

## Technical Article

## 霍尔效应：面内开关如何提高灵敏度并且降低设计成本



Rishi Ramabadran

具有智能磁性位置传感器的器件（门窗传感器、电子智能锁（如图 1 所示）、笔记本电脑、耳塞、平板电脑、智能手机以及水表和燃气表）均依赖于更小、更节能的开关。磁性开关通常需要检测与印刷电路板 (PCB) 平行或水平的磁场，这是一种称为面内的检测方向。



图 1. 电子锁依赖于磁性传感器开关

最常用的面内磁性开关是各向异性磁阻 (AMR)、隧道磁阻 (TMR) 和簧片开关。AMR 和 TMR 的工作原理是依据磁场的角度和幅度更改电阻率。簧片开关由两块封装在玻璃管中的铁磁金属构成。当在它们之间引导足够强的磁场时，这些块会相互接触。

尽管 AMR、TMR 和簧片开关是市场上现有的解决方案，但也存在缺点。由于簧片开关封闭在玻璃管或其他密封外壳中，因此该封装体积大且昂贵，并且放置在磁体旁边时容易受到扭矩的影响（请参阅图 2）。外壳还可以轻松地在 10 万到 100 万个开关周期之间断开，这使得该技术不太耐用和可靠。簧片开关无法以高精度检测磁场。

使用簧片开关进行设计时，还存在一个问题，那就是两个簧片彼此接触后分离产生弹性碰撞，导致簧片开关发生去抖。去抖会延长信号的稳定时间，如果不加以处理，可能会影响传输完整性。

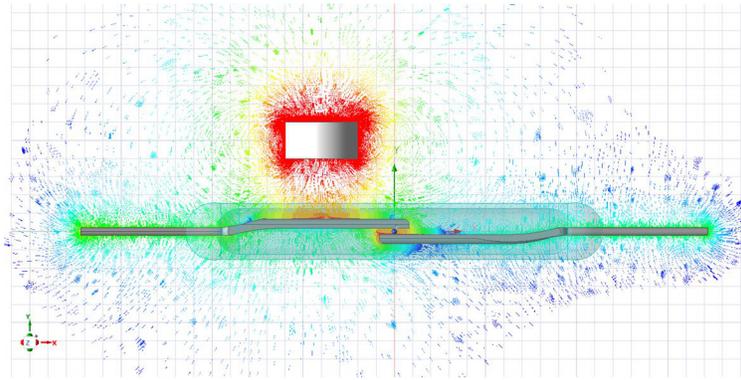


图 2. 簧片开关的仿真响应，显示了两片簧片尖端之间的集中磁通密度

AMR 和 TMR 传感器的金属层堆叠很复杂，制造成本很高。形成这些金属层需要使用不易获取并可能导致供应限制的专用沉积设备；这些层也必须磁化。

### 磁感应步入新时代

由于霍尔效应技术具有与常见开关类型相似的灵敏度和功耗，同时具有可扩展性且更加经济，因此对霍尔效应技术的需求不断增长。霍尔效应开关依据磁场幅度监测电压变化来工作。

TI 的 **TMAG5134** 面内霍尔效应开关 (图 3) 具有一个集成式磁集中器，其中包含两个位于感应元件上方的金属板。集中器侧重于传感元件上的磁场，将磁场放大，从而能够检测太弱而无法单独使用霍尔效应传感器进行有效测量的磁场。TMAG5134 能够检测到弱至 1mT 的磁场，支持使用小型磁体，从而降低系统级成本。

TMAG5134 集成式磁集中器的性能以及霍尔效应技术的制造成本可作为 AMR、TMR 和簧片开关的有力竞争对手，并显著降低了系统成本。

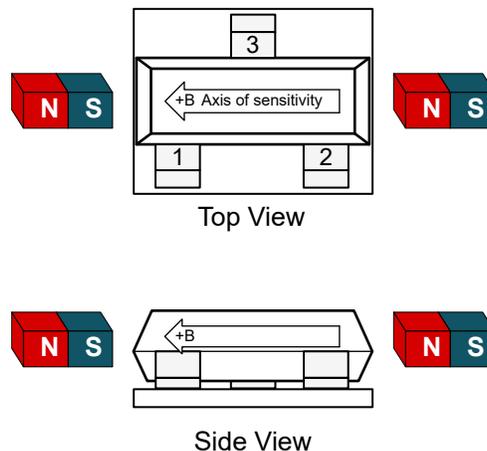


图 3. TMAG5134 霍尔效应开关的面内位置设计

与标准霍尔效应传感器相比，集成式磁集中器可降低功耗，因为它可以放大信号，无需以尽可能大的电流对传感器进行偏置。TMAG5134 的功耗可低至 0.6 $\mu$ A。

此外，如果您检测到与 PCB 平行或水平的磁场，TMAG5134 的面内感应方向可在系统设计中提供更大的灵活性。通过在晶体管外壳 (TO)-92 封装中使用霍尔效应开关，虽然可以解决这一难题，但这会占用更多布板空间。由于 TMAG5134 是霍尔效应开关，因此与机械开关相比，它可无接触地感应磁场，从而减少磨损并提高可靠性和弹性。

TI 提供了一款名为德州仪器 (TI) 磁感应仿真器 (TIMSS) 的磁仿真工具，您可以根据传感器磁体放置来仿真磁场和传感器输出。TIMSS 可减少系统和完整产品设计修订版本，并支持使用不同系统容差进行快速实验。您可以选择 TIMSS 中的 TMAG5134，并获得您在系统中看到的磁场和器件输出的 3D 可视化效果。

设计工程师在选择合适的技术时，通常需要考虑成本、功率和运行阈值（请参阅表 1）。

**表 1. TMAG5134 霍尔效应开关与其他面内感应技术的比较**

参数	TMAG5134	AMR 开关	TMR 开关	簧片开关
检测方向	面内 (X 轴)	面内 (X 轴)	面内 (X 轴)	面内 (X 轴)
成本	低	高	高	高
电流消耗	低至 0.6 $\mu$ A	<0.1 $\mu$ A	<0.05 $\mu$ A	0
典型工作阈值 (Bop)	低至 1mT	大约 3mT	低至 0.3mT	<5mT

## 更智能的传感应用

TMAG5134 等面内霍尔效应开关的功能包括以下示例：

- 用在包括门窗传感器和电子智能锁在内的智能家居系统中：
- 检测用户是否打开或关闭门窗。
- 监控门栓位置以确定门当前的状态。
- 更长的电池寿命。
- 用在笔记本电脑、平板电脑和耳塞等消费类电子产品中：
  - 检测用户是否打开或关闭笔记本电脑盖或平板电脑盖板，或者检测用户是否将笔记本电脑折叠了 360 度。在笔记本电脑和平板电脑中，屏幕根据其打开和关闭状态亮起或熄灭。
  - 确定用户是否打开或关闭耳塞充电盒盖，或者是否在耳塞盒中插入或取出耳塞。任一操作都会确定耳塞的充电状态。
- 用在能源基础设施中：
  - 检测水表和燃气表中磁体的滑动情况，以使电表进入诊断模式。
  - 检测仪表上外部磁体的放置情况是否会干扰仪表测量。

## 结语

TMAG5134 等面内霍尔效应开关正在塑造磁位置检测的未来。未来，TMAG5134 等器件非常适合增强型或虚拟现实耳麦和智能眼镜等产品。TMAG5134 同时具有良好的性能和低成本，因此是面内霍尔效应开关的一个有吸引力的选择。

## 其他资源

- 开始使用[霍尔效应分接适配器评估模块](#)。
- 利用 TMAG5134EVM 快速评估霍尔效应开关设计。
- 观看我们有关磁传感器的 [TI 高精度实验室视频系列](#)。

## 商标

所有商标均为其各自所有者所有。

## 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