

## 摘要

本用户指南比较了 INA219 和 INA232 数字功率监测器的特性，并概述了从 INA219 迁移到 INA232 时需要考虑的主要差异。通过使用一个设计示例，重点介绍了两者之间的共性和差异。该示例表明，两种器件都可以满足多种应用需求，要么用来解决供应链限制问题，要么只是用于升级到 TI 的最新产品。如果应用需要其中一个器件特有的功能，则可以将其替换为另一个器件，但这种方法不会一直行得通。

## 内容

<b>1 概述</b> .....	<b>2</b>
1.1 INA232 和 INA219.....	2
<b>2 从 INA219 迁移到 INA232</b> .....	<b>3</b>
2.1 封装选择和引脚排列.....	3
2.2 器件地址.....	4
2.3 分流电压范围.....	4
2.4 电源和 IO 电压电平.....	4
2.5 数字接口和数据格式.....	4
2.6 寄存器组.....	4
2.7 精度.....	5
2.8 独特的特性.....	5
<b>3 实现</b> .....	<b>5</b>
3.1 确定适用的迁移项目.....	5
3.2 工作台设置和硬件.....	6
3.3 结果寄存器和计算.....	8
3.4 软件实现.....	8

## 插图清单

图 1-1. 数字功率监测器方框图.....	2
图 1-2. INA232 和 INA219 的主要特性.....	3
图 2-1. 封装和引脚分配.....	4
图 2-2. 总输出误差.....	5
图 3-1. 主要特性和支持的设计参数.....	6
图 3-2. DUT 板.....	6
图 3-3. 工作台设置.....	6
图 3-4. 伪代码.....	9
图 3-5. 验证数据日志.....	9

## 表格清单

表 3-1. 工作台和器件设置.....	7
表 3-2. 结果计算.....	8

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 概述

数字功率监测器专为电流检测应用而设计，它采用集成模数转换器，能够承受远高于器件电源本身的共模电压。因此，数字功率监测器可以直接连接被测电路。

数字功率监测器会从通常较高的共模电压轨中提取较小的差分分流电压。该分流电压与电压轨提供的负载电流成正比。此外还测量共模（总线）电压。通过这两个测量值，功率监测器可计算电流、电压和功率。这些数值以位流形式获得，可通过数字接口提供。图 1-1 展示了具有 I<sup>2</sup>C 数字接口的典型功率监测器方框图。

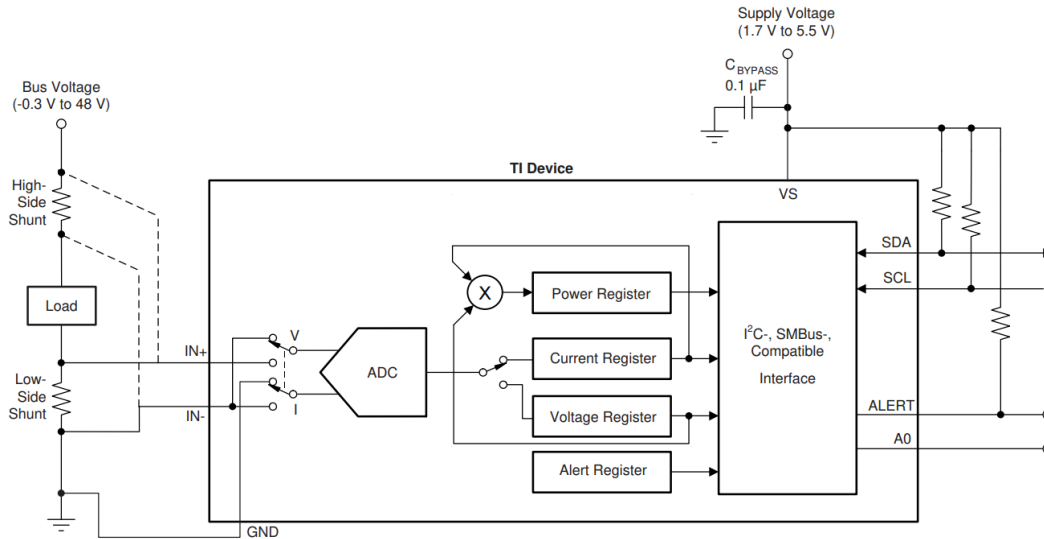


图 1-1. 数字功率监测器方框图

### 1.1 INA232 和 INA219

INA219 是一款具备 I<sup>2</sup>C 或 SMBUS 兼容接口的电流分流和功率监测器。该器件监测分流器电压降和总线电源电压，转换次数和滤波选项可通过编程设定。可编程校准值与内部乘法器相结合，支持直接读取电流值（单位：安培）。通过附加乘法寄存器可计算功率（单位：瓦）。I<sup>2</sup>C 或 SMBus 兼容接口采用 16 个可编程地址。INA219 有两个等级：A 和 B。B 级版本具有更高的精度和更高的精度规格。

INA232 是一款 16 位数字电流监测器，具有 I<sup>2</sup>C 或 SMBus 兼容接口，适合 1.2V、1.8V、3.3V 和 5.0V 等大电压范围。该器件可监控外部检测电阻上的电压，并报告电流、总线电压和功率值。INA232 可在独立于电源电压的 -0.3V 至 48V 共模总线电压范围内检测电流。该器件由一个 1.7V 至 5.5V 的单电源供电，在正常运行条件下消耗 300  $\mu$ A 的电源电流（典型值）。可以将该器件置于低功耗待机模式，该模式下的典型工作电流为 2.2 $\mu$ A。

图 1-2 比较了 INA219 和 INA232 的一些主要电气规格

Parameter	INA232	INA219B
Operational $V_{CM}$ Range (V)	-0.3 V to 48 V	0 V to 26 V
Surviving $V_{CM}$ Range (V)	-0.3 V to 50 V	-0.3 V to 26 V
ADC Range Options	$\pm 20mV$ , $\pm 80mV$	$\pm 40mV$ , $\pm 80mV$ , $\pm 160mV$ , $\pm 320mV$
Gain Error @ 25°C (max)	0.25%	0.30%
Gain Error Drift (ppm/°C)	50	
$V_{OS}$ @ 25°C (max $\mu V$ )	20	50
$V_{OS}$ Drift (max $\mu V/°C$ )	0.1	
CMRR (min dB)	126	100
PSRR (min $\mu V/V$ )	5	10
IN- pin impedance (typical)	1.05M $\Omega$	320K $\Omega$
BUS Offset Voltage (max mV)	10	
BUS Voltage Gain Error (max %)	0.25	0.5
BUS Voltage Gain Error Drift (max ppm)	50	
Supply Voltage Range (V)	1.7 V to 5.5 V	3 V to 5.5 V
$I_Q$ (max mA)	0.5	1
$I_B$ (typ $\mu A$ )	300	700
$I_{SD}$ (max $\mu A$ )	3	15
<b>Digital Input Specifications</b>		
Logic Input High (min V)	0.9	0.7*Vs
Logic Input Low (max V)	0.4	0.3*Vs
Addressing Options	4	16
<b>Digital Output Specifications</b>		
Number of ADC Bits	16	9, 10, 11, 12
Fastest Conversion Time	147	93 (9-bit)
Output Options	ALERT	
Output Low Level (max V)	0.3	0.4
Low-Side capable	General Call Start	

图 1-2. INA232 和 INA219 的主要特性

## 2 从 INA219 迁移到 INA232

由于 INA232 不是 INA219 的直接替代品，因此在从 INA219 迁移到 INA232 时，需要对现有固件进行某些修改才能正常工作。此外，更新固件以使器件向后兼容是有利的。根据应用板上焊接的器件，可以应用正确的设置和数学计算。

尽管不完全相同，但 INA219 和 INA232 在封装和引脚排列方面非常相似。在某些迁移项目中，完全不需要更改硬件；而在某些情况下，只需要略微调整组装和 BOM。但是，需要根据具体项目来决定细节。

### 2.1 封装选择和引脚排列

INA219 采用 SOT23-8 和 SOIC-8 两种封装，而 INA232 采用 SOT23-8 封装。对于现有的 PCB 设计，从 INA219 迁移到 INA232 而不改变封装的好机会是采用 SOT23。两种 SOT23 封装仅高度不同，其他物理尺寸基本相同。

图 2-1 展示了两个器件的封装和引脚排列。

除了引脚 8 外，引脚排列也相同，其中引脚 8 是 INA219 的引脚 A1 的地址，但对于 INA232 是 ALERT 输出。常见的做法是，使地址引脚可通过 0  $\Omega$  电阻进行配置。如果已经投入生产的设计属于这种情况，您可以重新配置此引脚，以便通过 BOM 更改实现 INA219 与 INA232 的互换。如果 INA219 上的 A1 引脚接地，则 INA232 可能无需任何硬件更改即可使用。INA232 的 ALERT 引脚是开漏输出，可以接地

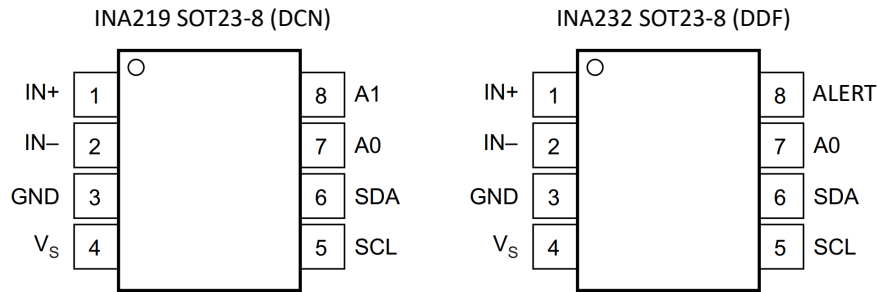


图 2-1. 封装和引脚分配

## 2.2 器件地址

INA219 带有两个地址引脚，因此可以直接访问同一系统中的十六 (16) 个独特 INA219 器件。相反，INA232 只有一个地址引脚，只能直接访问四个器件。

在使用 INA219 且地址引脚 A1 连接到 GND 的设计中，INA219 和 INA232 之间的寻址可以兼容。

在需要四个以上功率监测器的系统中，可以通过 I<sup>2</sup>C 扩展器增加 INA232 器件数量。

## 2.3 分流电压范围

INA219 中的前端 PGA 支持四个分流输入电压。最低范围始于  $\pm 40\text{mV}$ 。如果需要更大的满量程分流电压，可以通过 PGA 功能将满量程范围增加 2、4 或 8 倍 (高达  $320\text{mV}$ )。此外，总线电压测量有两个满量程范围： $16\text{V}$  或  $32\text{V}$ ，但妥善做法是将实际总线电压限制在  $26\text{V}$  以下，防止损坏器件。

INA232 中可以有二个分流输入范围，即  $\pm 20\text{mV}$  和  $\pm 80\text{mV}$ 。INA232 具有高达  $48\text{V}$  的单一满量程总线测量范围。

只要分流输入电压低于  $\pm 80\text{mV}$  的范围，INA219 和 INA232 都可以使用，无需将分流电阻更改为不同的值。

## 2.4 电源和 IO 电压电平

INA219 供电电压在  $3\text{V}$  到  $5.5\text{V}$  之间，正常工作条件下会消耗  $700\ \mu\text{A}$  的典型静态电流。在断电模式下，静态电流会降至  $6\ \mu\text{A}$ 。逻辑输入电平与电源电平是相对的。最小逻辑高电平为  $0.7V_S$ ，最大逻辑低电平为  $0.3V_S$ 。

INA232 的工作电源电压范围更宽，达到  $1.7\text{V}$  至  $5.5\text{V}$ 。典型的工作静态电流为  $300\ \mu\text{A}$ ，在关断模式下会降至  $2.2\ \mu\text{A}$ 。逻辑输入电平与电源无关。最小逻辑高电平和最大逻辑低电平分别为  $0.9\text{V}$  和  $0.4\text{V}$ 。

从 INA219 迁移到 INA232 时，电源电平完全向前兼容。逻辑电平存在一些差异，但这些差异在大多数情况下不会造成任何问题。检查电源电平以确保与控制器进行可靠的通信。

## 2.5 数字接口和数据格式

INA219 和 INA232 都配备有 I<sup>2</sup>C 或 SMBus 兼容接口。两种器件均支持快速和高速模式通信。从 INA219 迁移到 INA232 时，时序规格可以兼容。

所有寄存器都是两个字节宽，并且按照先 MSByte、最后 LSByte 的顺序进行访问 (读写)。通信命令的格式可以兼容。

## 2.6 寄存器组

有  $00\text{h}$  到  $05\text{h}$  六个寄存器，对于 INA219 和 INA232，它们的名称和编号相同。这些寄存器用于实现数据采集和存储。可以自定义配置寄存器 ( $00\text{h}$ )，以便设置 ADC 测量模式、范围和平均值计算。使用由分流电阻和电流 LSB 确定的校准值，对校准寄存器 ( $05\text{h}$ ) 进行编程。只有对该寄存器进行编程后，才会在功率和电流寄存器 (分别为  $03\text{h}$  和  $04\text{h}$ ) 中存储有效数据。

INA232 带有四个额外的寄存器。屏蔽/使能寄存器 ( $06\text{h}$ ) 和警报限值寄存器 ( $07\text{h}$ ) 用于促进 ALERT 引脚的功能。除了选择 ALERT 引脚响应哪个比较器 (分流高于限制、分流低于限制、总线高于限制等) 之外，屏蔽/使能寄存器还提供其他功能，如设置 ALERT 引脚极性和锁存模式，以及设置一些运行时标志，如果需要此类信息，这些标志会很方便。

INA232 中的寄存器  $3\text{Eh}$  和  $3\text{Fh}$  分别会返回唯一的制造 ID 和器件 ID。

## 2.7 精度

INA232 是全新的数字功率监测器之一。凭借技术进步，INA232 的电气规格与同类产品相比有了很大改进。

INA232 的改进之一在于更高的精度。图 2-2 比较了 INA219 和 INA232 的精度。

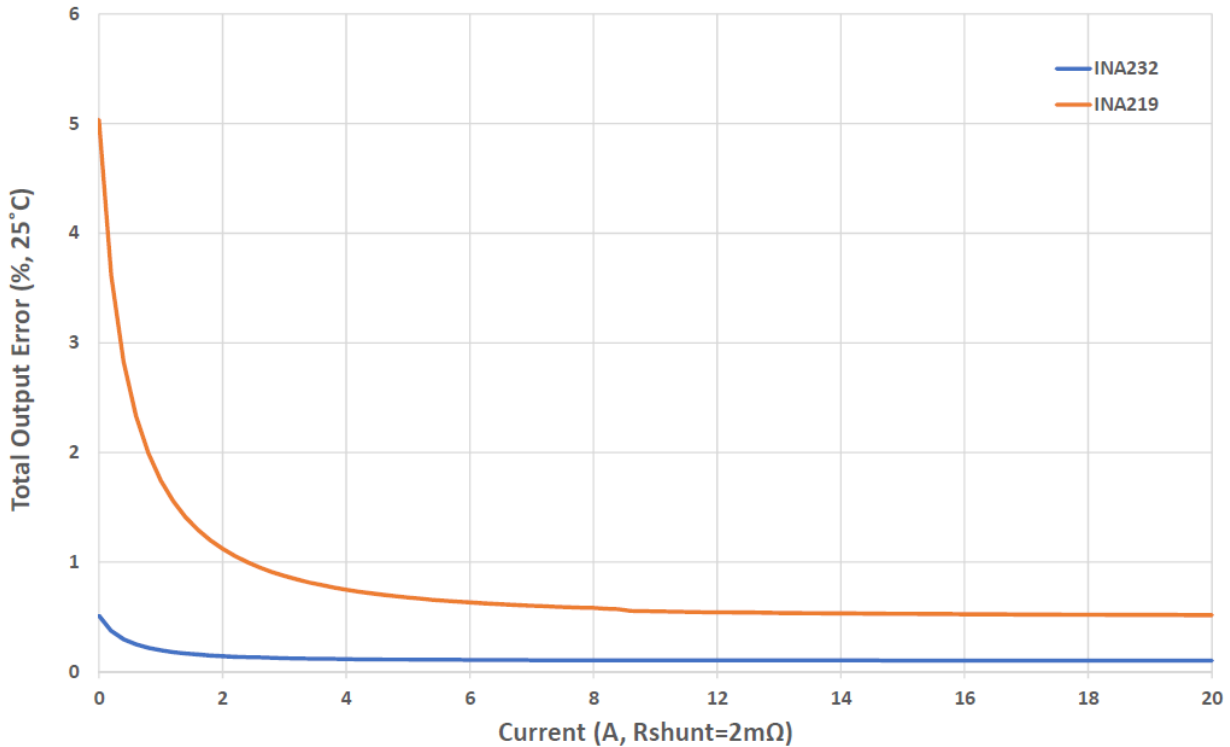


图 2-2. 总输出误差

## 2.8 独特的特性

INA232 具有非常低的输入偏置电流（最大 10nA），由此带来了多项优势。首先，就电阻对测量精度的影响而言，输入引脚上较大的外部电阻是可以容忍的。这些电阻在实现过压或欠压保护以及实现输入滤波器时非常有用。低输入偏置电流还可降低器件在工作和关断状态下消耗的电流。

借助特殊输入电路，INA232 数字接口符合各种数字总线电压，如 1.2V、1.8V、3.3V 和 5.0V。由于器件的逻辑电平与器件电源电平去耦，因此 INA232 能够支持如此广的工作范围，无需电平转换。

INA232 配备了通用广播启动命令。此命令由单个地址字节 00h 组成，最后一个 R/W 位设置为 1。当 I<sup>2</sup>C 总线上存在多个 INA232 器件时，在收到通用广播启动命令后，所有 INA232 设备都会停止活动并开始新的转换。所有 INA232 器件不必进行相同的配置。此命令实现了 PMBus 中标准的同步转换，这种情况下需要更多的通信开销。有关数字功率监测器中同步测量的实现示例，请参阅[使用数字电流检测监测器进行同步测量](#)应用报告。

## 3 实现

### 3.1 确定适用的迁移项目

除了兼容的封装外，尽管 INA219 和 INA232 各自有一些独特的特性，但二者的规格存在很大的重叠。图 3-1 通过一个维恩图展示了主要特性。

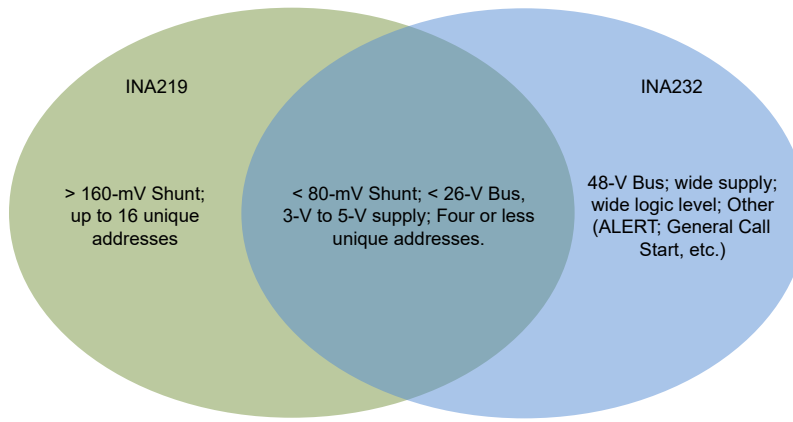


图 3-1. 主要特性和支持的设计参数

在此示例中，采用 INA219 的现有设计适合图 3-1 的交叉区域。目标是使用 INA232 来更新设计。妥善做法是保持固件向后兼容，以便固件能够与基于 INA219 或 INA232 的硬件配合使用。

### 3.2 工作台设置和硬件

图 3-2 显示了使用的 DUT 板。U1 封装会装配 INA232 (左) 或 INA219 (右)。在本实验中，SW0 是一个连接到 A0 引脚的 4 位开关，用于选择四个寻址的器件之一。INA219 的地址 A1 (引脚 8) 接地。

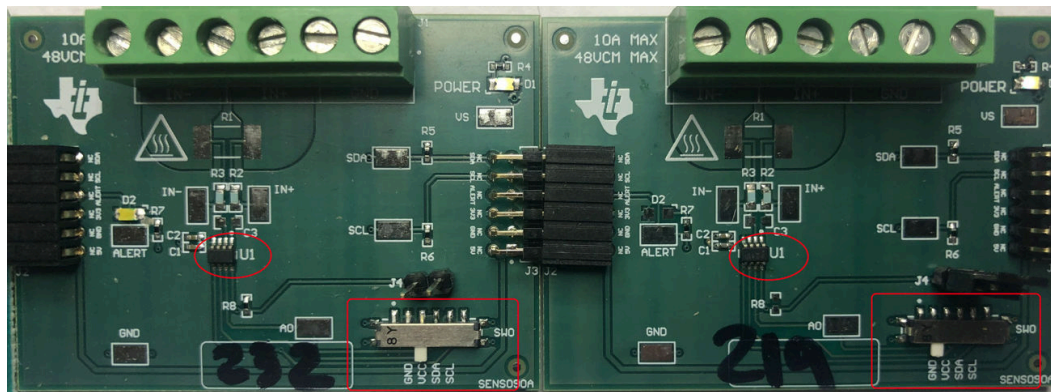


图 3-2. DUT 板

图 3-3 展示了工作台设置方框图。分流电压和总线电压由电压源提供。DUT 和微控制器通过 I<sup>2</sup>C 总线进行通信。

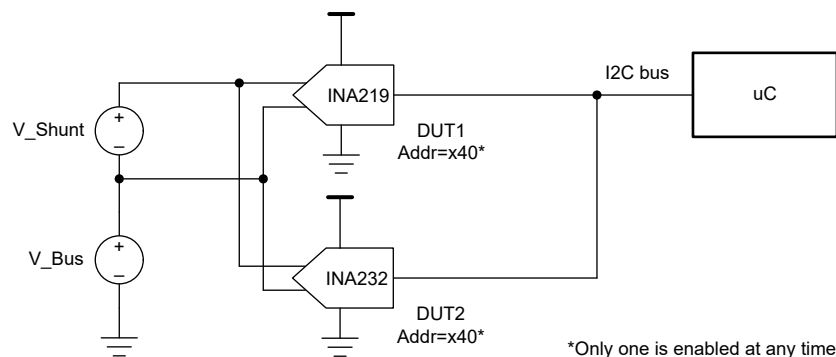


图 3-3. 工作台设置

表 3-1 展示了工作台设置参数。两个器件共用一些通用设计参数。INA219 列和 INA232 列展示了器件特定的设置，包括配置和校准寄存器值。这些值根据设计参数而获得，也用于使 ADC 总转换周期时间紧密匹配。

表 3-1. 工作台和器件设置

设置	INA219	INA232
电源 (V <sub>S</sub> )	3.3V	
总线 (V <sub>CM</sub> )	12V	
PGA/ADC_range (V <sub>sense_max</sub> )	80 mV	
R <sub>SHUNT</sub>	2mΩ	
电流 LSB	1mA	
器件地址	40h	
均值计算	不适用	64
总线转换时间	68.10ms	1.1ms
分流转换时间	68.10ms	1.1ms
ADC 模式	分流和总线, 连续	
配置寄存器值	2FFFh	4727h
校准寄存器值	5000h	0A00h

### 3.3 结果寄存器和计算

控制器会连续读取结果寄存器，包括分流、总线、功率和电流。由于寄存器有效位宽和位权重不同，在将寄存器值转换为物理量时所用的计算方法略有不同。表 3-2 展示了结果转换所需的相关信息。每个器件列下分别列出了 INA232 和 INA219 的区别

表 3-2. 结果计算

结果与计算		INA219	INA232
分流电压	寄存器	01h	
	LSB	10 $\mu$ V	2.5 $\mu$ V
	数据格式	二进制补码	
	幅度	低 13 位	低 15 位
	符号	任意高 3 位。	MSB
总线电压	寄存器	02h	
	LSB	4mV	1.6 mV
	数据格式	仅为正	
	幅度	高 13 位 (<<3)	低 14 位
	符号	不适用	
电源	寄存器	03h	
	LSB	20mW	32mW
	数据格式	仅为正	
	幅度	16 位	
	符号	不适用	
电流	寄存器	04h	
	LSB	1mA	
	数据格式	二进制补码	
	幅度	低 14 位	
	符号	MSB	

### 3.4 软件实现

出于编程和检索结果两个目的，有必要区分 INA232 和 INA219。默认配置寄存器值用于将两个器件分开。图 3-4 展示了器件检测的伪代码。其余代码用于处理设置、读取和数学计算。

配置和校准寄存器根据所连接的器件进行编程。根据由设计参数决定的设置，如果连接 INA219，则对 2FFFh 和 5000h 进行编程；如果连接 INA232，则对 4727h 和 0A00h 进行编程。与对器件进行编程类似，检索和计算测量结果也因连接的器件而略有不同。表 3-2 展示了计算的详细信息。

程序可与 INA219 或 INA232 无缝配合使用，图 3-5 展示了示例输出日志。



```

Start
//detect section
Software reset (write '1' to MSB of Configuration register 01h)
Read Configuration register
if "399Fh" then INA219 is connected
else
if "4217h" then INA232 is connected
//setup section
If (INA219 is connected) then { program INA219}
If (INA232 is connected) then { program INA232}
//read section
loop read result registers - Shunt, Bus, Power, Current
//math section - converting decimal to physical quantities
If (INA219 is connected) then { INA219 math}
If (INA232 is connected) then { INA232 math}
Stop

```

图 3-4. 伪代码

```

INA219 communication log
-> Detect and Setup CS device
-> Dev Addr:          40h
-> CONFIG_REG        399Fh
-> Device Connected  INA219
-> CAL REG:          5000h
-> CURRENT_LSB:      0.00100A
-> VOLTAGE_LSB:      0.00400V
-> POWER_LSB:        0.02000W
-> Bus: 12.348V      Shunt: 40.0200mV      Current: 20.010A      Power: 247.080W
-> Bus: 12.348V      Shunt: 40.0200mV      Current: 20.010A      Power: 247.080W
-> Bus: 12.348V      Shunt: 40.0100mV      Current: 20.005A      Power: 247.040W
-> Bus: 12.348V      Shunt: 40.0100mV      Current: 20.005A      Power: 247.040W
-> Bus: 12.348V      Shunt: 40.0100mV      Current: 20.005A      Power: 247.040W
-> Bus: 12.348V      Shunt: 40.0300mV      Current: 20.015A      Power: 247.080W

INA232 communication log
-> Detect and Setup CS device
-> Dev Addr:          40h
-> CONFIG_REG        4127h
-> MANUFACTURER_ID_REG 5449h
-> DIE_ID_REG         A080h
-> Device Connected  INA232
-> CAL REG:          A00h
-> CURRENT_LSB:      0.00100A
-> VOLTAGE_LSB:      0.00160V
-> POWER_LSB:        0.03200W
-> Bus: 12.354V      Shunt: 40.0250mV      Current: 20.014A      Power: 247.264W
-> Bus: 12.355V      Shunt: 40.0250mV      Current: 20.013A      Power: 247.264W
-> Bus: 12.355V      Shunt: 40.0300mV      Current: 20.015A      Power: 247.296W
-> Bus: 12.354V      Shunt: 40.0300mV      Current: 20.015A      Power: 247.264W
-> Bus: 12.354V      Shunt: 40.0375mV      Current: 20.019A      Power: 247.296W
-> Bus: 12.354V      Shunt: 40.0325mV      Current: 20.016A      Power: 247.296W
-> Bus: 12.354V      Shunt: 40.0350mV      Current: 20.018A      Power: 247.296W

```

图 3-5. 验证数据日志

## 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