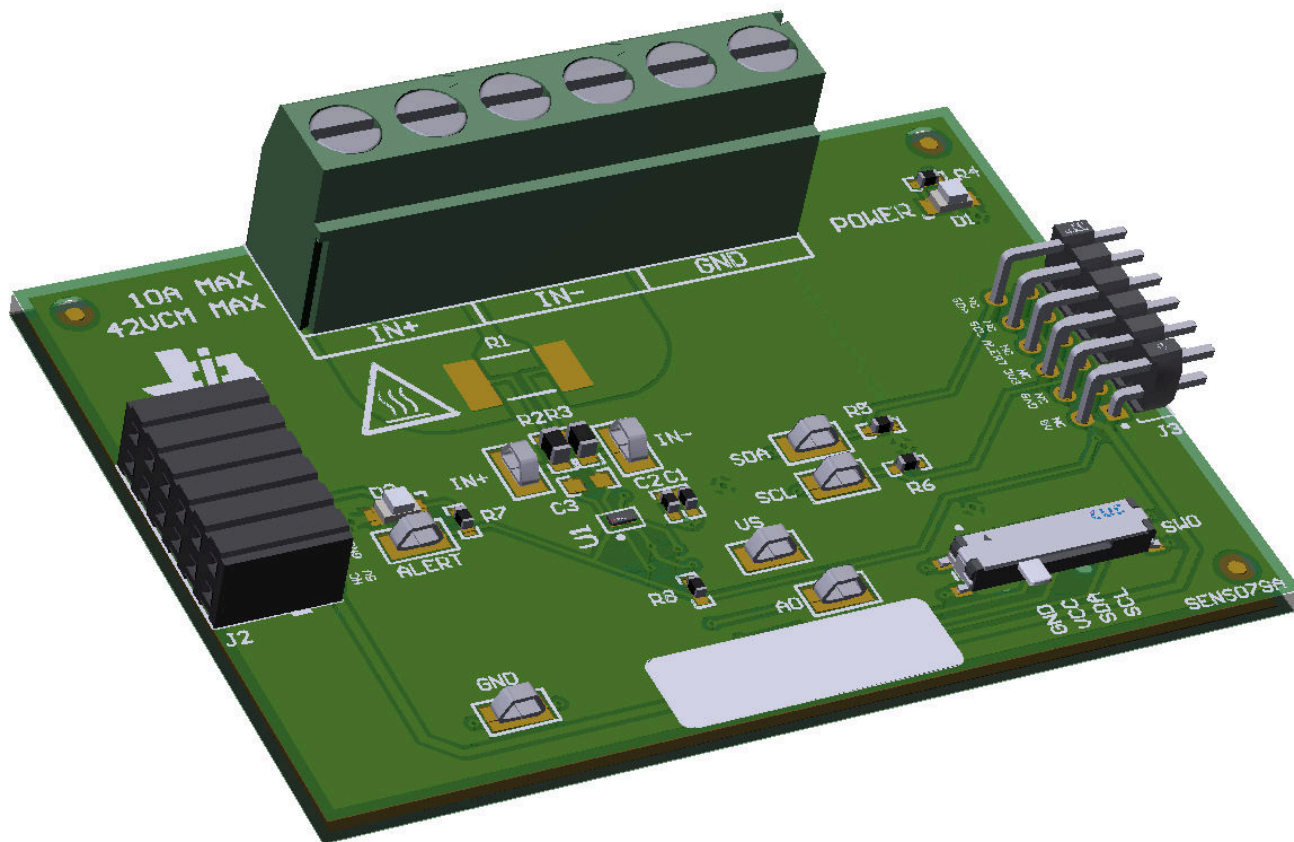


INA232EVM、INA234EVM 和 INA236EVM



摘要

本用户指南介绍了 INA232、INA234 和 INA236 评估模块 (EVM) 的特性、运行和使用情况。这些 EVM 用于评估 INA232、INA234 和 INA236 的性能。本文档中的评估板、评估模块和 EVM 等术语指的是 INA232EVM、INA234EVM 和 INA236EVM。本文档包括原理图、参考印刷电路板 (PCB) 布局和完整的物料清单 (BOM)。



内容

1 商标	2
2 概述	3
2.1 套件内容.....	3
2.2 德州仪器 (TI) 提供的相关文档.....	4
3 硬件	4
3.1 特性.....	4
4 操作	5
4.1 快速启动设置.....	5
4.2 EVM 操作.....	5
5 电路	19
5.1 电流检测 IC.....	19
5.2 输入信号路径.....	19
5.3 数字电路.....	19
6 原理图、PCB 布局和物料清单	20
6.1 原理图.....	20
6.2 PCB 布局.....	23
6.3 物料清单.....	25
7 修订历史记录	28

1 商标

Chrome™ is a trademark of Google LLC.

Firefox™ is a trademark of Mozilla Foundation.

所有商标均为其各自所有者的财产。

2 概述

INA23x 器件是数字功率监控器，具有专为电流检测应用而设计的集成式 16 位 (INA232、INA236) 和 12 位 (INA234) Δ - Σ ADC。这些器件可测量分流器上的 $\pm 81.92\text{mV}$ 或 $\pm 20.48\text{mV}$ 可选满量程差分输入，支持的共模电压范围为 -0.3V 至 $+48\text{V}$ (INA234 的范围为 -0.3V 至 $+28\text{V}$)。如果对校准寄存器进行编程，内置的数字累积功能将计算平均功率和电流。INA23x 器件还具有内置的诊断功能，通过数字输出引脚 ALERT 指示系统的运行状况。输出可使用标准 I2C 接口连接到众多微控制器 (MCU)。

表 2-1. 器件概要

产品	数字协议	ADC 分辨率	最大增益误差	最大失调电压
INA232	I2C	16 位	0.25%	$\pm 20\mu\text{V}$
INA234	I2C	12 位	0.5%	$\pm 100\mu\text{V}$
INA236	I2C	16 位	0.1%	$\pm 5\mu\text{V}$

2.1 套件内容

表 2-2 列出了 EVM 套件的内容。如果缺少任何元件，请联系最近的德州仪器 (TI) 产品支持中心。

表 2-2. 套件内容

品类	数量
INA232EVM、INA234EVM 或 INA236EVM 板	1

注意，此 EVM 需要使用单独售卖的 TI 传感器控制板 (SCB)。

2.2 德州仪器 (TI) 提供的相关文档

本用户指南可从 TI 网站上获得，文献编号为 [SBOU264](#)。附加到文献编号的任何字母对应于撰写本文档时已有的最新文档修订版。较新的修订版可从 www.ti.com 上获得，也可从德州仪器 (TI) 文献响应中心 (电话为 (800) 477-8924) 或产品信息中心 (电话为 (972) 644-5580) 获得。订购时，可通过文档标题或文献编号识别文档。表 2-3 列出了与该 EVM 相关的文档。可以通过点击表 2-3 中的链接来获取更多信息。器件名称链接至 www.ti.com 上的产品网络文件夹。文献编号链接到 PDF 文档。

表 2-3. 相关文档

文档标题	文档文献编号
INA232 数据表	SBOSAA2
INA234 数据表	SBOS844
INA236 数据表	SBOSA81

3 硬件

该 EVM 是一个易于使用的平台，用于评估 INA23x 的主要特性和性能。此 EVM 支持测量高达 10A 的电流，包含用于读取和写入器件寄存器以及查看和保存结果数据的图形用户界面 (GUI)。

此 EVM 旨在对这些器件系列的基本功能进行评估。此布局并非作为目标电路的模型使用，也不针对电磁兼容性 (EMC) 测试进行布局。此 EVM 包含两块印制电路板 (PCB)。较大的 PCB 称为 EVM，上面安装了 INA23x。较小的 PCB 叫做 SCB 控制器，用于连接 EVM 与 GUI。

3.1 特性

- GUI 支持读取和写入器件寄存器以及查看和保存结果数据
- 从 SCB 分离的 EVM，适用于定制用例
- 借助 SCB 方便地通过常见的 micro-USB 连接器充电

4 操作

4.1 快速启动设置

以下说明介绍了如何设置和使用 EVM。

1. 如果您没有 SCB，请购买一个。
2. 下载此驱动程序并以管理员身份安装：<https://www.ti.com/lit/zip/sbac253>。
3. 如图 4-1 所示，将 EVM 连接到 SCB 控制器。
 - a. 连接相同类型的多个 EVM 时，请参阅图 4-2。
4. 使用提供的 USB 电缆将 EVM 连接到 PC。
 - a. 将 Micro USB 电缆插入到 SCB 控制器板载 USB 插座 J2 中。
 - b. 将该电缆的另一端插入 PC。
5. 点击[此处](#)通过 Chrome 或 Firefox 浏览器访问 GUI。
6. 将外部系统的接地基准连接到 EVM 的 GND 节点 (J1 的引脚 1)。
7. 按照节 4.2.3 中的说明，通过将信号引线连接到 EVM 上的 J1 引脚 5 或 6 和 J1 引脚 3 或 4，向 IN+ 和 IN- 节点提供差分输入电压信号。

4.2 EVM 操作

若要将 EVM 和 SCB 控制器 (单独销售) 搭配使用，如图 4-1 所示连接 EVM。

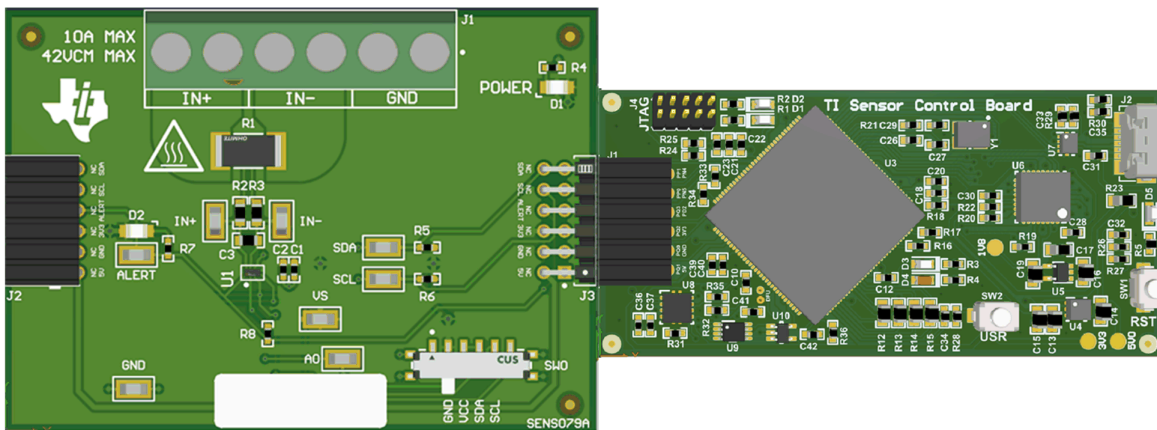


图 4-1. EVM 连接到 SCB 控制器

如果使用多个 EVM，如图 4-2 所示进行连接。确保对每个器件使用不同的芯片地址。GUI 一次仅支持一个 EVM/器件类型。

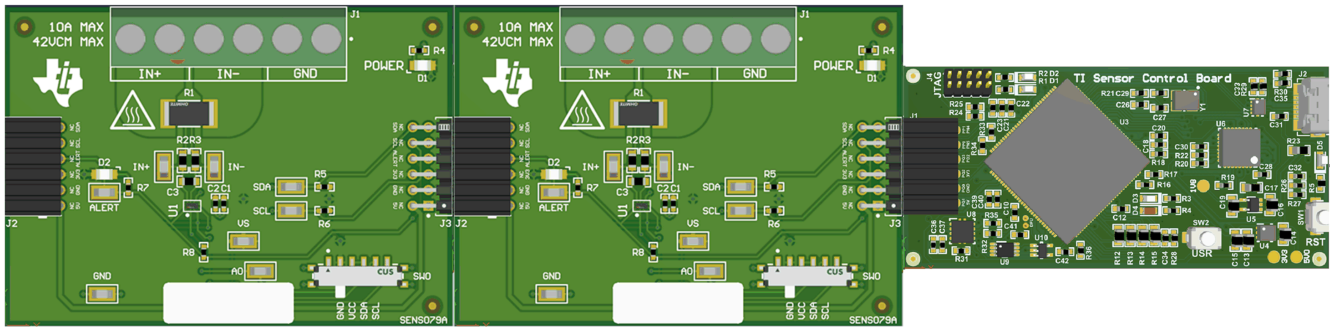


图 4-2. 多个 EVM 连接到 SCB 控制器

4.2.1 设置

4.2.1.1 驱动程序安装

下载并安装此驱动程序：<https://www.ti.com/lit/zip/sbac253>。每台计算机只需执行一次此步骤。解压文件夹并以管理员权限运行 .exe 文件。

4.2.1.2 固件

固件更新将通过 GUI 推送（需要安装以前的驱动程序）。下载的离线 GUI 只会用下载时可用的最新固件更新 SCB 控制器。若要查看是否有最新的 GUI 或固件更新，请从网络浏览器启动 GUI。

4.2.1.2.1 固件调试

如果由于任何原因必须手动重新安装固件，请按照以下步骤重新安装固件。确保将 EVM 连接到 SCB。

1. 首先，查看 GUI 是否可对固件手动编程。
 - a. 将 SCB 控制器插入 PC。
 - b. 启动 GUI。
 - c. MCU 可能已经进入 DFU 模式。倘若如此，GUI 可能会发出通知并尝试将固件更新到最新版本。
 - d. 如果没有自动更新，转到“File > Program Device...”（文件 > 编程器件）
2. 如果不起作用（或者如果 **Program Device**（编程器件）按钮灰显），手动将 SCB 控制器上的 MCU 配置为器件固件更新 (DFU) 模式。在 SCB 控制器通电的情况下，可通过以下任一方法完成此操作：
 - a. 通过软件：
 - 出于安全起见，关闭并断开所有负载源和外部电压。
 - 在 SCB 的 USB 串行 (COM) 端口上发送命令“bsl”。
 - b. 通过硬件：
 - 使用一对镊子（或导线）短接标记为“DFU”（如图 4-3 所示）的两个测试点时，按下并放开 RESET（复位）按钮。

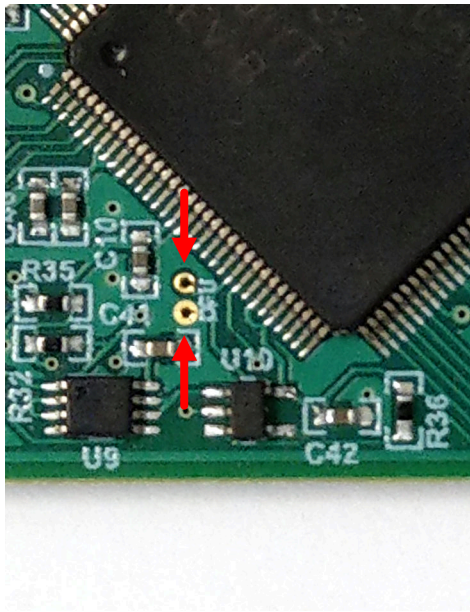


图 4-3. 用于手动进入 DFU 模式的测试点

MCU 进入 DFU 模式后，现在固件可以通过[步骤 1](#) 中列出的方法更新。

4.2.1.3 GUI 设置和连接

点击[此处](#)通过 Chrome™ 或 Firefox™ 浏览器访问 GUI。

4.2.1.3.1 初始设置

首次设置 GUI：

1. 确保前面提到的驱动程序已成功安装，以保证一切正常工作，并且 GUI 可以在必要时更新 EVM 固件。
2. 进行检查，确保 EVM/SCB 控制器单元已插入 PC，然后转到前面提供的 GUI 链接。
3. 点击 *GUI Composer* 应用程序（[图 4-4](#)），从网络浏览器启动 GUI。

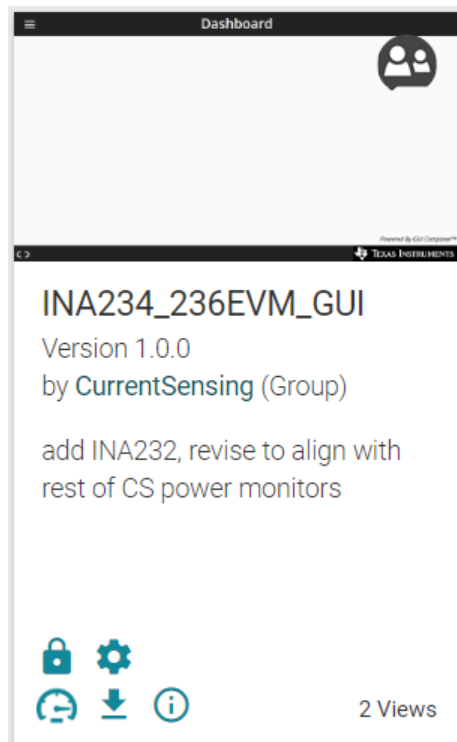


图 4-4. GUI Composer 程序

- a. 首次设置 GUI Composer 时，请根据提示下载 *TI Cloud Agent* 和浏览器扩展，如图 4-5 所示。这些提示将在关闭 README.md 对话框后出现。


TI Cloud Agent Installation

Hardware interaction requires additional one time set up. Please perform the actions listed below and try your operation again.(What's this?)

- Step 1: **INSTALL** browser extension
- Step 2: **DOWNLOAD** and install the TI Cloud Agent Application
- Help. I already did this

FINISH

图 4-5. TI Cloud Agent

4. (可选) 点击 *GUI Composer* 程序 (图 4-4) 中的  图标，按照提示下载 GUI，供离线使用。

4.2.1.3.2 GUI 至 EVM 连接

若要操作 GUI，请执行以下步骤：

1. 按照节 4.2.1.3.1 中所述连接和启动 GUI。
2. 进行检查以确保 EVM 已连接到 GUI，然后关闭 README.md 文件页面来启动连接。如果连接成功，GUI 的左下角附近应显示 **Hardware Connected** 消息，如图 4-6 所示。



图 4-6. 硬件已连接

- a. 在 GUI 窗口的左上角应该还可以看到一个绿色的指示器以及器件类型和文本 **DEVICE CONNECTED**，如图 4-7 所示。



图 4-7. 器件已连接

- b. 如果 GUI 中未显示 **Hardware Connected** 和 **DEVICE CONNECTED**，请检查 *Options >> Serial Port* 下的不同硬件 COM 端口，如图 4-8 所示。

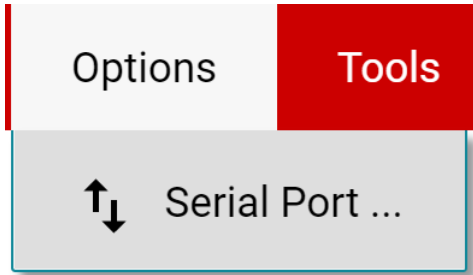



图 4-8. 更改串行端口

- c. 如果硬件仍然没有连接，请确保使用的 GUI/EVM 组合正确无误。
 - i. 如果使用的 GUI/EVM 组合正确，可能需要对 SCB 固件重新编程，如[固件调试](#)所述。

4.2.2 GUI 操作

按照节 4.2.1.3 中所述设置和启动 GUI 并将其连接至 EVM。有关如何使用每个 GUI 页面的说明，请参阅以下几节。

4.2.2.1 主页选项卡

GUI 启动后首先显示主页选项卡。点击左侧菜单上的  (主页) 图标，可随时返回主页选项卡。

从主页上，您可以轻松确认成功完成的 GUI 到 EVM 连接 (请参阅节 4.2.1.3.2)，还可以通过底部的按钮访问实用资源 (请参阅图 4-9)。

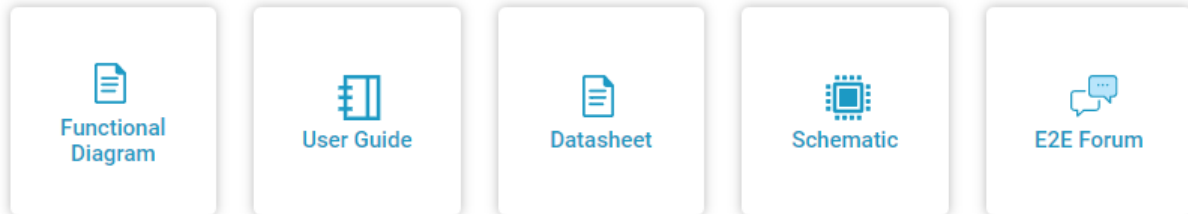



图 4-9. 主页选项卡链接

4.2.2.2 配置选项卡

若要对每个连接的 EVM 进行初始设置，请点击左侧菜单上的  (配置) 图标。图 4-10 显示了一个配置工具示例，根据连接的器件，该工具可能会发生变化。


Number of EVMs: <input type="text" value="2 EVMs"/>	Selected EVM: <input type="text" value="EVM 1"/>
EVM 1	
Hardware Switch Settings SW0: <input type="text" value="GND"/>	
Shunt Full-Scale Differential Range ADCRANGE: <input type="text" value="+/- 81.94 mV"/>	
Shunt/Current Configuration	
RSHUNT: <input type="text" value="2"/> mΩ	
Max Expected Current: <input type="text"/>	A
CURRENT_LSB: <input type="text" value="0.001"/>	A
SHUNT_CAL: <input type="text" value="2560"/>	
True CURRENT_LSB: <input type="text" value="0.001"/>	A
True Max Current: <input type="text" value="32.768"/>	A
Required Sensing Range: <input type="text" value="65.536"/>	mV

图 4-10. 配置工具

从此页面上，您可以设置要使用的 EVM 数量，然后对于每个 EVM，您可以指明物理硬件开关设置并配置分流电阻和 CURRENT_LSB。下面介绍了此页面上的每个选项和字段：

- **Number of EVMs**
 - 此设置用于向 GUI 规定 SCB 上连接的 EVM 数量。
 - 请注意，SCB 和 GUI 一次仅支持最多四个具有相同器件的 EVM。
 - 在此处更改该设置时，也会更改 *Results Data* 选项卡上的相同设置。
- **Selected EVM**
 - 此设置指示当前要更改设置的 EVM。
 - 这还会选择连接到 *Registers* 页面的 EVM。
- **Hardware Switch Settings**
 - 完成这些设置，以便与 EVM 上的物理开关设置保持一致。
 - 请注意，在更改此页面上的任何其他设置之前，必须先完成此设置。在完成此设置之前，GUI 将会阻止其他设置。
 - 在此处更改该设置时，也会更改 *Results Data* 选项卡上的相同设置。
- **Shunt Full-Scale Differential Range**
 - 这是访问 *Registers* 页面上 ADCRANGE (ZOOM) 设置的捷径，为了方便起见而放在这里。
 - 此设置和 *Registers* 页面上的 ADCRANGE 设置会一同更改。
- **Shunt/Current Configuration**
 - 此部分用于输入分流电阻信息并帮助计算 CURRENT_LSB 和设置 SHUNT_CAL 寄存器。以下内容说明了如何使用各个字段：
 - **RSHUNT**
 - 输入所用分流电阻的值，单位为 $m\Omega$ 。
 - **Max Expected Current**
 - 输入分流电阻上的最大预期电流值，单位为 A。
 - 如果“Max Expected Current”字段保留为空白，则可以手动调整 SHUNT_CAL，该工具将告诉您使用该 EVM 可测得量的实际最大电流。
 - **CURRENT_LSB**
 - 这是计算得出的 CURRENT_LSB 值，单位为安培。此字段会自动根据“Max Expected Current”字段进行填充。
 - 如有需要，可以手动更改此字段，并且更改将会向下筛选。
 - **SHUNT_CAL**
 - 根据 RSHUNT 和 CURRENT_LSB 计算得出的 SHUNT_CAL 值。当此字段发生更改时，对应的值会自动写入 SHUNT_CAL 寄存器。
 - 指定 CURRENT_LSB 后，更改 ADCRANGE 时将会根据数据表中的公式自动调整此值。
 - 如果从配置页面或寄存器映射更改了 ADCRANGE，便会出现这种情况。
 - 如果未指定 CURRENT_LSB，此值将保留不变，但下方的各个字段会根据新的 ADCRANGE 进行调整。
 - 如有需要，可以手动更改此字段，并且更改将会向下筛选。
 - 从 *Registers* 页面更改该值时也会更改此处的值。
 - **True CURRENT_LSB**
 - 这是根据给定的分流电阻值从 SHUNT_CAL 寄存器计算得出的实际 CURRENT_LSB 值（单位为安培）。
 - 这是用于 *Results Data* 部分中的计算的值。
 - **True Max Current**
 - 这是根据 VSHUNT 和 CURRENT 寄存器并使用 RSHUNT 和 True CURRENT_LSB 计算得出的最大可测量电流（单位为安培）。
 - **Required Sensing Range**
 - 这里显示了使用指定的分流电阻来测量最大预期电流所需的感测范围。
 - 如果未指定“Max Expected Current”，则将使用“True Max Current”字段中的值。

4.2.2.3 寄存器选项卡

若要查看和编辑器件寄存器，请点击左侧菜单上的  (寄存器) 图标。*Registers* 选项卡看起来与图 4-11 中所示的选项卡相似，具体取决于连接的器件。

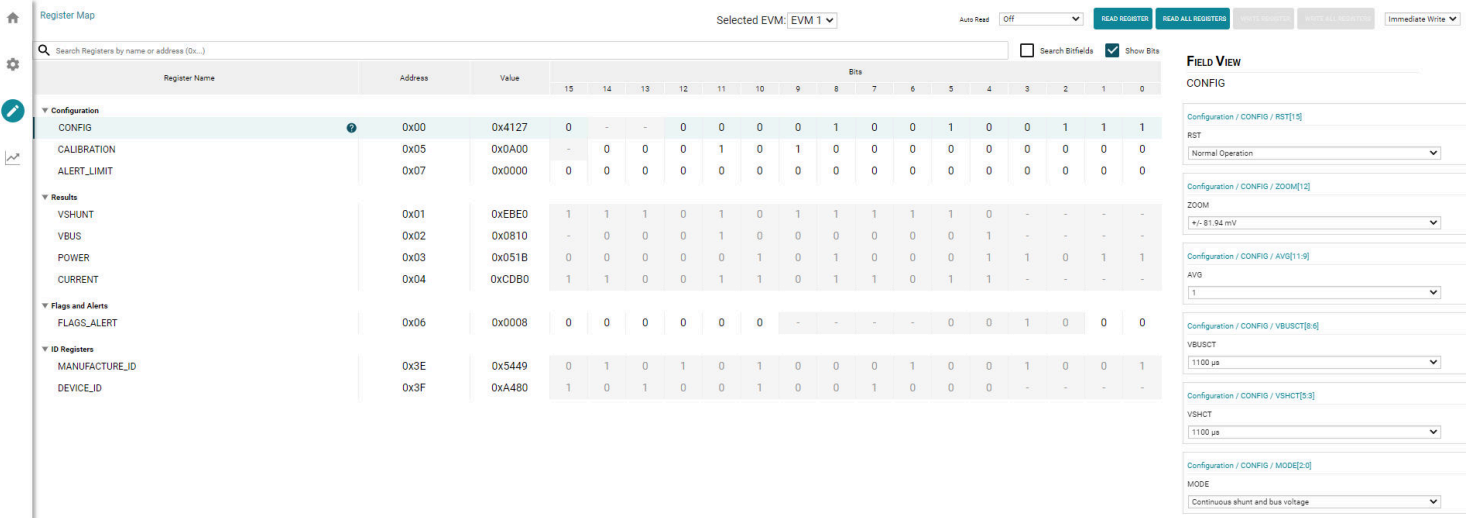



图 4-11. “Registers” 选项卡

通过此页面，可以在 EVM 上读取和写入器件寄存器。这里列出了一些重要注意事项：

- 在“Register Map”上，使用顶部的 **Selected EVM** 下拉菜单来选择要使用的器件。
 - 注意，在此处更改该设置时，也会更改 **Configuration** 选项卡上的相同设置。
 - 此按钮的功能是，在 MCU 中设置默认读取/写入地址，然后读回所有寄存器值，以更新寄存器映射。注意，如果数据采集频率高，可能会导致数据采集略有延迟。为获得最佳性能，在开始采集数据前，请先设定器件设置。
- 默认情况下，所有更改都会自动写入器件。如果需要，您可以将 **Immediate Write** 设置更改为 **Deferred Write**，以便仅在就绪后允许写入。
 - 您可以通过以下任一方法修改可写寄存器值：
 - 通过右侧 **Field View** 部分中的小工具设置。
 - 使用十六进制或十进制值直接更改 **Value**。
 - 双击任何单个位。
- 打开 **Auto Read** 将只会更新寄存器映射中的寄存器，而不会更新 **Results Data** 部分中的图形。
 - 如果在收集数据期间使 **Auto Read** 处于打开状态，可能会干扰数据收集时序。
- 如果对寄存器或寄存器位字段有任何问题，请点击  图标。
 - 如果对寄存器还有更多疑问，请查看数据表。
- 为了方便起见，可以将寄存器设置保存起来，之后再载入任何具有相同寄存器映射的器件。要执行此操作，请转到 **File > Register Data**。（请参阅图 4-12。）

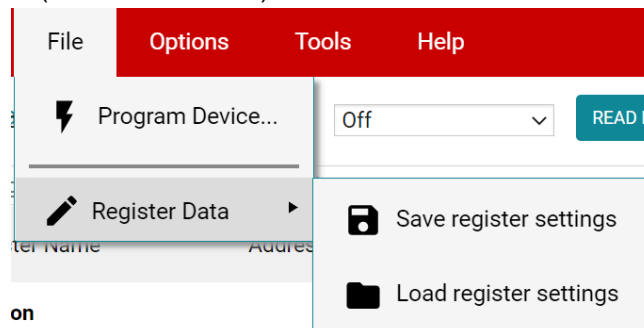



图 4-12. 保存和加载寄存器设置

- TI 建议在加载数据后按下 **Read All Registers** 按钮，以使用实际器件值更新寄存器映射，以防加载的寄存器与连接的器件不兼容。

4.2.2.4 结果数据选项卡

若要查看和收集一段时间内的结果数据，请点击左侧菜单上的  (结果数据) 图标。图 4-13 显示了结果数据页面的一部分以供参考，根据连接的器件，该页面可能看起来有所不同。

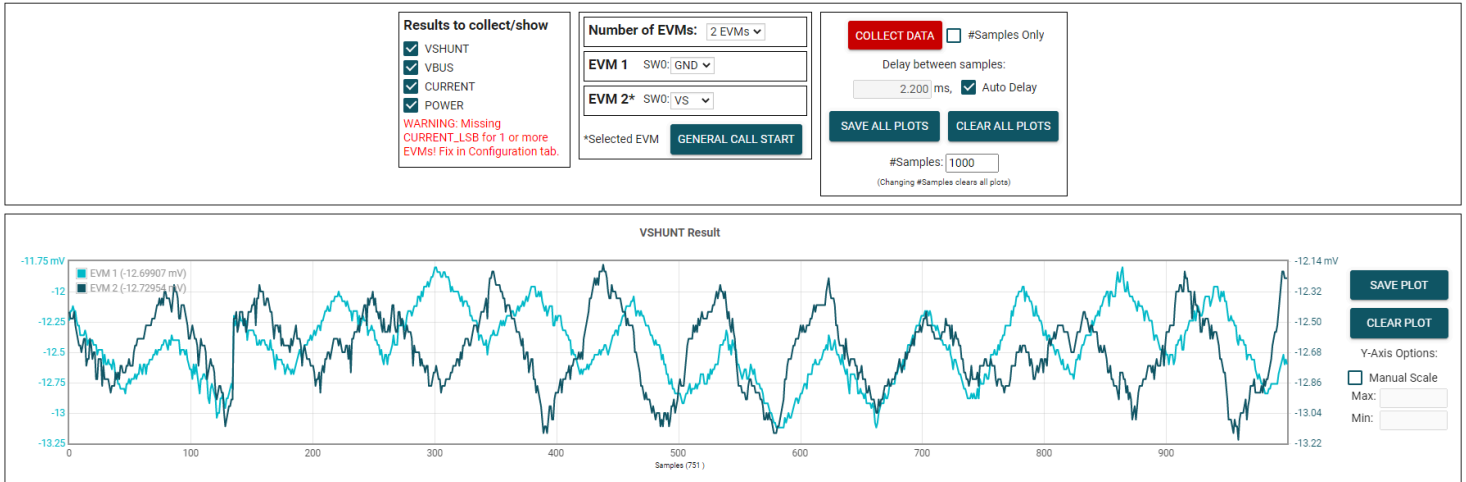


图 4-13. 结果数据选项卡

下面介绍了如何使用结果数据页面顶部和每个图表旁边的按钮和设置：

- **Results to collect/show**
 - 使用此部分选择要为其收集数据的寄存器值。如果在按下 **COLLECT DATA** 按钮之前未选择结果寄存器，则下面的图表将会隐藏，EVM 在采集周期中不会试图读取此寄存器（即使启用了转换）。
 - 如果在 EVM 采集数据时禁用其中一个设置，那么图表将不会显示，但仍然会采集数据，而图表将在后台更新。只需重新选择即可显示数据。
- **Number of EVMs**
 - 将 **Number of EVMs** 下拉菜单设置为当前在用的 EVM 数量。
 - 请参阅图 4-2，了解如何将多个 EVM 连接起来。
 - 在此处更改该设置时，也会更改 **Configuration** 选项卡上的相同设置。
 - GUI 一次仅支持一个 EVM/器件类型，总共最多 4 个 EVM。
 - **Switch settings**
 - 使用板载开关为每个 EVM 选择不同的地址/芯片选择。
 - 在 GUI 中设置开关设置，以便与每个连接的 EVM 的设置保持一致。
 - **EVM 1** 将自动填充地址最低的器件，除非已经选择某个设置。
 - 在此处更改该设置时，也会更改 **Configuration** 选项卡上的相同设置。
 - 如果使用多个器件，则寄存器映射和配置选项卡上所用的已选 EVM 旁将会显示 * 符号。
 - 更改任意 EVM 的开关设置时，会将相应的 EVM 设为所选的 EVM。
- **收集/图表设置**
 - **Collect Data**
 - 按下 **COLLECT DATA** 按钮开始采集数据。
 - 在此模式下，MCU 通过 **USB BULK** 通道读取和发送为每个器件选定的结果值。读取一个器件的所有结果后，再继续读取下一个器件。
 - 所有 EVM 的所有结果值共同视为一个“样本集”。
 - 虽然在采集数据时可以通过寄存器映射页面对其他寄存器进行读写，但这可能会增加数据采集的延迟时间。
 - 按下 **STOP COLLECT** 按钮停止采集数据。
 - **#Samples Only**
 - 如果选中了此复选框，GUI 将会在收集的样本数量达到“#Samples”框中指定的数量后，自动停止采集数据。

- 如果未选中该复选框，GUI 将继续采集数据并仅存储最新的 **#Samples** 个样本。
- **Delay between samples**
 - 设置每个样本集的开始时间之间的延迟。
 - 如果延迟时间短于读取循环（取决于要收集的结果数量、EVM 数量以及 CPU），则可能无法获得所需的延迟时间。
 - 虽然在采集数据时可以通过寄存器映射页面对其他寄存器进行读写，但这可能会增加数据采集的延迟时间。
- **Auto Delay**
 - 根据转换时间、平均值和要转换的通道数量，设置延迟。
 - 如果要使用多个 EVM，则要在延迟框中输入的时间将来自于计算所得延迟值最小的 EVM。
- **Save All Plots**
 - 按下 **SAVE ALL PLOTS** 按钮可以将 **Results to collect/show** 部分中每个当前已选结果对应的数据保存到电子表格中。
 - 按下每个图表旁边的 **SAVE PLOT** 按钮，可仅将该图表中的数据保存在电子表格中。
- **Clear All Plots**
 - 按下 **CLEAR ALL PLOTS** 按钮可清除所有图表中的数据。
 - 按下每个图表旁边的 **CLEAR PLOT** 按钮可仅清除该图表中的数据。
- **#Samples**
 - 更改此框中的数值可更改每个图表中显示的样本数。
 - 更改此数值会清空图表缓存，以便在下次读取时清除图表。
- **Y-Axis Options**
 - **Manual Scale**
 - 选中此复选框会将此图表中的所有 EVM 结果设为“Max”和“Min”字段中指定的相同标度值。
 - 如果未选中此复选框，则每个 EVM 都将具有一个基于该 EVM 的最小和最大结果值的 Y 轴标度。
 - 对于 DIETEMP 结果，单位可以在 °C 和 °F 之间切换。
 - 这会处理图表中的现有数据，并转换输入的新数据。如果在更改单位期间收到新的数据，数据点可能会丢失或出现重复。
 - **Max**
 - 此图表中用于所有 EVM 的最大 Y 轴值。
 - 选中 **Manual Scale** 后，如果此字段为空白，则将会自动填充为相应图表中当前的最大值。
 - **Min**
 - 此图表中用于所有 EVM 的最小 Y 轴值。
 - 选中 **Manual Scale** 后，如果此字段为空白，则将会自动填充为相应图表中当前的最小值。

发出 **General Call Start** 命令以触发多个器件之间的同时开始转换。按下该按钮后，所有器件将停止并重新开始新的转换。

4.2.3 电流感测工作原理

EVM 允许用户根据给定的一组系统条件，通过在 IN+ 和 IN- 端子上直接施加差分电压来模拟感测电阻上形成的电压，或者将器件输入连接到外部分流器。可选择将 2512 表面贴装技术 (SMT) 分流电阻焊接在 R1 的焊盘上，而这些输入可以与外部系统和负载电流串联起来。为了方便起见，IN+ (J1 引脚 5 和 6) 和 IN- (J1 引脚 3 和 4) 各有两个端子。

4.2.3.1 无分流电阻

若要配置无分流电阻的测量评估，请遵循以下步骤：

1. 在 IN+ 和 IN- 端子上连接差分电压 (请参阅图 4-14)。请注意，INA234EVM 或 INA236EVM 用于说明。对于 INA232EVM，在螺纹接线端子 J1 中 IN+ 和 IN- 进行了交换 (请参阅图 4-15)。
 - a. 如果差分电压源浮动电源，请将 -0.3V 到 48V 的共模电压 (完成设置前保持断电) 连接到输入，方法是将外部电压源的正极引线连接到 IN+ 或 IN- 端子。此操作有效提高了输入引脚的绝对共模电压。确保差分电压加或减共模电压后处于 -0.3V 至 48V 的范围之内。

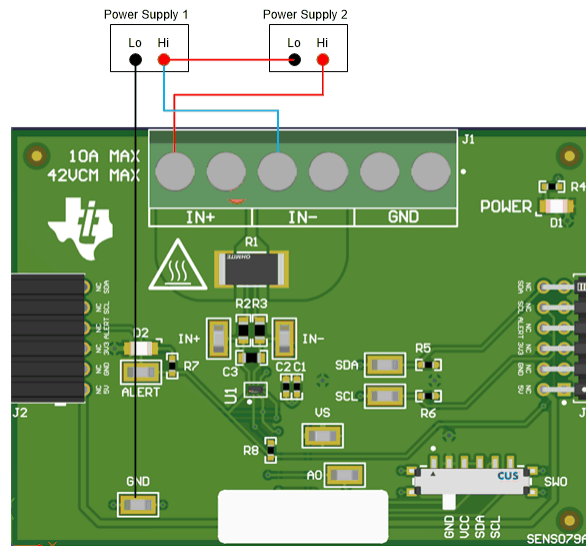


图 4-14. 无分流电阻的 IN+ 和 IN- 布线

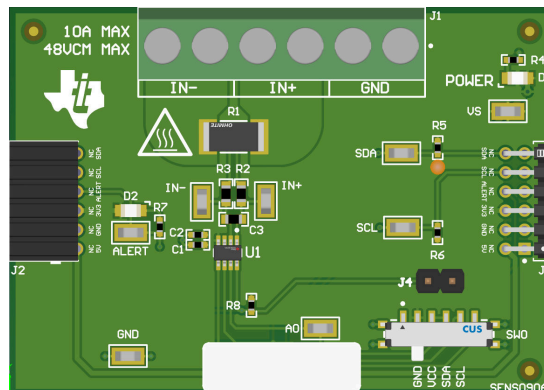


图 4-15. INA232EVM

1. 将 VBUS 端子 (J1 引脚 2) 连接到所需的总线电压 (可能是 IN+ 或 IN-)。
2. 将源极接地端连接到 GND 端子 (J1 引脚 1)。
3. 给系统上电，并通过 GUI 观察器件状态和输出。

4.2.3.2 有分流电阻

若要配置有分流电阻的测量评估，请遵循以下步骤：

1. 通过以下方式连接分流电阻：
 - a. 将 2512 电阻器焊接在连接 IN+ 和 IN- 输入的 R1 焊盘上。
 - b. 在 J1 的 IN+ 和 IN- 端子之间连接一个外部分流器，最好连接在引脚 4 和 5 之间（请参阅图 4-16）。
 - i. 如果使用外部分流器，在连接时要使感测位置跨过分流器，而且感测路径上不会有大电流。更多信息，请参阅 [TI 高精度实验室 - 电流检测放大器：分流电阻器布局](#) 视频。
2. 在断电时，将 IN+ 和 IN- 端子与负载串联。

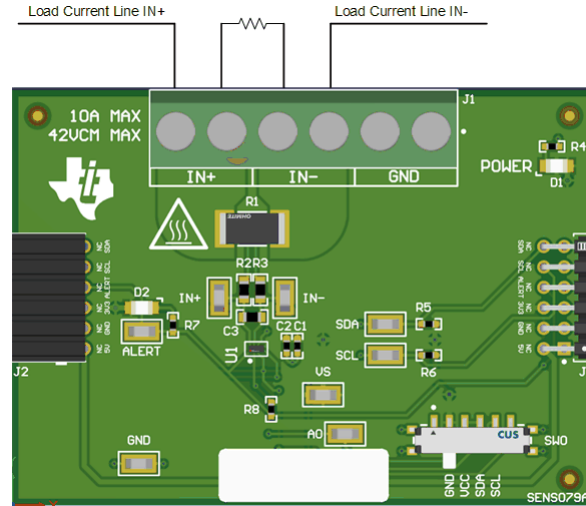


图 4-16. 有分流电阻的 IN+ 和 IN- 接线

WARNING

如果测量电流，首先确保设备（分流电阻、导线、连接器等）可以承受相应的电流和功耗。其次，确保流经 J1 的电流不超过 10A。否则，会导致 EVM 损坏或人身伤害。

请勿触摸高压端子。

EVM 可能变热。

3. 将 VBUS 端子（J1 引脚 2）连接到所需的总线电压（可能是 IN+ 或 IN-）。
4. 将系统接地端连接到 GND 端子（J1 引脚 1）。
5. 给系统上电，并通过 GUI 观察器件状态和输出。

4.2.4 EVM USB 直接通信

如有需要，可不使用 GUI，通过 USB 端口直接与 EVM 进行通信。具体方式是，通过串行 COM 端口发送所需的命令字符串，并根据模式通过 COM 端口或 USB BULK 通道接收结果。这有助于通过自定义设置、脚本或 GUI 连接 EVM。

4.2.4.1 标准 USB CDC 读写操作

使用串行 COM 端口通过以下格式的 USB CDC 命令读写寄存器：

- 读取寄存器格式：rreg ADR
 - 其中 ADR 是十六进制地址，rreg 始终小写
 - 寄存器地址可以是大写或小写，并且不需要以“0x”开头。也可以选择用 0 来填补寄存器地址。例如，若要读取寄存器地址 0x1，某些有效的命令可包括：
 - rreg 1
 - rreg 01
 - rreg 0x01
 - 使用“0x”时，“x”必须是小写。
 - 在前例中，EVM 会返回 JSON 格式的结果

```
{"acknowledge":"rreg 0x01"}
{"register":{"address":1,:"value":3}}
{"evm_state":"idle"}
```
- 写入寄存器格式：wreg ADR VAL
 - 其中 ADR 和 VAL 是十六进制地址，wreg 始终小写
 - 寄存器地址和值可以是大写或小写，并且不需要以“0x”开头。也可以选择用 0 来填补寄存器地址和值。例如，若要向寄存器地址 0x5 写入值 0x4121，某些有效的命令可包括：
 - wreg 5 4121
 - wreg 05 0x4121
 - wreg 0x05 0x4121
 - 使用“0x”时，“x”必须是小写。
 - 在前例中，EVM 会返回 JSON 格式的结果：

```
{"acknowledge":"wreg 0x01 0x4121"}
{"console":"Writing 0x4121 to ADC_CONFIG register"}
{"evm_state":"idle"}
```

4.2.4.2 通过 USB BULK 通道采集数据

Collect Data (采集数据) 功能也可以通过串行 COM 端口启动和停止, 但结果将通过 USB BULK 通道发送。为此, 使用以下格式:

- 启动数据采集的格式: `collect timerPeriod collectFlags channelAddressIDs numDevices`
 - 每个参数以十进制表示值, 格式如下:
 - **timerPeriod**: 内部计时器中用于数据采集样本集的延迟 (单位为毫秒, 无符号 32 位值)。
 - **collectFlags**: 一个数据字节, 根据以下定义, 对于每个寄存器值类型, 1 表示收集, 0 表示不收集 (注意, 仅在器件支持时使用能量和充电标志, 否则设置为 0):
 - VSHUNT = 0b1000000
 - VBUS = 0b0100000
 - CURRENT = 0b0001000
 - POWER = 0b0000100
 - **channelAddressIDs**
 - 这是以 LSB 开头的每个地址串连起来的 4 个 LSB。
 - 例如, EVM 1 在通道 0x41 上, EVM 2 在通道 0x43 上, 这里的值就是 0b00110001
 - **NumDevices** 是串连起来的 EVM 数量 (1-4)。
 - 例如, 若要开始每 10ms 对 VSHUNT、VBUS、CURRENT 和 POWER 采集一次数据, 则对于 EVM 1 SW0 = GND、EVM 2 SW0 = VS、EVM 3 SW0 = SDA、EVM 4 SW0 = SCL 的 4 个 INA236, 需要发送: `collect 10 108 12816 4`
 - 对于本例, EVM 会返回 JSON 格式的确认和状态:


```

{"acknowledge":"collect 10 108 12816 4"}

{"evm_state":"collecting"}

```
 - 注意, 对于上面的 `rreg` 和 `wreg` 函数, EVM 会在采集时返回 “collecting” 而非 “idle”。
 - USB BULK 通道接收如下格式的数据: `frameID deviceNumID address registerSize data`
 - 每个参数以十进制表示值, 格式如下:
 - **frameID** (1 字节): 始终读为 0。用于确保数据对齐。
 - **deviceNumID** (1 字节): 对应于 EVM 编号的 ID 数字:
 - 在上例中, 若从 EVM 1、EVM 2、EVM 3、EVM 4 读取, 此数字分别为 1、2、3、4。
 - **address** (1 字节): 从器件读取的寄存器地址。
 - **registerSize** (1 字节): 后面数据的字节数。
 - **data** (一次 1 个字节): 字节形式的寄存器数据值, 首先是最高有效字节。
- 停止数据采集的格式: `stop`
 - EVM 会返回 JSON 格式的确认和状态:


```

{"acknowledge":"stop"}

{"evm_state":"idle"}

```

5 电路

本节总结了 EVM 子系统及其元件。

5.1 电流检测 IC

本节介绍了主要的 INA 器件和配套元件。

U1 是主要的 INA 电流检测器件 (INA232、INA234 或 INA236)。C1 和 C2 是旁路电容器，放置在传感器附近，有助于降低电源噪声并在需要时快速为器件提供电流。具有限流电阻 R4 的 LED D1 用于指示 EVM 何时通电。

器件引脚可直接通过测试点进行监测。

5.2 输入信号路径

本节介绍了输入信号路径的电路。

J1 是主连接端子。J1 的引脚 1 用于将系统接地连接端到 EVM 接地端。J1 的引脚 2 用于测量传感器内的 VBUS。引脚 3、4 连接到 IN-，引脚 5、6 连接到 IN+。为了方便起见，IN+ 和 IN- 各有两个引脚。

R1 可用于外形尺寸为 2512 的可选板载分流电阻。分流器也可以置于 J1 的 IN+ 和 IN- 端子上。如有需要，可直接在测量测试中施加差分电压。

C3、R2 和 R3 组合成一个可选的输入滤波器。R2 和 R3 默认装配了 0 Ω 电阻。使用输入滤波时，要考虑器件的输入偏置电流。

5.3 数字电路

本节介绍了器件的数字电路。

5.3.1 I2C

J2 和 J3 是将数字引脚和电源引脚连接到 SCB 控制器或其他 EVM 的主要接头引脚。J3 连接到右侧的 EVM/SCB，而 J2 连接到左侧的多个 EVM。R5 和 R6 用作主要数字 IO 引脚的上拉电阻。

SW0 设置了器件的 I2C 地址。当使用 EVM 与自定义控制器 (非 SCB 控制器) 或连接多个 EVM 时，这种做法很有用。当前 SCB 控制器和 GUI 设置为一次使用四个 EVM。

R8 用作 ALERT 引脚的上拉电阻，该引脚路由至 J2 和 J3。LED D2 和限流电阻 R7 用于指示 ALERT 何时触发。

6 原理图、PCB 布局和物料清单

备注

电路板布局未按比例显示。这些图旨在显示电路板的布局，而不用于制造 EVM PCB。

6.1 原理图

本节展示了 INA23x EVM 的原理图。除了 IC 以外，原理图是相同的。

6.1.1 SENS079 (INA234EVM、INA236EVM)

图 6-1 和图 6-2 展示了 SENS079 型号 (INA234EVM 和 INA236EVM) 的原理图。图 6-1 展示了这些 EVM 的电路，图 6-2 展示了这些 EVM 包含的机械部件。

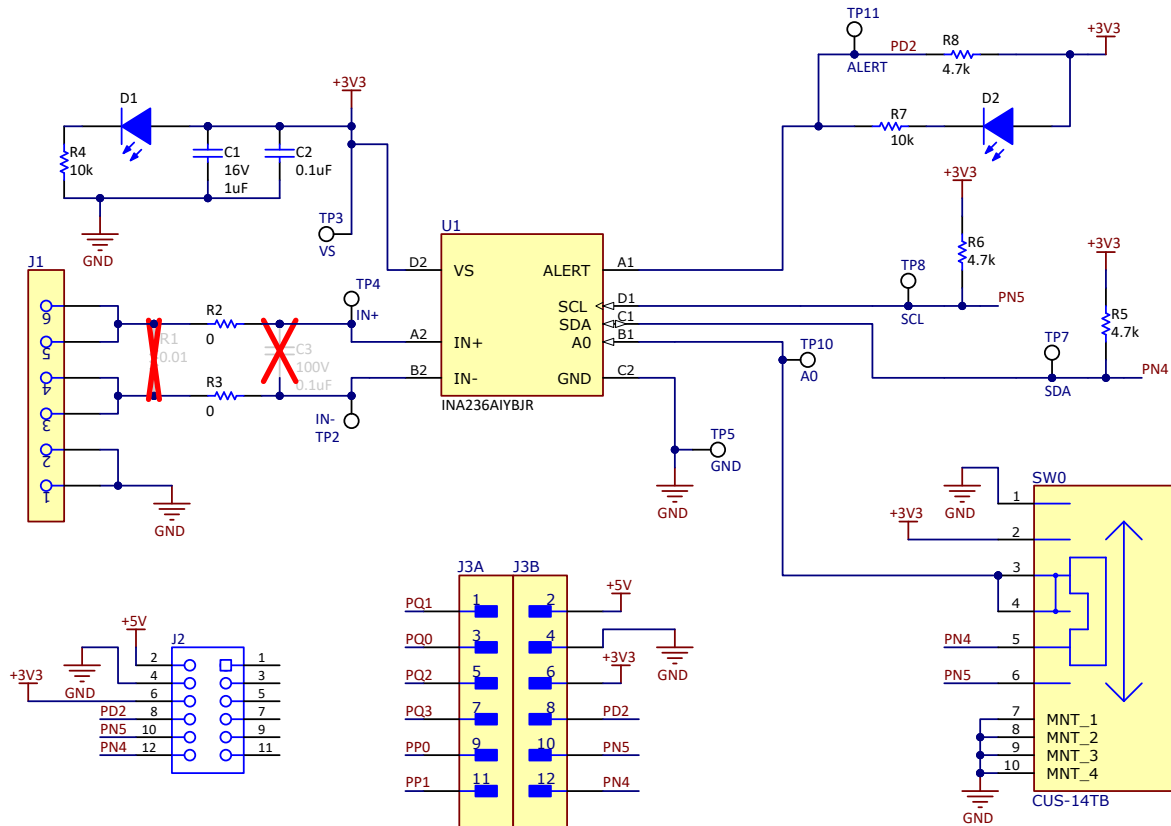


图 6-1. SENS079 原理图



PCB Number: SENS079
PCB Rev: A

PCB LOGO
Texas Instruments



PCB LOGO
FCC disclaimer

PCB LOGO
WEEE logo



LBL1
PCB Label
THT-14-423-10
Size: 0.65" x 0.20"

ZZ1
Label Assembly Note
This Assembly Note is for PCB labels only

ZZ2
Assembly Note
These assemblies are ESD sensitive, ESD precautions shall be observed.

ZZ3
Assembly Note
These assemblies must be clean and free from flux and all contaminants. Use of no clean flux is not acceptable.

ZZ4
Assembly Note
These assemblies must comply with workmanship standards IPC-A-610 Class 2, unless otherwise specified.

Variant/Label Table	
Variant	Label Text
001	INA236EVM
002	INA234EVM

图 6-2. SENS079 硬件原理图

6.1.2 SENS090 (INA232EVM)

图 6-3 展示了 SENS090 型号 (INA232EVM) 的原理图。

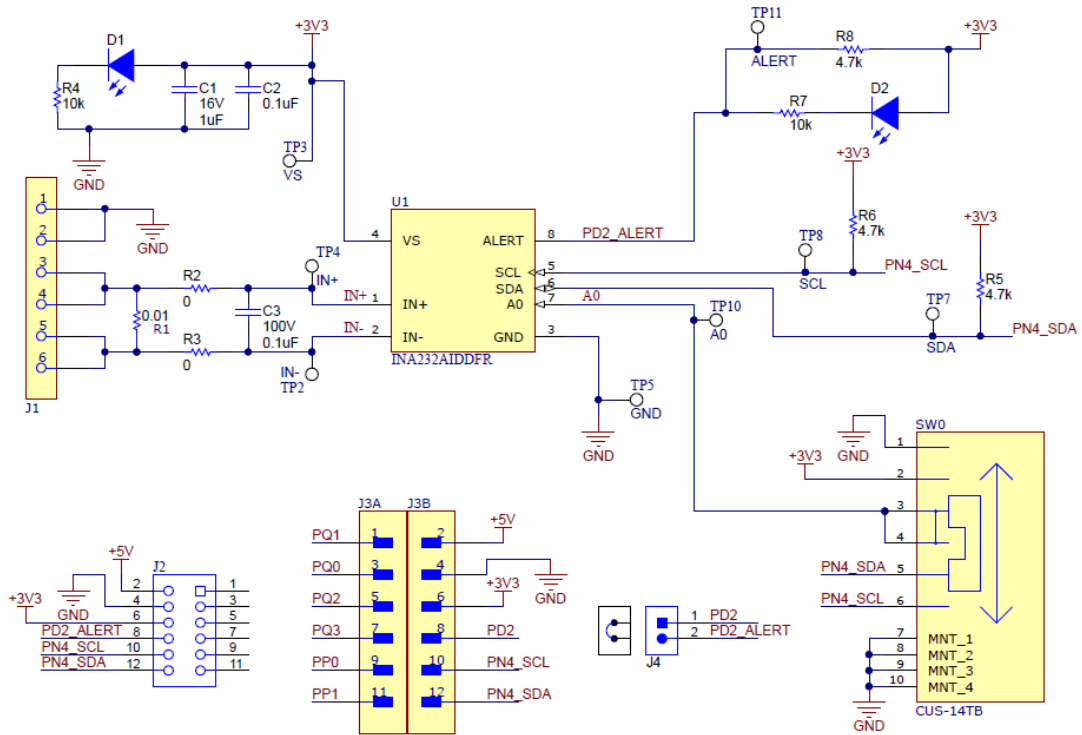


图 6-3. SENS090 原理图

6.2 PCB 布局

6.2.1 SENS079 (INA234EVM、INA236EVM)

本节展示了 SENS079 型号 (INA234EVM 和 INA236EVM) 的 PCB 层。

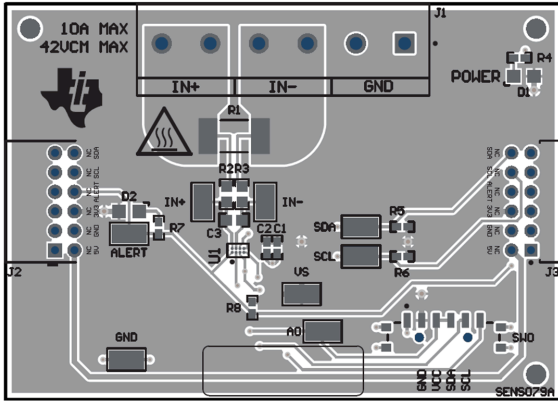


图 6-4. SENS079 顶视图

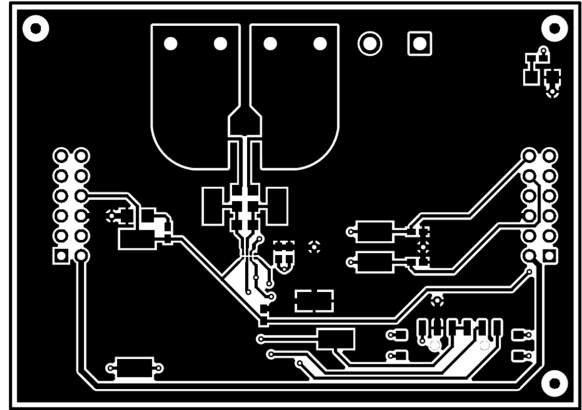


图 6-5. SENS079 顶层

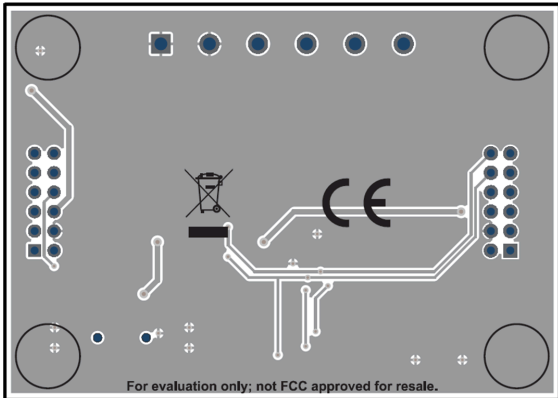


图 6-6. SENS079 底视图

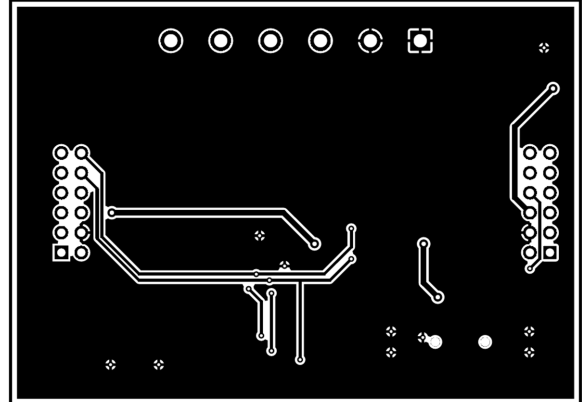


图 6-7. SENS079 底层

6.2.2 SENS090 (INA232EVM)

本节展示了 SENS090 型号 (INA232EVM) 的 PCB 层。

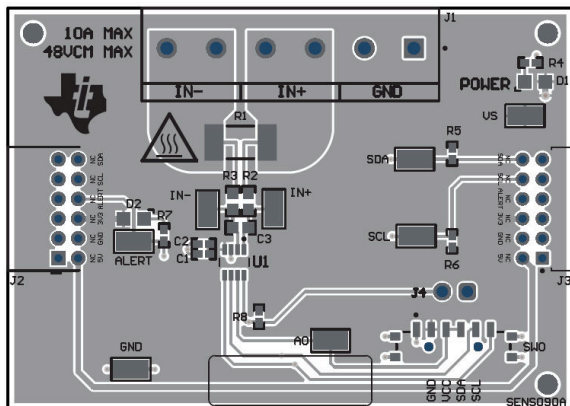


图 6-8. SENS090 顶视图

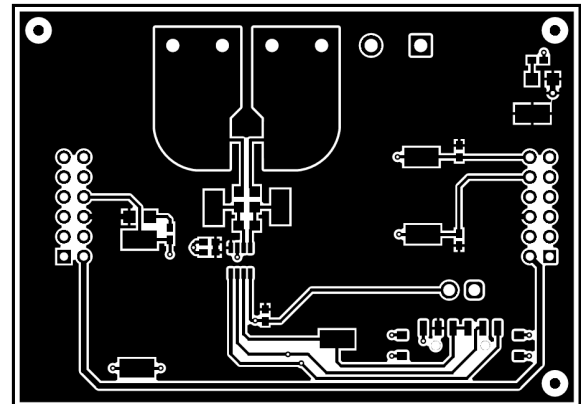


图 6-9. SENS090 顶层

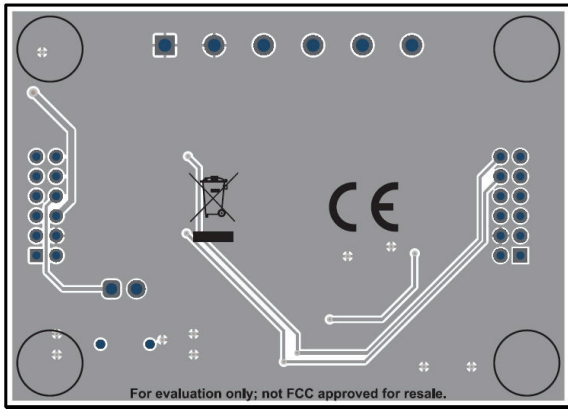


图 6-10. SENS090 底视图

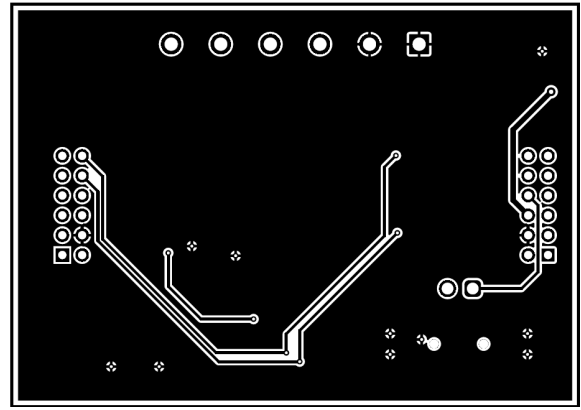


图 6-11. SENS090 底层

6.3 物料清单

本节展示 INA23xEVM 的物料清单。

6.3.1 SENS079 (INA234EVM、INA236EVM)

表 6-1 至表 6-3 提供了 INA234EVM 和 INA236EVM 的器件列表。表 6-1 至表 6-2 面向特定型号，而表 6-3 显示了 SENS079 两种型号都有的器件。

表 6-1. INA234EVM 专属物料清单

标识符	数量	值	说明	封装参考	器件型号	制造商
U1	1		28V 12 位 I2C 输出电流、电压和功率监视器	DSBGA8	INA234AIYBJR	德州仪器 (TI)

表 6-2. INA236EVM 专属物料清单

标识符	数量	值	说明	封装参考	器件型号	制造商
U1	1		42V 16 位精密 I2C 输出电流、电压和功率监视器	DSBGA8	INA236AIYBJR	德州仪器 (TI)

表 6-3. SENS079 型号物料清单

标识符	数量	值	说明	封装参考	器件型号	制造商
!PCB1	1		印刷电路板		SENS079	不限
C1	1	1uF	电容器, 陶瓷, 1μF, 16V, +/-20%, X5R, 0402	0402	C1005X6S1C105K050BC	TDK
C2	1	0.1uF	电容, 陶瓷, 0.1μF, 50V, +/-20%, X7R, 0402	0402	GRM155R71H104ME14D	MuRata (村田)
D1、D2	2	白色	LED, 白色, SMD	0805	VAOL-S8WR4	Visual Communications Company, LLC
H1、H2、H3、H4	4		Bumpon, 半球形, 0.25 X 0.075, 透明	75x250mil	SJ5382	3M
J1	1		端子块 6POS 侧面插入 5MM PCB 组装注意: 按照 ZZ5 修剪引线	HDR6	691137710006	Würth Electronics (伍尔特电子)
J2	1		插座, 2mm, 6x2, 金, R/A, TH	插座, 2mm, 6x2, R/A, TH	NPPN062FJFN-RC	Sullins Connector Solutions (赛凌思科技有限公司)
J3	1		连接器接头, 通孔, 直角, 12 位置, 0.079" (2.00mm)	HDR12	NRPN062PARN-RC	Sullins Connector Solutions (赛凌思科技有限公司)
LBL1	1		热转印打印标签, 0.650" (宽) x 0.200" (高) - 10,000/卷	PCB 标签, 0.650 x 0.200 英寸	THT-14-423-10	Brady (布雷迪)
R2、R3	2	0	电阻, 0, 5%, 0.125W, 0603	0603	MCT06030Z0000ZP500	Vishay/Beyschlag (威世/贝士拉革)
R4、R7	2	10k	电阻, 10k, 5%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402	0402	CRCW040210K0JNED	Vishay-Dale (威世达勒)
R5、R6、R8	3	4.7k	电阻, 4.7k, 5%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402	0402	CRCW04024K70JNED	Vishay-Dale (威世达勒)
SW0	1		滑动开关 SP4T 表面贴装, 直角	SMT_SW_11MM3_4MM1	CUS-14TB	Nidec Copal Electronics (日产科宝电子有限公司)
TP2、TP3、TP4、TP5、TP7、TP8、TP10、TP11	8		测试点, 微型, SMT	Testpoint_Keystone_Miniaur e	5015	Keystone
C3	0	0.1μF	电容, 陶瓷, 0.1μF, 100V, +/-10%, X7S, AEC-Q200 1 级, 0603	0603	CGA3E3X7S2A104K080AB	TDK

表 6-3. SENS079 型号物料清单 (continued)

标识符	数量	值	说明	封装参考	器件型号	制造商
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
R1	0		10mΩ ±0.5% 2W 片上电阻 2512 (公制 6432)，汽车 AEC-Q200，电流检测，防潮金属膜	2512	PCS2512DR0100ET	Ohmite

6.3.2 SENS090 (INA232EVM)

表 6-4 展示了两种 SENS090 型号的通用器件。

表 6-4. SENS090 型号物料清单

标识符	数量	值	说明	封装参考	器件型号	制造商
!PCB1	1		印刷电路板		SENS079	不限
C1	1	1uF	电容器，陶瓷，1μF，16V，+/-20%，X5R，0402	0402	C1005X6S1C105K050BC	TDK
C2	1	0.1uF	电容，陶瓷，0.1μF，50V，+/-20%，X7R，0402	0402	GRM155R71H104ME14D	MuRata (村田)
D1、D2	2	白色	LED，白色，SMD	0805	VAOL-S8WR4	Visual Communications Company, LLC
H1、H2、H3、H4	4		Bumpon，半球形，0.25 X 0.075，透明	75x250mil	SJ5382	3M
J1	1		端子块 6POS 侧面插入 5MM PCB 组装注意：按照 ZZ5 修剪引线	HDR6	691137710006	Würth Electronics (伍尔特电子)
J2	1		插座，2mm，6x2，金，R/A，TH	插座，2mm，6x2，R/A，TH	NPPN062FJFN-RC	Sullins Connector Solutions (赛凌思科技有限公司)
J3	1		连接器接头，通孔，直角，12 位置，0.079" (2.00mm)	HDR12	NRPN062PARN-RC	Sullins Connector Solutions
J4	1		接头，2.54mm，2x1，金，TH	接头，2.54mm，2x1，TH	61300211121	Würth Elektronik
LBL1	1		热转印打印标签，0.650" (宽) x 0.200" (高) - 10,000/卷	PCB 标签，0.650 x 0.200 英寸	THT-14-423-10	Brady (布雷迪)
R2、R3	2	0	电阻，0，5%，0.125W，0603	0603	MCT06030Z0000ZP500	Vishay/Beyschlag (威世/贝士拉革)
R4、R7	2	10k	电阻，10k，5%，0.063W，AEC-Q200 0 级，0402	0402	CRCW040210K0JNED	Vishay-Dale (威世达勒)
R5、R6、R8	3	4.7k	电阻，4.7k，5%，0.063W，AEC-Q200 0 级，0402	0402	CRCW04024K70JNED	Vishay-Dale (威世达勒)
SH-J4	1		分流器，2.54mm，金，黑色	分流器，2.54mm，黑色	60900213421	Würth Elektronik
SW0	1		滑动开关 SP4T 表面贴装，直角	SMT_SW_11MM3_4MM1	CUS-14TB	Nidec Copal Electronics (日产科宝电子有限公司)
TP2、TP3、TP4、TP5、TP7、TP8、TP10、TP11	8		测试点，微型，SMT	Testpoint_Keystone_Miniaur e	5015	Keystone
U1	1		具有 I2C 接口的 48V 16 位电流、电压和功率监控器	SOT23-8	INA232AIDDFR	德州仪器 (TI)
C3	0	0.1μF	电容，陶瓷，0.1μF，100V，+/-10%，X7S，AEC-Q200 1 级，0603	0603	CGA3E3X7S2A104K080AB	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

表 6-4. SENS090 型号物料清单 (continued)

标识符	数量	值	说明	封装参考	器件型号	制造商
R1	0		10m Ω \pm 0.5% 2W 片上电阻 2512 (公制 6432) , 汽车 AEC-Q200 , 电流检测 , 防潮金 属膜	2512	PCS2512DR0100ET	Ohmite

7 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision A (February 2022) to Revision B (December 2022)	Page
• 在文档中添加了 INA232EVM.....	3

Changes from Revision * (May 2021) to Revision A (February 2022)	Page
• 删除了配套产品 SCB.....	3

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

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

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

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

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司