

Application Note

使用霍尔效应传感器在电子智能锁中进行位置感应



Justin Beigel

Position Sensing

摘要

霍尔效应传感器在电子智能锁中有两个主要用途；门栓的篡改检测和位置感应。根据系统所需的信息水平，可以使用霍尔效应传感器以不同的方式实现位置感应。本文档介绍了电子智能锁位置感应的不同方法。

内容

1 智能锁中的线性霍尔效应传感器.....	2
1.1 篡改检测.....	2
2 基于霍尔效应的旋转位置传感方法.....	2
2.1 开关实现.....	2
2.2 使用 3D 霍尔效应传感器的旋转感应.....	5
3 总结.....	8
4 参考资料.....	8
5 修订历史记录.....	9

插图清单

图 2-1. 霍尔效应开关实现示例.....	2
图 2-2. 霍尔效应传感器 2mm 间隙 - 八分之一英寸的磁体.....	3
图 2-3. 霍尔效应传感器 4mm 间隙 - 八分之一英寸的磁体.....	3
图 2-4. 霍尔效应传感器 2mm 间隙 - 四分之一英寸的磁体.....	4
图 2-5. 3D 霍尔效应传感器放置示例.....	5
图 2-6. 3D 霍尔传感器旋转示例.....	5
图 2-7. 霍尔传感器偏离旋转轴.....	6
图 2-8. 磁铁偏离旋转轴.....	6
图 2-9. 齿轮上的磁铁示例.....	7

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 智能锁中的线性霍尔效应传感器

电子智能锁已成为智能家居的关键部分，可以通过多种不同的方式实现。智能锁中常见的关键要素之一是了解门栓的位置。这可用于减少电机的应变以及提供有关锁的当前状态的信息。如果锁具应该完全关闭但被卡住了一半，则可以通过通知向用户报告门可能未完全关闭。门栓的位置可以通过多种技术实现，包括光学开关、旋转编码器、机械开关和霍尔效应传感器。除了用于检测门栓的位置外，霍尔效应传感器还可用于确定是否有人试图篡改锁具或访问内部电路。篡改检测提供了额外的安全功能，以降低有人通过智能锁闯入房屋的潜在风险。

1.1 篡改检测

篡改智能锁的方法有很多种。其中一种是尝试通过拆除外壳以进入器件内部，从而打开器件。在这种情况下，可以使用开关来确定外壳何时被拆除或弯曲错位。[使用霍尔效应传感器进行篡改和移动终点位置检测实现限制检测](#)应用简报中介绍了此实现方式。如果智能锁使用霍尔效应传感器来确定磁铁的位置，闯入者可能会试图通过使用大磁铁触发传感器来诱骗传感器。消除这种风险的一种方法是安装一个额外的传感器，当系统中存在比设计要求更强的磁场时，该传感器会向智能锁的主控制器发出警报。[具有外部磁场保护的非接触式霍尔效应变速触发器参考设计](#)设计指南中还显示了其他传感器实现方式。

2 基于霍尔效应的旋转位置传感方法

根据所需的分辨率大小，在电子智能锁中实现位置传感的方法有多种。根据布局中开关位置的不同，切换实现可用于给出门锁完全打开、门锁完全关闭或门锁处于中间某处的绝对位置。根据需要多少种状态，可以使用不同数量的开关。另一种方法是让霍尔传感器测量电机或锁中心轴的旋转角度。最后，电机可以对其本身进行编码。霍尔效应传感器也可用于实现电机编码。有关霍尔传感器电机编码的更多信息，请参阅[增量旋转编码器](#)应用简介。

2.1 开关实现

使用开关检测门栓位置的一种方法是让磁体围绕中心轴旋转。由此，您可以放置霍尔效应开关以确定门栓何时处于解锁位置和锁定位置。这些开关也可以用来确定锁具是安装在右手门还是左手门上。

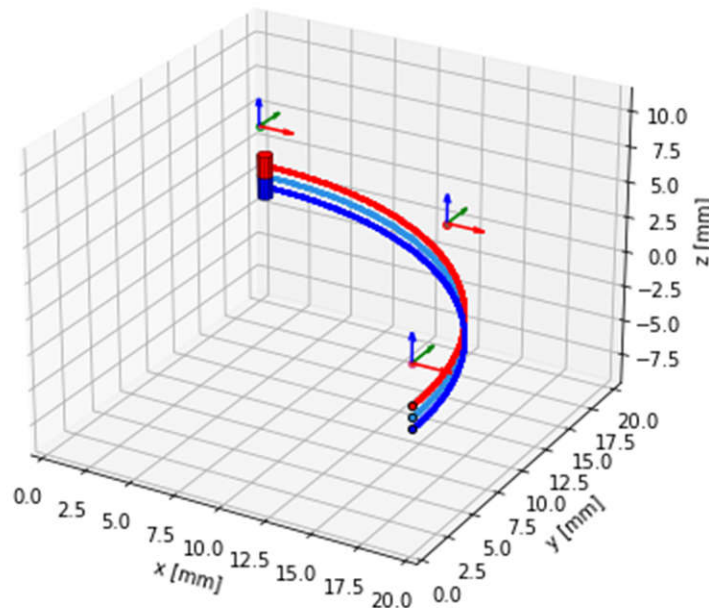


图 2-1. 霍尔效应开关实现示例

在此示例中，当磁体绕着中心轴扫过时，有三个开关来确定门栓旋转的位置。中心开关可用于确定门栓何时完全打开，两个末端开关可用于确定门栓何时完全关闭，一个用于左手门的安装，一个用于右手门的安装。这样，锁具可以安装在任意门上，并且仍然可以检测到门栓的位置。[图 2-2](#) 展示了磁体的磁场（磁场沿此路径移动）以及开关的数字输出的示例。Bz1、Bz2 和 Bz3 线是每个传感器的磁场强度，而 D1、D2 和 D3 线是基于传感器 Bop

的数字输出。由于器件的 Brp 较小，此图中未考虑器件迟滞，因此此处仅显示了开关能够在任一方向上打开的情况。

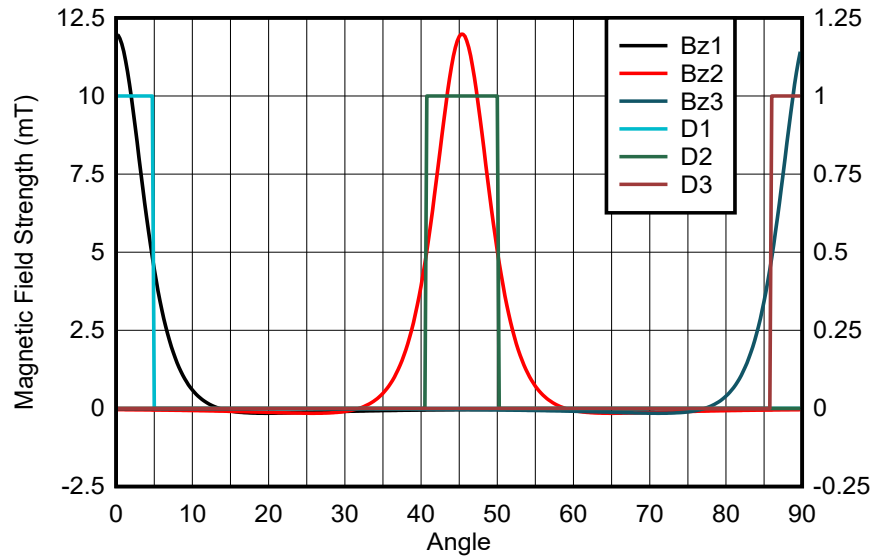


图 2-2. 霍尔效应传感器 2mm 间隙 - 八分之一英寸的磁体

此仿真假设使用典型磁阈值为 3mT 的 DRV5032FB。不过，如果需要一个平面霍尔效应开关来检测与封装标记表面平行的磁场，则可以考虑使用 [TMAG5233](#)、[TMAG5133](#) 或 [TMAG5134](#)。传感器放置在距离磁体末端 2mm 处，这会在检测到的磁场中产生 12mT 的峰值。每个开关的机械容差可以通过改变磁体和传感器之间的距离或使用具有不同阈值的器件来调整。通过增加此距离，图 2-3 显示了当开关检测到磁体时容差更严格。

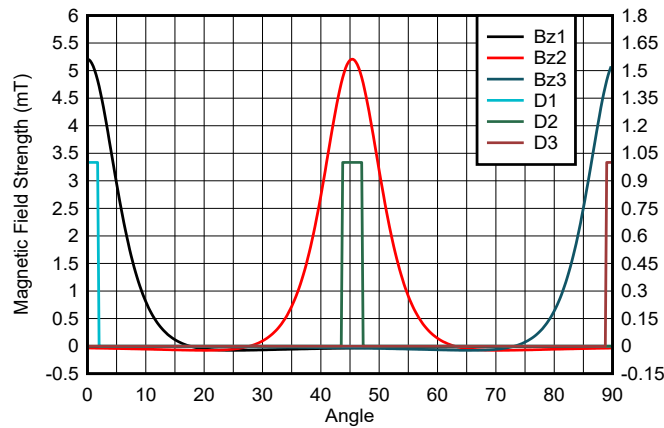


图 2-3. 霍尔效应传感器 4mm 间隙 - 八分之一英寸的磁体

虽然此实现仅使用三个开关，但添加开关或更改其位置能够提供有关门栓位置的更多信息。用于上述模拟的磁体是 N52 条形磁体，直径为 1/16 英寸，厚度为八分之一英寸。如果使用更大的磁体，则可以增加磁场强度以使开关更快地打开进行旋转运动。例如，一个类似的条形磁体，厚度为四分之一英寸，磁体末端和传感器之间有 2mm 的间隙，会产生以下结果。

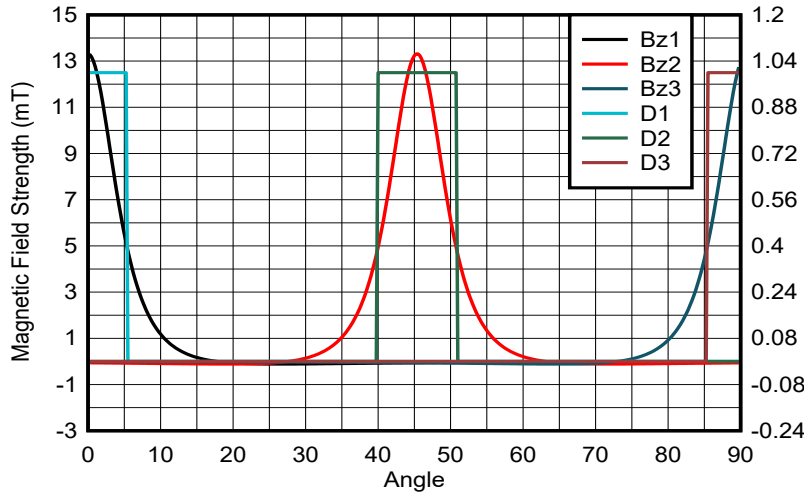


图 2-4. 霍尔效应传感器 2mm 间隙 - 四分之一英寸的磁体

新的峰值磁场约为 13.3mT。这种增加不是很大，但在触发传感器输出时也提供了更宽的角度范围。为该应用选择磁体在很大程度上取决于系统中的可用空间，但也需要考虑所需的容差等因素，并将其与传感器的磁体阈值进行比较。

使用霍尔开关是一种低功耗和低成本的实现方式。前面提到的 DRV5032FB 可以在小于 1 μ A 的电流下工作，以保持该应用中的电池寿命。该设计的替代方案是 TMAG5233、TMAG5133 或 TMAG5134，这些器件是平面霍尔效应开关。这些开关具有全极磁响应，能够对与封装标记表面平行的南北磁极均做出响应。TMAG5233 采用业界通用的 SOT-23 封装，并提供 5Hz 和 40Hz 的占空比选项。TMAG5133 采用业界通用的 X1LGA 封装。TMAG5134 采用业界通用的 X1LGA 和 SOT-23 封装。

与簧片开关相比，霍尔传感器还可延长产品寿命。有关簧片开关和霍尔传感器之间比较的更多详细信息，请参阅 [TI 的霍尔效应和线性 3D 霍尔效应传感器替代簧片开关应用手册](#)。

2.2 使用 3D 霍尔效应传感器的旋转感应

在需要更高的分辨率旋转角度的系统中，可以使用单个 3D 霍尔传感器来检测磁体的角度。由于该设备只需要一个器件，因此传感器的最佳位置是直接放置在磁铁上面，因此旋转仅发生在传感器的 Z 轴上。

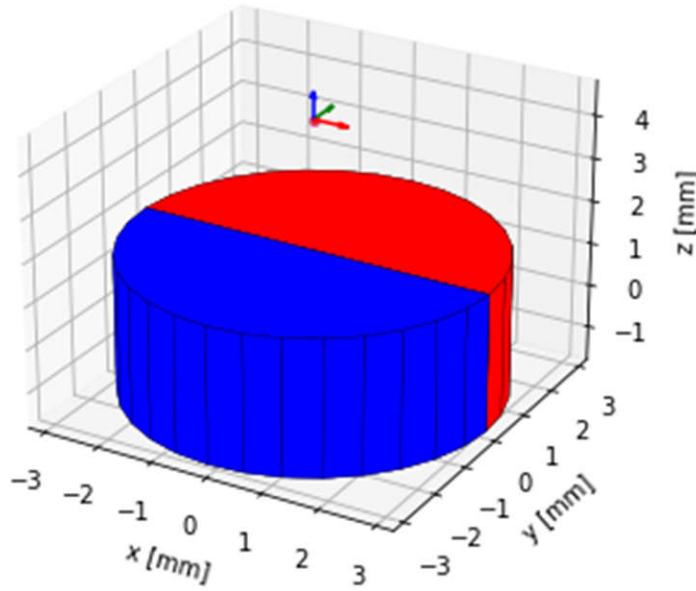


图 2-5. 3D 霍尔效应传感器放置示例

传感器和磁铁完全对齐，因此在磁铁旋转时只有磁场的 X 和 Y 部分发生变化。

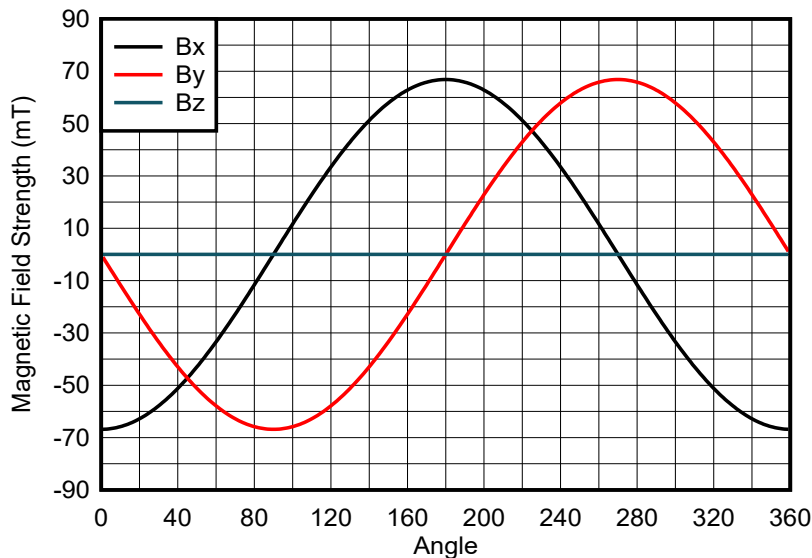


图 2-6. 3D 霍尔传感器旋转示例

如图 2-6 所示，只有两个磁场轴需要用来确定磁铁的角度，因此第三个轴可以自由地执行篡改检测或收集有关器件状态的附加信息。为了确定磁铁的角度，可以使用 MCU 处理数据。但是，TMAG5273 和 TMAG5170 等器件具有集成的 CORDIC 算法，可将角度报告为寄存器值，因此无需 MCU 进行额外计算。如果在磁体和传感器对齐中发生移位或偏移，则磁场的 Z 轴将发生变化。如果磁铁仍与旋转轴对齐但不再与传感器对齐，则 Z 轴开始以正弦模式变化。

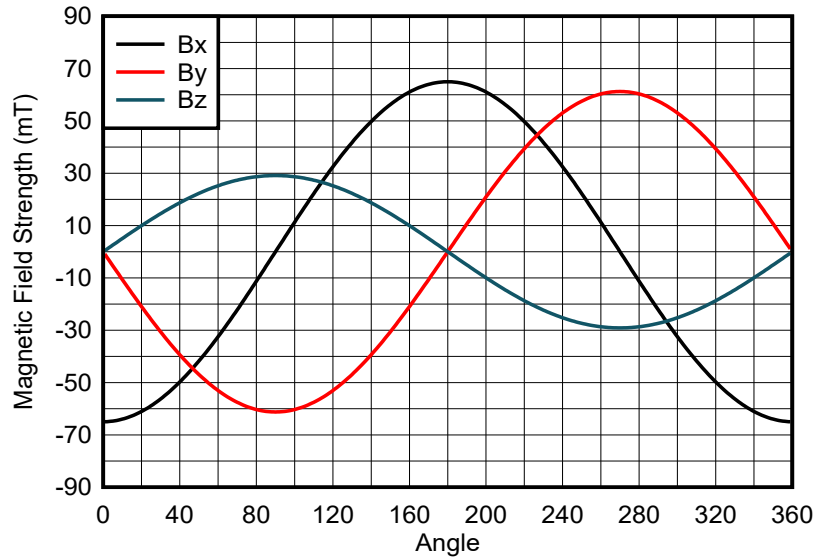


图 2-7. 霍尔传感器偏离旋转轴

Z 轴磁场如此变化表明磁体仍在围绕其中心旋转，但磁体不再与传感器对齐。另一种可能发生的偏移是磁铁不再位于旋转轴上。只要传感器仍然与旋转轴成一直线，就会导致 Z 轴磁场变为常量。

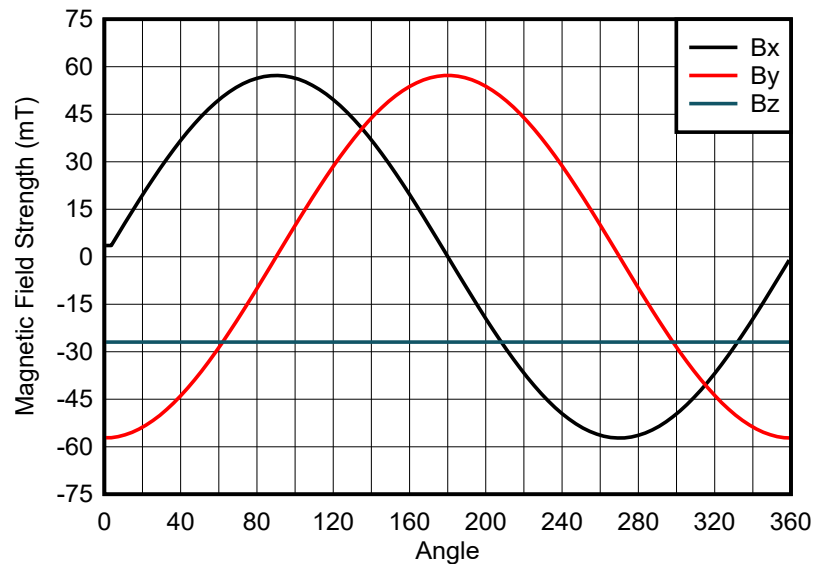


图 2-8. 磁铁偏离旋转轴

了解这两种不同偏移类型的预期结果后，磁场的 Z 轴可用于系统的预测性维护。如果在使用产品时出现这些偏移，则意味着某些东西发生了偏移，可能需要重新调整。Z 轴上的偏移量也可用于确定是否有外部磁体应用于系统。如果是这种情况，也可能对 X 和 Y 磁场轴的预期数据产生影响。

很多时候，这种实现方式的磁铁不能直接放置在中心轴或电机上。在这种情况下，可以使用齿轮来抵消磁体的旋转，并将磁体角度的分辨率更改为门栓位置。通过使用允许磁铁比中心轴旋转更多的齿轮比，门栓的运动将发生更大的角度变化。如果需要，这可用于提高门栓位置的分辨率。这种情况的一个示例如图 2-9 所示。

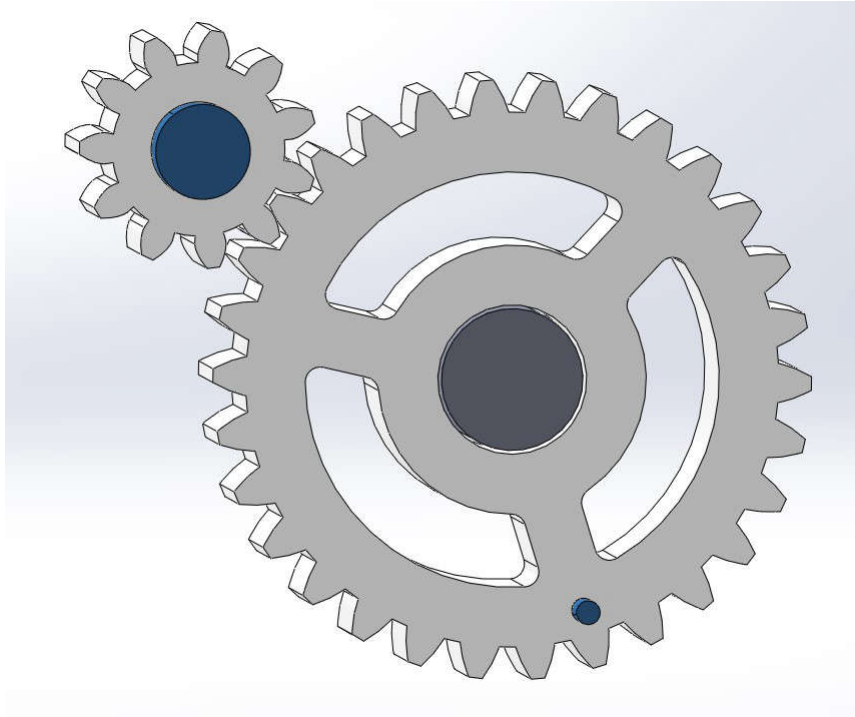


图 2-9. 齿轮上的磁铁示例

此示例有一个偏置齿轮，其使磁体在线性霍尔传感器正上方旋转，还有一个磁体沿着较大齿轮的外边缘移动。较小的磁铁以弧形路径移动，与前面讨论的开关实现方式配合使用。这只是为该应用实现这些磁铁的一种方法。由于磁铁是主要关注点，因此可以根据需要改变或调整机械运动的方法以适合应用。

3 总结

使用霍尔效应传感器来确定电子智能锁中门栓的位置主要有两种方法。开关式实现可降低每个器件的功耗，而 3D 霍尔传感器提供了有关门栓位置的额外信息。也可以根据需要通过选择不同的磁体或传感器来改变设计容差。

表 3-1. 推荐器件

器件	特性	设计注意事项
DRV5032	采用 SOT-23、X2SON 和 TO-92 封装的超低功耗数字开关霍尔效应传感器。提供全极和单极选项。	非常适用于低功耗应用。此器件可以使用低至 1.65V 的电压运行，典型电流消耗低于 1uA。采用 X2SON 封装的 DU 和 FD 型号具有双单极功能。
TMAG5233	平面霍尔效应开关（垂直传感器）采用业界通用的 SOT-23 封装。	具有全极磁响应，可对与封装标记表面平行的南北磁极做出响应。
TMAG5133	平面数字霍尔效应开关（垂直传感器）采用业界通用的 X1LGA 封装。	具有全极磁响应，可对与封装标记表面平行的南北磁极做出响应。
TMAG5134	平面数字霍尔效应开关（垂直传感器）采用业界通用的 X1LGA 和 SOT-23 封装。	具有全极磁响应，可对与封装标记表面平行的南北磁极做出响应。
TMAG5170	采用 SOT-23、X2SON 和 TO-92 封装的高精度线性 3D 霍尔效应位置传感器。提供全极和单极选项。	在所有 3 个轴上测量磁场强度，并通过 SPI 接口报告数据。此器件提供有利于系统监控的高精度和自诊断功能。
TMAG5273	具有 I2C 接口、采用 6 引脚 SOT-23 封装的低功耗线性 3D 霍尔效应位置传感器。	在所有 3 个轴上测量磁场强度，并通过 I2C 接口报告数据。此器件可以在低至 1.7V 的电压下运行。可配置的功耗模式选项支持优化系统性能和电流消耗。
TMAG3001	采用 YBG 封装、具有 I2C 接口和唤醒检测功能的低功耗 3D 线性角度霍尔效应传感器。	在 x、y 和 z 轴上测量磁场，并通过 I2C 接口报告数据。非常适用于低功耗应用。此器件可以在低至 1.65V 的电压下运行。可配置的功耗模式选项支持优化系统性能和电流消耗。

4 参考资料

- 德州仪器 (TI), [使用霍尔效应传感器针对篡改和移动终点位置检测实现限值检测](#) 应用简报。
- 德州仪器 (TI), [具有外部磁场保护的无接触式霍尔效应变速触发器参考设计](#) 设计指南。
- 德州仪器 (TI), [增量旋转编码器](#) 应用简报。
- 德州仪器 (TI), [使用 TI 的霍尔效应和线性 3D 霍尔效应传感器替代簧片开关](#) 应用手册。

5 修订历史记录

Changes from Revision A (September 2024) to Revision B (July 2025) Page

- 通篇添加了 TMAG5133..... 1
 - 添加了 *TMAG5134* 2
 - 在推荐器件表中添加了 *TMAG5134* 8
-

Changes from Revision * (June 2022) to Revision A (September 2024) Page

- 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式..... 1
 - 添加了句子：*不过，如果需要一个平面霍尔效应开关来检测与封装标记表面平行的磁场，则可以考虑使用 TMAG5233* 2
 - 添加了 *建议器件表*..... 8
-

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、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。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
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司