔离放大器相连。
接地基准	这是一种分组隔离式基准，意味着所有放大器共用一个公共的接地基准。

1.3.2 通道间隔离

表 2 列出了施加于板载分流器上的电流输入：

表 2. 电流测量

参数	说明
提供通道间隔离的电流输入	三个全差分隔离放大器用于测量三相电流输入。
提供通道间隔离的电源	三个独立的直流-直流转换器用于生成高电压侧电源。
接地基准	各电流输入具有各自的基准。各基准均与所有其他电路相隔离。

1.3.3 ADC 接口

下列内容详细介绍了将隔离放大器连接到 ADC 的步骤：

- (A) 共模直流输出的隔离放大器：用户可将隔离放大器配置为 1.3V 或 2.5V 直流共模输出，输出端使用 3V 或 5V 低侧电源。
- (B) ADS131E08 Δ - Σ ADC 的接口：可将放大器输出与 TI Δ - Σ 调制器相连。使用 ADS131E08 器件时，将共模电压配置为 2.5V。
- (C) MCU 接口：已提供带有 12 位差分输入的板载 MCU。使用 MCU 时，将共模电压配置为 1.29V。

2 主要系统技术规格

表 3. 设计要求

序号	参数	规范
1	隔离式电流输入（带有板载分流器）	三个
2	隔离式电压输入（带有板载分压器）	三个
3	测量频率	直流、50Hz 和 60Hz
4	电流测量精度	< $\pm 0.5\%$ （在 AMC1100 输入满量程的 5% 至 100% 范围内）
5	电压测量精度	< $\pm 0.5\%$ （在 AMC1100 输入满量程的 5% 至 100% 范围内）
6	放大器输出接口 – 选项 1（输出共模电压设为 2.55V（典型值））	连接至 ADS131E08
7	放大器输出接口 – 选项 2（输出共模电压设为 1.29V（典型值））	MSP430FR5869
8	直流电源输入	5V DC
9	电源	隔离式 5V 和 -5V；非隔离式 3.3V
10	可选输出信号共模电压	5V ADC 或 3.3V 低侧电源可供选择

3 框图

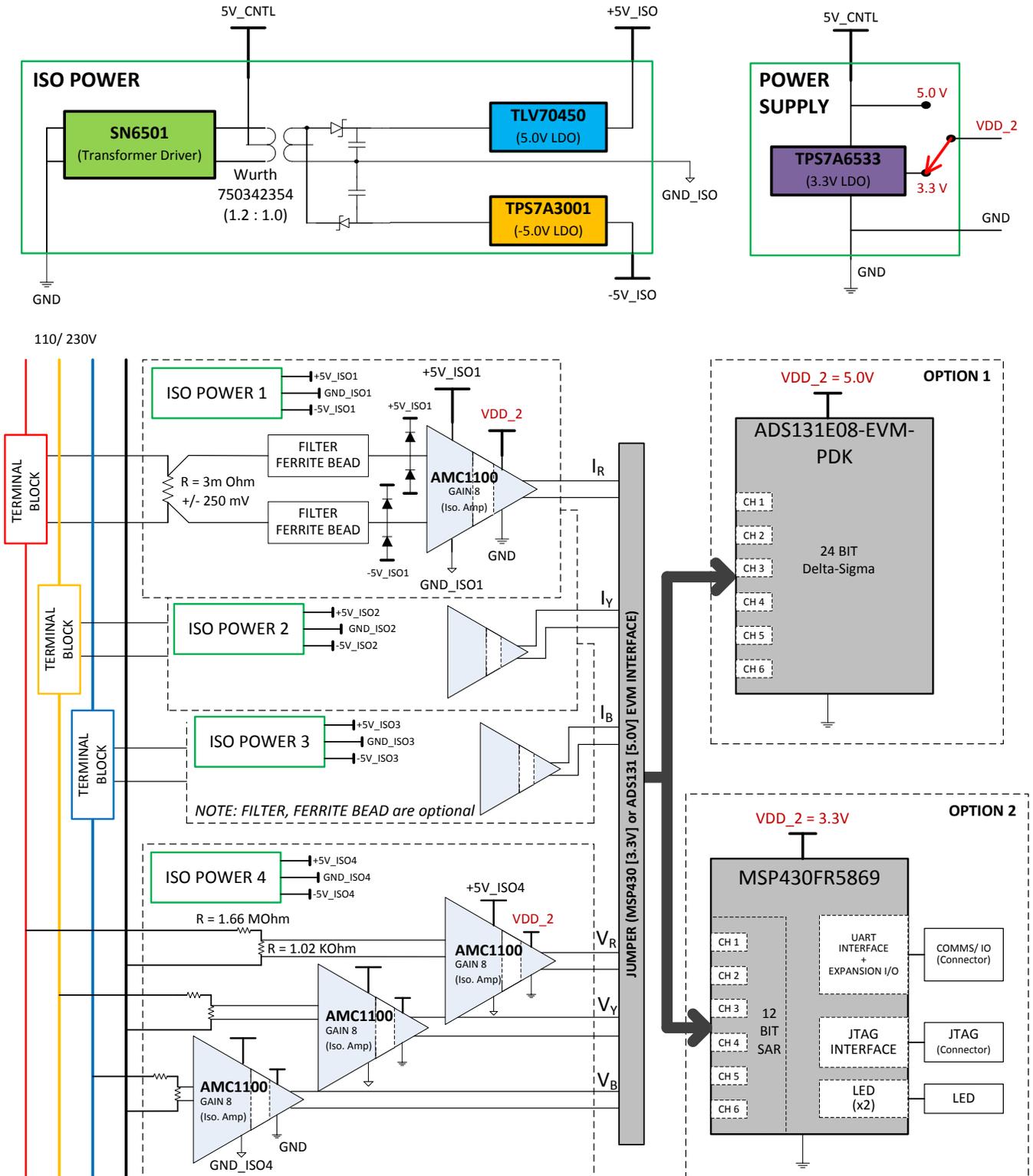


图 1. TIDA-00555 功能框图

3.1 重点产品

3.1.1 AMC1100 - 全差分隔离放大器

AMC1100 是一款精密隔离放大器，通过高磁场抗扰度的二氧化硅 (SiO₂) 隔栅将输出与输入电路隔离。根据 UL1577 和 IEC60747-5-2 标准，该隔离栅经认证可提供高达 4250 V_{PEAK} 的电流隔离。当与隔离式电源配合使用时，该器件可防止共模高电压线路上的噪声电流进入本地接地并干扰或损坏敏感电路。

AMC1100 输入电路进行了专门的优化，可以直接连接到 Shunt 电阻或其它低压电平信号。此器件的出色性能可实现电能计量应用中的精准电流和电压测量。输出信号共模电压自动和 3.3V 或 5V 低侧电源电压匹配。

AMC1100 在 -40°C 至 +105°C 的扩展工业温度范围内完全额定运行。本设计采用 gullwing-8 (DUB) 封装。下面的图 2 给出了 AMC1100 功能框图。

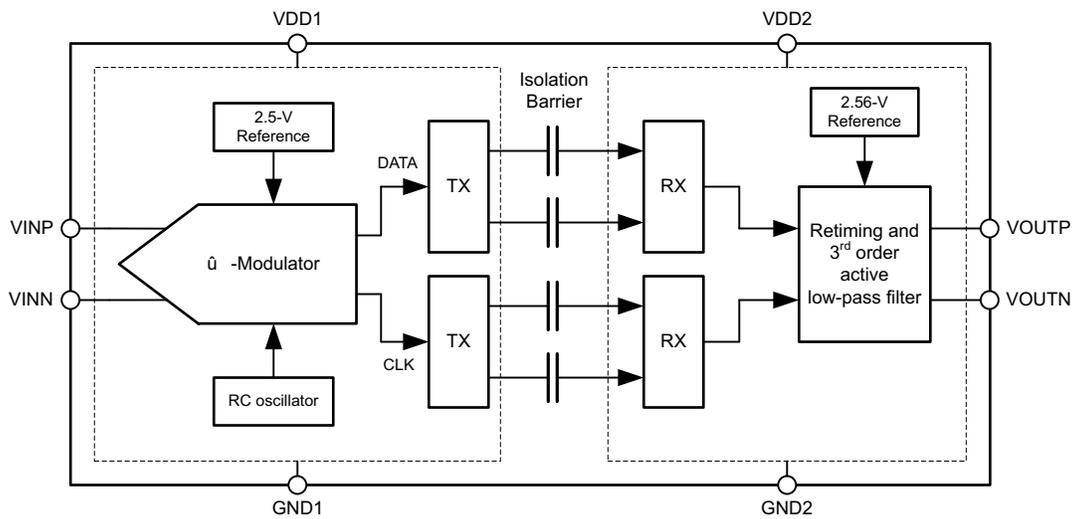


图 2. AMC1100 功能框图

主要特性:

- 针对分流电阻进行优化的 $\pm 250\text{mV}$ 输入电压范围
- 极低非线性度: 5V 时为 0.075% (最大值)
- 低偏移误差: 1.5mV (最大值)
- 低噪声: 3.1 mV_{RMS} (典型值)
- 低高侧电源电流: 5V 时为 8mA (最大值)
- 输入带宽: 60kHz (最小值)
- 固定增益: 8 (精度为 0.5%)
- 高共模抑制比: 108dB
- 低侧工作电压: 3.3V 或 5V

3.1.2 SN6501 - 变压器驱动器

SN6501 是一款单片振荡器和电源驱动器，专门设计用于隔离接口应用中的小外形隔离式电源。该器件通过 5V 直流电源驱动薄型、中间抽头的变压器一次侧。根据变压器匝数比的不同，变压器的二次侧可通过绕线提供相应的隔离电压。

SN6501 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参考 N 通道电源开关。此内部逻辑电路确保了两个开关之间的先开后和操作。

SN6501 采用小外形尺寸晶体管 (SOT)-23 (5) 封装，其额定运行温度范围为 -40°C 至 125°C 。下面的图 3 给出了 SN6501 功能框图。

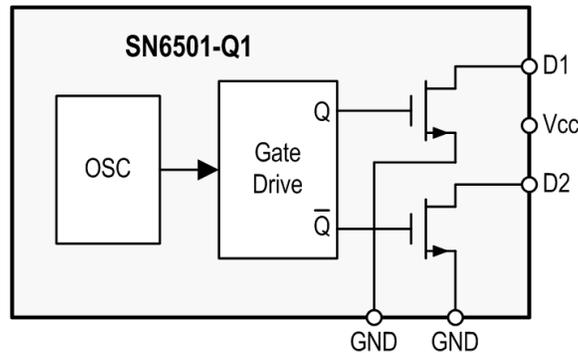


图 3. SN6501 功能框图

主要特性：

- 用于小型变压器的推挽式驱动器
- 3.3V 或 5V 单电源
- 较高的一次侧电流驱动：
 - 5V 电源：350mA（最大值）
 - 3.3V 电源：150mA（最大值）
- 低纹波整流输出允许使用较小的输出电容
- 小型 5 引脚 SOT-23 封装

3.1.3 TLV704 - 低压降稳压器

TLV704 系列低压降 (LDO) 稳压器是针对功耗极端敏感型应用而设计的超低静态电流器件。静态电流在整个负载电流和环境温度范围内几乎恒定不变。该系列器件是低功耗 MCU (如 TI MSP430™ MCU) 的理想电源管理附件。

TLV704 器件可在 2.5V 至 24V 的宽输入电压范围内运行。凭借这一特性, 该器件成为电池供电类系统以及存在较大线路瞬变的工业应用的理想之选。

TLV704 器件采用 3mm x 3mm SOT-23 (5) 封装, 非常适用于生产经济实用的电路板。该器件的额定工作温度范围为 -40°C 至 125°C。下面的图 4 给出了 TLV704 功能框图。

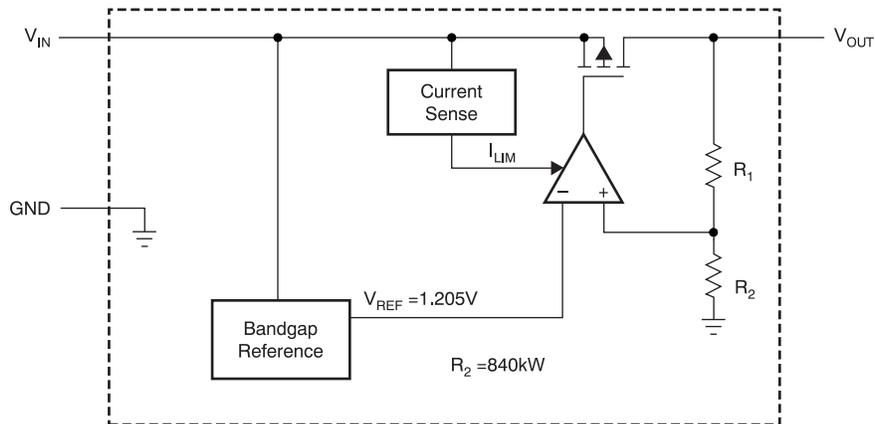


图 4. TLV704 功能框图

主要特性:

- 宽输入电压范围: 2.5V 至 24V
- 3.2μA 低静态电流
- 接地引脚电流: 100mA I_{OUT} 时为 3.4μA
- 与低等效串联电阻 (ESR) 的 1μF (典型值) 输出电容搭配工作时可保持稳定
- 运行结温范围: -40°C 至 125°C
- 采用 SOT-23 (5) 封装

3.1.4 TPS7A30 - 负电压线性稳压器

TPS7A30 系列器件是具有较高负电压 (-35V)、超低噪声 ($15.1 \mu\text{V}_{\text{RMS}}$)、电源抑制比 (PSRR) 为 72dB 的线性稳压器，最高可拉入 200mA 负载电流。

该系列线性稳压器包括一个兼容 CMOS 逻辑电平的使能引脚，以及支持自定义电源管理方案的电容可编程软启动功能。其内置电流限制和热关断保护特性，可在故障期间保护器件和系统。

TPS7A30 系列使用双极技术设计，非常适合于高准确度、高精度测量仪器应用。此类应用中的干净电压轨对于系统性能的最大化至关重要。这种设计使得该器件非常适合于为运算放大器、ADC、数模转换器 (DAC) 以及其他高性能模拟电路供电。

此外，TPS7A30 系列线性稳压器还适用于后置直流-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，可在测试和测量应用中实现系统性能最优化。

TPS7A30 采用散热性能良好的 MSOP-8 PowerPAD™ 集成电路封装，其额定工作温度范围为 -40°C 至 125°C 。下面的图 5 给出了 TPS7A30 功能框图。

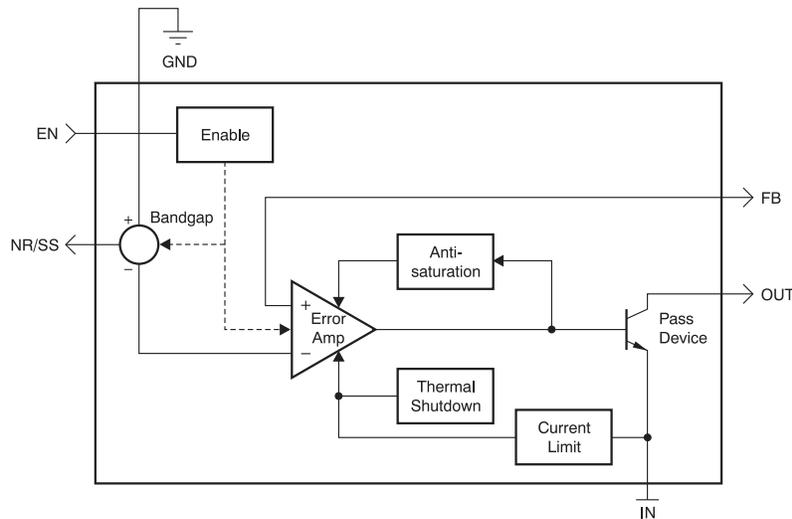


图 5. TPS7A30 功能框图

主要特性：

- 输入电压范围：-35V 至 -3V
- 可调节输出：-1.18V 至 -33V
- 最大输出电流：200mA
- 压降：216mV (100 mA)
- 借助陶瓷电容实现稳定，电容 $\geq 2.2\mu\text{F}$
- CMOS 逻辑电平兼容的使能引脚
- 内置固定电流限制和热关断保护
- 采用散热性能良好的 MSOP-8 PowerPAD™ 封装
- 运行温度范围为 -40°C 至 $+125^\circ\text{C}$

3.1.5 TPS7A6533 - 低压降稳压器

TPS7A6533 是一款低压降线性稳压器，设计用于在轻负载应用是实现低功耗并将其静态电流降至 $25\mu\text{A}$ 以下。该器件具有集成过流保护功能，设计为即使与低等效串联电阻 (ESR) 的陶瓷输出电容搭配使用也可保证稳定运行。低电压跟踪功能允许采用较小的输入电容。

TPS7A6533 器件采用 3 引脚 TO-252 耐热增强型电源封装，其额定运行温度范围为 -40°C 至 150°C 。下面的图 6 给出了 TPS7A6533 功能框图。

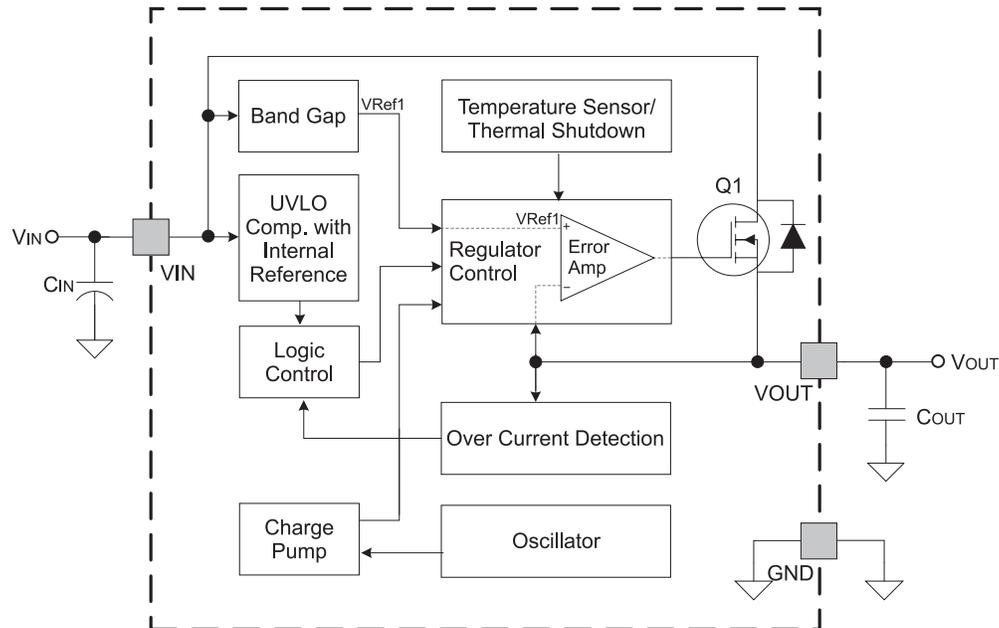


图 6. TPS7A6533 功能框图

主要特性:

- $I_{OUT} = 150\text{mA}$ 时的 LDO 电压为 300mV
- 4V 至 40V 宽输入电压范围，瞬态电压高达 45V
- 最大输出电流为 300mA
- 轻负载条件下的超低静态电流为 $25\mu\text{A}$ (典型值)
- 3.3V 固定输出电压 (容差为 $\pm 2\%$)
- 低 ESR 陶瓷输出稳定电容
- 集成故障保护功能
 - 短路和过流保护
 - 热关断
- 低输入电压跟踪
- 耐热增强型电源封装: 3 引脚 TO-252 (KVU/DPAK)

3.1.6 ADS131E08 - 24 位 Δ - Σ ADC

ADS131E08 是一款多通道、同步采样、24 位 Δ - Σ 模数转换器 (ADC)。该转换器内置可编程增益放大器 (PGA)、内部基准和板载振荡器。

ADS131E08 包含工业电源监视、控制和保护应用通常所需的功能。ADS131E08 输入可单独与电阻分压器网络或者变压器直接相连来测量电压。其输入也可连接电流互感器或罗戈夫斯基 (Rogowski) 线圈来测量电流。凭借高集成度和优异性能, ADS131E08 系列器件可在大幅缩减尺寸、降低功耗并削减总成本的前提下构建可扩展的工业电源系统。

ADS131E08 的各通道均配有一个灵活的输入多路复用器。该多路复用器可独立连接内部生成的信号, 用于进行测试以及温度和故障检测。故障检测可使用集成比较器以及由数模转换器 (DAC) 控制的触发电平在器件内部实现。ADS131E08 的数据传输速率可高达 64kSPS。

这套完整的模拟前端 (AFE) 解决方案采用 TQFP-64 封装, 额定工业温度范围为 -40°C 至 $+105^{\circ}\text{C}$ 。下面的图 7 给出了 ADS131E08 功能框图。

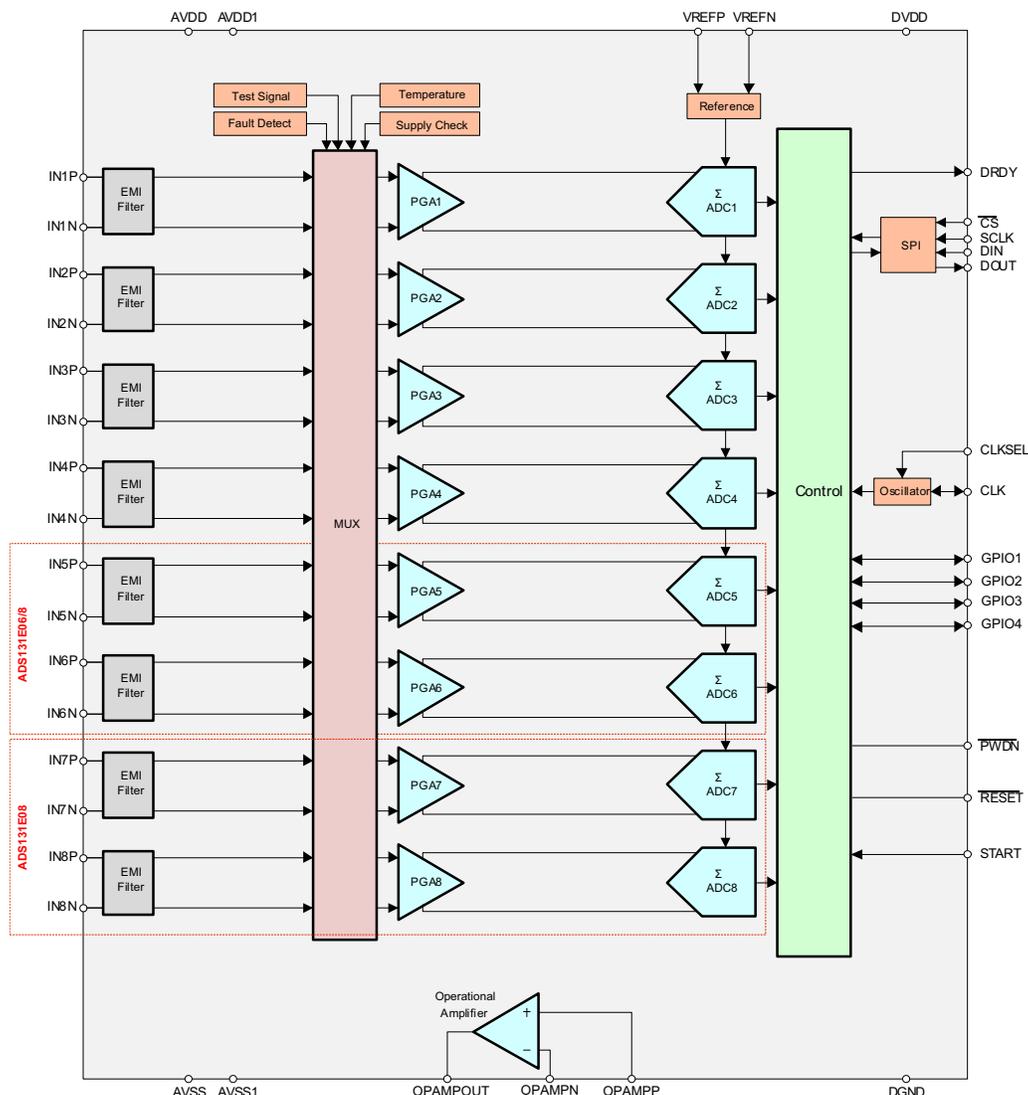


图 7. ADS131E08 功能框图

主要特性:

- 经优化的 8 路差分电流和电压输入
- 优异的性能：
 - 优于 0.1 类性能
 - 1kSPS 时的动态范围：118dB
 - 串扰：-110dB
 - 总谐波失真 (THD)：50Hz 和 60Hz 时为 -90dB
- 电源电压范围：
 - 模拟：3V 至 5V（单极）；±2.5V（双极，允许直流耦合）
 - 数字：1.8V 至 3.6V
- 低功耗：每通道 2mW
- 数据传输速率：1、2、4、8、16、32 和 64kSPS
- 可编程增益（1、2、4、8 和 12）
- 故障检测和器件测试功能
- SPI 数据接口和四个通用输入/输出 (GPIO) 引脚

3.1.7 MSP430FR5869 - 混合信号微控制器

MSP430FR5869 是一款嵌入式微控制器，其具备时钟频率高达 16MHz 的 16 位精简指令集 (RISC) 架构以及优化的超低功耗 (ULP) 模式。MSP430FR5869 器件具有 12 位逐次逼近寄存器 (SAR) ADC。ADC 输入可采用单端或差配置。MSP430FR5869 最多可与 16 路单端输入或 8 路差分外部模拟输入相连。该器件内置段式液晶显示屏 (LCD) 驱动器和扫描接口。

MSP430 超低功耗 (ULP) 铁电 RAM (FRAM) 平台将独特的嵌入式 FRAM 和集成超低功耗系统架构相结合，允许创新人员以较少能源预算提升性能。FRAM 技术完美融合了 SRAM 的速度、灵活性和耐用性与闪存的稳定性和可靠性，并且功耗极低。下面的图 8 给出了 MSP430FR5869 功能框图。

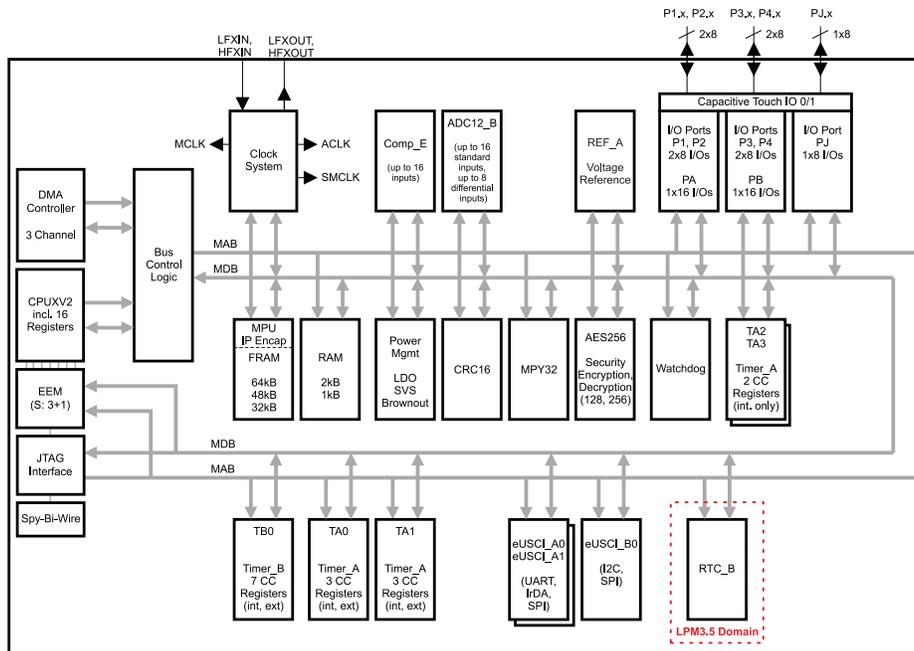


图 8. MSP430FR5869 功能框图

主要特性:

- 嵌入式 MCU
 - 时钟频率高达 16MHz 的 16 位 RISC 架构
 - 宽电源电压范围: 1.8V 至 3.6V (最低电源电压受限于电源电压监控器 (SVS) 电平)
- 优化的超低功耗模式
- 超低功耗铁电 RAM (FRAM)
 - 容量高达 64KB 的非易失性存储器
 - 支持 125ns/字的快速写入 (4ms 内写入 64KB)
 - 耐写次数达 10^{15}
- 智能数字外设
- 高性能模拟
 - 16 通道模拟比较器
 - 内置基准和采样/保持电路并具有多达 16 条外部输入通道的 12 位 ADC
- 多功能输入和输出端口
- 增强型串行通信
 - eUSCI_A0 和 eUSCI_A1 支持
 - 支持自动波特率检测的通用异步收发器 (UART)
 - 数据传输速率高达 10Mbps 的串行外设接口 (SPI)
 - eUSCI_B0 支持
 - 支持多从器件寻址的 I²C
 - 数据传输速率高达 8Mbps 的 SPI
 - 硬件 UART 和 I²C 引导加载程序 (BSL)
- 灵活的时钟系统
- 工作温度范围: -40°C 至 +85°C

4 系统设计原理

4.1 隔离测量

AMC1100 通过 VDD2（低侧电源）提供可配置输出共模电压。

表 4. 可配置输出共模电压

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
输出共模电压	$2.7V \leq VDD2 \leq 3.6V$	1.15	1.29	1.45	V
	$4.5V \leq VDD2 \leq 5.5V$	2.4	2.55	2.7	

ADC 的输入范围可以是 0V 至 2.5V 或者 0V 至 5V。

ADS131E08EVM-PDK AVCC 值最高可达 5V。当与 ADS131E08EVM-PDK 相连时，AMC1100 VDD2 必须设置为 5V。

MSP430FR5869 的电源电压 AVCC 为 3.3V。当与 MSP430FR5869 相连时，AMC1100 VDD2 必须设置为 3.3V。

4.1.1 隔离电流测量

TIDA-00555 设计可测量 3 路电流输入。分流器用于测量输入电流。分流电阻值可根据下面的公式 1 进行计算：

$$R_{SHUNT} = V_{SHUNT_MAX} / I_{IN_MAX} \times 1000$$

其中

- R_{SHUNT} 为分流电阻值（以 $m\Omega$ 为单位）
 - I_{IN_MAX} 是最大输入电流
 - V_{SHUNT_MAX} 是最大输入电流下分流器两端可接受的最大输出电压
- (1)

该设计采用隔离放大器实现电流信号隔离。滤波电路由若干电阻和一个电容组成，连接在分流电阻后面。经过滤波的电压施加于隔离放大器。

下面的图 9 给出了 TIDA-00555 的电流测量部分。

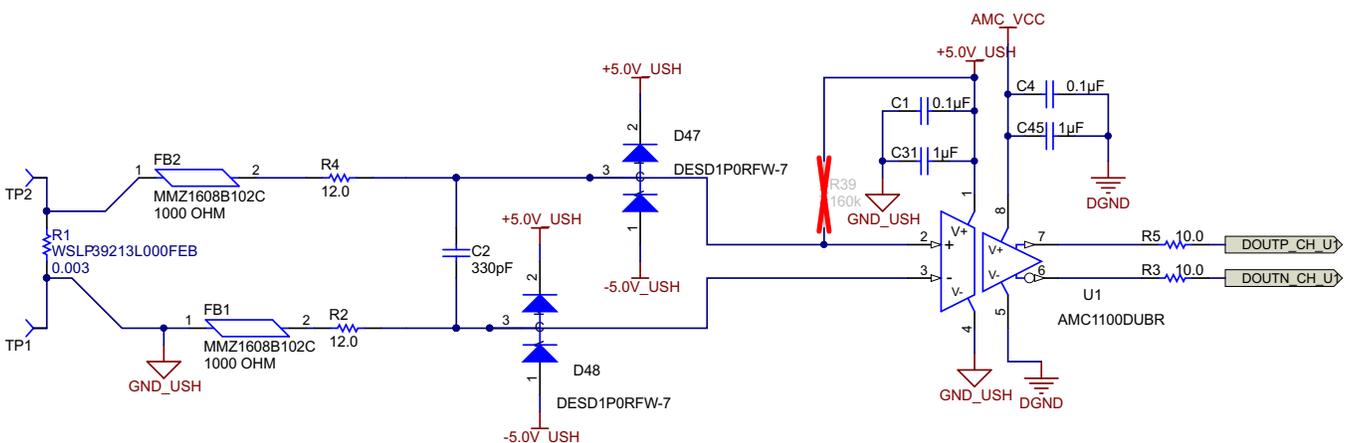


图 9. U 电流输入的电路图

用户可使用公式 1 计算分流电阻值。该设计采用 $3m\Omega$ 分流电阻。

4.1.2 隔离电压测量

TIDA-00555 设计可测量 3 路电压通道。下面的图 10 给出了其中一个电压输入电路。

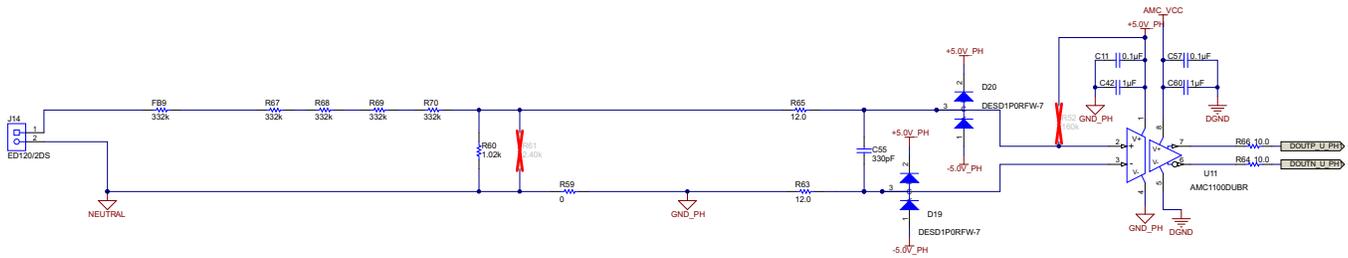


图 10. U 电压输入的电路图

如果应用于噪声环境中或者需要减小分压器电阻，则可在 FB9 两端使用铁氧体磁珠。

为交流输入电压通道选择分压器电阻值时，应确保 AMC1100 的输入小于最大交流输入电压下的差分输入范围。

分压值计算：

$$\begin{aligned} \text{最大感测电压} \rightarrow V_{\text{MAX}} &= 276 \text{ V}_{\text{RMS}} \text{ (230V 的 +20\%)} \\ \text{峰值最大感测电压} \rightarrow V_{\text{MAX_PK}} &= V_{\text{MAX}} \times 1.414 \\ &= 390\text{V} \end{aligned}$$

用于测量的电阻分压器的峰值电压输出必须小于 AMC1100 的输入电压 (250mV)。

所选分压比必须确保分压电阻两端电压在最大输入电压下小于 AMC1100 输入电压范围 (250mV)。为降低负载影响，该负载电路的阻抗应大于 1MΩ。所选阻抗为 1.66MΩ。

根据公式 2，本设计中的 R60 选用 1.02KΩ。

$$\begin{aligned} R60 &\leq V_{\text{OUT}} / (V_{\text{MAX_PK}} - V_{\text{OUT}}) \times 1.66\text{M}\Omega \\ &\leq 1.064\text{k}\Omega \end{aligned}$$

其中

- $V_{\text{MAX_PK}} = 390\text{V}$
- $V_{\text{OUT}} \leq 250\text{mV}$

(2)

4.2 电源

4.2.1 隔离式电源

下面的图 11 给出了隔离式电源设计。

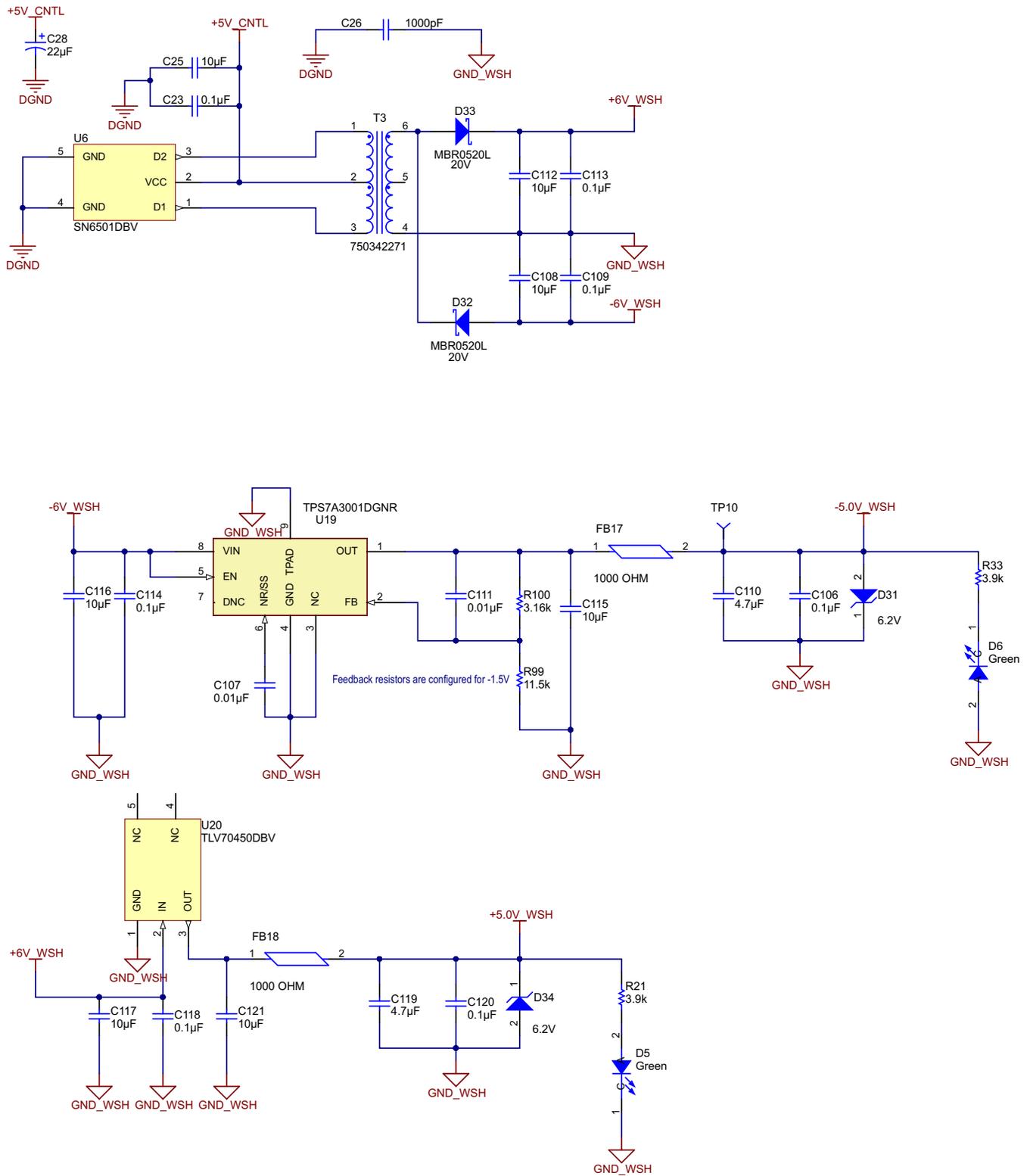


图 11. 隔离式电源和齐纳保护电路原理图

隔离式电源的部分设计特性如下：

- 使用 SN6501 器件，该器件是一款单片振荡器和电源驱动器，专门针对隔离接口应用中的小外形尺寸隔离式电源而设计。SN6501 振荡器通过 5V 直流电源驱动薄型、中间抽头的变压器一次侧。TIDA-00555 设计采用匝数比为 1.64:1 的变压器生成 $\pm 6V$ 电压。
- 使用 TLV70450DBV，该器件是一款超低 IQ（静态电流）、高 V_{IN} LDO（供隔离侧的调制器工作使用），用于将 6V 电压转换为 AMC1100 运行所需的 5V 电压。
- 使用 TPS7A3001DGNR，该器件是一款高压超低噪声线性负压稳压器，用于为隔离侧提供保护。TPS7A3001DGNR 稳压器用于将 -6V 电压转换为 AMC1100 运行所需的 -5V 电压。
- 使用三条电流通道和三条电压通道。三条电流通道彼此隔离，而三条电压通道采用分组隔离并共用一个隔离电源。每条输入通道均提供 5V DC 和 -5V DC 过压保护。

注：本参考设计采用定制的变压器。请根据需要联系 Würth。

4.2.2 非隔离式电源

下面的图 12 给出了带有齐纳保护电路的非隔离式电源设计。

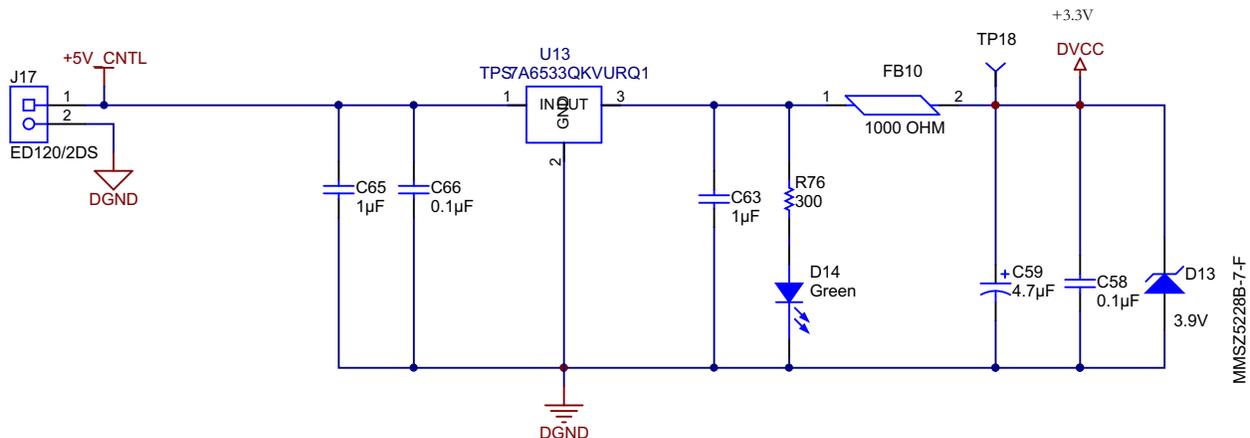


图 12. 带有齐纳保护电路的非隔离式电源

要为测量模块供电，请为双引脚端子块 J17 连接外部直流电源。该设计采用 TPS7A6533-Q1 LDO，必须为其施加 5V 直流输入。测量模块的 DVCC 为 3.3V。该电源具有过压保护并使用发光二极管 (LED) 指示电源状态。

4.3 ADS131E08EVM-PDK

ADS131E08EVM-PDK 是一款性能演示套件 (PDK)，专门用于评估 ADS131E08 低功耗、24 位、同步采样、8 通道 ADC。MMB0 模块化 EVM 主板提供的数字 SPI 控制接口用于连接 ADS131E08 评估板。ADS131E08EVM-PDK 设计用于加快评估和系统开发。MMB0 主板允许 ADS131E08EVM 通过提供的 USB 端口与计算机相连。

有关如何将 MMB0 用于 ADS131E08EVM-PDK 的更多详细信息，请参见

《ADS131E08 的性能演示套件用户指南》(文献编号: [SBAU200](#))。下面的图 13 给出了 ADS131E08EVM-PDK 的电路板照片。

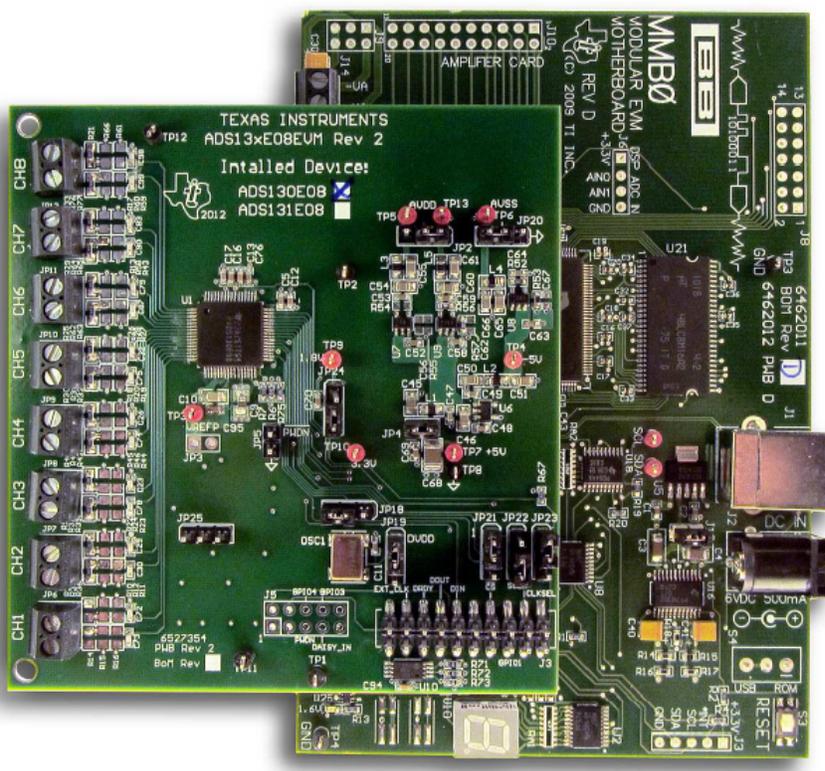


图 13. ADS131E08EVM-PDK 电路板照片

该 EVM 支持的特性如下：

硬件特性：

- 可配置为双极或单极电源供电
- 可通过跳线设置配置为内部或外部时钟
- 可使用螺钉端子轻松施加模拟测试信号

软件特性：

- 分析工具，包括虚拟示波器、直方图和快速傅立叶变换 (FFT)
- 访问各种寄存器的内容，包括数据传输速率、PGA 选项等
- 使用简单易用的图形用户界面 (GUI) 软件设置 ADS131E08 寄存器

ADS131E08EVM 通过连接器 J1、J2 和 J3 安装到 MMB0 主板上。前端电路板的主电源（5V、3V 和 1.8V）由主机 MMB0 电路板通过连接器 J3 提供。前端电路板所需的所有其他电源均由电路板上的电源管理器件提供。

ADS131E08 数字信号（包括 SPI 信号、部分 GPIO 信号和控制信号）均在连接器 J1 处提供。这些信号可用于连接 TIDA-00555 电路板上的 MSP430FR5869。这些信号用于连接 EVM 中的 MMB0 电路板 DSP。

表 5 给出了该连接器的引脚配置。

表 5. J1 连接器的引脚配置

信号	J1 引脚编号		信号
START/CS	1	2	CLKSEL
CLK	3	4	GND
NC	5	6	GPIO1
CS	7	8	RESET
NC	9	10	GND
DIN	11	12	GPIO2
DOUT	13	14	NC/START
DRDY	15	16	SCL
EXT_CLK	17	18	GND
NC	19	20	SDA

可使用端子块 J5 至 J12（在电路板上标记为 CH1 至 CH8）施加模拟信号。对于 TIDA-00555 接口测试，该 EVM 上的 AVDD 设为 5V，AVSS 设为 0V。

注： 用户必须确保在 ADS131E08EVM-PDK 电路板上采用 5V 单极模拟电源配置。集成电路 (IC) U6 必须由 TPS73230 (3V) 更换为 TPS73250 (5V)，从而将单极模拟电源配置为 5V。ADS131E08EVM-PDK 和 TIDA-00555 电路板的接地端必须通过跳线相连。

4.4 MCU

4.4.1 MCU的连接

TIDA-00555 设计与 MSP430FR5869 MCU 相连。用户可将三条电流通道和三条电压通道与 MSP430FR5869 的 SAR ADC 相连。ADC 的分辨率为 12 位，可将其配置为测量差分输入。

图 14 给出了 MSP430FR5869 的电路原理图。

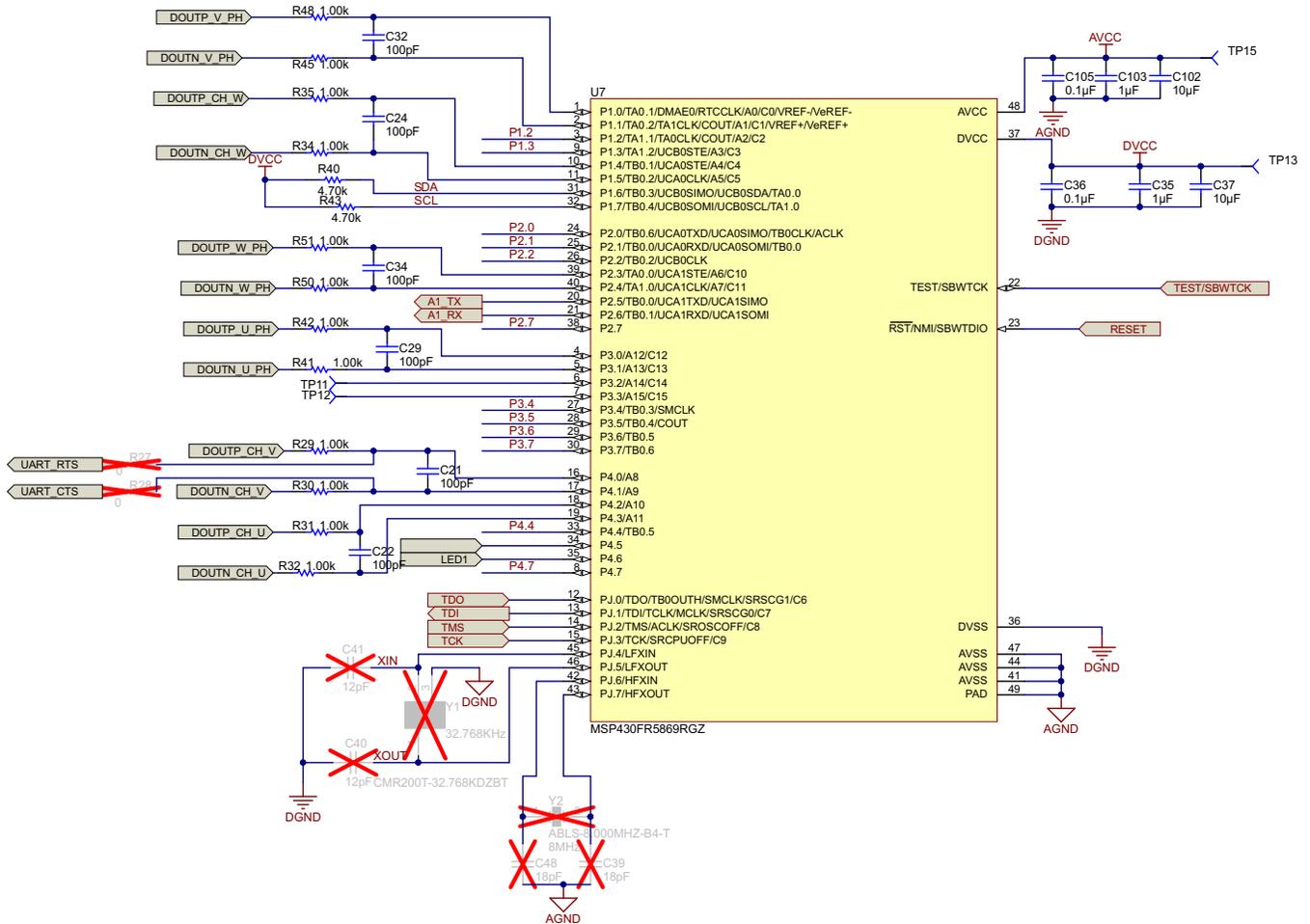


图 14. MSP430FR5869 MCU 电路原理图

图 15 显示的是扩展接口。本设计提供多种扩展选项：

- **SPI:** 为利用 AMC1100 的整个输入范围，应采用输入范围为 0V 至 5V 的 ADC（如 ADS131E_{xx}）。为进行满量程测量，请将 MCU 的 SPI 与 ADS131E08 EVM 相连（该 EVM 与 AMC1100 的输出相连）。此外，SPI 还可用于与图形用户界面 (GUI) 通信。
- **UART:** 用户可通过在外部将 RS232 芯片与 UART 相连的方式实现 RS232 通信。
- **I²C:** 输入可能需要基于所用感测器件的精度进行校准。在本设计中，用户可通过 I²C 接口将校准值存储到 EEPROM 中。该 I²C 接口可用于连接温度传感器、实时时钟 (RTC) 或任何其他基于 I²C 接口的外设。
- **GPIO:** 通用输入/输出 (GPIO) 引脚的输入可用作输入或输出、定时器输入或脉宽调制 (PWM) 输出。需要增强功能时可以使用这些输入和输出。

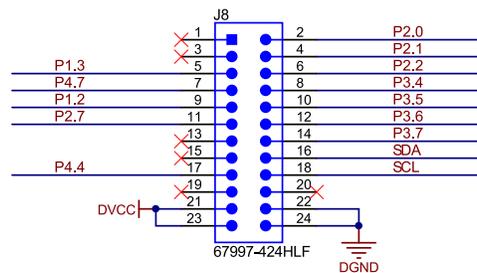


图 15. 扩展接口

LED 指示:

本设计的电路板上提供有两个 LED。两 LED 均可根据用户规范进行配置。图 16 给出了 LED 电路原理图。

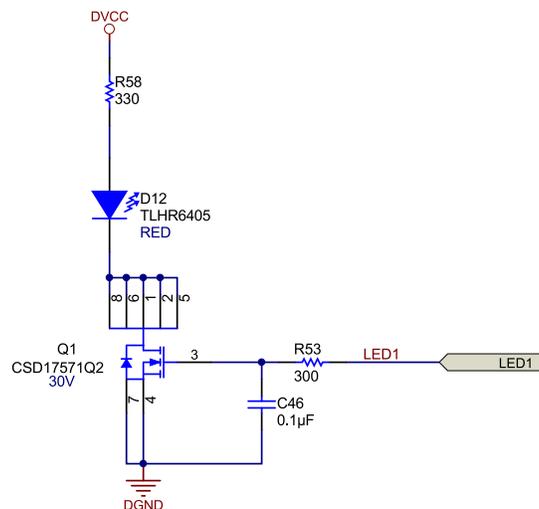


图 16. LED 电路原理图

注：施加的模拟信号必须处于 ADC 的模拟输入电压范围内。

4.4.2 MCU 编程

MSP430 系列支持标准 JTAG 接口。该接口需要四个信号来收发数据。JTAG 信号与 GPIO 复用。TEST/SBWTCK 引脚用于使能 JTAG 信号。除了这些信号以外，需要使用 RST/NMI/SBWDIO 引脚来连接 MSP430 开发工具和器件编程器。

图 17 给出了 JTAG 编程连接器的电路原理图。有关连接开发工具和器件编程器的更多详细信息，请参见《MSP430 硬件工具用户指南》（文献编号：[SLAU278](#)）。要获取 JTAG 接口特性及其实现的完整说明，请参见《通过 JTAG 接口进行 MSP430 编程用户指南》（文献编号：[SLAU320](#)）。

连接器 J3 是 TIDA-00555 设计的 JTAG 编程接口连接器。

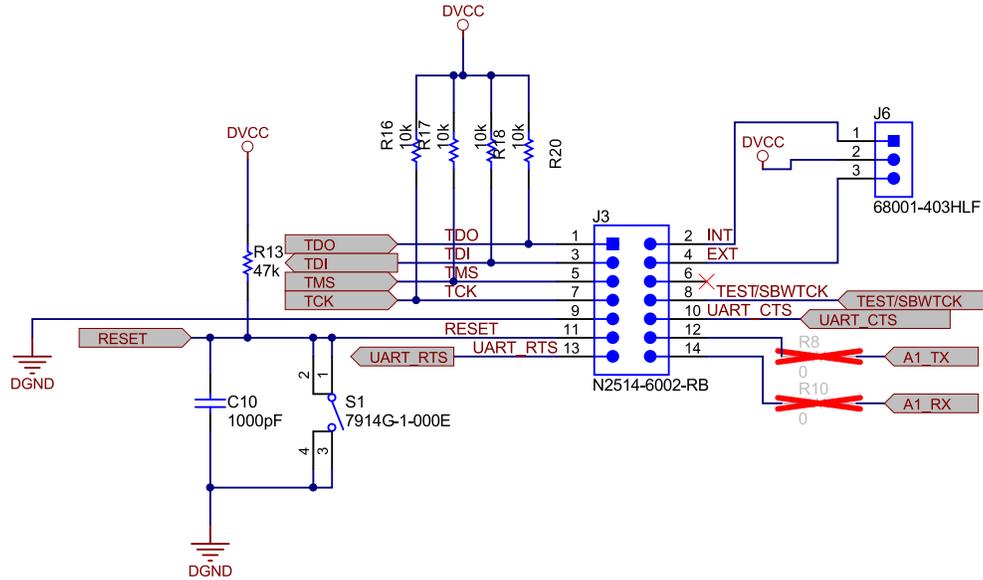


图 17. JTAG 编程连接器

4.4.3 MCU — 初始化和 RMS 计算

初始化看门狗定时器

禁用看门狗定时器

初始化振荡器端口引脚

如果需要低频 (LF) 时钟或高频 (HF) 时钟，则将端口位 PJ.4、PJ.5、PJ.6 和 PJ.7 置 1。清零 PM5CTL0 寄存器中的 LOCKLPM5 位。

初始化 FRAM

（使用密码）将 FRAM 控制寄存器 FRCTL0 配置为一个等待状态，因为时钟频率配置为 16MHz。

初始化振荡器

使用 CSKEY 密码通过 CSCTL0_H 寄存器解锁 CS 寄存器。

使用寄存器 CSCTL1 的 DCORSEL (= 1) 和 DCOFSEL (= 4) 来选择 16MHz。

使用寄存器 CSCTL2 的 SELS 和 SELM 作为 DCO 时钟（SELA 默认作为 VLO 时钟并且可更改为所需设置）。

使用寄存器 CSCTL3，将分频器 A、分频器 S 和分频器 M 的值选为 1。

使用 CSCTL0_H 寄存器锁定 CS 寄存器。

初始化端口引脚

要初始化 ADC 端口引脚 A0 和 A1:

将 P1SEL0 的 bit 0 和 bit 1 置为高电平

将 P1SEL1 的 bit 0 和 bit 1 置为高电平

要初始化 ADC 端口引脚 A4 和 A5:

将 P1SEL0 的 bit 4 和 bit 5 置为高电平

将 P1SEL1 的 bit 4 和 bit 5 置为高电平

要初始化 ADC 端口引脚 A6 和 A7:

将 P2SEL0 的 bit 2 和 bit 3 置为高电平

将 P2SEL1 的 bit 2 和 bit 3 置为高电平

要初始化 ADC 端口引脚 A12 和 A13:

将 P3SEL1 的 bit 0 和 bit 1 置为高电平

要初始化 ADC 端口引脚 A14 和 A15:

将 P3SEL1 的 bit 2 和 bit 3 置为高电平

要初始化 ADC 端口引脚 A8 和 A9:

将 P4SEL1 的 bit 0 和 bit 1 置为高电平

要初始化 ADC 端口引脚 A10 和 A11:

将 P4SEL1 的 bit 2 和 bit 3 置为高电平

要初始化 LED 引脚:

将 P4DIR 的 bit 5 和 bit 6 置为高电平来设置端口方向

将 P4OUT 的 bit 5 和 bit 6 置为高电平

使能内部基准

使用寄存器 REFCTL0 使能内部基准:

使能 bit 0 开启内部基准

使能 bit 4 和 bit 5 选择电压基准 (2.5V)

为使基准电压稳定, TI 建议使用延迟

将 **ADC** 初始化为差分输入

按照如下方式设置 ADC 控制寄存器 ADC12CTL0:

使能采样和保持 0、bit 4 (64 个时钟周期)

使能采样和保持 1、bit 4

使能 ADC12MSC 位来使能多采样转换 (以使能转换序列)

使能 ADC12ON 位

按照如下方式设置 ADC 控制寄存器 ADC12CTL1:

使能 ADC12SHP 以从采样定时器 (定时器 B) 获取 SAMPCON 信号

将 ADC12CONSEQx (bit 2-1) 置为 01b 来选择通道顺序

设置 ADC12SHSx = {3} 将定时器 B0 选为采样定时器源

设置 ADC12SSELx = 11b 将 SMCLK 选为 ADC 时钟源

将 ADC 控制寄存器 ADC12CTL2 的 ADC12RES 位置为 10b, 这将强制 ADC 在 12 位模式下运行

ADC 通道选择

ADC 通道选择

使用 ADC12MCTL0 寄存器选择 ADC 通道 0，差分模式，VeREF+ 和 VeREF- 分别作为正基准和负基准。

使用 ADC12MCTL1 寄存器选择 ADC 通道 4，差分模式，VeREF+ 和 VeREF- 分别作为正基准和负基准。

使用 ADC12MCTL2 寄存器选择 ADC 通道 6，差分模式，VeREF+ 和 VeREF- 分别作为正基准和负基准。

使用 ADC12MCTL3 寄存器选择 ADC 通道 8，差分模式，VeREF+ 和 VeREF- 分别作为正基准和负基准。

使用 ADC12MCTL4 寄存器选择 ADC 通道 10，差分模式，VeREF+ 和 VeREF- 分别作为正基准和负基准。

使用 ADC12MCTL5 寄存器选择 ADC 通道 12，差分模式，VeREF+ 和 VeREF- 分别作为正基准和负基准。

使用 ADC12MCTL6 寄存器选择 ADC 通道 14，差分模式，VeREF+ 和 VeREF- 分别作为正基准和负基准。另外，使能转换序列结束位。

对于 ADC 中断，使能寄存器 ADC12IER0 以及 bit 6。这样，模数转换完成时会使能 ADC 中断，将转换结果填充到 ADC12MEM6 中。

为 ADC 采样初始化定时器

初始化定时器

将 TB0R 寄存器值置 0

将 TB0CCR0 寄存器设为 2500（采样间隔）

将 TB0CCTL1 设为模式 3（置 1/复位）

按如下方式设置 TB0CTL 寄存器：

TBSSEL 位置为 11b (SMCLK)

CNTL 位置为 00b（16 位）

MC 位置为 11b（递增/递减模式）

使能 TBCLR 位

处理 ADC 中断

如果 ADC 中断使能位置 1，则完成模数转换后会产生 ADC 中断。转换结果存储到寄存器 ADC12MEM0 至 ADC12MEM6 中。这些结果将复制到结果 [] 数组。

使用一个（易失性）变量将标志置 1 来指示数据可用。

使用寄存器 ADC12CTL0（ADC12ENC 位）使能模数转换。

均方根 (RMS) 值计算

器件完成初始化后，程序计数器会等待一个标志位（指示数据可以用的）置位。该标志置 1 后，数据由结果数组复制到 In_data[sample_count]（其中，n = 1 至 8，sample_count = 0 至 63）。

然后，纠正采样值（偏移量 2048）并进行绝对值运算（忽略符号）。采样计数器递增计数。全部 64 个采样均以相同方式采集（使用前述程序）。每个周期会采样 64 个数据。

获得 64 个采样值后，进行均方根计算，具体如下：

求（64 个采样值中的）每个采样值的平方值，然后相加得到一个浮点型变量总和。

将该总和除以 64 得到一个浮点型变量温度。

之后计算温度的平方根。计算得到的值为特定通道的 RMS。此 RMS 计算过程适用于通道 A0、A4、A6、A8、A10、A12 和 A14。

5 使用入门

5.1 连接器

下面的表 6 介绍了电路板上的不同连接器及其使用。

表 6. 连接器

输入和输出类型	说明	连接器		
电流 I/P	通道 1	TP2, TP1		
	通道 2	TP5, TP4		
	通道 3	TP8, TP7		
电压 I/P	通道 1	J14.1, J14.2		
	通道 2	J15.1, J15.2		
	通道 3	J16.1, J16.2		
VDD2 (AMC_VCC) 选项	5V DC 或 3.3V DC	对于 5V: 短接 J28.3 和 J28.2 对于 3.3V: 短接 J28.1 和 J28.2		
电源输入	5V DC	J17.1, J17.2		
将 AMC1100 与 MSP430FR5869 相连 (AMC_VCC 必须采用 3.3V DC 电源)	用于电流感测: 这些连接器之间 (短接) 的跳线	J10.1 – J10.2		
		J11.1 – J11.2		
		J18.1 – J18.2		
		J19.1 – J19.2		
		J20.1 – J20.2		
		J21.1 – J21.2		
	用于电压感测: 这些连接器之间 (短接) 的跳线	J22.1 – J22.2		
		J23.1 – J23.2		
		J24.1 – J24.2		
		J25.1 – J25.2		
		J26.1 – J26.2		
		J27.1 – J27.2		
		MSP430FR5869 编程	JTAG	J3
			用于电流测量:	J10.2, J11.2
J18.2, J19.2				
J20.2, J21.2				
用于电压测量:	J22.2, J23.2			
	J24.2, J25.2			
	J26.2, J27.2			

下面的图 18 给出了 TIDA-00555 接口连接器及简要应用说明。

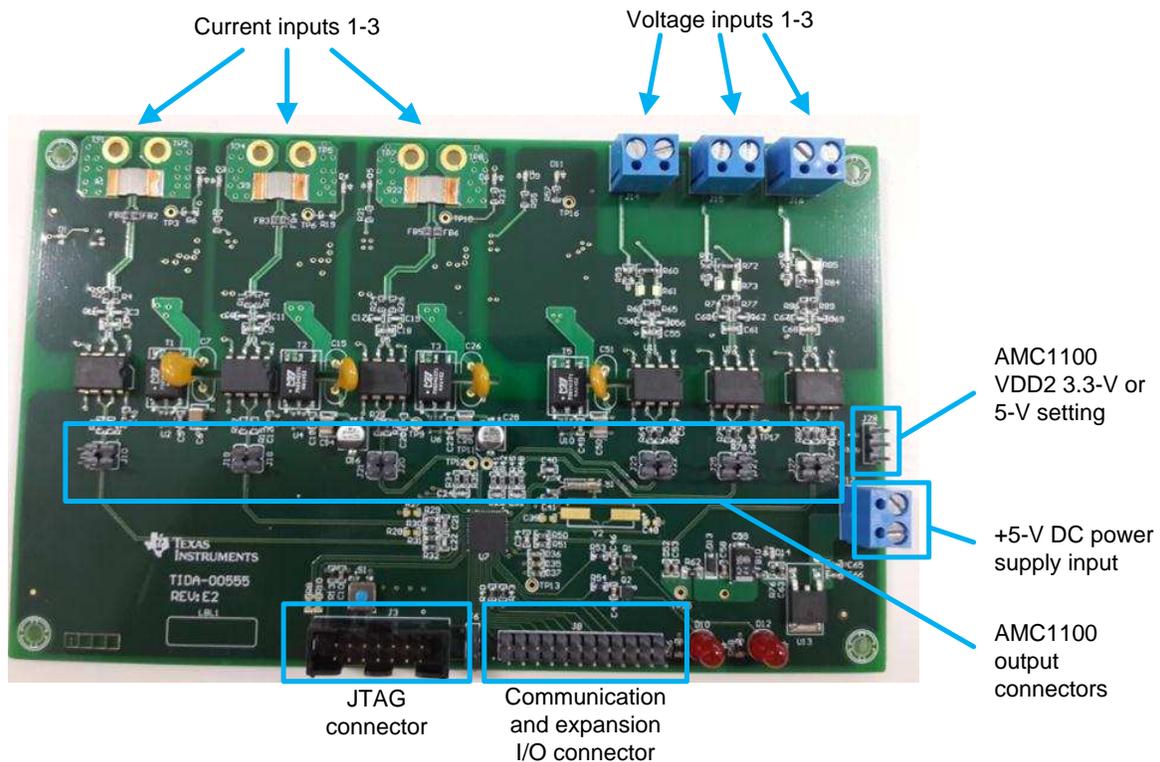


图 18. TIDA-00555 接口连接器

5.2 直流电源输入电压

电源输入为 5V DC。选择电源时务必要考虑初始浪涌电流。

5.3 交流信号输入范围

AMC1100 器件的差分输入电压为 $\pm 250\text{mV}$ ，如下面的公式 3 所示。

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Peak_AMC}} &= 250 \text{ mV} \\
 V_{\text{Peak_AMC_RMS}} &= 250 \text{ mV} / 1.414 \\
 &\approx 175 \text{ mV}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

本设计使用 175mV 作为交流信号的满量程输入。

5.3.1 电流输入范围

本设计采用的分流电阻为 $3\text{m}\Omega$ ，额定功率为 5W。

要计算流经分流电阻的最大输入电流，利用 $P = I^2R$ 计算公式 4 和公式 5:

$$\begin{aligned}
 I_{\text{max}} &\leq (P / R)^{0.5} \\
 &\leq 40.8 \text{ A}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{min}} &= V_{\text{Peak_AMC_RMS}} \times 5\% / R_{\text{shunt}} \\
 &= 2.9 \text{ A}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

注：选择分流电阻测量电流时，确保 AMC1100 的输入在最大额定输入电流下不会超出最大输入。

5.3.2 电压输入范围

本设计的输入电压范围为 15V 至 300V。

注： 当需要更改分压值时，应确保 AMC1100 的输入不会超出最大预期交流输入电压的最大额定输入。

6 测试设置

下面的图 19 和图 20 显示的是测试设备的实物照片；图 21 显示的是用于测试 TIDA-00555 设计的 ADS131E08EVM-PDK 电路板。



图 19. 5V DC 源



图 20. 可编程电源

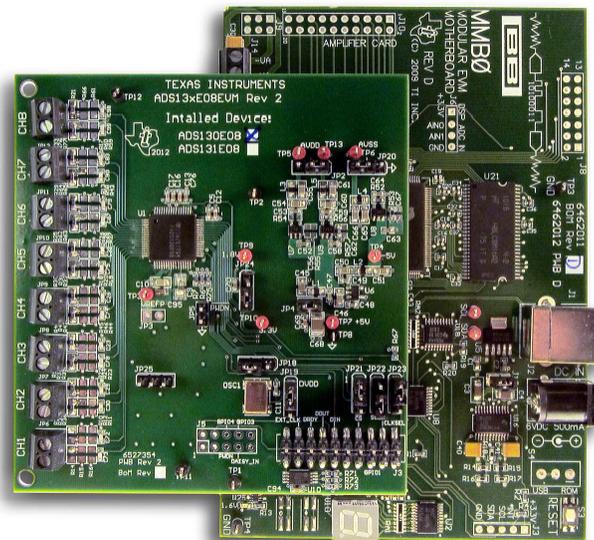


图 21. ADS131E08EVM-PDK EVM

6.1 测试设置连接

6.1.1 测试设置 - 将 TIDA-00555 与 ADS131E08EVM-PDK 相连

TIDA-00555 电路板通过 AMC1100 输出跳线接口与 ADS131E08EVM-PDK 相连。将 AMC_VCC 引脚设为 5V。可编程电源 PTS3.3C 用于提供所需幅值和频率的电压和电流。可在计算机上安装 ADS131E08EVM GUI，用于修改 ADS131E08 器件设置和捕获 ADC 值。将 J1 USB 连接器与系统相连以进行通信。将电源适配器与 ADS131E08EVM-PDK 的 J2 相连。使用 5V DC 输入为 TIDA-00555 电路板供电。

如表 6 所述，必须按照“输入和输出类型”列下的“将 AMC1100 与 ADS131E08EVM-PDK 相连”行中的规范进行连接，并且 AMC_VCC 必须设置为 5V。图 22 所示为使用 ADS131E08EVM-PDK 测试 TIDA-00555 设计时的测试设置。

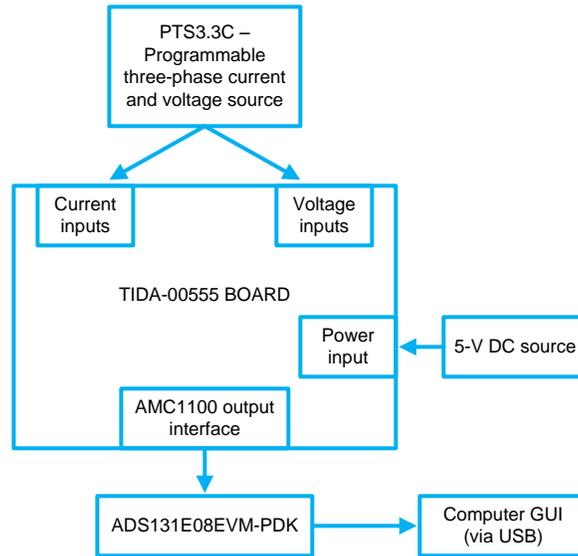


图 22. 使用 ADS131E08EVM-PDK 时的测试设置

注：请确保在对 TIDA-00555 电路板施加 5V DC 电源之后再施加输入电压或电流。

6.1.2 测试设置 - 将 AMC1100 与 MSP430FR5869 相连

TIDA-00555 电路板通过 AMC1100 输出跳线接口与 MSP430FR5869 器件相连。AMC_VCC 设为 3.3V。可编程电源 PTS3.3C 用于生成所需幅值和频率的电压和电流。ADC 值通过在 CCS 软件观察窗口中开发的测试固件进行捕捉。CCS 接口需要进行 JTAG 连接。TIDA-00555 电路板由外部的 5V DC 电源供电。

如表 6 所述，必须按照“输入和输出类型”列下的“连接 AMC1100”行中的规范进行连接，并且 AMC_VCC 必须设置为 5V。图 23 所示为测试 MSP430FR5869 器件时的测试设置。

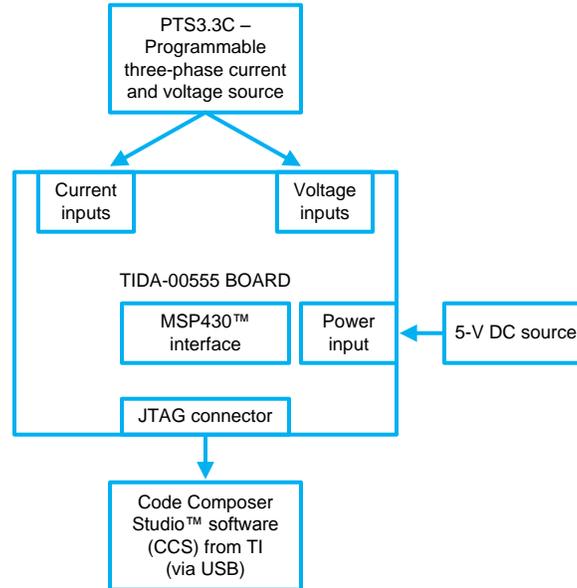


图 23. MSP430FR5869 测试设置

7 测试数据

7.1 功能测试

表 7 介绍了板载电源测量。

表 7. TIDA-00555 测得的 PSU 电压值

参数	测量参数	测量值 (V-DC)
电源	+5V DC 输入	5.029
隔离式电源 – 通道 U	+5V_USH	4.98
隔离式电源 – 通道 V	+5V_VSH	4.95
隔离式电源 – 通道 W	+5W_WSH	5.00
隔离式电源 – 电压通道	+5V_PH	4.97
非隔离式电源	3.3	3.281

7.2 性能测试

在分析精度性能结果之前，请注意以下几点：

- 输出电压测量值 (mV)：这是在未执行增益和偏移校准前测得的输出电压。
- 误差 (%)：这是在执行偏移和增益校准后的输出测量误差。
- 不涉及偏移量时，直流偏移量为零（不适用）。

注： 计算时务必要考虑增益系数和偏移量。

7.2.1 针对电压的精度测试（放大器输出）

7.2.1.1 50Hz 频率下的精度测试

AMC1100 输出电压使用 6 ½ 数字万用表 (DMM) 进行测量。输出电压测量值的误差相对于输出电压预期值来计算。计算误差时考虑了增益系数和偏移量。

表 8、表 9 和表 10 给出了三条电压通道的测量精度。图 24 所示为完整的电压通道精度曲线图。

表 8. 电压通道 U

调整后的交流输入电压占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电压 (V)	输入电压测量值 (V)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
3%	9	9.00163	42.668	42.41	0.13%
5%	15	15.0017	71.109	70.641	0.08%
10%	30	30.0018	142.211	141.162	0.00%
20%	60	60.0018	284.413	282.407	0.03%
30%	90	90.0017	426.615	423.585	0.02%
41%	120	120.005	568.833	564.933	0.05%
51%	150	150.006	711.040	706.286	0.07%
61%	180	180.013	853.275	847.661	0.08%
71%	210	210.005	995.440	989.17	0.11%
81%	240	240.01	1137.666	1130.736	0.13%
91%	270	270.013	1279.882	1271.06	0.05%
102%	300	300.013	1422.084	1412.68	0.07%
112%	330	330.006	1564.253	1554.42	0.11%

表 8. 电压通道 U (continued)

调整后的交流输入电压占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电压 (V)	输入电压测量值 (V)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
122%	360	360.016	1706.503	1696.37	0.14%

电压通道 U 的增益系数为 1.0074。

表 9. 电压通道 V

调整后的交流输入电压占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电压 (V)	输入电压测量值 (V)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
3%	9	9.00163	42.668	42.457	0.15%
5%	15	15.0017	71.109	70.675	0.04%
10%	30	30.0018	142.211	141.288	0.00%
20%	60	60.0018	284.413	282.483	-0.03%
30%	90	90.0017	426.615	423.767	-0.02%
41%	120	120.005	568.833	565.096	-0.01%
51%	150	150.006	711.040	706.492	0.01%
61%	180	180.013	853.275	847.973	0.02%
71%	210	210.005	995.440	989.473	0.05%
81%	240	240.01	1137.666	1131.109	0.07%
91%	270	270.013	1279.882	1272.78	0.09%
102%	300	300.013	1422.084	1414.99	0.15%
112%	330	330.006	1564.253	1555.94	0.12%
122%	360	360.016	1706.503	1697.51	0.12%

电压通道 V 的增益系数为 1.0065。

表 10. 电压通道 W

调整后的交流输入电压占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电压 (V)	输入电压测量值 (V)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
3%	9	9.00163	42.668	42.438	0.12%
5%	15	15.0017	71.109	70.657	0.02%
10%	30	30.0018	142.211	141.267	-0.01%
20%	60	60.0018	284.413	282.49	-0.02%
30%	90	90.0017	426.615	423.771	-0.01%
41%	120	120.005	568.833	565.124	0.00%
51%	150	150.006	711.040	706.515	0.02%
61%	180	180.013	853.275	847.957	0.03%
71%	210	210.005	995.440	989.508	0.06%
81%	240	240.01	1137.666	1131.056	0.08%
91%	270	270.013	1279.882	1272.63	0.09%
102%	300	300.013	1422.084	1413.99	0.09%
112%	330	330.006	1564.253	1555.34	0.09%
122%	360	360.016	1706.503	1697.36	0.12%

电压通道 W 的增益系数为 1.0066。

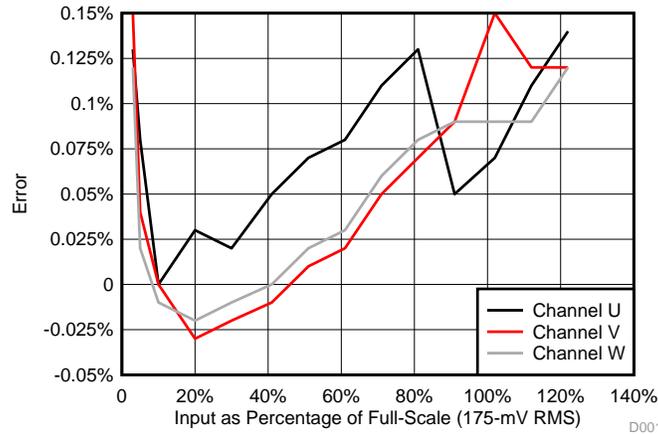


图 24. 通道 U、V 和 W 的电压测量误差

7.2.1.2 60 Hz 频率下的精度测试

AMC1100 输出电压使用 6 ½ 数字万用表 (DMM) 进行测量。输出电压测量值的误差相对于输出电压预期值来计算。计算误差时考虑了增益系数和偏移量。

表 11、表 12 和表 13 给出了三条电压通道的测量精度。图 25 所示为完整的电压通道精度曲线图。

表 11. 电压通道 U

调整后的交流输入电压占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电压 (V)	输入电压测量值 (V)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
2%	6	6.0189	28.530	28.3619	0.15%
5%	15	15.0016	71.109	70.6535	0.10%
10%	30	30.0009	142.207	141.163	0.00%
51%	150	150.005	711.035	706.378	0.08%
102%	300	300.003	1422.037	1412.75	0.08%
122%	360	360.021	1706.527	1696.64	0.16%

电压通道 U 的增益系数为 1.0074。

表 12. 电压通道 V

调整后的交流输入电压占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电压 (V)	输入电压测量值 (V)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
2%	6	6.0189	28.530	28.4032	0.08%
5%	15	15.0016	71.109	70.6985	0.01%
10%	30	30.0009	142.207	141.317	-0.02%
51%	150	150.005	711.035	706.563	-0.01%
102%	300	300.003	1422.037	1414.13	0.07%
122%	360	360.021	1706.527	1697.71	0.11%

电压通道 V 的增益系数为 1.0063。

表 13. 电压通道 W

调整后的交流输入电压占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电压 (V)	输入电压测量值 (V)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
2%	6	6.0189	28.530	28.3506	0.00%
5%	15	15.0016	71.109	70.6781	0.04%
10%	30	30.0009	142.207	141.277	0.00%
51%	150	150.005	711.035	706.567	0.03%
102%	300	300.003	1422.037	1414.15	0.10%
122%	360	360.021	1706.527	1697.46	0.12%

电压通道 W 的增益系数为 1.0066。

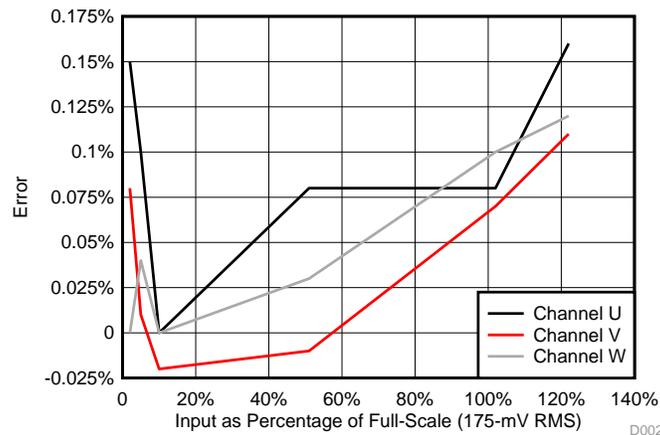


图 25. 通道 U、V 和 W 的电压测量误差

7.2.2 针对电流输入的精度测试（放大器输出）

AMC1100 输出电压使用 6½ DMM 进行测量。输出电压测量值的误差相对于输出电压预期值来计算。计算误差时考虑了增益系数和偏移量。

7.2.2.1 50Hz 频率下的精度测试

表 14. 电流通道 U

调整后的交流输入电流占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电流 (A)	输入电流测量值 (A)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
3%	1.74	1.74176	41.802	41.691	-0.07%
5%	2.9	2.9098	69.835	69.561	-0.19%
10%	5.8	5.80215	139.252	138.857	-0.08%
20%	11.6	11.619	278.856	277.915	-0.14%
30%	17.4	17.4092	417.821	416.98	0.00%
40%	23.3	23.3033	559.279	557.789	-0.07%
50%	29	29.0385	696.924	694.879	-0.09%
60%	34.8	34.8134	835.522	833.262	-0.07%
70%	40.69	40.747	977.928	975.537	-0.04%

电流通道 U 的增益系数为 1.002。

表 15. 电流通道 V

调整后的交流输入电流占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电流 (A)	输入电流测量值 (A)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
3%	1.74	1.74171	41.801	41.728	-0.02%
5%	2.9	2.90179	69.643	69.479	-0.02%
10%	5.8	5.80121	139.229	138.838	-0.02%
20%	11.6	11.6122	278.693	277.605	-0.11%
30%	17.4	17.4205	418.092	416.175	-0.17%
40%	23.3	23.3249	559.798	557.137	-0.19%
50%	29	29.0096	696.230	693.506	-0.10%
60%	34.8	34.8485	836.364	832.984	-0.11%
70%	40.69	40.7023	976.855	973.8212	-0.02%

电流通道 V 的增益系数为 1.003，偏移电压为 0.06mV。

表 16. 电流通道 W

调整后的交流输入电流占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电流 (A)	输入电流测量值 (A)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
3%	1.74	1.7419	41.806	41.613	0.05%
5%	2.9	2.90163	69.639	69.28	0.09%
10%	5.8	5.80164	139.239	138.423	0.09%
20%	11.6	11.6112	278.669	276.661	-0.01%
30%	17.4	17.4133	417.919	414.7402	-0.04%
40%	23.3	23.3168	559.603	555.307	-0.04%
50%	29	29.0031	696.074	691.087	0.01%
60%	34.8	34.7942	835.061	829.5899	0.08%
70%	40.69	40.7166	977.198	970.394	0.04%

电流通道 W 的增益系数为 1.0075，偏移电压为 0.1mV。

7.2.2.2 60Hz 频率下的精度测试

表 17 给出了电流输入的精度测量值。

表 17. 电流通道 U

调整后的交流输入电流占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电流 (A)	输入电流测量值 (A)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
5%	2.9	2.90186	69.645	69.5134	0.08%
10%	5.8	5.80084	139.220	138.858	0.01%
30%	17.4	17.4091	417.818	416.395	-0.07%
50%	29	29.0187	696.449	693.819	-0.11%

电流通道 U 的增益系数为 1.0027。

7.2.3 使用 ADS131E08EVM-PDK 的精度测量

ADS131E08 EVM 设置为所有选定通道同时采样，每通道捕捉 4000 个采样。所有选定通道的采样速率均设置为 4000 个采样/秒。

7.2.3.1 电压输入

AMC1100 电压输出通道与 ADS131E08EVM-PDK 相连。ADC 读数通过 GUI 进行捕捉。输出电压测量值的误差相对于输出电压预期值来计算。计算误差时考虑了增益系数和偏移量。

7.2.3.1.1 50Hz 频率下的精度测试

表 18、表 19 和表 20 给出了与 ADS131E08 EVM 相连的三条电压通道在 50Hz 频率下的测量精度。图 26 所示为完整的电压通道精度曲线图。

表 18. 电压通道 U

调整后的交流输入电压占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电压 (V)	输入电压测量值 (V)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
3%	9	9.00191	42.670	42.379363	0.02%
5%	15	15.0012	71.107	70.644618	0.02%
10%	30	30.0016	142.210	141.31064	0.01%
20%	60	60.001	284.409	282.60711	0.00%
30%	90	90.002	426.616	423.93822	0.01%
41%	120	120.003	568.823	565.30856	0.01%
51%	150	150.003	711.026	706.70846	0.02%
61%	180	180.014	853.280	848.06935	0.02%
71%	210	210.01	995.463	989.55665	0.04%
81%	240	240.011	1137.670	1131.085	0.05%
91%	270	270.011	1279.873	1272.619	0.06%
102%	300	300.01	1422.070	1414.716	0.11%
112%	330	330.013	1564.287	1560.785	0.41%
122%	360	360.007	1706.460	1704.688	0.53%

电压通道 U 的增益系数为 1.0063，偏移电压为 -0.03mV。

表 19. 电压通道 V

调整后的交流输入电压占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电压 (V)	输入电压测量值 (V)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
3%	9	9.00191	42.670	42.440106	0.10%
5%	15	15.0012	71.107	70.687369	0.05%
10%	30	30.0016	142.210	141.31216	0.00%
20%	60	60.001	284.409	282.59258	0.00%
30%	90	90.002	426.616	423.91904	0.00%
41%	120	120.003	568.823	565.2852	0.01%
51%	150	150.003	711.026	706.66896	0.02%
61%	180	180.014	853.280	848.05075	0.02%
71%	210	210.01	995.463	989.54322	0.04%
81%	240	240.011	1137.670	1131.092	0.06%
91%	270	270.011	1279.873	1272.681	0.07%
102%	300	300.01	1422.070	1415.007	0.14%
112%	330	330.013	1564.287	1559.042	0.30%
122%	360	360.007	1706.460	1701.568	0.35%

电压通道 V 的增益系数为 1.0064。

表 20. 电压通道 W

调整后的交流输入电压占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电压 (V)	输入电压测量值 (V)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
3%	9	9.00191	42.670	42.431612	0.04%
5%	15	15.0012	71.107	70.668776	-0.02%
10%	30	30.0016	142.210	141.27833	-0.06%
20%	60	60.001	284.409	282.5431	-0.06%
30%	90	90.002	426.616	423.82926	-0.06%
41%	120	120.003	568.823	565.19325	-0.04%
51%	150	150.003	711.026	706.57305	-0.03%
61%	180	180.014	853.280	847.91399	-0.03%
71%	210	210.01	995.463	989.42785	-0.01%
81%	240	240.011	1137.670	1130.977	0.01%
91%	270	270.011	1279.873	1272.658	0.03%
102%	300	300.01	1422.070	1415.515	0.14%
112%	330	330.013	1564.287	1559.402	0.29%
122%	360	360.007	1706.460	1701.654	0.32%

电压通道 W 的增益系数为 1.0060。

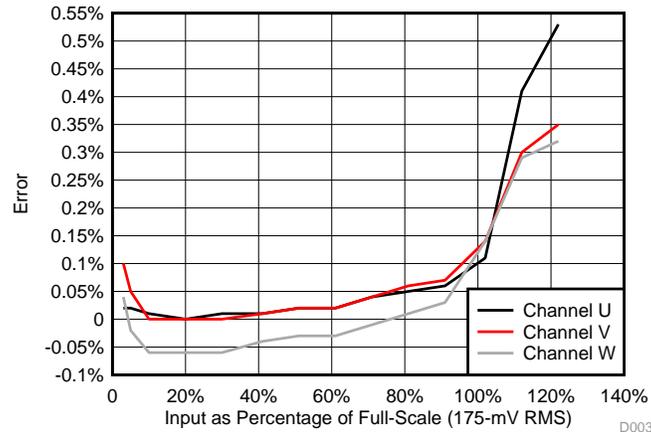


图 26. 通道 U、V 和 W 的电压测量误差

7.2.3.1.2 60Hz 频率下的精度测试

表 21、表 22 和表 23 给出了与 ADS131E08 EVM 相连的三条电压通道在 60Hz 频率下的测量精度。图 27 所示为完整的电压通道精度曲线图。

表 21. 电压通道 U

调整后的交流输入电压占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电压 (V)	输入电压测量值 (V)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
2%	6	5.99894	28.435	28.235	-0.06%
3%	10	9.99875	47.395	47.053	-0.08%
10%	30	29.9989	142.197	141.167	-0.08%
51%	150	149.998	711.002	706.138	-0.04%
102%	300	299.996	1422.004	1413.426	0.04%
122%	360	359.995	1706.404	1696.782	0.08%

电压通道 U 的增益系数为 1.0065。

表 22. 电压通道 V

调整后的交流输入电压占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电压 (V)	输入电压测量值 (V)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
2%	6	5.99894	28.435	28.231	-0.09%
3%	15	9.99875	47.395	47.055	-0.09%
10%	30	29.9989	142.197	141.183	-0.09%
51%	150	149.998	711.002	706.256	-0.04%
102%	300	299.996	1422.004	1413.663	0.04%
122%	360	359.995	1706.404	1696.919	0.07%

电压通道 V 的增益系数为 1.0063。

表 23. 电压通道 W

调整后的交流输入电压占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电压 (V)	输入电压测量值 (V)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
2%	6	5.99894	28.435	28.240	-0.03%

表 23. 电压通道 W (continued)

调整后的交流输入电压占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电压 (V)	输入电压测量值 (V)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
3%	15	9.99875	47.395	47.052	-0.07%
10%	30	29.9989	142.197	141.153	-0.08%
51%	150	149.998	711.002	706.080	-0.04%
102%	300	299.996	1422.004	1413.257	0.04%
122%	360	359.995	1706.404	1696.422	0.07%

电压通道 W 的增益系数为 1.0066。

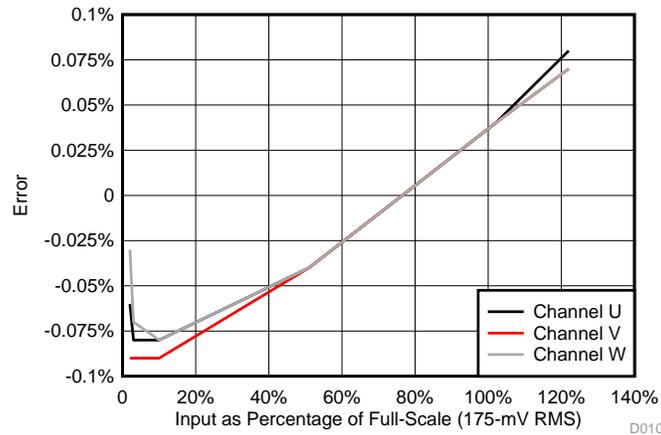


图 27. 通道 U、V 和 W 的电压测量误差

7.2.3.2 电流通路

向 TIDA-00555 电路板施加电流。AMC1100 器件的输出与 ADS131E08EVM-PDK 相连。电压借助 GUI 进行测量。输出电压测量值的误差相对于输出电压预期值来计算。计算误差时考虑了增益系数和偏移量。

7.2.3.2.1 50Hz 频率下的精度测试

表 24、表 25 和表 26 给出了与 ADS131E08 EVM 相连的三条电流通道在 50Hz 频率下的测量精度。图 28 所示为电流通道精度曲线图。

表 24. 电流通道 U

调整后的交流输入电流占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电流 (A)	输入电流测量值 (A)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
3%	1.74	1.742	41.808	41.820999	0.03%
5%	2.9	2.90205	69.649	69.714486	0.09%
10%	5.8	5.80095	139.223	139.3378	0.08%
20%	11.6	11.6226	278.942	278.84538	-0.03%
30%	17.4	17.4269	418.246	417.99734	-0.06%
40%	23.3	23.3276	559.862	559.47625	-0.07%
50%	29	29.0402	696.965	696.40271	-0.08%
60%	34.8	34.8308	835.939	835.70755	-0.03%
70%	40.69	40.7069	976.966	977.75811	0.08%

电流通道 U 的增益系数为 1。

表 25. 电流通道 V

调整后的交流输入电流占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电流 (A)	输入电流测量值 (A)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
3%	1.74	1.74185	41.804	41.682783	-0.09%
5%	2.9	2.9019	69.646	69.501195	-0.01%
10%	5.8	5.80164	139.239	138.9524	-0.01%
20%	11.6	11.6185	278.844	277.98499	-0.11%
30%	17.4	17.4127	417.905	416.66374	-0.10%
40%	23.3	23.3034	559.282	557.85246	-0.06%
50%	29	29.0295	696.708	694.17819	-0.16%
60%	34.8	34.8232	835.757	832.92478	-0.14%
70%	40.69	40.6919	976.606	974.92866	0.03%

电流通道 V 的增益系数为 1.002。

表 26. 电流通道 W

调整后的交流输入电流占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电流 (A)	输入电流测量值 (A)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
3%	1.74	1.74195	41.807	41.800349	-0.02%
5%	2.9	2.90174	69.642	69.679989	0.05%
10%	5.8	5.80167	139.240	139.3155	0.05%
20%	11.6	11.6113	278.671	278.72151	0.02%
30%	17.4	17.4101	417.842	417.75809	-0.02%
40%	23.3	23.3165	559.596	559.23481	-0.06%
50%	29	29.0204	696.490	695.82914	-0.09%
60%	34.8	34.8236	835.766	835.13199	-0.08%
70%	40.69	40.6931	976.634	977.22413	0.06%

电流通道 W 的增益系数为 1。

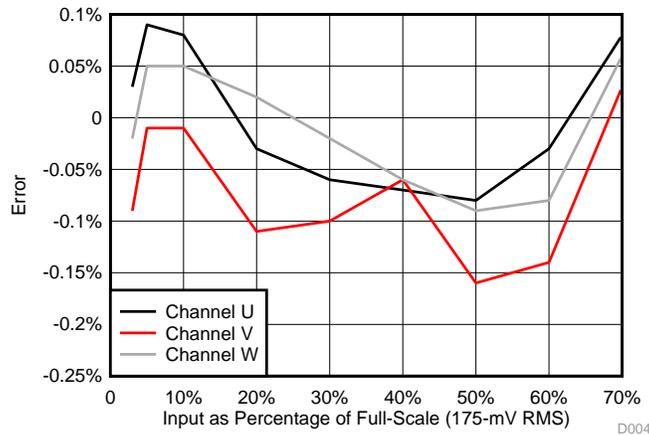


图 28. 通道 U、V 和 W 的电流测量误差

7.2.3.2.2 60Hz 频率下的精度测试

表 27、表 28 和表 29 给出了与 ADS131E08 EVM 相连的三条电流通道在 60Hz 频率下的测量精度。图 29 所示为电流通道精度曲线图。

表 27. 电流通道 U

调整后的交流输入电流占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电流 (A)	输入电流测量值 (A)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
5%	2.9	2.90181	69.643	69.73167	0.05%
10%	5.8	5.80172	139.241	139.375	0.06%
30%	17.4	17.4179	418.030	417.8353	-0.06%
50%	29	29.0169	696.406	696.0715	-0.06%

电流通道 U 的增益系数为 1，偏移电压为 0.05mV。

表 28. 电流通道 V

调整后的交流输入电流占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电流 (A)	输入电流测量值 (A)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
5%	2.9	2.90179	69.643	69.49884	-0.01%
10%	5.8	5.80185	139.244	138.949	-0.01%
30%	17.4	17.418	418.032	416.5698	-0.15%

表 28. 电流通道 V (continued)

调整后的交流输入电流占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电流 (A)	输入电流测量值 (A)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
50%	29	29.0181	696.434	693.9939	-0.15%

电流通道 V 的增益系数为 1.002。

表 29. 电流通道 W

调整后的交流输入电流占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电流 (A)	输入电流测量值 (A)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
5%	2.9	2.90177	69.642	69.67551	0.03%
10%	5.8	5.80194	139.247	139.2847	0.02%
30%	17.4	17.4171	418.010	417.623	-0.10%
50%	29	29.0181	696.434	695.6959	-0.11%

电流通道 W 的增益系数为 1。

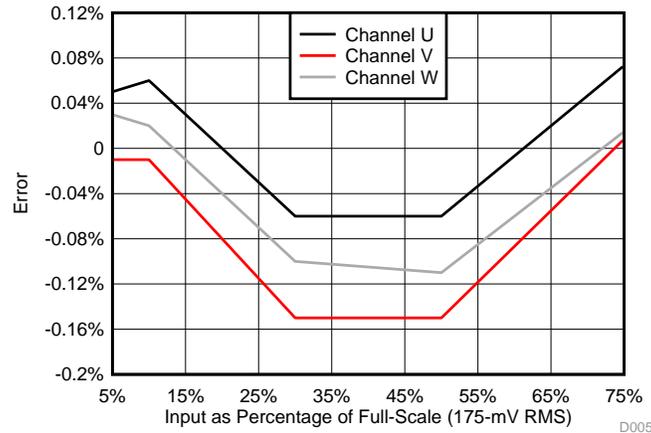


图 29. 通道 U、V 和 W 的电流测量误差

7.2.4 AMC1100 与 MSP430FR5869 相连时的精度测试

如表 6 所述，必须针对 MCU 连接模式设置跳线，AMC_VCC 必须设置为 3.3V。图 23 给出了测试 MSP430FR5869 时的测试设置。

使用测试代码来捕捉采样。对 AMC1100 输入施加电压和电流。测得数据使用 TI Code Composer Studio™ 软件的观察窗口进行监视。

表 30. 电流通道 U

调整后的交流输入电流占满量程的百分比 (100% = 175mV)	输入电流 (A)	输入电流测量值 (A)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
5%	2.9	2.90161	69.63864	68.35082	-0.09%
10%	5.8	5.8023	139.2552	137.1446	0.11%
30%	17.4	17.4184	418.0416	410.9592	-0.17%
61%	34.8	34.8254	835.8096	824.2146	0.12%

电流通道 U 的增益系数为 1.015，偏移电压为 -0.2mV。

表 31. 电压通道 U

调整后的交流输入电压占满量程的百分比 (100% = 175mV)	输入电压 (V)	输入电压测量值 (V)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
5%	15	15.0014	71.10777	69.087	0.09%
10%	30	30.0028	142.2155	139.1089	0.26%
30%	90	90.0073	426.6414	417.9469	0.09%
61%	180	180.011	853.2658	836.0237	0.02%

电压通道 U 的增益系数为 1.02，偏移电压为 -0.7mV。

表 32. 电流通道 V

调整后的交流输入电流占满量程的百分比 (100% = 175mV)	输入电流 (A)	输入电流测量值 (A)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
5%	2.9	2.90166	69.640	67.88915	-0.13%
10%	5.8	5.80197	139.247	135.9357	-0.21%
30%	17.4	17.4207	418.097	409.4901	-0.03%
60%	34.8	34.7998	835.195	817.7155	-0.10%

电流通道 V 的增益系数为 1.02，偏移电压为 -0.3mV。

表 33. 电压通道 V

调整后的交流输入电压占满量程的百分比 (100% = 175mV)	输入电压 (V)	输入电压测量值 (V)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
5%	15	15.0022	71.112	69.21503	-0.21%
10%	30	30.0023	142.213	138.9232	-0.20%
30%	90	90.0036	426.624	417.0604	-0.36%
61%	180	180.0035	853.230	836.8823	-0.09%

电压通道 V 的增益系数为 1.018，偏移电压为 -0.5mV。

表 34. 电流通道 W

调整后的交流输入电流占满量程的百分比 (100% = 175mV)	输入电流 (A)	输入电流测量值 (A)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
5%	2.9	2.90163	69.639	67.9379	-0.06%
10%	5.8	5.80137	139.233	136.1316	0.09%
30%	17.4	17.4133	417.919	407.8141	-0.15%
60%	34.8	34.7942	835.061	815.5334	-0.08%

电流通道 U 的增益系数为 1.023, 偏移电压为 -0.1mV。

表 35. 电压通道 W

调整后的交流输入电压占满量程的百分比 (100% = 175mV)	输入电压 (V)	输入电压测量值 (V)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
5%	15	15.0017	71.109	69.01031	-0.02%
10%	30	30.0019	142.211	138.344	-0.13%
30%	90	90.0014	426.613	416.974	0.11%
61%	180	180.008	853.252	834.5764	0.12%

电压通道 W 的增益系数为 1.023, 偏移电压为 -0.5mV。

7.2.5 附加测试

TIDA-00555 设计还可用于测量直流或 400Hz 信号。

7.2.5.1 400Hz 频率下的精度测试

表 36、表 37 和表 38 给出了三条电压通道在 400Hz 输入下的测量精度。图 30 所示为 400Hz 频率下的电压通道精度曲线图。

表 36. 电压通道 U

调整后的交流输入电压占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电压 (V)	输入电压测量值 (V)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
5%	15	15.0017	71.109	70.6745	0.09%
10%	30	30.0019	142.211	141.196	0.00%
51%	150	150.005	711.035	706.574	0.10%
102%	300	300.014	1422.089	1413.21	0.10%
122%	360	360.023	1706.536	1697.15	0.18%

电压通道 U 的增益系数为 1.0073, 偏移电压为 0.015mV。

表 37. 电压通道 V

调整后的交流输入电压占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电压 (V)	输入电压测量值 (V)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
5%	15	15.0017	71.109	70.7128	0.01%
10%	30	30.0019	142.211	141.318	-0.03%
51%	150	150.005	711.035	706.785	0.02%
102%	300	300.014	1422.089	1414.44	0.09%
122%	360	360.023	1706.536	1698.34	0.14%

电压通道 V 的增益系数为 1.0063, 偏移电压为 0.04mV。

表 38. 电压通道 W

调整后的交流输入电压占满量程的百分比 (100% = 175mV)	施加的输入电压 (V)	输入电压测量值 (V)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
5%	15	15.0017	71.109	70.6986	0.05%
10%	30	30.0019	142.211	141.314	0.00%
51%	150	150.005	711.035	706.737	0.02%
102%	300	300.014	1422.089	1414.53	0.10%
122%	360	360.023	1706.536	1697.02	0.07%

电压通道 W 的增益系数为 1.0063。

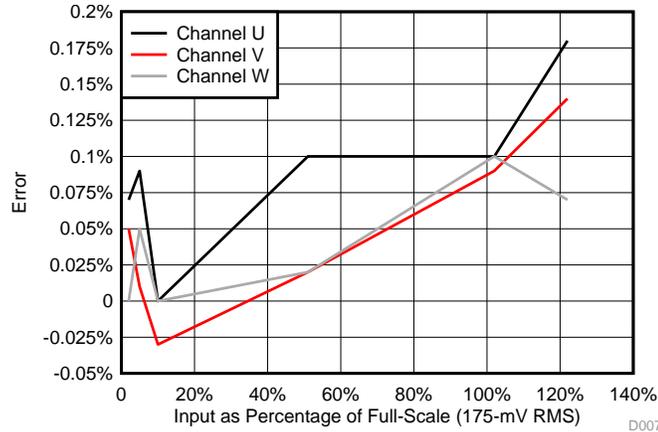


图 30. 通道 U、V 和 W 的电压测量误差

7.2.5.2 针对直流输入的精度测试

表 39、表 40 和表 41 给出了三条电压通道在直流输入下的测量精度。图 31 所示为直流输入下的电压通道精度曲线图。直流输入精度测试通过将 AMC1100 器件与 ADS131E08 EVM 相连来执行。

表 39. 电压通道 U

调整后的交流输入电压占满量程的百分比 (100% = 250 mV)	施加的输入电压 (V)	输入电压测量值 (V)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
5%	21	21.084	99.940	101.2081	0.02%
10%	42	42.234	200.192	200.8917	-0.02%
50%	211	210.98	1000.061	996.4314	-0.04%
80%	338	337.54	1599.965	1593.628	-0.01%

电压通道 U 的增益系数为 1.005，偏移电压为 1.75mV。

表 40. 电压通道 V

调整后的交流输入电压占满量程的百分比 (100% = 250 mV)	施加的输入电压 (V)	输入电压测量值 (V)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
5%	21	21.084	99.940	99.91066	-0.03%
10%	42	42.234	200.192	199.5849	-0.05%
50%	211	210.98	1000.061	995.1494	-0.04%
80%	338	337.54	1599.965	1592.601	0.01%

电压通道 V 的增益系数为 1.005，偏移电压为 0.5mV。

表 41. 电压通道 W

调整后的交流输入电压占满量程的百分比 (100% = 250 mV)	施加的输入电压 (V)	输入电压测量值 (V)	输出电压预期值 (mV)	输出电压测量值 (mV)	误差
5%	21	21.084	99.940	101.5924	0.01%
10%	42	42.234	200.192	201.3196	-0.01%
50%	211	210.98	1000.061	997.2441	0.00%
80%	338	337.54	1599.965	1594.77	0.04%

电压通道 W 的增益系数为 1.005，偏移电压为 2.15mV。

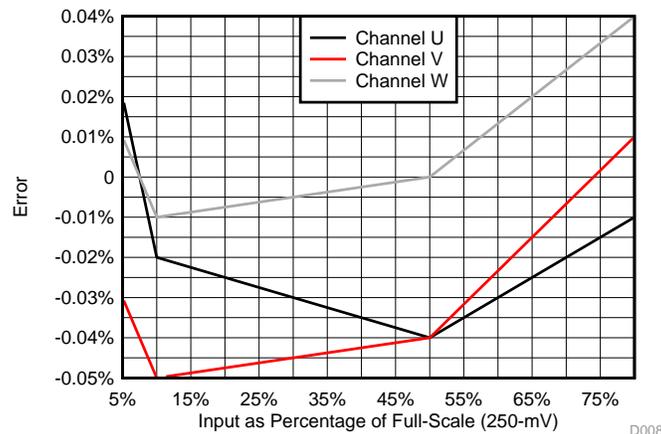


图 31. 通道 U、V 和 W 的电压测量误差

表 42 给出了一条电流通道在直流输入下的测量精度。图 32 所示为直流输入下的电流通道精度曲线图。直流输入精度测试通过将 AMC1100 器件与 ADS131E08 EVM 相连来执行。

表 42. 电流通道 U

调整后的交流输入电流占满量程的百分比 (100% = 250 mV)	输入电流 (A)	输入电流测量值 (A)	输出电压测量值 (mV)	GUI 读数 (mV)	误差
4%	3	3.00131	72.031	74.46	0.00%
7%	6	6.00173	144.042	146.43	-0.03%
11%	9	9.00309	216.074	218.58	0.04%

电流通道 U 的增益系数为 1，偏移电压为 2.42856mV。

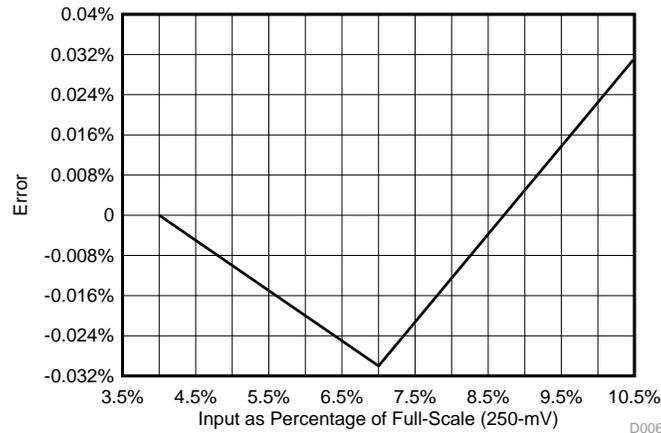


图 32. U 通道的电流测量误差

注：由于电流源的可用性存在限制，因此最高仅对 9A 电流进行直流电流测量。

7.3 测试结果汇总

如表 43 所示，TIDA-00555 设计符合 AMC1100 满量程输入的 5% 至 100% 范围内的精度目标，即 $< \pm 0.5\%$ 。

表 43. 测试结果汇总

序号	参数	观察结果
1	隔离式电源输出: +5V, -5V	正常
2	非隔离式电源输出: +3.3V	正常
3	电压测量精度: 50Hz, 60Hz	正常
4	电流测量精度: 50Hz, 60Hz	正常
5	电压测量精度: 直流, 400Hz	正常
6	电流测量精度: 直流, 400Hz	正常
7	ADS131E08EVM-PDK 接口和测量精度	正常
8	MSP430FR5869 接口和测量精度	正常

8 设计文件

8.1 电路原理图

要下载各电路板的电路原理图，请参见 [TIDA-00555](#) 的设计文件。

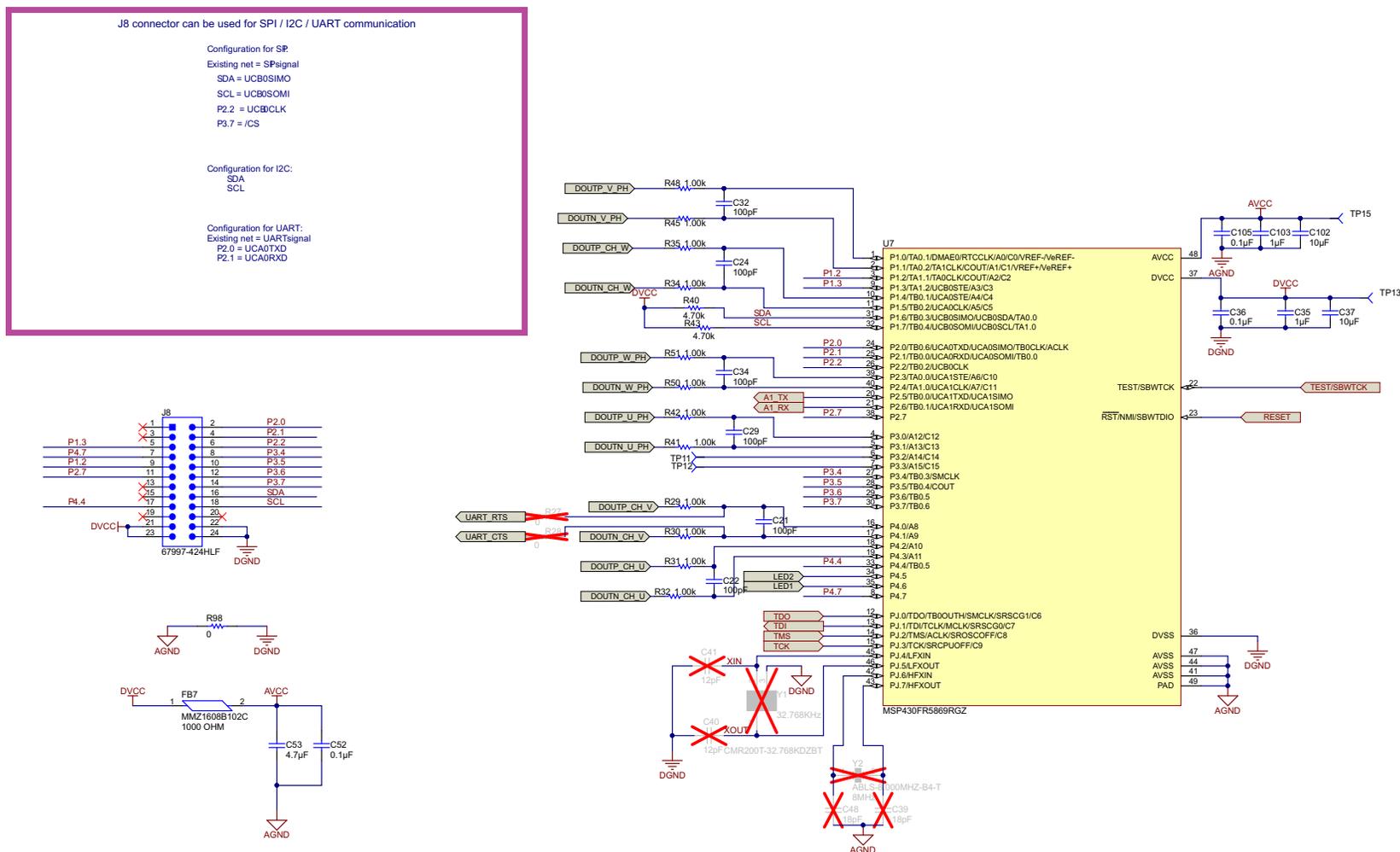


图 33. TIDA-00555 电路原理图 - MCU

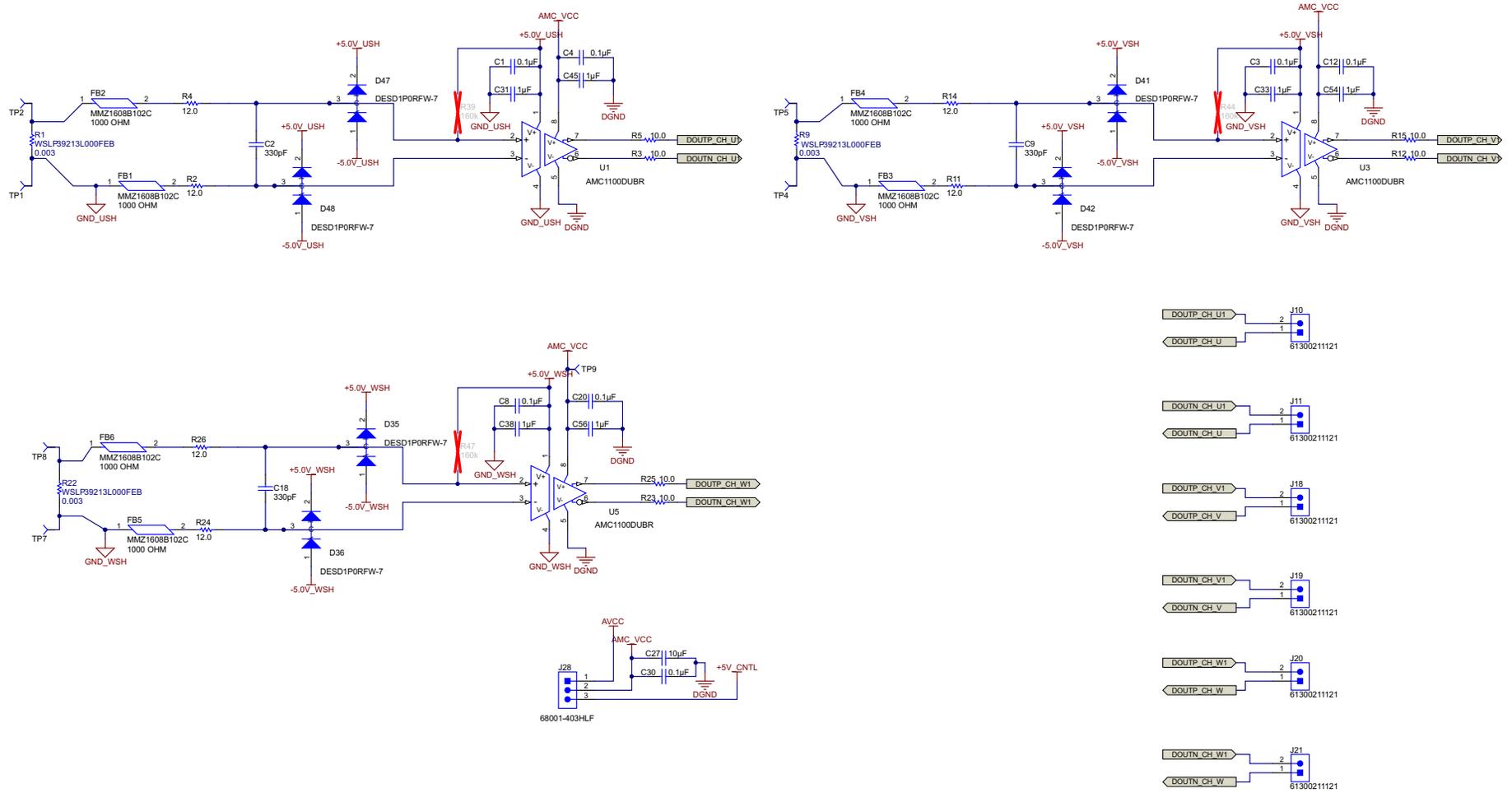


图 34. TIDA-00555 电路原理图 - 电流输入

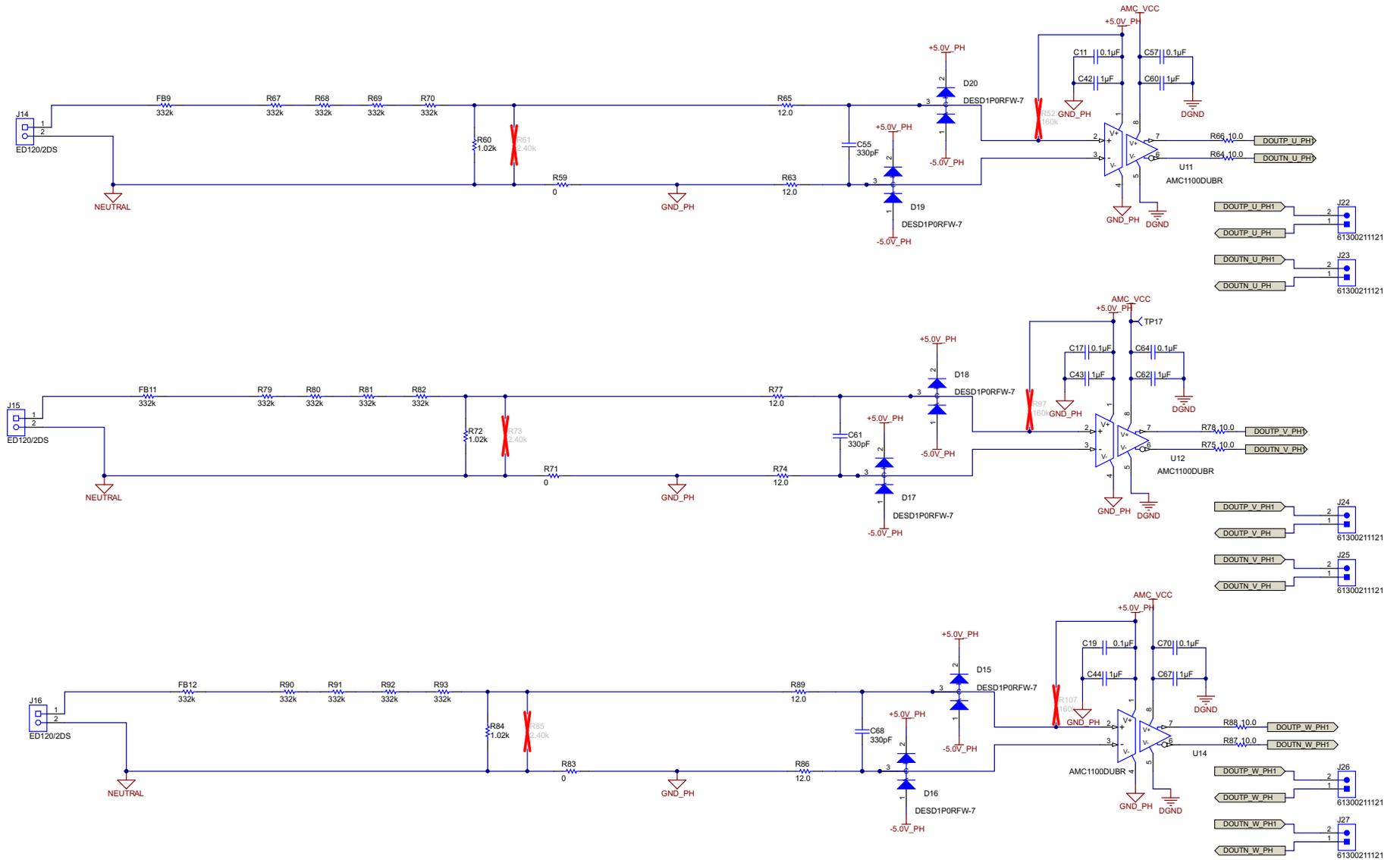


图 35. TIDA-00555 电路原理图 - 电压输入

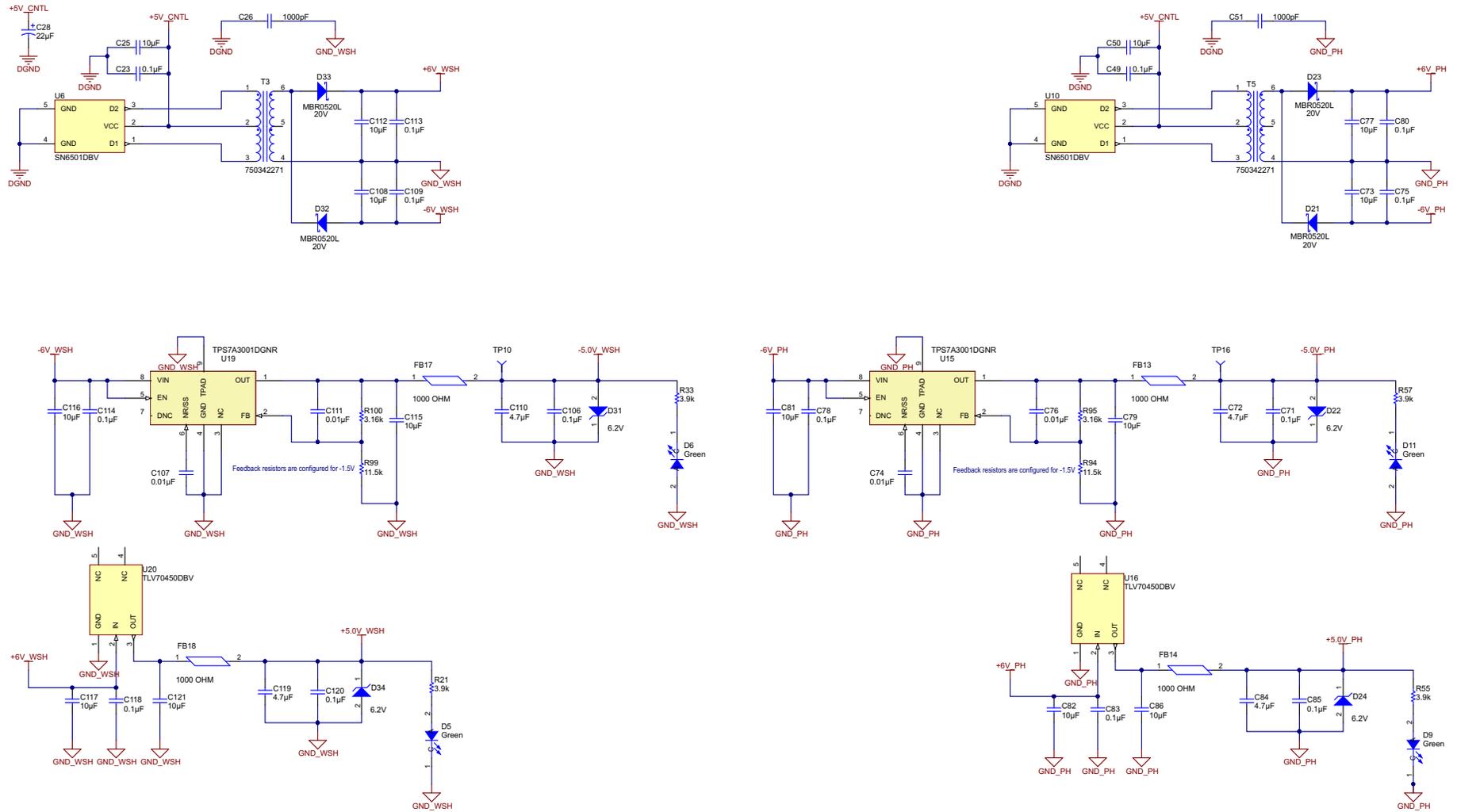


图 36. TIDA-00555 电路原理图 - 稳压器

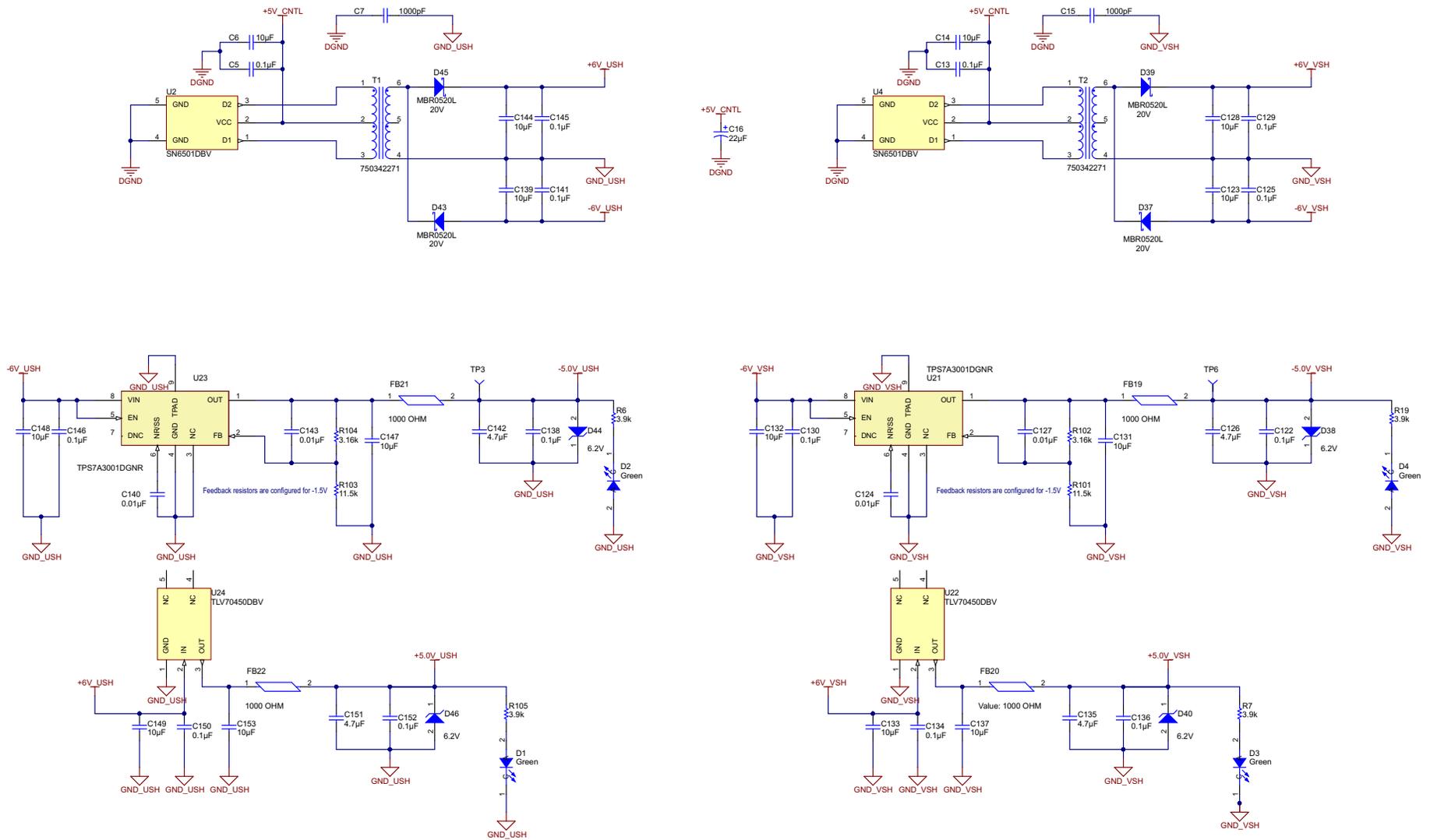


图 37. TIDA-00555 电路原理图 - 稳压器

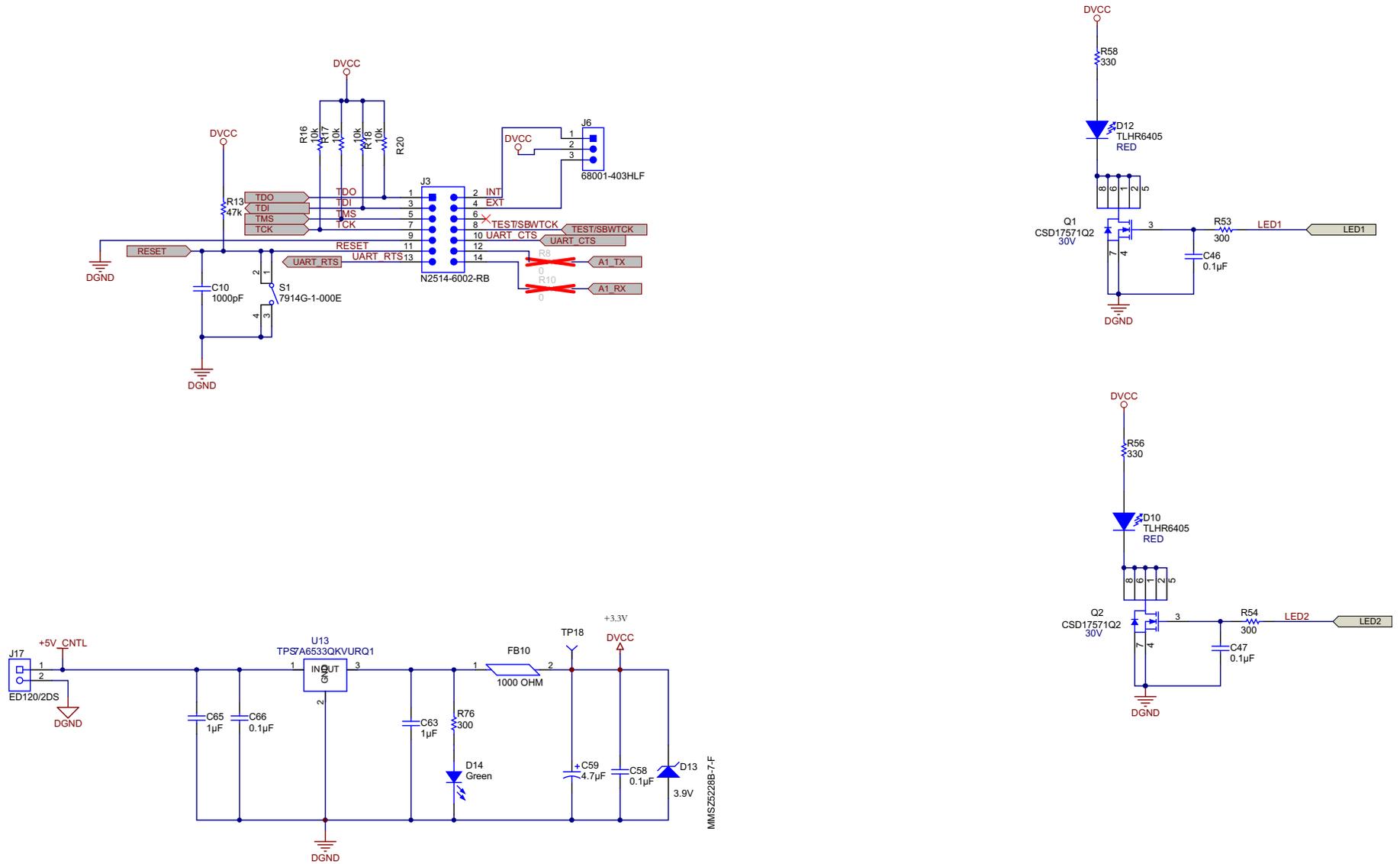


图 38. TIDA-00555 电路原理图 (第 6 页)

8.2 物料清单

要下载物料清单 (BOM), 请参见 [TIDA-00555](#) 的设计文件。

8.3 印刷电路板 (PCB) 布局布线印刷图

要下载板层图, 请参见 [TIDA-00555](#) 的设计文件。

8.4 Altium 项目

要下载 Altium 项目文件, 请参见 [TIDA-00555](#) 的设计文件。

8.5 PCB 布线指南

8.5.1 PCB 分流指南

分流电阻的位置应尽可能地相互靠近, 以便在电流输入走线间建立直接连接。分流蚀刻的尺寸必须符合最大电流要求。感测蚀刻应连接在电阻焊盘之间并用作隔离放大器下一级的差分对。采用这种布线时, 感测电压可直接在感测元件两端测得, 不受其他电路板蚀刻的影响。图 39 所示为实现的开尔文连接。确保分流布线满足本指南的要求, 以避免影响分流电阻测量精度。

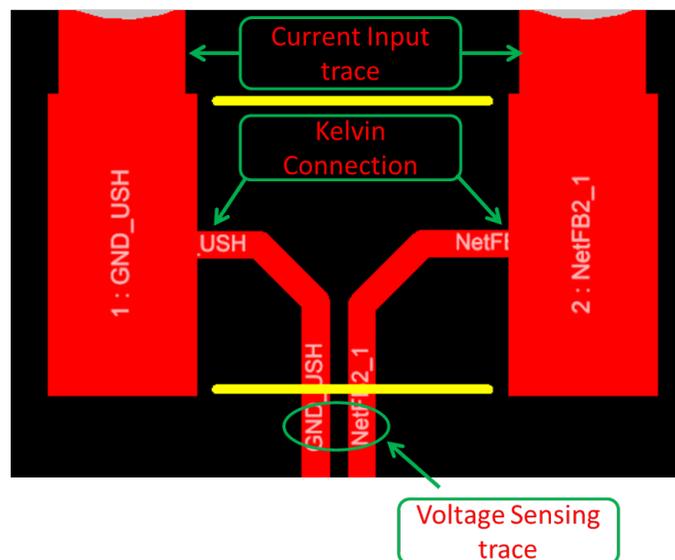


图 39. TIDA-00555 分流布线

8.6 光绘文件

要下载光绘文件, 请参见 [TIDA-00555](#) 的设计文件。

8.7 装配图

要下载各电路板的装配图, 请参见 [TIDA-00555](#) 的设计文件。

9 参考文献

1. 德州仪器 (TI) TIDA-00080 用户指南 《用于智能电网应用的隔离式电流（基于分流器）和电压感测》（文献编号：[TIDU429](#)）
2. 德州仪器 (TI) ADS131E08 用户指南 《ADS131E08 的性能演示套件》（文献编号：[SBAU200](#)）

10 术语

RTU— 远程终端单元

IED— 智能电子设备

CT— 电流互感器

EVM— 评估模块

ESR— 等效串联电阻

RISC— 精简指令集计算

ULP— 超低功耗

ADC— 模数转换器

LCD— 液晶显示器

SVS— 电源电压监控器

UART— 通用异步收发器

SPI— 串行外设接口

11 关于作者

PRAHLAD SUPEDA 是德州仪器 (TI) (印度) 的系统工程师，负责开发面向工业系统智能电网的参考设计解决方案。Prahlaad 在电力电子设备、EMC、模拟和混合信号设计领域拥有丰富经验。Prahlaad 在印度 Gujarat University 取得了仪表与控制工程专业的学士学位。您可以通过电子邮箱 (prahlad@ti.com) 与他联系。

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 (BE-E&C) 学士学位。

VIVEK GOPALAKRISHNAN 是德州仪器 (TI) (印度) 的固件架构师，负责开发面向工业系统智能电网的参考设计解决方案。Vivek 致力于固件架构设计和开发领域，相关经验丰富。他拥有印度 VIT 大学的传感器系统技术硕士学位。您可以通过电子邮箱 (vivek.g@ti.com) 与他联系。

针对 TI 参考设计的重要声明

德州仪器公司 ("TI") 参考设计只用于帮助设计人员 ("客户") 开发包含 TI 半导体产品的系统 (在这里也指"组件")。客户理解并同意他们对设计客户系统和产品中的独立分析、评估和判断负责。

TI 参考设计已经使用标准实验室条件和工程实践创建。TI 未采取任何测试, 除非那些在已发布文档中针对一个特定参考设计所专门描述的测试。TI 也许会对它的参考设计进行修正、提高、改进和其它改变。

客户被授权使用具有每个特定参考设计中确认的 TI 组件的 TI 参考设计, 并且在他们的终端产品开发中修改参考设计。然而, 在这里不授予任何其它 TI 知识产权的直接或隐含, 默许或其它方式的许可, 和任何第三方技术或知识产权的许可, 其中包括但不限于任何专利权、版权、屏蔽作品权、或者与采用了 TI 产品或服务的任何集成、机器或工艺相关的知识产权。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息不能构成使用此类产品或服务的许可或与其相关的保证或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

TI 参考设计按"原样"提供。对于参考设计或者包括精度和完整性在内的直接、隐含或者法律规定的参考设计的使用, TI 不作出任何保证或声明。TI 不对任何隐含的适销性、针对特定用途的适用性、平静受益权、无干扰享有权, 以及与 TI 参考设计或其使用相关的任何第三方知识产权的非侵权作出任何保证。TI 不对任何与 TI 参考设计中提供的产品组合相关的或基于这些产品组合的第三方侵权声明负责, 并且不应为客户提供辩护或赔偿。不论是何原因造成任何实际的、特殊的、意外的、相应发生的或间接的损坏, 并且不论 TI 是否已经告知了 TI 参考设计的任何使用或 TI 参考设计的客户使用所造成的此类损坏的可能性, TI 都不应对此负责。

TI 保留根据 JESD46 最新标准, 对所提供的半导体产品和服务进行更正、增强、改进或其它更改的权限, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的 TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种产品的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

对于 TI 数据手册、数据表或参考设计中的 TI 信息, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。第三方信息可能受到其它限制条件的制约。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独力负责满足与其产品及其应用中使用的 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在客户的安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。借助于这样的组件, TI 的目标是帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或"增强型塑料"的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的组件。客户认可并同意, 对还未指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的组件, 这些组件主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 将不承担任何责任。

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 © 2015 德州仪器半导体技术 (上海) 有限公司

重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或间接版权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独自负责满足与其产品及其应用中使用 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独自负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

	产品		应用
数字音频	www.ti.com.cn/audio	通信与电信	www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/amplifiers	计算机及周边	www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com.cn/dataconverters	消费电子	www.ti.com.cn/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com.cn/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/dsp	工业应用	www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers	医疗电子	www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/interface	安防应用	www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/logic	汽车电子	www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/power	视频和影像	www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers		
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys		
OMAP应用处理器	www.ti.com.cn/omap		
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity	德州仪器在线技术支持社区	www.deyisupport.com

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated