

Product Overview

TI 无磁芯霍尔传感器重新定义电流检测技术



Hangjie Wang Yuxin Liu

摘要

随着 SiC/GaN 高频功率器件的广泛应用，电动汽车、储能 PCS、AI 服务器电源以及光伏逆变器等设备持续向小型化、高功率密度和高速保护方向发展。传统带磁芯霍尔传感器正面临越来越明显的限制，包括磁饱和、磁滞、体积庞大以及装配公差影响。TI 无磁芯霍尔电流传感器取消了磁通集中磁芯结构，利用多信号组合、芯片内部校准与补偿以及杂散磁场抑制算法解决上述痛点，成为下一代电流检测领域的领先采样架构。

内容

1 简介.....2

1.1 行业痛点：传统带磁芯霍尔方案的瓶颈.....2

2 全面比较：TI 无磁芯霍尔方案与传统带磁芯霍尔方案.....3

2.1 基础架构差异.....3

2.2 关键性能和工程痛点比较表.....4

2.3 成本与研发投入分析.....4

3 TI 无磁芯霍尔传感器的优势.....5

4 结语.....5

5 参考资料.....5

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 简介

### 1.1 行业痛点：传统带磁芯霍尔方案的瓶颈

几十年来，利用磁芯集中导体磁场的传统霍尔传感器一直在工业和汽车应用中的电流检测领域中占据主导地位。然而，随着电力电子系统向更高功率、更紧凑的机械封装以及更高开关频率迈进，磁芯结构固有的局限性已成为关键瓶颈：

1. 磁饱和与动态失真：大电流浪涌会使磁芯进入饱和状态，导致波形失真，并造成过流/短路保护延迟或误触发；
2. 磁滞与零漂移：电流上升/下降过程中磁路不匹配，以及大电流应力后的剩磁，会放大偏置误差并降低长期测量精度；
3. 占用空间过大：磁芯需要通孔、绝缘结构和安装组件，使传感器成为占用大量空间的器件，挤压散热管理和连接器布局空间；
4. 装配一致性差：气隙变化、导体偏移和安装公差会削弱磁场聚焦效果，导致测量精度差异较大；
5. 大型笨重的模块结构：C 型磁芯方案仍需要使用重量较大、体积较大的铁氧体磁芯，导致功率密度降低，并限制进一步缩小相邻母线之间的距离。
6. 高频带宽有限：涡流损耗和磁路延迟限制了响应速度，无法满足 SiC/GaN 器件所需的 MHz 级高  $di/dt$  检测需求。

带磁芯霍尔传感器在一般工业应用中仍保持稳定可靠，但无磁芯霍尔技术正在成为高密度新一代系统的重要升级方向。TI 新推出的无磁芯霍尔 **TMCS2100-Q1** 电流传感器完全摒弃磁芯结构，从根本上解决由磁芯引起的缺陷，满足紧凑型电力电子设计需求。

## 2 全面比较：TI 无磁芯霍尔方案与传统带磁芯霍尔方案

### 2.1 基础架构差异

#### 1. 传统带磁芯霍尔方案

带磁芯霍尔传感器依靠铁氧体磁芯集中磁通，通过固定磁路实现高灵敏度电流测量，但同时带来更大的尺寸和更高的机械复杂度。

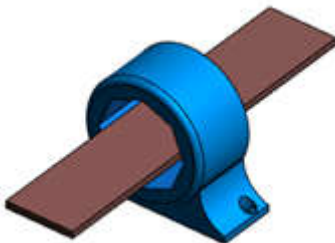


图 1. 传统带磁芯霍尔方案

#### 2. 无磁芯霍尔方案

不采用磁场集中磁芯结构。器件支持安装在外部母线顶部 PCB 上，并结合多信号组合架构，直接测量载流导体产生的原始磁场。片上信号调节和补偿功能可确保器件在不同温度、频率和使用寿命周期内保持可靠性能。串扰抑制算法可降低相邻相位产生的磁场干扰。采用单芯片表面贴装封装形式，可直接焊接到 PCB 上，或侧向安装于母线上，无需穿孔结构。该器件可直接安装在牵引逆变器板上、母线区域上方的位置，其安装方式与普通器件类似，无需对模块、固定结构或母线进行改造。

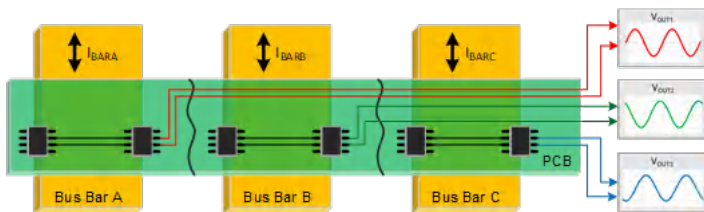


图 2. TI 无磁芯霍尔传感器

## 2.2 关键性能和工程痛点比较表

表 1. 关键性能和工程痛点比较

| 关键系统需求      |          | C 型磁芯或集成模块方案                                                                                                                   | 带 U 型磁屏蔽结构的走线正上方检测传感器方案                                                                                      | TMCS2100 多传感器无磁芯方案                                                                                          |
|-------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 制造便利性       |          | 采购或自建                                                                                                                          | 需要修改母线并放置屏蔽结构                                                                                                | 将 IC 放置在 PCB 上                                                                                              |
| 相间串扰抑制能力    |          | 采用磁芯设计时小于 1%                                                                                                                   | 采用屏蔽设计时小于 1%                                                                                                 | 完成特性标定后小于 1%                                                                                                |
| 位移误差        |          | 不适用                                                                                                                            | 1mm = 约 3.5%                                                                                                 | 1mm = 约 3.7%                                                                                                |
| 1kHz 下的相位延迟 |          | < 4°                                                                                                                           | < 3°                                                                                                         | < 2°                                                                                                        |
| 每相 IC 功耗    |          | > 25mA                                                                                                                         | 10~15mA                                                                                                      | 大约 50mA                                                                                                     |
| 精度          | 温度变化下    | 约 3%，并存在磁芯误差                                                                                                                   | ~ 2%                                                                                                         | ~ 1%                                                                                                        |
|             | 线性度      | 约 3%                                                                                                                           | ~ 1%                                                                                                         | ~ 0.1%                                                                                                      |
|             | 全频率范围内   | 约 3%，并存在磁芯误差                                                                                                                   | < 5%                                                                                                         | ~ 1%                                                                                                        |
|             | 整个使用寿命期间 | > 5%                                                                                                                           | > 7.5%                                                                                                       | ~ 1%                                                                                                        |
| 高于母线的安装高度   |          | > 15mm                                                                                                                         | > 1mm                                                                                                        | > 3mm                                                                                                       |
| 系统复杂度       |          | IC + 磁芯 + 外壳/固定结构                                                                                                              | IC + 屏蔽结构 + 母线修改 + 固定结构                                                                                      | IC + 简单固定结构                                                                                                 |
| 主要优势        |          | <ul style="list-style-type: none"> <li>出厂前完成全面校准</li> <li>丰富的机械设计选择</li> <li>广泛的性能覆盖范围</li> <li>闭环方案在宽电流范围内具有良好精度</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>机械设计灵活性</li> <li>适合 PCB 与母线集成</li> <li>尺寸小于 C 型磁芯或模块方案</li> </ul>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>无需磁性元件</li> <li>尺寸小于 C 型磁芯</li> <li>多传感器组合架构，可降低非静态杂散磁场影响</li> </ul> |
| 挑战          |          | <ul style="list-style-type: none"> <li>成本</li> <li>空间需求大</li> <li>带宽受磁性结构限制</li> <li>如果采用开环结构，会存在较大的偏置误差，导致低电流测量不准确</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>需要磁设计专业知识和设计能力</li> <li>容易受到磁干扰影响</li> <li>开环测量在低电流情况下精度不足</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>需要进行前期磁场仿真和母线布局优化</li> <li>需要进行系统级实验室特性标定</li> </ul>                 |

## 2.3 成本与研发投入分析

1. 传统带磁芯霍尔方案：元器件成本较低，但结构模具、复杂装配以及笨重结构会推高整体系统成本。由于安装偏移导致的现场故障，会增加售后维护成本。
2. 无磁芯霍尔方案：取消磁芯、支架和绝缘硬件，在实现相当或更低总 BOM 成本的同时提供更高集成度。简化装配流程，从而保持大规模生产的经济性。

研发投入方面：带磁芯传感器主要集中于器件选型；无磁芯设计则需要进行前期磁场仿真和母线布局优化。然而，TI 提供的参考设计、仿真工具和评估套件能够降低开发门槛。如需了解更多信息，请访问 [TMCS2100-Q1](#)。

### 3 TI 无磁芯霍尔传感器的优势

1. 消除磁芯对动态性能的限制：去除铁磁磁芯后，磁饱和、磁滞和剩磁等误差来源不复存在。在电机启动瞬态、高功率充放电循环或服务器负载瞬间突增等情况下，电流波形仍能保持无失真状态，同时实现快速可靠的短路/过流保护，避免磁芯导致的响应延迟或保护失效。集成高速信号调理功能，可实现 250kHz 带宽和小于  $1\mu\text{s}$  的故障响应速度，满足高  $di/dt$  和  $dv/dt$  工作条件，并支持快速闭环控制。
2. 超紧凑、轻量化封装形式释放机械设计空间：由于无需磁芯、安装支架以及通孔间隙要求，TI 无磁芯霍尔传感器采用标准表面贴装封装，可直接焊接到功率 PCB 上，或无需钻孔即可与大电流铜母线平齐安装。在相同电流范围下，其占用面积可缩小超过 60%，重量大幅降低，从而为散热路径、高压绝缘和连接器布局创造空间——这些对于汽车牵引控制器和高密度 AI 服务器电源至关重要，并进一步提升系统功率密度。
3. 多传感器组合架构相比传统无磁芯设计，可抑制相间串扰。普通无磁芯传感器容易受到相邻母线产生的串扰影响；TI 多信号组合架构能够区分同相磁场和串扰磁场。通过实时频率检测和补偿，消除频率对三相母线产生的影响（包括集肤效应和邻近效应）。高密度逆变器和储能变流器布局无需额外屏蔽即可保持额定精度，从而降低 EMC 设计难度。
4. 相比传统无磁芯设计，具备更优的位移误差性能。对于每个相位，TI 使用两个安装在不同位置的无磁芯电流传感器，同时测量磁场，从而获得更多关于总磁场的信息，使 TI 设计能够更有效地抵抗串扰和位移误差。TI 建议母线与器件之间保持 3mm 至 11mm 的距离，以同时满足绝缘要求并获得更好的 SNR，如图 3 所示。基于这种结构，车辆振动导致的距离变化对磁场幅值影响极小，因此对传感器输出产生的误差非常有限。

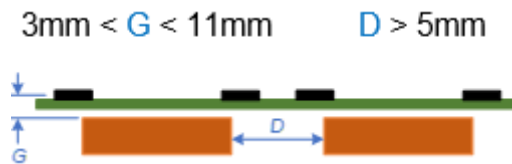


图 3. 安装说明

#### 5. 快速 EOL 校准与易用性

TI 无磁芯电流传感器仅需在研发阶段于实验室中完成特性标定。完成该特性标定后，所有已标定的寄存器数据都可以通过 MCU 上传到采用相同机械结构的平台中。由于装配公差影响，EOL 生产阶段仍需要进行简单校准，只需通过定制化校准方法或 TI 校准流程进行简单的增益/偏置优化，耗时极短，从而降低生产阶段成本。

### 4 结语

小型化、高频运行和更高功率密度是整个电力电子领域不可逆的发展趋势，这使得带磁芯和无磁芯霍尔传感器成为针对不同应用场景的互补技术——带磁芯方案凭借成本优势，继续适用于稳态低频应用；而 TI 无磁芯霍尔传感器则成为下一代高密度系统的首选方案。

凭借多重信号组合、单芯片隔离封装、小于  $1\mu\text{s}$  的过流响应速度以及不受磁饱和和影响的优点，TI 无磁芯霍尔传感器解决了传统带磁芯方案存在的体积庞大、动态性能受限以及批量生产一致性不足等痛点，满足新能源汽车、储能系统和 AI 算力设备中的电流检测需求。

### 5 参考资料

1. 德州仪器 (TI), [TMCS2100 评估模块](#)
2. 德州仪器 (TI), [TMCS2100-Q1 无磁芯多传感器霍尔效应电流传感器](#)

## 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