

Application Note

EZShunt 技术如何简化基于分流器的设计并减少误差

David Chacko

摘要

电流检测放大器可测量分流电阻器上的差分电压以得出单端输出电压，这对于在各种现代系统中计算电流、功率和能量至关重要。传统设计采用外部分流电阻器来监测功率，而我们的 EZShunt™ 技术有助于集成分流功能和数字转换，可消除外部元件，如电阻器和额外的 ADC。这些改进不仅降低了系统复杂性和尺寸，而且通过可补偿漂移和温度变化的先进校准技术提高了精度。通过评估传统设计和采用 EZShunt™ 的设计的性能和误差特性，这些数据有助于提供全面的总误差规格，包括这两种设计的集成分流器的相关因素。

内容

1 引言	2
2 设计尺寸	3
3 性能和功能	5
3.1 电流 ≤ 15A 时在不同温度下的总误差比较.....	5
3.2 电流 ≤ 25A 时在不同温度下的总误差比较.....	7
3.3 电流 ≤ 50A 时在不同温度下的总误差比较.....	11
4 总结	13
5 参考资料	13

商标

EZShunt™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

电流检测放大器有助于测量分流电阻器上的差分电压并放大该值以提供单端输出电压。然后，该输出电压由外部 ADC 测得，并通过微控制器计算每个电源轨上存在的电流。同时，数字功率监测器可帮助测量这一电压，并利用内置 ADC 在片上执行数学处理，从而将系统处理器解放出来处理不同的任务。这有助于通过数字功率监测器实现更高的位深，从而在某些器件上提供警报功能以及能量、功率、电流、电压和裸片温度监测功能。在创建用于测量功率的设计时，应使用开尔文连接串联一个外部分流电阻器来测量分流器上的差分电压。

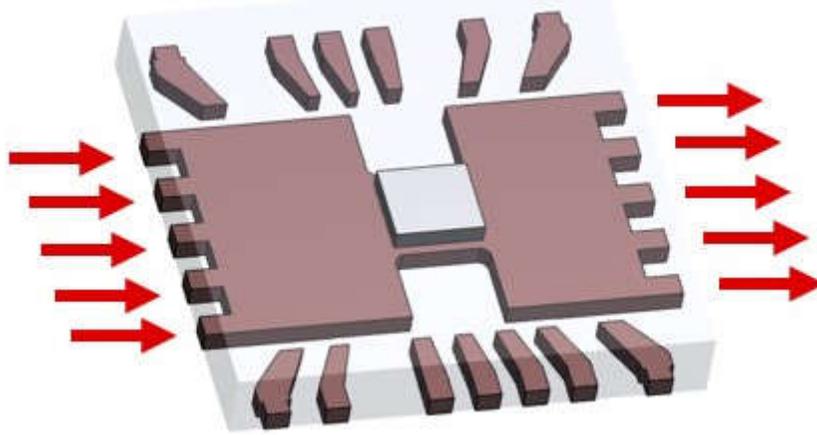


图 1-1. EZShunt™ 引线框

该输入随后被器件处理成为单端数字输出。相反，EZShunt™ 技术在测量多模式值时无需使用外部分流电阻器或 ADC，因为引线框起到了分流电阻器的作用，如图 1-1 所示。

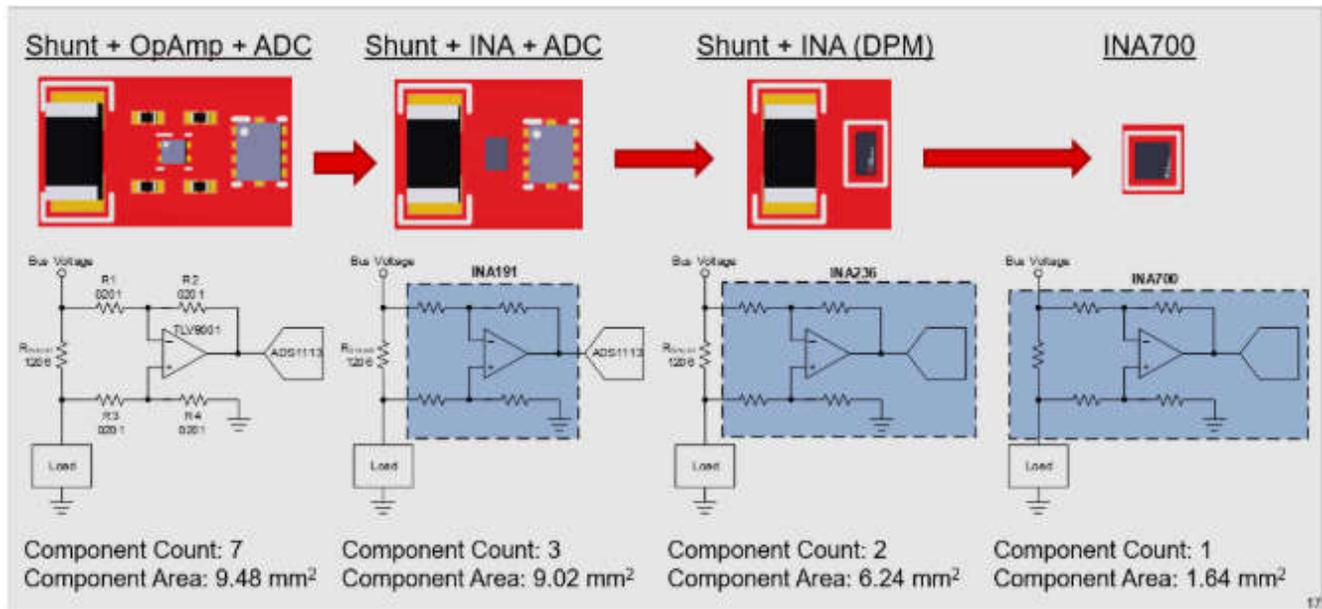


图 1-2. 电流检测设计在尺寸和元件数量方面的变化

通过图 1-2，我们可以看到，与使用分流器、运算放大器、电流检测放大器或数字功率监测器的其他电流检测设计相比，EZShunt™ 技术缩小了设计尺寸并减少了元件数量。通过缩小尺寸和减少元件数量，也会相应地降低功率、电流、电压和能量的检测成本，同时仍然保持高精度。

除了设计尺寸，总体设计精度也是分析每个设计版本有效性的重要因素。由于 EZShunt™ 引线框由铜组成，因此引线框存在随温度漂移的趋势。但是，TI 技术能够监测裸片温度，并利用主动校准方法来补偿引线框上基于温度的漂移和误差变化，如图 1-3 中的典型行为所示。

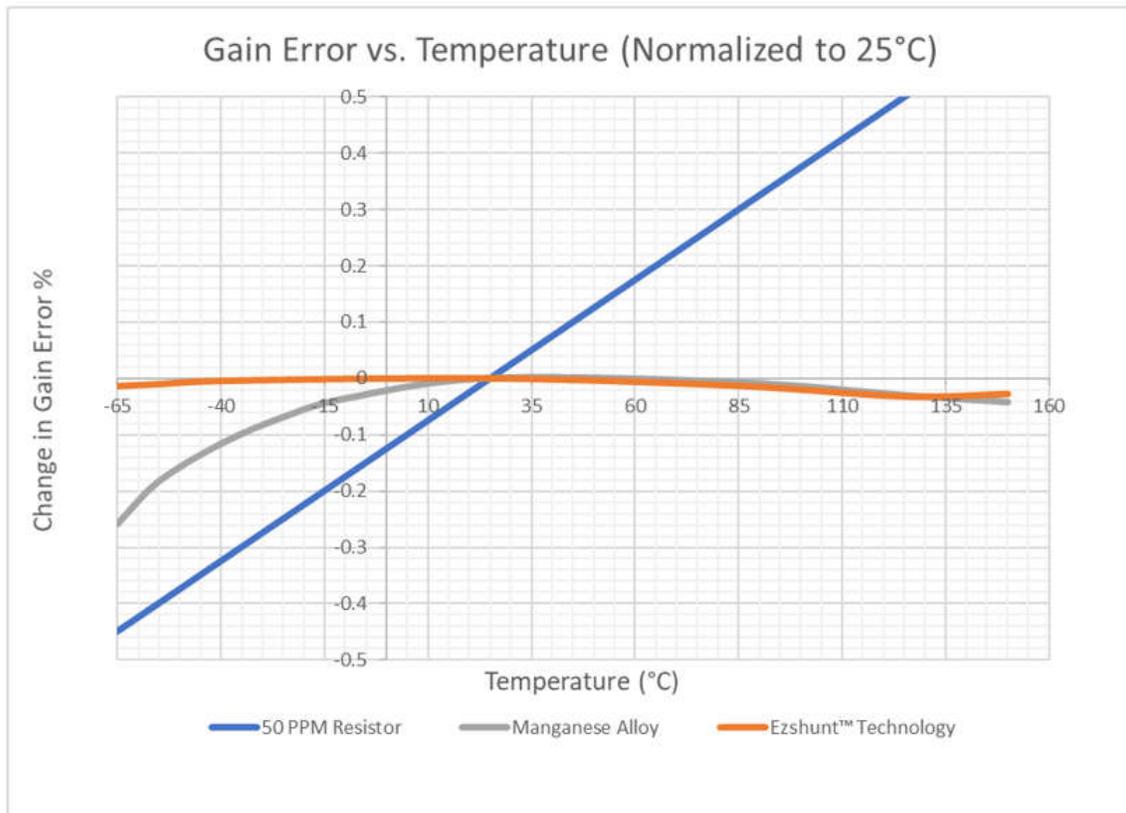


图 1-3. 增益误差与温度间的关系 (标准化为 25°C)

这种补偿形式与精确的测量程序相结合，通过一体式器件满足任何应用的遥测要求。除了这些优势，通过分析最终导致误差的因素，我们可以直观地了解传统外部分流器设计和集成式电流检测设计之间的真实精度和误差比较情况。传统电流检测放大器和数字功率监测器的数据表和额定误差数值不包括外部分流器产生的额外误差。该误差通常是最终用户考虑的因素，根据总体设计由环境现场温度确定。与此同时，我们的 EZShunt™ 产品所定义的精度和参数包括了与集成分流器相关的所有误差，并考虑了环境现场温度。

2 设计尺寸

EZShunt™ 技术消除了对于外部分流器以及 ADC 和开尔文连接的需求，可帮助将总体设计尺寸缩小 84% (与当前市场上的传统设计相比)。我们的器件尺寸因电压和电流能力而异。

此系列器件中尺寸最小的器件是 INA700，这款器件可以在 25°C 环境温度下支持 15A 电流、40V 共模电压和 2mΩ 内阻。此器件采用 1.2mm x 1.33mm WCSP 封装，总面积为 1.637mm²。与此同时，传统的外部分流器设计可能会用到 10.33mm² 的总面积。图 2-1 显示了此类布局。

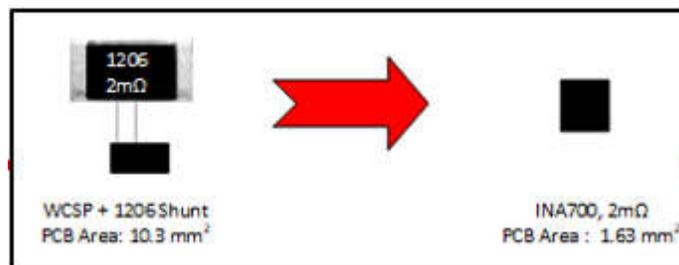


图 2-1. EZShunt™ 与数字功率监测器的尺寸比较

INA745A/B 在 25°C 环境温度下具有 35A 电流能力，内阻为 0.8mΩ，V_{cm} 能力为 40V，其设计尺寸为 18.44mm²，而传统设计的尺寸为 20mm²，如图 2-2 所示。

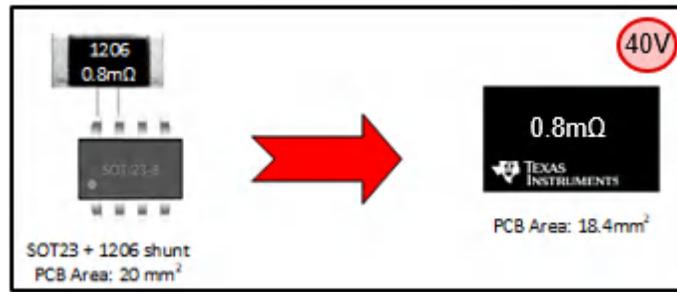


图 2-2. EZShunt™ 与数字功率监测器的尺寸比较

INA740A/B 在 25°C 环境温度下具有 35A 电流能力，内阻为 0.8mΩ， V_{cm} 能力为 85V，其设计尺寸为 24mm²，而传统设计的尺寸为 27mm²，如图 2-3 所示。

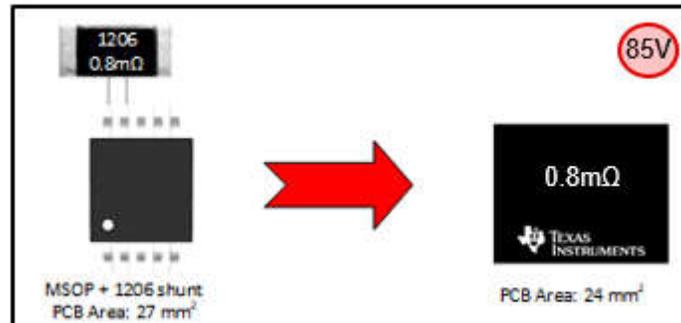


图 2-3. EZShunt™ 与数字功率监测器的尺寸比较

最后，我们的 INA780A/B 器件在 25°C 环境温度下支持 85V 至 110V 共模电压，额定电流为 75A，配备 0.4mΩ 分流器，可以提供 41mm² 的设计尺寸，而传统设计的尺寸为 45mm²，如图 2-4 所示。

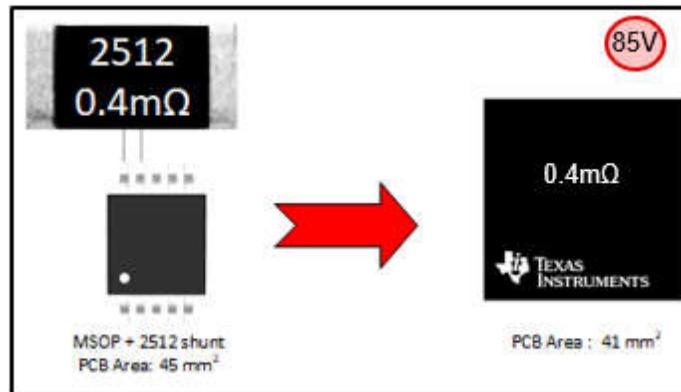


图 2-4. EZShunt™ 与数字功率监测器的尺寸比较

3 性能和功能

当使用相应设计来测量电流、功率、电压或能量时，可以采用带分流电阻器的数字功率监测器或采用 EZShunt™ 器件。对于第一种方案，数字功率监测器可以有一定的精度，但添加分流电阻器可能会增加误差源，包括分流漂移和容差百分比。各分流电阻器中这些误差源的值可能会因成本和后续性能而异。

为了对照 EZShunt™ 技术和传统设计组合来分析这种性能，我们从三个不同的供应商选择了可在温度范围内支持高达 15A、25A 和 50A 电流的不同电阻器（成本和性能各不相同），并收集了基准数据。然后，这些电阻器与数字功率监测器进行配对，提供与相应 EZShunt™ 器件相似的性能、功能和成本。虽然各电阻器根据具体参数进行分类，但 9 种选定产品中的每种产品都有总共 20 个电阻器在未焊接状态下进行了手工测量，50% 的电阻器通过手工焊接和回流焊法焊接后在 0.5A 电流下进行了测试。各电阻器均采购自多个供应商以确保多样性，并在 125°C、95°C、60°C、25°C、0°C 和 -40°C 温度条件下进行测量。由检测电阻器产生的主要误差源可分为容差百分比和漂移两类。

使用欧姆定律计算出各电阻器的容差百分比：

$$R = \frac{V}{I} \quad (1)$$

其中，不同额定温度下的电压是在系统上施加 0.5A 电流且处于未焊接状态时测得的。随后将计算得出的电阻值与分流器的标称电阻值进行比较来测量容差百分比。

同时，可使用以下公式计算漂移：

$$Drift = \frac{\left(\frac{R_2 - R_1}{T_2 - T_1}\right)}{R_{Nominal}} \quad (2)$$

其中， R_2 是在 125°C 下测得的电阻， R_1 是在 -40°C 下测得的电阻， T_2 为 125°C， T_1 为 -40°C， $R_{Nominal}$ 等于标称分流电阻值。

此外，还根据室温 (25°C) 和 125°C 下的电流与总误差间的关系对数据进行交叉检查。分立式设计和 EZShunt™ 设计的总误差均根据以下公式计算得出：

$$C_{RSS}(\%) \approx \sqrt{V_{OS}^2 + CMRR^2 + PSRR^2 + Gain_Error^2 + Linearity^2 + Shunt_Tolerance^2 + Bias_Current^2} \quad (3)$$

要计算总误差，只需考虑典型用例：两种设计的主要误差源均为增益误差、增益漂移、失调电压误差和温漂。

3.1 电流 ≤ 15A 时在不同温度下的总误差比较

对于此数据集，所选的 EZShunt™ 器件为 INA700，其在 25°C 下的额定电流为 15A，还使用了 INA234 和三个独立的电阻器组合，如表 3-1 所示

表 3-1. 电阻器 A、B 和 C (≤ 15A)

电阻器	电阻 (mΩ)	数据表		测得值		功率	外壳尺寸	1K 价格
		容差	漂移 (ppm)	容差	漂移 (ppm)			
A	2	1%	50	0.66%	17.6	0.5W	0805	\$0.081
B	2	1%	150	0.44%	56.7	0.5W	1206	\$0.18
C	2	1%	275	1.76%	54.5	0.5W	0603	\$0.63

图 3-1 中显示了我们的 EZShunt™ 实施方案与采用连续电阻器组合的分立式实施方案的基准数据比较情况。

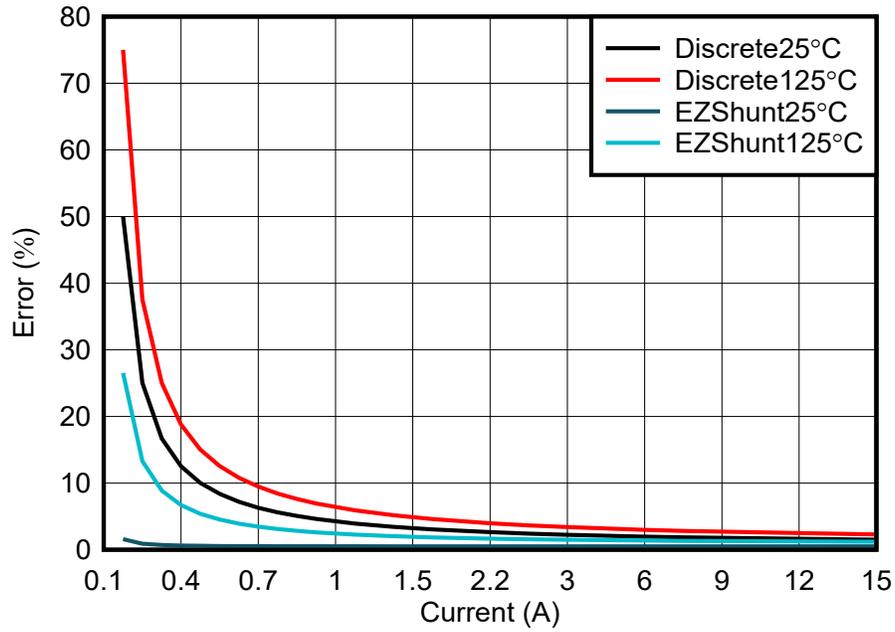


图 3-1. INA700 与 INA234 + 电阻器 A 的比较

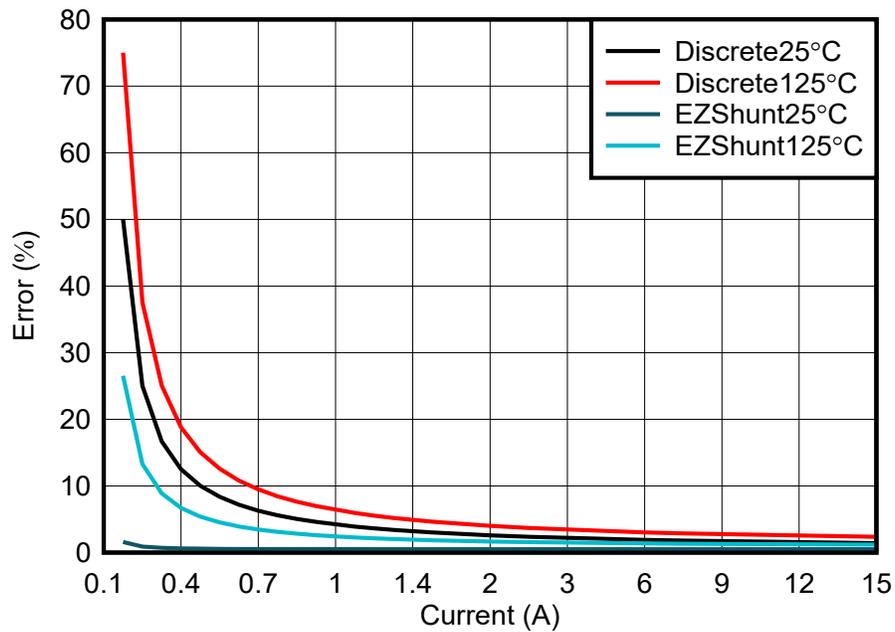


图 3-2. INA700 与 INA234 + 电阻器 B 的比较

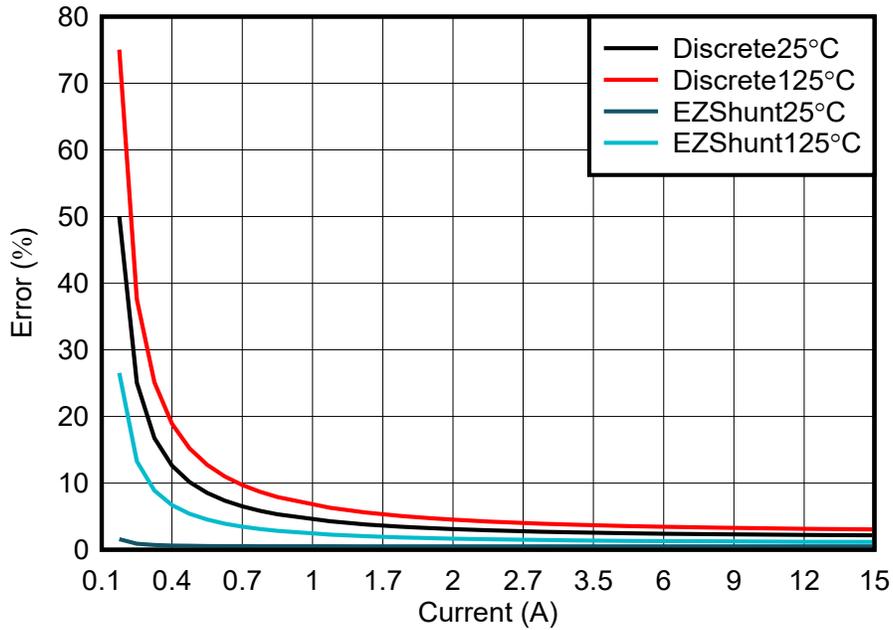


图 3-3. INA700 与 INA234 + 电阻器 C 的比较

在 25°C 和 125°C 环境现场温度下比较每个设计在 0A 至 15A 范围内的总误差时，我们可以确定，在整个数据集的两个温度点（25°C 和 125°C），无论电流和温度如何，与电阻器 A、B 或 C 相结合使用的分立式设计的总体精度均远低于 INA700。所以，我们可以由此推断，无论电阻器类型或成本如何，在测量电流低于 15A 的用例中，INA700 都能以类似的成本提供更高精度的设计。

3.2 电流 ≤ 25A 时在不同温度下的总误差比较

对于此数据集，所选的 EZShunt™ 器件为 INA745A，其在 25°C 下的额定电流为 35A，还使用了 INA236 和三个独立的电阻器组合（如下所示），旨在支持 40V 的共模电压。同时，还使用了在 25°C 下额定电流为 35A 的 INA740A 来与 INA238 进行对照，以便支持 85V 电压能力。两个设计都与表 3-2 电阻器组合进行了配对：

表 3-2. 电阻器 D、E 和 F (≤ 25A)

电阻器	电阻 (mΩ)	数据表		测得值		功率 (W)	外壳尺寸	1K 价格
		容差	漂移 (ppm)	容差	漂移 (ppm)			
D	1	1%	50	0.29%	96.9	1	1206	\$0.161
E	1	1%	50	0.99%	118.2	2	2010/5025	\$0.314
F	1	0.5%	300	0.2%	95.2	2	2512	\$1.024

3.2.1 共模电压 $\leq 40V$

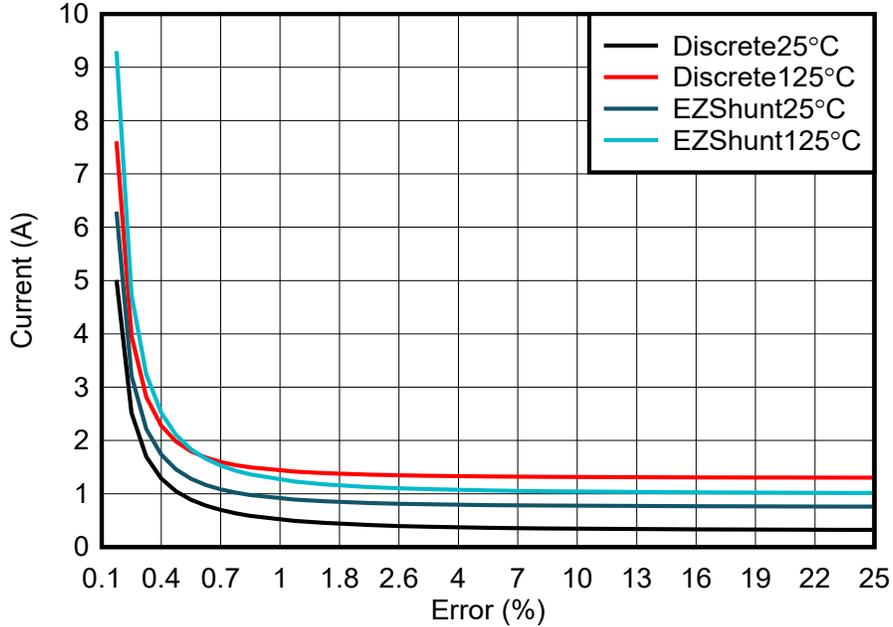


图 3-4. INA745A 与 INA236 + 电阻器 D 的比较

在较高的环境温度下（例如 125°C），由于分立式设计中数字功率监测器和电阻器型号产生的总漂移，在 0.7A 至 25A 范围内，INA745A 能够比分立式设计提供更高的设计精度，而分立式设计在 0A 至大约 0.7A 的范围内可保持更高的精度。这种行为可归因于 EZShunt 器件执行的主动校准，以及与 INA236 + 电阻器 D 相比更低的总体系统漂移。

但是，在 25°C 时，我们的数据显示 EZShunt™ 设计的总体精度低于分立式设计，这是因为 INA745A 在系统上产生的总误差略大于 INA236 + 电阻器 D。

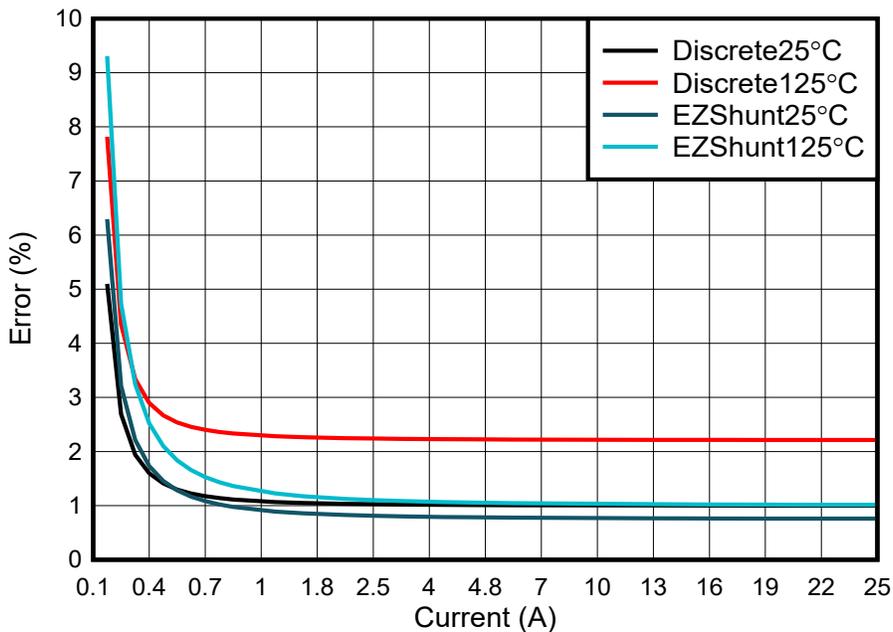


图 3-5. INA745A 与 INA236 + 电阻器 E 的比较

前面的数据集可帮助我们了解在设计中使用电阻器 E 时的一些差异。此处，我们可以在大约 0.3A 至 25A 范围内看到，25°C 和 125°C 时，INA745A 可以提供比分立式设计更精确的设计。与此同时，在 0A 至大约 0.3A 范围

内，25°C 和 125°C 时，分立式设计的精度会略高一些。分立式设计在较低电流电平下的性能更高可归因于更低的电压温漂和误差。

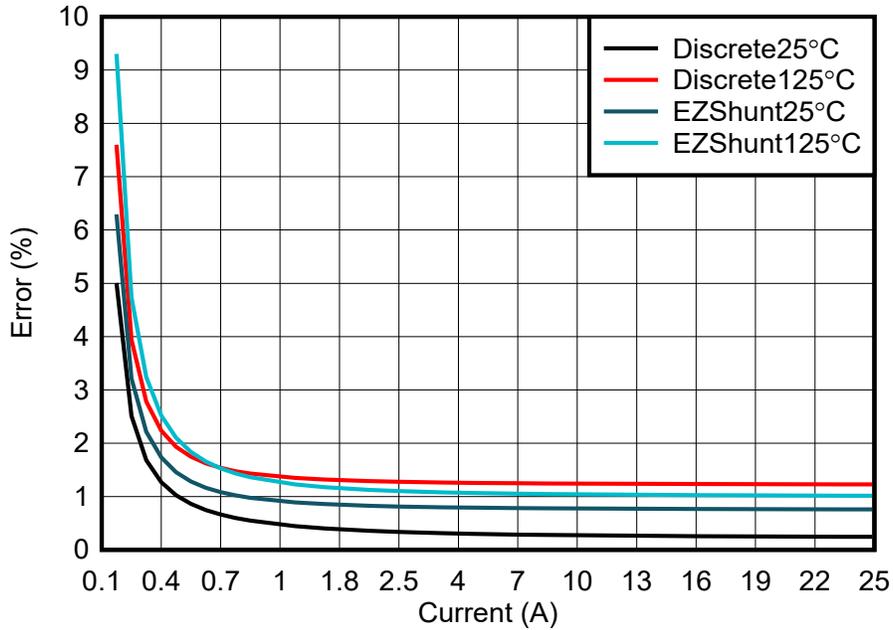


图 3-6. INA745A 与 INA236 + 电阻器 F 的比较

在比较 25°C 时的性能的相关数据集时，我们能够看到分立式设计产生的总误差小于 EZShunt™ 设计。这有助于我们理解，价格更高的电阻器 E 与我们的 INA236 相结合，在较低温度下可以提供更高的精度。另一方面，在 125°C 时，与分立式设计相比，INA745A 的设计在 0.7A 至 25A 范围内具有更小的总误差和更高的精度，但分立式设计在 0A 至 0.7A 范围内具有略高的性能。

3.2.2 共模电压 ≤ 80V

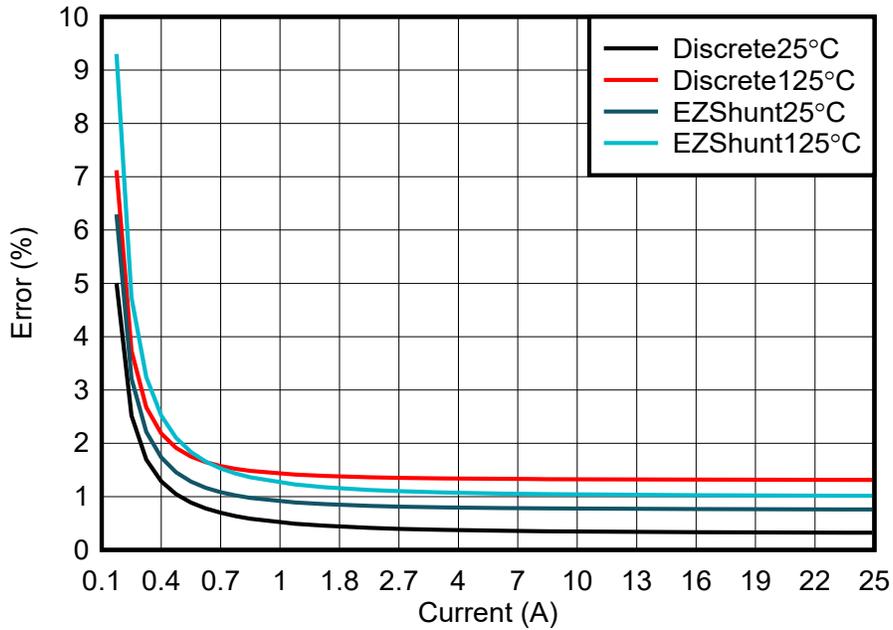


图 3-7. INA740A 与 INA238 + 电阻器 D 的比较

在 125°C 下和 0.7A 至 35A 电流范围内，INA740A 的设计提供比分立式设计高得多的精度和更小的总误差。与此同时，分立式设计在更高温度下和 0A 至 0.7A 电流范围内呈现更小的总误差。相反，在 25°C 下和 0A 至 15A 电

流范围内，分立式设计提供比 EZShunt™ 方案更高的精度。在更高温度下的这种性能表现可以证明，数字功率监测器和分流电阻器提供的总漂移和容差百分比超出了 INA740A 产生的误差。

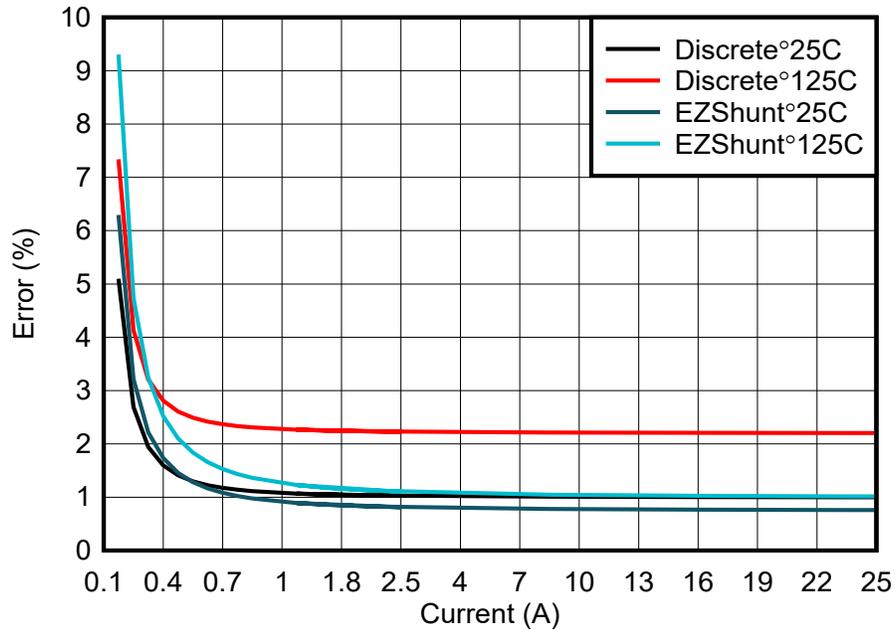


图 3-8. INA740A 与 INA238 + 电阻器 E 的比较

当使用可提供 0.99% 测量容差误差和 118.2ppm 漂移的电阻器 E 时，在 25°C 下和大约 0.4A 至 35A 电流范围内，EZShunt™ 设计比分立式实施方案的精度更高，但 INA238 + 电阻器 E 在 0A 至 0.4A 电流范围内的表现稍好一些。

与此同时，在 125°C 下，我们看到了类似的情况，即分立式设计在 0A 至 0.4A 电流范围内的精度略高一些，而 INA740A 在 0.4A 至 25A 电流范围内的误差比分立式设计低大约 50%。

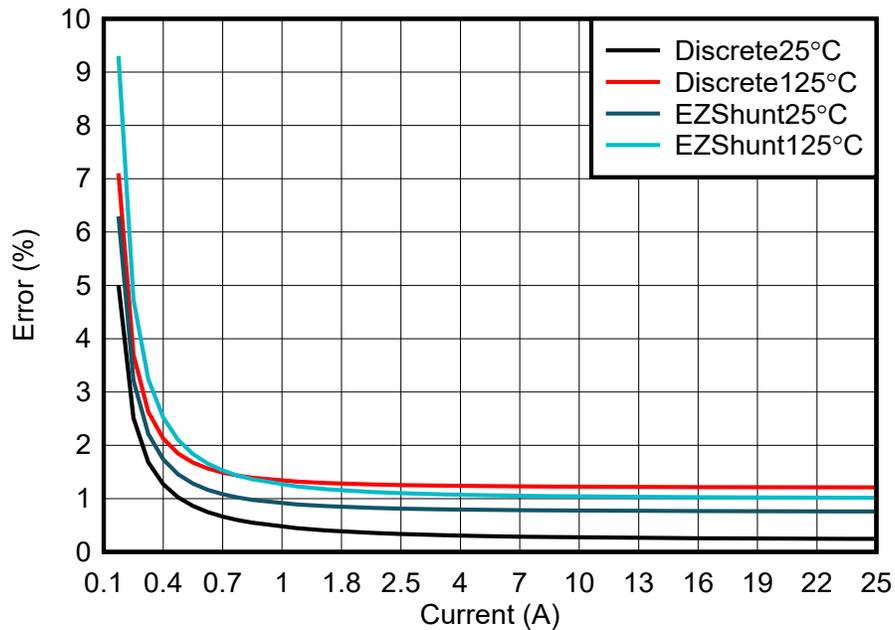


图 3-9. INA740A 与 INA238 + 电阻器 F 的比较

对于使用电阻器 F 的设计组合，在 25°C 下，分立式设计可在 0A 至 25A 的整个电流范围内提供比 INA740A 更高的精度。

在 125°C 下，精度表现与先前的设计类似，即 INA740A 在 0A 至大约 0.9A 范围内提供的精度略低于 INA238 + 电阻器 F。与此同时，在 0.9A 至 35A 范围内，INA740A 提供更高的精度，有助于实现更佳的性能。

3.3 电流 ≤ 50A 时在不同温度下的总误差比较

所选的 EZShunt™ 器件是在 25°C 下额定电流为 75A 的 INA780A，同时还使用 INA238 和以下电阻器组合，旨在计算外部和集成分流器设计之间的性能差异：

表 3-3. 电阻器 G、H 和 I (≤ 50A)

电阻器	电阻 (mΩ)	数据表		测得值		功率 (W)	外壳尺寸	1K 价格
		容差	漂移 (ppm)	容差	漂移 (ppm)			
G	0.5	1%	50	0.3%	44.8	3	1216	\$0.26
H	0.5	1%	50	4.74%	65.5	2	2512	\$0.34
I	0.5	1%	75	0.4%	3.6	3	2726	\$0.42

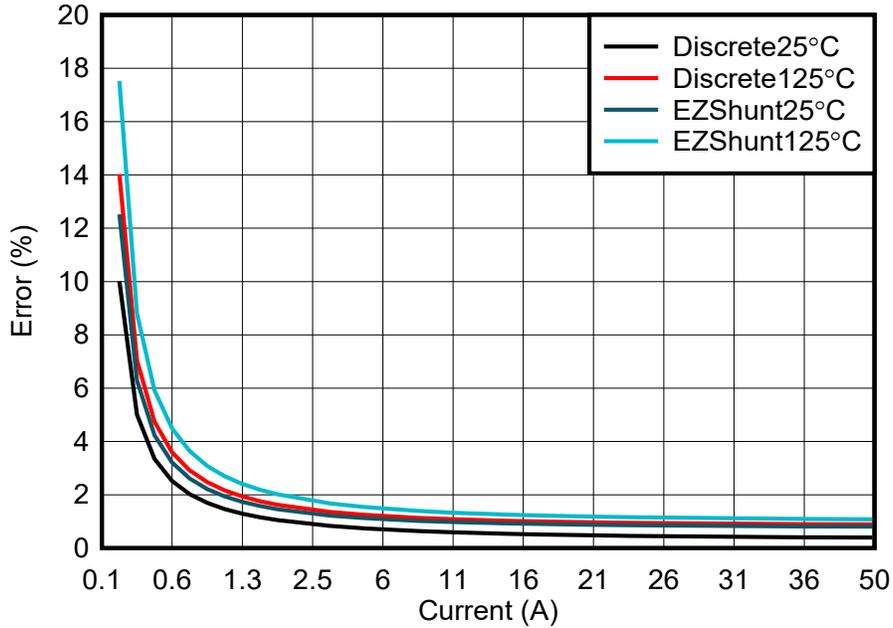


图 3-10. INA780A 与 INA238 + 电阻器 G 的比较

通过在两个不同的环境温度下对这两种设计进行比较，我们可以看到由超精密 INA238 和电阻器 G 组成的分立式设计 (测量容差为 0.3%，漂移为 44.8ppm) 在 25°C 和 125°C 下的精度均略高于高压 EZShunt™ 器件 INA780A。

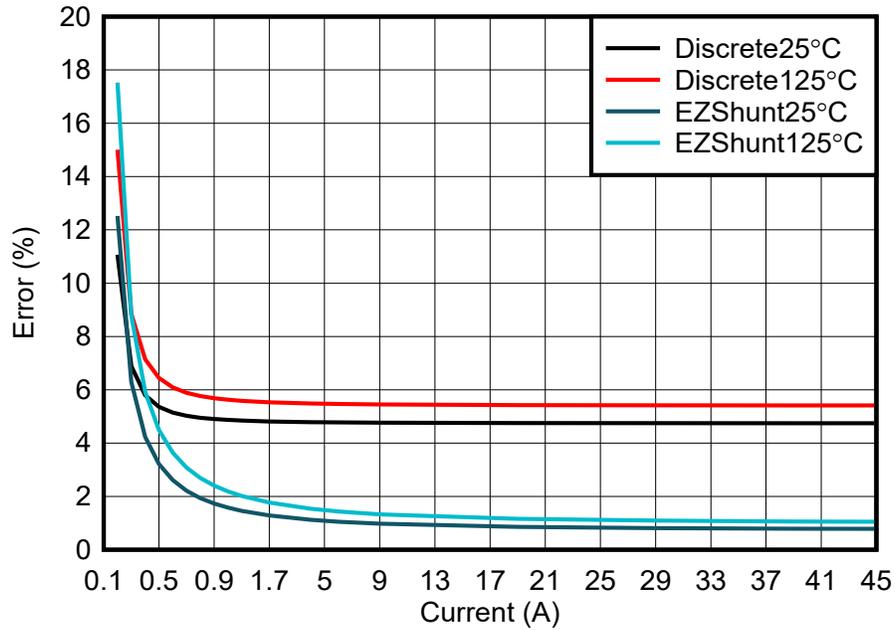


图 3-11. INA780A 与 INA238 + 电阻器 H 的比较

在分立式设计中使用电阻器 H 时，我们可以看到 INA780A 在大约 0.1A 至 50A 的范围内具有高得多的精度和更小的总误差，而分立式设计在 0A 至大约 0.1A 的范围内具有略高的精度，在 25°C 和 125°C 的温度条件下均是如此。这可归因于电阻器 E 在系统上产生的容差百分比为 4.49% (测量值)。

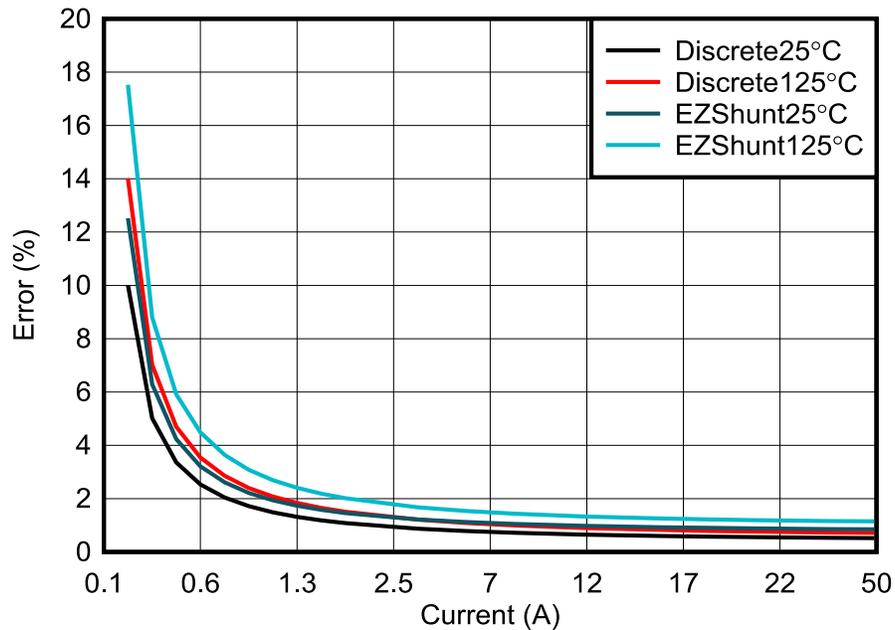


图 3-12. INA780A 与 INA238 + 电阻器 I 的比较

根据该数据集，采用更优质的电阻器 I 提供 0.4% 的容差误差和 3.6ppm 的漂移，由 INA238 和电阻器组成的分立式设计可在 25°C 和 125°C 下提供比 INA780A 设计更高的精度。

4 总结

通过比较 EZShunt™ 设计与具有类似性能和成本的数字功率监测器搭配可提供各种精度的分流电阻器的分立式设计，我们能够了解 EZShunt™ 设计的性能在不同电流和温度下是否确实与分立式传统设计相当甚至更好。

就分流电阻器而言，无论电阻器在测量时的性能如何，均建议根据数据表参数进行设计。因此，某些测得的规格可能高于或低于数据表中的值。此外，所有用于与相关 EZShunt™ 器件进行比较的数字功率监测器都是基于相似的价格、精度和功能选择的。

考虑在指定温度下不超过 15A 的电流范围时，我们使用了在 25°C 时能够支持 15A 电流的 INA700，与分别搭配电阻器 A、B 和 C 的 INA234 进行比较。从所有三个电阻器组中获取到的数据提供了清晰而有力的证据，证明 EZShunt™ 技术在 25°C 和 125°C 下和相应电流范围内提供了明显更高的精度和更小的误差。

在指定温度下不超过 25A 的电流范围内，我们使用了在 25°C 时能够支持 35A 电流并分别具有 40V/85V 共模电压的 INA745A 和 INA740A，与分别搭配电阻器 D、E 和 F 的 INA236 进行比较。得到的数据有助于我们了解 EZShunt™ 技术能够在 125°C 下和大约 0.7A 至 25A 的电流范围内提供更高的精度。同时，根据电阻器的测量精度，分立式设计可能会在 25°C 下提供更高的精度和更小的误差。但是，如果某个设计基于数据表中 1% 容差和 50ppm 漂移的典型参数，则 EZShunt™ 可提供比分立式设计更高的精度和更小的总误差。

在指定温度下不超过 50A 的电流范围内，我们使用了在 25°C 时能够支持 75A 电流的 INA780A，与分别搭配电阻器 G、H 和 I 的 INA238 进行比较。得到的数据显示，搭配可提供低于 0.5% 容差和 50ppm 漂移的分流电阻器时，分立式设计能够提供更高的精度和更小的总误差，具有更好的性能。但是，如果某个设计基于数据表中 1% 容差和 50ppm 漂移的典型参数，则 EZShunt™ 技术可以在 25°C 和 125°C 下和 1A 至 50A 电流范围内提供比分立式设计更高的精度和更小的总误差。

5 参考资料

- 德州仪器 (TI)，[INA700：采用 EZShunt™ 技术进行电流检测](#) 产品概述。

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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司