

Application Note

霍尔效应 (封装内 TMCS1143) 与其他隔离式 CS 方法的比较



Eunize Tobias, Carolus Andrews

摘要

本应用报告对德州仪器 (TI) TMCS1143 霍尔效应封装内电流传感器与其他隔离式电流传感器方法进行了比较，展示了每种方法的优势。

内容

1 简介.....	2
2 详细说明.....	2
2.1 霍尔效应封装内电流传感器.....	2
2.2 电流传感器和模块.....	2
2.3 设计要求.....	2
2.4 电流功能.....	3
2.5 精度.....	3
2.6 瞬态响应.....	4
2.7 环境磁场抑制 (AFR).....	9
2.8 封装和尺寸.....	10
2.9 价格.....	11
2.10 附加特性.....	11
3 总结.....	12
4 参考资料.....	13

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

当今市场上存在不同的电流测量设计方案。每种技术都有各自的优势和局限性，这使得为应用选择合适的器件变得具有挑战。本应用报告旨在比较霍尔效应封装内 IC、电流传感器和模块，并展示每种方案的优势。

2 详细说明

2.1 霍尔效应封装内电流传感器

霍尔效应封装内电流传感器是一种电隔离传感器，其电流直接穿过器件封装。电流产生的磁场通过隔离式传感器在内部进行测量，无需任何直接电气连接即可转换为电压信号。由于其具有高精度、低漂移、隔离特性、快速响应时间以及适用于空间受限设计的紧凑解决方案尺寸，这类传感器被广泛用于多种应用中的交流和直流电流检测。

要更全面了解霍尔效应电流检测原理和实现技术，我们的[霍尔效应电流检测视频](#)提供了详细解释和实际应用示例。

2.2 电流传感器和模块

由于能够在高电流电路和低电流电路之间提供隔离，电流传感器是多种应用中广泛使用的另一种交流电流检测方法。开环传感器直接测量电流产生的磁场，并将其转换为成比例的输出信号。闭环是另一种配置，它使用一个补偿电路来抵消磁场。尽管电流传感器和模块比封装内电流传感器具有更高的电流功能，但它们也存在一些局限性。其中一个例子是磁芯的磁通饱和，这会使得在磁芯内部的磁通量恢复到规格范围内之前，无法对器件进行测量。

2.3 设计要求

根据不同技术的优势和局限性，设计需要能够测量高电流的系统可能具有一定的挑战。每种技术在精度、隔离、频率响应、尺寸和成本方面都具有独特的优势，使其适用于不同的应用。本应用手册将通过进行一些实验室测量或直接将这些因素与器件数据表进行比较，从而阐述和对比这些因素。

要比较的器件包括：

1. TI TMC1143：电隔离霍尔效应传感器，采用紧凑型封装，支持高达 125A RMS 的连续电流。
2. 竞品 1 (Comp1)：基于霍尔效应的电流传感器，采用 SMT 引线形式，集成了电隔离功能，可测量高达 100A 的电流。
3. 竞品 2 (Comp2)：采用隧道磁阻 (TMR) 技术的开环传感器，采用通孔封装，具有隔离功能；额定电流为 50A RMS，系列产品可选范围高达 180A。
4. 竞品 3 (Comp3)：基于霍尔效应的双向开环电流传感器，采用通孔封装，初级标称电流为 50A。
5. 竞品 4 (Comp4)：开环霍尔效应电流传感器，具有电隔离功能；系列产品可选范围高达 600A，被测器件额定电流为 100A。
6. 竞品 5 (Comp5)：闭环电流传感器，具有电隔离功能，兼具交流和直流测量功能，设计用于 75A 初级标称 RMS 电流

2.4 电流功能

不同的电流传感器方法根据其构造具有不同的电流功能。由于其电气架构和热性能，电流传感器和模块通常具有更高的交流电流功能。电流传感器和模块通常设有一个开口，供初级导体穿过，从而产生一个幅度与电流成比例的磁场。此外，由于其封装物理尺寸和非侵入式电流测量方法，它们没有封装内霍尔效应方案那样的散热限制。

2.5 精度

对于精度测量，需要考虑三个分量：电偏移误差、磁偏移误差和灵敏度。电偏移误差（也称为电压偏移误差） V_{OE} 是指无输入电流流过时，相对于理想 V_{out} 的偏差。该测试的运行方法是输入零电流并测量零电流输出电压 $V_{out, 0A}$ 。 V_{OE} 然后使用公式 1 计算得出。对于磁偏移误差，器件饱和至其最大电流的 110%，然后返回到静态点，然后在无电流的情况下采集 V_{out} 。计算偏移电压是为了确定是否由于磁场饱和引起的任何残留效应而发生任何变化。最后，灵敏度是指传感器的输出电压 V_{out} 随输入电流 I_{IN} 变化而产生的变化量，该变化量也可视为图 1 所示的斜率。灵敏度测试方法为：首先在无输入电流流过时测量传感器的 V_{out} ，然后施加不同的电流负载并记录相应的 V_{out} ，进而计算斜率。最后，灵敏度误差 e_{SENS} 使用公式 2 计算得出。

从结果可以看出，TI TMCS1143 具有最低的偏移电压，与除闭环电流传感器 (Comp5) 之外的所有其他竞品类似，器件饱和后不会观察到磁滞。值得注意的是，Comp5 显示出 3mV 的差异，因为这是一款闭环电流传感器，并且已知此类方法的磁滞效应可降至最低。从灵敏度结果可以看出，具有较低灵敏度的传感器（如 Comp4、TMCS1143 和 Comp5）可能是高电流应用的更优解决方案，因为这对于在不饱和的情况下覆盖整个电流范围非常重要。

$$V_{OE} = V_{out, 0A} - V_{REF} \quad (1)$$

$$e_{SENS} = \frac{S_{MEAS} - S_{IDEAL}}{S_{IDEAL}} * 100\% \quad (2)$$

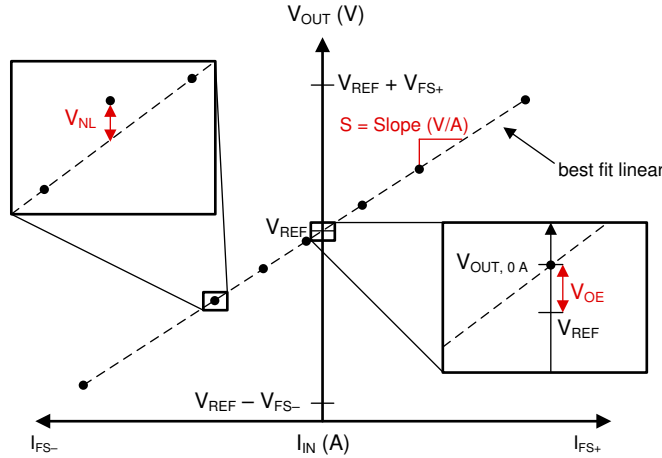


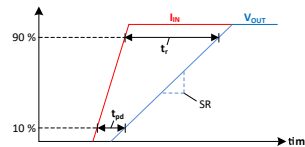
图 2-1. 灵敏度、偏移和非线性度误差

表 2-1. 偏移误差比较

器件	技术	电偏移误差, V_{OE}	磁偏移误差	灵敏度误差, e_{SENS}
TI TMCS1143	霍尔效应封装内 IC	3mV	3mV	0.24%
Comp1	霍尔效应封装内 IC	18mV	18mV	1.45%
Comp2	电流模块	10mV	10mV	4.91%
Comp3	电流模块	11mV	11mV	1.22%
Comp4	电流传感器	8mV	8mV	0.0005%
Comp5	电流传感器	6mV	9mV	1.69%

2.6 瞬态响应

在瞬态阶跃响应部分，考虑了四个参数：传播延迟 (t_{pd})、响应时间 (t_r)、转换率 (SR) 和带宽 (BW)。输入电流 I_{In} 达到最终值的 10% 与输出电压 V_{out} 达到最终值的 10% 之间的时间间隔定义为 t_{pd} 。对于一个能使输出电压产生 1V 变化的输入电流阶跃， I_{In} 达到最终值的 90% 与 V_{out} 达到最终值的 90% 之间的时间间隔定义为 t_r 。不同的竞品对 t_{pd} 和 t_r 的测量方式不同，因此，为保证公正性，我们按照图 2 所示的方法进行测量。带宽对于验证电流传感器是否满足应用要求至关重要，因为它决定了输入信号及其相关谐波能够被器件完全放大的频率上限。这有助于重建精确的输出信号，而不会因谐波衰减而失真。


图 2-2. 瞬态阶跃响应

对每个器件的响应时间 t_r 和传播延迟 t_{pd} 进行了测量，并根据表 2-2 中列出的数据表比较了带宽。

表 2-2. 响应时间和带宽

器件	技术	t_{pd}	t_r	带宽
TI TMCS1143	霍尔效应封装内 IC	0.14 μ s	1.03 μ s	275kHz
Comp1	霍尔效应封装内 IC	1.42 μ s	3.42 μ s	200kHz
Comp2	电流模块	0.087 μ s	0.10 μ s	400kHz
Comp3	电流模块	0.84 μ s	0.76 μ s	400kHz
Comp4	电流传感器	3 μ s	3.74 μ s	240kHz
Comp5	电流传感器	0.124 μ s	0.78 μ s	300kHz

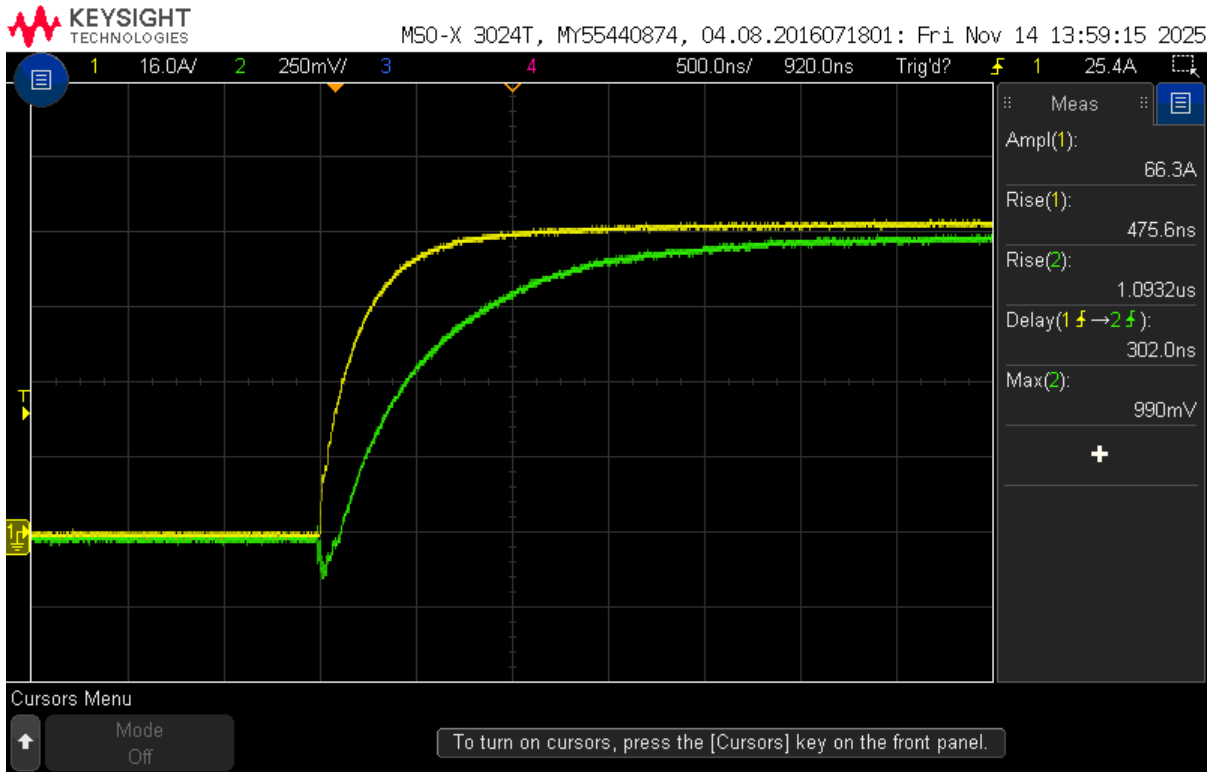


图 2-3. TI TMCS1143 响应时间

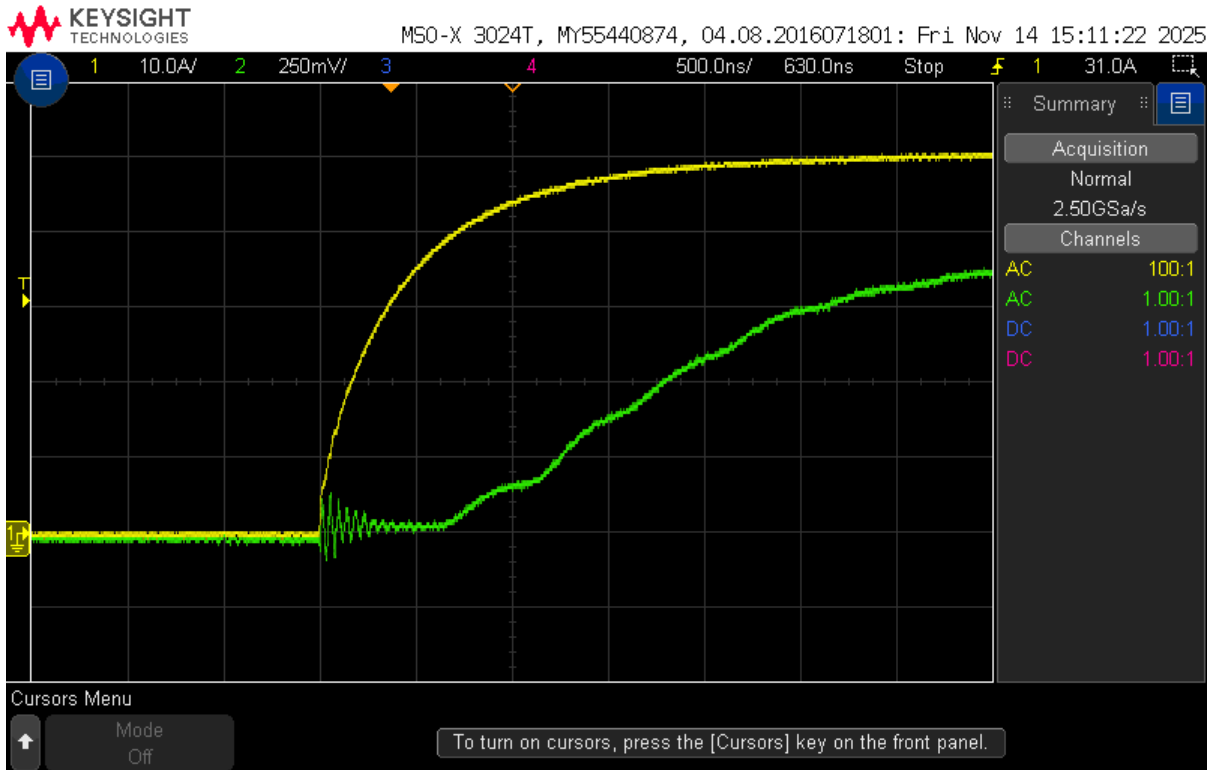


图 2-4. 每个水平分频在 500ns 时的 Comp1 响应时间

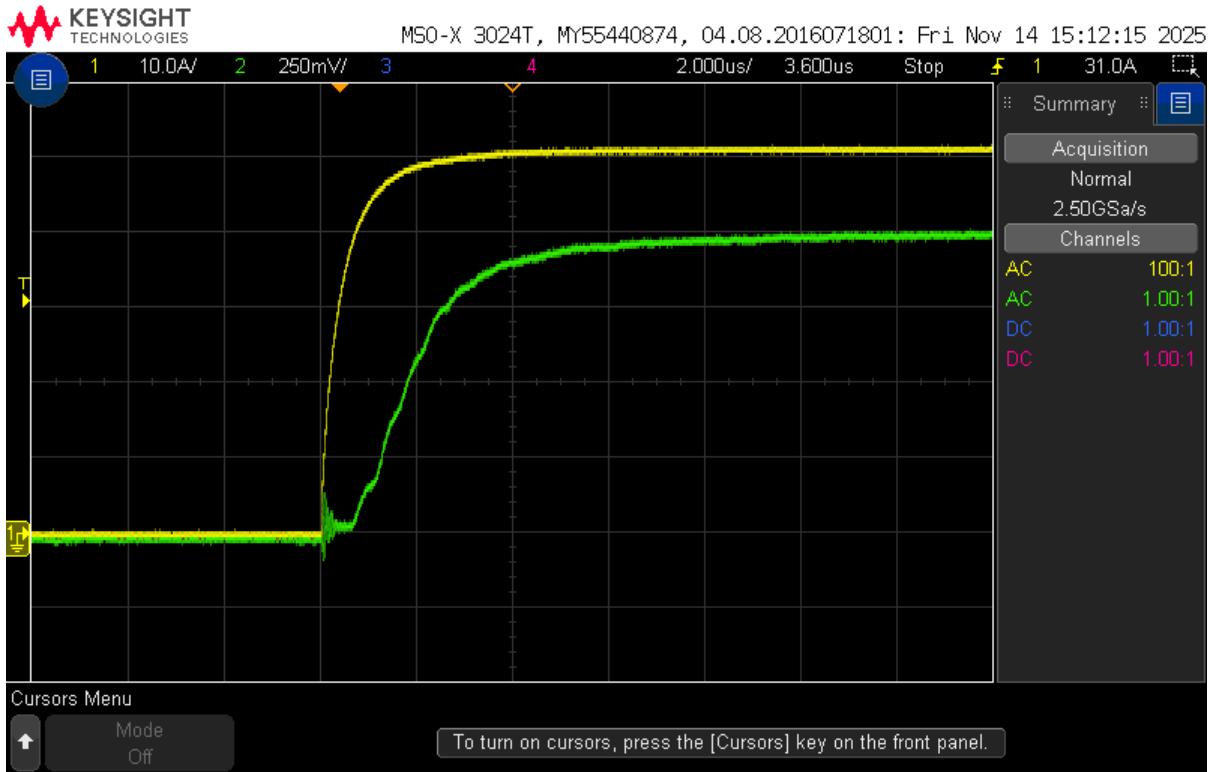


图 2-5. 每个水平分频在 $2\ \mu\text{s}$ 时的 Comp1 响应时间

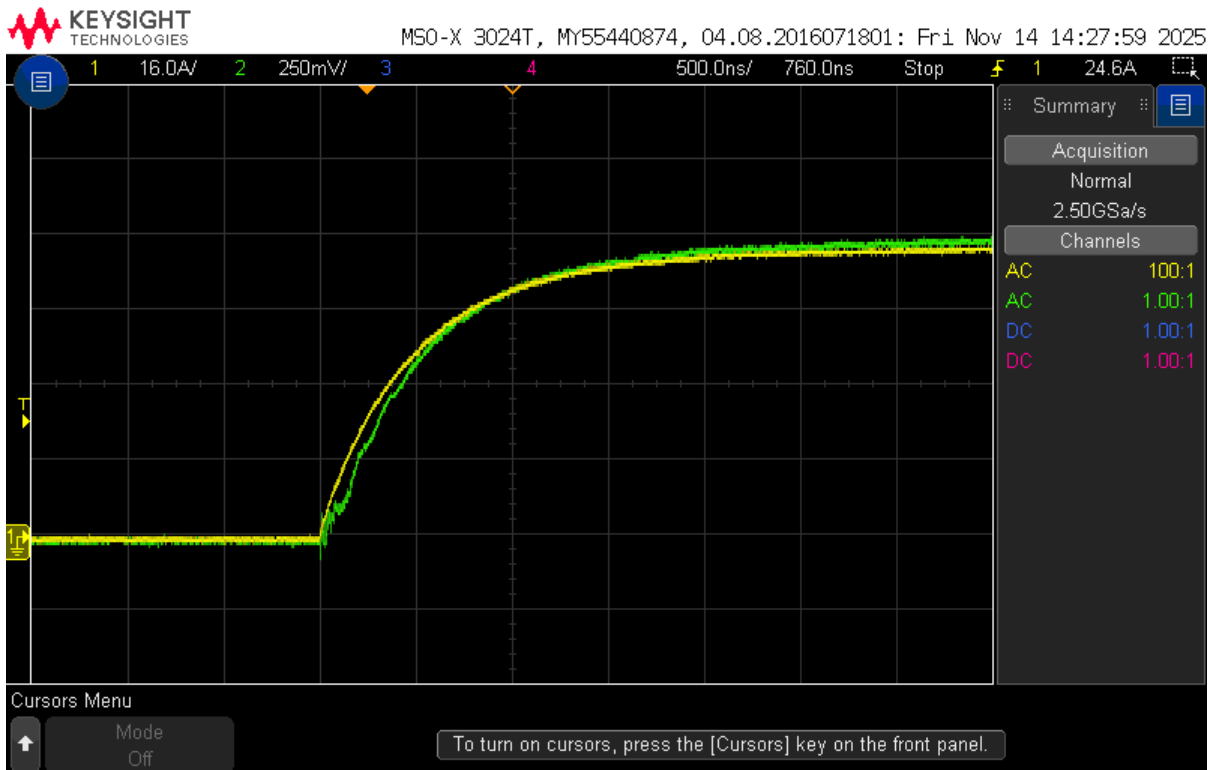


图 2-6. Comp2 响应时间



图 2-7. Comp3 响应时间

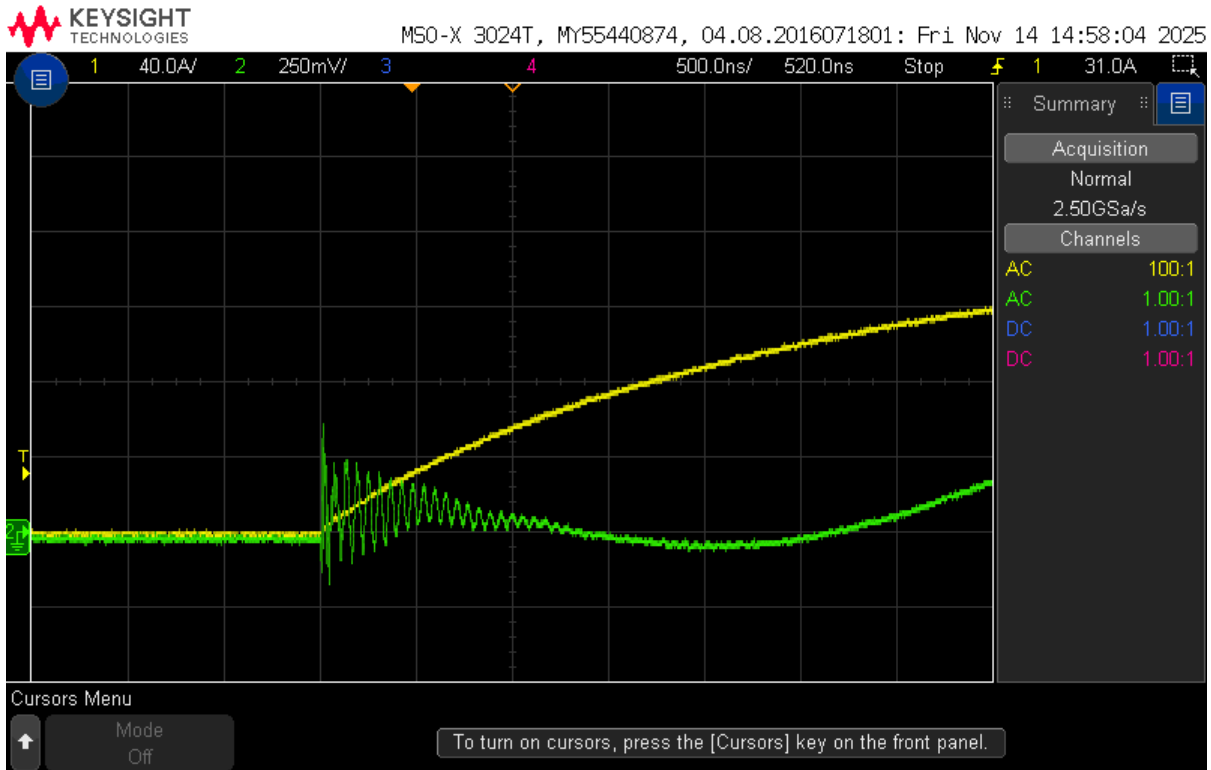


图 2-8. 每个水平分频在 500ns 时的 Comp4 响应时间

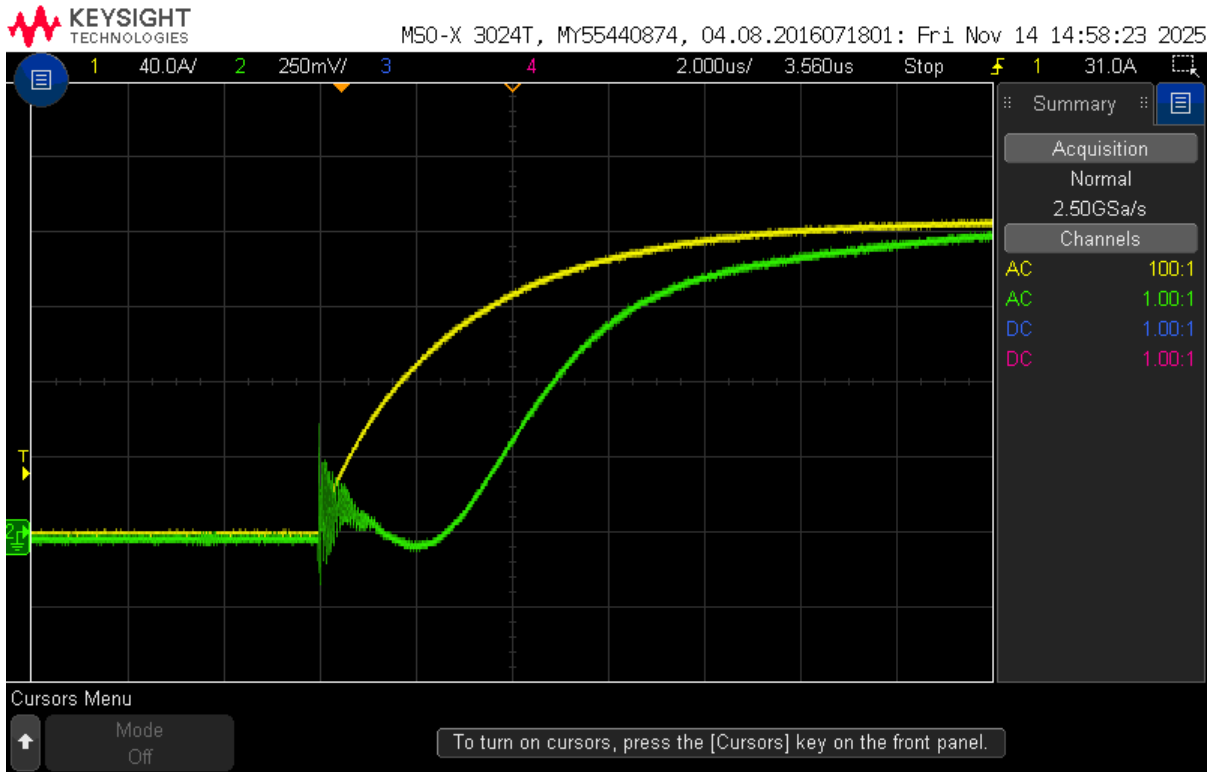


图 2-9. 每个水平分频在 $2\ \mu\text{s}$ 时的 Comp4 响应时间

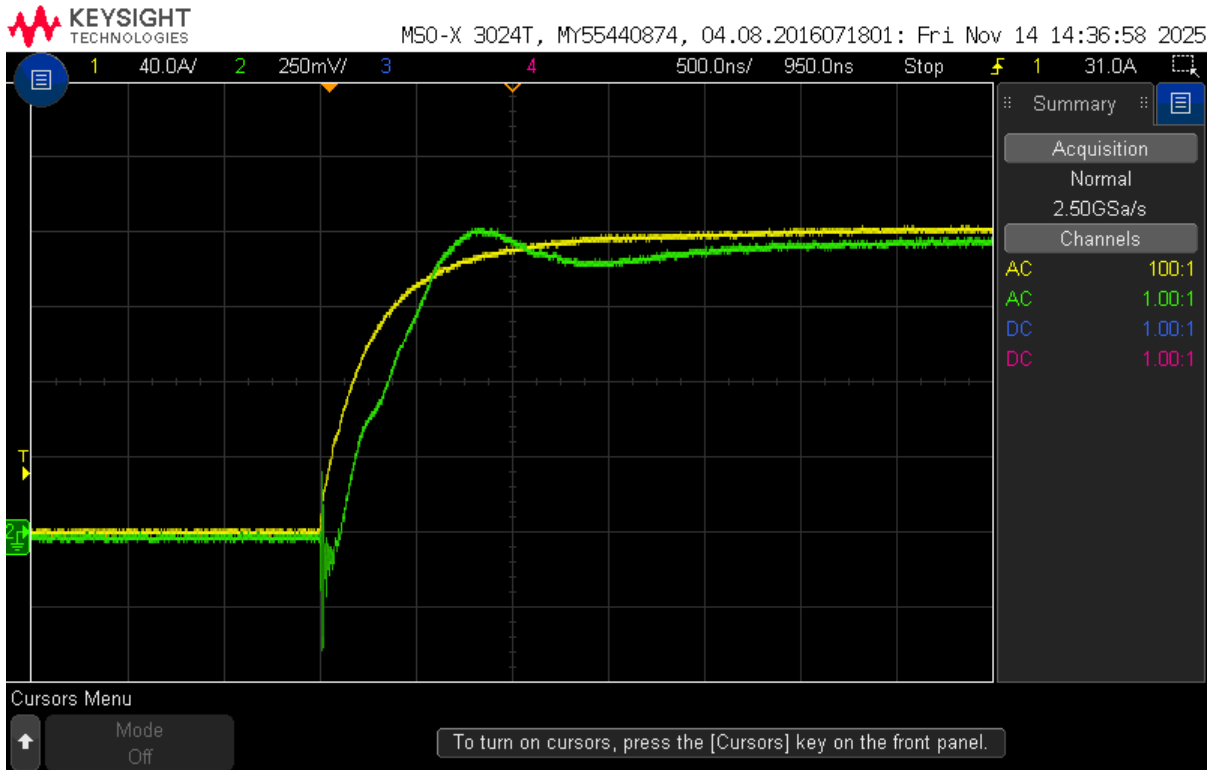


图 2-10. Comp5 响应时间

比较数据表中规定的所有器件的带宽发现，双向开环电流传感器 (Comp3) 和开环电流传感器 (Comp4) 能够对快速变化的电流做出更快且准确的响应，但可能会做出一些权衡，例如对噪声的灵敏度。与其他器件相比，开环电流传感器 (Comp4) 的速度特别慢，这是因为其外部初级导体根据所用导线的不同会增加电感量。电感可以通过更大的导线来降低，但代价是系统总成本会增加。

2.7 环境磁场抑制 (AFR)

要通过抑制器件附近外部磁场的干扰来确保测量精度，环境磁场抑制 (AFR) 至关重要。具有良好 AFR 的器件可确保精确测量，并简化主要设计挑战。为了测试磁抑制比，我们使用了亥姆霍兹线圈和低温探针。通过两个平行的亥姆霍兹线圈产生均匀磁场，两个线圈中流过大小相等、方向相同的电流。向亥姆霍兹线圈施加电流以建立所需的均匀磁场；使用探针测量 Z 方向的磁场，并将待比较的器件放置在探针附近。然后测量并记录每个器件的 V_{out} ，如图 2-11 所示。开环电流传感器 (Comp4) 的测试存在一些限制，因为该元件需要外部电缆连接到 PCB，这可能会干扰测试结果。图 9 显示 TI TMCS1143 具有最好的 AFR，因为 V_{out} 不会像其他元件那样受到影响，尤其是开环传感器 (Comp2)。



图 2-11. 各磁场间的 Vout

2.8 封装和尺寸

所有测试的元素具有不同的封装尺寸。Comp4 等具有较大型设计的一些元件在 PCB 空间和布局方面存在一些局限性。TI TMCS1143 等器件由于没有笨重的内核，因此可实现更紧凑的设计并减少 PCB 空间，进而可以降低设计成本。在比较的所有元件中，TI 的 TMCS1143 是尺寸最小的设计，为 138.43mm^2 ，如图 2-12 和图 2-13 所示。隔离式空间中确实存在更小的选择，但通常仅提供基本隔离，而 TMCS1143 提供了增强的隔离效果。

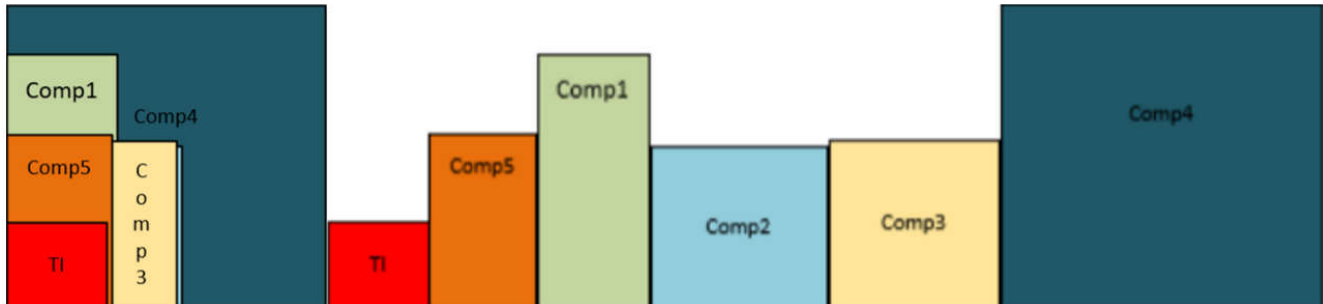


图 2-12. 2D 顶视图比较

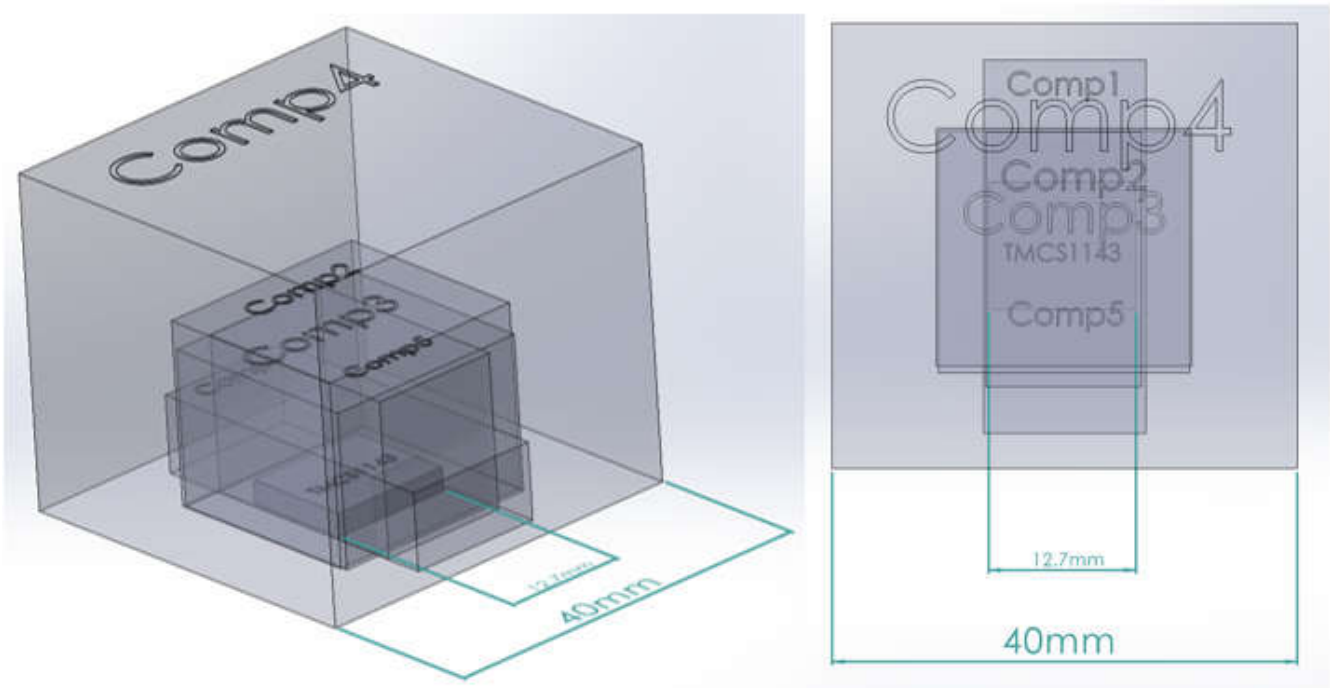


图 2-13. 所有元件总面积的 3D 视图

2.9 价格

在选择电流检测器件时，价格也是一个重要因素，因为不同的方法具有不同的价格。为了在比较价格时做到公平，我们对 DigiKey 上的 1Ku 价格进行了比较。定价分为三类：低成本（0-4.5 美元）、中等成本（4.5-9 美元）和高成本（高于 9 美元）。请参阅表 3-1 了解各器件的价格比较情况。

2.10 附加特性

TMCS1143 兼具内部自诊断报警功能和过流检测功能。报警功能有助于在运行条件（如温度、灵敏度）使电流传感器测量无效时发出警告。集成的过流检测 (OCD) 可用于触发警告或启动系统关断，以防止因短路或电机堵转等不同情况引起的过高电流造成损坏。通过使用由电源电压或内部基准电压驱动的外部电阻分压器，可对 OCD 进行灵活设置。这些附加特性使得单芯片解决方案能够适用于多种应用，从而简化设计、缩小解决方案尺寸并降低成本。

3 总结

总之，在设计需要高电流的系统时，需要考虑不同的参数。决定使用哪种技术或器件可能是一项挑战，因此了解您的应用有哪些必须满足的设计要求至关重要。根据本文讨论的参数，霍尔效应封装内 TMCS1143 具有表 3-1 中列出的最多优势。

表 3-1. 比较概要

	TMCS1143	Comp1	Comp2	Comp3	Comp4	Comp5
技术	霍尔效应封装内 IC	霍尔效应封装内 IC	电流模块	电流模块	电流传感器	电流传感器
电流功能	125A	100A	50A	50A	100A	75A
灵敏度误差	0.24%	1.45%	4.91%	1.22%	0.0005%	1.69%
偏移误差	3mV	18mV	10mV	11mV	8mV	6mV
磁偏移误差	3mV	18mV	10mV	11mV	8mV	9mV
带宽	275kHz	200kHz	400kHz	400kHz	240kHz	300kHz
传播延迟	0.14 μ s	1.42 μ s	0.087 μ s	0.84 μ s	3 μ s	0.124 μ s
解决方案尺寸	138.43 mm ²	316.4 mm ²	454.21 mm ²	457.9 mm ²	1,215 mm ²	293.6 mm ²
成本*	\$	\$\$	\$	\$\$	\$\$\$	\$\$\$

4 参考资料

1. 德州仪器 (TI), [电流检测工程师指南](#), 电子书
2. 德州仪器 (TI), [TMCS1143 具有增强型隔离、过流检测和环境磁场抑制功能的精密 275kHz 霍尔效应电流传感器](#), 数据表。

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