

TI 参考设计

由回路供电的 4mA 至 20mA 单芯片 RTD 传感器变送器



TI 参考设计

本参考设计是一种双线制、由回路供电的 4mA 至 20mA 系统的单芯片解决方案，其中包括四线制 RTD 模拟前端。它内置处理器，可使用补偿算法，从而增强系统性能。这一设计非常适合存在空间限制的应用，而且可在高温环境下以低功耗运行。

设计资源

TIDA-00851	包含设计文件的工具文件夹
PGA900	产品文件夹
PGA900EVM	工具文件夹



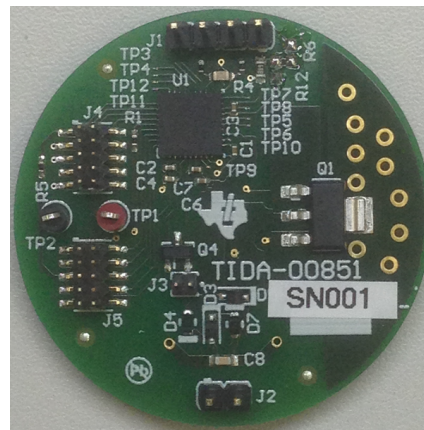
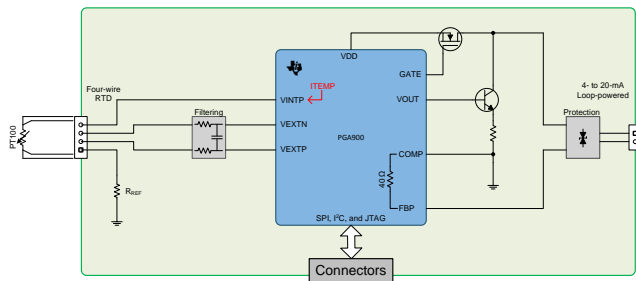
请咨询我们的 E2E 专家

设计特性

- 单芯片解决方案
- 四线制 RTD 传感器 (PT100)
- 由回路供电的 4mA 至 20mA 电流接口
- 电流消耗: 1.7 mA
- 环境温度: -40°C 至 150°C
- 设计符合以下标准:
 - IEC 61000-4-2
 - IEC 61000-4-4
 - IEC 61000-4-5

特色应用

- 传感器和现场发送器
- 工厂自动化和过程控制
- 楼宇自动化



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 系统主要技术规格

表 1. 系统主要技术规格

参数	规格与 特性
传感器类型	四线制 PT100 探针
RTD 传感器的温度范围	-200°C 至 850°C
输出信号	双线制, 4mA 至 20mA 电流回路
电源电压范围	10V 至 36V
电流消耗	< 3mA
反极性保护	有, 在电源输入端
工作温度	-40°C 至 +150°C
外形	4cm 直径, 圆形

2 系统说明

本参考设计的目标是实现一款由回路供电、具有 4mA 至 20mA 电流输出的双线制单芯片低功耗电阻式温度检测 (RTD) 变送器。设计的重点在于实现用于模拟前端 (AFE) 的四线制 PT100 以及由回路供电且回路电压范围很宽的 4mA 至 20mA 接口。由单一器件负责处理模拟前端、温度计算、适当的回路电流设定以及电源。使用额外的保护电路进行反极性保护，而且保护电路的设计符合 IEC 61000-4 标准。

3 方框图

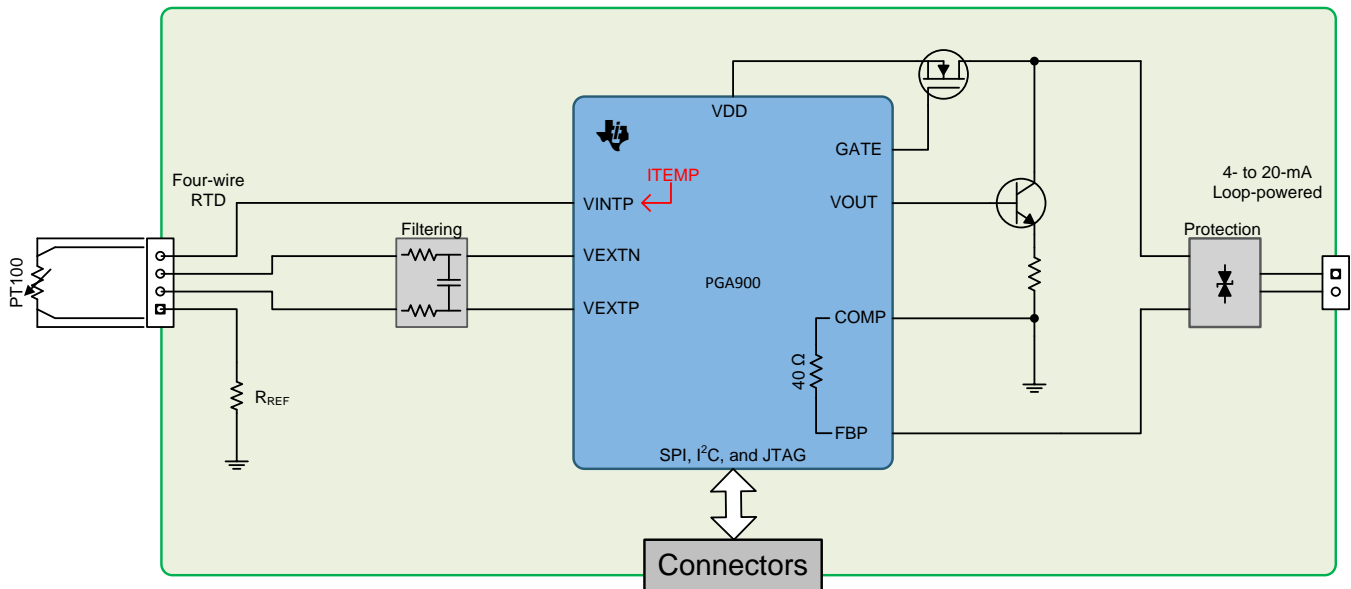


图 1. TIDA-00851 方框图

4 重点产品

4.1 PGA900

简介

PGA900 为信号调节器，用于阻性感测应用。该器件适用于多种感测元件类型。PGA900 通过两个模拟前端通道对其输入信号进行放大和数字化调节。凭借片上 ARM® Cortex®-M0 处理器中的用户开发的软件，PGA900 可执行线性化、温度补偿以及其他用户定义的补偿算法。调节后的信号可采用比例电压、绝对电压、4mA 至 20mA 电流回路或脉宽调制 (PWM) 的形式输出。而且，数据和配置寄存器还可以通过串行外设接口 (SPI)、I²C、通用异步接收收发器 (UART) 和两个通用输入输出 (GPIO) 端口进行访问。此外，凭借独特的单线制接口 (OWI)，该器件可以通过电源引脚进行通信和配置，无需使用额外线路。PGA900 工作电压范围为 3.3V 至 30V，可在 -40°C 至 150°C 的温度下工作。

特性

- 高精度、低噪声、低功耗、小尺寸、阻性感测信号调节器
- 用户可编程的温度和非线性补偿
- 用户可使用片上 ARM® Cortex®-M0 微处理器开发并实现校准软件
- 单线制接口，可通过电源引脚进行通信，无需使用额外线路
- 片上电源管理，支持 3.3V 至 30V 较宽的电源电压范围
- 工作温度范围：
-40°C 至 150°C
- 存储器
 - 8KB 软件存储器
 - 128 字节 EEPROM
 - 1KB 数据 SRAM
- 传感器灵敏度可调节范围：
1mV/V 至 135mV/V
- 两个独立模拟前端 (AFE) 链，每条链包括：
 - 低噪声可编程增益放大器 (PGA)
 - 24 位 $\Delta\Sigma$ 模数转换器 (ADC)
- 内置有温度传感器，也可选择使用外部温度传感器
- 带有 PGA 的 14 位数模转换器 (DAC)
- 输出选项：
 - 比例电压输出和绝对电压输出
 - 4mA 至 20mA 电流回路接口
 - 基于电源线的单线制接口 (OWI)
 - PWM 输出
 - SPI
 - 内部集成电路 (I²C)
- 耗尽型 MOSFET 栅极驱动器
- 诊断功能

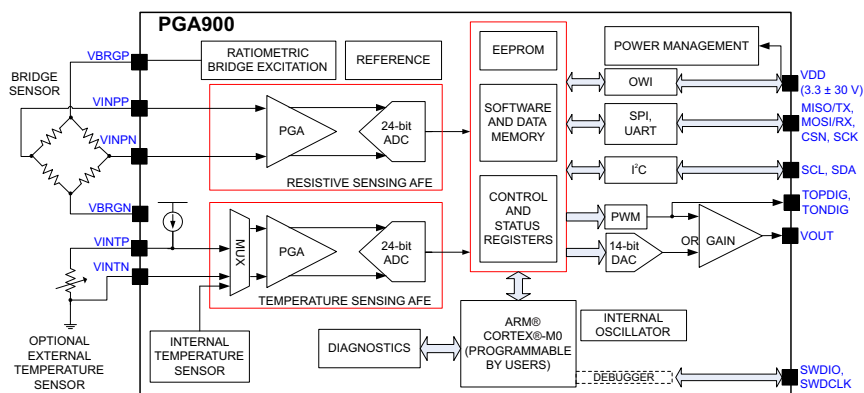


图 2. PGA900 方框图

5 系统设计原理

本参考设计的主要元件是 PGA900。本参考设计仅使用了所称的“T 通道”（来自两个可用的信号链），可通过关闭

“P 通道”尽量降低允许的电源消耗。

5.1 RTD 前端

图 3 所示为前端的原理图。PT100 传感器可连至 J1。端口 VINTP 提供恒定电流 (I_{TEMP})，电流来自 PGA900。该器件可提供不同的电流。本参考设计中，已将恒定电流设为 $I_{TEMP} = 100 \mu A$ 。端口 VEXTN 和 VEXTN 都是 PGA900 T 通道的实际输入。R4 为基准电阻，可用其将可编程增益放大器 (PGA) 的共模输入限定在其合规电压范围内（请参见公式 1）。

$$V_{CM} = R4 \times I_{TEMP} = 4.99 \text{ k}\Omega \times 100 \mu A = 0.499 \text{ V} \quad (1)$$

PT100 传感器可测量的温度范围为 $-200^{\circ}C$ 至 $850^{\circ}C$ ，根据 Callendar-Van-Dusen 公式 [1]，对应的阻值为 18.52Ω 至 390.481Ω 。

公式 2 和公式 3 给出了恒定电流 $I_{TEMP} = 100 \mu A$ 对应的电压范围为：

$$V_{PT100_MIN} = R_{PT100_MIN} \times I_{TEMP} = 18.52 \text{ k}\Omega \times 100 \mu A = 1.852 \text{ V} \quad (2)$$

$$V_{PT100_MAX} = R_{PT100_MAX} \times I_{TEMP} = 390.481 \Omega \times 100 \mu A = 39.0481 \text{ mV} \quad (3)$$

输入级的共模电压基本上约为 $0.5V$ ，相应的 PT100 电压的变化量最大约为 $40mV$ 。

与 P 通道相比，PGA900 的 T 通道内置 PGA 的增益设置要少些。对于本参考设计中的应用，选择 T 通道的最大增益设置：Gain = 20V/V。

此设置对应公式 4 所示的最大 ADC 输入电压：

$$V_{IN_ADC} = 40 \text{ mV} \times 20 \text{ V/V} = 800 \text{ mV} \quad (4)$$

在标准配置中，未使用 R12 (DNP)。PGA900 使用 $2.5V$ 的内部参考电压。在本例中，由 $R4 \times I_{TEMP}$ 生成的电压不会提供 ADC 参考电压，因此，PT100 的计算与 R4 无关。PT100 值的计算取决于 I_{TEMP} 的实际值，如公式 5 所示：

$$R_{PT100} = \frac{V_{PT100}}{I_{TEMP}} = \frac{ADC_{CODE} / 2^{BIT-1} \times V_{REF} / Gain}{I_{TEMP}} = \frac{ADC_{CODE}}{2^{23}} \times \frac{2.5 \text{ V}}{20 \text{ V/V} \times 100 \mu A} \quad (5)$$

为精确起见，使用外部数字万用表 (DMM) 测量实际电流 I_{TEMP} 。由于 PGA900 有第二个通道，因此还可以测量 R4 上的压降。如果使用第二个通道，R4 应该使用低温漂精密电阻。

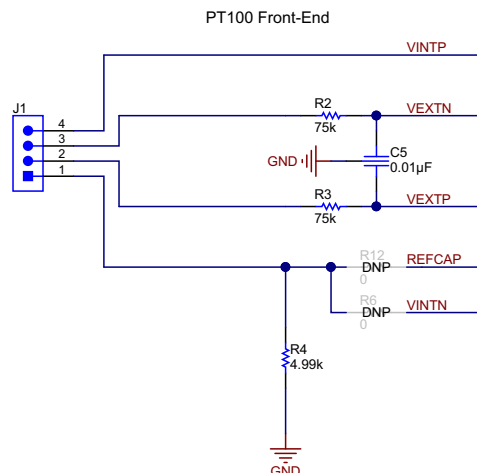


图 3. PT100 前端

5.2 电流回路（4mA 至 20 mA）

PGA900 还有一个 DAC 输出端，用于设置回路中的电流。RTD 可测量的温度范围为 -200°C 至 850°C ，该范围以线性方式映射到 4mA 至 20 mA 的电流范围。

请参见应用报告《PGA900 用作 4mA 至 20mA 电流回路变送器》，了解有关如何将 4mA 至 20mA 电流回路与 PGA900 配合使用的信息 [2]。

回路电流的计算如公式 6 所示：

$$I_{\text{LOOP}} = 1001 \times \frac{1.25 \text{ V}}{40 \text{ k}\Omega} \times \frac{\text{DAC}_{\text{CODE}}}{0x3FFF} \quad (6)$$

5.3 MCU 计算

计算相应温度的方法有多种。本参考设计使用查表法得出等效温度。使用这种方法进行计算需要已知 $V_{\text{REF}} = 2.5\text{V}$ 的绝对值，以及恒定电流 I_{TEMP} 的值。可以使用这些变量的标称值，若希望获得更精确的结果，也可以对这些变量进行测量。然后，借助软件将最低温度映射到表示 4mA 的 DAC 代码，将最高温度值映射为 20mA。

本 MCU 中的构件还可使用更多功能，如偏移及增益补偿或校正算法。

5.4 保护

5.4.1 IEC61000-4 保护

对于可视为与回路直接相连的发送器所有模块和组件，本设计的输入过压保护功能会为其提供保护。图 4 所示为输入保护的原理图。

预期的最大标称输入电压由可编程控制器 (PLC) 的专用模块或独立电源 (DIN 导轨) 提供。可能存在的过压现象主要由以下情况产生的瞬变和过压脉冲所致：

- 电源在上电过程中发生电压过冲
- 回路电缆与电压较高或发生电流瞬变的相邻电缆之间存在耦合和串扰
- 产生差模电压的浪涌、突变或静电放电 (ESD) 脉冲（例如在整个发送器认证过程的 EMC 合规性测试中使用的脉冲）

在上述瞬变中，最重要的脉冲（符合 EN 61000-4-5 标准）是通过 42Ω 总电阻进行耦合并通过 $0.5\mu\text{F}$ 耦合电容以差分方式送入回路输入的 $8/20\mu\text{s}$ 浪涌脉冲。创建本电源设计旨在处理此关键浪涌脉冲。

双向瞬态电压抑制 (TVS) 二极管 (D6) 和陶瓷电容 (C8) 用于将回路输入引脚 J2 的所有过压瞬变钳位至与瞬态电压极性无关的安全电压。此过压钳位特性为发送器电子器件内置的 4mA 至 20mA DAC 控制的双极型晶体管 (BJT) 提供了安全电压。

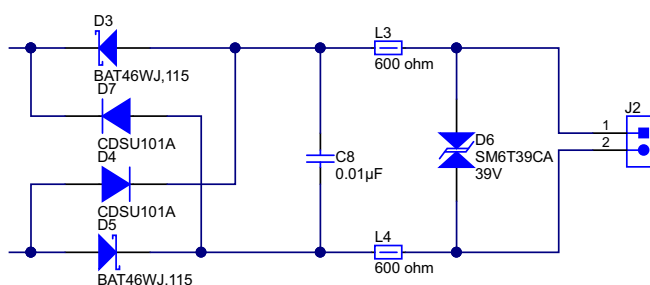


图 4. 输入保护

5.4.2 TVS 二极管选择 D6

要为本设计选择合适的 TVS 二极管，需要满足以下要求：

1. TVS 关断电压 V_{RM} 为 TVS 不导通时的电压，该电压必须高于最高回路输入标称电压，以防在正常工作时 TVS 导通。对于大多数项目和应用，如果 TVS 的泄露电流 I_{RM} 在给定 V_{RM} 下小于 $100\mu A$ ，则可视为满足“不导通”这一条件。然而，DAC 电流回路控制未观察到保护模块内部的泄漏电流，但该电流会叠加到流经回路接收器的回路电流中，这会产生误差。为避免该误差，本设计将泄露电流定位为远低于 $3\mu A$ 。由于泄漏电流通常随温度升高而增大，因此必须同时给出在最高标称回路输入电压与本设计最高工作温度下 TVS 的 I_{RM} 规范。
2. TVS 峰值电流和峰值脉冲功率规范必须高于设计特定条件下的浪涌电流和脉冲功率。多数 TVS 二极管制造商均会指定与 $10/1000\mu s$ 双指数测试脉冲相关的器件；但是，根据 EN 61000-4-5 标准进行浪涌测试所用的脉冲为 $8/20\mu s$ 脉冲。在理想情况下，TVS 制造商还会提供有关此短脉冲的规范。如果未提供规范，则必须使用“峰值脉冲功率与脉冲时间”关系图。该图说明了脉冲持续时间的长短对 TVS 峰值脉冲功率的影响。对于脉宽较短的情况，TVS 可以承受较高的峰值脉冲功率。“峰值脉冲功率与脉冲时间”关系图可参见相应的 TVS 二极管数据表。
3. 当 TVS 导通变为低阻抗并且将电压钳位到安全水平时，TVS 钳位电压 (V_{CL}) 在特定峰值脉冲电流 (I_{PP}) 时的以及在本设计最高工作温度下的 V_{CL} 必须低于该电压所连电路建议的最高工作电压。

本设计选定的 TVS 为 SM6T39CA，该器件满足以下三项要求：

1. I_{RM} (最大值) : $1\mu A$, $V_{RM} = 33.3V$, $85^\circ C$
 I_{RM} (最大值) : $0.2\mu A$, $V_{RM} = 33.3V$, $25^\circ C$
2. 有关 $8/20\mu s$ 脉冲的数据表规范如下：
 I_{PP} (最大值) : $57A$
 P_{PP} (最大值) : $4kW$
 两参数远高于应用特定值：
 I_{PP} : 约为 $22.6A$
3. V_{CL} ($100^\circ C$ 时的最大值) 约为 $55V$

5.4.3 选择输入电容 C8

为了对突变或 ESD 引起的高频瞬态电压进行旁路，选择 $10nF$ 陶瓷 X7R 电容。凭借此电容的 $100V$ 直流电压额定值，器件可与具有足够裕量的 TVS 钳位电压相匹配。

5.4.4 反向输入保护

反向输入电压保护支持发送器在回路输入 (J2) 的反向电压的情况下工作。此类情况的示例如下：

- 因接线错误导致回路输入引脚的两条导线互换（互换可能一直持续）
- 负差模浪涌脉冲（可能因闪电导致或在根据 EN 61000-4-5 标准施加负 $1kV$ 浪涌脉冲进行测试时产生）

正负输入引脚分别由保护二极管提供保护。肖特基二极管凭借其正向电压 (VF) 较低的特性成为保护二极管的首选。肖特基二极管正向偏置时，其高温反向电流 (IR) 较大（温度高于 $85^\circ C$ 时为几百 μA ）的特性不会产生影响。

单向整流器或半波整流器均可提供充分保护。例如由二极管 D3 和 D5 (图 4) 组成的电路（不包括二极管 D7 和 D4）。半波整流器的缺点是整流二极管必须耐受整流器输出电压（通常在后续模块输入端的旁路电容中储存）与所施加负电压的绝对值之和。以本设计为例， $33V$ 与 $60V$ 电压的总和接近 $100V$ 。

在针对正负回路输入引脚单独使用二极管的情况下，该电压可以平分。在实际情况中，由于两二极管之间的反向电流较大，尤其是在高温下使用肖特基二极管时，无法保证平均分压。

半波整流器配置的另一项缺点是电流丢失。这通常会在施加负输入电压的过程中使保护电路之后的模块处于活动状态。因此，全波整流器配置是更为合适的选择。该器件可将整流二极管两端的电压有效钳制为输入电压的绝对值。全波整流器配置还可确保向后续模块持续传输电流，即使施加反向输入电压也是如此。

不过，如果仅使用肖特基二极管构建整流桥，几百 μA 的二极管反向电流 (IR) 会叠加到 TVS 二极管 (D6) 的 $1\mu\text{A}$ IR 中。因此，通过回路接收器测得的回路电流总误差将超出可接受范围。

搭配使用肖特基二极管和硅二极管 (图 4) 可以同时发挥两种二极管的优势。当电源电流为 3.3mA 并且工作温度为 -40° 时，两个正向偏置肖特基二极管 D3 和 D5 产生的最差总正向电压 (FV) 压降仅为 880mV 。两个硅二极管 D7 和 D4 能够防止 D3 和 D5 因接线错误或负差动浪涌脉冲事件而被高于 60V 的电压损坏。D7 和 D4 进行反向偏置。当工作温度为 85°C 时，TVS 二极管的 $1\mu\text{A}$ IR 仅会叠加 $1\mu\text{A}$ 附加反向电流 IR，因此生成的 $2\mu\text{A}$ IR 低于 $3\mu\text{A}$ 设计限值。

即使在 J2 反向施加回路输入电压，保护电路的输出也能向后续模块提供极性正确的电压。在这种情况下，硅二极管 D7 和 D4 为正向偏置。但是，这两个二极管的总 FV 压降处于最差情况 (约为 1.9V)。该值是肖特基二极管产生的总压降 (约为 900mV) 的两倍多。两个肖特基二极管 D3 和 D5 进行反向偏置并作为一个整体使 $500\mu\text{A}$ 附加反向电流叠加到保护电路的总泄漏电流中。

即使在回路输入电压极性相反的情况下，发送器仍处于工作状态，但无法继续匹配发送器的精度规范。不过，一项明显的优势是发送器的电子器件在发生反向瞬变过程中不会掉电。这一优势意味着发送器在瞬变后即可完全恢复典型性能，不会因发送器内部电子器件需要重启而产生任何延时。

6 硬件入门

6.1 电路板说明

请参见图 5，了解 TIDA-00851 PCB 的相应说明。

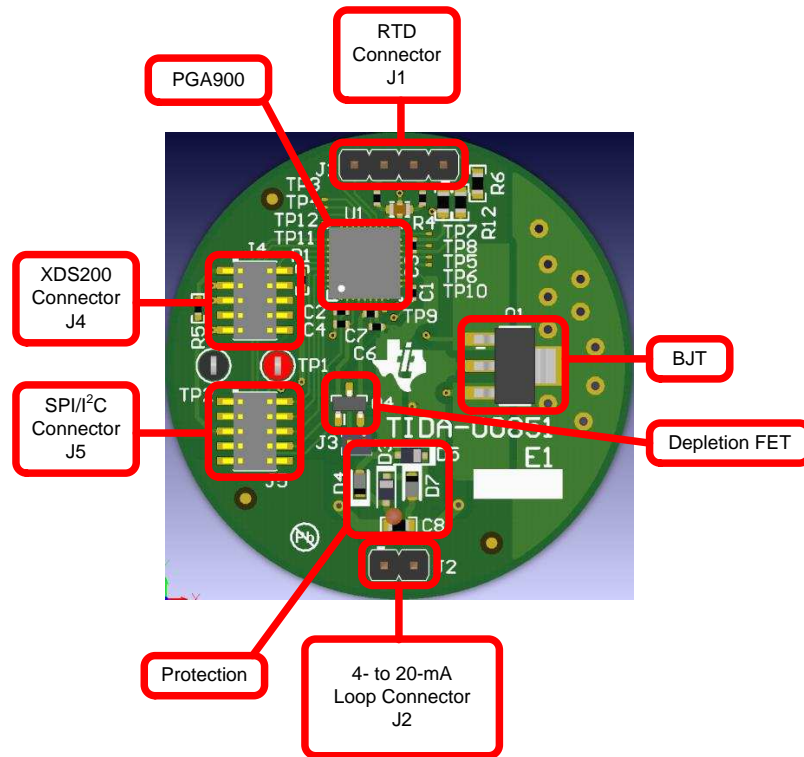


图 5. PCB 概览

- **RTD 连接器 J1:** 四针 2.54mm 排针，用户可连接外部 RTD。本设计使用 PT100 仿真器（Time Electronics 型号 1049）。
- **PGA900:** 主器件。详情请参见 4.1 节。
- **XDS200 连接器 J4:** 此连接器可连接 XDS200 编程器。借助提供的适配器，可在 J4 上直接连接编程器。

J4 引脚	说明
1	AVDD（通过 10kΩ 电阻）
2	SWDIO
3	GND
4	SWDCLK
5	GND
6、7、8 和 10	NC
9	GND

- **SPI/I²C 连接器 J5:** 本设计还在专用连接器上提供了额外接口，用于测试和调试。例如，将本设计与 PGA900EVM 结合使用时，此类连接器非常实用，可使用此连接器将设计与现有的图形用户接口 (GUI) 配合使用。

表 2. J5 说明

J5 引脚	说明
1	SCK
2	SDA
3	CSN
4	MOSI
5	AVDD
6	MISO
7	DVDD
8	SCL
9	GND
10	GND

- **保护:** 保护电路（除了底层的三个元件）可防止出现反极性和浪涌事件。
- **4mA 至 20mA 回路连接器 J2:** 两针的 2.54mm 排针，用户可在此连接器上连接电流回路，从而提供电源电压。
- **耗尽型 FET:** 当此设计以回路提供的高于 30V 的电压工作时，需要使用这种 FET。如果不需要此特性，可在 J3 上使用跳线，绕过场效应晶体管 (FET)。由于不再需要栅极驱动器，在这种情况下 PGA900 需要进行重新编程。
- **BJT:** 晶体管，用于驱动 4mA 至 20 mA 电流回路。

此 PCB 还有额外的测试点，为用户提供 PGA900 所有可用信号。

6.2 硬件要求

对设计进行测试时需要使用以下设备：

- TIDA-00851 TI 参考设计
- 数字万用表 (DMM): 6½ DMM 即可满足要求；8½ DMM 更佳
- 电源 (24 V)
- PT100 仿真器（或 PT100 阻值范围内的精密电阻）
- XDS200 调试器
- UART 转 USB 电缆（此处为：FTDI – TTL-232R-3V3）
- PC

6.3 独立设置

图 6 所示为 TIDA-00851 的设置，步骤概括如下：

1. 将 PT100 仿真器（或精密电阻）连接到 J1。
2. 将 XDS200 调试器连接到 J4 端和用户 PC。
3. 将 J5 和用户 PC 用 UART 转 USB 电缆连接起来。
4. 将电源连接到 J2，并串联一个电流表，用于测量回路电流。

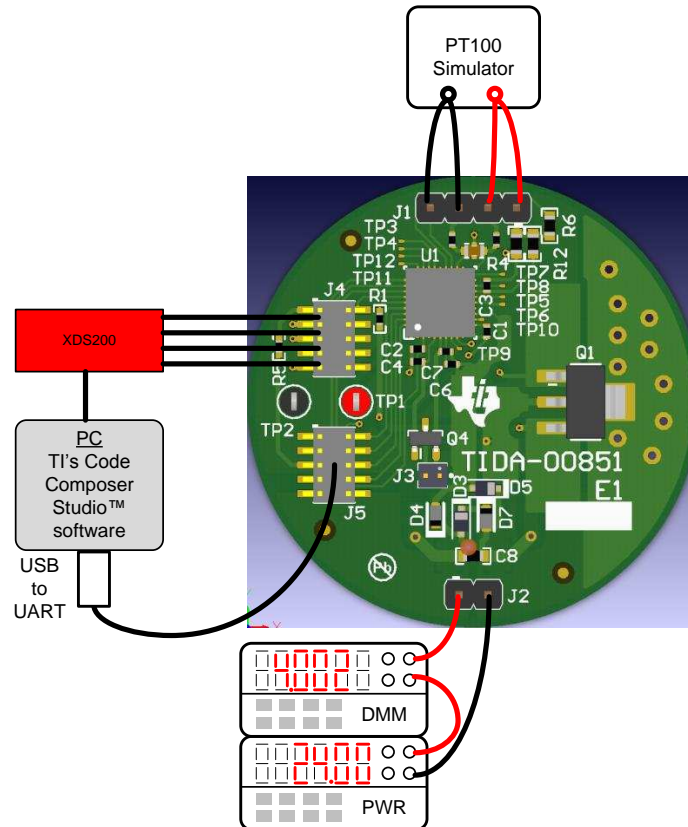


图 6. TIDA-00851 设置

有关将固件载入 PGA900 器件的详细信息，请参见7节，固件入门。

当设计上电并运行时，用户可以观察到回路电流随 PT100 值变化而变化。

6.4 EVM 设置

TIDA-00851 TI 参考设计可与现有的 PGA900EVM 及其 GUI 结合使用。采用这种方案时，无需使用 M0 处理器即可轻松对 PGA900 的 ADC 和 DAC 等构件进行配置。由于借助 EVM 的 GUI 还可通过 Python 进行控制，因此可轻松对不同构件进行自动测试。

6.4.1 硬件设置

除了 6.2 节所列硬件外，EVM 设置还需要额外的硬件：

- PGA900EVM
- USB2ANY 电路板
- 不再需要 XDS200 调试器
- 不再需要 UART 转 USB 电缆

要将 PGA900EVM 与 TIDA-00851 电路板相连，需将 PGA900 从 EVM 的插座上拆下。

按照表 3 进行设置，即可得正确的硬件设置。

表 3. TIDA-00851 和 PGA90EVM 的硬件设置

TIDA-00851	PGA900EVM (HREL017 REV.A)	EVM 说明
J2 – 引脚 1	TP20	VDD ⁽¹⁾
J2 – 引脚 2	TP42	FBP
J5 – 引脚 2	TP15	SDA
J5 – 引脚 3	TP13	CSN
J5 – 引脚 8	TP16	SCL
X	J1, J2, J3, J4, J5, J7, J9, J10, J13, J24, J25, J26, J27, J28, J30	短接
X	J6, J8, J11, J12, J15, J16	断开
X	J14	引脚 2-3 短接
X	J19	引脚 1-2 短接

⁽¹⁾ 表示要串联电流表，用于测量回路电流。

6.4.2 PGA900 GUI

按照硬件说明 (<http://www.ti.com.cn/tool/cn/PGA900EVM>) 装好硬件并安装 PGA900EVM GUI 后，启动软件。

图 7 至图 11 所示为第一个 GUI 画面和设定 GUI 的后续步骤，GUI 详情请参见表 4。

表 4. PGA900EVM GUI 设置

GUI 按钮	说明	参考
微控制器 (Microcontroller) → 数字接口 (Digital interface)	启用数字接口对器件进行控制。	图 8
I ² C	激活 I ² C 接口进行通信。	图 8
增益和 ADC (Gain and ADC)	选择增益和 ADC。	图 9
启用 VREF 缓冲 (Enable VREF buffer)	为参考电压启用内部缓冲。	图 9
模拟电源 (Analog power)	接通模拟电源。	图 9
ADC_CFG_1	启用 ADC。	图 9
TEMP_MUX_CTRL	选择 T 通道 MUX 设定。	图 9
TSEM_N	将测量模式设置为差分测量。	图 9
TEST_MUX_T_EN	将测试 MUX 连接至 ADC。	图 9
TADC_EN	启用 TADC。	图 9
TADC_EN_24BIT	设为 24 位模式。	图 9
READ ADC	读取 ADC 数据。	图 9
DAC 和 PWM 设定 (DAC & PWM settings)	选择 DAC 和 PWM 设定。	图 10
DAC_ENABLE	启用 DAC。	图 10

表 4. PGA900EVM GUI 设置 (continued)

GUI 按钮	说明	参考
TEST_MUX_DAC_EN	将测试 MUX 连接至 DAC。	图 10
电流 AMP (CURRENT AMP)	选择电流输出并激活 4-20mA。	图 10
DAC REG0	将 AC REG0 寄存器设为 0x0000，并写入数据。电流消耗会降低。用户可将不同的值写入 DAC 寄存器的此位置，以此更改回路电流。	图 10
ADC 捕捉 (ADC Capture)	选择 ADC 捕捉。	图 11
模式 (Mode)	选择在图中显示电压还是 ADC 代码。	图 11
寄存器 (Register)	选择显示 PADC 还是 TADC 数据。	图 11
位数 (Bits)	选择 16 位或 24 位。	图 11
T_GAIN	选择通道的增益设置。	图 11
启动/停止 (Start/Stop)	启动/停止捕捉 ADC 数据（缓冲的最大值 1024）。	图 11
TADC (图表) (TADC (graph))	用户可右键单击此图标，选取 EXPORT 功能，将捕捉的数据储存到文件中。	图 11

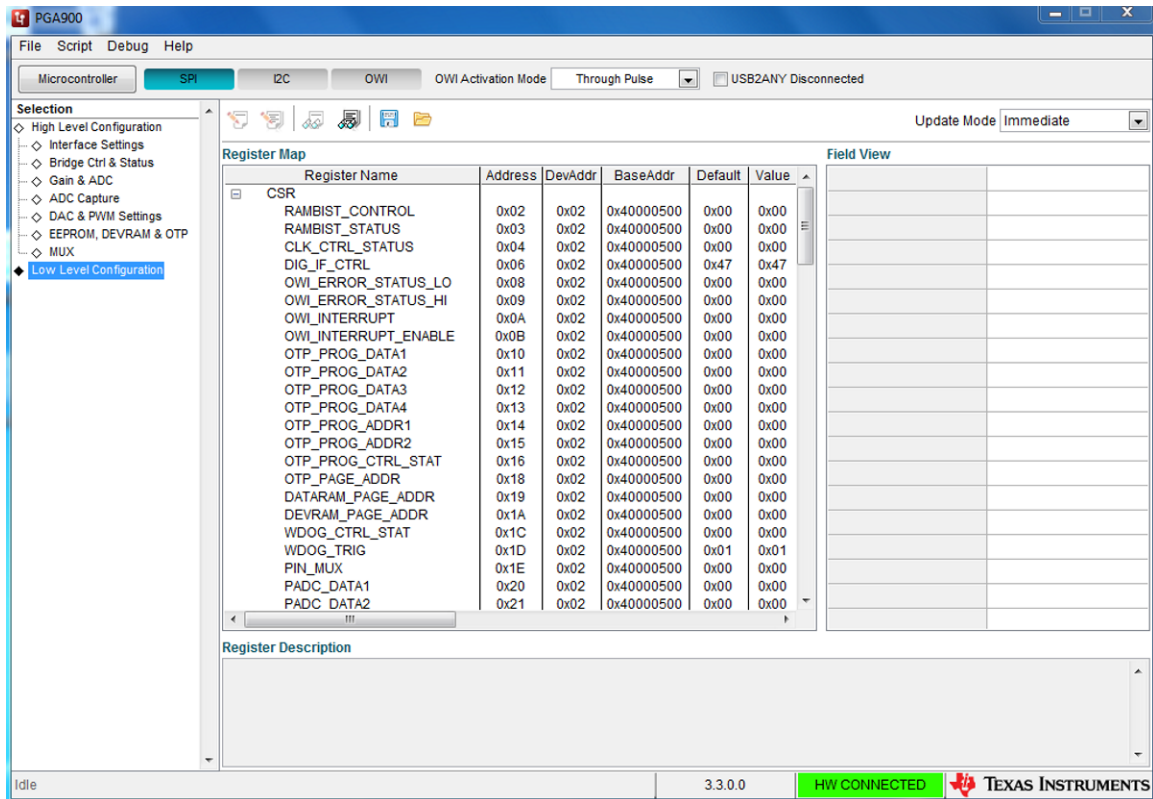


图 7. PGA900 GUI 第 1 步

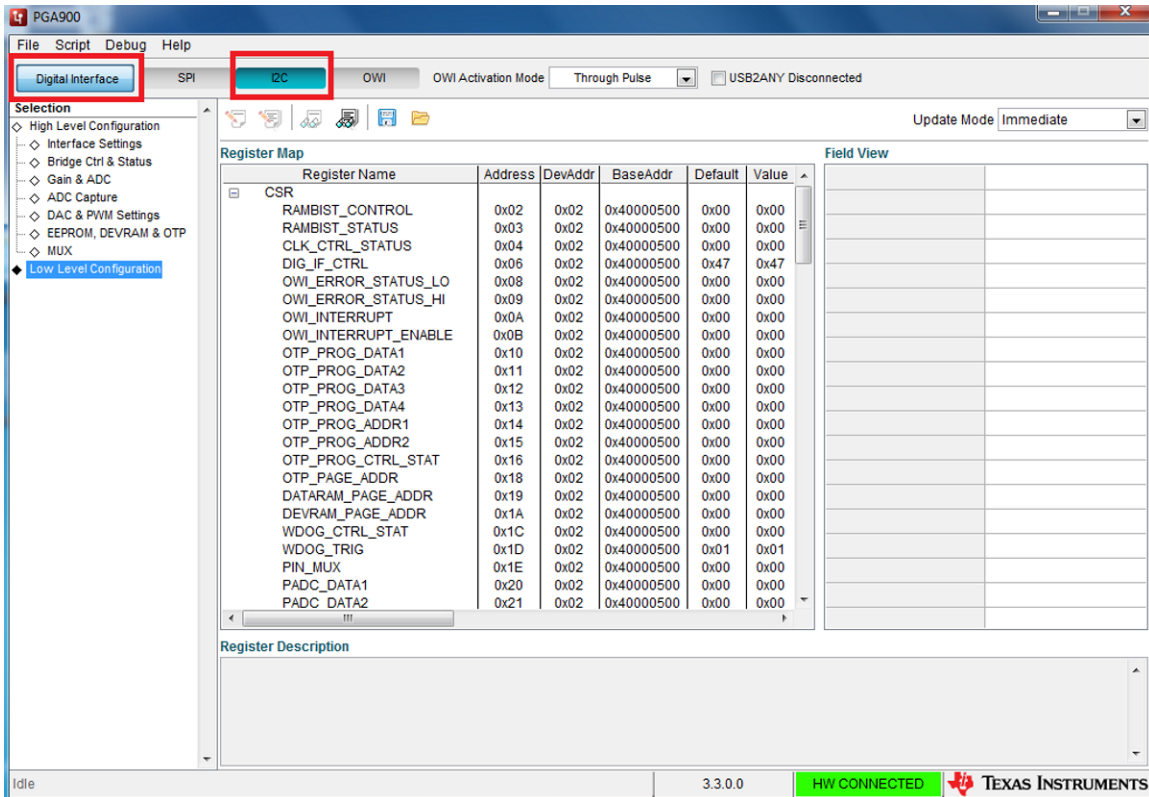


图 8. PGA900 GUI 第 2 步

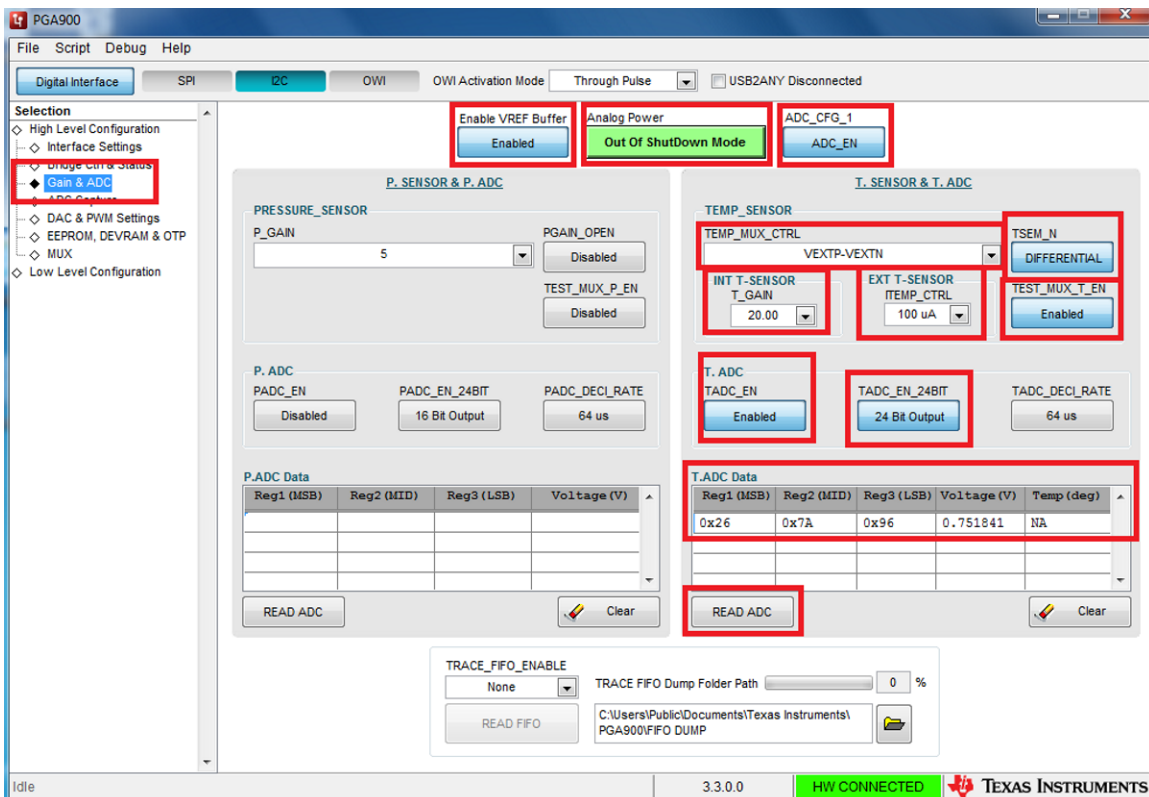


图 9. PGA900 GUI 第 3 步

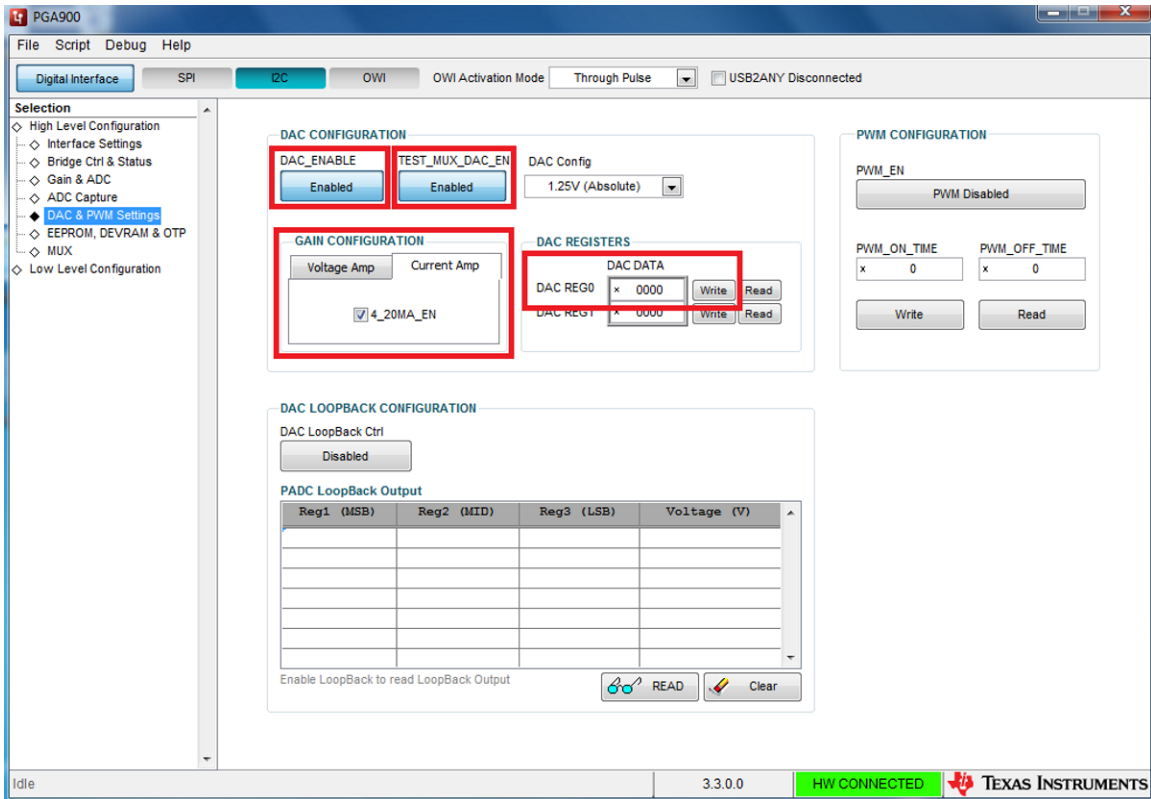


图 10. PGA900 GUI 第 4 步

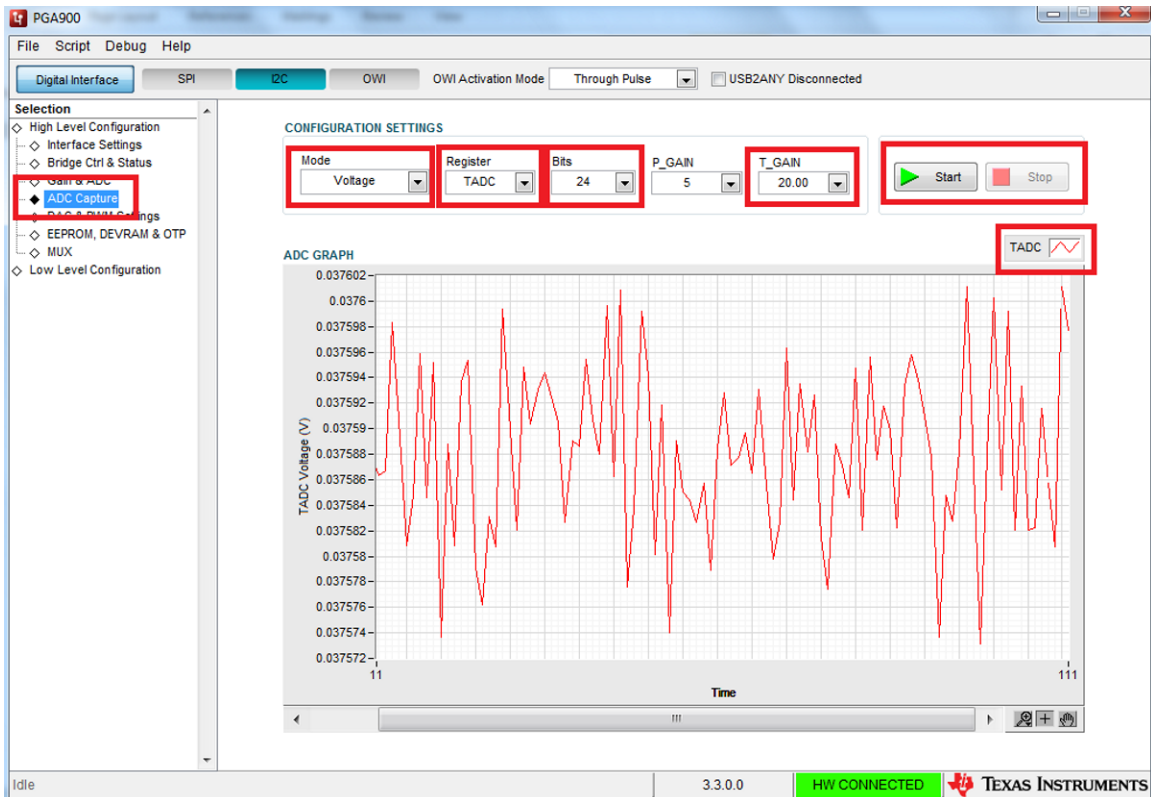


图 11. PGA900 GUI 第 5 步

7 固件入门

如需下载本参考设计的软件文件，可转至链接 <http://www.ti.com.cn/tool/cn/TIDA-00851>。

7.1 软件设置

如需了解有关软件设置的详细信息，请参见《PGA900 软件快速入门指南》（文献编号：[SLDU015](#)）。

7.2 RTD 演示软件

本软件基于 PGA900 通用固件。如需了解有关 PGA900 通用固件的详细信息，请参见《PGA900 软件用户指南》（文献编号：[SLDU013](#)）。

已设计软件代码来实现温度变送器应用程序，从而接收来自 RTD 温度探头的数据，并将温度读数以 4mA 至 20mA 信号形式发送出去。软件代码还可执行系统级偏移及增益校准，从而提高 ADC 和 DAC 的精度，还可实现线性差值，应对 RTD 元件的非线性特性。

文件 *RTD_Lookuptable.xlsx* 可用于生成 RTD 查询表。此查询表必须保存在 *RTD_Math.c* 文件中。

在文件 *RTD_Math.h* 中，可调整 ADC 和 DAC 的偏移及增益校准值。以下值可用于校准：

- DAC_OFFSET
- DAC_GAIN_CORRECTION
- ADC_OFFSET
- ADC_GAIN_CORRECTION

软件还能求取 ADC 结果的平均值。求取平均值的样本的数量可通过 *pga900_adc.h* 文件中的 `ADC_SAMPLES` 进行调整。

如果已定义 `UART_TESTING`，则结果将通过 UART 端口发送。

8 测试装置

使用图 12 所示装置对设计进行测试。对设计进行测试时需要使用以下设备：

- TIDA-00851 TI 参考设计
- DMM: 6½ DMM 即可满足要求; 8½ DMM 更佳
- 电源 (24 V)
- PT100 仿真器 (或 PT100 阻值范围内的精密电阻)
- XDS200 调试器
- UART 转 USB 电缆 (此处为: FTDI – TTL-232R-3V3)
- PC

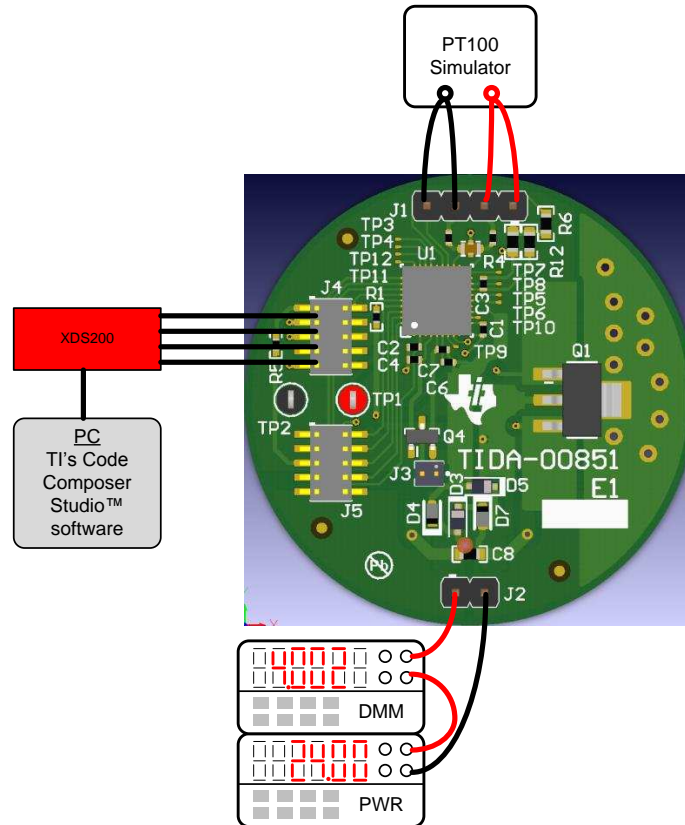


图 12. 测试装置

8.1 PT100 仿真器

若要指定系统精度，则需要使用精密的参考电阻。测试过程中，使用电阻值固定的 PT100 仿真器，代表不同的温度。表 5 中，第一列代表仿真器可选的温度。第二列代表用 8½ DMM 测得的实际电阻值。第三列所示为所测电阻值对应的温度值。

表 5. PT100 仿真器的值

PT100 仿真器温度 (°C)	测得的 PT100 仿真器电阻值 (Ω)	基于测量值所得的 PT100 仿真器温度 (°C)
-200	18.566	-199.894
-100	60.291	-99.9132
-50	80.33	-49.9403
0	100.0265	0.067805
50	119.401	50.01006
100	138.598	100.2439
200	175.869	200.0354
500	280.977	499.9985
800	375.7035	799.9983

8.2 电流回路

由于 TIDA-00851 采用了回路供电设计，因此在 J2 上连接了 24V 电源，并串联了电流表。

8.3 编程和调试

将 XDS200 编程器连接至 J4，用于对 PGA900 器件进行编程。另外，出于测试目的，可读取 ADC 代码，并可读取已执行写入操作的 DAC 寄存器。

9 测试数据

9.1 模拟前端

模拟前端已经通过在输入端连接多个精密电阻的方式进行了测试。下列各图为根据测试过程中进行的 1024 次捕捉绘制的曲线图。

图 13 为输入端接时的直方图。

图 14 至图 31 所示为输入端采用不同 PT100 值时的直方图。图 32 至图 40 所示为相应温度变化时的直方图。所提供的值列于表 5 中。对于每个电阻值，都给出了两幅不同的直方图。第一幅图表示未求平均值的结 果；第二幅图则是对 64 个捕捉的 ADC 代码值求平均值之后的图。取平均值操作在 M0 处理器中执行。

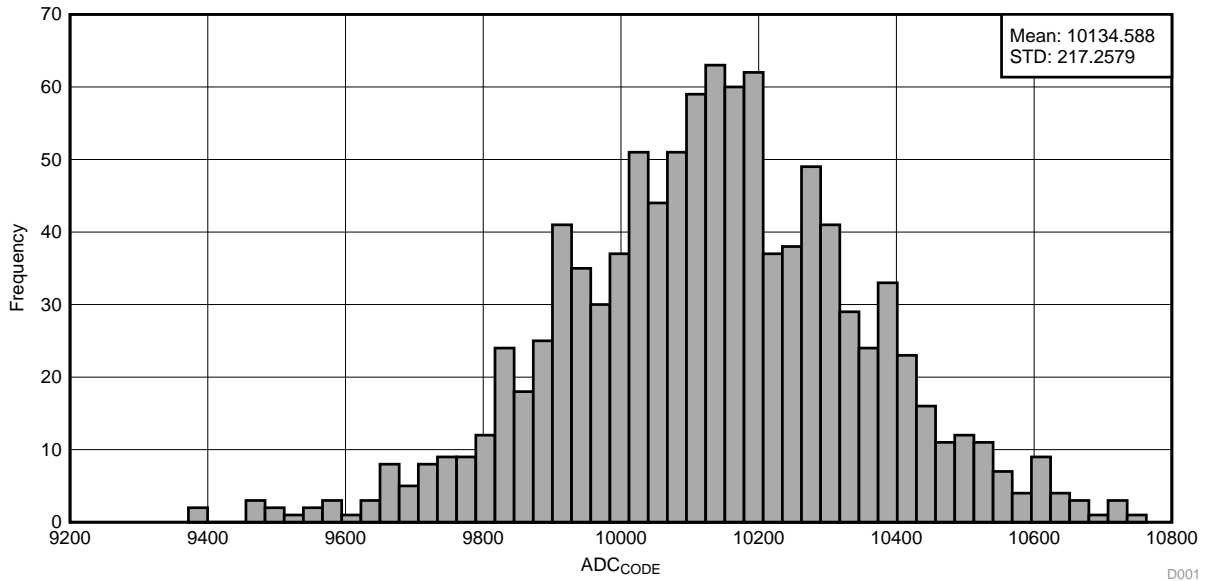


图 13. J1 端输入断路

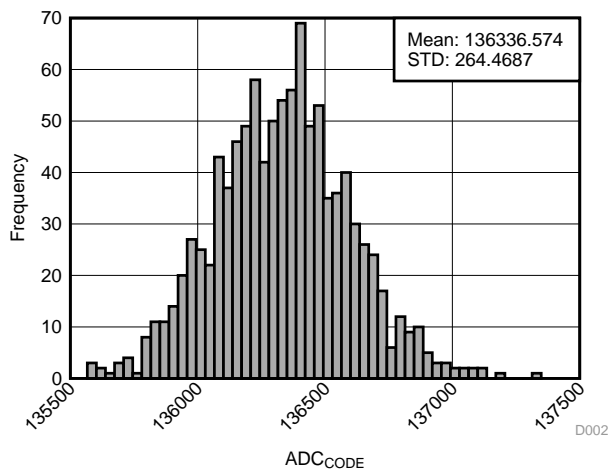


图 14. PT100 仿真器: -200°C, 未求平均值

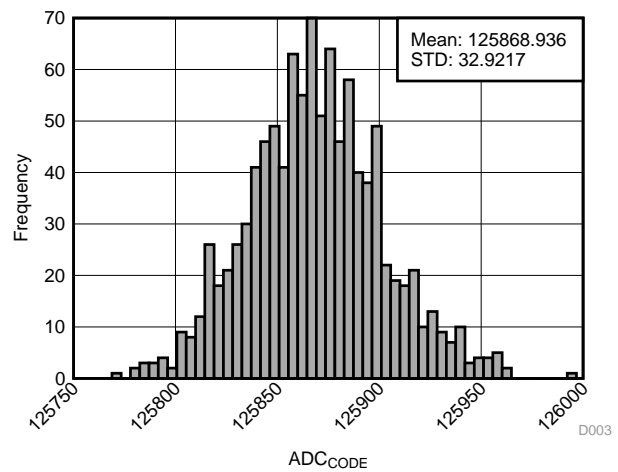


图 15. PT100 仿真器: -200°C, 求平均值 (64 个值)

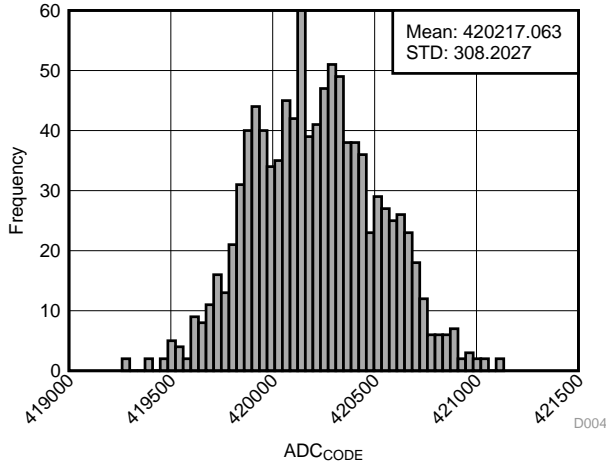


图 16. PT100 仿真器: -100°C, 未求平均值

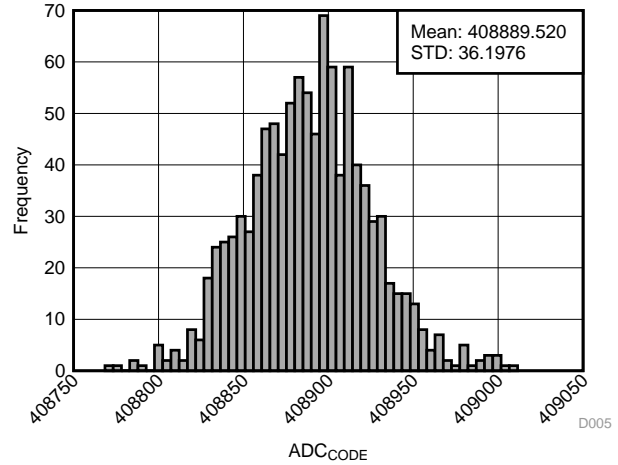


图 17. PT100 仿真器: -100°C, 求平均值 (64 个值)

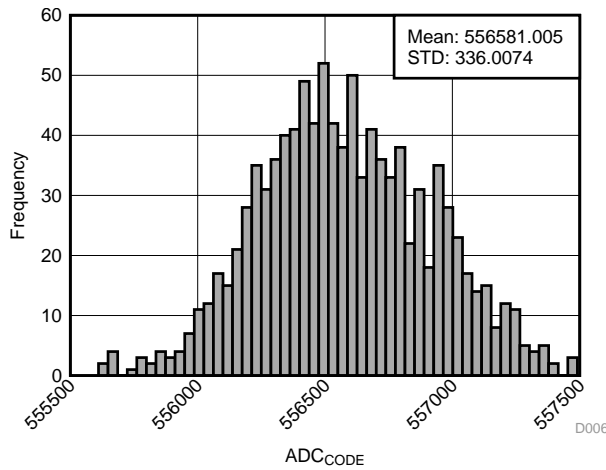


图 18. PT100 仿真器: -50°C, 未求平均值

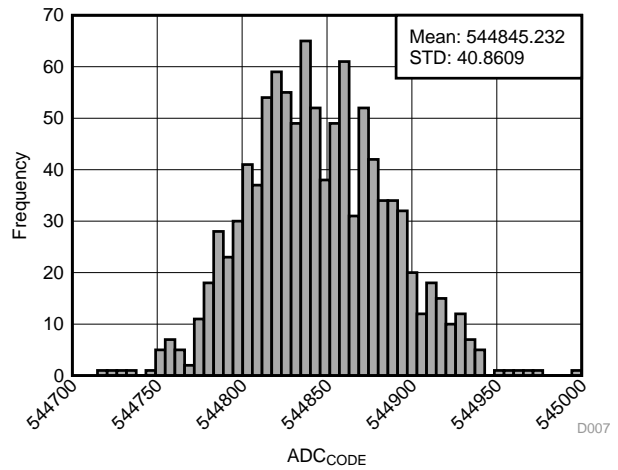


图 19. PT100 仿真器: -50°C, 求平均值 (64 个值)

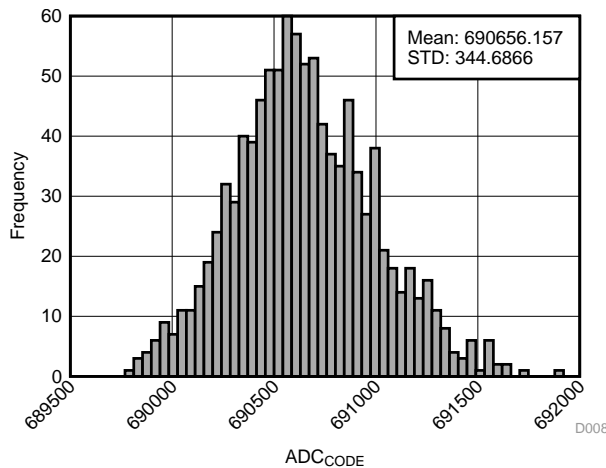


图 20. PT100 仿真器: 0°C, 未求平均值

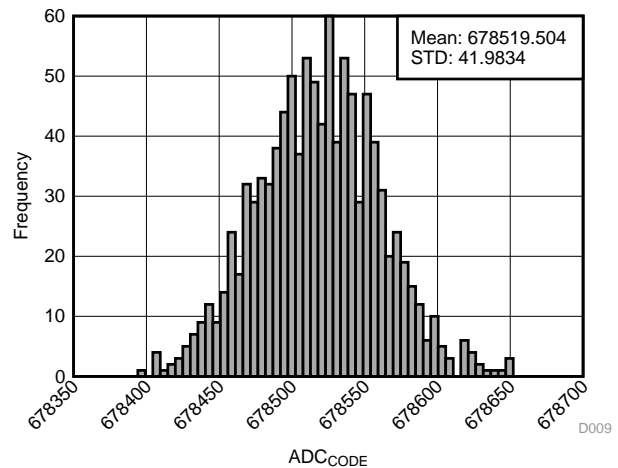


图 21. PT100 仿真器: 0°C, 求平均值 (64 个值)

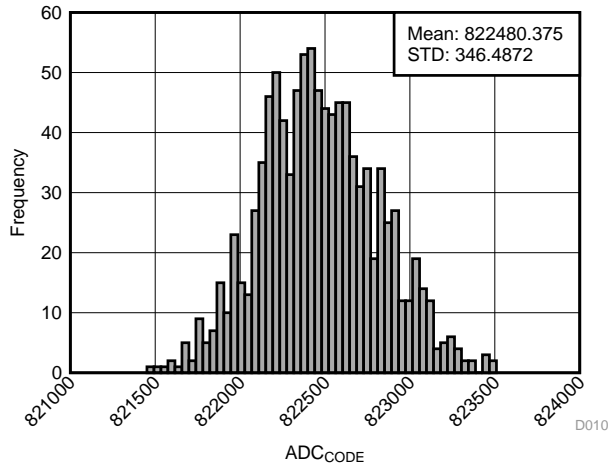


图 22. PT100 仿真器: 50°C, 未求平均值

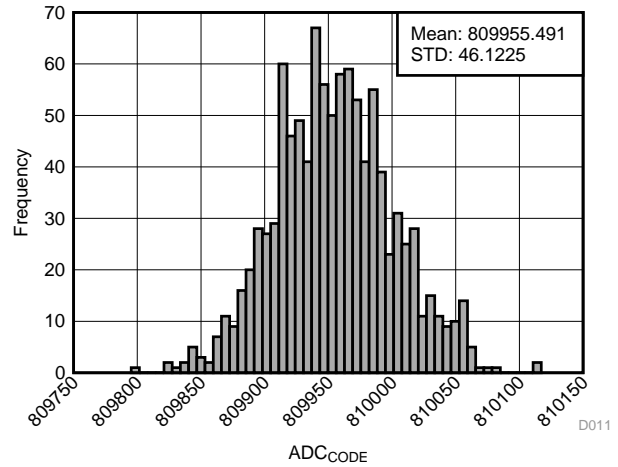


图 23. PT100 仿真器: 50°C, 求平均值 (64 个值)

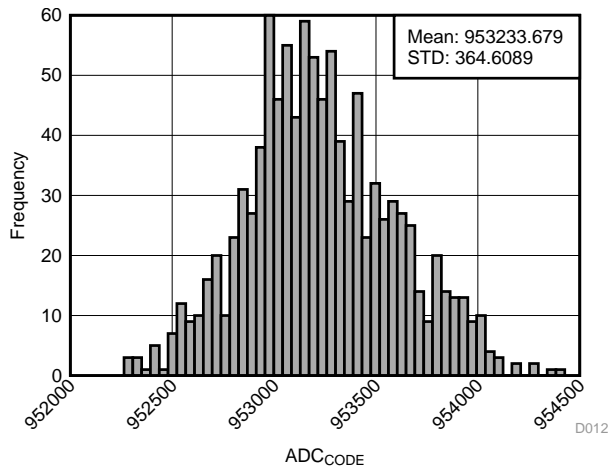


图 24. PT100 仿真器: 100°C, 未求平均值

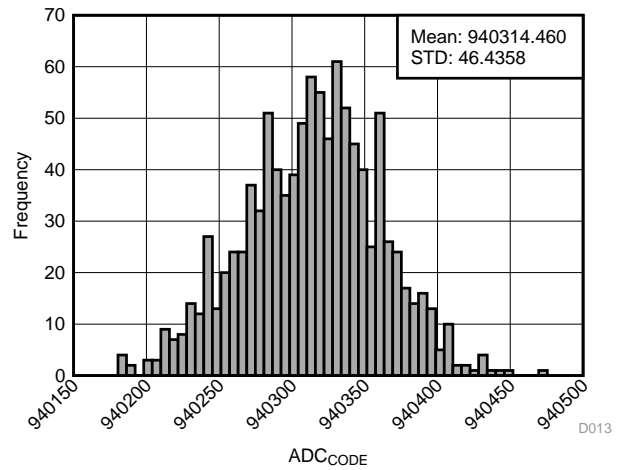


图 25. PT100 仿真器: 100°C, 求平均值 (64 个值)

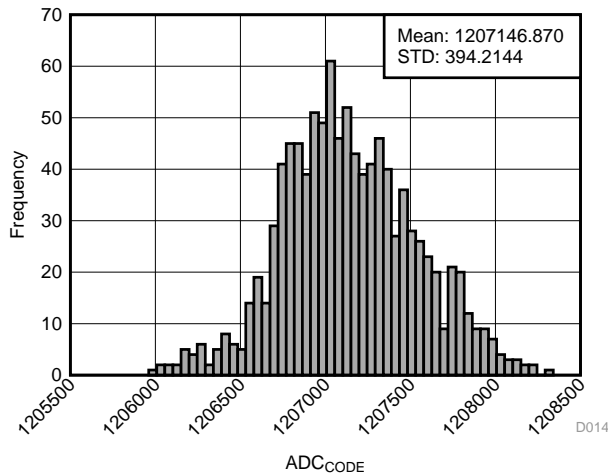


图 26. PT100 仿真器: 200°C, 未求平均值

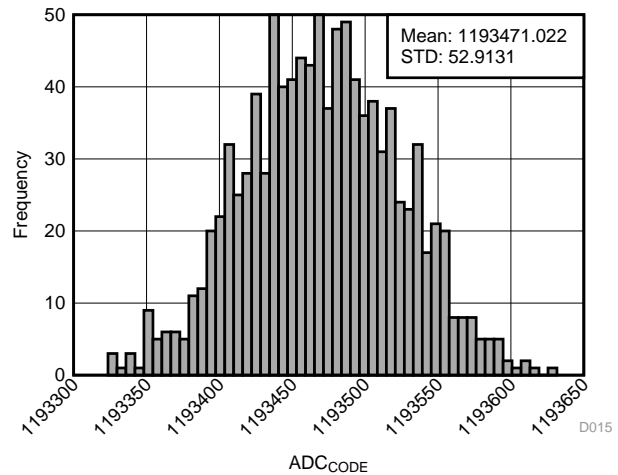


图 27. PT100 仿真器: 200°C, 求平均值 (64 个值)

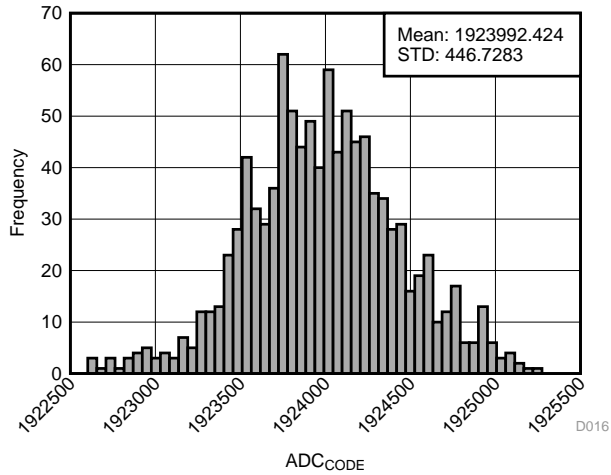


图 28. PT100 仿真器: 500°C, 未求平均值

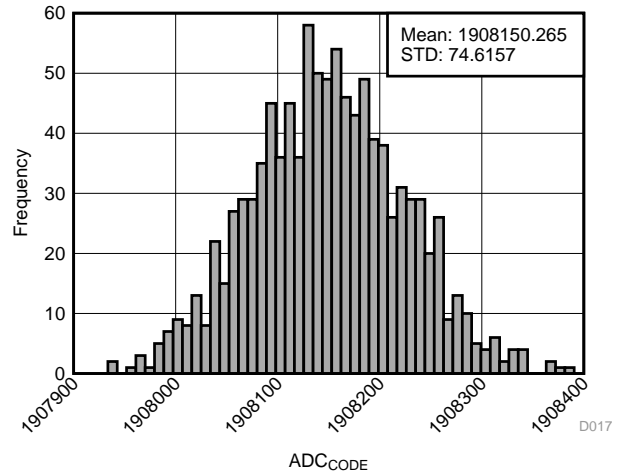


图 29. PT100 仿真器: 500°C, 求平均值 (64 个值)

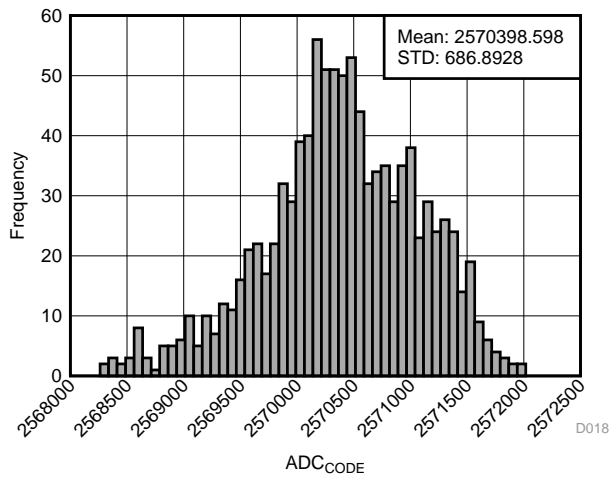


图 30. PT100 仿真器: 800°C, 未求平均值

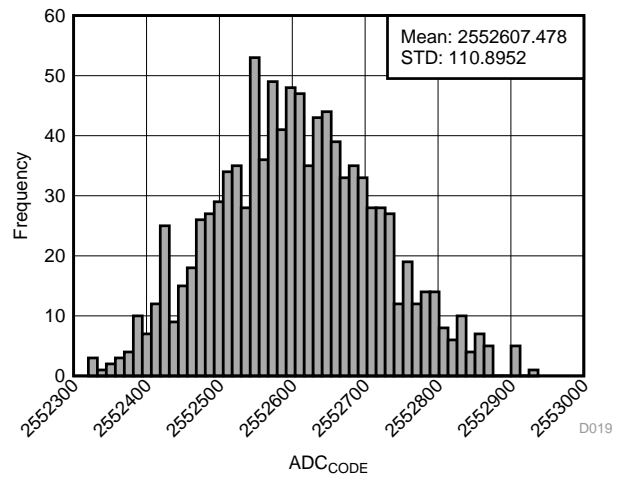


图 31. PT100 仿真器: 800°C, 求平均值 (64 个值)

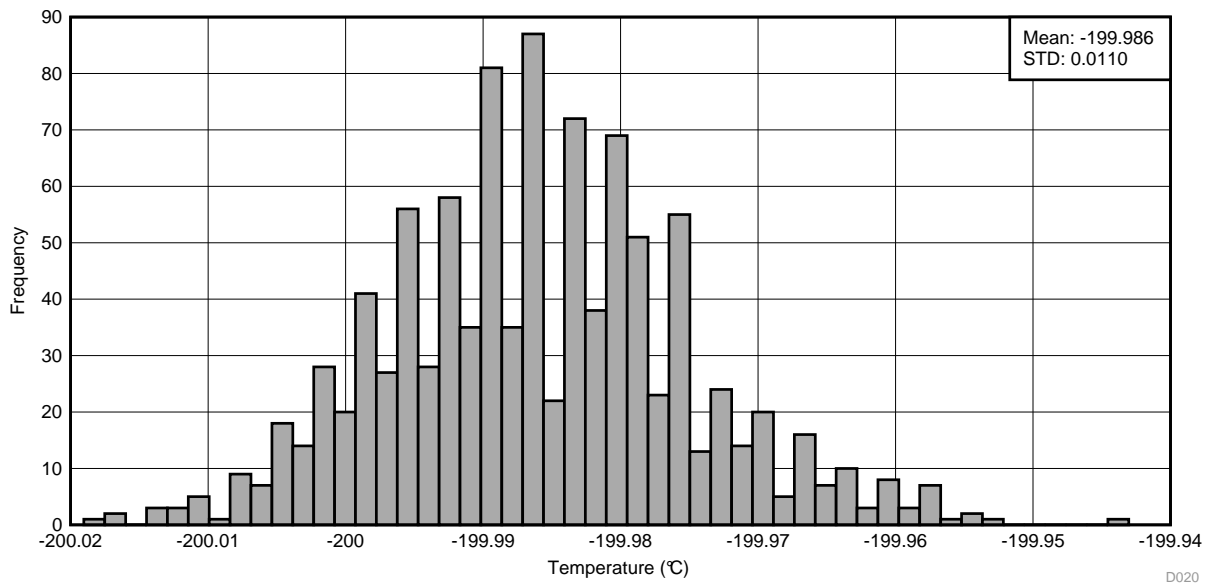


图 32. PT100 仿真器: -200°C, 求平均值 (64 个值)

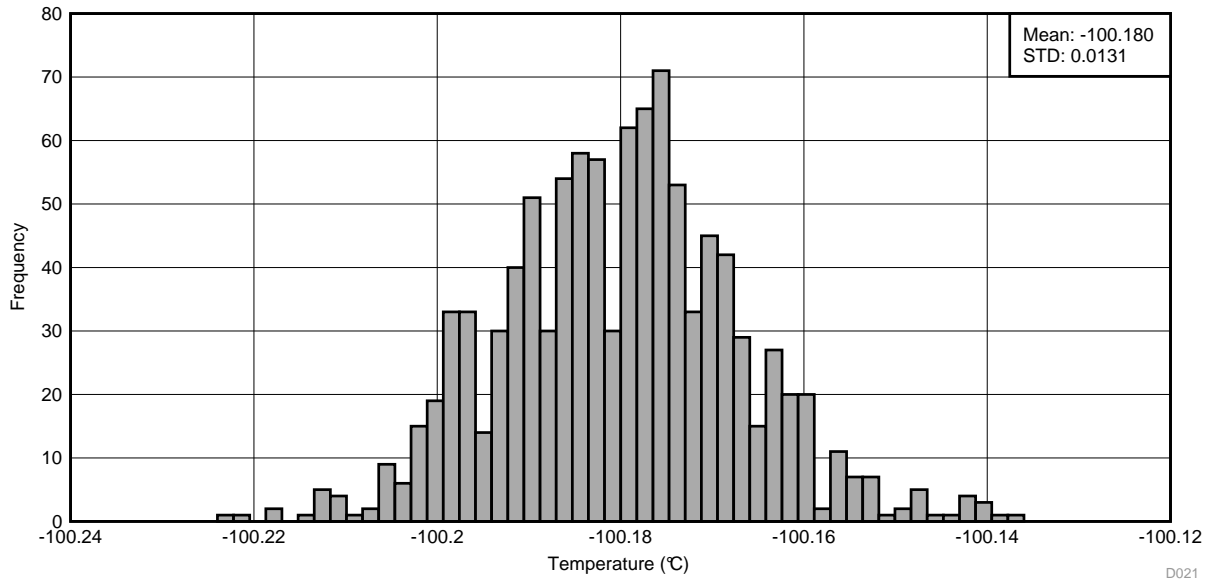


图 33. PT100 仿真器: -100°C, 求平均值 (64 个值)

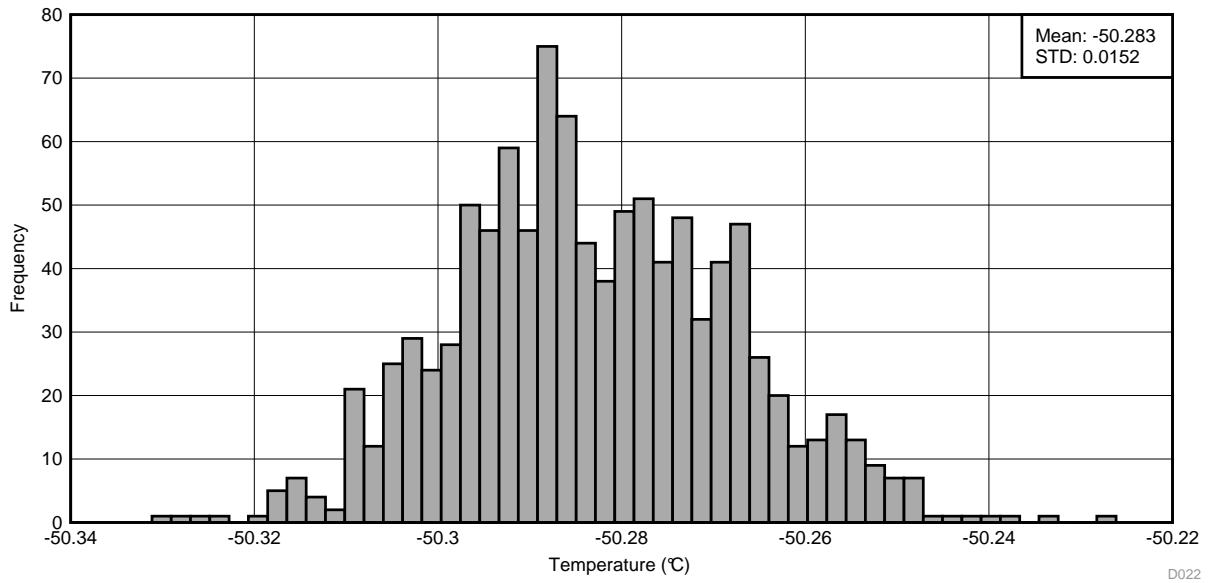


图 34. PT100 仿真器: -50°C, 求平均值 (64 个值)

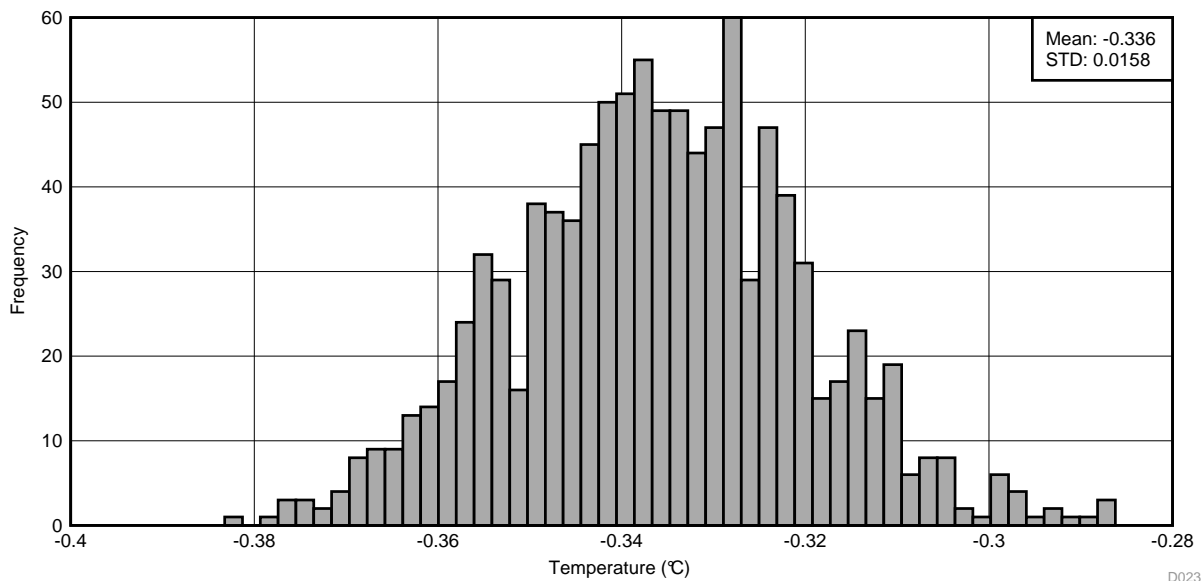


图 35. PT100 仿真器: 0°C, 求平均值 (64 个值)

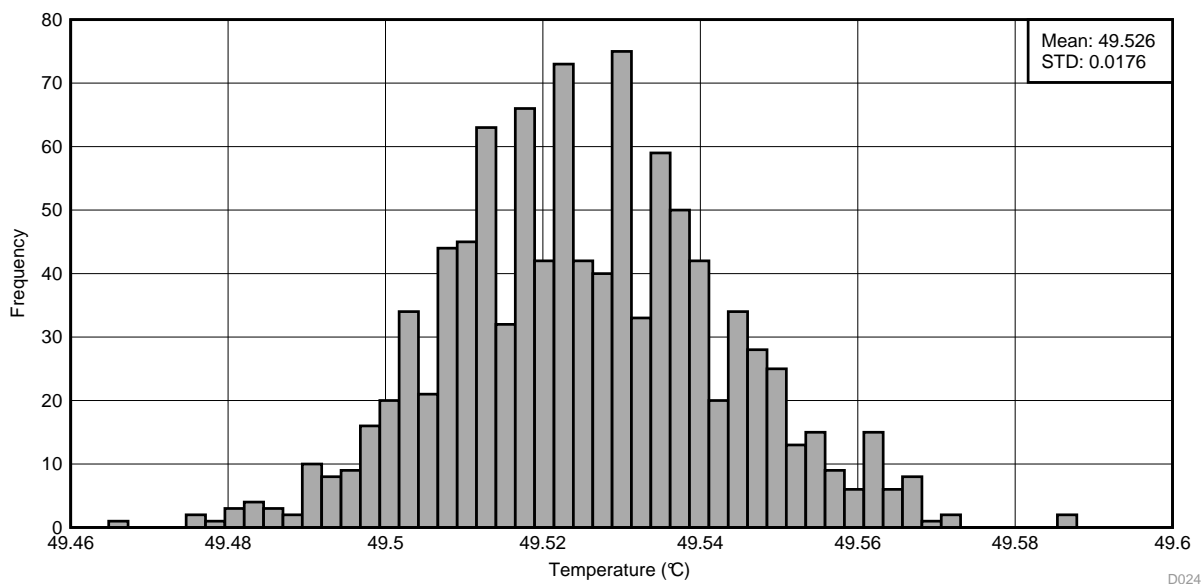


图 36. PT100 仿真器: 50°C, 求平均值 (64 个值)

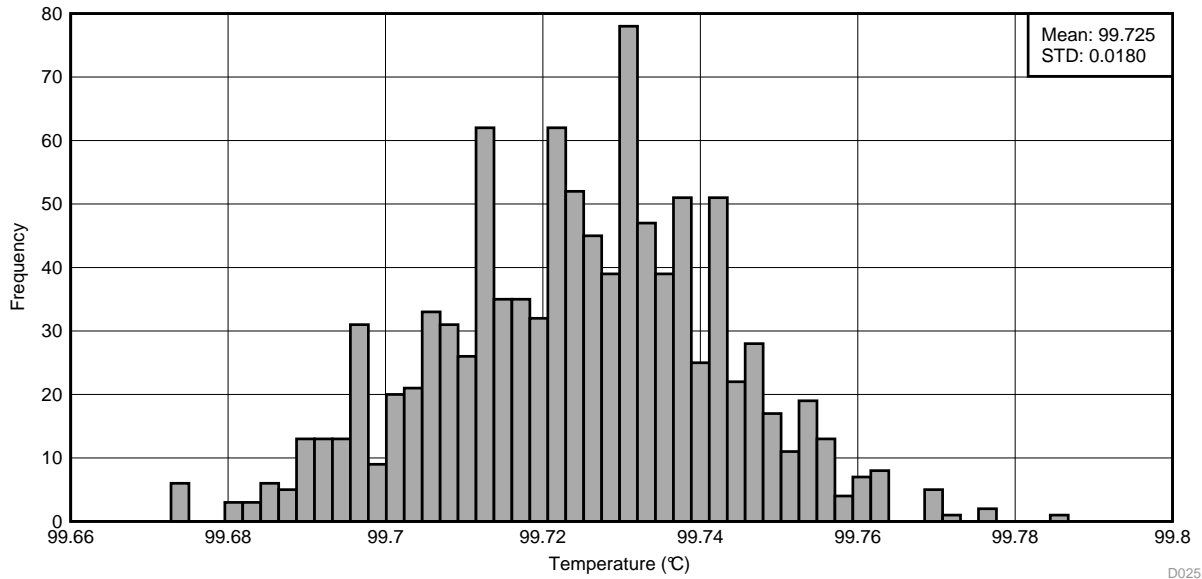


图 37. PT100 仿真器: 100°C, 求平均值 (64 个值)

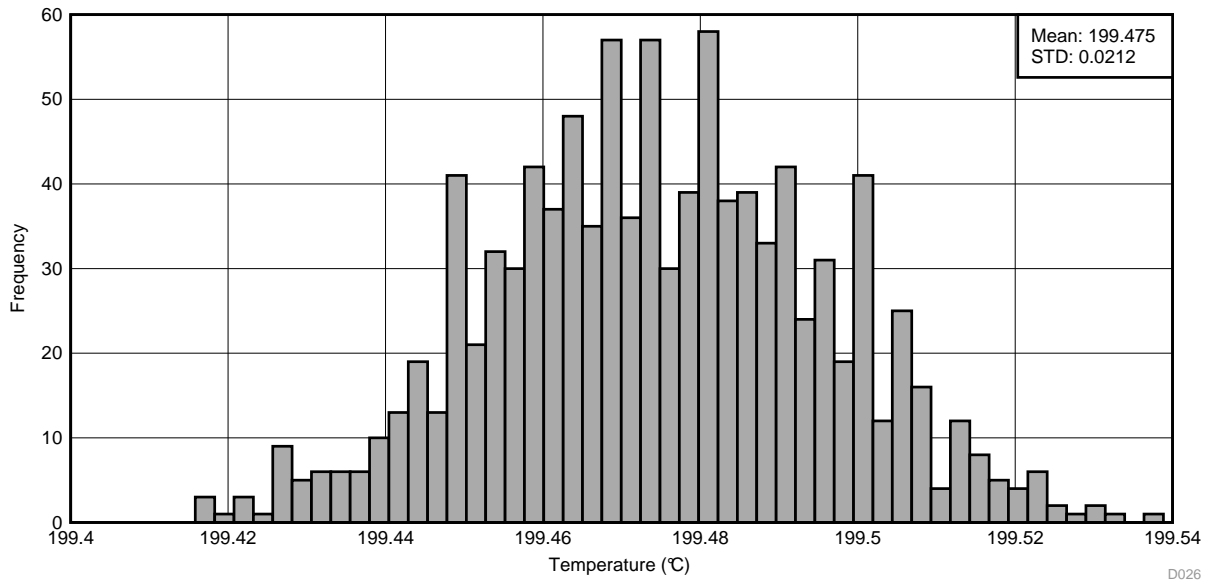


图 38. PT100 仿真器: 200°C, 求平均值 (64 个值)

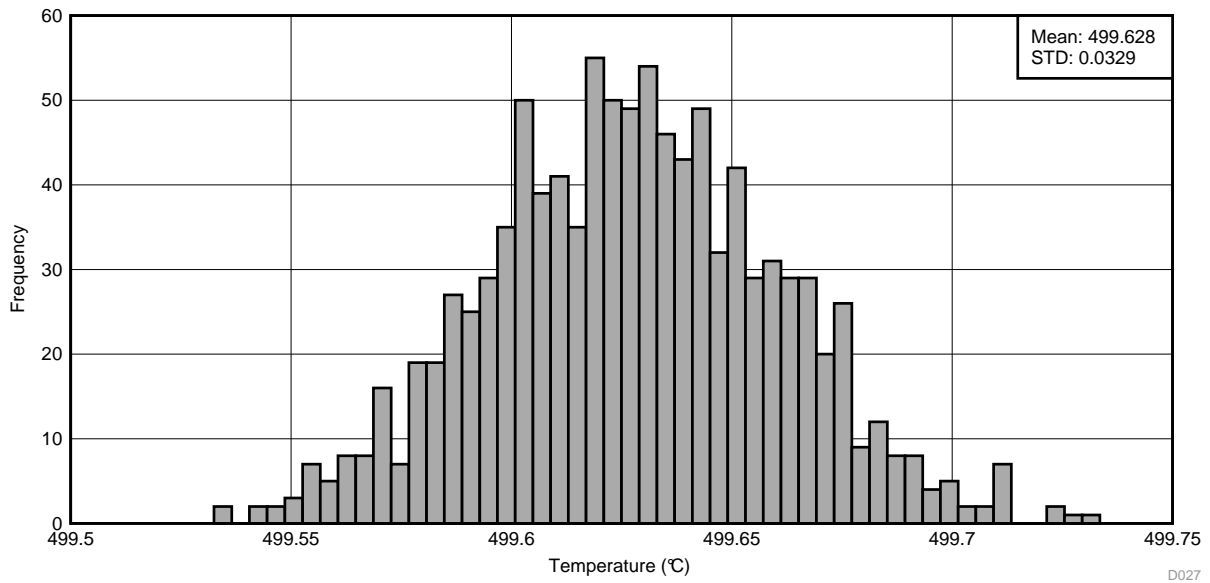


图 39. PT100 仿真器: 500°C, 求平均值 (64 个值)

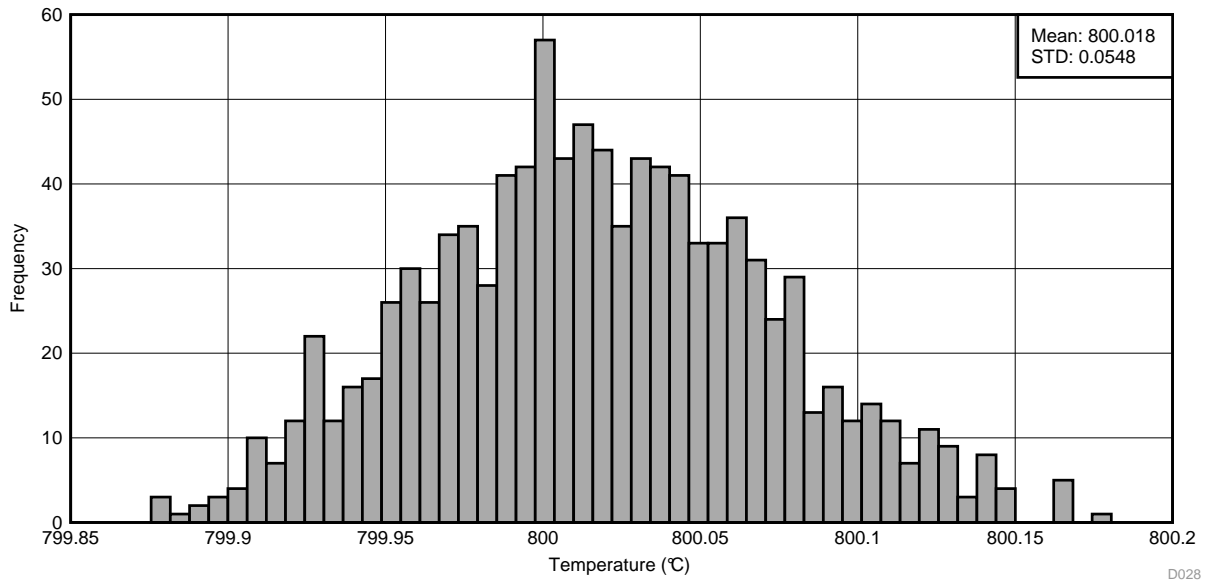


图 40. PT100 仿真器: 800°C, 求平均值 (64 个值)

10 设计文件

10.1 电路原理图

要下载原理图，请参见 [TIDA-00851](#) 的设计文件。

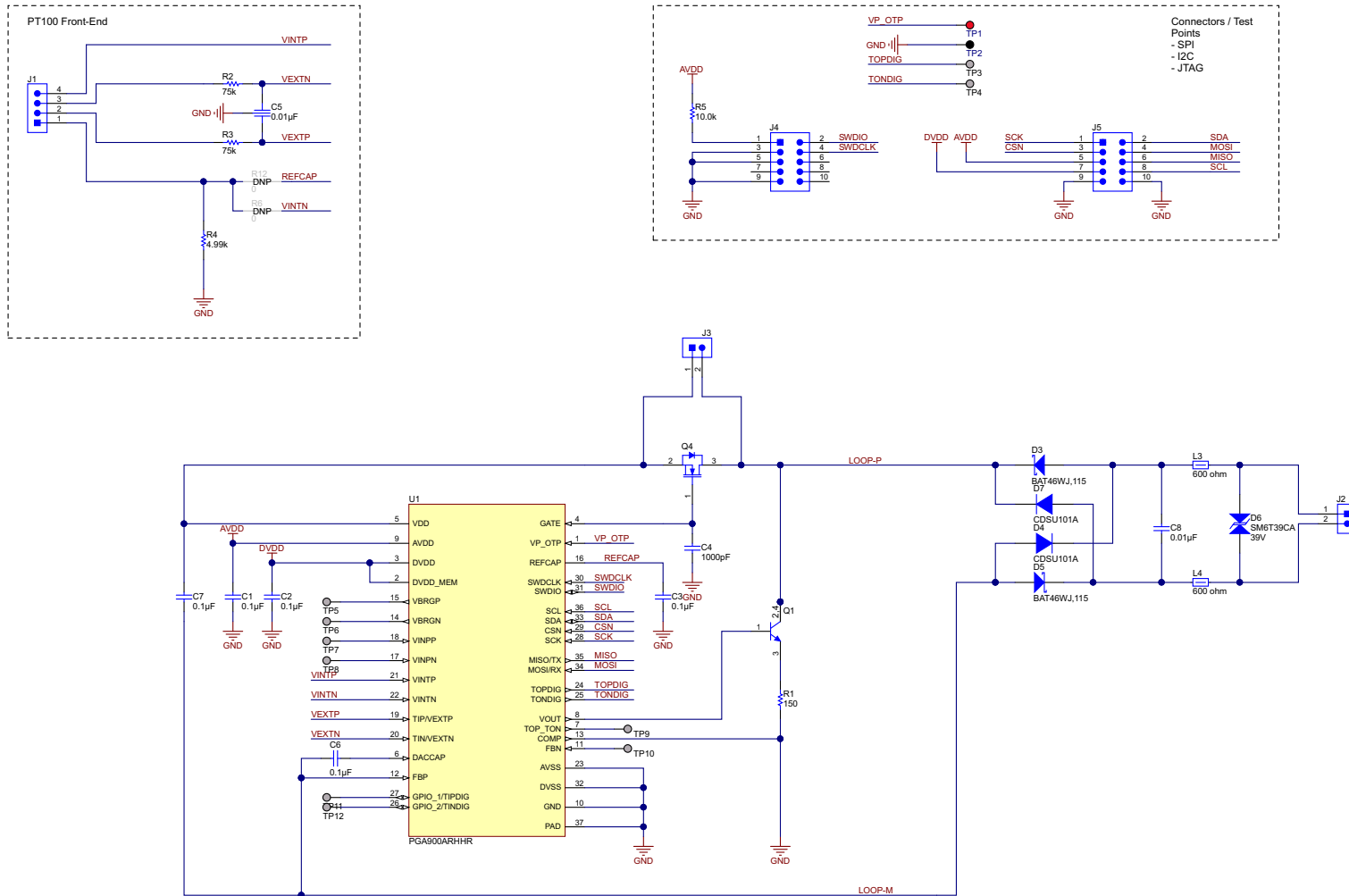


图 41. TIDA-00851 原理图

10.2 物料清单

要下载物料清单 (BOM), 请参见 [TIDA-00851](#) 的设计文件。

表 6. TIDA-00851 BOM

项目编号	标识符	数量	值	部件编号	制造商	说明	封装参考
1	PCB	1		TIDA-00851	任意制造商	印刷电路板	
2	C1, C2, C3, C6, C7	5	0.1uF	C1005X7R1H104K050BB	TDK	电容, 陶瓷, 0.1μF, 50V, +/-10%, X7R, 0402	0402
3	C4	1	1000pF	GRM155R61C102KA01D	村田 (Murata)	电容, 陶瓷, 1000pF, 16V, +/-10%, X5R, 0402	0402
4	C5	1	0.01uF	500X14W103MV4T	Johanson Technology	电容, 陶瓷, 0.01μF, 50V, +/-20%, X7R, 0603	0603
5	C8	1	0.01uF	C1608X7R2A103K	TDK	电容, 陶瓷, 0.01μF, 100V, +/-10%, X7R, 0603	0603
6	D3, D5	2	100V	BAT46WJ,115	恩智浦半导体 (NXP Semiconductor)	二极管, 肖特基, 100V, 0.25A, SOD-323F	SOD-323F
7	D4, D7	2	90V	CDSU101A	典琦科技 (Comchip Technology)	二极管, 开关, 90V, 0.1A, SOD-323	SOD-523F
8	D6	1	39V	SM6T39CA	STMicroelectronics	二极管, TVS, 双向, 39V, 600W, SMB	SMB
9	J1	1		61300411121	伍尔特电子 (Würth Elektronik)	插头, 2.54mm, 4x1, 金, TH	插头, 2.54mm, 4x1, TH
10	J2	1		61300211121	伍尔特电子 (Würth Elektronik)	插头, 2.54mm, 2x1, 金, TH	插头, 2.54mm, 2x1, TH
11	J3	1		GRPB021VWVN-RC	赛凌思科技有限公司 (Sullins Connector Solutions)	插头, 50mil, 2x1, 金, TH	2x1 插头
12	J4, J5	2		BB02-BS101-KA8-025B00	GradConn	插头, 1.27mm, 5x2, SMT	插头, 1.27mm, 5x2, SMT
13	L3, L4	2	600Ω	MI1206K601R-10	Laird-Signal Integrity Products	铁氧体磁珠, 600Ω @ 100MHz, 1.5A, 1206	1206
14	Q1	1	80V	BCP56-16	STMicroelectronics	晶体管, NPN, 80V, 1A, SOT-223	SOT-223
15	Q4	1	100V	BSS169H6327XTSA1	英飞凌科技 (Infineon Technologies)	MOSFET, N 沟道, 100V, 0.17A, SOT-23	SOT-23

表 6. TIDA-00851 BOM (continued)

项目编号	标识符	数量	值	部件编号	制造商	说明	封装参考
16	R1	1	150	CRCW0402150RFKED	威世达勒 (Vishay-Dale)	电阻 ， 150Ω, 1%, 0.063W, 0402	0402
17	R2, R3	2	75kΩ	CRCW040275K0JNED	威世达勒 (Vishay-Dale)	电阻 ， 75kΩ, 5%, 0.063W, 0402	0402
18	R4	1	4.99kΩ	RG1608P-4991-B-T5	Susumu Co Ltd	电阻 ， 4.99kΩ, 0.1%, 0.1W, 0603	0603
19	R5	1	10.0k	CRCW040210K0FKED	威世达勒 (Vishay-Dale)	电阻 ， 10.0kΩ, 1%, 0.063W, 0402	0402
20	TP1	1	Red	5000	Keystone	测试点, 微型, 红色, TH	红色微型测试点
21	TP2	1	黑色	5001	Keystone	测试点, 微型, 黑色, TH	黑色微型测试点
22	U1	1		PGA900ARHHR	德州仪器 (TI)	压力传感器信号调节器, RHH0036C	RHH0036C
23	FID1、FID2、FID3	0		不可用	不可用	基准标记。没有需要购买或安装的元件。	基准
24	R6, R12	0	0	CRCW06030000Z0EA	威世达勒	电阻, 0, 5%, 0.1W, 0603	0603

10.3 布局图

要下载布局图，请参见 [TIDA-00851](#) 的设计文件。

10.4 Altium 项目

要下载 Altium 项目文件，请参见 [TIDA-00851](#) 的设计文件。

10.5 光绘文件

要下载光绘文件，请参见 [TIDA-00851](#) 的设计文件。

10.6 装配图

要下载装配图，请参见 [TIDA-00851](#) 的设计文件。

11 软件文件

要下载软件文件，请参见 [TIDA-00851](#) 的设计文件。

12 参考资料

1. Wikipedia.org, *Callendar–Van Dusen* 公式, 维基条目 (https://en.wikipedia.org/wiki/Callendar–Van_Dusen_equation)
2. 德州仪器 (TI), 应用报告《*PGA900 用作 4mA 至 20mA 电流回路变送器*》(文献编号: [SLDA030](#))

关于 TI 参考设计的重要声明

德州仪器 (“TI”) 公司的参考设计仅供协助设计人员 (“设计人员”) 开发包含 TI 产品的系统。TI 未执行任何测试, 在已发布的文档中针对特定参考设计所专门描述的测试除外。

TI 提供参考设计以及任何其他技术、应用或设计建议、质量特性、可靠性数据或其他信息或服务并不会扩展或更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明, TI 提供此类参考设计或其他信息, 也不会产生任何额外的义务或责任。

TI 保留对其参考设计或其他信息进行更正、增强、改进以及其他更改的权利。

设计人员理解并同意, 设计人员仍要对设计其系统和产品时运用的独立分析、评估和判断负责, 同时全权负责保证其产品的安全性以及其产品 (以及用于设计人员此类产品的所有 TI 产品) 符合适用的所有法律法规以及适用的其他要求。设计人员表示, 对于其应用, 已具备创建或实施相关防护措施所需的所有专业知识, 能够 (1) 预料故障引发的危险后果; (2) 监视故障及其后果; (3) 降低可能引发危害的故障的几率并采用适当的措施。设计人员同意, 在使用或分发包含 TI 产品的任何系统之前, 设计人员应对此类系统进行全面测试, 并按此类 TI 产品在此类系统中的预期用途对 TI 产品的功能进行全面测试。设计人员不可将任何 TI 产品用于关乎性命的医疗设备, 除非已由各方获得授权的管理人员签署专门的合同对此类应用专门作出规定。关乎性命的医疗设备是指出现故障会导致严重身体伤害或死亡的医疗设备 (例如生命保障设备、心脏起搏器、心脏除颤器、人工心脏泵、神经刺激器以及植入设备)。此类设备包括但不限于, 美国食品药品监督管理局认定为 III 类设备的设备, 以及在美国以外的其他国家或地区认定为同等类别设备的所有医疗设备。

设计人员仅在开发包含 TI 参考设计中确定的 TI 产品的最终产品时, 才有权使用、复制及修改独立的 TI 参考设计。然而, 不会明示或暗示地以禁止反言或其他任何方式授予其他任何 TI 知识产权的许可, 也不会授予 TI 或其他任何第三方的任何技术或知识产权的许可, 包括但不限于任何专利权、版权、屏蔽作品权或与使用 TI 产品或服务的任何组合设备、机器或流程相关的其他知识产权。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。使用参考设计或前述的其他信息可能需要获得第三方专利权或其他知识产权的许可, 或 TI 的专利权或 TI 其他知识产权的许可。

TI 参考设计及其他前述信息均按“原样”提供, 并且可能包含错误。对于参考设计或参考设计的使用, TI 拒绝作出任何明示或暗示的担保或保证, 包括但不限于对准确性或完整性、所有权、任何常见故障担保以及试销性的任何暗示担保、对特定用途的适用性以及不侵犯任何第三方的知识产权进行保证。

对于任何索赔, 包括但不限于任何关于 TI 参考设计中所述产品的任何组合或基于此组合的侵权索赔, TI 不应承担任何责任, 也不应为设计人员提供辩护或赔偿。对于与参考设计或使用参考设计相关或由参考设计或使用参考设计而造成的任何实际、直接、特殊、附带、间接、惩罚性、偶发、从属或惩戒性损害, 不管 TI 是否获悉可能会产生上述损害, TI 概不负责。

TI 半导体产品标准销售条款 (<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>) 适用于封装的集成电路产品的销售。其他条款可能适用于其他类型 TI 产品及服务的使用或销售。

对于因设计人员不遵从本声明所述条款和内容导致的任何损害、成本、损失和/或债务, 设计人员应承担全部责任, TI 及其代表不承担任何责任。

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 © 2016 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