

EVM User's Guide: ADS122S14EVM

SNSR-DUAL-ADC-EVM 评估模块



1 说明

SNSR-DUAL-ADC-EVM 是一款低功耗精密传感器测量设计，由两个 ADS122S14 模数转换器 (ADC) 和单个 MSPM0G1507 微控制器 (MCU) 组成。ADS122S14 是一款精密的低功耗 8 通道 24 位 Δ - Σ ADC。MSPM0G1507 是增强型 Arm® Cortex®-M0+ 32 位内核平台上的 32 位 MCU，以高达 80MHz 的时钟速度运行。

2 特性

- 2 个 ADS122S14 24 位精密 ADC
- MSPM0G1507 32 位 ARM MCU
- 8 引脚模拟输入接头支持：
 - 电阻式桥式传感器测量
 - NTC 和 PTC 测量
 - 2 线、3 线和 4 线 RTD 连接
 - 热电偶测量

- 具有激励选项的 4 引脚接头，包括：
 - IDAC
 - REFOUT
 - VDD
- 用于对 MCU 进行编程的 JTAG 连接器
- 4 - 20mA 环路中用于终端通信的隔离式 USB
- TI 环路控制 AFE 发送器的连接端子
- 8 引脚模拟输入接头
- 用于数字信号监控的 SPI 通信接头

3 应用

- 现场发送器：
 - 温度
 - 压力
 - 流量
 - 应变
- 通用传感器系统分析

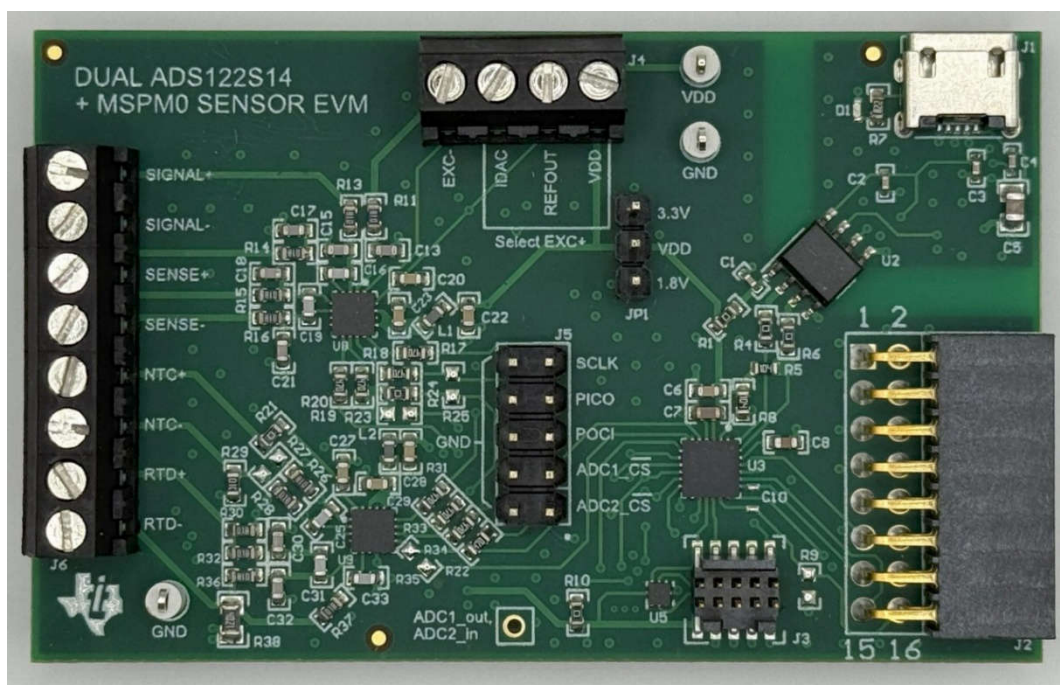


图 4-1. SNSR-DUAL-ADC 评估模块

4 评估模块概述

4.1 简介

SNSR-DUAL-ADC-EVM 是一个用于评估适用于传感器测量应用的低功耗、小尺寸、精密 ADC + MCU 参考设计的平台。SNSR-DUAL-ADC-EVM 板包括两个用于传感器信号采集的 ADS122S14 ADC 和一个用作系统控制器的 MSPM0G1507 MCU。SNSR-DUAL-ADC-EVM 支持在 ADC 和 MCU 之间进行通信，通信方式可以采用菊花链配置，也可以使用专用片选 (CS) 引脚进行独立运行。

本用户指南介绍了 SNSR-DUAL-ADC-EVM 的特性、运行和使用情况。SNSR-DUAL-ADC-EVM 可简化精密现场发送器以及任何需要多个 ADC 的系统中的器件评估。本用户指南包括完整的电路说明、原理图和物料清单。本文档中的缩写词 *EVM* 和术语 *评估模块* 与 SNSR-DUAL-ADC-EVM 具有相同的含义。

4.2 套件内容

SNSR-DUAL-ADC-EVM 评估模块套件包含以下特性：

- 使用 ADS122S14 和 MSPM0G1507 对低功耗精密现场发送器进行诊断测试和准确性能评估所需的硬件。
- 支持 Windows® 10 或 11 操作系统。
- A 转 Micro-B USB 电缆

4.3 SNSR-DUAL-ADC-EVM 规范

表 4-1 提供了 SNSR-DUAL-ADC-EVM 板规范。

表 4-1. SNSR-DUAL-ADC-EVM 规范

参数	条件	值
温度	自然通风条件下的建议工作温度范围 (T_A)	$15^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 35^{\circ}\text{C}$
VDD (建议的电压范围，外部电源)	VDD 至 GND	$1.74\text{V} \leq \text{VDD} \leq 3.6\text{V}$
电源电流范围 (外部电源)	电源电流范围 $ I_S $	$ I_S \leq 0.1\text{A}$
模拟输入电压范围	增益 = 0.5 至 10	$\text{GND} \leq \text{VIN} \leq \text{VDD} - 0.35\text{V}$
	增益 = 16 至 256	$\text{GND} + 0.35 \leq \text{VIN} \leq \text{VDD} - 0.4\text{V}$
ADC 数字通信	使用 SPI 接头与 ADC 进行通信	1.8V 或 3.3V
JTAG VDD	VDD 由 LaunchPad™ JTAG 供电	3.295 至 3.305V
JTAG 通信	数字通信级别	3.3V

4.4 器件信息

ADS122S14 是一款高精度、低功耗、24 位 Δ - Σ ADC，集成了多种特性以降低系统成本和减少元件数量，其中包括：

- 通过灵活的多路复用器提供八个模拟输入，使单个器件即可测量多种类型的传感器。
- 可实现精确的传感器测量的低噪声可编程增益放大器。
- 支持外部比例式传感器连接的外部 VREF 输入。
- 两个可编程电流源，用于为 RTD 和电阻电桥等传感器提供偏置。
- 内部可编程电压基准。
- 四个通用 I/O (GPIO)，可配置为推挽或开漏输出。

ADS122S14 支持菊花链配置，这对于需要同时测量多个信号的系統非常有用，能够有效减少 SPI 连接的数量。菊花链连接将一个器件的 SPI 输出 (SDO) 连接到下一个器件的 SPI 输入 (SDI)，因此链中的器件对主机控制器显示为单个逻辑器件。菊花链运行无需特殊编程。应用额外的移位时钟来访问链中的所有器件。

表 4-2. ADS122S14 器件规格

ADS122S14 规格	值
封装尺寸 (WQFN)	3.00mm × 3.00mm
封装尺寸 (DSBGA)	2.00mm × 2.00mm
工作温度范围	-40°C 至 125°C
AVDD 至 GND 电源电压	1.74V 至 3.6V
DVDD 至 GND 电源电压	1.65V 至 3.6V
基准电压输入	0.5V 至 AVDD
绝对输入电流	-2nA 至 2nA
可编程增益	0.5 至 256

MSPM0G1507 是增强型 Arm® Cortex®-M0+ 32 位内核平台上的 32 位 MCU，其工作频率高达 80MHz。该 MCU 提供高达 128KB 的嵌入式闪存程序存储器和高达 32KB 的 SRAM。MSP 还集成了用于内存隔离的存储器保护单元、7 通道 DMA、用于数据线性化处理的数学加速器以及多种丰富的模拟外设。

表 4-3. MSPM0G1507 器件规格

MSPM0G1507 规格	值
封装尺寸 (24 引脚 VQFN)	4.00mm × 4.00mm
工作温度范围	-40°C 至 125°C
VDD 至 GND 电源电压	1.62V 至 3.6V
MCLK 频率	高达 80MHz
ULPCLK 频率	高达 40MHz

4.5 开始使用 SNSR-DUAL-ADC-EVM

下面的步骤列表概述了如何快速设置和运行 SNSR-DUAL-ADC-EVM。本文档在后面几节进一步介绍了每个步骤，并详细说明 SNSR-DUAL-ADC-EVM 的可用特性。在适当的情况下，文中提供了一些链接，可以从本快速入门指南导航到每一步的对应部分：

1. 从包装盒中取出 SNSR-DUAL-ADC-EVM 和 USB 电缆。
2. 将 A 转 Micro-B USB 电缆从 EVM 直接连接到计算机的 USB 端口。请勿通过 USB 集线器连接电缆。EVM 上的绿色 LED 亮起表示连接有效。
3. 根据 表 5-1 中提到的电源连接选项之一为 EVM 供电。
4. 将传感器或信号连接到输入端子块 J6 和激励端子块 J4。
 - a. 使用 ADC1 测量电压激励 6 线电桥和使用 ADC2 测量低侧偏置电阻器
 - b. 使用 ADC1 测量电压激励 6 线电桥和使用 ADC2 测量电流激励 2 线 RTD
 - c. 使用 ADC1 测量电流激励的 4 线电桥和使用 ADC2 测量电压激励热敏电阻
 - d. 使用 ADC1 测量热电偶和使用 ADC2 测量用于冷端补偿的 NTC
 - e. 使用 ADC1 测量一个 3 线 RTD 和使用 ADC2 测量一个 3 线 RTD
 - f. 使用 ADC1 测量一个 4 线 RTD 和使用 ADC2 测量一个 4 线 RTD
 - g. 测量通用电压或电流输入
5. 打开终端程序。
 - a. 如果尚未安装终端程序，请使用 Code Composer Studio 中的集成串行终端。
6. EVM 在出厂时已对固件进行了编程，可开箱即用。无需额外的元件或电路板即可从系统采集并流式传输数据。
 - a. 软件 部分介绍了这些预置功能。

可选：可从 <https://github.com/TexasInstruments/precision-adc-examples> 下载 SNSR-DUAL-ADC-EVM 软件的最新版本。

5 硬件

5.1 硬件概述

SNSR-DUAL-ADC-EVM 提供了一款现场发送器参考设计，该设计集成了两个 ADS122S14 ADC 和一个 MSPM0G1507 控制器。提供多种接口选项，方便用户对 EVM 进行配置、控制以及数据接收。可以使用 TI LP-MSPM0G3507 或其他同类 LaunchPad 对板载 MSPM0G1507 进行编程。对于 4-20mA 工业环路等模拟输出发送器系统，可使用环路控制 AFE 发送器板。

图 5-1 展示了与 EVM 连接所需的硬件元件，并以红色突出显示了可选的外部接口设备。

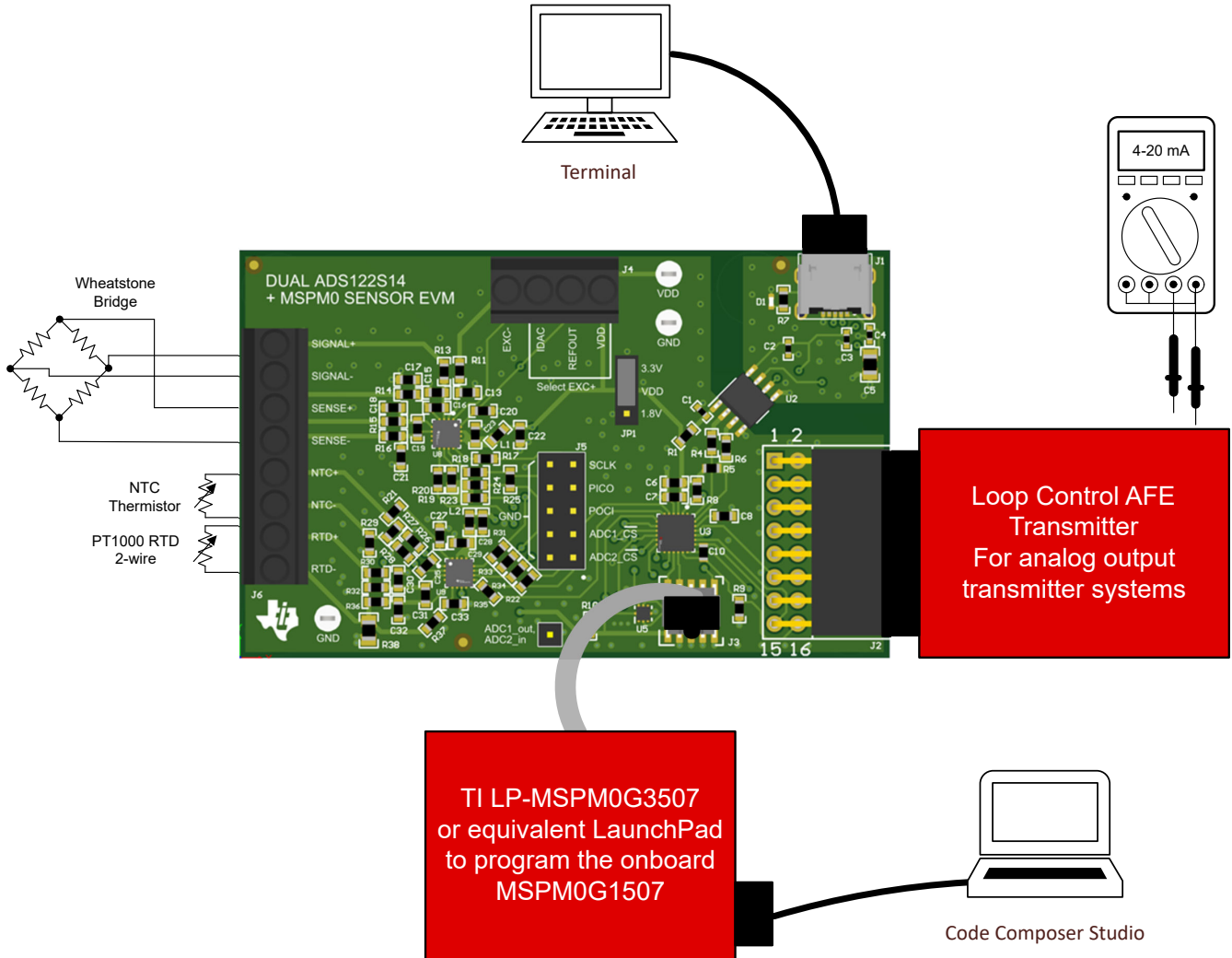


图 5-1. SNSR-DUAL-ADC-EVM 接口选项

5.2 电源要求

SNSR-DUAL-ADC-EVM 需要使用以下三种供电方式之一提供外部电源：外部电源、JTAG 连接器或 TI 环路控制 AFE 发送器板。表 5-1 总结了 SNSR-DUAL-ADC-EVM 的电源连接选项。

表 5-1. 电源连接选项

供电方	说明
外部工作台电源	VDD 测试点，可用作外部电源连接 VDD：1.74V-3.6V 设有 2 个 GND 测试点，可用作 EVM 的外部接地连接
JTAG	用于对 EVM 进行编程和供电的 JTAG 接头。
发送器接头	用于连接德州仪器 (TI) 环路控制 AFE 发送器板的 16 引脚接头。通过跳线 1 (JP1) 可从发送器板选择 1.8V 或 3.3V 的 VDD 电压

使用连接到 VDD 和 GND 测试点的外部仪表来测量系统总功耗。图 5-2 展示了电源连接选项。

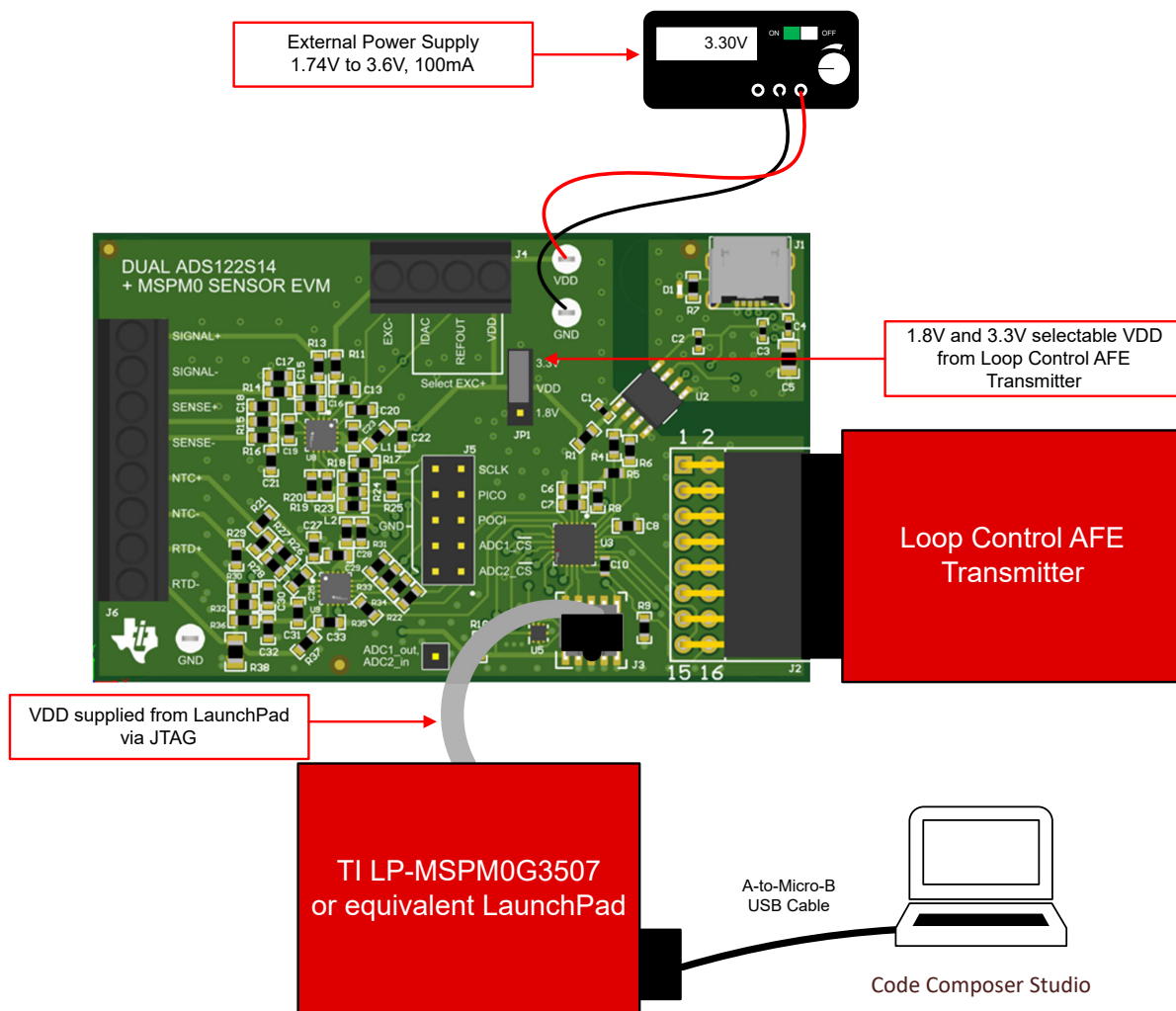


图 5-2. 电源连接选项

请注意，只有当使用环路控制 AFE 发送器板为 EVM 供电时，JP1 才作为可选的 VDD 电源配置生效；否则，JP1 无效。

5.3 ADC 连接和去耦

图 5-3 展示了到两个 ADS122S14 数据转换器 (U8 和 U9) 的连接。每个电源连接 (AVDD 和 DVDD) 都包含两个 100nF 去耦电容和一个电感器, 组成 π 型滤波器配置。该滤波器有助于消除电源中的任何高频噪声。或者, 可以用 2Ω 到 3Ω 的电阻器替换电感器, 以避免电感器的电流扼流效应。此外, 每个基准输出引脚均配有一个 100nF 去耦电容器。所有电容器在物理位置上必须靠近器件引脚, 并确保与 GND 平面有良好的连接。

每个数字引脚都包含一个 47Ω 的串联电阻。这些电阻用于平滑数字信号边沿, 从而最大限度地减少过冲和振铃现象

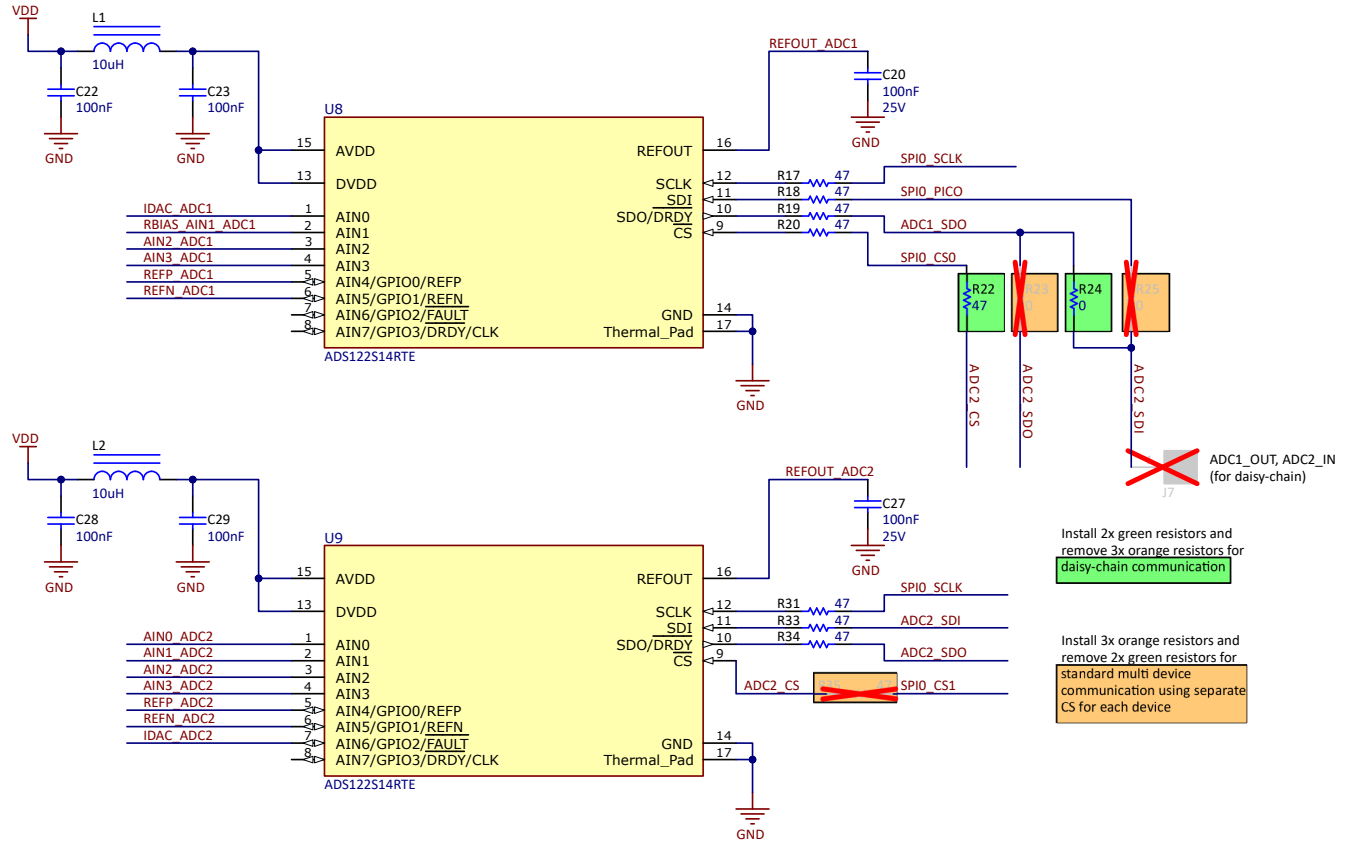


图 5-3. ADC 连接和去耦

SNSR-DUAL-ADC-EVM 支持 ADC 与 MCU 之间的菊花链和多器件 (专用 $\overline{CS}$ 引脚) 两种通信方式。图 5-3 展示了默认的 EVM 配置通过以绿色突出显示的电阻器来实现菊花链通信。通过移除绿色突出显示的电阻器并安装橙色突出显示的电阻器, 可以使用多器件通信模式。表 5-2 列出了 EVM 板上的两种配置以及相应的已安装电阻。图 5-3 标识了每个电阻器。

表 5-2. 已安装电阻器的数字通信配置选项

电阻器编号	菊花链通信	多器件通信
R22	已安装	未安装
R23	未安装	已安装
R24	已安装	未安装
R25	未安装	已安装
R35	未安装	已安装

5.4 模拟输入

ADC1 模拟输入 和 ADC2 模拟输入 概述了 SNSR-DUAL-ADC-EVM 上两个 ADS122S14 ADC 的模拟输入。

5.4.1 ADC1 模拟输入

SNSR-DUAL-ADC-EVM 的默认设置将 ADC1 配置为测量电阻电桥的输出信号。但是，用户可以配置通道来测量通用传感器信号。图 5-4 展示了连接到 ADC1 的模拟输入滤波和附加电路。

AIN2 和 AIN3 形成一个差分对，用于测量 SIGNAL+ 和 SIGNAL- 之间的输入信号。默认 EVM 设置将 AIN4 和 AIN5 配置为 SENSE+ 和 SENSE- 之间的基准源。用户也可以将 AIN4 和 AIN5 配置为差分对来测量输入信号。默认 EVM 设置将 AIN1 配置为外部电桥电路激励源的返回路径。但是，当移除电阻器 R12 时，AIN1 也可以用作单端测量输入。

ADC1 支持电阻电桥、热电偶、3 线和 4 线电阻温度检测器 (RTD) 以及通用电压和电流输入测量。有关如何将传感器连接到 SNSR-DUAL-ADC-EVM 板的更多详细信息，请参阅 [模拟传感器连接](#)。

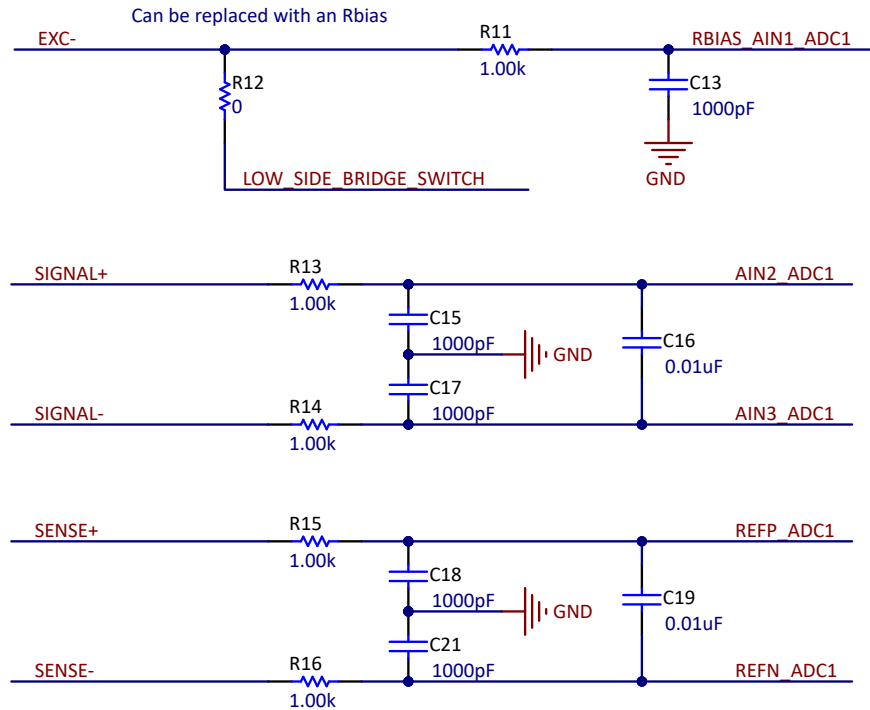


图 5-4. ADC1 模拟前端

ADC1 模拟输入包含一阶电阻电容滤波器，用于限制混叠和噪声影响。差分对包含一个额外的共模电容器，用于滤除共模噪声。方程式 1 展示了差分截止频率的计算方法。方程式 2 展示了共模截止频率的计算方法。

$$f_{\text{Cdiff}} = 1/[2\pi \times (R1 + R2) \times C_{\text{diff}}] = 1/[2\pi \times (1000 + 1000) \times 0.01 \mu\text{F}] \approx 8\text{kHz} \quad (1)$$

$$f_{\text{Ccm}} = 1/[2\pi \times R \times C_{\text{cm}}] = 1/[2\pi \times 1000 \times 1000\text{pF}] \approx 160\text{kHz} \quad (2)$$

5.4.2 ADC2 模拟输入

SNSR-DUAL-ADC-EVM 的默认设置将 ADC2 配置为测量外部 NTC 和外部 2 线 RTD 的输出信号。但是，用户可以重新配置通道以测量通用输入信号。图 5-5 展示了连接到 ADC2 的模拟输入滤波和附加电路。

输入 NTC+ 和 NTC- 形成一个差分输入对，用于测量外部热敏电阻 (NTC 或 PTC)。该热敏电阻与一个 10k Ω 偏置电阻 (Rbias) 组成电阻分压器，由 ADC2 的 REFOUT 进行激励。如果需要，可以安装一个与热敏电阻并联的 10k Ω 电阻，以支持模拟线性化。输入 RTD+ 和 RTD- 形成一个差分对，旨在直接与不同类型的 RTD 连接。电路中安装的 4.02k Ω 基准电阻为 RTD 测量提供比例式基准电压。

通过移除 R21、R29、R30、R37 和 R38，可以创建两个通用的差分对。NTC+ 和 NTC- 在 AIN0 和 AIN1 之间形成差分对，而 RTD+ 和 RTD- 在 AIN2 和 AIN3 之间形成差分对。

ADC2 支持 2 线、3 线和 4 线 RTD、外部热敏电阻，以及通用的电压和电流输入测量。有关如何将传感器连接到 SNSR-DUAL-ADC-EVM 板的更多详细信息，请参阅 [模拟传感器连接](#)。

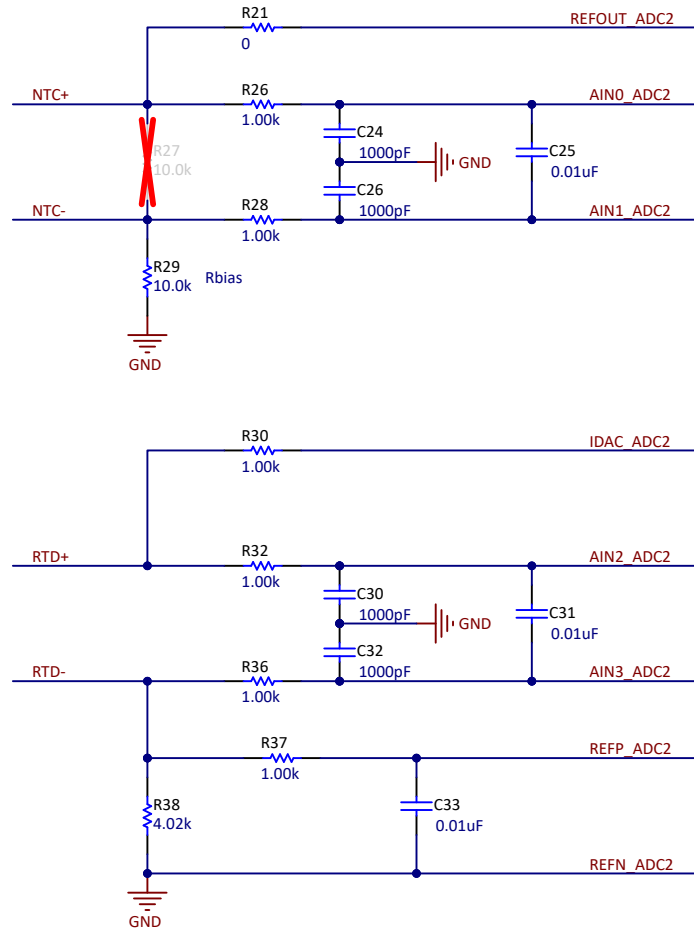


图 5-5. ADC2 模拟前端

ADC2 模拟输入包含一阶电阻电容滤波器，用于限制混叠和噪声影响。差分对包含一个额外的共模电容器，用于滤除共模噪声。方程式 1 展示了差分截止频率的计算方法。方程式 2 展示了共模截止频率的计算方法。

$$f_{\text{diff}} = 1/[2\pi \times (R1 + R2) \times C_{\text{diff}}] = 1/[2\pi \times (1000 + 1000) \times 0.01 \mu\text{F}] \approx 8\text{kHz} \quad (3)$$

$$f_{\text{cm}} = 1/[2\pi \times R \times C_{\text{cm}}] = 1/[2\pi \times 1000 \times 1000\text{pF}] \approx 160\text{kHz} \quad (4)$$

5.5 激励连接和低侧桥开关

图 5-6 展示了传感器激励电路。接头 J4 既用作 EVM 的输出，也用作 EVM 的输入。此接头支持多个传感器激励源，包括 VDD、REFOUT_ADC1 和 IDAC_ADC1。EXC- 通过用作低侧桥式开关的 TMUX1219 完成对地的桥接连接。MSPM0G1507 控制低侧电桥开关，为电桥激励提供接地路径，或者断开电桥以实现节能。有关如何操作低侧电桥开关的更多信息，请参阅节 6.3.2.6。

在电流激励电桥电路中，将 $0\ \Omega$ 电阻器 R12 替换为偏置电阻器，以便为电桥输出建立有效的共模电压。此外，该偏置电阻器为激励电流源提供返回路径。

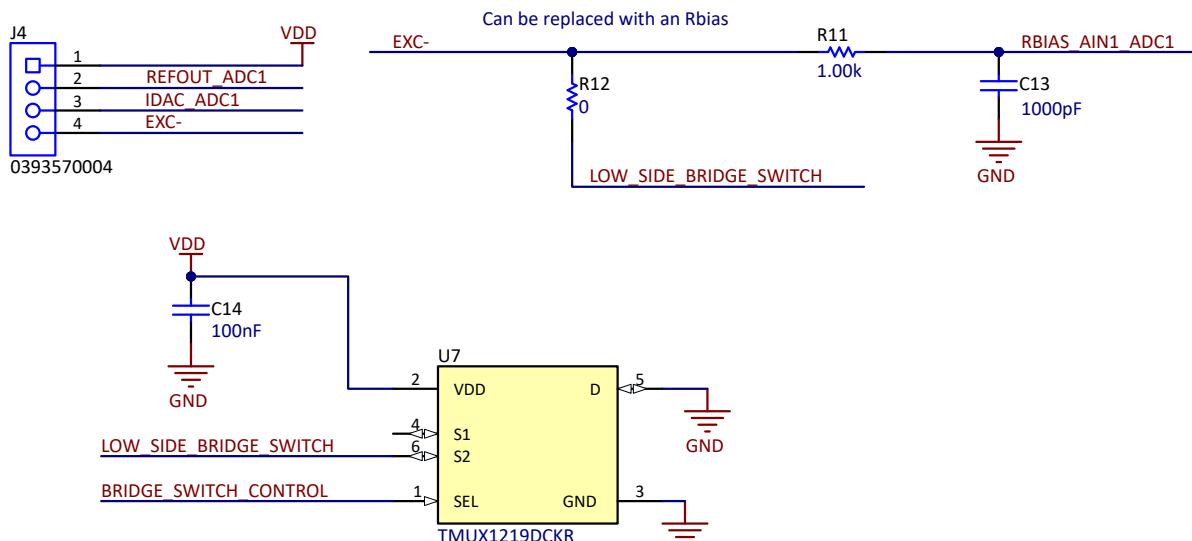


图 5-6. 激励接头和低侧桥开关

5.6 模拟传感器连接

SNSR-DUAL-ADC-EVM 可配置为使用多种不同的模拟传感器。以下各子部分介绍了如何将不同的传感器组合连接到 EVM。此外，每个子部分均包含一张表，列出了适用于该配置的重要 ADC 寄存器设置以及每个寄存器的预置值。这些表使用紫色单元格表示硬件固定的 ADC 设置，黄色单元格表示用户必须根据系统要求自行选择的 ADC 设置。

- 压力传感器 (电阻式电桥) 应用示例
 - 使用 ADC1 测量电压激励 6 线电桥和使用 ADC2 测量低侧偏置电阻器
 - 使用 ADC1 测量电压激励 6 线电桥和使用 ADC2 测量电流激励 2 线 RTD
 - 使用 ADC1 测量电流激励的 4 线电桥和使用 ADC2 测量电压激励热敏电阻
- 温度传感器应用示例
 - 使用 ADC1 测量热电偶和使用 ADC2 测量用于冷端补偿的 NTC
 - 使用 ADC1 测量一个 3 线 RTD 和使用 ADC2 测量一个 3 线 RTD
 - 使用 ADC1 测量一个 4 线 RTD 和使用 ADC2 测量一个 4 线 RTD
- 通用应用示例
 - 测量通用电压或电流输入

表 5-3 展示了 SNSR-DUAL-ADC-EVM 接头引脚与相应 ADC 引脚之间的连接关系。

表 5-3. SNSR-DUAL-ADC-EVM 接头到 ADC 引脚

ADC	SNSR-DUAL-ADC-EVM 接头引脚	ADC 引脚
ADC1	VDD	AVDD/DVDD
	REFOUT	REFOUT
	IDAC	AIN0
	EXC-	AIN1
	SIGNAL+	AIN2
	SIGNAL-	AIN3
	SENSE+	AIN4/REFP
	SENSE-	AIN5/REFN
ADC2	NTC+	AIN0
	NTC-	AIN1
	RTD+	AIN2
	RTD-	AIN3

5.6.1 压力传感器 (电阻式电桥) 应用示例

常见的压力传感器应用使用具有集成 PGA 的低噪声 ADC，来测量来自压敏电阻式电桥的低电平信号。此外，许多系统还会测量压力传感器的温度，以校正温漂误差。此 EVM 支持使用外部温度传感器同时测量电阻式电桥及电桥温度。有关使用精密 ADC 测量电阻式电桥的更多信息，请参阅[电桥测量基本指南](#)应用手册。

图 5-7 展示了 SNSR-DUAL-ADC-EVM 模拟前端的方框图，并展示了连接到输入和激励端子块的示例传感器。请注意，ADC1 和 ADC2 共用一个模拟输入接头，且由 ADC1 负责生成 REFOUT 和 IDAC 激励源。

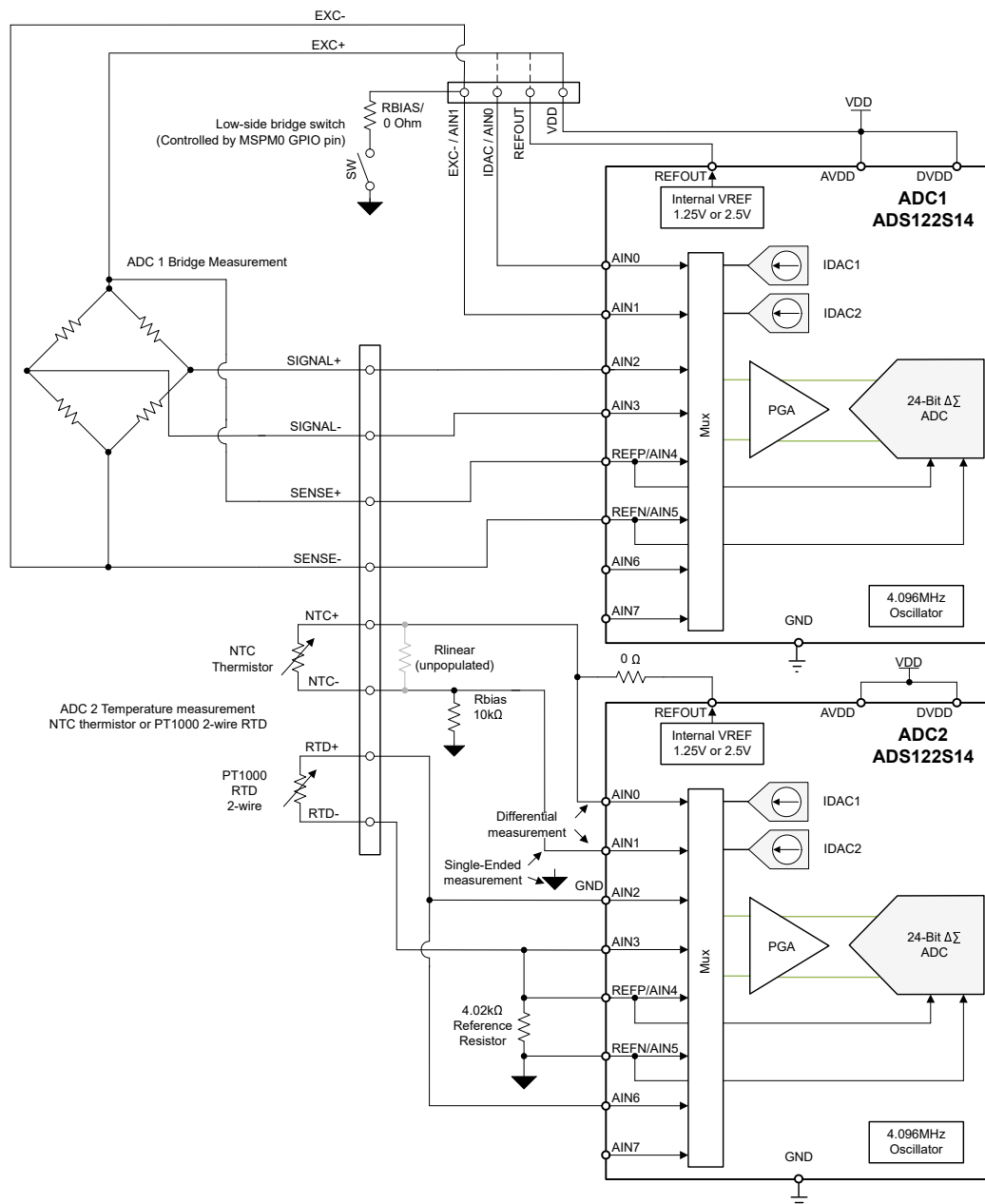


图 5-7. SNSR-DUAL-ADC-EVM 方框图 (连接压力传感器、热敏电阻和 RTD)

5.6.1.1 使用 ADC1 测量电压激励 6 线电桥和使用 ADC2 测量低侧偏置电阻器

图 5-8 展示了使用 ADC1 测量电压激励 6 线电阻电桥，以及使用 ADC2 测量低侧偏置电阻器的 EVM 连接图。

1. 将正极和负极电桥引线分别连接到输入接头上的 SIGNAL+ 和 SIGNAL-。
2. 将正负电桥基准或感测引线分别连接到输入接头上的 SENSE+ 和 SENSE-。
3. 将正极电桥激励导线连接到激励接头上的 VDD。
4. 在输入接头的 RTD+ 和 RTD- 之间连接一个串联 R_{Bias} 电阻器，用于确定电桥电阻。
5. 将一根外部导线从激励接头上的 RTD- 连接到 EXC-，以连接到低侧电桥开关。

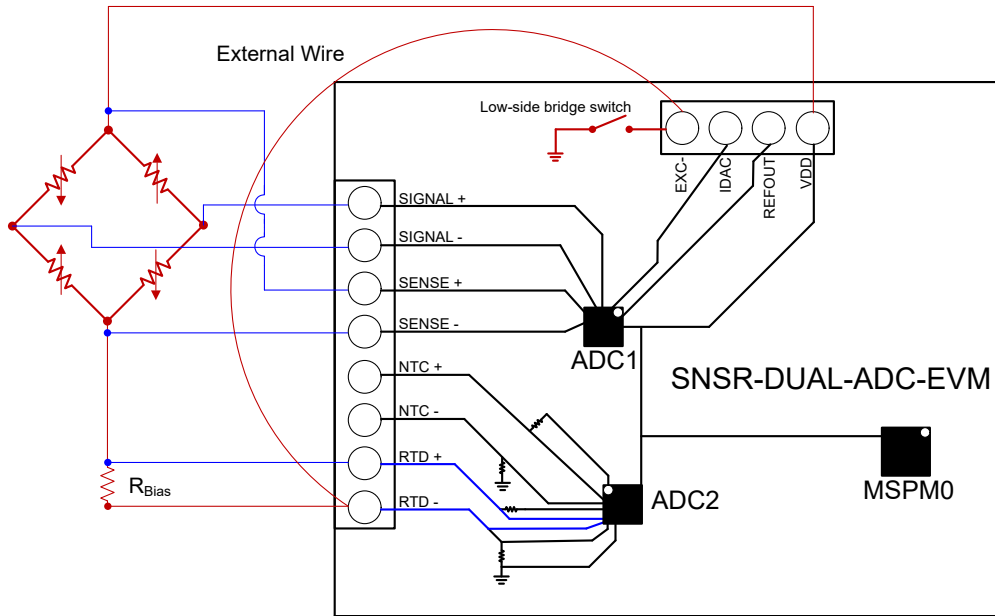


图 5-8. 使用 ADC1 测量电压激励 6 线电桥和使用 ADC2 测量低侧偏置电阻器

在图 5-8 中，红线表示传感器偏置路径，蓝线表示传感器测量路径。表 5-4 介绍了使用 ADC1 测量电压激励 6 线电阻电桥，以及使用 ADC2 测量低侧偏置电阻器的适用寄存器设置。提示：紫色单元格表示由硬件固定的 ADC 设置，黄色单元格表示用户必须选择的 ADC 设置。

表 5-4. 针对应用的建议寄存器设置

ADC	寄存器 ⁽¹⁾	值	说明
ADC1	MUX_CFG (07h)	0x23h	AINP = AIN2, AINN = AIN3
	GAIN_CFG (08h)	0x0Dh	增益 = 128
	REFERENCE_CFG (09h)	0x21h	REFP_BUF_EN、REF_SEL = 外部基准
ADC2	MUX_CFG (07h)	0x01h	AINP = AIN0, AINN = AIN1
	GAIN_CFG (08h)	0x01h	增益 = 1
	REFERENCE_CFG (09h)	0x00h	REFOUT = 1.25V, 内部基准

(1) 有关默认 EVM 固件设置的信息，请参阅 ADC1 和 ADC2 上电及 *adc reset* 寄存器设置。

5.6.1.2 使用 ADC1 测量电压激励 6 线电桥和使用 ADC2 测量电流激励 2 线 RTD

图 5-9 展示了用于测量使用 ADC1 的电压激励 6 线电阻式电桥，和使用 ADC2 的电流激励 2 线 RTD 的 EVM 连接图。

1. 将正极和负极电桥引线分别连接到输入接头上的 **SIGNAL+** 和 **SIGNAL-**。
2. 将正负电桥基准或感测引线分别连接到输入接头上的 **SENSE+** 和 **SENSE-**。
3. 将正极和负极电桥激励引线分别连接到激励接头上的 **REFOUT** 和 **EXC-**。
4. 将 2 线 **PT1000** **RTD** 直接连接到输入接头上的 **RTD+** 和 **RTD-**。板载 **4.02k Ω** 基准电阻 (**R38**) 为 **ADC2** 启用了比例基准电压配置。

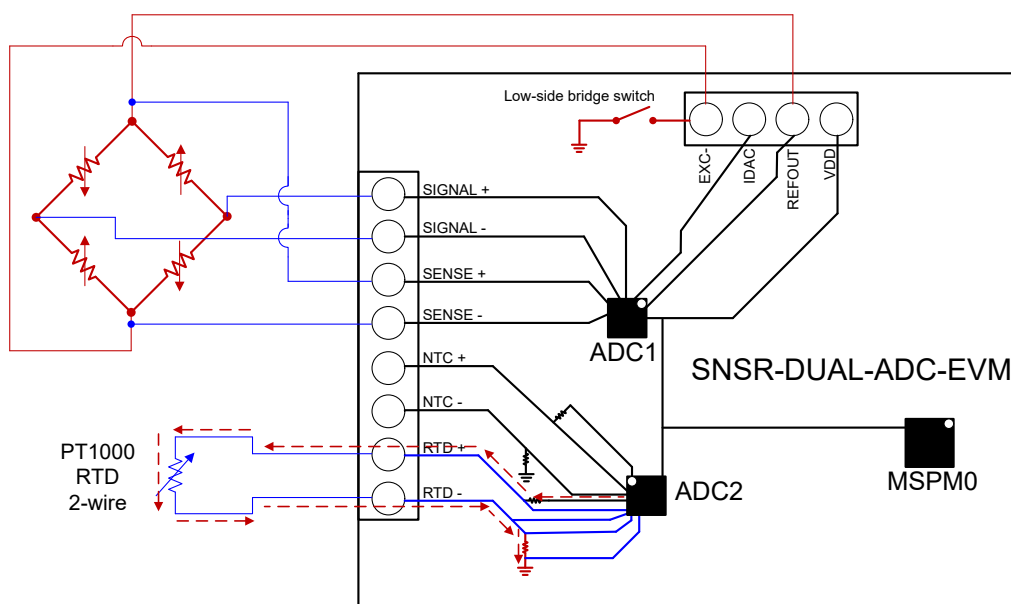


图 5-9. 使用 ADC1 测量电压激励 6 线电桥和使用 ADC2 测量电流激励 2 线 RTD

在图 5-9 中，红线表示传感器偏置路径，蓝线表示传感器测量路径。表 5-5 介绍了用于测量使用 ADC1 的电压激励 6 线电阻式电桥，以及使用 ADC2 的电流激励 2 线 RTD 的适用寄存器设置。提示：紫色单元格表示由硬件固定的 ADC 设置，黄色单元格表示用户必须选择的 ADC 设置。

表 5-5. 针对应用的建议寄存器设置

ADC	寄存器 ⁽¹⁾	值	说明
ADC1	MUX_CFG (07h)	0x23h	AINP = AIN2 , AINN = AIN3
	GAIN_CFG (08h)	0x0Dh	增益 = 128
	REFERENCE_CFG (09h)	0x23h	REFP_BUF_EN、REF_VAL = 2.5V、REF_SEL = 外部基准
	IDAC_MUX_CFG (0Eh)	0x80h	IDAC 单位电流 = 10μA I1MUX = AIN0
ADC2	MUX_CFG (07h)	0x23h	AINP = AIN2 , AINN = AIN3
	GAIN_CFG (08h)	0x01h	增益 = 1
	REFERENCE_CFG (09h)	0x21h	REFP_BUF_EN = 1b、REF_SEL = 外部基准
	IDAC_MAG_CFG (0Dh)	0x0Ah	IDAC1 量级 90x IUNIT
	IDAC_MUX_CFG (0Eh)	0x86h	IDAC 单位电流 = 10μA I1MUX = AIN6

(1) 有关默认 EVM 固件设置的信息，请参阅 ADC1 和 ADC2 上电及 *adc reset* 寄存器设置。

5.6.1.3 使用 ADC1 测量电流激励的 4 线电桥和使用 ADC2 测量电压激励热敏电阻

图 5-10 展示了用于测量使用 ADC1 的电流激励 4 线电阻式电桥和使用 ADC2 的电压激励 NTC 的 EVM 连接图。

1. 将正极和负极电桥引线分别连接到输入接头上的 SIGNAL+ 和 SIGNAL-。
2. 将外部跳线分别从输入信号接头连接到 SENSE+ 和 SENSE-，再连接到激励接头上的 IDAC 和 EXC-。
3. 将正极和负极电桥激励引线连接到激励接头上的 IDAC 和 EXC-。
4. 在 R12 上安装一个大小合适的偏置电阻器，以便从电流激励电桥建立正确的共模输出电压
5. 在 NTC+ 和 NTC- 之间连接热敏电阻以进行差分测量、或在 NTC+ 和 GND 之间连接单端测量。板载 10k Ω (R29) 偏置电阻会与外部热敏电阻形成分压器。

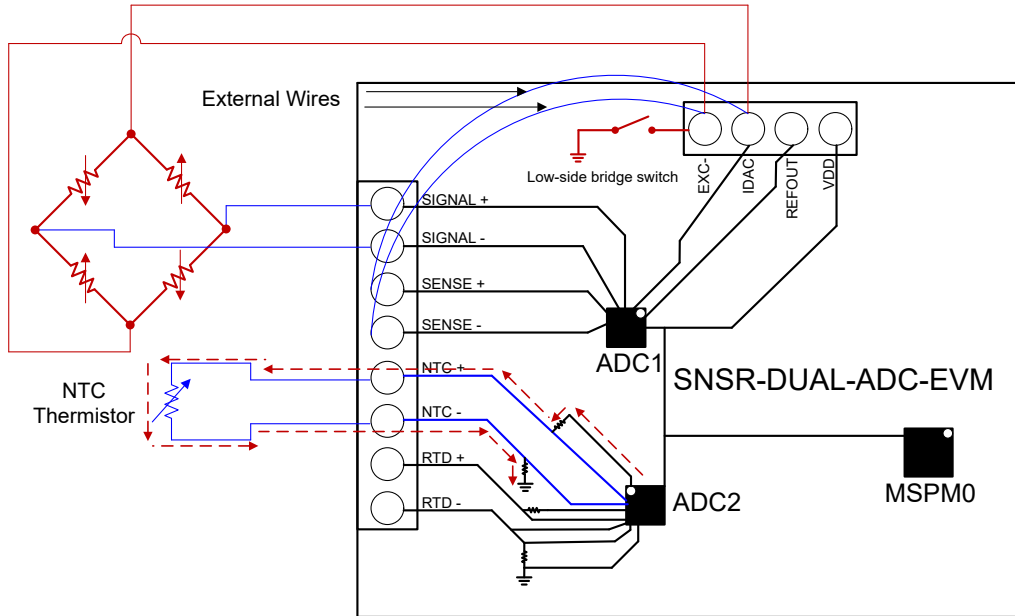


图 5-10. 使用 ADC1 测量电流激励的 4 线电桥和使用 ADC2 测量电压激励热敏电阻

在图 5-10 中，红线表示传感器偏置路径，蓝线表示传感器测量路径。表 5-6 介绍了用于测量使用 ADC1 的电流激励 4 线电阻式电桥，和使用 ADC2 的电压激励 NTC 的适用寄存器设置。提示：紫色单元格表示由硬件固定的 ADC 设置，黄色单元格表示用户必须选择的 ADC 设置。

表 5-6. 针对应用的建议寄存器设置

ADC	寄存器 ⁽¹⁾	值	说明
ADC1	MUX_CFG (07h)	0x23h	AINP = AIN2, AINN = AIN3
	GAIN_CFG (08h)	0x0Dh	增益 = 128
	REFERENCE_CFG (09h)	0x21h	REFP_BUF_EN、REF_SEL = 外部基准
	IDAC_MAG_CFG (0Dh)	0x0Bh	IDAC1 量级 100x IUNIT
	IDAC_MUX_CFG (0Eh)	0x80h	IDAC 单位电流 = 10 μ A, I1MUX = AIN0
ADC2	MUX_CFG (07h)	0x01h	AINP = AIN0, AINN = AIN1
	GAIN_CFG (08h)	0x01h	增益 = 1
	REFERENCE_CFG (09h)	0x00h	REFOUT = 2.5V, 内部基准

(1) 有关默认 EVM 固件设置的信息，请参阅 ADC1 和 ADC2 上电及 adc reset 寄存器设置。

5.6.2 温度传感器应用示例

热电偶测量依赖于两种不同金属在暴露于不同温度时产生的电压差。冷端补偿用于校正参考端结温，从而准确反映测量端的真实温度。有关使用精密 ADC 进行热电偶测量的更多信息，请参阅[热电偶测量基本指南](#)应用手册。

这些 RTD 是市面上非常精确的温度传感器之一，可覆盖较宽的温度范围。RTD 的工作原理是某些金属的电阻值会随温度升高而按可预测的规律增加。有关使用精密 ADC 进行 RTD 测量的更多信息，请参阅 [RTD 测量基本指南](#) 应用手册。

图 5-11 展示了 SNSR-DUAL-ADC-EVM 模拟前端的方框图，并展示了连接到输入和激励端子块的示例传感器。请注意，ADC1 和 ADC2 共用一个模拟输入接头，并且由 ADC1 负责生成 REFOUT 和 IDAC 激励源。

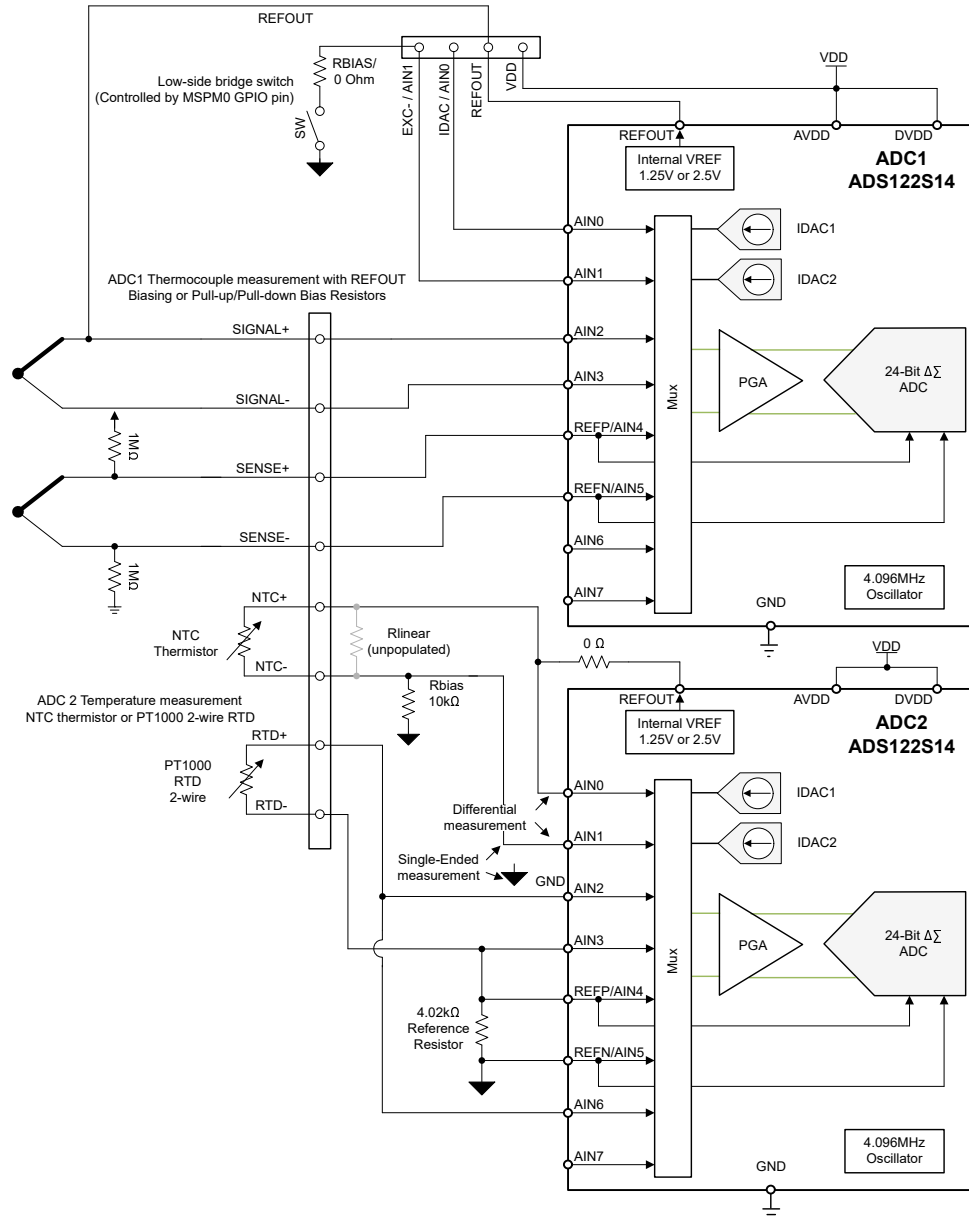


图 5-11. SNSR-DUAL-ADC-EVM 方框图 (连接热电偶、热敏电阻和 RTD)

5.6.2.1 使用 ADC1 测量热电偶和使用 ADC2 测量用于冷端补偿的 NTC

图 5-12 展示了使用 ADC1 测量热电偶和使用 ADC2 进行冷端补偿的 NTC 的 EVM 连接图。

1. 使用外部上拉和下拉电阻对热电偶进行偏置，以在 $1/2 V_s$ 处设置共模电压。或者，通过一条连接从 REFOUT 引脚到 SIGNAL+ 的外部导线来偏置热电偶。
2. 将外部热敏电阻连接到输入接头上的 NTC+ 和 NTC- 引脚，以对热电偶进行冷端补偿。
3. 在 NTC+ 和 NTC- 之间连接一个外部热敏电阻进行差分测量，或在 NTC+ 和 GND 之间连接进行单端测量。板载 $10k\Omega$ (R29) 偏置电阻会与外部热敏电阻形成分压器。

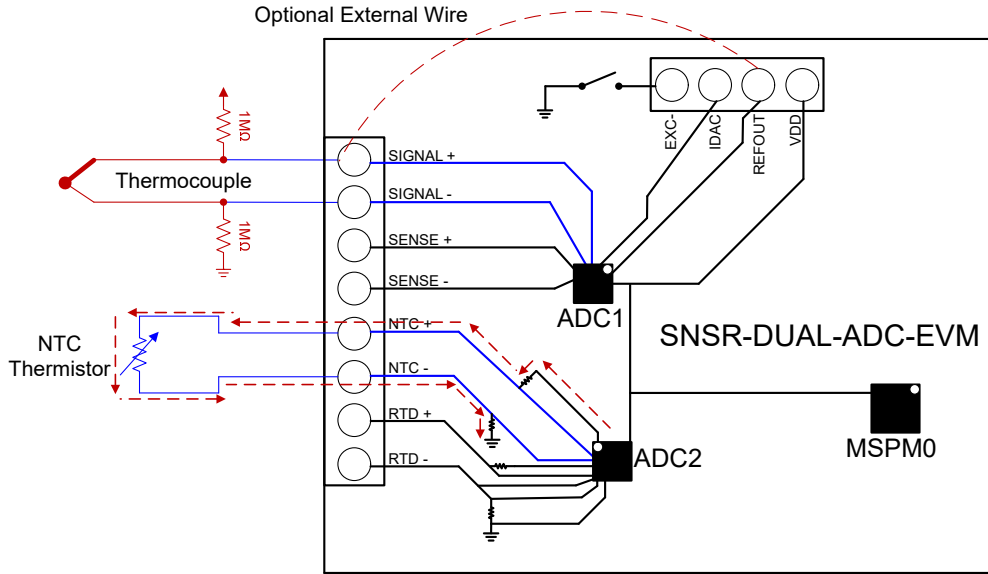


图 5-12. 使用 ADC1 测量热电偶和使用 ADC2 测量用于冷端补偿的 NTC

在图 5-12 中，红线表示传感器偏置路径，蓝线表示传感器测量路径。表 5-7 介绍了用于测量热电偶和用于冷端补偿的 NTC 的适用寄存器设置。提示：紫色单元格表示由硬件固定的 ADC 设置，黄色单元格表示用户必须选择的 ADC 设置。

表 5-7. 针对应用的建议寄存器设置

ADC	寄存器 ⁽¹⁾	值	说明
ADC1	MUX_CFG 寄存器 (07h)	0x23h	AINP = AIN2, AINN = AIN3
	GAIN_CFG (08h)	0x0Dh	增益 = 128
	REFERENCE_CFG (09h)	0x00h	REFOUT = 1.25V, 内部基准
ADC2	MUX_CFG 寄存器 (07h)	0x01h	AINP = AIN0, AINN = AIN1
	GAIN_CFG (08h)	0x01h	增益 = 1
	REFERENCE_CFG (09h)	0x03h	REFOUT = 2.5V, 内部基准

(1) 有关默认 EVM 固件设置的信息，请参阅 ADC1 和 ADC2 上电及 *adc reset* 寄存器设置。

5.6.2.2 使用 ADC1 测量一个 3 线 RTD 和使用 ADC2 测量一个 3 线 RTD

图 5-13 展示了使用 ADC1 测量一个 3 线 RTD 和使用 ADC2 测量另一个 3 线 RTD 的 EVM 连接图。

1. 如图所示连接 RTD1 的引线 1、2 和 3，以便 ADC1 测量输入接头上 SIGNAL+ 和 SIGNAL- 之间的 RTD 输出。
2. 在 SENSE+ 和 SENSE- 之间连接一个外部 RTD 基准电阻器 (R_{REF})，以为 ADC1 实现比例式基准电压配置。
3. 从 IDAC 到 SIGNAL+ 以及从 SENSE- 到 EXC- 连接额外的跳线。
4. 如图所示连接 RTD2 的引线 1、2 和 3，以便 ADC2 测量输入接头上 NTC+ 和 NTC- 之间的 RTD 输出。板载 $4.02k\Omega$ 基准电阻 (R_{38}) 为 ADC2 启用了比例基准电压配置。
5. 在 RTD+ 和 NTC+ 引脚之间连接一根额外的外部导线。

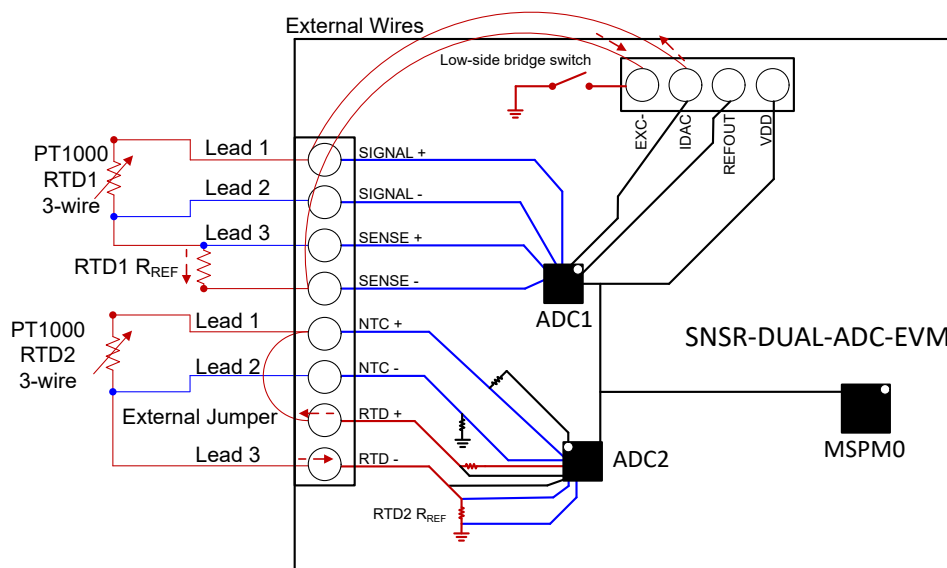


图 5-13. 使用 ADC1 测量一个 3 线 RTD 和使用 ADC2 测量一个 3 线 RTD

在图 5-13 中，红线表示传感器偏置路径，蓝线表示传感器测量路径。表 5-8 介绍了测量两个 3 线 RTD 的适用寄存器设置。提示：紫色单元格表示由硬件固定的 ADC 设置，黄色单元格表示用户必须选择的 ADC 设置。

表 5-8. 针对应用的建议寄存器设置

ADC	寄存器 ⁽¹⁾	值	说明
ADC1	MUX_CFG 寄存器 (07h)	0x23h	AINP = AIN2, AINN = AIN3
	GAIN_CFG (08h)	0x01h	增益 = 1
	REFERENCE_CFG (09h)	0x21h	REFP_BUF_EN、REF_SEL = 外部基准
	IDAC_MAG_CFG (0Dh)	0x0Ah	IDAC1 量级 90x IUNIT
	IDAC_MUX_CFG (0Eh)	0x80h	IDAC 单位电流 = 10μA
ADC2	MUX_CFG 寄存器 (07h)	0x01h	AINP = AIN0, AINN = AIN1
	GAIN_CFG (08h)	0x01h	增益 = 1
	REFERENCE_CFG (09h)	0x21h	REFP_BUF_EN、REF_SEL = 外部基准
	IDAC_MAG_CFG (0Dh)	0x0Ah	IDAC1 量级 90x IUNIT
	IDAC_MUX_CFG (0Eh)	0x86h	IDAC 单位电流 = 10μA

(1) 有关默认 EVM 固件设置的信息，请参阅 ADC1 和 ADC2 上电及 *adc reset* 寄存器设置。

5.6.2.3 使用 ADC1 测量一个 4 线 RTD 和使用 ADC2 测量一个 4 线 RTD

图 5-14 展示了使用 ADC1 测量一个 4 线 RTD 和使用 ADC2 测量另一个 4 线 RTD 的 EVM 连接图。

1. 如图所示连接 RTD1 的引线 1、2、3 和 4，以便 ADC1 测量输入接头上 SIGNAL+ 和 SIGNAL- 之间的 RTD 输出。
2. 在 SENSE+ 和 SENSE- 之间连接一个外部 RTD 基准电阻器 (R_{REF})，以为 ADC1 实现比例式基准电压配置。
3. 从输入接头上的 SENSE- 到激励接头上的 EXC- 连接一根额外的外部导线。
4. 如图所示连接 RTD2 的引线 1、2、3 和 4，以便 ADC2 测量输入接头上 NTC+ 和 NTC- 之间的 RTD 输出。
板载 $4.02k\Omega$ 基准电阻 ($R38$) 为 ADC2 启用了比例基准电压配置。

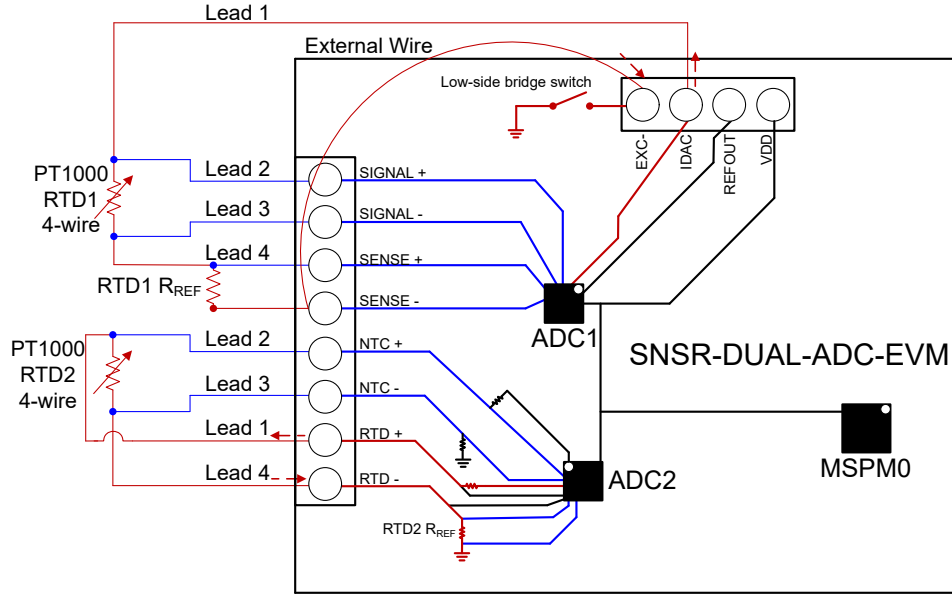


图 5-14. 使用 ADC1 测量一个 4 线 RTD 和使用 ADC2 测量一个 4 线 RTD

在图 5-14 中，红线表示传感器偏置路径，蓝线表示传感器测量路径。表 5-9 介绍了测量两个 4 线 RTD 的适用寄存器设置。提示：紫色单元格表示由硬件固定的 ADC 设置，黄色单元格表示用户必须选择的 ADC 设置。

表 5-9. 针对应用的建议寄存器设置

ADC	寄存器 ⁽¹⁾	值	说明
ADC1	MUX_CFG (07h)	0x23h	AINP = AIN2, AINN = AIN3
	GAIN_CFG (08h)	0x01h	增益 = 1
	REFERENCE_CFG (09h)	0x21h	REFP_BUF_EN、REF_SEL = 外部基准
	IDAC_MAG_CFG (0Dh)	0x0Ah	IDAC1 量级 90x IUNIT
	IDAC_MUX_CFG (0Eh)	0x80h	IDAC 单位电流 = 10 μ A I1MUX = AIN0
ADC2	MUX_CFG 寄存器 (07h)	0x01h	AINP = AIN0, AINN = AIN1
	GAIN_CFG (08h)	0x01h	增益 = 1
	REFERENCE_CFG (09h)	0x21h	REFP_BUF_EN、REF_SEL = 外部基准
	IDAC_MAG_CFG (0Dh)	0x0Ah	IDAC1 量级 90x IUNIT
	IDAC_MUX_CFG (0Eh)	0x86h	IDAC 单位电流 = 10 μ A I1MUX = AIN6

(1) 有关默认 EVM 固件设置的信息，请参阅 ADC1 和 ADC2 上电及 adc reset 寄存器设置。

5.6.3 通用应用示例

SNSR-DUAL-ADC-EVM 可用于对两个 ADS122S14 精密 ADC 进行一般性评估，并不局限于传感器测量应用。每个 ADC 都可以测量两个差分输入、四个单端输入或两种输入类型的组合。请验证所有输入信号是否符合表 4-1 中的要求。

5.6.3.1 测量通用电压或电流输入

图 5-15 展示了使用 ADC1 和 ADC2 测量通用电压或电流输入的 EVM 连接图。如图所示，ADC1 用于测量差分电压源和单端电流源。ADC2 用于测量差分电流源和单端电压源。然而，源类型可以任意组合。启用某些通道进行通用输入测量可能需要移除无源器件。请参阅原理图以识别任何此类元件。

在图 5-15 中，红线表示传感器偏置路径，蓝线表示传感器测量路径。表 5-10 介绍了通用电压和电流测量的适用寄存器设置。提示：紫色单元格表示由硬件固定的 ADC 设置，黄色单元格表示用户必须选择的 ADC 设置。

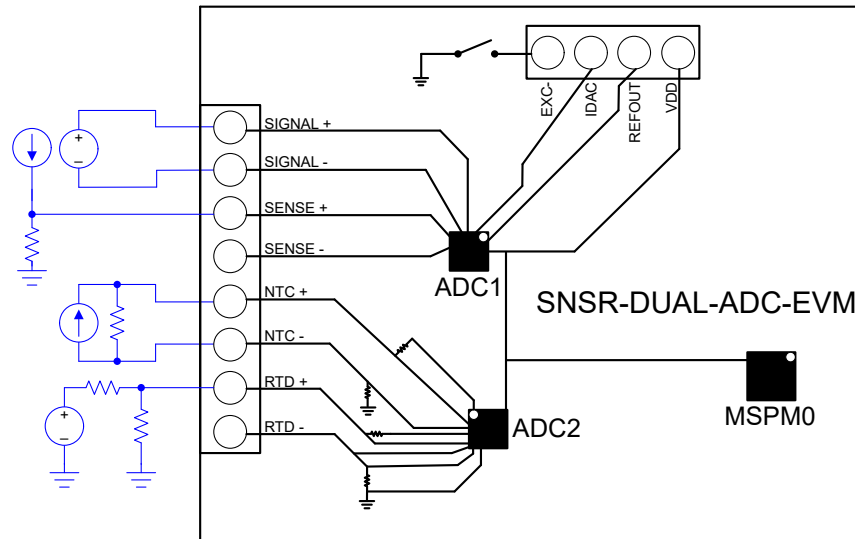


图 5-15. 测量通用电压或电流输入

表 5-10. 针对应用的建议寄存器设置

ADC	寄存器 ⁽¹⁾	值	说明
ADC1	MUX_CFG 寄存器 (07h)	0x23h	AINP = AIN2, AINN = AIN3
	GAIN_CFG (08h)	0x01h	增益 = 1
ADC2	MUX_CFG 寄存器 (07h)	0x01h	AINP = AIN0, AINN = AIN1
	GAIN_CFG (08h)	0x01h	增益 = 1

(1) 有关默认 EVM 固件设置的信息，请参阅 ADC1 和 ADC2 上电及 *adc reset* 寄存器设置。

5.7 MSPM0G1507

SNSR-DUAL-ADC-EVM 使用 MSPM0G1507 与两个 ADS122S14 ADC 进行通信并从这两个 ADC 接收数据。MCU 可通过 JTAG 进行编程，并可通过隔离式 USB 进行控制。MCU 预装了固件，支持在压力传感器应用中使用 EVM，其中包括连接到 ADC1 的外部电阻电桥，以及连接到 ADC2 用于温度补偿的双线 RTD。软件部分提供了该程序可用功能的高级概述。有关最新固件，请参阅 [PADC GitHub](#) 网站。

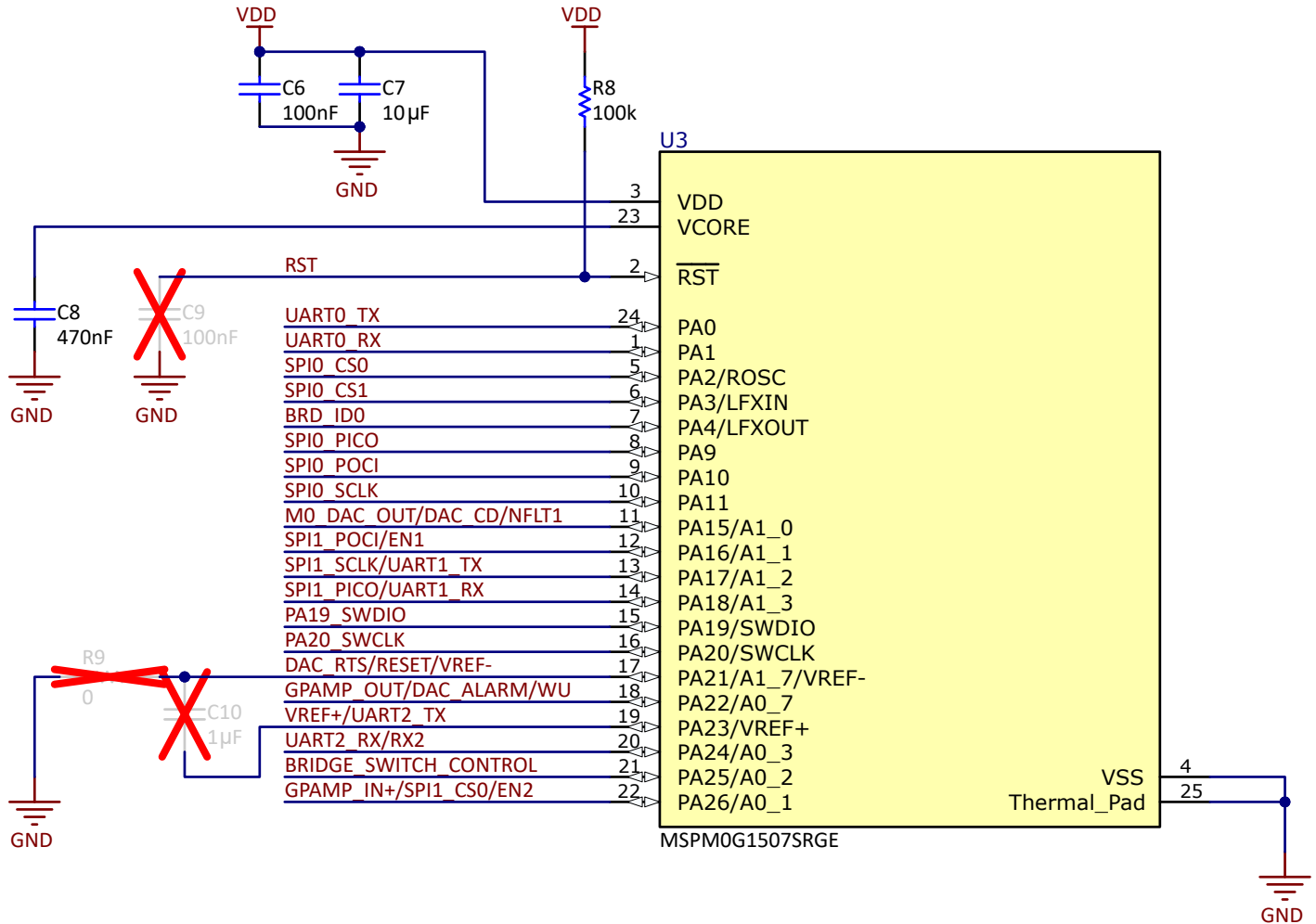


图 5-16. SNSR-DUAL-ADC-EVM MSPM0G1507 电路

5.8 数字接口

图 5-17 展示了 SNSR-DUAL-ADC-EVM 使用的三个数字接口。将提供的 USB 电缆连接到接头 J1，以便使用 PC 终端程序与预加载的 EVM 固件进行通信。该 EVM 专门支持隔离式 USB，以便在电路板处于 4-20mA 环路运行环境下时，仍能安全地配置 ADC 寄存器。有关通过终端程序控制 EVM 的更多信息，请参阅 [软件](#) 部分。接头 J3 是一个 JTAG 连接器，用于通过德州仪器 (TI) 的 LaunchPad 或其他调试平台对 MSPM0G1507 微控制器进行编程。当 SNSR-DUAL-ADC-EVM 连接到环路控制 AFE 发送器或其他兼容的输出板时，接头 J2 用于实现单板间的串行通信。

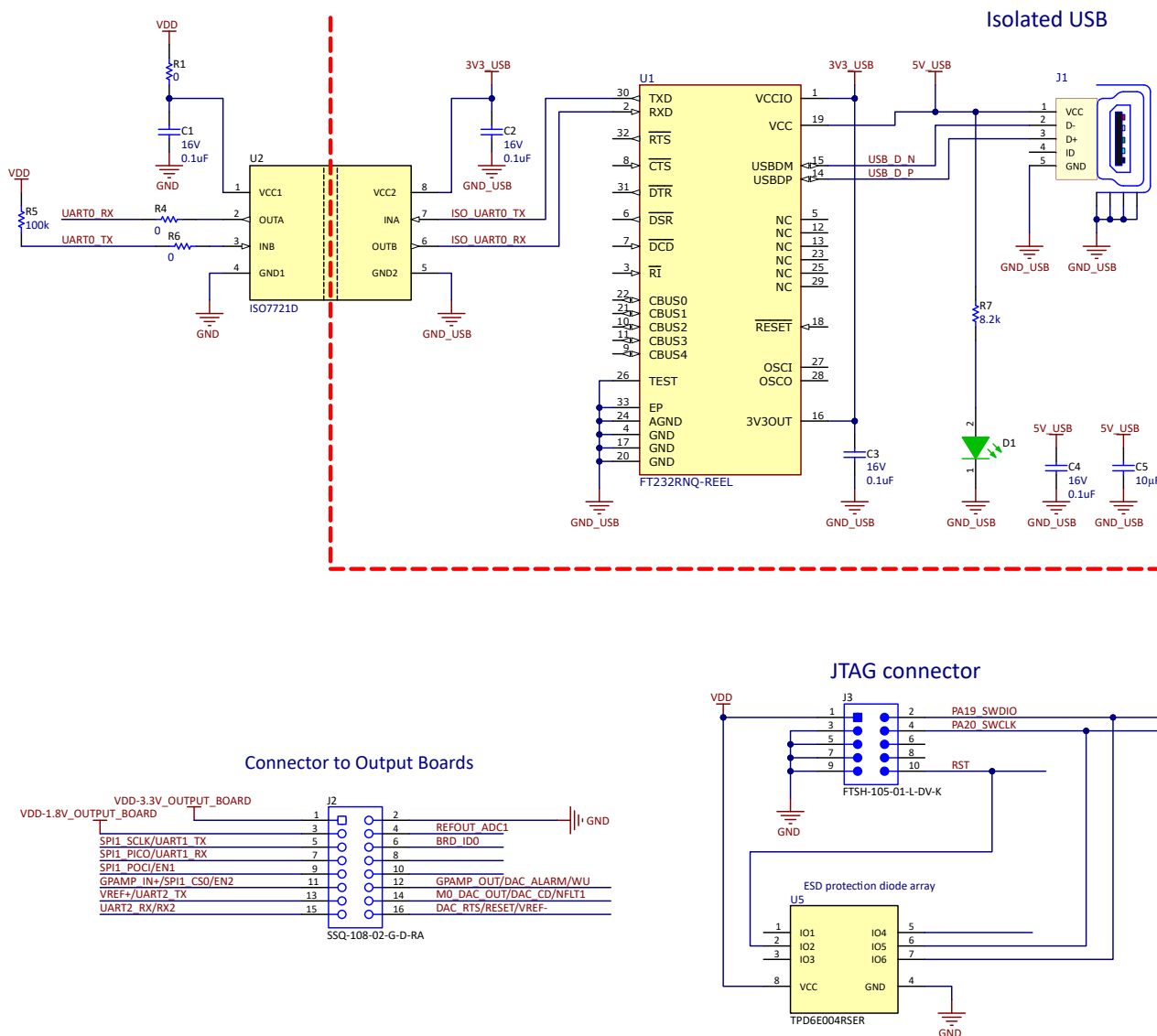


图 5-17. SNSR-DUAL-ADC-EVM 数字接口

表 5-11 展示了用于与兼容输出板接口的接头 J2 的引脚分布。引脚 1 已在 PCB 上标出。

表 5-11. J2 接头引脚

引脚	说明
1	来自输出板的 VDD-3.3V
2	GND
3	来自输出板的 VDD-1.8V
4	ADC1 REFOUT
5	SPI1 SCLK/UART1 TX
6	输出板 ID
7	SPI1 PICO/UART1 RX
8	未使用
9	SPI1 POCI/EN 1
10	未使用
11	GPAMP IN+/SPI1 CS/EN2
12	GPAMP OUT/DAC ALARM/WU
13	VREF+/UART2 TX
14	M0 DAC OUT/DAC CD/NFLT1
15	UART2 RX/RX2
16	DAC RTS/RESET/VREF-

5.9 数字连接接头

图 5-18 展示了接头 J5 和 J7，它们提供了测量数字信号的测试点，或者可以根据需要将 SNSR-DUAL-ADC-EVM 连接到外部控制器。接头 J5 包括通信信号：用于多器件通信的 SCLK、PICO、POCI、CS0 和 ADC2 CS。接头 J7 可用于监控从 ADC1 的 SDO 到 ADC2 的 SDI 的菊花链通信。默认情况下，EVM 不会组装接头 J7。

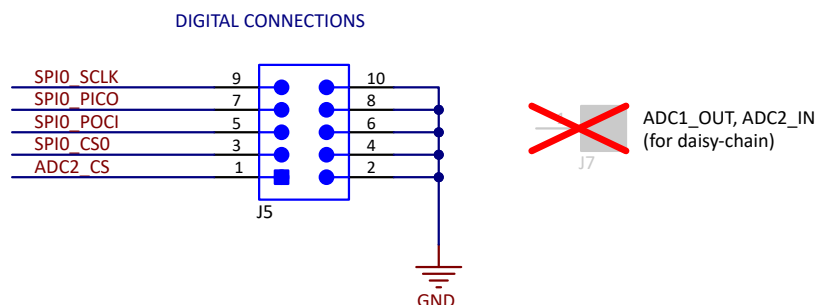


图 5-18. 数字连接接头

5.10 移位寄存器

图 5-19 展示了移位寄存器通信电路。每个 EVM 型号都具有一个唯一的标识符，该标识符源自施加到移位寄存器 A:H 引脚上的逻辑电压水平。MCU 在启动时会读取此电路板 ID，以识别当前连接的电路板类型，并确定应执行的配置设置和功能。启动后，固件会将 TMUX1219 多路复用器从 SHIFT_REGISTER 切换到 ADC2_SDO，因为此时已不再需要移位寄存器。

该移位寄存器电路是传感器发送器参考设计板特有的功能，用于硬件版本识别，并非在实际系统中必须复制。

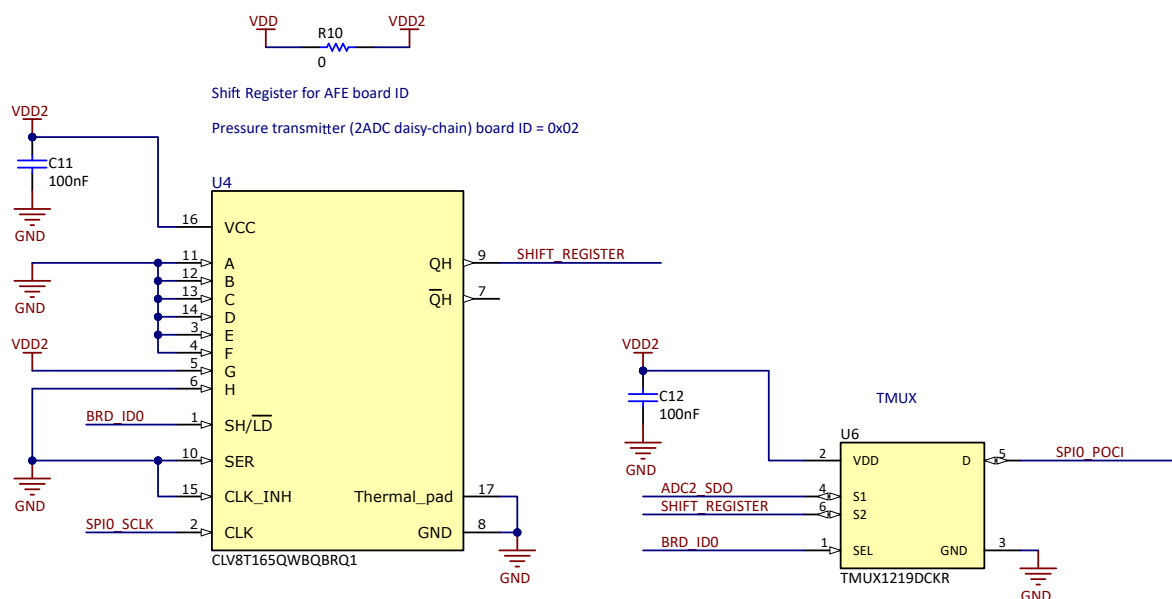


图 5-19. 展示了具有特定 SNSR-DUAL-ADC-EVM 电路板 ID 的识别移位寄存器。

5.11 将外部输出板连接到接头 J2

SNSR-DUAL-ADC-EVM 可以与多种外部输出板连接，从而构建完整的现场发送器系统模型。这些配套的 PCB 参考设计涵盖了数字输出和模拟输出选项，包括 4-20mA 和 0-10V 输出。例如，“环路控制 AFE 发送器”是一款德州仪器 (TI) 参考设计，包含一个低功耗精密 DAC 和一个输出级，用于在环路供电型变送器应用中生成 4-20mA 信号。在此配置中，4-20mA 环路为环路控制 AFE 发送器板供电，该板再为 SNSR-DUAL-ADC-EVM 供电。使用 SNSR-DUAL-ADC-EVM 上的跳线 JP1 选择合适的 VDD 电压电平。

图 5-20 展示了 SNSR-DUAL-ADC-EVM 连接到具有 4-20mA 输出的环路控制 AFE 发送器的情况。有关环路控制 AFE 发送器以及如何将其与 SNSR-DUAL-ADC-EVM 结合使用的更多信息，请参阅 [TIDA-010982](#)。

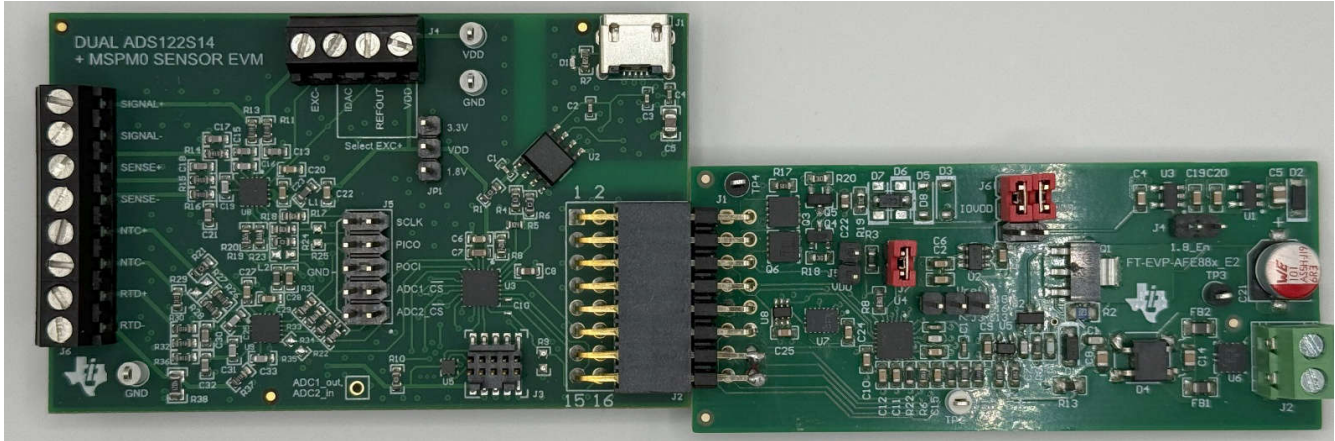


图 5-20. 环路控制 AFE 发送器板连接至 SNSR-DUAL-ADC-EVM

6 软件

SNSR-DUAL-ADC-EVM 包含预加载的固件，用户可以通过隔离式 USB，通过终端程序访问该固件。要对脚本进行除下列命令之外的修改，请从[精密 ADC GitHub®](#) 下载示例代码。

6.1 顶级菜单

SNSR-DUAL-ADC-EVM 软件使用嵌套菜单。使用 **help** 命令访问顶级菜单。在任何子菜单中，通过键入子菜单名称，后接“help”来使用 **help** 命令。顶级 **help** 功能会列出所有可访问的子系统菜单。图 6-1 展示了 EVM 的顶级 **help** 菜单。

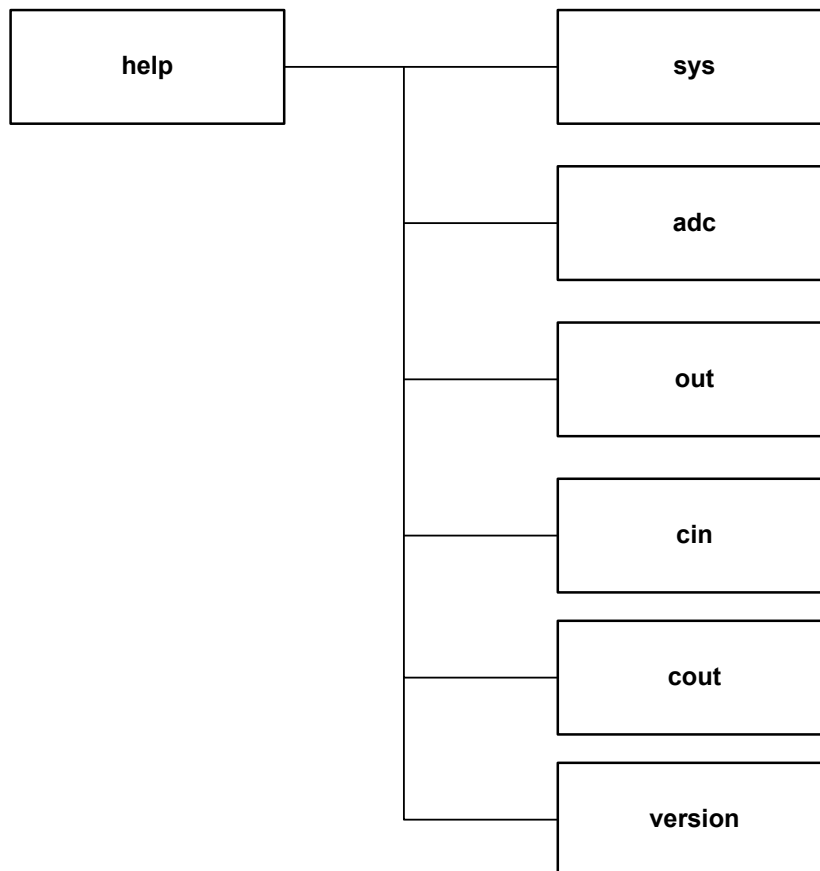


图 6-1. 顶级 **help** 菜单

6.1.1 顶级帮助菜单终端

图 6-2 展示了 **help** 命令的终端视图。

```

FT Platform Oct 31 2025 07:38:59
Running at 32 MHz
Using ADS122S14 in daisy chain for pressure sensing
initialized...
help
help
sys      - 0x4ae1 - configure system
adc      - 0x545d - configure adc subsystem
out      - 0x5fed - configure output subsystem
cin      - 0x5f6d - configure adc data conditioning system
cout     - 0x6da9 - configure output data conditioning system
help     - 0x6659 - show this message
version  - 0x45f5 - show information about software and hardware version
ret: 0
  
```

图 6-2. 终端顶级帮助菜单

6.2 系统子菜单

每个子系统菜单都有附加的功能菜单。例如，写入 **sys help** 将打开用于配置 **sys** 子系统的帮助菜单，其中包含使用各菜单的说明。图 6-3 展示了系统级别可用的函数。

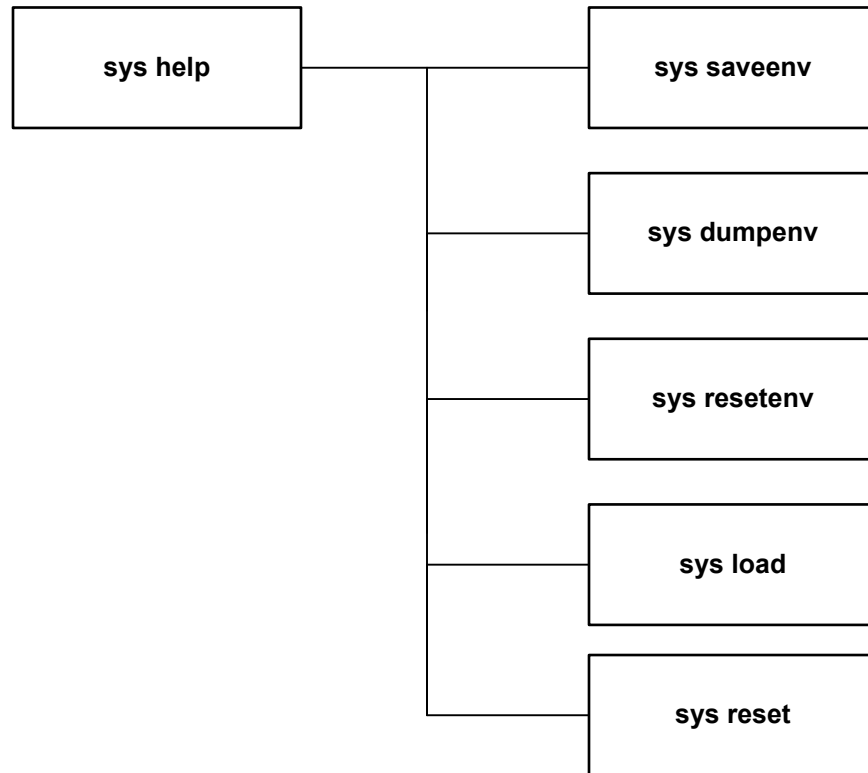


图 6-3. 子级别 **sys help** 菜单

6.2.1 SYS 帮助菜单输出

图 6-4 展示了 **sys help** 命令的终端视图。

```

sys help
sys help
All commands must start with sys
help      - 0x5501 - show this message
saveenv   - 0x166d - writes current configuration to flash
dumpenv   - 0x26f5 - dumps current configuration to screen
resetenv  - 0x7805 - dumps current configuration to screen
load      - 0x7d2d - read processing time of signal chain
reset     - 0x7d45 - restart the cpu
ret: 0
  
```

图 6-4. 终端子级 **sys help** 菜单

6.3 ADC 子菜单

每个子系统菜单都有附加的功能菜单。例如，写入 `adc help` 将打开用于配置 ADC 子系统的帮助菜单，其中包含使用各菜单的说明。图 6-5 展示了每个 ADS122S14 可用的 `adc help` 菜单功能。

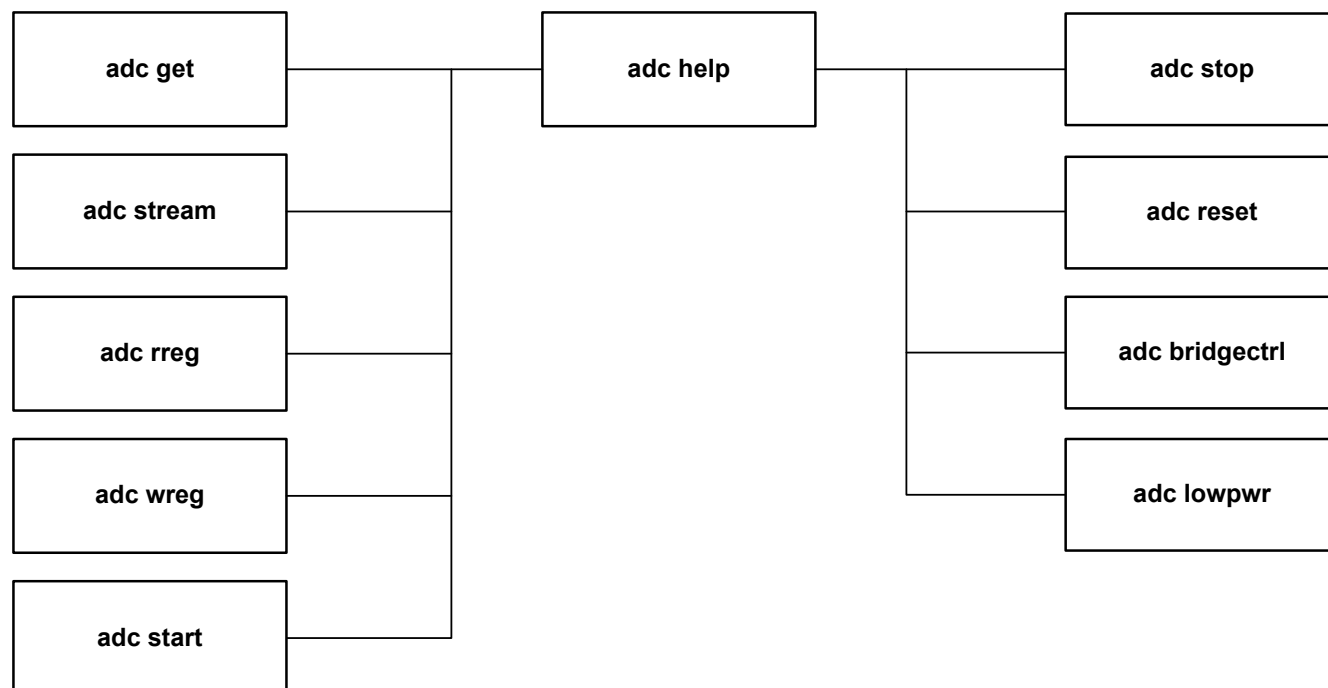


图 6-5. 子级 `adc help` 菜单

6.3.1 ADC 帮助菜单输出

使用 `adc help` 命令查看可以配置和控制 ADC 的命令列表。图 6-6 展示了 `adc help` 命令的终端视图。

```

adc help
adc help
All commands must start with adc
help      - 0x6605 - show this message
get       - 0x790d - return one raw reading
stream    - 0x7689 - starts/stops streaming raw readings
rreg      - 0x62ad - read register on both ADCs - rreg reg
wreg      - 0x52a9 - write register to ADC1 - wreg 1 reg value
           - write register to ADC2 - wreg 2 reg value
start     - 0x79bd - start conversion
stop      - 0x79d9 - stop conversion
reset     - 0x6059 - rewrite default EVM adc config
bridgectrl - 0x4ef9 - Enable/disable bridge and bridge status readback - bridgectrl [on|off]
lowpwr    - 0x1f35 - operate bridge and ADC in duty cycle mode - enter time between power-ups in ms
cm_test   - 0x2c29 - production test for manufacturer
ret: 0
  
```

图 6-6. 终端子级 `adc help` 菜单

6.3.2 *adc help* 菜单输入和输出示例

以下各部分提供了使用 图 6-6 中所示几个命令的示例。每个部分都包括用于执行命令的终端输入，以及用于显示预期输出的逻辑分析仪捕获结果。

- *adc reset* 示例
- *adc wreg* 菊花链示例 (写入单个 ADC)
- *adc wreg* 菊花链示例 (写入两个 ADC)
- *adc rreg* 菊花链示例
- *adc stream* 示例
- *adc lowpwr* 示例

SNSR-DUAL-ADC-EVM 的默认行为始终在菊花链模式下，每个通信周期传输十个数据帧。预加载的固件从每个 ADC 接收两个状态字节，后跟三个数据字节，而不管发送的命令或数据是什么。有关菊花链操作的详细信息，请参阅 ADS122S14 数据表。

图 6-7 展示了 EVM 响应帧读取转换数据的逻辑分析仪捕获结果示例。请使用图 6-7 作为指南，了解后续部分中逻辑分析仪捕获的内容。

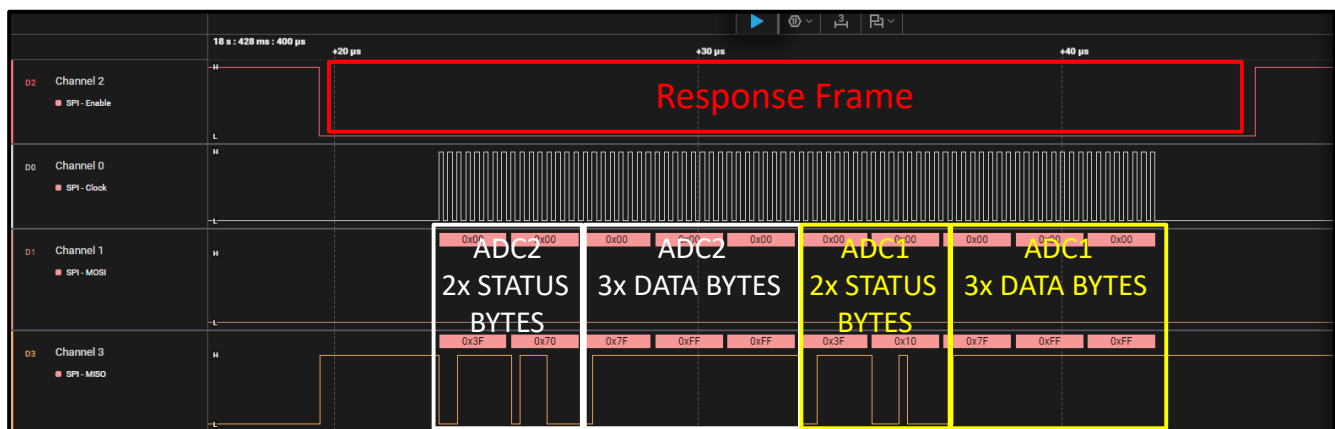


图 6-7. 示例逻辑分析仪 ADC 数据帧

6.3.2.1 adc reset 示例

使用 **adc reset** 命令将 ADC1 和 ADC2 复位为预加载固件的默认设置，这些设置可能与器件的工厂默认设置不同。图 6-8 展示了将 ADC1 和 ADC2 复位为固件默认值的正确终端语法示例。在默认的菊花链配置中，**adc reset** 命令始终同时复位两个 ADC，因此无法单独复位单个 ADC。

```
adc reset
adc reset
ret: 9
```

图 6-8. 将 ADC1 和 ADC2 重置为默认固件值的终端输入 (**adc reset**)

语法：**adc reset**

表 6-1 展示了在上电时或使用 **adc reset** 命令时，SNSR-DUAL-ADC-EVM 为 ADC1 和 ADC2 设置的默认寄存器设置。

表 6-1. ADC1 和 ADC2 上电及 **adc reset** 寄存器设置

ADC	寄存器 (地址)	值
ADC1	DEVICE_CFG (05h)	0x00
	DATA_RATE_CFG (06h)	0x07
	MUX_CFG (07h)	0x23
	GAIN_CFG (08h)	0x01
	REFERENCE_CFG (09h)	0x21
	DIGITAL_CFG (0Ah)	0x10
	IDAC_MUX_CFG (0Eh)	0x80
ADC2	DEVICE_CFG (05h)	0x00
	DATA_RATE_CFG (06h)	0x07
	MUX_CFG (07h)	0x23
	GAIN_CFG (08h)	0x01
	REFERENCE_CFG (09h)	0x21
	DIGITAL_CFG (0Ah)	0x10
	IDAC_MAG_CFG (0Dh)	0x04
	IDAC_MUX_CFG (0Eh)	0xF6

表 6-1 未包含的所有其他 ADC 寄存器均为 ADS122S14 数据手册中指定的默认值。

6.3.2.2 adc wreg 菊花链示例 (写入单个 ADC)

使用 `adc wreg` 命令，后跟 1 或 2 分别写入 ADC1 或 ADC2，同时向另一个 ADC 发送 null 命令。通过在 ADC 编号之后添加单字节寄存器地址和一字节寄存器值来完成命令。图 6-9 展示了写入寄存器 08 (GAIN_CFG) 以将 ADC1 增益设置为 128 的正确终端语法示例：`adc wreg 1 08 0D`。

语法：`adc wreg [ADC] [register address] [value]`

```
adc wreg 1 08 0D
adc wreg 1 08 0D
ret: 0
```

图 6-9. 将 ADC1 增益设置为 128 的终端输入 (`adc wreg 1 08 0D`)

图 6-10 展示了 `adc wreg 1 08 0D` 命令的逻辑分析仪捕获示例，其中指向 ADC2 的输入位于白框中，指向 ADC1 的输入位于黄框中。白框显示控制器向 ADC2 发送了 null 命令，黄框显示控制器向 ADC1 发送了写入命令。

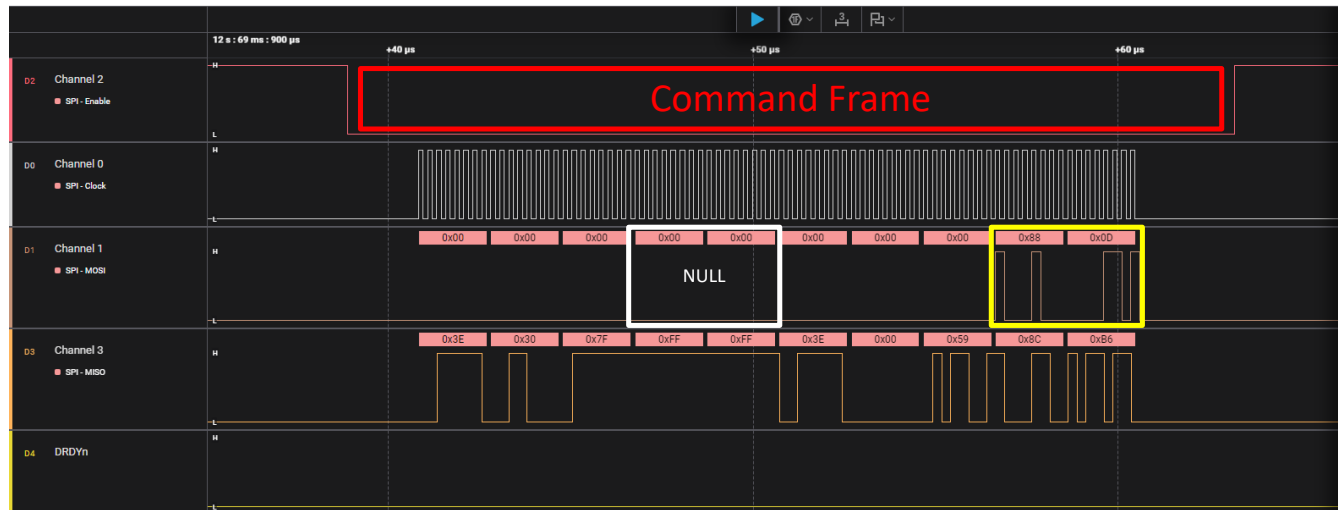


图 6-10. `adc wreg 1 08 0D` 逻辑分析仪捕获

6.3.2.3 adc wreg 菊花链示例 (写入两个 ADC)

使用 `adc wreg` 命令，后跟一字节的寄存器地址和一字节的寄存器值，可同时对 ADC1 和 ADC2 进行写入操作。

图 6-11 展示了通过终端写入寄存器 06h (DATA_RATE_CFG)，以将 ADC1 和 ADC2 OSR 设置为 16 的正确语法示例：`wreg 06 00`。

语法：`adc wreg [register address] [value]`

```
adc wreg 06 00
adc wreg 06 00
ret: 0
```

图 6-11. 用于将 ADC1 和 ADC2 OSR 设置为 16 的终端输入 (`adc wreg 06 00`)

图 6-12 展示了 `adc wreg 06 00` 命令的逻辑分析仪捕获示例。其中，ADC2 的输入及其响应包含在白色框内，而 ADC1 的输入及其响应包含在黄色框内。白色框显示对 ADC2 的写入命令，黄色框显示对 ADC1 的写入命令。

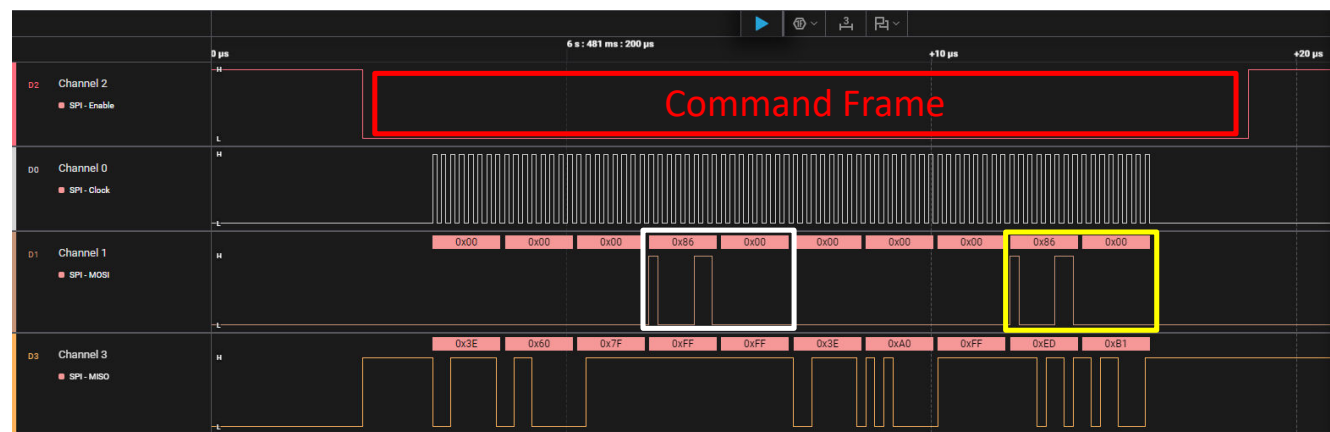


图 6-12. `adc wreg 06 00` 逻辑分析仪捕获

6.3.2.4 adc rreg 菊花链示例

使用 `adc rreg` 命令后跟一个字节的寄存器地址，可以同时读取 ADC1 和 ADC2 的寄存器值。图 6-13 展示了读取寄存器 05 (DEVICE_CFG) 的正确的终端语法和响应示例：`adc rreg 05`。

语法：`adc rreg [register address]`

响应：`Reg [register address], 0x[ADC1 register value] 0x[ADC2 register value]`

```
adc rreg 05
adc rreg 05
Reg 0x5, 0x0 0x0
ret: 0
```

图 6-13. 终端 `adc rreg 05`

图 6-14 展示了 `adc rreg 05` 命令的逻辑分析仪捕获示例。其中，ADC2 的输入及其响应包含在白色框内，而 ADC1 的输入及其响应包含在黄色框内。10 字节命令帧显示了同时写入两个 ADC 的读取命令。10 字节响应帧从两个 ADC 中读出寄存器数据。在默认的菊花链配置下，`adc rreg` 命令始终同时从两个 ADC 读取数据，因此无法单独读取单个 ADC 的数据。

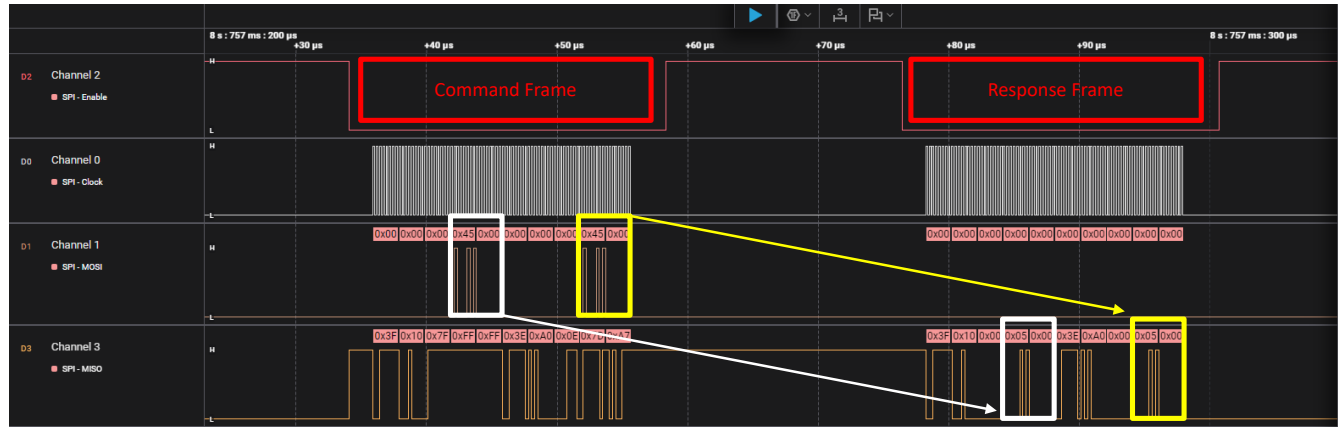


图 6-14. `adc rreg 05` 逻辑分析仪捕获

6.3.2.5 adc stream 示例

使用 `adc stream` 命令将 ADC1 和 ADC2 数据直接流式传输到终端。图 6-15 展示了 `adc stream` 命令的正确终端语法和响应示例。

```
adc stream
adc stream
ret: 0
0x1734cf 0x7feecf
0x173527 0x7feeeae
0x173448 0x7feecb
0x1734a3 0x7feed7
a0x17366b 0x7fef15
0x17348e 0x7feefe
0x17358e 0x7feed4
d0x173499 0x7feef8
0x1734f8 0x7feecc
0x173424 0x7feef3
0x173371 0x7feeea
c0x17353b 0x7feed4
0x17341c 0x7feef7
0x173455 0x7feebe
0x1735a7 0x7feecb
0x17334f 0x7feef2
s0x1734cf 0x7feedb
0x1736e4 0x7feed8
0x17352c 0x7feed7
t0x173497 0x7fef10
0x173545 0x7feeea
r0x173367 0x7feee8
0x1733a2 0x7feeb3
0x17337e 0x7feedf
e0x17364e 0x7feee1
0x1734b1 0x7feee3
a0x173495 0x7feeb2
0x173479 0x7feed3
```

图 6-15. 终端 `adc stream`

图 6-16 展示了 `adc stream` 命令的逻辑分析仪捕获结果示例。



图 6-16. `adc stream` 逻辑分析仪捕获

6.3.2.6 *adc lowpwr* 示例

使用 *adc lowpwr* 命令收集周期性传感器读数，同时最大限度地降低功耗。该固件通过在两次转换之间对 MCU、两个 ADC 以及电桥电源进行循环上下电，从而最大限度地降低功耗。图 6-17 展示了 *adc lowpwr* 命令的时序图，包括一个完整传感器周期内的电桥电源、ADC 电源和 MCU 功耗情况。

**Not drawn to scale

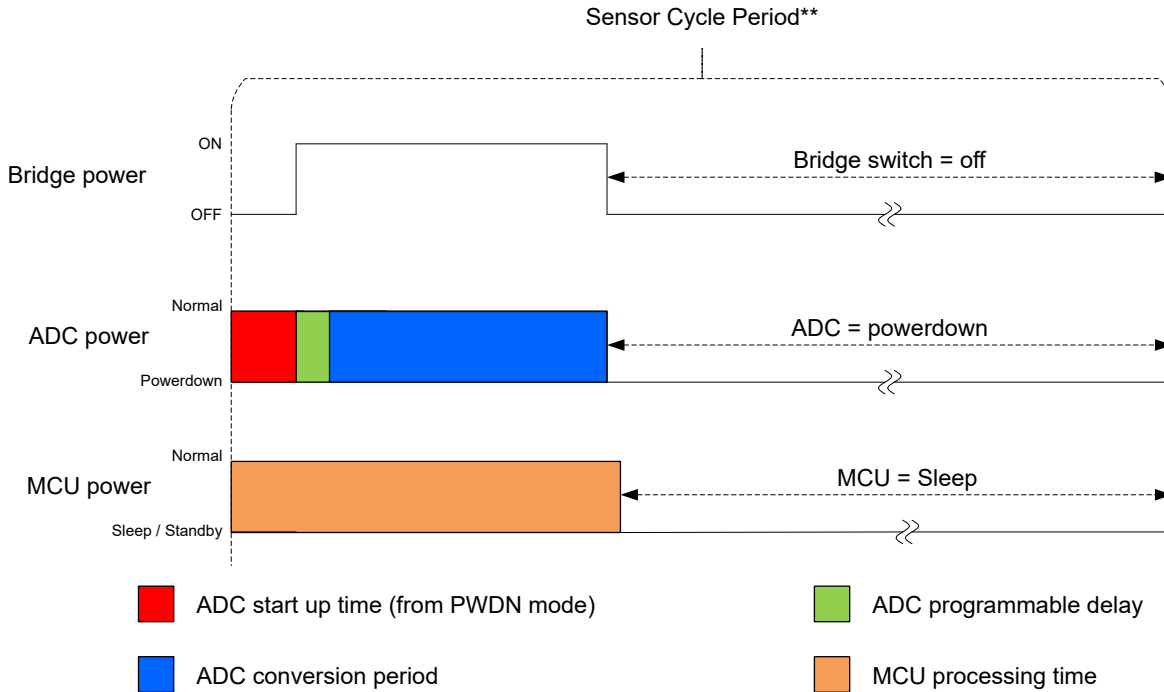


图 6-17. *adc lowpwr* 示例时序图

如图 6-17 所示，系统导通时间实际上是 ADC 启动时间、ADC 延迟和 ADC 转换时间的总和；不过 MCU 保持活跃状态的时间必须稍长一点，以处理接收到的数据并将 ADC 置于断电模式。用户必须确认所选的 ADC 设置所产生的导通时间小于传感器周期。图 6-18 展示了每 1000ms 从 ADC1 和 ADC2 获取一次读数的正确终端语法和响应示例：*adc lowpwr 1000*。

语法：*adc lowpwr [sensor cycle period]*

```
adc lowpwr 1000
adc lowpwr 1000
Mode: 0 | f_MOD: 32000 Hz | OSR: 0x07h | Start up: 10.0 ms | Delay: 0.0000 ms | Conv: 55.33 ms | Duty Cycle: 6.5%
ADC Low power bridge cycling streaming every 1000 ms. Type 'adc lowpwr stop' to halt.

ADC1: 0x7fffff ADC2: 0x7fedf5
ADC1: 0x7fffff ADC2: 0x7fef21
ADC1: 0x7fffff ADC2: 0x7feeld
ADC1: 0x7fffff ADC2: 0x7fef8f
ADC1: 0x7fffff ADC2: 0x7fef67
ADC1: 0x7fffff ADC2: 0x7ff07f
ADC1: 0x7fffff ADC2: 0x7feea9
ADC1: 0x7fffff ADC2: 0x7feedb
ADC1: 0x7fffff ADC2: 0x7fef99
ADC1: 0x7fffff ADC2: 0x7feef
ADC1: 0x7fffff ADC2: 0x7feeb3
ADC1: 0x7fffff ADC2: 0x7fef99
ADC1: 0x7fffff ADC2: 0x7fee4f
ADC1: 0x7fffff ADC2: 0x7feea9
```

图 6-18. *adc lowpwr 1000* 终端输入示例

固件使用用户设置的当前 ADC 设置来推导时序参数并执行 `adc lowpwr` 命令。此命令会显示适用的、用户配置的 ADC 设置以及推导出的时序参数，以供参考。表 6-2 展示了 `adc lowpwr` 命令的输出。

表 6-2. `adc lowpwr` 响应

参数	说明	类型	适用的 ADS122S14 寄存器
模式	当前 ADC 速度模式	用户配置	DEVICE_CFG (0x05h)
f_MOD	MODE 调制器频率	响应	不适用
OSR	OSR 寄存器位	用户配置	DATA_RATE_CFG (0x06h)
启动	从断电模式开始的 ADC 启动时间，请参阅 ADS122S14 数据表“电气特性”表	响应	不适用
延迟	可编程延迟，必要时用于补偿外部模拟电路的稳定时间	用户配置	DATA_RATE_CFG (0x06h)
CONV	总转换时间，包含 DELAY	响应	不适用
占空比	$[(\text{START UP} + \text{CONV}) / \text{传感器周期}]$ 的百分比	响应	不适用

图 6-19 展示了在四秒周期内执行 `adc lowpwr 1000` 命令的逻辑分析仪捕获结果示例。

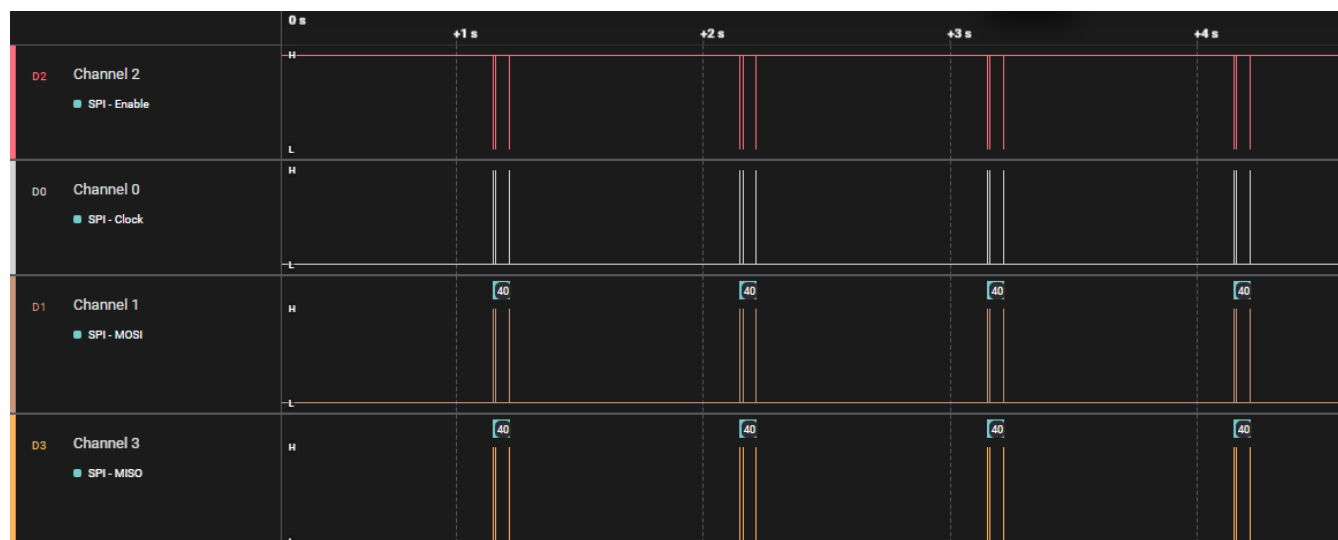


图 6-19. `adc lowpwr 1000` 逻辑分析仪捕获

图 6-20 展示了当 ADC 有效周期超过用户输入传感器周期的 90% 时的终端输出示例。此时，终端会根据当前的 ADC 设置显示允许的最小传感器周期。

```

adc lowpwr 50
adc lowpwr 50
Sensor cycle period too short for settings(min time: 73.19 ms). Please adjust inputs.
ret: 1

```

图 6-20. `adc lowpwr` 传感器周期过短

图 6-21 展示了停止 `adc lowpwr` 流模式的正确语法和响应示例：`adc lowpwr stop`。

语法：`adc lowpwr stop`

```

adc lowpwr stop
Stopping ADC Low power bridge cycling stream...
ADC Low power bridge cycling stream stopped.
ret: 0

```

图 6-21. `adc lowpwr stop` 终端输入示例

图 6-22 展示了在四秒周期内使用 `adc lowpwr 1000` 命令时，SNSR-DUAL-ADC-EVM 的总电源电流变化情况。在占空比的低电平期间，电桥开关被禁用，ADS122S14 ADC 进入断电模式，且 MSPM0 进入睡眠模式。这种电源循环机制将 1000ms 采样周期内的平均电流消耗从 4.5mA 降低至 2.34mA，降幅达 48%。通过减少转换时间、增加传感器周期或将 MCU 置于较低功耗的状态，可以进一步节省平均功耗。

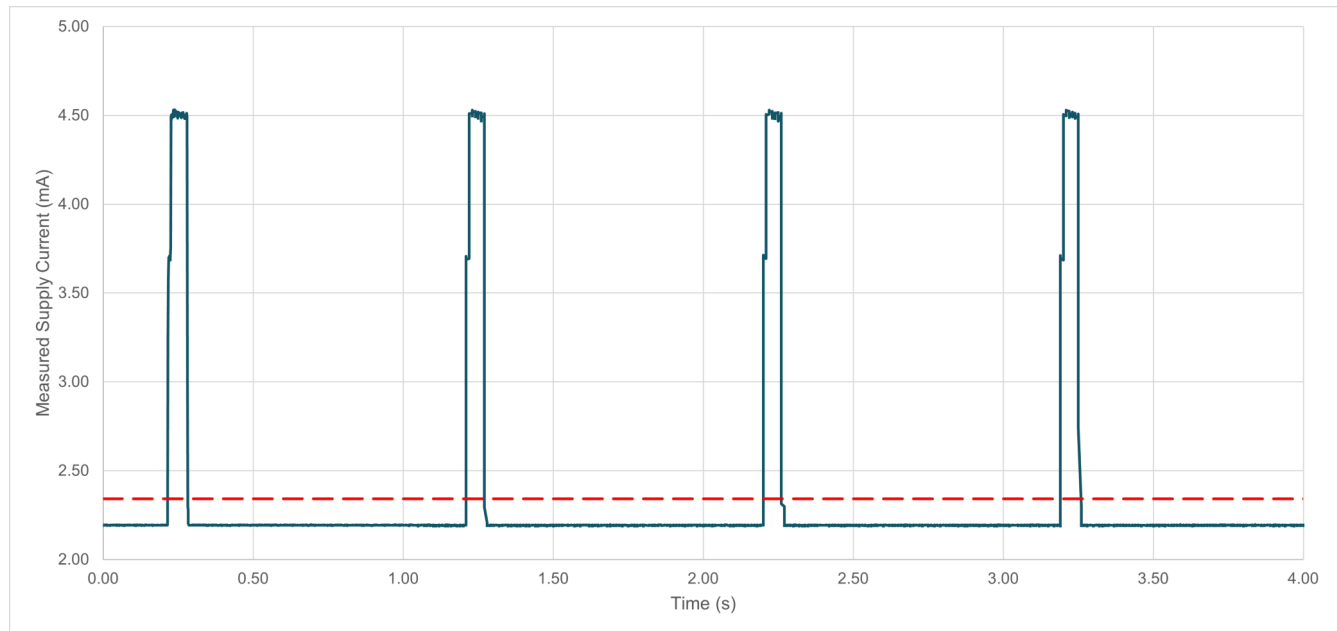


图 6-22. 使用 `adc lowpwr 1000` 命令时 SNSR-DUAL-ADC-EVM 电源电流随时间的变化情况

图 6-23 展示了在 SNSR-DUAL-ADC-EVM 正常运行期间（使用图 6-18 中所示的设置），ADC1、ADC2、1.5k Ω （标称值）惠斯通电桥以及 MSPM0 的电源电流消耗情况的细分。

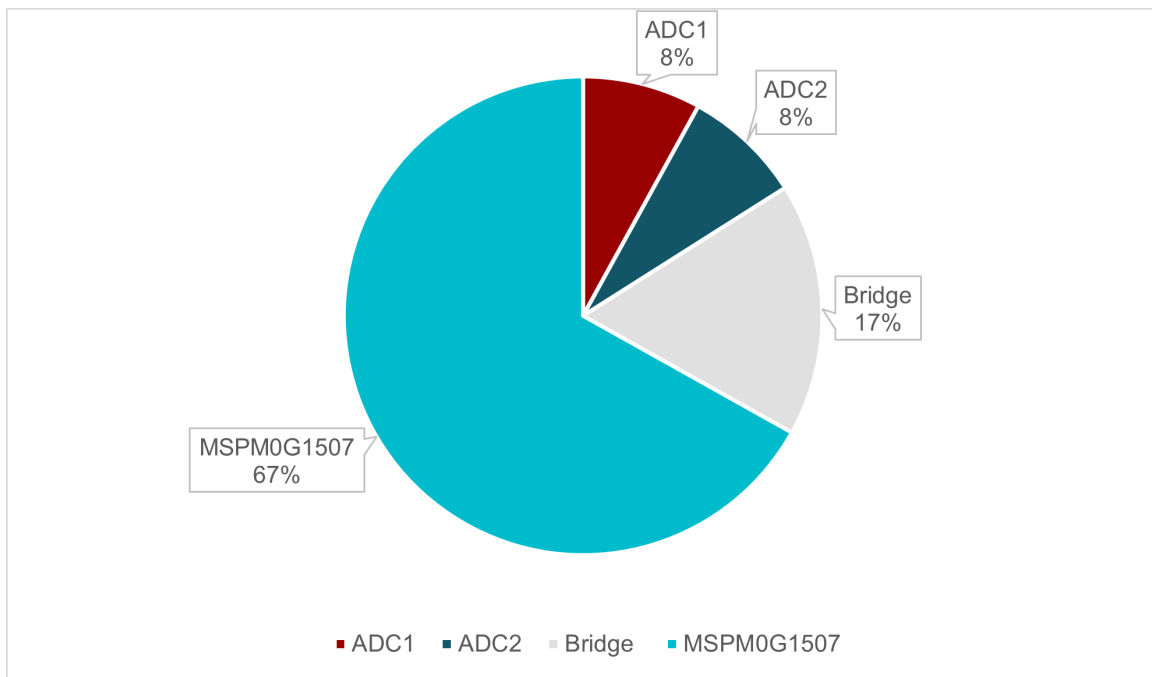


图 6-23. 器件正常运行期间的电源电流

7 硬件设计文件

以下部分包含 SNSR-DUAL-ADC-EVM 板的原理图、印刷电路板 (PCB) 布局和物料清单 (BOM)。

7.1 原理图

图 7-1 到图 7-3 展示了 SNSR-DUAL-ADC-EVM 原理图。

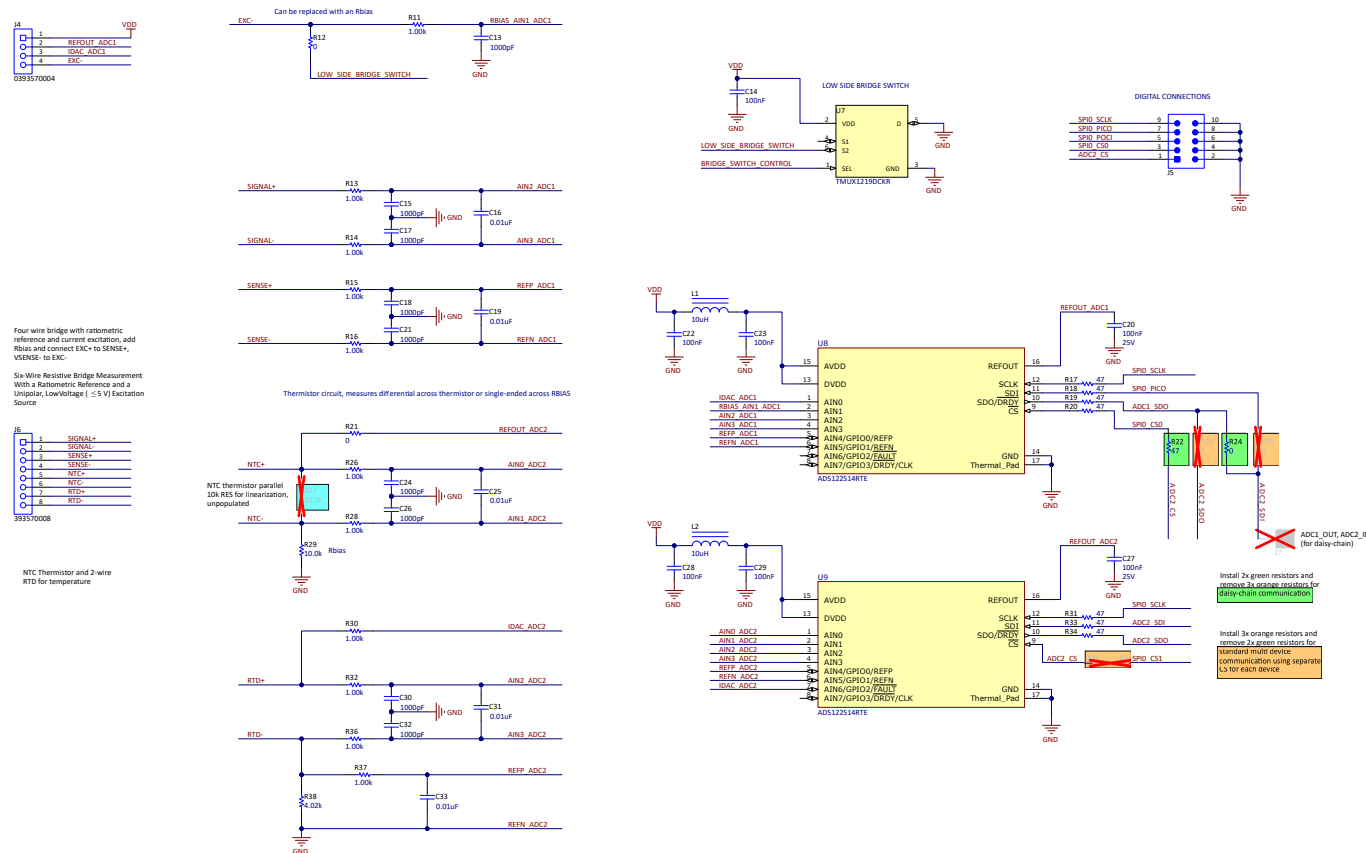


图 7-1. SNSR-DUAL-ADC-EVM 模拟前端



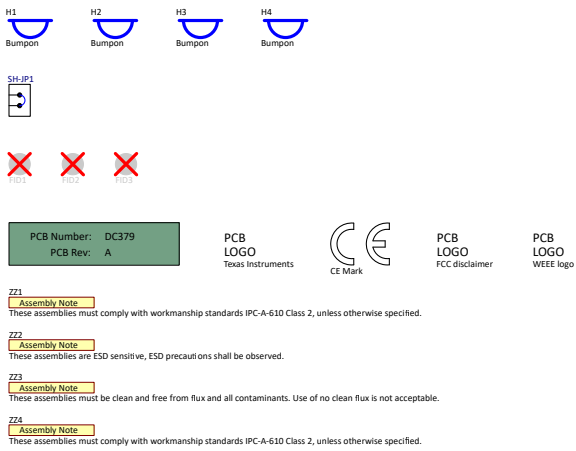


图 7-3. SNSR-DUAL-ADC-EVM 硬件

7.2 PCB 布局

图 7-4 至图 7-7 描绘了 SNSR-DUAL-ADC-EVM PCB 布局。电路板布局未按比例显示。这些图旨在显示电路板的布局。而不适用于制造 EVM PCB。

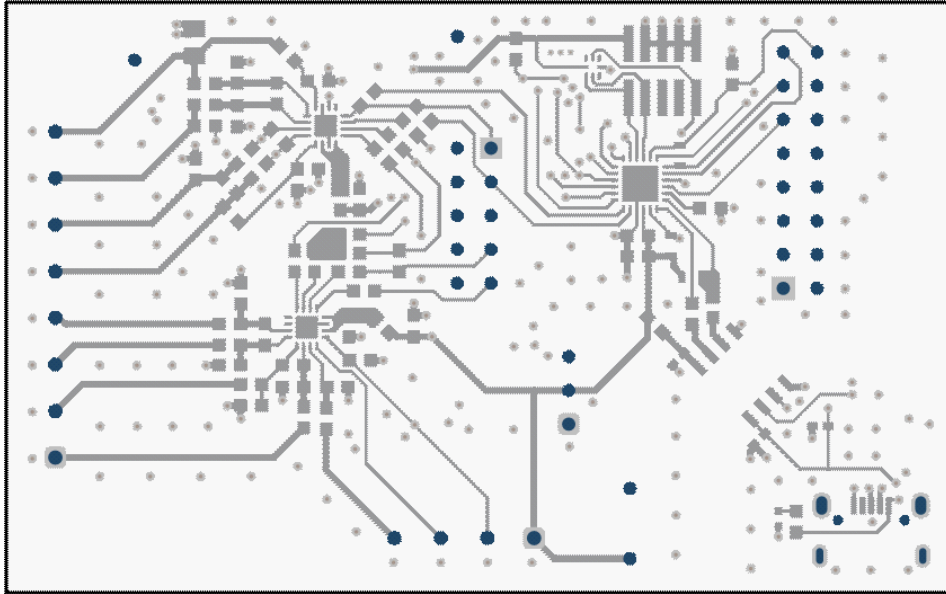


图 7-4. SNSR-DUAL-ADC-EVM PCB 布局 - 顶层

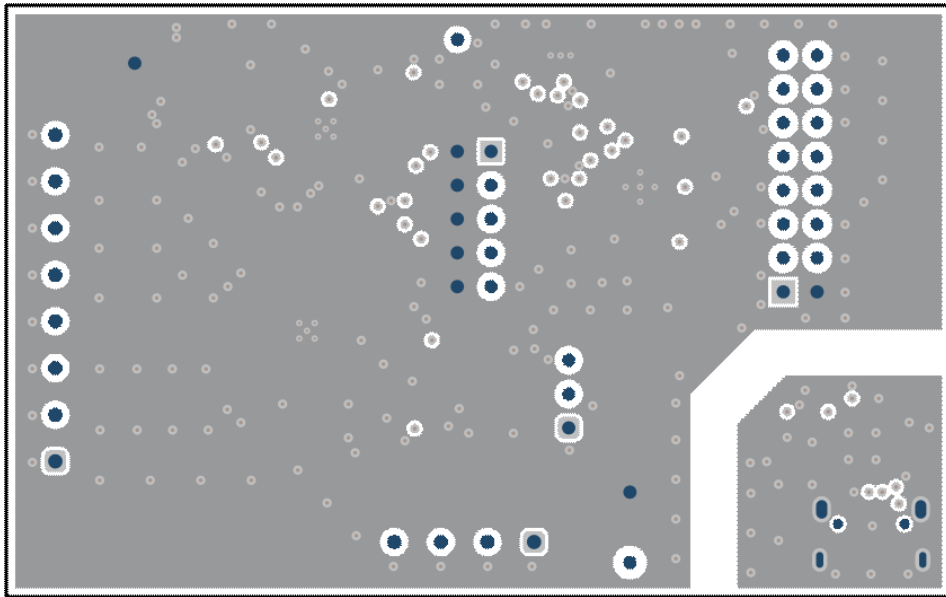


图 7-5. SNSR-DUAL-ADC-EVM PCB 布局 - 接地层 (第 1 层)

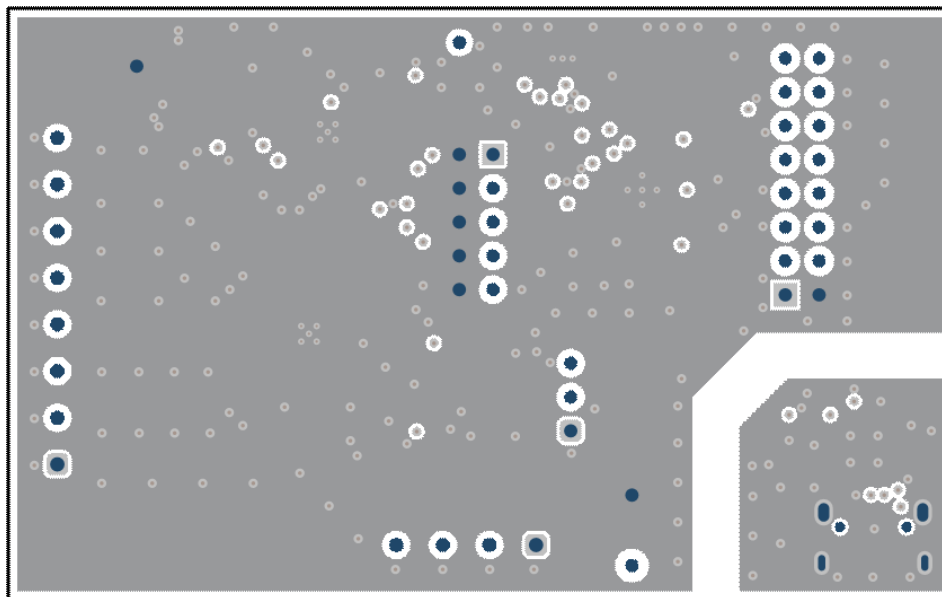


图 7-6. SNSR-DUAL-ADC-EVM PCB 布局 - 接地层 (第 2 层)

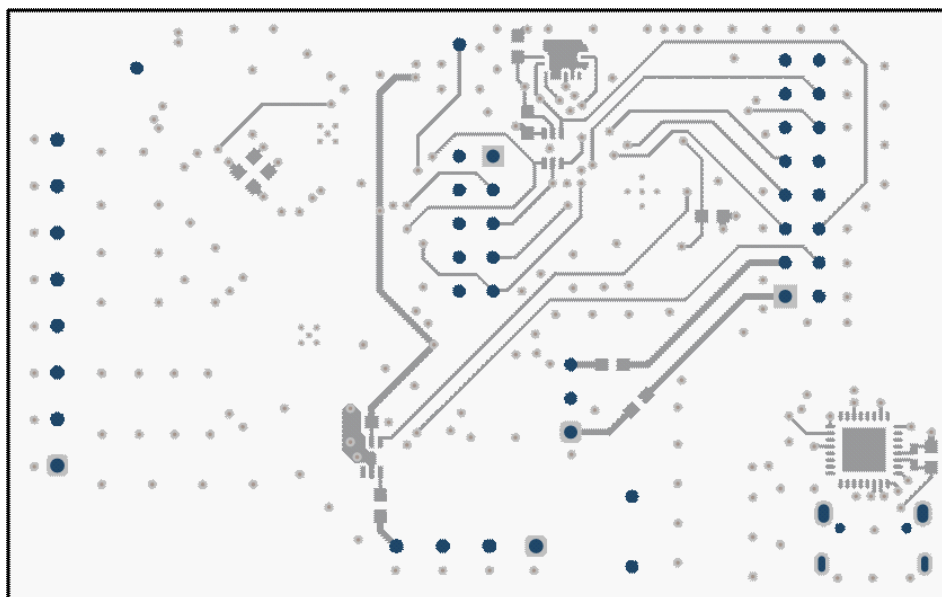


图 7-7. SNSR-DUAL-ADC-EVM PCB 布局 - 底层

7.3 物料清单

表 7-1 列出了 SNSR-DUAL-ADC-EVM 的物料清单 (BOM)。

表 7-1. 物料清单

位号	数量	值	说明	封装参考	器件型号	制造商
!PCB1	1		印刷电路板		DC379	不限
C1、C2、C3、C4	4	0.1uF	电容, 陶瓷, 0.1uF, 16V, +/-20%, X5R, 0402	402	8.85E+11	Wurth Elektronik
C5、C7	2	10μF	电容, 陶瓷, 10uF, 10V, +/-20%, X7R, 0603	603	GRM188Z71A106MA73D	MuRata
C6、C11、C12、C14、C20、C22、C23、C27、C28、C29	10	0.1uF	电容, 陶瓷, 0.1μF, 25V, +/-10%, X7R, 0603	603	C0603C104K3RACTU	Kemet
C8	1	0.47μF	电容, 陶瓷, 0.47uF, 25V, +/-10%, X7R, AEC-Q200 1 级, 0603	603	GCM188R71E474KA64D	MuRata
C13、C15、C17、C18、C21、C24、C26、C30、C32	9	1000pF	电容, 陶瓷, 1000pF, 50V, +/-5%, C0G/NP0, 0603	603	GRM1885C1H102JA01D	MuRata
C16、C19、C25、C31、C33	5	0.01uF	电容, 陶瓷, 0.01uF, 50V, +/-5%, C0G/NP0, 0603	603	GRM1885C1H103JA01D	MuRata
D1	1	绿色	LED, 绿色, SMD	1x0.5mm	150040GS73240	Wurth Elektronik
H1、H2、H3、H4	4		缓冲垫, 圆柱形, 0.312 × 0.200, 黑色	黑色缓冲垫	SJ61A1	3M
J1	1		USB - micro B USB 2.0 插座连接器 5 位置表面贴装, 直角; 穿孔	CONN_USB_8MM0_6MM6	6.29E+11	Wurth Electronics
J2	1		插座, 100mil, 8x2, 金, R/A, TH	SSQ-108-02G-D-RA	SSQ-108-02G-D-RA	Samtec
J3	1		接头 (有罩), 1.27mm, 5x2, 金, SMT	接头 (有罩), 1.27mm, 5x2, SMT	FTSH-105-01L-DV-K	Samtec
J4	1		端子块, 3.5mm, 4x1, 锡, TH	端子块, 3.5mm, 4x1, TH	3.94E+08	Molex
J5	1		接头, 100mil, 5x2, 金, TH	5x2 接头	TSW-105-07G-D	Samtec
J6	1		端子块, 3.5mm, 8x1, 锡, TH	端子块, 3.5mm, 8x1, TH	3.94E+08	Molex
JP1	1		接头, 100mil, 3x1, 金, TH	3x1 接头	TSW-103-07G-S	Samtec
L1、L2	2	10uH	电感, 多层, 铁氧体, 10μH, 0.3A, 0.6Ω, SMD	603	MLZ1608N100LT000	TDK
R1、R2、R3、R4、R6、R10、R12、R21、R24	9	0	电阻, 0, 5%, 0.1W, 0603	603	RC0603JR-070RL	Yageo
R5、R8	2	100k	电阻, 100k, 5%, 0.1W, 0603	603	CRCW0603100KJNEAC	Vishay-Dale

表 7-1. 物料清单 (续)

位号	数量	值	说明	封装参考	器件型号	制造商
R7	1	8.2k	电阻, 8.2k, 5%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	603	CRCW06038K20JNEA	Vishay-Dale
R11、R13、R14、R15、R16、R26、R28、R30、R32、R36、R37	11	1.00k	电阻, 1.00k, 0.1%, 0.1W, 0603	603	RG1608P-102B-T5	Susumu Co Ltd
R17、R18、R19、R20、R22、R31、R33、R34	8	47	电阻, 47, 5%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	603	CRCW060347R0JNEA	Vishay-Dale
R29	1	10.0k	电阻, 10.0k, 1%, 0.1W, 0603	603	RC0603FR-0710KL	Yageo
R38	1	4.02k	电阻, 4.02k, 0.1%, 0.125W, 0805	805	RT0805BRD074K02L	Yageo America
SH-JP1	1	1x2	分流器, 100mil, 镀金, 黑色	顶部闭合 100mil 分流器	SPC02SYAN	Sullins Connector Solutions
TP1、TP2、TP3	3		测试点, 微型, 白色, TH	白色微型测试点	5002	Keystone
U1	1		USB 桥接器、USB 转 UART USB 2.0 UART 接口 32-QFN (5x5)	QFN32	FT232RNQ-REEL	FTDI
U2	1		EMC 性能优异的高速、增强型双通道数字隔离器, D0008B (SOIC-8)	D0008B	ISO7021D	德州仪器 (TI)
U3	1		混合信号微控制器, VQFN24	VQFN24	MSPM0G1507SRGE	德州仪器 (TI)
U4	1		具有逻辑电平转换器的汽车级、1.65V 至 5V、并联负载八通道移位寄存器, 16-WQFN -40°C 至 125°C	WQFN16	CLV8T165QWBQBRQ1	德州仪器 (TI)
U5	1		用于高速数据接口的低电容、6 通道 +/-15kV ESD 保护阵列, RSE0008A (UQFN-8)	RSE0008A	TPD6E004RSER	德州仪器 (TI)
U8、U9	2		具有 SPI、PGA 和电压基准的低功耗、24 位、8 通道、64kSPS、 $\Delta-\Sigma$ ADC	WQFN16	ADS122S14RTE	德州仪器 (TI)
C9	0	0.1uF	电容, 陶瓷, 0.1uF, 25V, +/-10%, X7R, 0603	603	C0603C104K3RACTU	Kemet
C10	0	1uF	电容, 陶瓷, 1uF, 25V, +/-10%, X7R, AEC-Q200 1 级, 0603	603	CGA3E1X7R1E105K080AC	TDK
FID1、FID2、FID3	0		基准标记。没有需要购买或安装的元件。	不适用	不适用	不适用
J7	0		接头, 100mil, 1x1, 金, TH	接头, 1x1, 2.54mm, TH	HTSW-101-09G-S	Samtec
R9、R23、R25	0	0	电阻, 0, 5%, 0.1W, 0603	603	RC0603JR-070RL	Yageo
R27	0	10.0k	电阻, 10.0k, 1%, 0.1W, 0603	603	RC0603FR-0710KL	Yageo

表 7-1. 物料清单 (续)

位号	数量	值	说明	封装参考	器件型号	制造商
R35	0	47	电阻, 47, 5%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	603	CRCW060347R0JNEA	Vishay-Dale

8 合规信息

合规性和认证

REACH、RoHS、CE、ANSI、IEC、UL、ISO 等

9 参考资料

表 9-1 展示了德州仪器 (TI) 的相关文档。

表 9-1. 相关文档

文档	文献编号
ADS122S14 产品数据表	SBASAI9
MSPM0G1507 产品数据表	SLASEW9E

STANDARD TERMS FOR EVALUATION MODULES

1. *Delivery:* TI delivers TI evaluation boards, kits, or modules, including any accompanying demonstration software, components, and/or documentation which may be provided together or separately (collectively, an "EVM" or "EVMs") to the User ("User") in accordance with the terms set forth herein. User's acceptance of the EVM is expressly subject to the following terms.
 - 1.1 EVMs are intended solely for product or software developers for use in a research and development setting to facilitate feasibility evaluation, experimentation, or scientific analysis of TI semiconductors products. EVMs have no direct function and are not finished products. EVMs shall not be directly or indirectly assembled as a part or subassembly in any finished product. For clarification, any software or software tools provided with the EVM ("Software") shall not be subject to the terms and conditions set forth herein but rather shall be subject to the applicable terms that accompany such Software
 - 1.2 EVMs are not intended for consumer or household use. EVMs may not be sold, sublicensed, leased, rented, loaned, assigned, or otherwise distributed for commercial purposes by Users, in whole or in part, or used in any finished product or production system.
2. *Limited Warranty and Related Remedies/Disclaimers:*
 - 2.1 These terms do not apply to Software. The warranty, if any, for Software is covered in the applicable Software License Agreement.
 - 2.2 TI warrants that the TI EVM will conform to TI's published specifications for ninety (90) days after the date TI delivers such EVM to User. Notwithstanding the foregoing, TI shall not be liable for a nonconforming EVM if (a) the nonconformity was caused by neglect, misuse or mistreatment by an entity other than TI, including improper installation or testing, or for any EVMs that have been altered or modified in any way by an entity other than TI, (b) the nonconformity resulted from User's design, specifications or instructions for such EVMs or improper system design, or (c) User has not paid on time. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary. TI does not test all parameters of each EVM. User's claims against TI under this Section 2 are void if User fails to notify TI of any apparent defects in the EVMs within ten (10) business days after delivery, or of any hidden defects with ten (10) business days after the defect has been detected.
 - 2.3 TI's sole liability shall be at its option to repair or replace EVMs that fail to conform to the warranty set forth above, or credit User's account for such EVM. TI's liability under this warranty shall be limited to EVMs that are returned during the warranty period to the address designated by TI and that are determined by TI not to conform to such warranty. If TI elects to repair or replace such EVM, TI shall have a reasonable time to repair such EVM or provide replacements. Repaired EVMs shall be warranted for the remainder of the original warranty period. Replaced EVMs shall be warranted for a new full ninety (90) day warranty period.

WARNING

Evaluation Kits are intended solely for use by technically qualified, professional electronics experts who are familiar with the dangers and application risks associated with handling electrical mechanical components, systems, and subsystems.

User shall operate the Evaluation Kit within TI's recommended guidelines and any applicable legal or environmental requirements as well as reasonable and customary safeguards. Failure to set up and/or operate the Evaluation Kit within TI's recommended guidelines may result in personal injury or death or property damage. Proper set up entails following TI's instructions for electrical ratings of interface circuits such as input, output and electrical loads.

NOTE:

EXPOSURE TO ELECTROSTATIC DISCHARGE (ESD) MAY CAUSE DEGRADATION OR FAILURE OF THE EVALUATION KIT; TI RECOMMENDS STORAGE OF THE EVALUATION KIT IN A PROTECTIVE ESD BAG.

3 Regulatory Notices:

3.1 United States

3.1.1 Notice applicable to EVMs not FCC-Approved:

FCC NOTICE: This kit is designed to allow product developers to evaluate electronic components, circuitry, or software associated with the kit to determine whether to incorporate such items in a finished product and software developers to write software applications for use with the end product. This kit is not a finished product and when assembled may not be resold or otherwise marketed unless all required FCC equipment authorizations are first obtained. Operation is subject to the condition that this product not cause harmful interference to licensed radio stations and that this product accept harmful interference. Unless the assembled kit is designed to operate under part 15, part 18 or part 95 of this chapter, the operator of the kit must operate under the authority of an FCC license holder or must secure an experimental authorization under part 5 of this chapter.

3.1.2 For EVMs annotated as FCC – FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION Part 15 Compliant:

CAUTION

This device complies with part 15 of the FCC Rules. Operation is subject to the following two conditions: (1) This device may not cause harmful interference, and (2) this device must accept any interference received, including interference that may cause undesired operation.

Changes or modifications not expressly approved by the party responsible for compliance could void the user's authority to operate the equipment.

FCC Interference Statement for Class A EVM devices

NOTE: This equipment has been tested and found to comply with the limits for a Class A digital device, pursuant to part 15 of the FCC Rules. These limits are designed to provide reasonable protection against harmful interference when the equipment is operated in a commercial environment. This equipment generates, uses, and can radiate radio frequency energy and, if not installed and used in accordance with the instructions, may cause harmful interference to radio communications. Operation of this equipment in a residential area is likely to cause harmful interference in which case the user will be required to correct the interference at his own expense.

FCC Interference Statement for Class B EVM devices

NOTE: This equipment has been tested and found to comply with the limits for a Class B digital device, pursuant to part 15 of the FCC Rules. These limits are designed to provide reasonable protection against harmful interference in a residential installation. This equipment generates, uses and can radiate radio frequency energy and, if not installed and used in accordance with the instructions, may cause harmful interference to radio communications. However, there is no guarantee that interference will not occur in a particular installation. If this equipment does cause harmful interference to radio or television reception, which can be determined by turning the equipment off and on, the user is encouraged to try to correct the interference by one or more of the following measures:

- *Reorient or relocate the receiving antenna.*
- *Increase the separation between the equipment and receiver.*
- *Connect the equipment into an outlet on a circuit different from that to which the receiver is connected.*
- *Consult the dealer or an experienced radio/TV technician for help.*

3.2 Canada

3.2.1 For EVMs issued with an Industry Canada Certificate of Conformance to RSS-210 or RSS-247

Concerning EVMs Including Radio Transmitters:

This device complies with Industry Canada license-exempt RSSs. Operation is subject to the following two conditions:

(1) this device may not cause interference, and (2) this device must accept any interference, including interference that may cause undesired operation of the device.

Concernant les EVMs avec appareils radio:

Le présent appareil est conforme aux CNR d'Industrie Canada applicables aux appareils radio exempts de licence. L'exploitation est autorisée aux deux conditions suivantes: (1) l'appareil ne doit pas produire de brouillage, et (2) l'utilisateur de l'appareil doit accepter tout brouillage radioélectrique subi, même si le brouillage est susceptible d'en compromettre le fonctionnement.

Concerning EVMs Including Detachable Antennas:

Under Industry Canada regulations, this radio transmitter may only operate using an antenna of a type and maximum (or lesser) gain approved for the transmitter by Industry Canada. To reduce potential radio interference to other users, the antenna type and its gain should be so chosen that the equivalent isotropically radiated power (e.i.r.p.) is not more than that necessary for successful communication. This radio transmitter has been approved by Industry Canada to operate with the antenna types listed in the user guide with the maximum permissible gain and required antenna impedance for each antenna type indicated. Antenna types not included in this list, having a gain greater than the maximum gain indicated for that type, are strictly prohibited for use with this device.

Concernant les EVMs avec antennes détachables

Conformément à la réglementation d'Industrie Canada, le présent émetteur radio peut fonctionner avec une antenne d'un type et d'un gain maximal (ou inférieur) approuvé pour l'émetteur par Industrie Canada. Dans le but de réduire les risques de brouillage radioélectrique à l'intention des autres utilisateurs, il faut choisir le type d'antenne et son gain de sorte que la puissance isotrope rayonnée équivalente (p.i.r.e.) ne dépasse pas l'intensité nécessaire à l'établissement d'une communication satisfaisante. Le présent émetteur radio a été approuvé par Industrie Canada pour fonctionner avec les types d'antenne énumérés dans le manuel d'usage et ayant un gain admissible maximal et l'impédance requise pour chaque type d'antenne. Les types d'antenne non inclus dans cette liste, ou dont le gain est supérieur au gain maximal indiqué, sont strictement interdits pour l'exploitation de l'émetteur.

3.3 Japan

3.3.1 *Notice for EVMs delivered in Japan:* Please see http://www.tij.co.jp/sds/ti_ja/general/eStore/notice_01.page 日本国内に輸入される評価用キット、ボードについては、次のところをご覧ください。

<https://www.ti.com/ja-jp/legal/notice-for-evaluation-kits-delivered-in-japan.html>

3.3.2 *Notice for Users of EVMs Considered "Radio Frequency Products" in Japan:* EVMs entering Japan may not be certified by TI as conforming to Technical Regulations of Radio Law of Japan.

If User uses EVMs in Japan, not certified to Technical Regulations of Radio Law of Japan, User is required to follow the instructions set forth by Radio Law of Japan, which includes, but is not limited to, the instructions below with respect to EVMs (which for the avoidance of doubt are stated strictly for convenience and should be verified by User):

1. Use EVMs in a shielded room or any other test facility as defined in the notification #173 issued by Ministry of Internal Affairs and Communications on March 28, 2006, based on Sub-section 1.1 of Article 6 of the Ministry's Rule for Enforcement of Radio Law of Japan,
2. Use EVMs only after User obtains the license of Test Radio Station as provided in Radio Law of Japan with respect to EVMs, or
3. Use of EVMs only after User obtains the Technical Regulations Conformity Certification as provided in Radio Law of Japan with respect to EVMs. Also, do not transfer EVMs, unless User gives the same notice above to the transferee. Please note that if User does not follow the instructions above, User will be subject to penalties of Radio Law of Japan.

【無線電波を送信する製品の開発キットをお使いになる際の注意事項】 開発キットの中には技術基準適合証明を受けていないものがあります。技術適合証明を受けていないもののご使用に際しては、電波法遵守のため、以下のいずれかの措置を取っていただく必要がありますのでご注意ください。

1. 電波法施行規則第6条第1項第1号に基づく平成18年3月28日総務省告示第173号で定められた電波暗室等の試験設備でご使用いただく。
2. 実験局の免許を取得後ご使用いただく。
3. 技術基準適合証明を取得後ご使用いただく。

なお、本製品は、上記の「ご使用にあたっての注意」を譲渡先、移転先に通知しない限り、譲渡、移転できないものとします。

上記を遵守頂けない場合は、電波法の罰則が適用される可能性があることをご留意ください。 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社
東京都新宿区西新宿 6 丁目 2 4 番 1 号
西新宿三井ビル

3.3.3 *Notice for EVMs for Power Line Communication:* Please see http://www.tij.co.jp/sds/ti_ja/general/eStore/notice_02.page

電力線搬送波通信についての開発キットをお使いになる際の注意事項については、次のところをご覧ください。<https://www.ti.com/ja-jp/legal/notice-for-evaluation-kits-for-power-line-communication.html>

3.4 European Union

3.4.1 *For EVMs subject to EU Directive 2014/30/EU (Electromagnetic Compatibility Directive):*

This is a class A product intended for use in environments other than domestic environments that are connected to a low-voltage power-supply network that supplies buildings used for domestic purposes. In a domestic environment this product may cause radio interference in which case the user may be required to take adequate measures.

4 EVM Use Restrictions and Warnings:

4.1 EVMS ARE NOT FOR USE IN FUNCTIONAL SAFETY AND/OR SAFETY CRITICAL EVALUATIONS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO EVALUATIONS OF LIFE SUPPORT APPLICATIONS.

4.2 User must read and apply the user guide and other available documentation provided by TI regarding the EVM prior to handling or using the EVM, including without limitation any warning or restriction notices. The notices contain important safety information related to, for example, temperatures and voltages.

4.3 Safety-Related Warnings and Restrictions:

4.3.1 User shall operate the EVM within TI's recommended specifications and environmental considerations stated in the user guide, other available documentation provided by TI, and any other applicable requirements and employ reasonable and customary safeguards. Exceeding the specified performance ratings and specifications (including but not limited to input and output voltage, current, power, and environmental ranges) for the EVM may cause personal injury or death, or property damage. If there are questions concerning performance ratings and specifications, User should contact a TI field representative prior to connecting interface electronics including input power and intended loads. Any loads applied outside of the specified output range may also result in unintended and/or inaccurate operation and/or possible permanent damage to the EVM and/or interface electronics. Please consult the EVM user guide prior to connecting any load to the EVM output. If there is uncertainty as to the load specification, please contact a TI field representative. During normal operation, even with the inputs and outputs kept within the specified allowable ranges, some circuit components may have elevated case temperatures. These components include but are not limited to linear regulators, switching transistors, pass transistors, current sense resistors, and heat sinks, which can be identified using the information in the associated documentation. When working with the EVM, please be aware that the EVM may become very warm.

4.3.2 EVMs are intended solely for use by technically qualified, professional electronics experts who are familiar with the dangers and application risks associated with handling electrical mechanical components, systems, and subsystems. User assumes all responsibility and liability for proper and safe handling and use of the EVM by User or its employees, affiliates, contractors or designees. User assumes all responsibility and liability to ensure that any interfaces (electronic and/or mechanical) between the EVM and any human body are designed with suitable isolation and means to safely limit accessible leakage currents to minimize the risk of electrical shock hazard. User assumes all responsibility and liability for any improper or unsafe handling or use of the EVM by User or its employees, affiliates, contractors or designees.

4.4 User assumes all responsibility and liability to determine whether the EVM is subject to any applicable international, federal, state, or local laws and regulations related to User's handling and use of the EVM and, if applicable, User assumes all responsibility and liability for compliance in all respects with such laws and regulations. User assumes all responsibility and liability for proper disposal and recycling of the EVM consistent with all applicable international, federal, state, and local requirements.

5. *Accuracy of Information:* To the extent TI provides information on the availability and function of EVMs, TI attempts to be as accurate as possible. However, TI does not warrant the accuracy of EVM descriptions, EVM availability or other information on its websites as accurate, complete, reliable, current, or error-free.

6. Disclaimers:

6.1 EXCEPT AS SET FORTH ABOVE, EVMS AND ANY MATERIALS PROVIDED WITH THE EVM (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, REFERENCE DESIGNS AND THE DESIGN OF THE EVM ITSELF) ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS." TI DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING SUCH ITEMS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ANY EPIDEMIC FAILURE WARRANTY OR IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF ANY THIRD PARTY PATENTS, COPYRIGHTS, TRADE SECRETS OR OTHER INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

6.2 EXCEPT FOR THE LIMITED RIGHT TO USE THE EVM SET FORTH HEREIN, NOTHING IN THESE TERMS SHALL BE CONSTRUED AS GRANTING OR CONFERRING ANY RIGHTS BY LICENSE, PATENT, OR ANY OTHER INDUSTRIAL OR INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT OF TI, ITS SUPPLIERS/LICENSORS OR ANY OTHER THIRD PARTY, TO USE THE EVM IN ANY FINISHED END-USER OR READY-TO-USE FINAL PRODUCT, OR FOR ANY INVENTION, DISCOVERY OR IMPROVEMENT, REGARDLESS OF WHEN MADE, CONCEIVED OR ACQUIRED.

7. *USER'S INDEMNITY OBLIGATIONS AND REPRESENTATIONS.* USER WILL DEFEND, INDEMNIFY AND HOLD TI, ITS LICENSORS AND THEIR REPRESENTATIVES HARMLESS FROM AND AGAINST ANY AND ALL CLAIMS, DAMAGES, LOSSES, EXPENSES, COSTS AND LIABILITIES (COLLECTIVELY, "CLAIMS") ARISING OUT OF OR IN CONNECTION WITH ANY HANDLING OR USE OF THE EVM THAT IS NOT IN ACCORDANCE WITH THESE TERMS. THIS OBLIGATION SHALL APPLY WHETHER CLAIMS ARISE UNDER STATUTE, REGULATION, OR THE LAW OF TORT, CONTRACT OR ANY OTHER LEGAL THEORY, AND EVEN IF THE EVM FAILS TO PERFORM AS DESCRIBED OR EXPECTED.

8. *Limitations on Damages and Liability:*

8.1 *General Limitations.* IN NO EVENT SHALL TI BE LIABLE FOR ANY SPECIAL, COLLATERAL, INDIRECT, PUNITIVE, INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL, OR EXEMPLARY DAMAGES IN CONNECTION WITH OR ARISING OUT OF THESE TERMS OR THE USE OF THE EVMS , REGARDLESS OF WHETHER TI HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES. EXCLUDED DAMAGES INCLUDE, BUT ARE NOT LIMITED TO, COST OF REMOVAL OR REINSTALLATION, ANCILLARY COSTS TO THE PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES, RETESTING, OUTSIDE COMPUTER TIME, LABOR COSTS, LOSS OF GOODWILL, LOSS OF PROFITS, LOSS OF SAVINGS, LOSS OF USE, LOSS OF DATA, OR BUSINESS INTERRUPTION. NO CLAIM, SUIT OR ACTION SHALL BE BROUGHT AGAINST TI MORE THAN TWELVE (12) MONTHS AFTER THE EVENT THAT GAVE RISE TO THE CAUSE OF ACTION HAS OCCURRED.

8.2 *Specific Limitations.* IN NO EVENT SHALL TI'S AGGREGATE LIABILITY FROM ANY USE OF AN EVM PROVIDED HEREUNDER, INCLUDING FROM ANY WARRANTY, INDEMNITY OR OTHER OBLIGATION ARISING OUT OF OR IN CONNECTION WITH THESE TERMS, , EXCEED THE TOTAL AMOUNT PAID TO TI BY USER FOR THE PARTICULAR EVM(S) AT ISSUE DURING THE PRIOR TWELVE (12) MONTHS WITH RESPECT TO WHICH LOSSES OR DAMAGES ARE CLAIMED. THE EXISTENCE OF MORE THAN ONE CLAIM SHALL NOT ENLARGE OR EXTEND THIS LIMIT.

9. *Return Policy.* Except as otherwise provided, TI does not offer any refunds, returns, or exchanges. Furthermore, no return of EVM(s) will be accepted if the package has been opened and no return of the EVM(s) will be accepted if they are damaged or otherwise not in a resalable condition. If User feels it has been incorrectly charged for the EVM(s) it ordered or that delivery violates the applicable order, User should contact TI. All refunds will be made in full within thirty (30) working days from the return of the components(s), excluding any postage or packaging costs.
10. *Governing Law:* These terms and conditions shall be governed by and interpreted in accordance with the laws of the State of Texas, without reference to conflict-of-laws principles. User agrees that non-exclusive jurisdiction for any dispute arising out of or relating to these terms and conditions lies within courts located in the State of Texas and consents to venue in Dallas County, Texas. Notwithstanding the foregoing, any judgment may be enforced in any United States or foreign court, and TI may seek injunctive relief in any United States or foreign court.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2023, Texas Instruments Incorporated

重要通知和免责声明

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、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月