

Patrick Simmons

摘要

以下文档详细介绍了如何在系统中正确地设计电源监控器。本文档介绍了如何结合各种数据表规格来帮助用户在器件的能力范围内进行设计。除了这些规格外，本文档还力图帮助用户了解各种调整要求以及各种计算和寄存器的用途。同时，本文档还将针对如何设置这些寄存器确定一个基本例程。

内容

1 引言.....	2
2 定义要求.....	3
3 找到最大分流电阻值.....	3
4 找到最小分流电阻值.....	4
5 最大分辨率或最小分流损耗.....	5
6 测量范围不足时该怎么做.....	6
7 确定电流 LSB 和校准系数.....	6
8 对器件寄存器进行编程.....	7
9 总结.....	7
10 修订历史记录.....	7

插图清单

图 1-1. 数字电源监控器设计流程图.....	2
图 4-1. INA226 噪声与转换时间的关系.....	4
图 6-1. 低侧多分流电阻示例.....	6

表格清单

表 3-1. INA226 分流电压输入范围.....	3
表 3-2. INA219 分流电压输入范围.....	3
表 3-3. INA229 分流电压输入范围.....	3
表 4-1. VSHUNT 寄存器字段说明.....	4
表 4-2. INA219 ADC 转换时间表.....	4
表 7-1. 校准寄存器 (05h) (读/写) 描述.....	7

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

在设计数字电源监控器时，很容易忽视几个细节，进而导致出现误差，并导致后期设计发生变更。本文档提供了一种综合了各种要考虑的主要设计规格的结构化设计方法。与本文配合使用的是一个根据本文中所述方法构建的设计工具。本文中所述的方法遵循图 1-1 中所示的顺序。

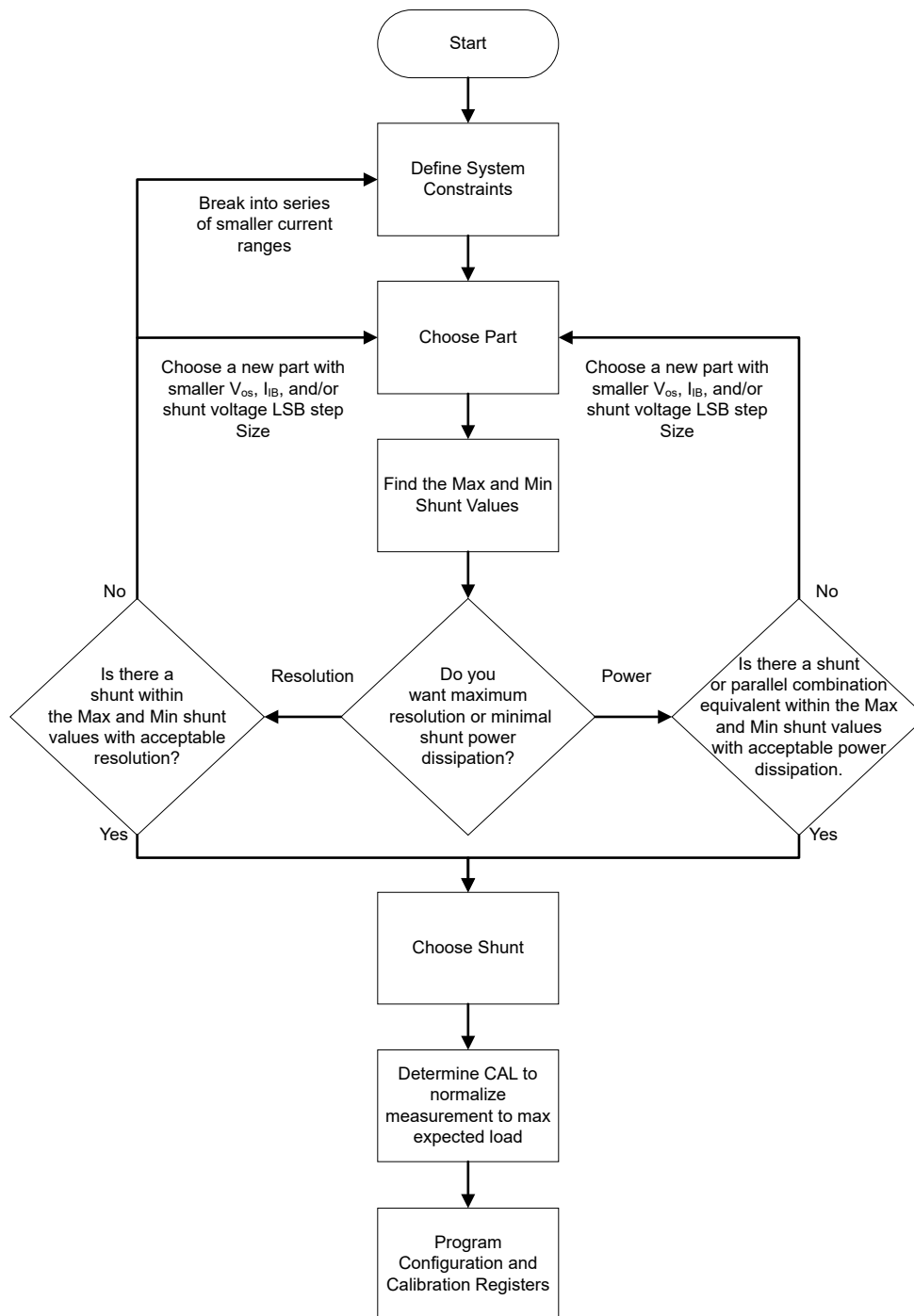


图 1-1. 数字电源监控器设计流程图

2 定义要求

在设计数字电源监控器时，根据器件定义系统限制条件是第一步，也是最重要的一步。这包括检测引脚上预期的共模电压、要使用的电源电压、要测量的最大电流以及要测量的最小电流。共模电压和电源电压这两个规格可以轻松地从数据表中获得，可用于缩小您的选择范围。必须遵循这些规格，才能确保器件正常工作而不会损坏。至于器件可测量的电流范围，数据表中并没有提供任何可供直接查询的范围。此类范围不仅取决于器件规格，而且也取决于设计目标，包括分流功率损耗和分辨率。随后的步骤将详细介绍如何评估给定器件的电流测量范围并确定器件是否足以满足您的需求。

3 找到最大分流电阻值

分流电阻值最终决定电流测量范围。针对给定的电流范围，可能存在一系列可供使用的分流电阻值，这为您的设计提供了灵活性。您需要计算出最大和最小分流电阻值，以确保所选的分流电阻适合您的应用。若要计算最大分流电阻值，您需要找到数据表电气特性部分中列出的最大分流电压输入范围。一些器件可能具有表 3-1 中所示的固定分流电压范围，而另一些器件的分流电压范围可能会根据某些寄存器设置而发生变化，如表 3-2 中所示。需要注意的一点是，一些器件可能会使用不同的名称来表示分流电压输入规格。表 3-3 中将此规格列为 V_{DIFF} 。

表 3-1. INA226 分流电压输入范围

参数	测试条件：	最小值	典型值	最大值	单位
输入					
分流电压输入范围		-81.9175		81.92	mV

表 3-2. INA219 分流电压输入范围

参数	测试条件	INA219A			INA219B			单位
		最小值	典型值	最大值	最小值	典型值	最大值	
输入								
V_{SHUNT} 满量程电流检测（输入）电压范围	PGA = /1	0		±40	0		±40	mV
	PGA = /2	0		±80	0		±80	mV
	PGA = /4	0		±160	0		±160	mV
	PGA = /8	0		±320	0		±320	mV

表 3-3. INA229 分流电压输入范围

参数	测试条件：	最小值	典型值	最大值	单位
输入					
V_{DIFF} 分流电压输入范围	$T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 $+125^\circ\text{C}$, ADCRANGE=0	-163.84		163.84	mV
	$T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 $+125^\circ\text{C}$, ADCRANGE=1	-40.96		40.96	mV

要找出 $R_{SHUNT\ MAX}$ ，请将最大分流输入电压值除以最大预期电流值。

$$R_{SHUNT\ MAX} \leq \frac{\text{分流电压输入范围最大值}}{I_{Sense\ MAX}} \quad (1)$$

4 找到最小分流电阻值

计算最大分流电阻值时，还应确定最小分流电阻值。若要确定该值，需要知道有意义的最小分流输入电压值。至少，该值对应于分流电压寄存器的 1 LSB 步长。在 INA209、INA219 和 INA220 等一些器件中，对于某些 ADC 配置设置，需要使用大于 LSB 的寄存器位，因为该转换时间不足以实现表 4-1 测试条件列中提到的全分辨率。请务必检查 Vsense 寄存器，以更好地了解可能的检测值以及数据的存储方式。下面是适用于 INA228 的表 4-2。从这里我们可以看出，在忽略噪声的情况下，可解析的最小分流电压对应于 312.5nV/LSB 或 78.125nV/LSB，具体取决于另一个寄存器中的 ADCRANGE 设置。另外，我们可以看到寄存器 LSB 并不对应于最小 ADC 测量 LSB，在从器件读取数据时务必要注意到这一点。

表 4-1. VSHUNT 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
23-4	VSHUNT	R	0h	分流输出上测得的差分电压。二进制补码值。 转换因子： 312.5nV/LSB (ADCRANGE = 0 时) 78.125nV/LSB (ADCRANGE = 1 时)
3-0	保留	R	0h	保留。始终读为 0。

若要找到理想的 $R_{SHUNT MIN}$ ，请将分流电压 1 LSB 步长除以预期的最小电流值。

$$R_{SHUNT MIN} \geq \frac{\text{分流电压 1 LSB 步长}}{I_{Sense MIN}} \quad (2)$$

如果忽略各误差源，则 LSB 电压对应于可测量的最小分流值。低电流测量的主要误差源是输入参考失调电压。该电压会因共模电压、电源电压、温度和器件而异。大多数功率器件都是双向的，因此即使在分流电压的失调大于分流电压 LSB 步长时，也应能够检测所测电流中的变化。根据您的设计、设置和所需的精确度，您可以通过在共模电压和电流条件下执行初始空载测量来校准此误差。如果您不打算执行校准，并担心较低测量值的百分比误差，则可以根据最大输入参考失调电压和容许的百分比误差来计算 $R_{SHUNT MIN}$ 。

$$R_{SHUNT MIN} \geq \frac{V_{OS max}}{I_{Sense MIN} \times \frac{\text{容许的百分比误差}}{100\%}} \quad (3)$$

在最低测量条件下尤为明显的另一个重要误差源是噪声。您的器件转换和取平均设置将决定此误差源对测量的影响大小。从图 4-1 可以看到，转换时间越长，测量中的噪声就越少。在典型的最长转换时间条件下，还可以使用取平均来进一步减少噪声导致的变化。

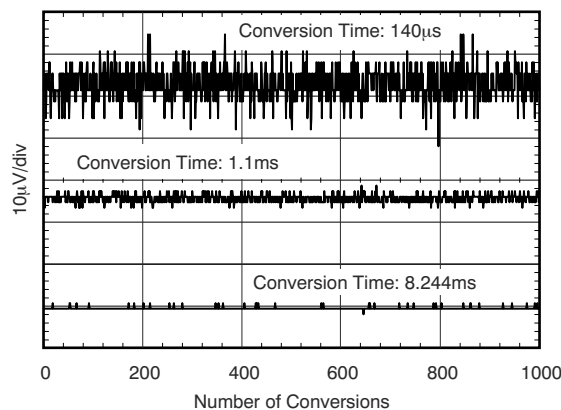


图 4-1. INA226 噪声与转换时间的关系

表 4-2. INA219 ADC 转换时间表

参数	测试条件	INA219A			INA219B			单位
		最小值	典型值	最大值	最小值	典型值	最大值	
ADC 时序								

表 4-2. INA219 ADC 转换时间表 (continued)

参数	测试条件	INA219A			INA219B			单位
		最小值	典型值	最大值	最小值	典型值	最大值	
ADC 转换时间	12 位		532	586		532	586	μs
	11 位		276	304		276	304	μs
	10 位		148	163		148	163	μs
	9 位		84	93		84	93	μs

5 最大分辨率或最小分流损耗

根据电流范围大小，您或许可以选择通过优化设计来实现最大分辨率或尽可能减少分流电阻上消耗的功率。您选择的分流电阻器是确定分辨率和分流损耗的主要因素。

假定计算得出的 $R_{SHUNT MAX}$ 也大于 $R_{SHUNT MIN}$ ，那么这个计算得出的值就是实现最大分辨率所需的值。计算得出的值可能不是标准值，因此可能无法从部件分销商甚至制造商处获得对应的部件。因而，您将需要调整所用的值，以便与实际可实现的设置相匹配。若要在测量范围内以最大的测量分辨率获得所需的最大电流，您需要选择小于计算值的电阻器值，最好是选择您可以找到的大小最接近、价格比较实惠且通常储备的型号。

若要尽可能减少分流电阻器上的功率损耗，只需使用小于 $R_{SHUNT MAX}$ 的电阻器值即可。选定的确切值将取决于最小检测电流上容许的误差，而在这种情况下，误差主要来自于输入失调电压。如果您能够通过校准消除器件输入失调电压，并使用其中一个较大的转换设置，或许能够选择等于或接近 $R_{SHUNT MIN}$ 的分流电阻值。

6 测量范围不足时该怎么做

如果单个分流电阻器无法满足您的设计要求，您可能需要探索不同的选项。最简单的选择可能是使用不同的器件。通过使用输入失调电压更小的器件、输入偏置电流更小的器件以及 ADC 分辨率位数更高的器件，通常可以测量更广范围的电流。如果这些还不够，那么您便需要发挥创意。其中一个选择是对并联分流电阻器网络进行多路复用，就像下面图 6-1 中那样。

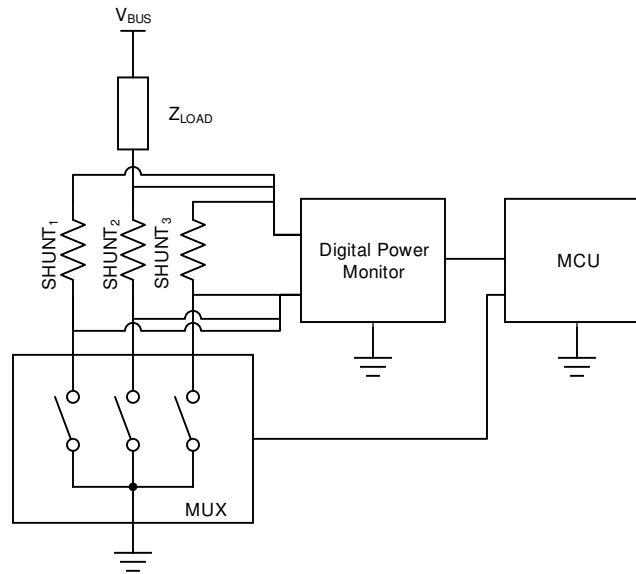


图 6-1. 低侧多分流电阻示例

7 确定电流 LSB 和校准系数

所有电源监控器都是测量电压，这是要了解的基本原理。然后，如果用户知道所用的分流电阻值，便可使用这些电压计算出电流以及功率。电压寄存器在数据表电气特性部分中具有固定的 LSB 值，而电流和功率寄存器则具有基于设计标准的灵活 LSB。该器件需要用户指定这些 LSB 值。为方便起见，我们建议根据寄存器位和要测量的最大电流来调整 LSB。因此，我们提供了方程式 4。

$$\text{CURRENT_LSB} = \frac{\text{最大预期电流}}{2^{(\text{电流寄存器有效位} - \text{符号位})}} \quad (4)$$

确定电流 LSB 后，您便可以确定适当的校准系数。根据具体的器件，您将要使用方程式 5 或方程式 6。请参阅器件数据表的实现部分以确定适当的系数。

$$\text{CAL} = \frac{\text{数据表中提供的系数}}{\text{CURRENT_LSB} \times R_{\text{SHUNT}}} \quad (5)$$

$$\text{SHUNT_CAL} = \text{数据表中提供的系数} \times \text{CURRENT_LSB} \times R_{\text{SHUNT}} \quad (6)$$

计算出系数后，您需要确认该值未超过寄存器大小。以下**方程式 7**将帮助您确定该值是否满足该项标准。如果您发现所用校准系数太大，那么您有三个选择，分别是选择更大的分流电阻，调整寄存器以能够支持比预期更大的最大电流，或者选择具有更大测量范围的其他器件或整套器件。

$$\text{CAL 或 SHUNT_CAL} \leq 2^{(\text{可写校准寄存器位})} \quad (7)$$

多个校准寄存器都有 16 个位，但并不是所有位都可供用户写入，如**表 7-1** 中所示。

表 7-1. 校准寄存器 (05h) (读/写) 描述

位 #	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	—	FS14	FS13	FS12	FS11	FS10	FS9	FS8	FS7	FS6	FS5	FS4	FS3	FS2	FS1	FS0
POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

要注意的一个细微差别是可能无法从器件读取您的 **CURRENT_LSB** 以及其他几个值。您只能读取与分流电压寄存器直接相关的值所对应的值。如果 **R_{SHUNT MAX}** 和 **R_{SHUNT MIN}** 之间的差异相当大，而您继续使用接近 **R_{SHUNT MIN}** 的值来尽可能降低功率损耗，那么这个问题会变得十分明显。在这些情况下，电流 **LSB** 将明显小于实际可以解析的值。为了帮助大家认识这个问题，我们来看一个简单的高电平示例，其中最大分流电压为 **80mV**，对于最大预期电流，所选分流电阻器会产生 **40mV** 电压，然后您决定对校准寄存器进行编程以调整到该值。如果分流电压寄存器的数字位数与电流寄存器相同，那么 **CURRENT_LSB** 将直接等于分流电压 **LSB** 的一半。电流实际上是根据分流电压寄存器计算出的，因此即使实际应用中可测量的电流与 **CURRENT_LSB** 相匹配，也无法从电流寄存器读取单个位。

8 对器件寄存器进行编程

确定校准值后，您可以将该值写入校准寄存器。为了确保读取到有意义的结果，您可能还需要对配置寄存器进行编程，因为默认设置可能对您的设计来说并不够。配置寄存器包含 **ADC 转换设置**、**取平均设置**、**可编程增益设置** 或一些用于选择 **ADC 范围** 的设置，因此忘记对它进行编程可能会导致与预期值出现较大偏差。

9 总结

本应用手册介绍了设计数字电源监控器的基本方法，并探讨了用于确定分流电阻值范围的几个主要规格。随后还提供了一些关于如何针对分辨率或功率损耗定制分流电阻值的见解。在强调分流电阻的重要性后，本文探讨了电流范围调整以及寄存器编程。

10 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 * (March 2021) to Revision A (September 2021)	Page
• 删除了“LM5056A 分流电压输入范围”表.....	3

重要声明和免责声明

TI 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安全、安保或其他要求。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 (<https://www.ti.com/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com](https://www.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。

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

Copyright © 2021, 德州仪器 (TI) 公司

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 © 2021，德州仪器 (TI) 公司