INA3221 带警报功能的 26V、三通道、13 位、I²C 输出电流和电压监测器

1 特性

- 感测的总线电压范围：0V 至 26V
- 报告分流和总线电压
- 高精度：
  - 失调电压：±80μV（最大值）
  - 增益误差：0.25%（最大值）
- 可配置均值计算选项
- 四个可编程地址
- 可编程报警和警告输出
- 电源运行：2.7V 至 5.5V

2 应用

- 计算机
- 电源管理
- 电信设备
- 电池充电器
- 电源
- 测试设备
- 数据中心

3 说明

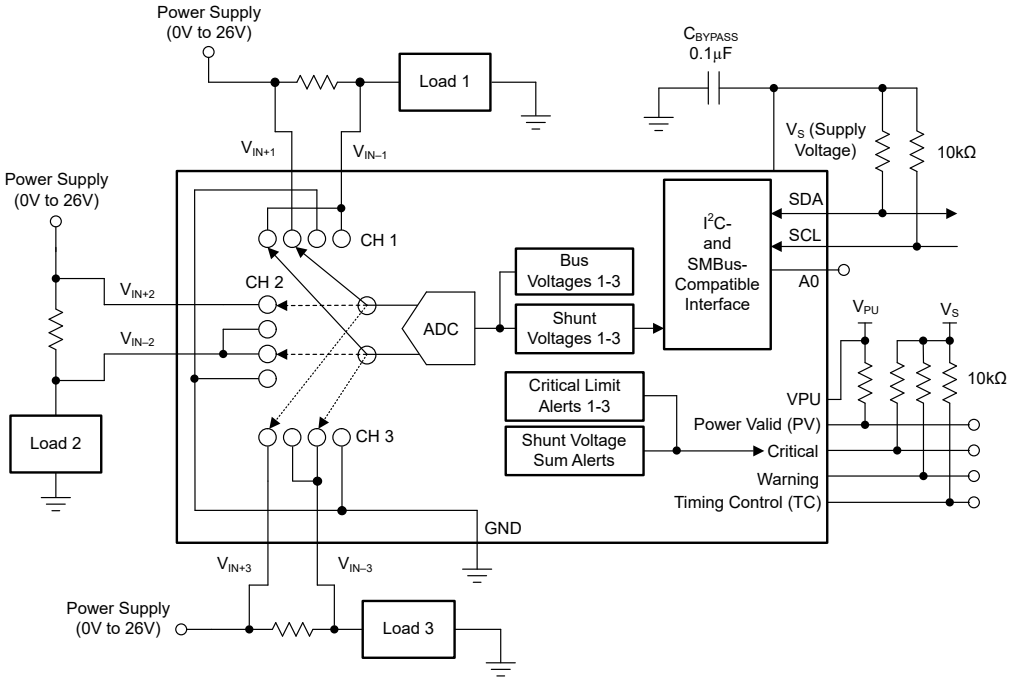
INA3221 是一款具有 I² C 和 SMBUS 兼容接口的三通道高侧电流和总线电压监测器。INA3221 监测分流压降和总线电源电压，并且可对这些信号应用可编程转换时间和均值计算模式。INA3221 提供临界警报和警告警报，以检测每个通道的多个可编程超限条件。

INA3221 可检测 0V 至 26V 总线上的电流。该器件由单个 2.7V 至 5.5V 电源供电，消耗 350μA（典型值）电源电流。INA3221 的额定工作温度范围为 –40°C 至 +125°C。兼容 I²C 和 SMBUS 的接口采用四个可编程地址。

封装信息

器件型号	封装(1)	封装尺寸(2)
INA3221	RGV（VQFN，16）	4.00mm × 4.00mm

(1) 如需了解所有可用封装，请参阅数据表末尾的封装选项附录。
(2) 封装尺寸（长 × 宽）为标称值，并包括引脚（如适用）。



典型应用

本资源的原文使用英文撰写。 为方便起见，TI 提供了译文；由于翻译过程中可能使用了自动化工具，TI 不保证译文的准确性。 为确认准确性，请务必访问 ti.com 参考最新的英文版本（控制文档）。

内容

1 特性.... 1
2 应用.... 1
3 说明.... 1
4 器件比较表.... 3
5 引脚配置和功能.... 3
6 规格.... 4
6.1 绝对最大额定值.... 4
6.2 ESD 等级.... 4
6.3 建议运行条件.... 4
6.4 热性能信息.... 4
6.5 电气特性.... 5
6.6 典型特性.... 7
7 详细说明.... 10
7.1 概述.... 10
7.2 功能方框图.... 10
7.3 特性说明.... 11
7.4 器件功能模式.... 16
7.5 编程.... 20
7.6 寄存器映射.... 24
8 应用和实施.... 36
8.1 应用信息.... 36
8.2 典型应用.... 36
8.3 电源相关建议.... 37
8.4 布局.... 38
9 器件和文档支持.... 39
9.1 器件支持.... 39
9.2 文档支持.... 39
9.3 接收文档更新通知.... 39
9.4 支持资源.... 39
9.5 商标.... 39
9.6 静电放电警告.... 39
9.7 术语表.... 39
10 修订历史记录.... 39
11 机械、封装和可订购信息.... 40

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

4 器件比较表

器件	说明
INA226	具有警报功能的 36V、双向、超高精度、低侧或高侧、I²C 输出、电流和功率监测器
INA219	26V、双向、零漂移、高侧、I²C 输出、电流和功率监测器
INA209	26V、双向、低侧或高侧、I²C 输出、电流和功率监测器以及高速比较器
INA210、INA211、INA212、INA213、INA214	26V、双向、零漂移、高精度、低侧或高侧、电压输出、电流分流监测器

5 引脚配置和功能

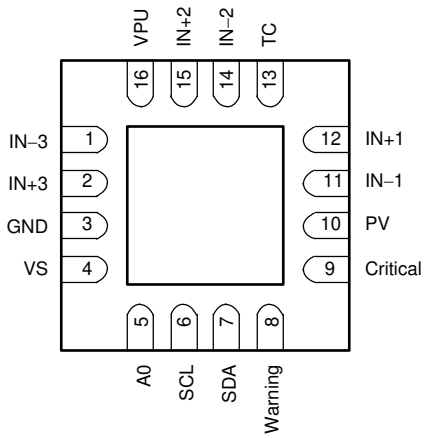


图 5-1. RGV 封装 16 引脚 VQFN 顶视图

表 5-1. 引脚功能

引脚		类型	说明
名称	编号		
A0	5	数字输入	地址引脚。连接到 GND、SCL、SDA 或 V_S。表 7-1 显示了引脚设置和相应的地址。
临界	9	数字输出	转换触发的临界警报；开漏输出。
GND	3	模拟	接地
IN – 1	11	模拟输入	连接到通道 1 分流电阻器负载侧。总线电压是从该引脚到接地的测量值。
IN+1	12	模拟输入	连接到通道 1 分流电阻器电源侧。
IN – 2	14	模拟输入	连接到通道 2 分流电阻器负载侧。总线电压是从该引脚到接地的测量值。
IN+2	15	模拟输入	连接到通道 2 分流电阻器电源侧。
IN – 3	1	模拟输入	连接到通道 3 分流电阻器负载侧。总线电压是从该引脚到接地的测量值。
IN+3	2	模拟输入	连接到通道 3 分流电阻器电源侧。
PV	10	数字输出	电源有效警报；开漏输出。
SCL	6	数字输入	串行总线时钟线路；开漏输入。
SDA	7	数字 I/O	串行总线数据线路；开漏输入/输出。
TC	13	数字输出	时序控制警报；开漏输出。
VPU	16	模拟输入	用于偏置电源有效输出电路的上拉电源电压。
VS	4	模拟	电源，2.7V 至 5.5V。
警告	8	数字输出	平均测量警告警报；开漏输出。
散热焊盘	-	-	该焊盘必须接地或保持悬空。

6 规格

6.1 绝对最大额定值

在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）[(1)]

			最小值	最大值	单位
电压	电源，V_S			6	V
模拟输入	IN+、IN –	差分电压 (V_{IN+}) – (V_{IN-})[(2)]	-26	26	V
		共模 (V_{IN+}) + (V_{IN-}) / 2	-0.3	26	
	VPU			26	
数字输出	临界、警告、电源有效			6	V
	时间控制			26	
串行总线	数据线，SDA		(GND – 0.3)	6	V
	时钟线，SCL		(GND – 0.3)	(V_S + 0.3)	
电流	到任一引脚的输入			5	mA
	开漏数字输出			10	
温度	温度，T_A		-40	125	°C
	结温，T_J			150	
	贮存温度，T_{stg}		-65	150	

(1) 应力超出*绝对最大额定值*下面列出的值时可能会对器件造成永久损坏。这些列出的值仅为应力等级，并不表示器件在这些条件下以及在*建议工作条件*以外的任何其他条件下能够正常运行。长时间处于绝对最大额定条件下可能会影响器件的可靠性。
(2) V_{IN+} 和 V_{IN-} 的差分电压可为 –26V 至 +26V；但是，这些引脚上的电压不得超过 –0.3V 至 +26V 的范围。

6.2 ESD 等级

		值	单位
$V_{(ESD)}$ 静电放电	人体放电模型 (HBM)，符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 标准[(1)]	±2500	V
	充电器件模型 (CDM)，符合 JEDEC 规范 JESD22-C101[(2)]	±1000	
	机器放电模型	±200	

(1) JEDEC 文档 JEP155 指出：500V HBM 时能够在标准 ESD 控制流程下安全生产。
(2) JEDEC 文档 JEP157 指出：250V CDM 时能够在标准 ESD 控制流程下安全生产。

6.3 建议运行条件

在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）

	最小值	标称值	最大值	单位
运行电源电压	2.7		5.5	V
工作温度，T_A	-40		125	°C

6.4 热性能信息

热指标[(1)]		INA3221 RGV (VQFN) 16 引脚	单位
$R_{\theta JA}$	结至环境热阻	36.5	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	结至外壳（顶部）热阻	42.7	°C/W
$R_{\theta JB}$	结至电路板热阻	14.7	°C/W
ψ_{JT}	结至顶部特征参数	0.5	°C/W
ψ_{JB}	结至电路板特征参数	14.8	°C/W

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

热指标[1]		INA3221 RGV (VQFN) 16 引脚	单位
$R_{\theta JC(bot)}$	结至外壳（底部）热阻	3.3	°C/W

(1) 有关新旧热性能指标的更多信息，请参阅*半导体和 IC 封装热指标*应用报告 (SPRA953)。

6.5 电气特性

在 T_A = 25°C，V_S = 3.3V，V_{IN+} = 12V，V_{SHUNT} = (V_{IN+}) – (V_{IN-}) = 0mV 且 V_{BUS} = V_{IN-} = 12V 时测得（除非另有说明）

参数			测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
输入							
V_{SHUNT}	分流电压输入			-163.84		163.8	mV
V_{BUS}	总线电压输入			0		26	V
共模抑制 (CMR)	共模抑制		V_{IN+} = 0 V 至 +26V	110	120		dB
V_{OS}	分流失调电压，RTI[1]				±40	±80	μV
			T_A = -40°C 至 +125°C		0.1	0.5	μV/°C
PSRR			相对于电源，V_S = 2.7V 至 5.5V		15		μV/V
V_{OS}	总线失调电压，RTI[1]				±8	±16	mV
			T_A = -40°C 至 +125°C			80	μV/°C
PSRR			与电源的关系		0.5		mV/V
I_{IN+}	IN+ 处的输入偏置电流				10		μA
I_{IN-}	IN – 处的输入偏置电流				10 || 670		μA || kΩ
	输入漏电流[2]		（IN+ 引脚）+（IN- 引脚），断电模式		0.1	0.5	μA
直流精度							
	ADC 原生分辨率				13		位
	步长为 1LSB		分流电压		40		μV
			总线电压		8		mV
	分流电压增益误差				0.1%	0.25%	
			T_A = -40°C 至 +125°C		10	50	ppm/°C
	总线电压增益误差				0.1%	0.25%	
			T_A = -40°C 至 +125°C		10	50	ppm/°C
DNL	微分非线性				±0.1		LSB
$t_{转换}$	ADC 转换时间		CT 位 = 000		140	154	μs
			CT 位 = 001		204	224	
			CT 位 = 010		332	365	
			CT 位 = 011		588	646	
			CT 位 = 100		1.1	1.21	ms
			CT 位 = 101		2.116	2.328	
			CT 位 = 110		4.156	4.572	
			CT 位 = 111		8.244	9.068	
SMBus							
	SMBus 超时[3]				28	35	ms
数字输入/输出							
C_I	输入电容				3		pF
	输入漏电流		0V ≤ V_{IN} ≤ V_S		0.1	1	μA
V_{IH}	高电平输入电压			0.7 (V_S)		6	V
V_{IL}	低电平输入电压			-0.5		0.3 (V_S)	V
V_{OL}	低电平输出电压	SDA，临界，警告、PV	V_S > +2.7V，I_{OL} = 3mA	0		0.4	V
		TC	V_S > +2.7V，I_{OL} = 1.2mA	0		0.4	

在 T_A = 25°C，V_S = 3.3V，V_{IN+} = 12V，V_{SHUNT} = (V_{IN+}) – (V_{IN-}) = 0mV 且 V_{BUS} = V_{IN-} = 12V 时测得（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{hys}	迟滞电压			500		mV
电源						
	静态电流			350	450	µA
		断电模式		0.5	2	
	上电复位阈值			2		V

(1) RTI = 以输入为参考。
(2) 在该表顶部所示的条件下，输入漏电流为正（电流流入引脚）。在不同的输入条件下，可能会出现负漏电流。
(3) 只要 SCL 为低电平的时间超过 28ms，INA3221 中的 SMBus 超时就会复位接口。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

6.6 典型特性

在 T_A = 25°C，V_S = 3.3V，V_{IN+} = 12V，V_{SHUNT} = (V_{IN+}) – (V_{IN-}) = 0mV 且 V_{BUS} = V_{IN-} = 12V 时测得（除非另有说明）

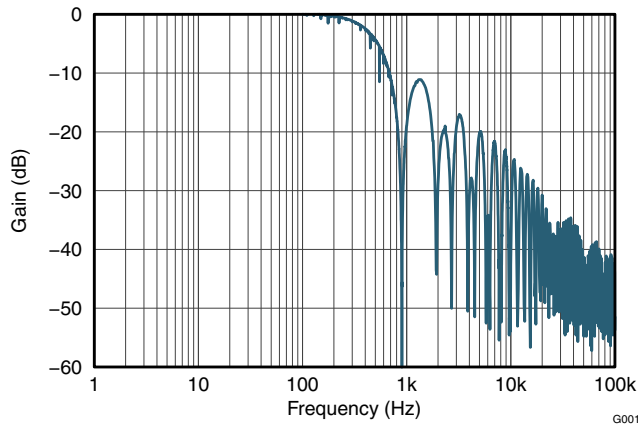


图 6-1. 频率响应

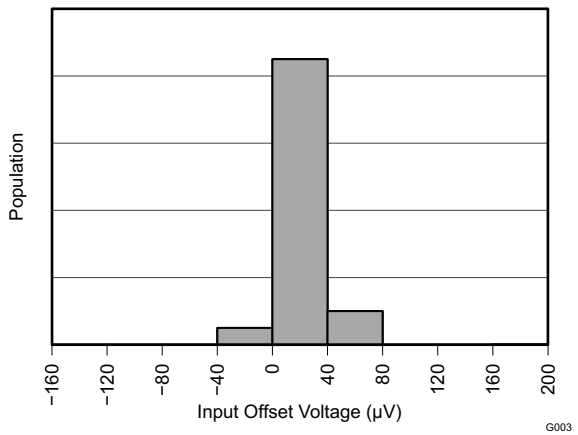


图 6-2. 分流输入失调电压产生分布图

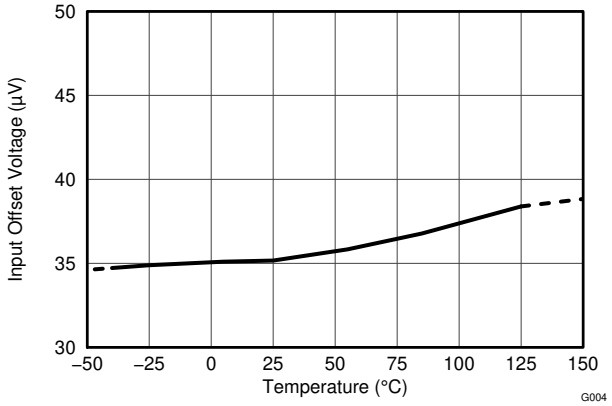


图 6-3. 分流输入失调电压与温度间的关系

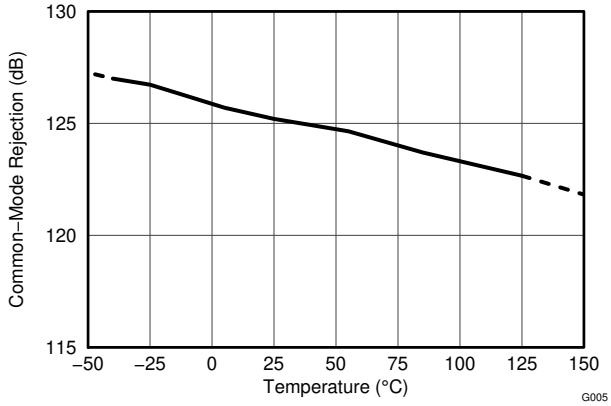


图 6-4. 分流输入共模抑制比与温度间的关系

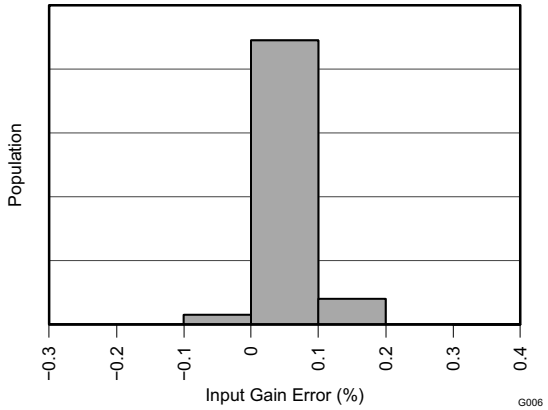


图 6-5. 分流输入增益误差产生分布图

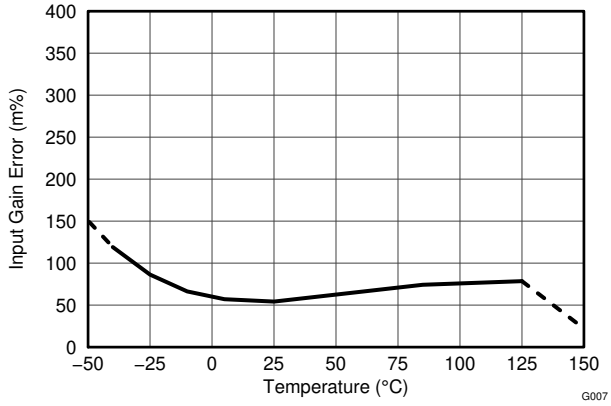


图 6-6. 分流输入增益误差与温度间的关系

6.6 典型特性（续）

在 T_A = 25°C，V_S = 3.3V，V_{IN+} = 12V，V_{SHUNT} = (V_{IN+}) – (V_{IN-}) = 0mV 且 V_{BUS} = V_{IN-} = 12V 时测得（除非另有说明）

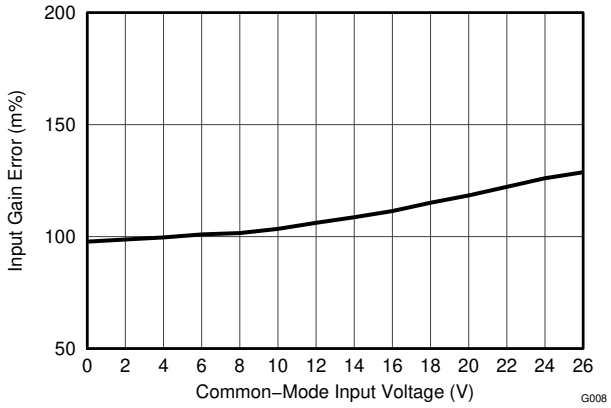


图 6-7. 分流输入增益误差与共模电压间的关系

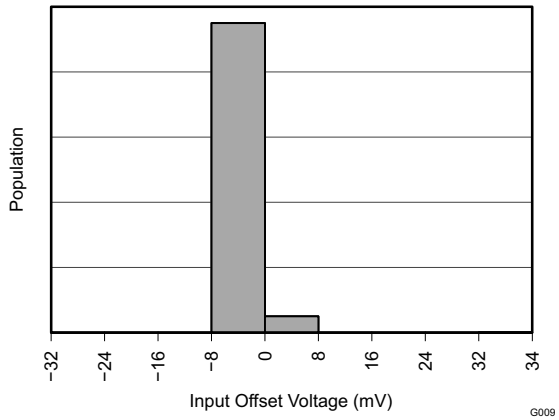


图 6-8. 总线输入失调电压产生分布图

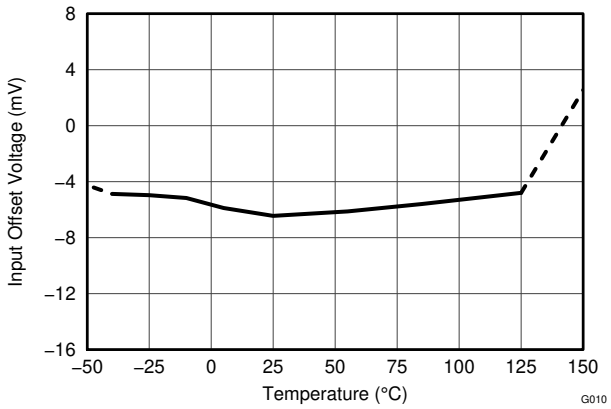


图 6-9. 总线输入失调电压与温度间的关系

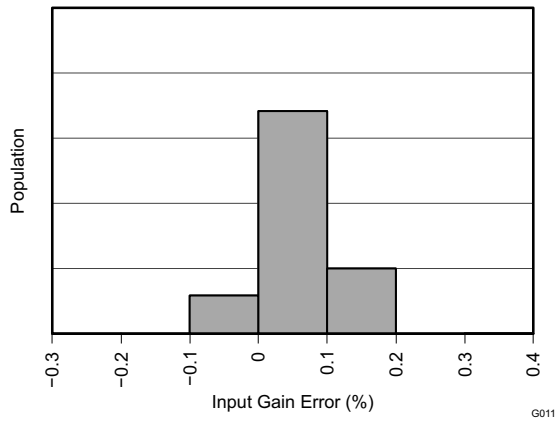


图 6-10. 总线输入增益误差产生分布图

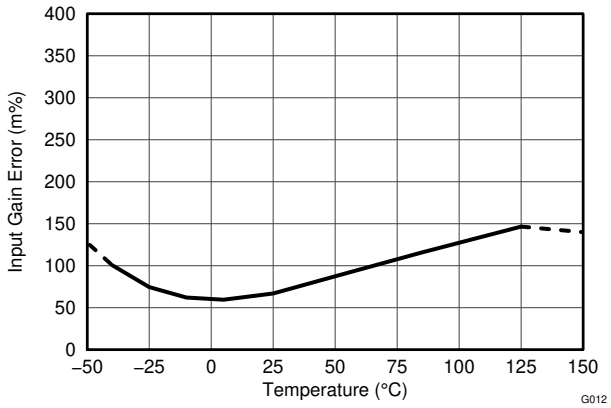


图 6-11. 总线输入增益误差与温度间的关系

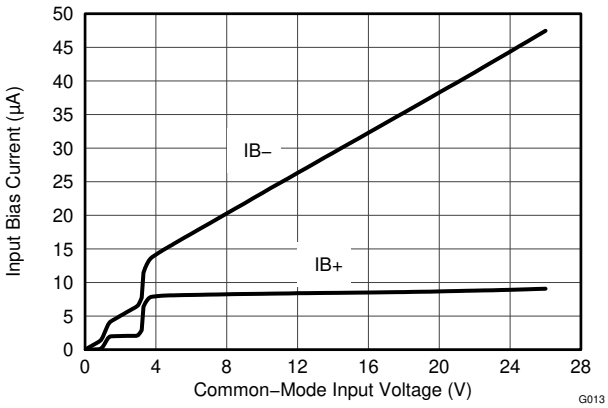


图 6-12. 输入偏置电流与共模电压之间的关系

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

6.6 典型特性（续）

在 T_A = 25°C，V_S = 3.3V，V_{IN+} = 12V，V_{SHUNT} = (V_{IN+}) – (V_{IN-}) = 0mV 且 V_{BUS} = V_{IN-} = 12V 时测得（除非另有说明）

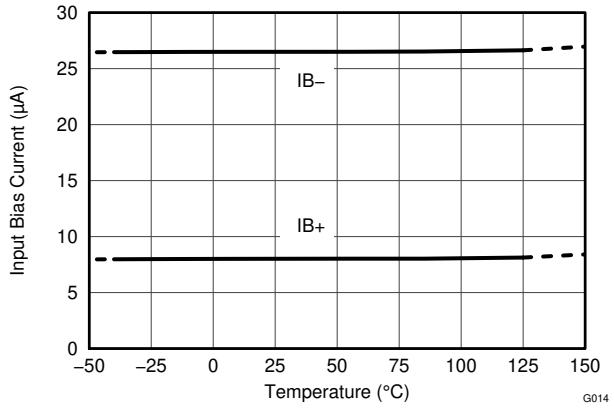


图 6-13. 输入偏置电流与温度间的关系

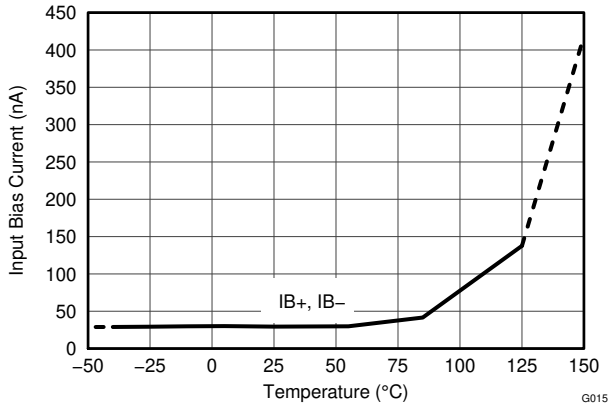


图 6-14. 输入偏置电流与温度（关断）间的关系

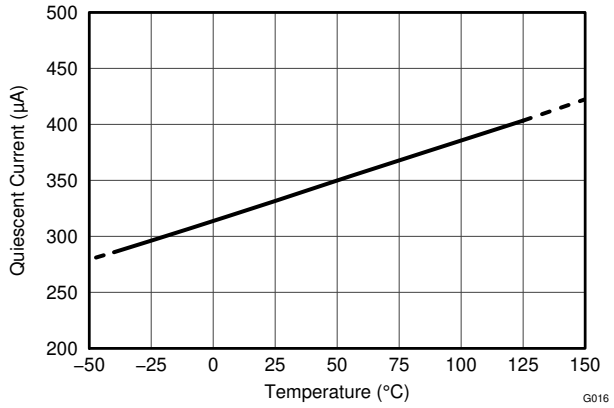


图 6-15. 工作 I_Q 与温度间的关系

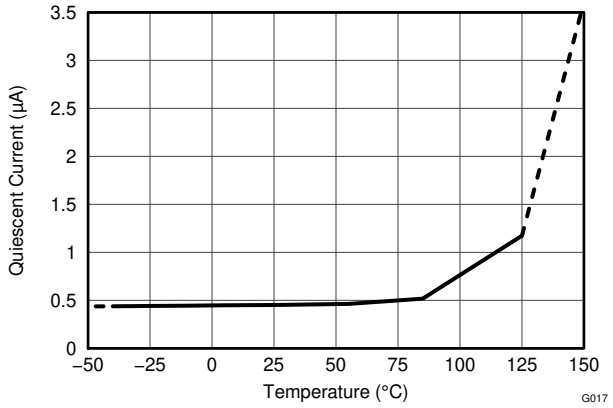


图 6-16. 关断 I_Q 与温度间的关系

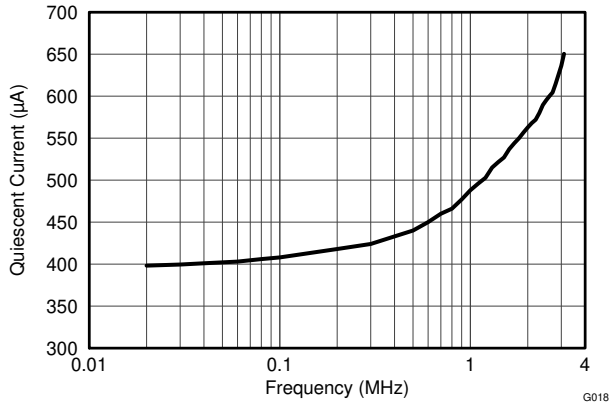


图 6-17. 工作 I_Q 与 I^2C 时钟频率间的关系

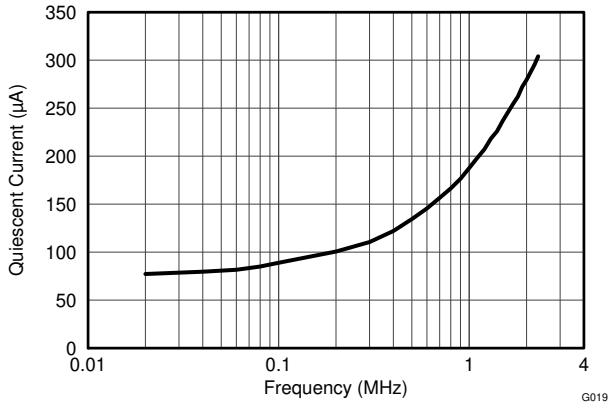


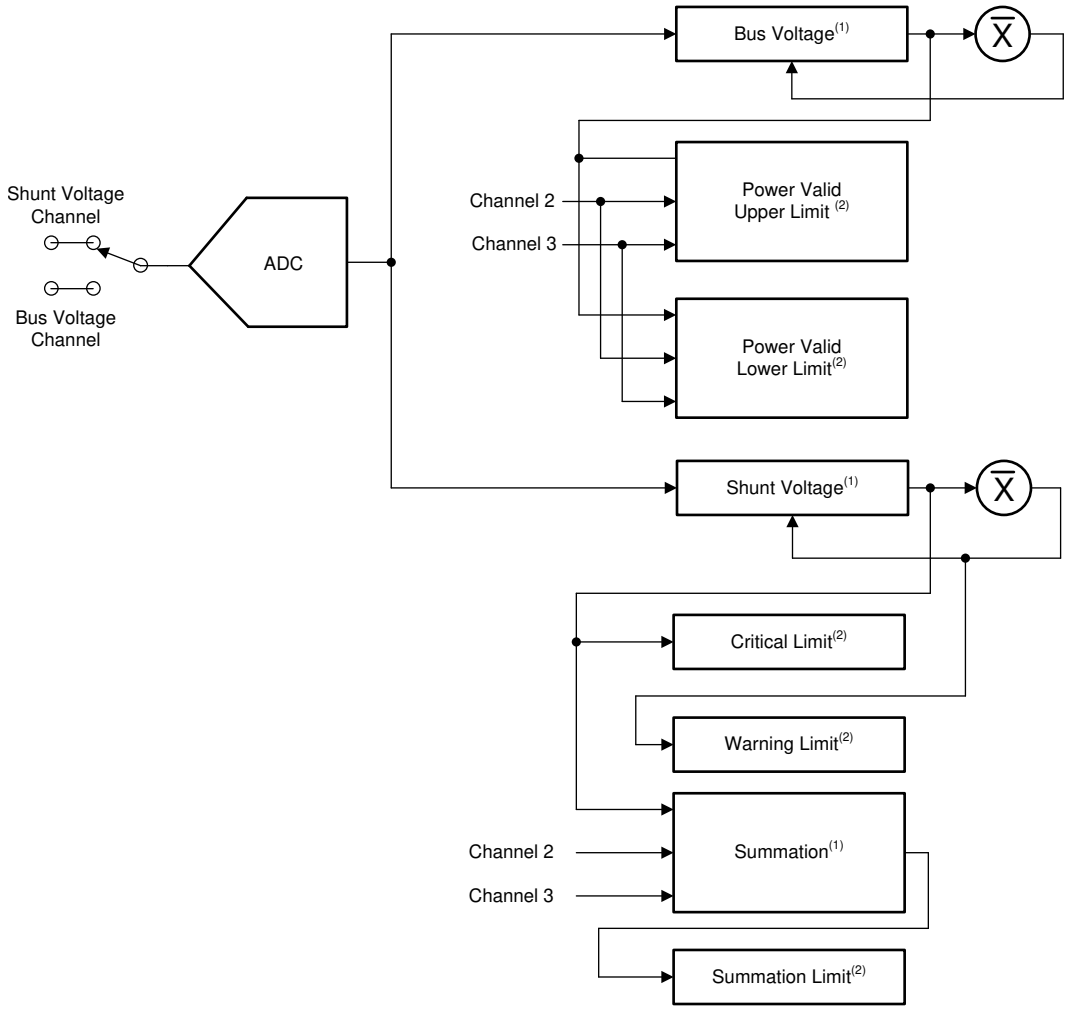
图 6-18. 关断 I_Q 与 I^2C 时钟频率间的关系

7 详细说明

7.1 概述

INA3221 是一款可通过 I²C 和 SMBus 兼容接口通信的电流分流和总线电压监测器。INA3221 提供在精密控制系统中进行准确决策所需的数字分流和总线电压读数，并监测多个电源轨以保持合规电压。可编程寄存器提供灵活的配置以实现测量精度以及连续与单次操作。*寄存器映射* 部分从 *表* 7-3 起提供了 INA3221 寄存器的详细信息。

7.2 功能方框图



A. 只读。
B. 读取/写入。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

7.3 特性说明

7.3.1 基本 ADC 功能

INA3221 对最多三个相关电源执行两次测量。负载电流通过分流电阻器产生的电压会产生一个分流电压，该电压可在 IN+ 和 IN – 引脚之间进行测量。器件还在内部测量每个通道的 IN – 引脚上的电源总线电压。差分分流电压以 IN – 引脚为基准进行测量，而总线电压以接地为基准进行测量。

INA3221 通常由电压范围为 2.7V 至 5.5V 的单独电源供电。监测的电源总线范围为 0V 至 26V。

> **小心**
>
> 根据固定的 8mV 总线电压寄存器 LSB（对于任何通道），满量程寄存器值可产生 32.76V 电压。但是，施加到 INA3221 输入引脚上的实际电压不得超过 26V。

共模输入范围和器件电源电压之间无需特别考虑电源时序，因为它们相互独立；因此，总线电压与电源电压可在对方关闭时存在。

INA3221 对每个通道进行两次测量：一个用于分流电压，一个用于总线电压。可以根据模式设置（配置寄存器中的位 2-0）独立地或按顺序进行每个测量。当 INA3221 处于正常运行模式（即配置寄存器的 MODE 位设置为 111）时，该器件按顺序连续转换一个分流电压读数和一个总线电压读数。该程序将转换一个通道，然后继续下一个已启用通道的分流电压读数，接下来是该通道的总线电压读数，依此类推，直到测量完所有已启用的通道。已编程的配置寄存器模式设置适用于所有通道。无论模式设置如何，未启用的任何通道都会在测量序列中被绕过。

INA3221 有两种运行模式（连续和单次），这些模式决定完成这些转换之后的内部 ADC 操作。当 INA3221 设置为连续模式（使用 MODE 位设置）时，器件继续循环使用所有已启用的通道，直到编程了新配置设置。

配置寄存器 MODE 控制位还可启用仅转换分流电压或总线电压的选定模式。此功能进一步允许器件满足特定的应用要求。

在单次（触发）模式下，将任何单次转换模式设置到配置寄存器（即配置寄存器 MODE 位设置为 001、010 或 011）都会触发一个单次转换。该操作会为所有已启用的通道生成一组测量值。为了触发另外一个单次转换，即使模式不发生变化，仍然再次写入配置寄存器。启动单次转换时，会对所有已启用的通道进行一次测量，然后器件进入断电状态。即使在断电状态下，也可以随时读取 INA3221 寄存器。这些寄存器中存在的数据来自相应寄存器的最后一个已完成的转换结果。转换就绪标志位（屏蔽/使能寄存器，CVRF 位）有助于协调单次转换，在较长的转换时间设置期间尤其有用。CVRF 位在所有转换完成后设置。在以下情况下，CVRF 位被清除：

1. 写入配置寄存器（为省电模式配置 MODE 位的情况除外）；或者
2. 读取屏蔽/使能寄存器。

除了这两种运行模式（连续和单次）之外，INA3221 还有一种可独立选择的断电模式，能够减少静态电流并关断 INA3221 输入的电流。断电模式减少了器件未使用时漏电源的影响。从省电模式完全恢复需要 40μs。当器件处于断电模式时，可以写入和读取 INA3221 寄存器。器件保持在省电模式下，直到其中一个激活 MODE 设置被写入到配置寄存器中。

7.3.2 警报监测

INA3221 支持可编程阈值，可确保预期应用在所需的工作条件下运行。使用四个警报引脚可实现多种监测功能：临界、警告、PV（电源有效）和 TC（时序控制）。这些警报引脚为开漏连接。

7.3.2.1 临界警报

临界警报功能根据每个分流电压通道的单独转换来监测功能。临界警报限值功能将每个分流电压通道的分流电压转换与编程到相应限值寄存器中的值进行比较，以确定测量值是否超过预期限值。超过编程的限值表示流经分流电阻器的电流过高。

上电时，每个通道的默认临界警报限值被设置为正满量程值，从而有效地禁用该警报。可以随时对相应的限值寄存器进行编程，以开始监测是否存在超限条件。如果任何通道测量值超过相应通道临界警报限值寄存器中存在的

限值，则临界警报引脚会拉至低电平。当临界警报拉至低电平时，读取屏蔽/使能寄存器以确定哪个通道导致临界警报标志指示器位 (CF1-3) 置为有效 (= 1)。

7.3.2.1.1 求和控制功能

INA3221 还允许由求和控制功能控制临界警报引脚。此功能为所需通道添加单个分流电压转换（由屏蔽/使能寄存器中的 SCC1-3 设置），以便将总和与编程限制进行比较。

SCC 位要么禁用求和控制功能，要么允许求和控制功能在分流电压总和寄存器中包括两个或三个通道之间切换。分流电压总和限值寄存器包含编程值，该值与分流电压总和寄存器中的值进行比较以确定是否超过总求和限值。如果超过分流电压总和限值，则临界警报引脚会拉低。当临界警报引脚拉低时，屏蔽/使能寄存器中的求和警报标志指示器位 (SF) 或单独的临界警报限值位 (CF1-3) 决定警报源。

为了使求和限值获得有意义的值，请在包含的所有通道上使用相同的分流电阻值。除非每个通道使用相等的分流电阻值，否则请勿使用此功能直接在分流电压总和寄存器中将各个转换值相加来报告总电流。

7.3.2.2 警告警报

警告警报监测每个分流电压通道的平均值。每个分流电压通道的平均值基于通过配置寄存器中的均值计算模式位 (AVG1-3) 设置的平均值数量。每次相应通道上进行转换时，分流电压输出寄存器中的平均值都会更新。器件会将平均值与相应通道警告警报限值寄存器中编程的值进行比较，以确定是否超过了平均值，指示平均电流是否过高。上电时，每个通道的默认警告警报限值被设置为正满量程值，从而有效地禁用该警报。可以随时对相应的限值寄存器进行编程，以开始监测是否存在超限条件。如果任何通道测量值超过相应通道警告警报限值寄存器中存在的限值，则警告警报引脚会拉至低电平。当警告警报引脚拉至低电平时，读取屏蔽/使能寄存器以确定哪个通道警告警报标志指示器位 (WF1-3) 置为有效 (= 1)。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

7.3.2.3 电源有效警报

电源有效警报验证是否所有电源轨都高于所需的电平。该功能可管理电源时序，并根据系统配置验证报告的测量值。电源有效模式从上电时开始，并检测每个通道何时超过 10V 阈值。此 10V 电平是编程到电源有效上限寄存器中的默认值。当 INA3221 上电至最低 2.7V 的有效电源电压电平时，可以对该值进行重新编程。当全部三个总线电压测量值都达到加载到电源有效上限寄存器中的编程值时，电源有效 (PV) 警报引脚拉高。PV 在低电平状态下上电，直到满足电源有效条件后才会拉至高电平，表示所有总线电压轨都高于电源有效上限值。该序列如 图 7-1 所示。

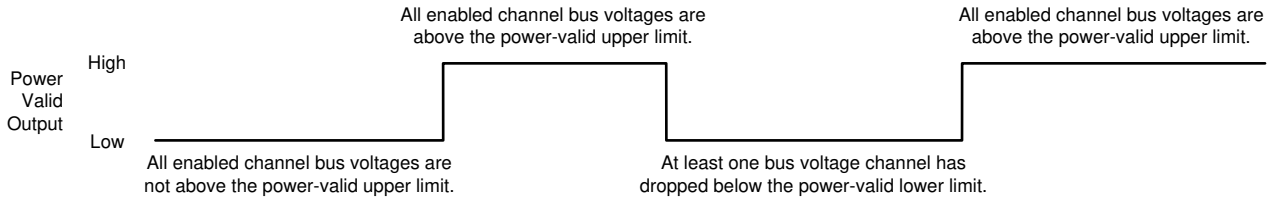


图 7-1. 电源有效状态图

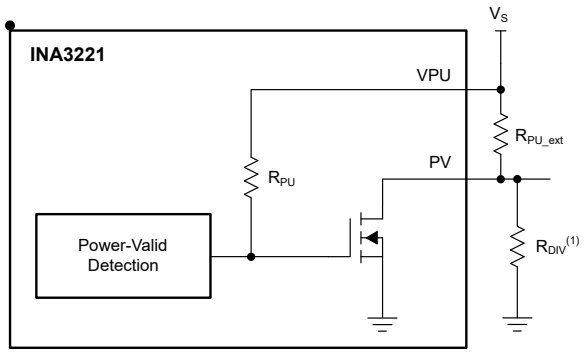
当满足电源有效条件且 PV 引脚拉至高电平时，INA3221 监测任何总线电压测量值是否降至 9V 以下。此 9V 电平是编程到电源有效下限寄存器中的默认值。当 INA3221 上电至最低 2.7V 的电源电压时，也可以对该值进行重新编程。如果三个通道上的任何总线电压测量值降至电源有效下限寄存器值以下，则 PV 引脚变为低电平，表示不再满足电源有效条件。此时，INA3221 恢复为监控电源轨是否存在电源有效上限寄存器中设置的电源有效条件。

电源有效警报功能基于所有三个通道均达到预期电源有效上限寄存器值的电源有效条件要求。如果所有三个通道均未使用，请将未使用的通道 IN – 引脚从外部连接到其中一个已使用的通道，以使用电源有效警报功能。如果未使用的通道未连接到有效电源轨，则电源有效警报功能无法检测所有三个通道是否都达到电源有效电平。将未使用的通道 IN+ 引脚悬空。

电源有效功能还要求监测总线电压测量值。要检测电源有效状态的变化，请通过配置寄存器中相应的 MODE 位设置之一来启用总线电压测量。单次总线电压模式会在总线电压测量之间定期循环，以确保满足电源有效条件。

当全部三个总线电压测量完成后，器件会将结果与电源有效阈值进行比较，以确定电源有效状态。总线电压测量值保留在相应的通道输出寄存器中，直到再次进行总线电压测量，从而更新输出寄存器。更新输出寄存器后，这些值会再次与电源有效阈值进行比较。如果不定期进行总线电压测量、INA3221 就无法确定是否保持了电源有效条件。

PV 引脚允许指示电源无效情况的 0V 输出。与连接至 VPU 引脚的上拉电源电压相等的输出表示电源有效条件，如 图 7-2 所示。也可以通过在 PV 输出端增加一个接地电阻器来对高功率有效上拉电压进行分压，从而在需要时允许该功能与低压电路连接。

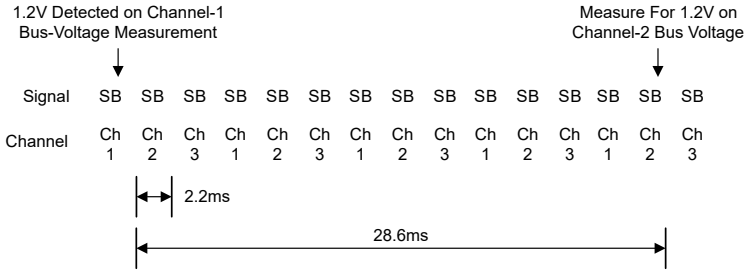


A. R_{DIV} 可用于对 PV 输出进行电平位移。

图 7-2. 电源有效输出结构

7.3.2.4 时序控制警报

INA3221 时序控制警报功能有助于验证正确的电源时序。上电时，默认 INA3221 设置为连续分流和总线电压转换模式，并且 INA3221 在内部开始比较通道 1 总线电压以确定何时达到 1.2V 电平。每次该序列返回通道 1 总线电压测量时，都会进行此比较。在通道 1 总线电压测量中检测到 1.2V 电平时，INA3221 开始检查通道 2 总线电压测量中是否存在 1.2V 电平。在通道 1 上检测到 1.2V 电平后，如果 INA3221 在全部三个通道的四个完整周期之后未在总线电压测量中检测到 1.2V 或更大值，则时序控制 (TC) 警报引脚会拉至低电平以指示 INA3221 在通道 2 上未检测到有效电源轨。如 图 7-3 所示，该序列允许在通道 1 上检测到 1.2V 后留出大约 28.6ms，以便在通道 2 上检测到有效电压。图 7-4 展示了 TC 警报引脚的状态图。



注意：该信号指的是每个通道的相应分流 (S) 和总线 (B) 电压测量值。

图 7-3. 时序控制时序图

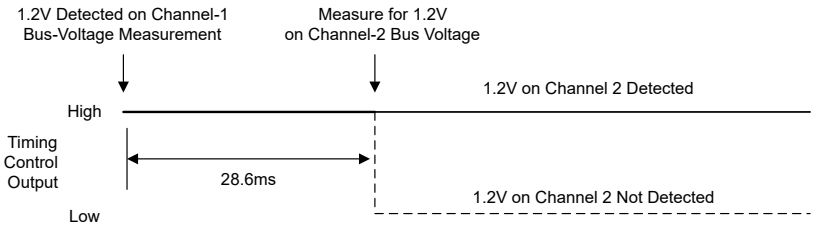


图 7-4. 时序控制状态图

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

仅在上电时或通过设置配置寄存器中的复位位（RST、位 15）发出软件复位时监测时序控制警报功能。时序控制警报功能时序基于上电时的默认器件设置。在时序控制警报功能完成整个序列之前写入配置寄存器会导致禁用时序控制警报，直到下电上电或发出软件复位。

7.3.2.5 默认设置

寄存器映射 部分列出了默认寄存器上电状态。这些寄存器为易失性；如果编程为 *表* 7-3 中显示的默认值以外的值，则每次器件上电时都必须对这些寄存器进行重新编程。

7.3.3 软件复位

INA3221 具有软件复位功能，可将器件和寄存器设置重新初始化为默认上电值，而无需对器件进行下电上电。使用配置寄存器的位 15 (RST) 执行软件复位。设置 RST 会将所有寄存器和设置重新初始化为默认电源状态，但电源有效输出状态除外。

如果发出软件复位，INA3221 会保持 PV 引脚的输出，直到电源有效检测序列完成。发出软件复位后，电源有效上限和电源有效下限寄存器会返回默认状态。因此，任何重新编程的限值寄存器都会复位，从而产生验证电源有效条件的原始电源有效阈值。这种架构可防止在软件复位事件期间连接到电源有效输出的电路中断。

7.4 器件功能模式

7.4.1 均值计算功能

INA3221 包括三个通道，用于监测多达三条独立电源总线；但是，多通道监测有时会导致分流电阻器放置不良。理想情况下，分流电阻器应尽可能靠近相应通道输入引脚放置。但是，由于系统布局和多个电源轨的原因，一个或多个分流电阻器可能需要放置在更远的位置，因而可能导致较大的测量误差。这些误差由分流电阻器和输入引脚之间额外的引线电感和其他寄生阻抗造成。如果引线布置在电路板的噪声生成部分附近，则较长的走线还会产生额外的噪声并将噪声耦合到信号中。

INA3221 均值计算功能可限制任何单次测量对每个测量信号平均值的影响，从而缓解这种潜在问题。该限制减少了噪声对平均值的影响，因而有效地形成了输入信号滤波器。

均值计算功能如 图 7-5 所示。操作从测量通道 1 上的分流输入信号开始。然后，从相应数据输出寄存器中出现的前一个值中减去该值。然后将该差值除以平均值计算模式设置（AVG2-0，配置寄存器位 11-9）编程的值，并存储在内部累加寄存器中。然后将计算得出的结果添加到先前加载的数据输出寄存器值中，并将生成的值加载到相应的数据输出寄存器中。更新后，要测量的下一个信号遵循相同的过程。为均值计算模式设置选择的值越大，任何新转换对平均值的影响就越小，如 图 7-6 所示。该均值计算功能可用作滤波器，以减少平均测量值中的输入噪声。

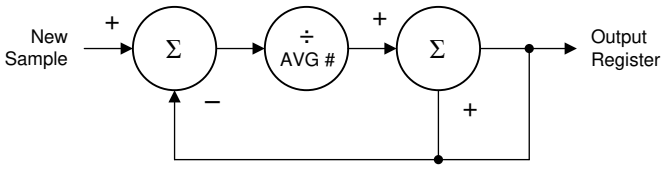


图 7-5. 均值计算功能方框图

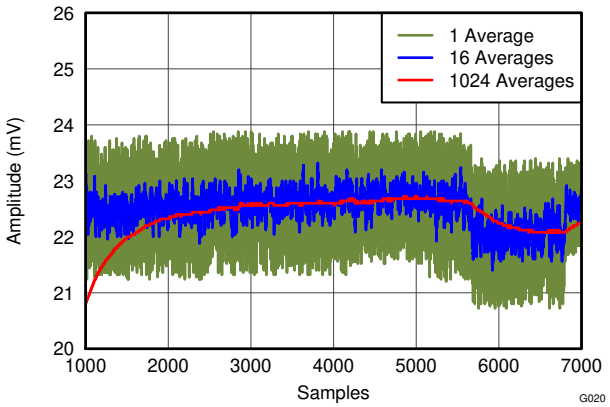


图 7-6. 均值计算设置示例

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

7.4.2 多通道监测

INA3221 监测针对多达三个独特电源轨的分流和电压测量，并可测量多达六个不同的信号。通过设置配置寄存器中的通道使能（$CH1_{en}$ 至 $CH3_{en}$）和模式 (MODE3-1) 位来调整要测量的通道和信号数量。这种调整允许根据所用系统的应用要求来优化器件。

7.4.2.1 通道配置

如果必须在上电时监测所有三个通道，但在系统稳定后只需要监测一个通道，则在上电后禁用另外两个通道。此配置允许 INA3221 仅监测目标电源轨。禁用未使用的通道，通过更快地恢复对目标通道的采样来帮助缩短系统响应时间。INA3221 线性监测已启用的通道。也就是说，如果同时为分流电压和总线电压测量启用所有三个通道，则在测量信号后额外完成五次转换，然后器件返回到该特定信号以开始另一次转换。若要将此要求降低为器件再次在特定通道上开始新转换之前进行两次转换，请将工作模式更改为仅监测分流电压。

减少测量信号还涉及时序方面。完成全通道、分流和总线电压序列的时间量等于分流电压转换时间和总线电压转换时间（由配置寄存器中的 CT 位编程）之和乘以三个通道。分流电压和总线电压测量的转换时间独立地编程；但是，所选的分流电压和总线电压转换时间适用于所有通道。

启用仅测量一个信号的单个通道，以允许仅监测该特定信号。这种设置可实现随着时间的推移对特定输入信号变化的最快响应，因为从一个转换结束到该通道上的下一次转换开始之前没有延迟。启用或禁用其他通道不会影响转换时间。选择分流电压和总线电压设置以及启用额外的通道会延长从信号上一次转换结束到该信号下一次转换开始之前的时间。

7.4.2.2 均值计算和转换时间注意事项

INA3221 具有针对分流电压和总线电压测量的可编程转换时间。这些测量的可选转换时间范围为 140μs 至 8.244ms。转换时间设置结合可编程均值计算模式，使 INA3221 能够在指定应用中优化可用的时序要求。例如，如果系统要求在监测所有三个通道的情况下每 2ms 读取一次数据，则将 INA3221 配置为分流和总线电压测量的转换时间设置为 332μs。

还可针对分流电压和总线电压测量，将 INA3221 配置成具有不同的转换时间设置。这种方法在总线电压趋于相对稳定的应用中很常见，并允许相对于分流电压测量减少侧重于总线电压测量的时间。例如，分流电压转换时间可以设置为 4.156ms，总线电压转换时间设置为 588μs，持续 5ms 的更新时间。

可以在转换时间和均值计算模式设置之间进行权衡。均值计算功能通过有效地过滤信号，可显著提升测量精度。通过这种方法，INA3221 可以减少因噪声耦合到信号而在测量中导致的噪声。平均数越多，INA3221 在减少测量的噪声分量方面就越高效。这种降噪的代价是平均值对输入信号变化的响应时间更长。临界警报功能会在某种程度上缓解均值计算功能的这个方面，通过比较每个转换以确定测量的信号（带有噪声分量）是否超过了最大可接受水平。

选定的转换时间也会影响测量精度。在图 7-7 中可以看到这种影响。图 7-7 中显示的多个转换时间说明了噪声对测量的影响。这些显示的曲线不使用均值计算来实现尽可能高的测量精度，而是根据系统时序要求，在允许的最长转换时间和最大数量的平均数之间进行折衷。

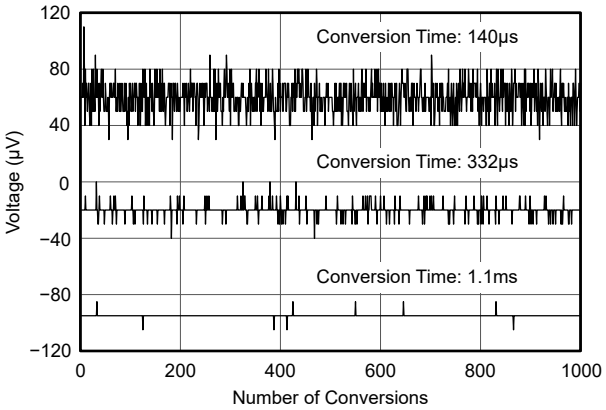


图 7-7. 噪声与转换时间的关系

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

7.4.3 滤波和输入考虑

测量电流通常会产生较多噪声，这种噪声难以定义。通过允许在配置寄存器中独立选择转换时间和平均值数量，INA3221 提供了多个滤波选项。转换时间也可针对分流电压和总线电压测量独立设置，从而更加灵活地配置电源总线监测。

内部 ADC 基于一个三角积分 (ΔΣ) 前端，其典型采样率为 500kHz (±30%)。此架构具有良好的固有噪声抑制能力；但是，在采样率谐波或非常接近采样率谐波处发生的瞬变可能会引起问题。这些瞬态信号的频率为 1MHz 或更高；因此，可通过在 INA3221 输入端加入滤波来管理这些信号。高频信号允许在滤波器上使用低阻值串联电阻器，对测量准确度的影响可以忽略不计。通常，仅当瞬态恰好出现在 500kHz (±30%) 采样率且大于 1MHz 的谐波上时，才需要对 INA3221 输入进行滤波。使用尽可能低的串联电阻值（通常为 10Ω 或者更少）和一个陶瓷电容器的滤波器。建议的电容值为 0.1μF 至 1.0μF。图 7-8 展示了在输入端额外添加滤波器的 INA3221。

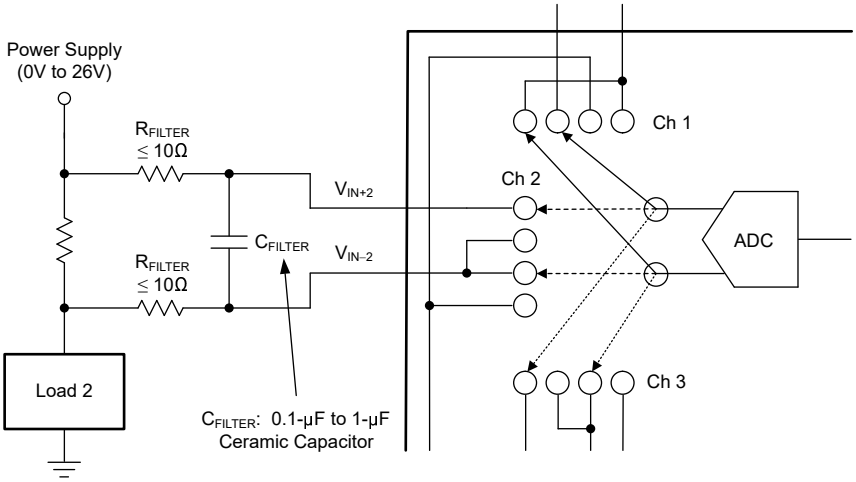


图 7-8. 带输入滤波的 INA3221

INA3221 输入在输入端可承受 26V 的额定电压。但是，对于 INA3221 输入，过载条件是另外一个考虑因素。例如，大差分输入情况会使分流器负载侧对地短路。如果电源或者储能电容器支持，此类事件会导致分流器上出现满电源电压。请记住，消除对地短路可能导致电感反冲，而电感反冲可能超过 INA3221 的 26V 差分和共模额定值。电感反冲电压应由具有足够储能电容的齐纳类型瞬变吸收器件（通常称为*瞬变吸收器*）来控制。

对于在分流器的一侧或两侧没有大型储能电解电容器的应用，施加到输入上的电压的过量 dV/dt 可能会导致输入过应力情况。硬物理短路最有可能是导致该事件的原因，尤其是在没有大型电解电容器存在的应用中。之所以出现这个问题，是因为过量的 dV/dt 可能会在提供大电流的系统中激活 INA3221 ESD 保护功能。测试表明，通过添加与每个 INA3221 输入串联的 10Ω 电阻器，可充分保护输入免受此 dV/dt 故障（高达 26V 器件额定值）的影响。

7.5 编程

7.5.1 总线概述

INA3221 提供与 I²C 和 SMBus 接口的兼容性。I²C 与 SMBus 协议互相兼容。

在整个这个数据表中，I²C 的接口被用作主要示例，只有当讨论两个系统的差异时才指定 SMBus 协议。串行时钟 (SCL) 和数据信号线路 (SDA) 这两条 I/O 线路将 INA3221 连接到总线。SCL 和 SDA 都是开漏连接。

发起数据传输的器件称为*控制器*，而受控制器控制的器件为*目标器件*。总线必须由控制器件控制，以生成 SCL，控制总线访问并生成启动和停止条件。

为了寻址一个特定的器件，控制器通过在 SCL 为高电平时将 SDA 的逻辑电平从高拉为低来启动一个启动条件。总线上的所有目标器件都在 SCL 上升沿移入目标地址字节，最后一位表明希望进行的是读取还是写入操作。在第九个时钟脉冲期间，被寻址的目标会生成一个*确认*位并将 SDA 下拉为低电平，对控制器做出响应。

然后启动数据传输并发送 8 位数据，随后发送一个确认位。在数据传输期间，SDA 必须保持稳定，同时 SCL 为高电平。SCL 为高电平时 SDA 上的任何变化会被认为是一个开始或者停止条件。

传输完所有数据后，控制器会在 SCL 为高电平时将 SDA 从低电平拉至高电平，以生成一个停止条件。INA3221 在接口上包括一个 28ms 超时来防止锁定总线。

7.5.1.1 串行总线地址

要与 INA3221 通信，控制器必须首先通过一个目标地址字节来寻找目标器件的地址。该字节包括 7 个地址位和 1 个方向位，用于指示预期操作是读取还是写入操作。

INA3221 有一个地址引脚 A0。表 7-1 描述了四个可能地址中每一个地址的引脚逻辑电平。每次总线通信时都会对 A0 引脚的状态进行采样，并且必须在接口上发生任何活动之前设置。

表 7-1. 地址引脚和目标地址

A0	目标地址
GND	1000000
VS	1000001
SDA	1000010
SCL	1000011

7.5.1.2 串行接口

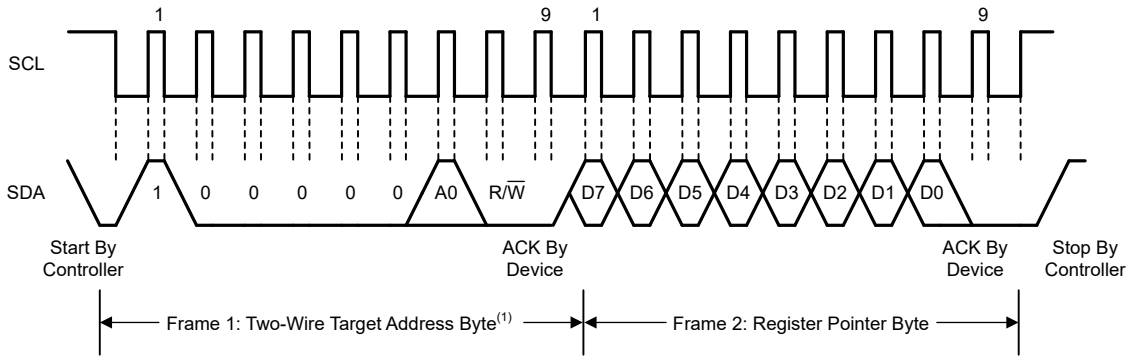
INA3221 在 I²C 总线和 SMBus 上仅作为目标器件运行。使用开漏 I/O 线路、SDA 和 SCL 建立总线连接。SDA 和 SCL 引脚特有集成的峰值抑制滤波器和施密特触发器来大大减少输入峰值和总线噪声的影响。虽然数字 I/O 线路中集成有峰值抑制功能，但是应采用适当的布局来尽量减少进入通信线路的耦合量。引入的噪声会从两条通信线路本身之间的电容耦合信号边沿或者从其他出现在系统中的开关噪声源产生。在一个印刷电路板 (PCB) 上两层之间与接地并联的路由走线通常能减少通信线路间的耦合效应。屏蔽通信线路可减少有害噪声耦合进入数字 I/O 线路的可能性，而有害噪声耦合可能会被错误地解释为开始或停止命令。

INA3221 支持针对快速（1kHz 至 400kHz）和高速（1kHz 至 2.44MHz）模式的传输协议。所有数据字节的传输都是 MSB 优先。

7.5.2 对 INA3221 进行写入和读取

要访问特定 INA3221 寄存器，请将适当的值写入寄存器指针。有关寄存器和对应地址的完整列表，请参阅 表 7-3。寄存器指针的值（如图 7-9 所示）是在 R/$\overline{W}$ 位为低电平时目标地址字节之后传输的第一个字节。对 INA3221 的每次写入操作都需要一个寄存器指针值。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated



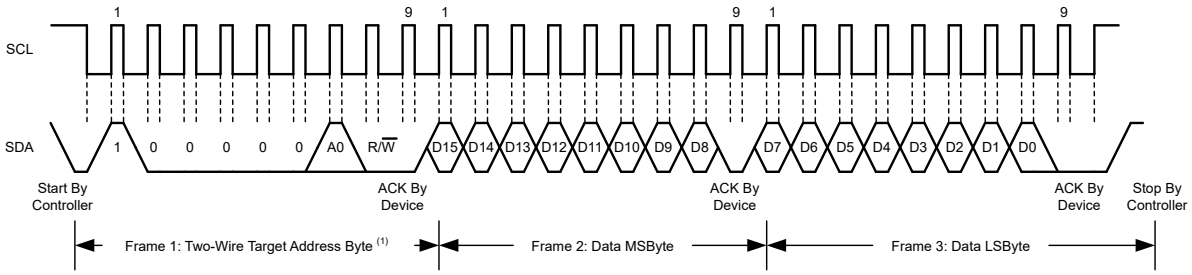
A. 目标地址字节的值由 A0 引脚设置决定；请参阅 表 7-1。

图 7-9. 典型寄存器指针设定

寄存器写入从控制器传输的第一个字节开始。这个字节为目标地址，其中 R/$\overline{W}$ 位为低电平。然后，INA3221 确认接收到一个有效地址。控制器传输的下一个字节是数据将要写入的寄存器地址。此寄存器地址值将寄存器指针更新为指向所需的寄存器。下两个字节被写入由寄存器指针进行寻址的寄存器。INA3221 确认接收到每个数据字节。控制器可以通过生成启动或停止条件来终止数据传输。

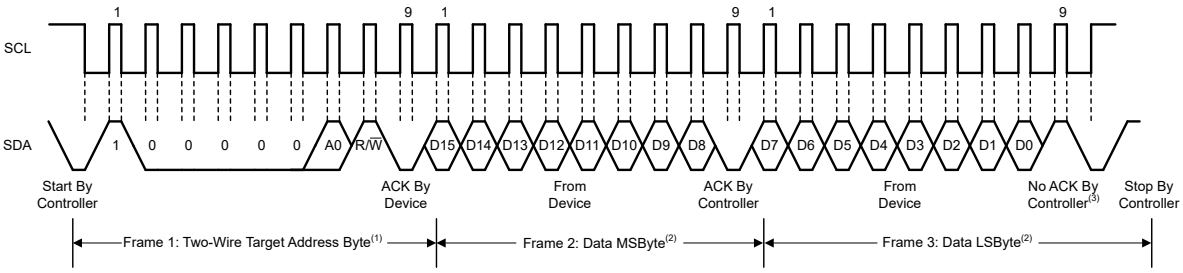
从 INA3221 读取时，写入操作存储在寄存器指针中的最后一个值确定在读取操作期间应该读取哪一个寄存器。为了将寄存器指针更改为进行读取操作，向寄存器指针中写入一个新值。要完成此写入，应在 R/$\overline{W}$ 位为低电平时发出一个目标地址字节，后跟寄存器指针字节。无需额外的数据。然后，控制器生成一个启动条件，并在 R/$\overline{W}$ 位为高电平时发送目标地址字节，以启动读取命令。下一个字节由目标器件发送，是寄存器指针所指示的寄存器的最高有效字节。该字节后跟一个来自控制器的确认；然后目标器件发送最低有效字节。控制器确认收到数据字节。控制器在接收任何数据字节时生成*非确认*，或生成启动或停止条件，来终止数据传输。如果需要从同一寄存器进行重复的读取操作，则不必一直发送寄存器指针字节；INA3221 将保持寄存器指针的值，直到该值被下一个写入操作所更改。

图 7-10 和图 7-11 分别显示了写入和读取操作时序图。请注意，首先发出的寄存器字节为最高有效字节，之后是最低有效字节。



A. 目标地址字节的值由 A0 引脚设置决定；请参阅 表 7-1。

图 7-10. 写入字格式的时序图

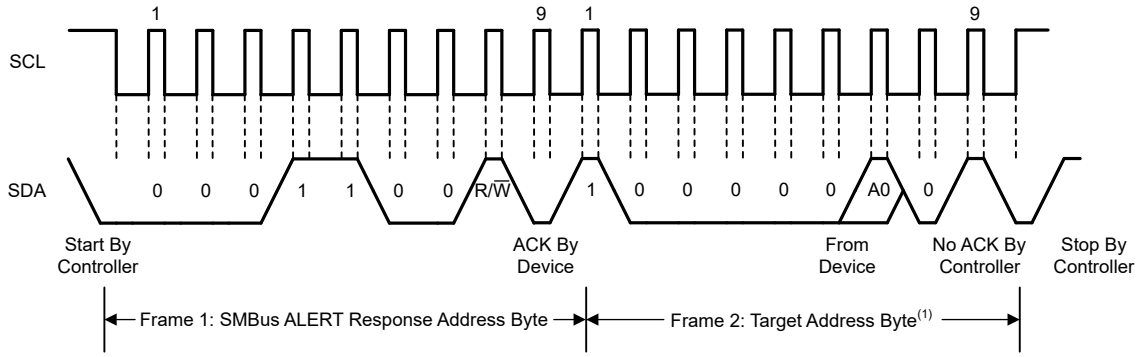


A. 目标地址字节的值由 A0 引脚设置决定；请参阅 表 7-1。

B. 从最后寄存器指针位置开始读取数据。如果需要一个全新的寄存器，必须更新寄存器指针。请参阅 图 7-9。
C. 控制器还可以发送 ACK。

图 7-11. 读取字格式的时序图

图 7-12 显示了针对 SMBus 警报响应操作的时序图。



A. 目标地址字节的值由 A0 引脚设置决定；请参阅 表 7-1。

图 7-12. SMBus 警报的时序图

7.5.2.1 高速 I²C 模式

当总线空闲时，SDA 和 SCL 线路被上拉电阻拉至高电平。控制器生成一个启动条件，后跟一个有效的串行字节，其中包含高速 (Hs) 控制器代码 *00001XXX*。该传输在不高于 400kHz 的快速 (400kHz) 模式和标准 (100kHz) (F/S) 模式上进行。INA3221 不对 Hs 控制器代码进行确认，但的确会识别该代码并切换其内部滤波器以支持 2.44MHz 运行。

然后，控制器生成重复启动条件（重复启动条件与启动条件具有相同的时序）。在这个重复的启动条件之后，协议与 F/S 模式一致，除非允许的传输速度高达 2.44 MHz。控制器不使用停止条件，而是使用重复的启动条件将总线保持在 Hs 模式。停止条件结束 Hs 模式，并切换所有内部 INA3221 滤波器以支持 F/S 模式。

图 7-13 显示了总线时序，表 7-2 列出了总线时序定义。

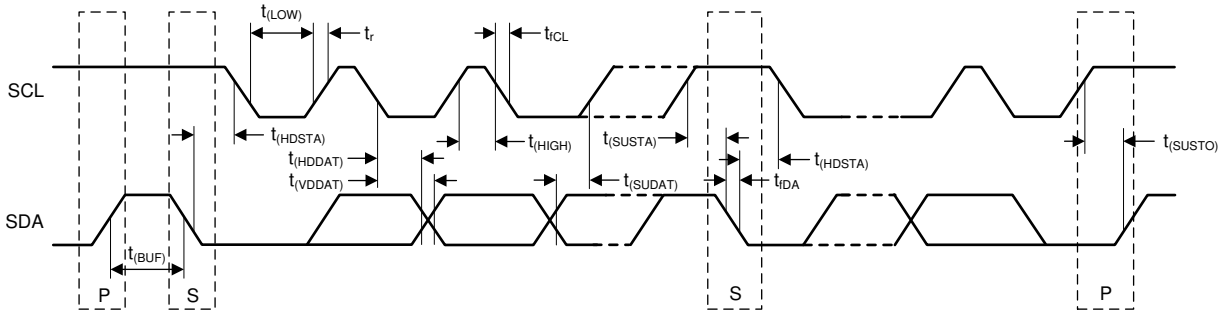


图 7-13. 总线时序

表 7-2. 总线时序定义 (1)

参数		快速模式		高速模式		单位
		最小值	最大值	最小值	最大值	
$f_{(SCL)}$	SCL 运行频率	0.001	0.4	0.001	2.44	MHz
$t_{(BUF)}$	停止条件和启动条件之间的总线空闲时间	1300		160		ns
$t_{(HDSTA)}$	重复启动条件后的保持时间。 在此周期后，生成第一个时钟。	600		160		ns

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

表 7-2. 总线时序定义 (1) （续）

参数		快速模式		高速模式		单位
		最小值	最大值	最小值	最大值	
$t_{(SUSTA)}$	重复启动条件建立时间	600		160		ns
$t_{(SUSTO)}$	停止条件建立时间	600		160		ns
$t_{(HDDAT)}$	数据保持时间	0		0		ns
$t_{(VDDAT)}$	数据有效时间		1200		260	ns
$t_{(SUDAT)}$	数据设置时间	100		10		ns
$t_{(LOW)}$	SCL 时钟低电平周期	1300		270		ns
$t_{(HIGH)}$	SCL 时钟高电平周期	600		60		ns
t_{fDA}	数据下降时间		500		150	ns
t_{fCL}	时钟下降时间		300		40	ns
t_r	时钟上升时间		300		40	ns
	SCLK ≤ 100kHz 时的时钟上升时间		1000			ns

(1) 对器件一次性样本的统计分析得出的值。最小值和最大值未经量产测试。
A0 = A1 = 0。

7.5.3 SMBus 警报响应

INA3221 可响应 SMBus 警报响应地址。SMBus 警报响应为简单目标器件提供一个快速故障识别。当警报出现时，控制器广播警报响应目标地址 (0001 100)，且 R/ $\overline{W}$ 位设为高电平。在此警报响应之后，任何生成了警报的目标器件都会通过确认警报响应并在总线上发送相应地址来标识其自身。

警报响应能够同时激活几个不同的目标器件，这一点与 I^2C 通用广播相似。如果多于一个目标器件试图进行响应，那么采用总线仲裁规则。失败的器件不会生成确认，在中断清除前会继续将警报线路保持为低电平。警报必须处于锁存模式才能正常工作。

7.6 寄存器映射

INA3221 使用一组寄存器来保存配置设置、测量结果、最小和最大限值以及状态信息。表 7-3 总结了 INA3221 寄存器的信息；有关寄存器的说明，请参阅 *功能方框图* 部分。

7.6.1 寄存器组摘要

表 7-3. 寄存器组摘要

指针地址（十六进制）	寄存器名称	说明	上电复位		类型(1)
			二进制	十六进制	
0	配置	所有寄存器复位、分流和总线电压 ADC 转换时间和均值计算、工作模式。	01110001 00100111	7127	R/ $\overline{W}$
1	通道 1 分流电压	平均分流电压值。	00000000 00000000	0000	R
2	通道 1 总线电压	平均总线电压值。	00000000 00000000	0000	R
3	通道 2 分流电压	平均分流电压值。	00000000 00000000	0000	R
4	通道 2 总线电压	平均总线电压值。	00000000 00000000	0000	R
5	通道 3 分流电压	平均分流电压值。	00000000 00000000	0000	R
6	通道 3 总线电压	平均总线电压值。	00000000 00000000	0000	R
7	通道 1 临界警报限值	包含限值，用于比较每个转换值以确定是否已超过相应的限值。	01111111 11111000	7FF8	R/ $\overline{W}$
8	通道 1 警告警报限值	包含限值，用于与平均测量值进行比较以确定是否已超过相应的限值。	01111111 11111000	7FF8	R/ $\overline{W}$
9	通道 2 临界警报限值	包含限值，用于比较每个转换值以确定是否已超过相应的限值。	01111111 11111000	7FF8	R/ $\overline{W}$
A	通道 2 警告警报限值	包含限值，用于与平均测量值进行比较以确定是否已超过相应的限值。	01111111 11111000	7FF8	R/ $\overline{W}$
B	通道 3 临界警报限值	包含限值，用于比较每个转换值以确定是否已超过相应的限值。	01111111 11111000	7FF8	R/ $\overline{W}$
C	通道 3 警告警报限值	包含限值，用于与平均测量值进行比较以确定是否已超过相应的限值。	01111111 11111000	7FF8	R/ $\overline{W}$
D	分流电压总和	包含每个选定分流电压转换的总和值。	00000000 00000000	0000	R
E	分流电压总和限值	包含限值，用于与分流电压总和寄存器进行比较以确定是否已超过相应的限值。	01111111 11111110	7FFE	R/ $\overline{W}$
F	屏蔽/使能	警报配置、警报状态指示、总和控制和状态。	00000000 00000010	0002	R/ $\overline{W}$
10	电源有效上限	包含限制，用于比较所有总线电压转换以确定是否已达到电源有效电平。	00100111 00010000	2710	R/ $\overline{W}$
11	电源有效下限	包含限值，用于比较所有总线电压转换以确定是否有任何电压轨降至电源有效范围以下。	00100011 00101000	2328	R/ $\overline{W}$
FE	制造商 ID	包含唯一制造商识别号。	01010100 01001001	5449	R
FF	芯片 ID	包含唯一芯片识别号。	00110010 00100000	3220	R

(1) 类型：R = 只读，R/$\overline{W}$ = 读/写。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

7.6.2 寄存器说明

所有 16 位 INA3221 寄存器都是通过 I²C 接口提供的两个 8 位字节。表 7-4 显示了 INA3221 的寄存器映射。

表 7-4. 寄存器映射

寄存器	地址（十六进制）	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
配置	00	RST	$CH1_{en}$	$CH2_{en}$	$CH3_{en}$	AVG2	AVG1	AVG0	$V_{BUS}CT2$	$V_{BUS}CT1$	$V_{BUS}CT0$	$V_{SH}CT2$	$V_{SH}CT1$	$V_{SH}CT0$	MODE3	MODE2	MODE1
通道 1 分流电压	01	SIGN	SD11	SD10	SD9	SD8	SD7	SD6	SD5	SD4	SD3	SD2	SD1	SD0	—	—	—
通道 1 总线电压	02	SIGN	BD11	BD10	BD9	BD8	BD7	BD6	BD5	BD4	BD3	BD2	BD1	BD0	—	—	—
通道 2 分流电压	03	SIGN	SD11	SD10	SD9	SD8	SD7	SD6	SD5	SD4	SD3	SD2	SD1	SD0	—	—	—
通道 2 总线电压	04	SIGN	BD11	BD10	BD9	BD8	BD7	BD6	BD5	BD4	BD3	BD2	BD1	BD0	—	—	—
通道 3 分流电压	05	SIGN	SD11	SD10	SD9	SD8	SD7	SD6	SD5	SD4	SD3	SD2	SD1	SD0	—	—	—
通道 3 总线电压	06	SIGN	BD11	BD10	BD9	BD8	BD7	BD6	BD5	BD4	BD3	BD2	BD1	BD0	—	—	—
通道 1 临界警报限值	07	C1L12	C1L11	C1L10	C1L9	C1L8	C1L7	C1L6	C1L5	C1L4	C1L3	C1L2	C1L1	C1L0	—	—	—
通道 1 警告警报限值	08	W1L12	W1L11	W1L10	W1L9	W1L8	W1L7	W1L6	W1L5	W1L4	W1L3	W1L2	W1L1	W1L0	—	—	—
通道 2 临界警报限值	09	C2L12	C2L11	C2L10	C2L9	C2L8	C2L7	C2L6	C2L5	C2L4	C2L3	C2L2	C2L1	C2L0	—	—	—
通道 2 警告警报限值	0A	W2L12	W2L11	W2L10	W2L9	W2L8	W2L7	W2L6	W2L5	W2L4	W2L3	W2L2	W2L1	W2L0	—	—	—
通道 3 临界警报限值	0B	C3L12	C3L11	C3L10	C3L9	C3L8	C3L7	C3L6	C3L5	C3L4	C3L3	C3L2	C3L1	C3L0	—	—	—
通道 3 警告警报限值	0C	W3L12	W3L11	W3L10	W3L9	W3L8	W3L7	W3L6	W3L5	W3L4	W3L3	W3L2	W3L1	W3L0	—	—	—
分流电压总和	0D	SIGN	SV13	SV12	SV11	SV10	SV9	SV8	SV7	SV6	SV5	SV4	SV3	SV2	SV1	SV0	—
分流电压总和限值	0E	SIGN	SVL13	SVL12	SVL11	SVL10	SVL9	SVL8	SVL7	SVL6	SVL5	SVL4	SVL3	SVL2	SVL1	SVL0	—
屏蔽/使能	0F	—	SCC1	SCC2	SCC3	WEN	CEN	CF1	CF2	CF3	SF	WF1	WF2	WF3	PVF	TCF	CVRF
电源有效上限	10	SIGN	PVU11	PVU10	PVU9	PVU8	PVU7	PVU6	PVU5	PVU4	PVU3	PVU2	PVU1	PVU0	—	—	—
电源有效下限	11	SIGN	PVL11	PVL10	PVL9	PVL8	PVL7	PVL6	PVL5	PVL4	PVL3	PVL2	PVL1	PVL0	—	—	—
制造商 ID	FE	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
芯片 ID	FF	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

7.6.2.1 配置寄存器（地址 = 00h）[复位 = 7127h]

配置寄存器设置可控制三个输入通道的分流电压和总线电压测量的工作模式。这个寄存器可控制采样电阻电压和总线电压测量的转换时间设置以及使用的均值计算模式。配置寄存器用于独立启用或禁用每个通道，以及选择相应工作模式来控制选择测量哪些信号。

可随时读取此寄存器，而不会影响正在进行的器件设置或转换。写入此寄存器会停止正在进行的任何转换，直到写入序列完成，从而根据新配置寄存器内容开始新转换。这种架构可防止用于下一个已完成转换的条件中出现任何不确定性。

表 7-5. 配置寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RST	$CH1_{en}$	$CH2_{en}$	$CH3_{en}$	AVG2	AVG1	AVG0	V_{BUS} CT2	V_{BUS} CT1	V_{BUS} CT0	V_{SH} CT2	V_{SH} CT1	V_{SH} CT0	MODE 3	MODE 2	MODE 1
RW-0	RW-1	RW-1	RW-1	RW-0	RW-0	RW-0	RW-1	RW-0	RW-0	RW-1	RW-0	RW-0	RW-1	RW-1	RW-1

说明：R/W = 读取/写入；R = 只读；-n = 复位后的值

表 7-6. 配置寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15	RST	R/W	0h	复位位。将该位设置为 1 会生成一个与上电复位 (POR) 相同的系统复位。该位会将所有寄存器复位为默认值并自行清除。
14	$CH1_{en}$	R/W	7h	通道使能模式。这些位允许独立启用或禁用每个通道。 0 = 通道禁用 1 = 通道禁用（默认）
13	$CH2_{en}$			
12	$CH3_{en}$			
11-9	AVG2-0	R/W	0h	均值计算模式。这些位设置在一起收集并求平均值的样本数。 000 = 1（默认值） 001 = 4 010 = 16 011 = 64 100 = 128 101 = 256 110 = 512 111 = 1024
8-6	V_{BUS}CT2-0	R/W	4h	总线电压转换时间。这些位设置总线电压测量的转换时间。 000 = 140 µs 001 = 204 µs 010 = 332 µs 011 = 588 µs 100 = 1.1ms（默认值） 101 = 2.116ms 110 = 4.156ms 111 = 8.244ms
5-3	V_{SH}CT2-0	R/W	4h	分流电压转换时间。这些位设置分流电压测量的转换时间。V_{SH}CT2-0 的转换时间位设置与前一行中列出的 V_{BUS}CT2-0（位 8-6）相同。
2-0	MODE3-1	R/W	7h	工作模式。这些位选择连续、单次（触发）或断电运行模式。这些位默认为连续分流和总线模式。 000 = 断电 001 = 分流电压，单次（触发） 010 = 总线电压，单次（触发） 011 = 分流和总线，单次（触发） 100 = 断电 101 = 分流电压，连续 110 = 总线电压，连续 111 = 分流和总线，连续（默认值）

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

7.6.2.2 通道 1 分流电压寄存器（地址 = 01h）[复位 = 00h]

该寄存器包含通道 1 的平均分流电压测量值。该寄存器存储通道 1 的电流分流电压读数 V_{SHUNT}。负值以二进制补码格式表示。通过对绝对值二进制数进行补数操作并加 1 来生成一个负数的二进制补码。扩展符号，设置 MSB = 1 表示负数。

满标量程 = 163.8mV（十进制 = 7FF8）；LSB (SD0)：40 μV。

示例：对于 V_{SHUNT} = –80mV 的值：

1. 取绝对值：80mV
2. 将这个值转变为一个完整的十进制数 (80mV / 40μV) = 2000
3. 将此数字转换为二进制 = 011 1110 1000 0_ _ _（最后三位设置为 0）
4. 最这个二进制结果作补数操作 = 100 0001 0111 1111
5. 将 1 添加到补码以创建二进制补码结果 = 100 0001 1000 0000
6. 扩展符号并创建 16 位字：1100 0001 1000 0000 = C180h

表 7-7. 通道 1 分流电压寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SIGN	SD11	SD10	SD9	SD8	SD7	SD6	SD5	SD4	SD3	SD2	SD1	SD0	—	—	—
R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0

说明：R/W = 读取/写入；R = 只读；-n = 复位后的值

表 7-8. 通道 1 分流电压寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15	SIGN	R	0h	符号位。 0 = 正数 1 = 二进制补码格式的负数
14-3	SD11-0	R	0h	通道 1 分流电压数据位
2-0	保留	R	0h	保留

7.6.2.3 通道 1 总线电压寄存器（地址 = 02h）[复位 = 00h]

该寄存器存储通道 1 的总线电压读数 V_{BUS}。满标量程 = 32.76V（十进制 = 7FF8）；LSB (BD0) = 8mV。尽管输入范围为 26V，但 ADC 调节的满标量程为 32.76V。应用的电压切勿超过 26V。

表 7-9. 通道 1 总线电压寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SIGN	BD11	BD10	BD9	BD8	BD7	BD6	BD5	BD4	BD3	BD2	BD1	BD0	—	—	—
R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0

说明：R/W = 读取/写入；R = 只读；-n = 复位后的值

表 7-10. 通道 1 总线电压寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15	SIGN	R	0h	符号位。 0 = 正数 1 = 二进制补码格式的负数。
14-3	BD11-0	R	0h	通道 1 总线电压数据位
2-0	保留	R	0h	保留

7.6.2.4 通道 2 分流电压寄存器（地址 = 03h）[复位 = 00h]

该寄存器包含通道 2 的平均分流电压测量值。满标量程 = 163.8mV（十进制 = 7FF8）；LSB (SD0)：40 μV。尽管输入范围为 26V，但 ADC 调节的满标量程为 32.76V。应用的电压切勿超过 26V。

表 7-11. 通道 2 分流电压寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SIGN	SD11	SD10	SD9	SD8	SD7	SD6	SD5	SD4	SD3	SD2	SD1	SD0	—	—	—
R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0

说明：R/W = 读取/写入；R = 只读；-n = 复位后的值

表 7-12. 通道 2 分流电压寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15	SIGN	R	0h	符号位。 0 = 正数 1 = 二进制补码格式的负数
14-3	SD11-0	R	0h	通道 2 分流电压数据位
2-0	保留	R	0h	保留

7.6.2.5 通道 2 总线电压寄存器（地址 = 04h）[复位 = 00h]

该寄存器存储通道 2 的总线电压读数 V_{BUS}。满标量程 = 32.76V（十进制 = 7FF8）；LSB (BD0) = 8mV。尽管输入范围为 26V，但 ADC 调节的满标量程为 32.76V。应用的电压切勿超过 26V。

表 7-13. 通道 2 总线电压寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SIGN	BD11	BD10	BD9	BD8	BD7	BD6	BD5	BD4	BD3	BD2	BD1	BD0	—	—	—
R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0

说明：R/W = 读取/写入；R = 只读；-n = 复位后的值

表 7-14. 通道 2 总线电压寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15	SIGN	R	0h	符号位。 0 = 正数 1 = 二进制补码格式的负数
14-3	BD11-0	R	0h	通道 2 总线电压数据位
2-0	保留	R	0h	保留

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

7.6.2.6 通道 3 分流电压寄存器（地址 = 05h）[复位 = 00h]

该寄存器包含通道 3 的平均分流电压测量值。满标量程 = 163.8mV（十进制 = 7FF8）；LSB (SD0)：40 μV。

表 7-15. 通道 3 分流电压寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SIGN	SD11	SD10	SD9	SD8	SD7	SD6	SD5	SD4	SD3	SD2	SD1	SD0	—	—	—
R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0

说明：R/W = 读取/写入；R = 只读；-n = 复位后的值

表 7-16. 通道 3 分流电压寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15	SIGN	R	0h	符号位。 0 = 正数 1 = 二进制补码格式的负数
14-3	SD11-0	R	0h	通道 3 分流电压数据位
2-0	保留	R	0h	保留

7.6.2.7 通道 3 总线电压寄存器（地址 = 06h）[复位 = 00h]

该寄存器存储通道 3 的总线电压读数 V_{BUS}。满标量程 = 32.76V（十进制 = 7FF8）；LSB (BD0) = 8mV。尽管输入范围为 26V，但 ADC 调节的满标量程为 32.76V。应用的电压切勿超过 26V。

表 7-17. 通道 3 总线电压寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SIGN	BD11	BD10	BD9	BD8	BD7	BD6	BD5	BD4	BD3	BD2	BD1	BD0	—	—	—
R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0

说明：R/W = 读取/写入；R = 只读；-n = 复位后的值

表 7-18. 通道 3 总线电压寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15	SIGN	R	0h	符号位。 0 = 正数 1 = 二进制补码格式的负数
14-3	BD11-0	R	0h	通道 3 总线电压数据位
2-0	保留	R	0h	保留

7.6.2.8 通道 1 临界警报限值寄存器（地址 = 07h）[复位 = 7FF8h]

该寄存器包含用于与通道 1 上的每个分流电压转换进行比较以检测快速过流事件的值。

表 7-19. 通道 1 临界警报限值寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
C1L12	C1L11	C1L10	C1L9	C1L8	C1L7	C1L6	C1L5	C1L4	C1L3	C1L2	C1L1	C1L0	—	—	—
RW-0	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-0	RW-0	RW-0

说明：R/W = 读取/写入；R = 只读；-n = 复位后的值

表 7-20. 通道 1 临界警报限值寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-3	C1L12-0	R/W	FFFh	通道 1 临界警报限值数据位
2-0	保留	R/W	0h	保留

7.6.2.9 警告警报通道 1 限值寄存器（地址 = 08h）[复位 = 7FF8h]

该寄存器包含用于与通道 1 上的平均分流电压值进行比较以检测持续时间更长的过流事件的值。

表 7-21. 通道 1 警告警报限值寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
W1L12	W1L11	W1L10	W1L9	W1L8	W1L7	W1L6	W1L5	W1L4	W1L3	W1L2	W1L1	W1L0	—	—	—
RW-0	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-0	RW-0	RW-0

说明：R/W = 读取/写入；R = 只读；-n = 复位后的值

表 7-22. 通道 1 警告警报限值寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-3	W1L12-0	R/W	FFFh	通道 1 警告警报限值数据位
2-0	保留	R/W	0h	保留

7.6.2.10 通道 2 临界警报限值寄存器（地址 = 09h）[复位 = 7FF8h]

该寄存器包含用于与通道 2 上的每个分流电压转换进行比较以检测快速过流事件的值。

表 7-23. 通道 2 临界警报限值寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
C2L12	C2L11	C2L10	C2L9	C2L8	C2L7	C2L6	C2L5	C2L4	C2L3	C2L2	C2L1	C2L0	—	—	—
RW-0	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-0	RW-0	RW-0

说明：R/W = 读取/写入；R = 只读；-n = 复位后的值

表 7-24. 通道 2 临界警报限值寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-3	C2L12-0	R/W	FFFh	通道 2 临界警报限值数据位
2-0	保留	R/W	0h	保留

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

7.6.2.11 通道 2 警告警报限值寄存器（地址 = 0Ah）[复位 = 7FF8h]

该寄存器包含用于与通道 2 上的平均分流电压值进行比较以检测持续时间更长的过流事件的值。

表 7-25. 通道 2 警告警报限值寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
W2L12	W2L11	W2L10	W2L9	W2L8	W2L7	W2L6	W2L5	W2L4	W2L3	W2L2	W2L1	W2L0	—	—	—
RW-0	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-0	RW-0	RW-0

说明：R/W = 读取/写入；R = 只读；-n = 复位后的值

表 7-26. 通道 2 警告警报限值寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-3	W2L12-0	R/W	FFFh	通道 2 警告警报限值数据位
2-0	保留	R/W	0h	保留

7.6.2.12 通道 3 临界警报限值寄存器（地址 = 0Bh）[复位 = 7FF8h]

该寄存器包含用于与通道 3 上的每个分流电压转换进行比较以检测快速过流事件的值。

表 7-27. 通道 3 临界警报限值寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
C3L12	C3L11	C3L10	C3L9	C3L8	C3L7	C3L6	C3L5	C3L4	C3L3	C3L2	C3L1	C3L0	—	—	—
RW-0	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-0	RW-0	RW-0

说明：R/W = 读取/写入；R = 只读；-n = 复位后的值

表 7-28. 通道 3 临界警报限值寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-3	C3L12-0	R/W	FFFh	通道 3 临界警报限值数据位
2-0	保留	R/W	0h	保留

7.6.2.13 通道 3 警告警报限值寄存器（地址 = 0Ch）[复位 = 7FF8h]

该寄存器包含用于与通道 3 上的平均分流电压值进行比较以检测持续时间更长的过流事件的值。

表 7-29. 通道 3 警告警报限值寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
W3L12	W3L11	W3L10	W3L9	W3L8	W3L7	W3L6	W3L5	W3L4	W3L3	W3L2	W3L1	W3L0	—	—	—
RW-0	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-0	RW-0	RW-0

说明：R/W = 读取/写入；R = 只读；-n = 复位后的值

表 7-30. 通道 3 警告警报限值寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-3	W3L12-0	R/W	FFFh	通道 3 警告警报限值数据位
2-0	保留	R/W	0h	保留

7.6.2.14 分流电压总和寄存器（地址 = 0Dh）[复位 = 00h]

该寄存器包含根据屏蔽/使能寄存器中的求和控制位 12、13 和 14，选定通道的单次转换分流电压之和。

该寄存器会在所有选定通道的每个完整周期之后使用最新的总和进行更新。分流电压总和寄存器 LSB 值为 40μV。

表 7-31. 分流电压总和寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SIGN	SV13	SV12	SV11	SV10	SV9	SV8	SV7	SV6	SV5	SV4	SV3	SV2	SV1	SV0	—
R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0

说明：R/W = 读取/写入；R = 只读；-n = 复位后的值

表 7-32. 分流电压总和寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15	SIGN	R	0h	符号位。 0 = 正数 1 = 二进制补码格式的负数
14-1	SV13-0	R	0h	分流电压总和数据位
0	保留	R	0h	保留

7.6.2.15 分流电压总和限值寄存器（地址 = 0Eh）[复位 = 7FFEh]

该寄存器包含在所有选定通道的每个完成周期后与分流电压总和寄存器值进行比较的值，用于检测系统过流事件。分流电压总和限值寄存器 LSB 值为 40μV。

表 7-33. 分流电压总和限值寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SIGN	SVL13	SVL12	SVL11	SVL10	SVL9	SVL8	SVL7	SVL6	SVL5	SVL4	SVL3	SVL2	SVL1	SVL0	—
RW-0	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-1	RW-0

说明：R/W = 读取/写入；R = 只读；-n = 复位后的值

表 7-34. 分流电压总和限值寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15	SIGN	R	0h	符号位。 0 = 正数 1 = 二进制补码格式的负数
14-1	SVL13-0	R	0h	分流电压总和限值数据位
0	保留	R	0h	保留

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

7.6.2.16 屏蔽/使能寄存器（地址 = 0Fh）[复位 = 0002h]

该寄存器选择启用哪个功能来控制临界警报和警告警报引脚，以及每个警告警报如何响应相应的通道。读取屏蔽/使能寄存器可清除存在的任何标志结果。写入该寄存器不会清除标志位状态。为了确保警告功能设置不存在会导致标志位被设置的不确定性，必须在更改警告功能设置之前读取屏蔽/使能寄存器以清除标志位状态。

表 7-35. 屏蔽/使能寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
—	SCC1	SCC2	SCC3	WEN	CEN	CF1	CF2	CF3	SF	WF1	WF2	WF3	PVF	TCF	CVRF
RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-1	RW-0

说明：R/W = 读取/写入；R = 只读；-n = 复位后的值

表 7-36. 屏蔽/使能寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15	保留	R/W	0h	保留
14-12	SCC1-3	R/W	0h	求和通道控制。这些位决定了启用哪些分流电压测量通道来填充分流电压总和寄存器。这些位的选择不会影响单个通道的启用或禁用状态或相应的通道测量。使用相应的位来选择是否使用该通道来填充分流电压总和寄存器。 0 = 禁用（默认） 1 = 启用
11	WEN	R/W	0h	警告警报锁存使能。这些位配置警告警报引脚的锁存功能。 0 = 透明（默认） 1 = 启用锁存
10	CEN	R/W	0h	临界警报锁存使能。这些位配置临界警报引脚的锁存功能。 0 = 透明（默认） 1 = 启用锁存
9-7	CF1-3	R/W	0h	临界警报标志指示器。如果相应的通道测量值已超过临界警报限值，因而导致临界警报引脚被置为有效，则这些位将被置为有效。读取这些位以确定哪个通道导致了临界警报。读回屏蔽/使能寄存器后，临界警报标志位将被清除。
6	SF	R/W	0h	求和警报标志指示器。如果分流电压总和寄存器超过分流电压总和限值寄存器，则该位被置为有效。如果求和警报标志置为有效，则临界警报引脚也会置为有效。读回屏蔽/使能寄存器后，求和警报标志位将被清除。
5-3	WF1-3	R/W	0h	警告警报标志指示器。如果相应的通道平均测量值已超过警告警报限值，因而导致警告警报引脚被置为有效，则这些位将被置为有效。读取这些位以确定哪个通道导致了警告警报。读回屏蔽/使能寄存器后，警告警报标志位将被清除。
2	PVF	R/W	0h	电源有效警报标志指示器。该位可用于确定电源有效 (PV) 警报引脚是否已通过软件而非硬件置为有效。位设置对应于 PV 引脚的状态。在导致警报的条件消失并且 PV 引脚被清除之前，该位不会清除。
1	TCF	R/W	11h	时序控制警报标志指示器。使用该位来确定时序控制 (TC) 警报引脚是否已通过软件而非硬件置为有效。位设置对应于 TC 引脚的状态。除非重新下电上电或发出软件复位，否则该位在置为有效后不会清除。时序控制警报标志的默认状态为高电平。
0	CVRF	R/W	0h	转换就绪标志。虽然可随时读取 INA3221，并且来自上次转换的数据可用，但提供的转换就绪位可帮助协调单次转换。所有转换全部完成之后，会设置转换位。在以下情况下，将清除转换就绪： 1. 写入配置寄存器（断电或禁用模式选择除外）。 2. 读取屏蔽/使能寄存器。

7.6.2.17 电源有效上限寄存器（地址 = 10h）[复位 = 2710h]

该寄存器包含用于确定是否满足电源有效条件的值。当所有总线电压通道都超过该限值寄存器中设置的值时，达到电源有效条件。当满足电源有效条件时，PV 警报引脚置为高电平，以指示 INA3221 已确认所有总线电压通道均高于电源有效上限值。为了监测电源有效条件，必须通过在配置寄存器中设置的相应 MODE 位之一来启用总线测量。电源有效上限 LSB 值为 8mV。上电复位值为 2710h = 10.000V。

表 7-37. 电源有效上限寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SIGN	PVU11	PVU10	PVU9	PVU8	PVU7	PVU6	PVU5	PVU4	PVU3	PVU2	PVU1	PVU0	—	—	—
R-0	RW-0	RW-1	RW-0	RW-0	RW-1	RW-1	RW-1	RW-0	RW-0	RW-0	RW-1	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0

说明：R/W = 读取/写入；R = 只读；-n = 复位后的值

表 7-38. 电源有效上限寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15	SIGN	R	0h	电源有效上限数据位
14-3	PVU11-0	R/W	4E2h	电源有效上限数据位
2-0	保留	R/W	0h	保留

7.6.2.18 电源有效下限寄存器（地址 = 11h）[复位 = 2328h]

该寄存器包含用于在满足电源有效条件时确定是否有任何总线电压通道降至电源有效下限以下的值。该限值包含用于比较所有总线通道读数的值，用来验证所有通道都保持在电源有效下限以上，从而保持电源有效条件。如果任何总线电压通道降至电源有效下限以下，则 PV 警报引脚会拉至低电平，以指示 INA3221 检测到总线电压读数低于电源有效下限。为了监测电源有效条件，必须通过在配置寄存器中设置的模式 (MODE3-1) 位来启用总线测量。电源有效下限 LSB 值为 8mV。上电复位值为 2328h = 9.000V。

表 7-39. 电源有效下限寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SIGN	PVL11	PVL10	PVL9	PVL8	PVL7	PVL6	PVL5	PVL4	PVL3	PVL2	PVL1	PVL0	—	—	—
R-0	RW-0	RW-1	RW-0	RW-0	RW-0	RW-1	RW-1	RW-0	RW-0	RW-1	RW-0	RW-1	RW-0	RW-0	RW-0

说明：R/W = 读取/写入；R = 只读；-n = 复位后的值

表 7-40. 电源有效下限寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15	SIGN	R	0h	电源有效下限数据位
14-3	PVL11-0	R/W	465h	电源有效下限数据位
2-0	保留	R/W	0h	保留

7.6.2.19 制造商 ID 寄存器（地址 = FEh）[复位 = 5449h]

该寄存器包含一个工厂可编程的标识值，用于将该器件标识为由德州仪器 (TI) 制造。该寄存器将该器件与同一 I^2C 总线上的其他器件区分开来。该寄存器的内容为 5449h 或 ASCII 格式的 TI。

表 7-41. 制造商 ID 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
R-0	R-1	R-0	R-1	R-0	R-1	R-0	R-0	R-0	R-1	R-0	R-0	R-1	R-0	R-0	R-1

说明：R/W = 读取/写入；R = 只读；-n = 复位后的值

表 7-42. 制造商 ID 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-0	D15-0	R	5449h	制造商 ID 位

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

7.6.2.20 芯片 ID 寄存器（地址 = FFh）[复位 = 3220]

该寄存器包含一个工厂可编程的标识值，用于将该器件标识为 INA3221。该寄存器将此器件与同一 I^2C 总线上的其他器件区分开来。INA3221 的芯片 ID 为 3220h。

表 7-43. 芯片 ID 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
R-0	R-0	R-1	R-1	R-0	R-0	R-1	R-0	R-0	R-0	R-1	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0

说明：R/W = 读取/写入；R = 只读；-n = 复位后的值

表 7-44. 芯片 ID 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-0	D15-0	R	3220h	芯片 ID 位

8 应用和实施

备注

以下应用部分中的信息不属于 TI 器件规格的范围，TI 不担保其准确性和完整性。TI 的客 户应负责确定器件是否适用于其应用。客户应验证并测试其设计，以确保系统功能。

8.1 应用信息

INA3221 是一款具有 I^2 C/SMBUS 兼容接口的三通道电流和总线电压监测器。它具有可编程转换时间和均值计算模式，并提供临界警报和警告警报，以检测每个通道的多个可编程超限条件。

8.2 典型应用

INA3221 测量电流通过电阻器时电流检测电阻器产生的电压。该器件还在 IN- 引脚测量总线电源电压。使用四个警报引脚支持多种监测功能：临界、警告、PV 和 TC。可编程阈值可确保在所需的工作条件下运行。此设计展示了临界警报引脚响应设定阈值的能力。

图 8-1 展示了使用全部三个通道的典型 INA3221 应用电路。为了获得出色性能，请使用 0.1 μ F 陶瓷电容器实现电源旁路，并尽可能靠近电源引脚和接地引脚放置。数字引脚（SCL、SDA、临界、警告、TC）通过上拉电阻器连接到电源。电源有效 (PV) 警报引脚通过上拉电阻器连接到 VPU 引脚，以启用电源有效监测。

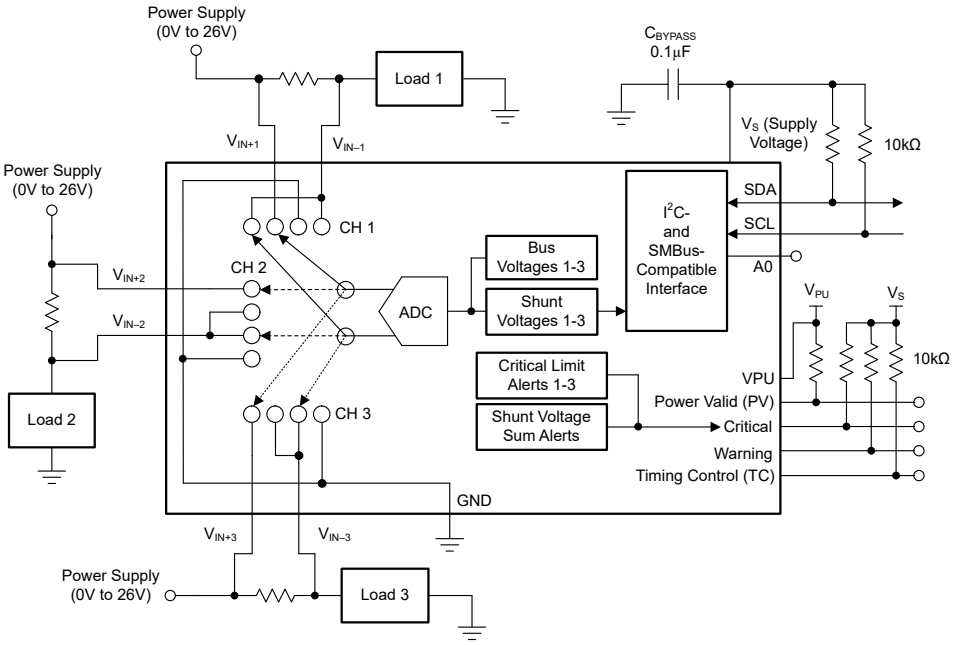


图 8-1. INA3221 用作过流传感器

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

8.2.1 设计要求

对于这个设计示例，请使用表 8-1 中显示的输入参数。所有其他寄存器设置均为默认值。

表 8-1. 设计参数

设计参数	示例值
电源电压，V_S	5V
上拉电阻器	10kΩ
输入范围	-163.84 至 +163.8
使能通道	CH1
工作模式	分流电压，连续
平均设置	1
临界警报限值	80mV
临界警报限值寄存器设置	7D0h

8.2.2 详细设计过程

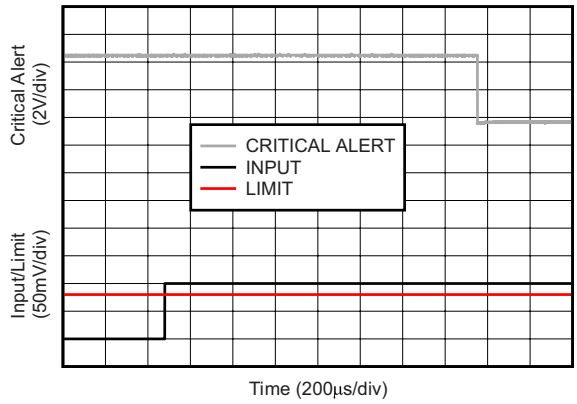
此设计显示了两个分流电压转换时间，以展示警报响应时间的差异。当通道 1 上的输入电压超过 80mV 时，此设计会生成临界警报响应。有关所有设计参数的信息，请参阅 表 8-1。

对于第一个示例，分流电压转换时间设置为 1.1ms。当输入信号超过 80mV 时，临界警报引脚会在转换周期完成后拉至低电平，表示出现过流情况，如 图 8-2 所示。

对于第二个示例，转换时间设置为 588μs，响应如 图 8-3 所示。

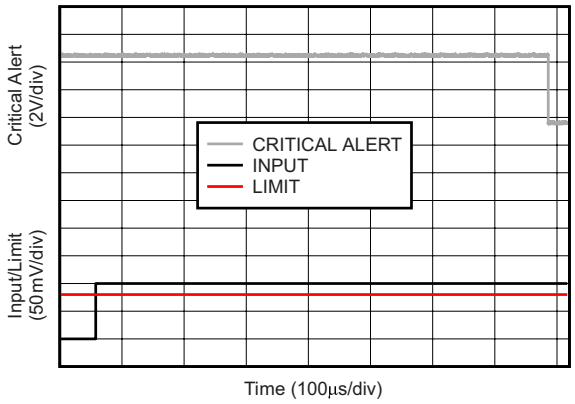
8.2.3 应用曲线

图 8-2 显示了在转换时间为 1.1ms 的情况下，对于 80mV 分流电压高于限制的临界警报引脚响应。图 8-3 显示了对于同一限制的响应，但转换时间增加至 588μs。



配置寄存器 = 4125h，转换时间 = 1.1ms

图 8-2. 1.1ms 转换时间的临界警报响应



配置寄存器 = 40DDh，转换时间 = 588μs

图 8-3. 588μs 转换时间的临界警报响应

8.3 电源相关建议

器件的输入电路可以在共模电压超出其电源电压 V_S 的情况下准确地测量信号。例如，施加到 V_S 电源终端的电压可以为 5V，而在三个通道中的任何一个上监测到的负载电源电压（共模电压）可以高达 26V。另请注意，无论器件加电与否，该器件的输入终端都可以耐受 0V 至 26V 完整范围的电压。将所需的电源旁路电容器尽可能靠近器件的电源端子和接地端子放置以提供稳定性。电源旁路电容器的容值通常为 0.1μF。采用高噪声或高阻抗电源的应用可能需要额外的去耦电容器来抑制电源噪声。

8.4 布局

8.4.1 布局指南

使用开尔文连接或 4 线制连接将所有已用通道的输入引脚（IN+ 和 IN－）连接到感测电阻。这些连接技术可确保在输入引脚之间仅检测电流检测电阻阻抗。电流检测电阻布线不良通常会导致在输入引脚之间存在额外的电阻。鉴于电流检测电阻的欧姆值非常低，任何额外的高载流阻抗都会导致严重的测量误差。电源旁路电容器的位置应尽可能靠近电源引脚和接地引脚。

8.4.2 布局示例

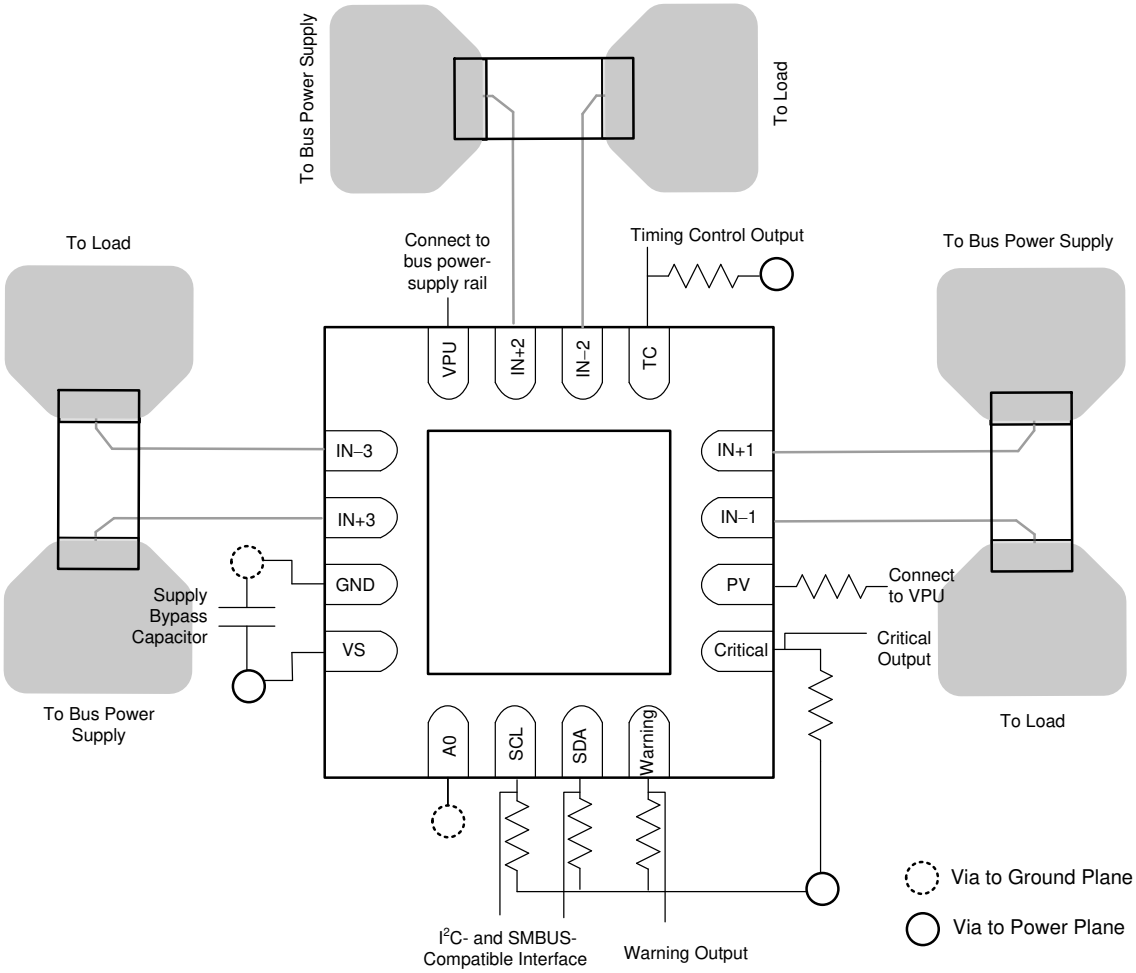


图 8-4. 布局示例

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

9 器件和文档支持

9.1 器件支持

9.1.1 开发支持

- 有关 INA3221 评估模块 (EVM) 的信息，请访问 www.ti.com/tool/INA3221EVM

9.2 文档支持

9.2.1 相关文档

- 德州仪器 (TI)，INA3221EVM 用户指南

9.3 接收文档更新通知

要接收文档更新通知，请导航至 ti.com 上的器件产品文件夹。点击*通知* 进行注册，即可每周接收产品信息更改摘要。有关更改的详细信息，请查看任何已修订文档中包含的修订历史记录。

9.4 支持资源

TI E2E™ 中文支持论坛是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题，获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的使用条款。

9.5 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.
所有商标均为其各自所有者的财产。

9.6 静电放电警告

静电放电 (ESD) 会损坏这个集成电路。德州仪器 (TI) 建议通过适当的预防措施处理所有集成电路。如果不遵守正确的处理和安装程序，可能会损坏集成电路。

ESD 的损坏小至导致微小的性能降级，大至整个器件故障。精密的集成电路可能更容易受到损坏，这是因为非常细微的参数更改都可能会导致器件与其发布的规格不相符。

9.7 术语表

TI 术语表	本术语表列出并解释了术语、首字母缩略词和定义。

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 B (September 2014) to Revision C (September 2025) **Page**

Changes from Revision A (June 2013) to Revision B (September 2014) **Page**

- 添加了*器件信息*、*ESD 等级* 表、*器件说明*、*器件功能模式*、*应用和实施*、*电源相关建议*、*布局*、*器件和文档支持* 以及*机械*、*封装和可订购信息* 部分 1
- 已删除 SDA 与 SCL 之间的走线，并已在首页图中添补缺失的 V_S 连接点 1
- 向*绝对最大额定值* 表中的共模模拟输入添加了 $(V_{IN+}) + (V_{IN-}) / 2$ 4
- 从*绝对最大额定值* 表中的模拟输入删除了 VBUS 4
- 在*绝对最大额定值*表中添加了工作温度 4
- 在整个数据表中将所有 V_{SENSE} 更改为 V_{SHUNT} 以保持一致 5
- 将“状态寄存器”更改为“屏蔽/使能寄存器”，以阐明*基本 ADC 功能* 部分中的寄存器名称 11

- 为了清晰起见，更改了*临界警报*部分的文本。 11
- 添加了“求和控制功能”部分 12
- 将图 20 中的外部“R_{PU}”更改为“R_{PU_ext}” 13
- 为了清晰起见，更改了*多通道监测* 部分的文本。 17
- 向图 25 中添加了 X 轴和 Y 轴标签 18
- 将*总线概述*部分第二段中的“双向”更改为“I/O” 20
- 将表 1 中的 V_{S+} 更改为 VS 20
- 更改了图 30 中的引用，以指向正确的注释 20
- 更改了图 31 22
- 更改了表 2 *总线时序定义* 中的值 22
- 向表 2 *总线时序定义* 中添加了数据有效时间 22
- 将表 2 *总线时序定义* 中的下降时间更改为拆分的数据和时钟时间 22
- 删除了表 2 *总线时序定义*中的数据上升时间 22
- 已删除 SDA 与 SCL 之间的走线，并已在图 52 中添补缺失的 V_S 连接点 36

Changes from Revision * (May 2012) to Revision A (June 2013) **Page**

- 更改了*电气特性*表中的*分流电压输入范围* 参数值 5
- 更新了图 19 13
- 更改了*串行总线地址*部分的第二段 20
- 更新了图 27 和注释 (1) 20
- 更新了图 28 和注释 (1) 20
- 更新了图 29 和注释 (1) 20
- 更新了图 30 和注释 (1) 20
- 更改了电源有效上限寄存器中的位 D15 33
- 更改了电源有效下限寄存器中的位 D15 34

11 机械、封装和可订购信息

以下页面包含机械、封装和可订购信息。这些信息是指定器件可用的最新数据。数据如有变更，恕不另行通知，且不会对此文档进行修订。有关此数据表的浏览器版本，请查阅左侧的导航栏。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

PACKAGING INFORMATION

Orderable part number	Status (1)	Material type (2)	Package | Pins	Package qty | Carrier	RoHS (3)	Lead finish/ Ball material (4)	MSL rating/ Peak reflow (5)	Op temp (°C)	Part marking (6)
INA3221AIRGVR	Active	Production	VQFN (RGV) | 16	2500 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	INA 3221
INA3221AIRGVR.B	Active	Production	VQFN (RGV) | 16	2500 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	INA 3221
INA3221AIRGVRG4	Active	Production	VQFN (RGV) | 16	2500 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	INA 3221
INA3221AIRGVRG4.B	Active	Production	VQFN (RGV) | 16	2500 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	INA 3221
INA3221AIRGVT	Obsolete	Production	VQFN (RGV) | 16	-	-	NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	INA 3221

(1) **Status:** For more details on status, see our product life cycle.

(2) **Material type:** When designated, preproduction parts are prototypes/experimental devices, and are not yet approved or released for full production. Testing and final process, including without limitation quality assurance, reliability performance testing, and/or process qualification, may not yet be complete, and this item is subject to further changes or possible discontinuation. If available for ordering, purchases will be subject to an additional waiver at checkout, and are intended for early internal evaluation purposes only. These items are sold without warranties of any kind.

(3) **RoHS values:** Yes, No, RoHS Exempt. See the TI RoHS Statement for additional information and value definition.

(4) **Lead finish/Ball material:** Parts may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead finish/Ball material values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

(5) **MSL rating/Peak reflow:** The moisture sensitivity level ratings and peak solder (reflow) temperatures. In the event that a part has multiple moisture sensitivity ratings, only the lowest level per JEDEC standards is shown. Refer to the shipping label for the actual reflow temperature that will be used to mount the part to the printed circuit board.

(6) **Part marking:** There may be an additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category of the part.

Multiple part markings will be inside parentheses. Only one part marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a part. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire part marking for that device.

Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

OTHER QUALIFIED VERSIONS OF INA3221 :

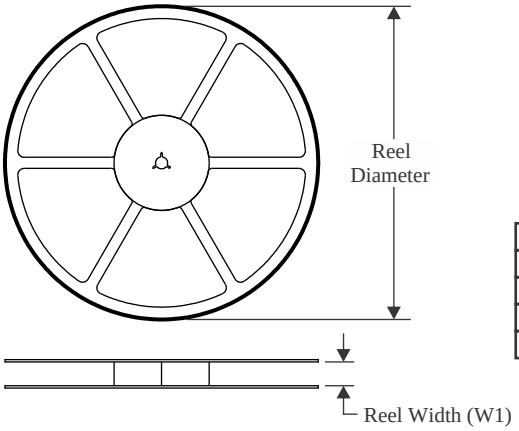
- Automotive : INA3221-Q1

NOTE: Qualified Version Definitions:

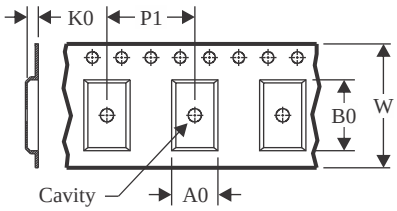
- Automotive - Q100 devices qualified for high-reliability automotive applications targeting zero defects

TAPE AND REEL INFORMATION

REEL DIMENSIONS

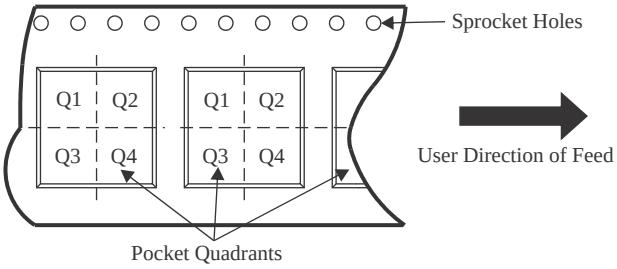


TAPE DIMENSIONS



A0	Dimension designed to accommodate the component width
B0	Dimension designed to accommodate the component length
K0	Dimension designed to accommodate the component thickness
W	Overall width of the carrier tape
P1	Pitch between successive cavity centers

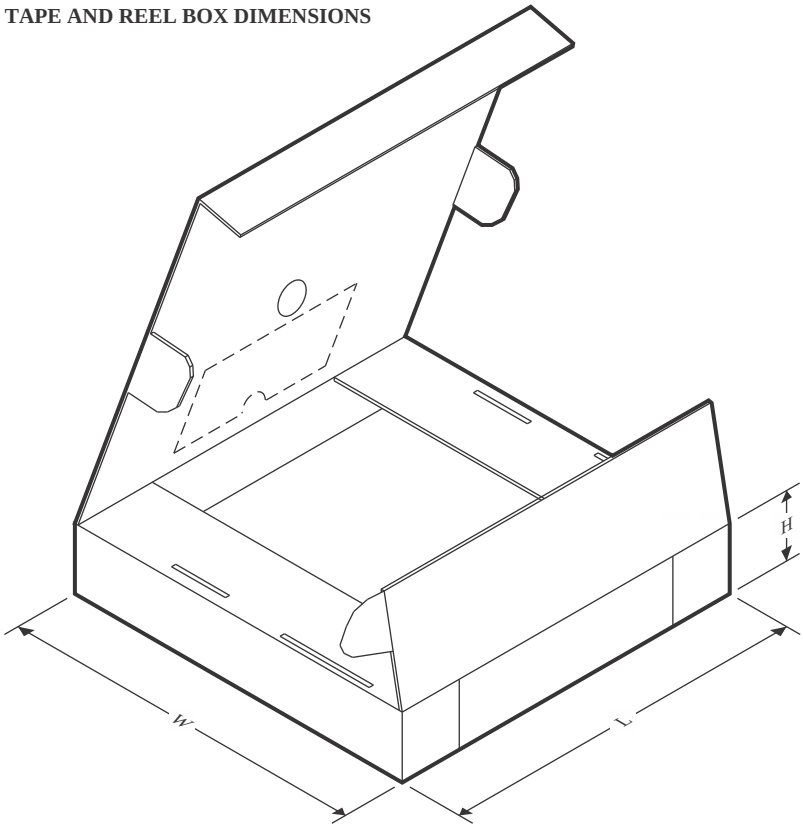
QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
INA3221AIRGVR	VQFN	RGV	16	2500	330.0	12.4	4.25	4.25	1.15	8.0	12.0	Q2
INA3221AIRGVRG4	VQFN	RGV	16	2500	330.0	12.4	4.25	4.25	1.15	8.0	12.0	Q2
INA3221AIRGVT	VQFN	RGV	16	0	180.0	12.4	4.25	4.25	1.15	8.0	12.0	Q2

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
INA3221AIRGVR	VQFN	RGV	16	2500	346.0	346.0	33.0
INA3221AIRGVRG4	VQFN	RGV	16	2500	346.0	346.0	33.0
INA3221AIRGVT	VQFN	RGV	16	0	182.0	182.0	20.0

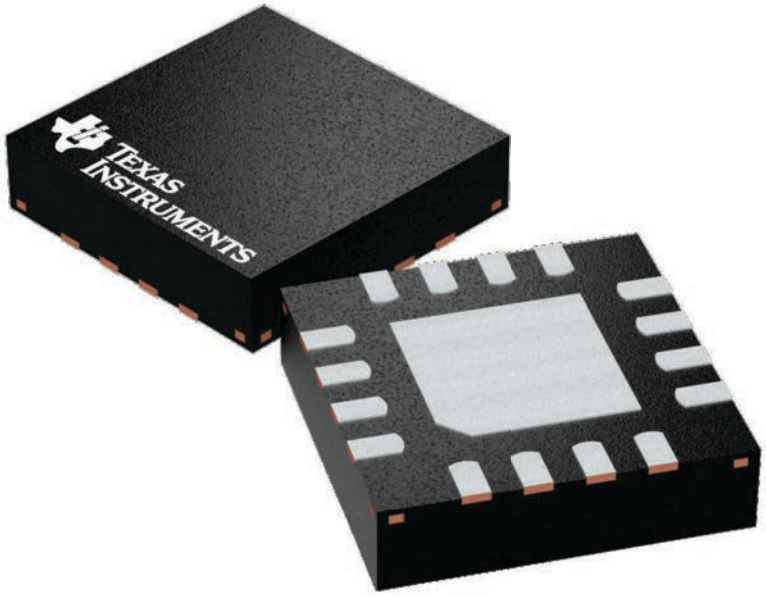
GENERIC PACKAGE VIEW

RGV 16

VQFN - 1 mm max height

4 x 4, 0.65 mm pitch

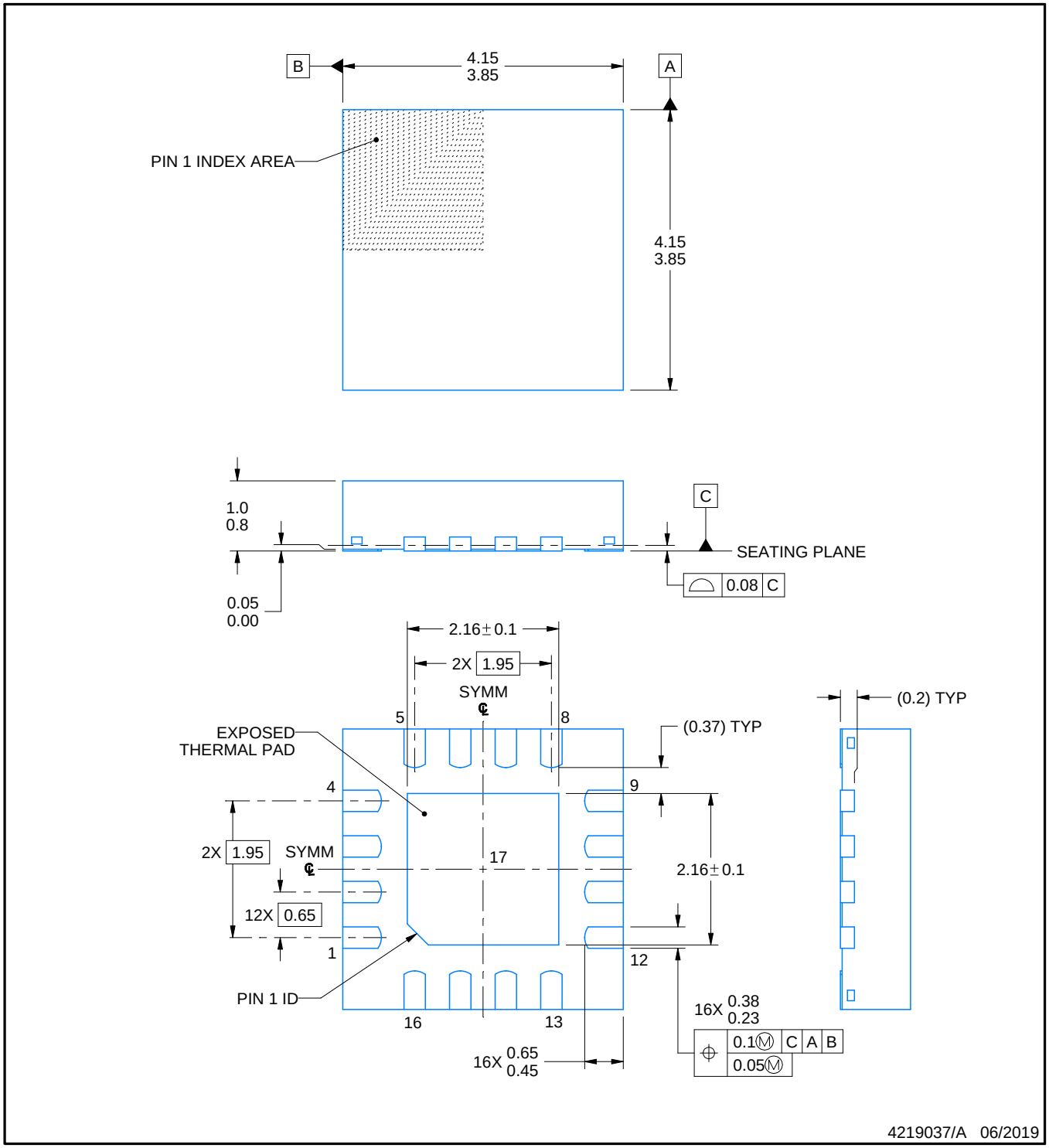
PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD



Images above are just a representation of the package family, actual package may vary.
Refer to the product data sheet for package details.

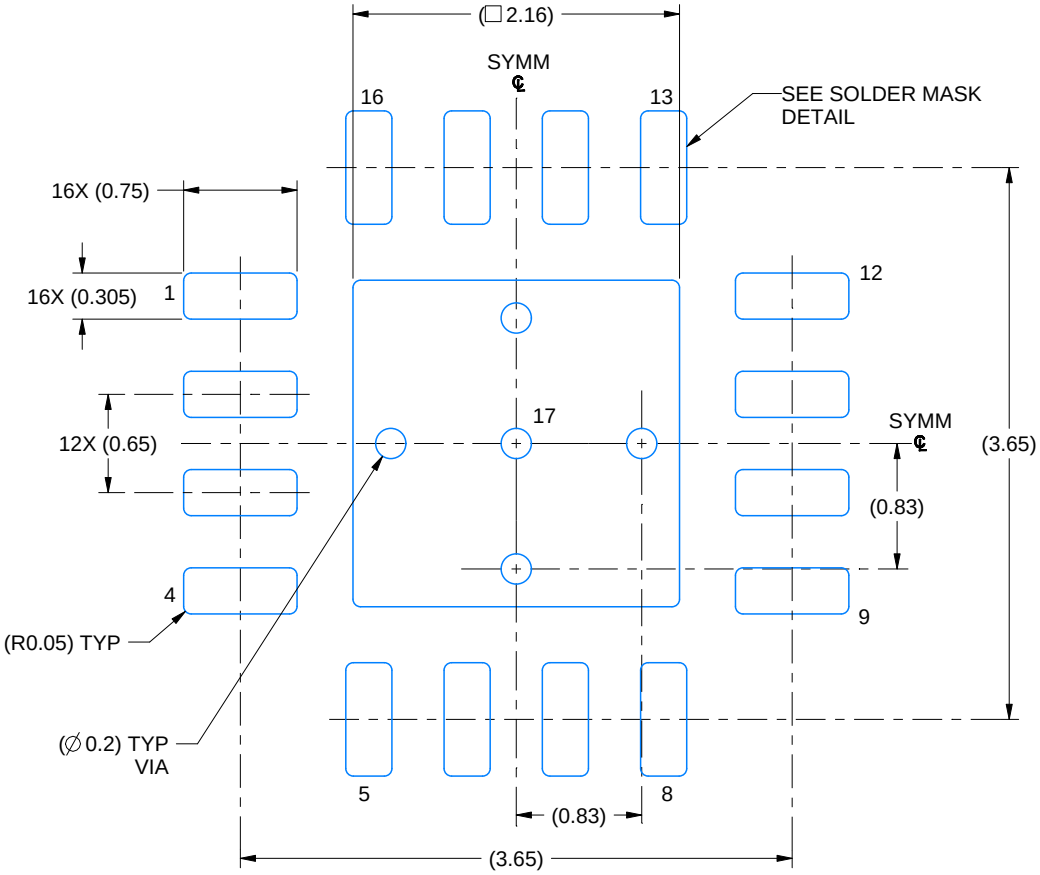
4224748/A

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD

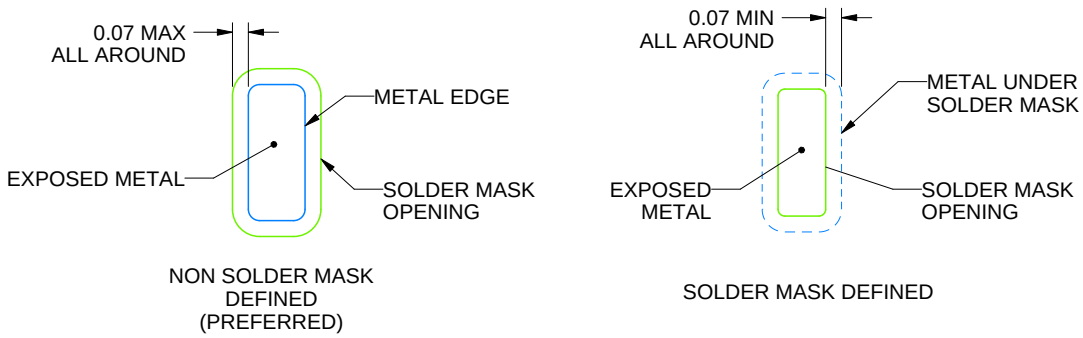


NOTES:

1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. The package thermal pad must be soldered to the printed circuit board for thermal and mechanical performance.



LAND PATTERN EXAMPLE
EXPOSED METAL SHOWN
SCALE: 20X

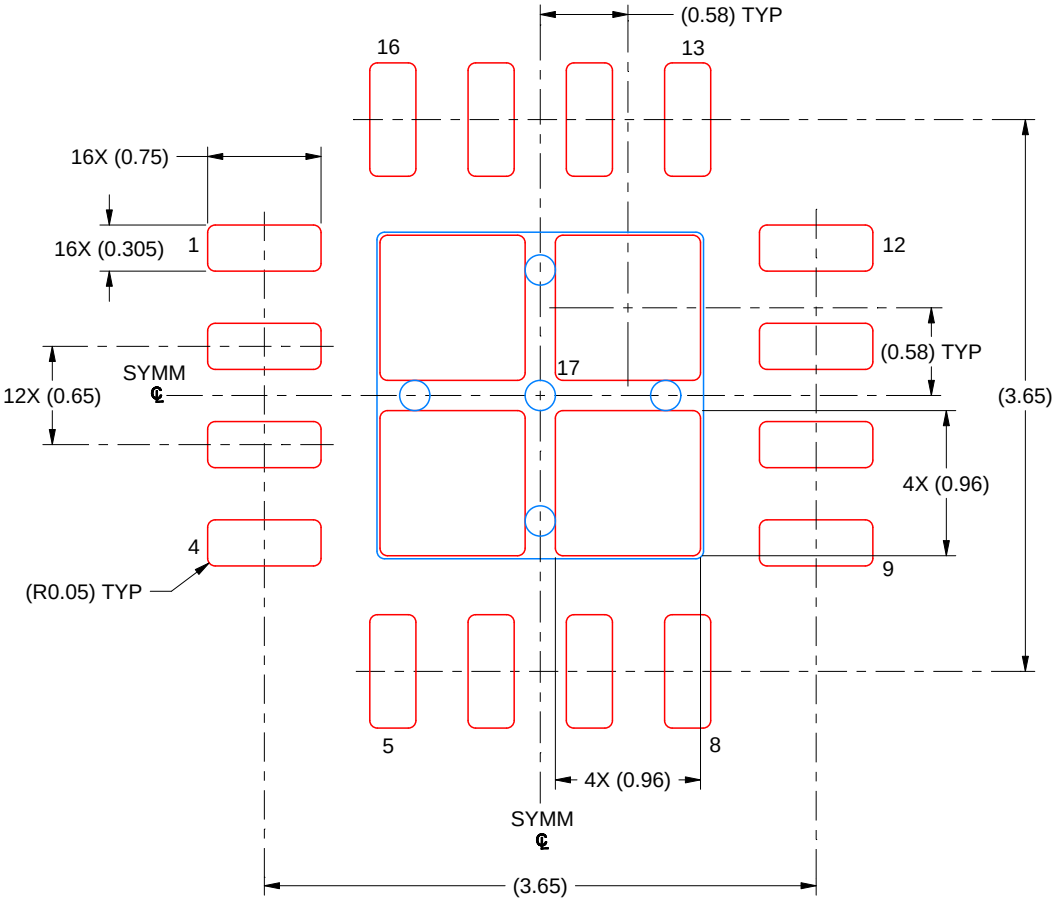


SOLDER MASK DETAILS

4219037/A 06/2019

NOTES: (continued)

4. This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. For more information, see Texas Instruments literature number SLUA271 (www.ti.com/lit/slua271).
5. Vias are optional depending on application, refer to device data sheet. If any vias are implemented, refer to their locations shown on this view. It is recommended that vias under paste be filled, plugged or tented.



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.125 MM THICK STENCIL
SCALE: 20X

EXPOSED PAD 17
79% PRINTED SOLDER COVERAGE BY AREA UNDER PACKAGE

4219037/A 06/2019

NOTES: (continued)

6. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.

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出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