

Application Note
键盘应用中的位置检测



Alicia Rosenberger

摘要

在讨论键盘应用时，霍尔效应传感器可用于击键检测，3D 霍尔效应传感器更可用于检测角度旋转以及旋钮的按钮按压操作。本文档介绍了如何将霍尔效应传感器提供的额外可配置性用于键盘应用。

内容

1 简介.....2

2 霍尔效应传感器的优势.....2

 2.1 用于按键的霍尔效应传感器.....2

 2.2 适用于旋钮的 3D 霍尔效应传感器.....4

3 击键设计注意事项.....5

 3.1 模拟击键设计.....5

 3.2 击键基准测试结果.....9

4 键盘设计示例.....11

5 总结.....12

6 参考资料.....12

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

随着计算机键盘对精度、耐用性和定制的需求增加，霍尔效应传感器的使用优势愈发凸显。在键盘输入器件的新兴技术中，与传统机械开关相比，霍尔效应传感器为用户提供了更高的可配置性。此外，通过使用霍尔效应传感器，这些键盘可以显著延长自身使用寿命。本文档探讨了霍尔效应传感器在键盘应用中的关键优势，包括相对于传统机械开关的优势、霍尔效应传感器如何用于旋钮，以及键盘应用的部分设计注意事项。

2 霍尔效应传感器的优势

2.1 用于按键的霍尔效应传感器

对于键盘应用，当今设计中常用的一种设计是机械开关。这些机械开关的工作原理是依靠元件之间的物理接触来记录击键。这样做的缺点是，随着时间的推移，这些机械部件往往会由于移动件的持续摩擦而降低性能。此外，由于这些开关的固定性质，它们只能提供通断响应。出于这些原因，霍尔效应传感器是机械开关的出色替代方案。

霍尔效应传感器在键盘中的工作原理是通过检测磁场变化，确定击键情况，而不是像机械开关一样依赖物理接触。按键未按下时，磁体位于提升位置，如 [图 2-1](#) 所示。按键按下时，磁体移动靠近传感器，增加传感器检测到的磁场强度，如 [图 2-2](#) 所示。因为无需物理接触，所以使用霍尔效应传感器的按键能够比使用机械开关的按键具有明显更长的使用寿命。

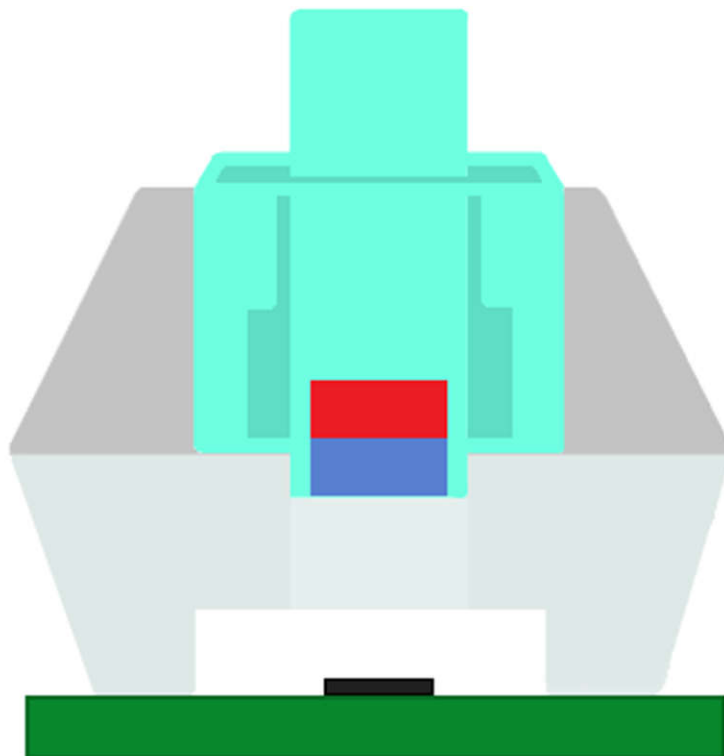


图 2-1. 磁性按键未按下时的霍尔效应传感器

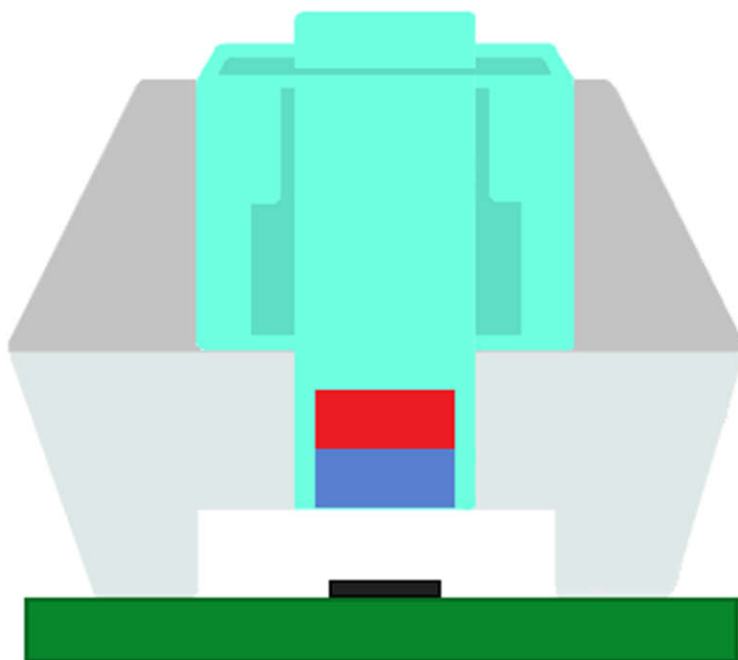


图 2-2. 磁性按键完全按下时的霍尔效应传感器

采用 **TMAG5253** 等 1D 线性传感器时，会提供与按键按下程度成比例的电压输出。根据磁体的极性，随着磁体接近传感器，该电压输出可能升高或降低。如 图 2-3 所示，当器件感应到负磁场时，**TMAG5253** 的电压输出会降低，而当器件感应到正磁场时，电压输出会升高。

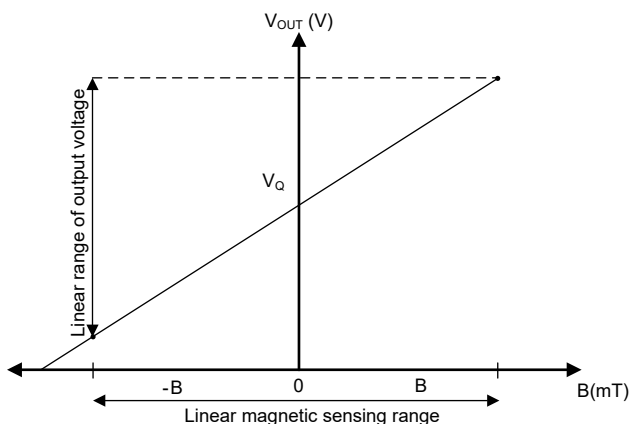


图 2-3. **TMAG5253** 磁响应的线性度

利用这种线性电压输出，模数转换器 (ADC) 可用于设置键盘按键的触发点。用户因此能够为键盘提供可调节的触发点。通过自定义按键在记录击键前所需的按压距离，用户可以根据偏好优化键盘的速度、准确性和舒适度。或者，如果只需要通断功能，也可以使用高精度霍尔效应开关 **TMAG5231**。开关的用处在于可以实现更快速的采样，因为当只寻找通断响应时，数据获取将大幅简化。

除了实现可调节的触发点外，**TMAG5253** 还具有一个使能引脚，可用于节省功耗并帮助减少所需的 ADC 数量。在设计键盘时，一个重要的考虑因素是键盘上的按键数量。标准全尺寸键盘通常具有 104 个按键，这意味着微控制器可能需要 104 个 ADC 引脚。借助 **TMAG5253** 提供的使能引脚，多个器件可以共用一个模拟输出端口，这有助于通过减少所需的 ADC 数量来降低系统成本。

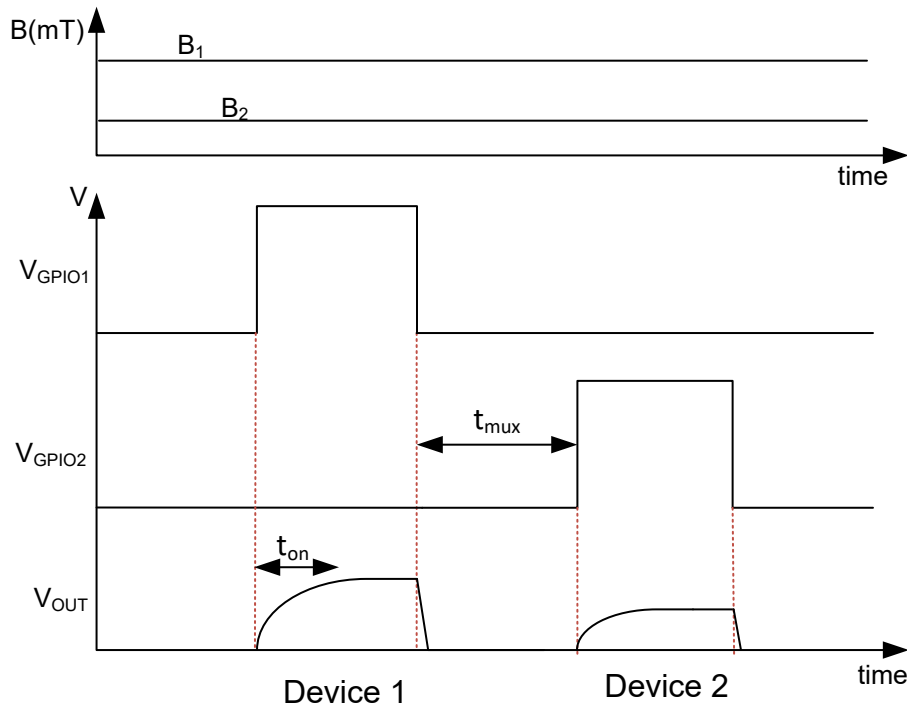


图 2-4. 多路复用传感器输出的时序图

图 2-4 展示了如何使用微控制器在多个传感器之间实现多路复用。当 GPIO1 为高电平而 GPIO2 为低电平时，器件 1 启用并驱动输出线路，而器件 2 禁用。同样地，当 GPIO2 切换为高电平而 GPIO1 切换为低电平时，器件 2 启用并驱动输出线路，而器件 1 禁用。TMAG5253 能够支持 1nF 的容性负载。这意味着，如果每个传感器上的负载电容为 20pF，那么最多可有 50 个传感器共用一个输出端口。

2.2 适用于旋钮的 3D 霍尔效应传感器

虽然旋钮在大多数键盘上并不常见，但由于键盘提供的附加功能和自定义选项，带旋钮的键盘正变得越来越受欢迎。旋钮设计的两种更常见实现方式包括机械编码器和旋转编码器。但是，机械旋钮体积较大，在长期使用后会磨损，而接触式旋转编码器会受到灰尘和水等环境因素的干扰。为帮助解决这些问题，可使用 3D 霍尔效应传感器。3D 霍尔效应传感器能够监测全部三个轴产生的磁场，然后可将监测结果用于计算角度和强度。TMAG3001 等器件具有集成角度计算引擎 (CORDIC)，可用于 360 度全旋转范围内的角度定位。此外，TMAG3001 还具有强度计算功能，也可用于确定按钮是否被按下。

3 击键设计注意事项

3.1 模拟击键设计

在设计使用霍尔效应传感器的键盘开关时，一个关键考虑因素是传感器的磁感应范围。为避免出现饱和并能够检测击键的整个范围，必须选择能够覆盖按键完整磁场范围的传感器。确保为应用选择合适器件型号的理想方法是使用磁仿真。德州仪器 (TI) 提供了一款名为 [德州仪器 \(TI\) Magnetic Sense Simulator \(TIMSS\)](#) 的磁感应仿真器，可帮助简化设计过程。使用此工具时，用户可以指定磁体运动的类型（如 [图 3-1](#) 所示）以及要使用的磁体形状类型（如 [图 3-2](#) 所示）。

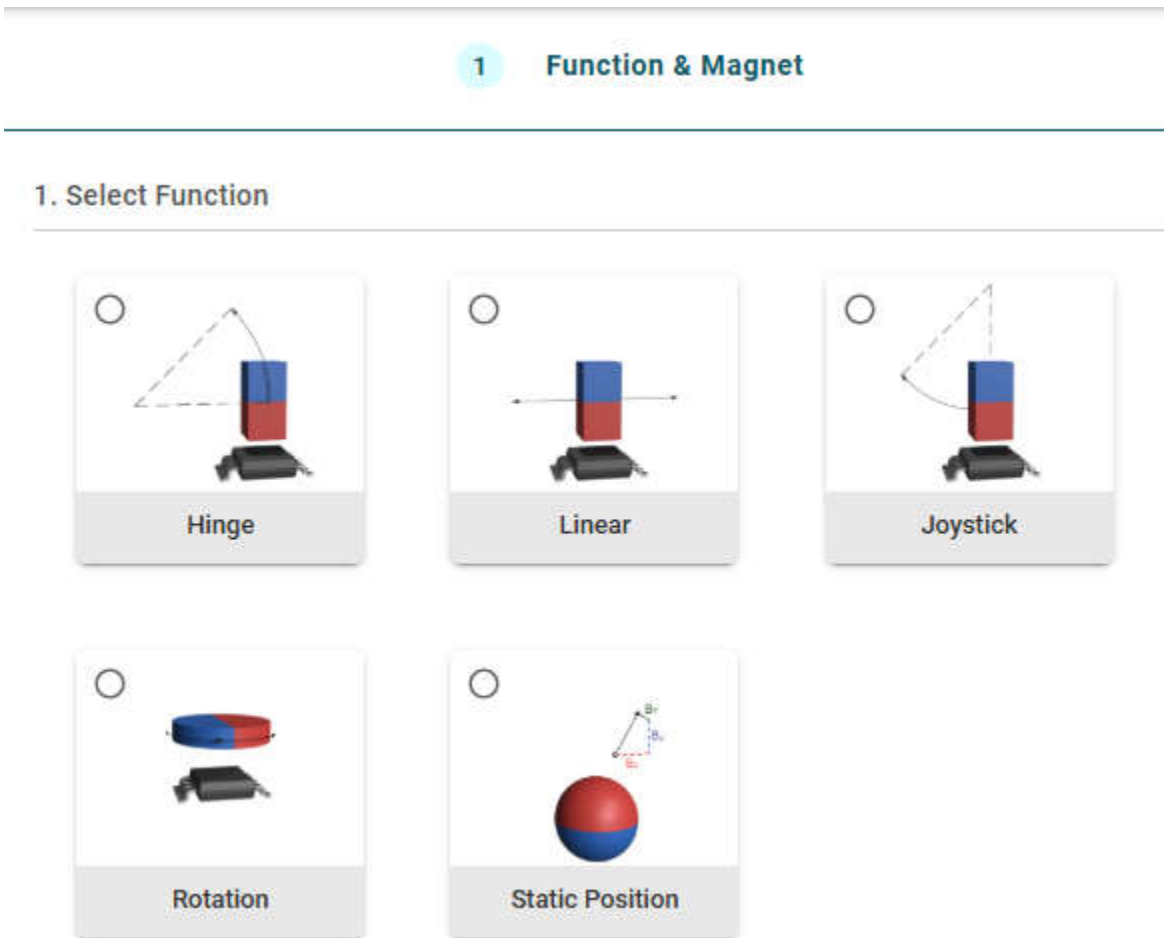


图 3-1. 磁体功能选择

2. Select Magnet Shape

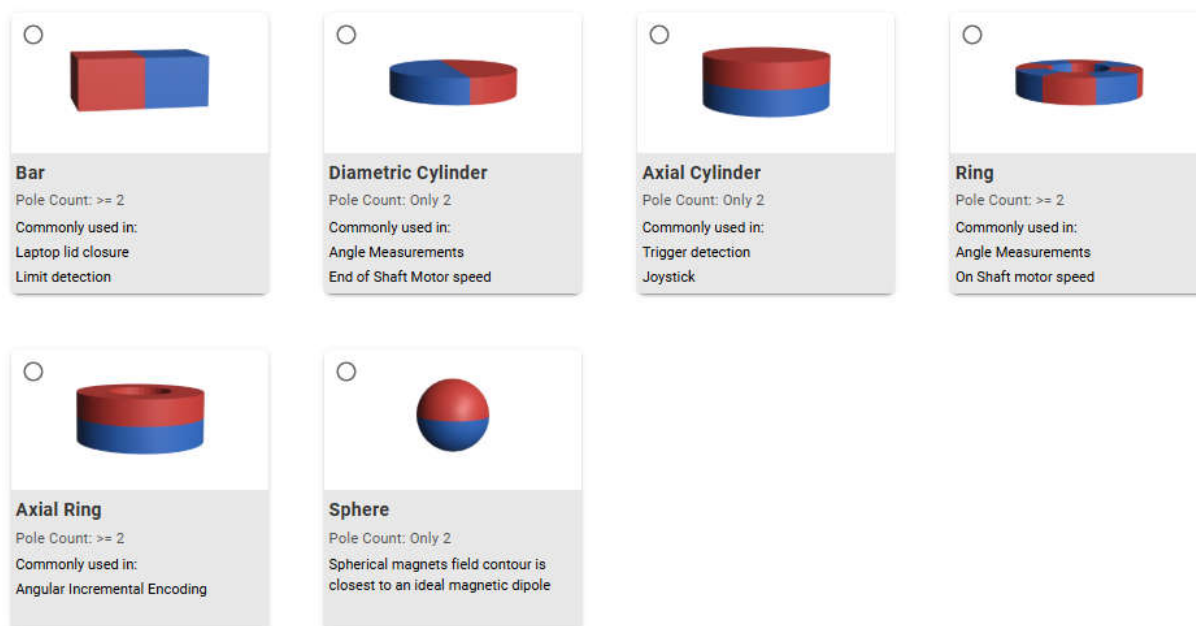


图 3-2. 磁体类型选择

为了在 TIMSS 中模拟键盘击键设计，将选择线性移动的轴向圆柱体磁体。在此处，用户可以选择将在仿真中使用的 TI 霍尔效应传感器。图 3-3 展示了用于键盘应用的常见键盘磁性开关示例。这些磁性开关未按下时，磁体底部距离传感器顶部约 6.1mm。随着开关按下，磁体向下移动约 4mm；开关完全按下时，磁体距离传感器顶部 2.1mm。磁体是一个轴向圆柱体磁体，剩磁与 YX18 钕钴磁体相等，直径约为 2.818mm，高度约为 3.387mm。图 3-4 中显示了这些磁体输入，图 3-5 显示了传感器输入。磁体的位置（如图 3-4 所示）是磁体中心相对于原点 (0,0,0) 的位置。因此，确保磁体底部到传感器顶部的距离正确，磁体的起始位置和最终位置均需要考虑磁体高度的一半 (1.6935mm)，即分别为未按下时 6.1mm，完全按下时 2.1mm。关于传感器的位置，如图 3-5 所示，传感器的方向应使传感器底部面向磁体，且封装底部中心位于原点。

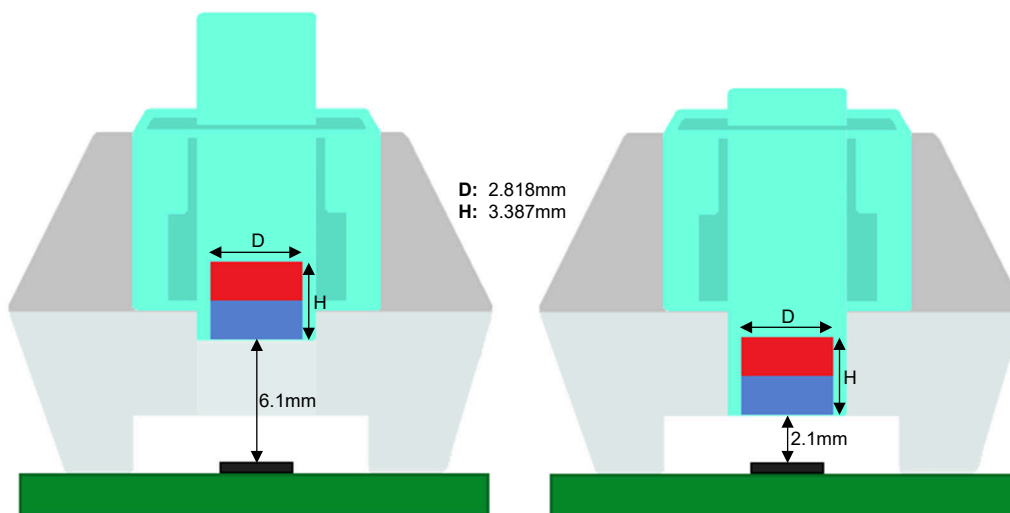


图 3-3. 常见击键应用

Magnet Sensor Sim Settings **Magnet Geometry**

▼ **Magnet Specifications**

Magnet Shape: Axial Cylinder

Poles: 2

Magnet Material: Samarium Cobalt (Sm...)

Material Grade: YX18

Select Remanence Value	High Remanence Value
Remanence (Br)	Temperature
900 mT at 20°C	20 °C
Temperature Coefficient	Coercivity
-0.045 %/°C	7.8 KOe

Outer Diameter: 2.818 mm

Height: 3.387 mm

▼ **Magnet Motion**

Origin Position

Position

X Axis: 0 mm Y Axis: 0 mm Z Axis: 7.7935 mm

Angle

X Axis: 0 Deg Y Axis: 0 Deg Z Axis: 0 Deg

Final Position

Position

X Axis: 0 mm Y Axis: 0 mm Z Axis: 3.7935 mm

图 3-4. 击键磁体输入

Magnet **Sensor** Sim Settings

▼ **Sensor Details**

Edit Sensor Selection

Sensor Select: Sensor 1: TMAG5253

▼ **Sensor Specifications**

Sensor Family: Linear Hall-effect sensors

Device: TMAG5253

Part Number: TMAG5253BA3IQDMRR

Package: X2SON Pin Count: 4

Max Vcc	Min Vcc	Applied Vcc
3.6 V	1.65 V	3.3 V

Max Input	Min Input
80 mT	-80 mT

Input Referred Noise: 42.72 uTRMS

Sensitivity: 15 mV/mT

Sensitivity Dir Z

Quiescent O/P: 1.65 V

Temperature Compensation: 0.12 %C

▼ **Sensor Position**

Position Properties

Position

X Axis: 0 mm Y Axis: 0 mm Z Axis: 0 mm

Angle

X Axis: 0 Deg Y Axis: 180 Deg Z Axis: 0 Deg

图 3-5. 击键传感器输入

图 3-6 显示了 TMAG5253BA3 型号的结果，该型号具有 $\pm 80\text{mT}$ 的磁场范围和 15mV/mT 的典型灵敏度。根据图 3-6，可以观察到在接近传感器的过程中，磁场强度持续增加。

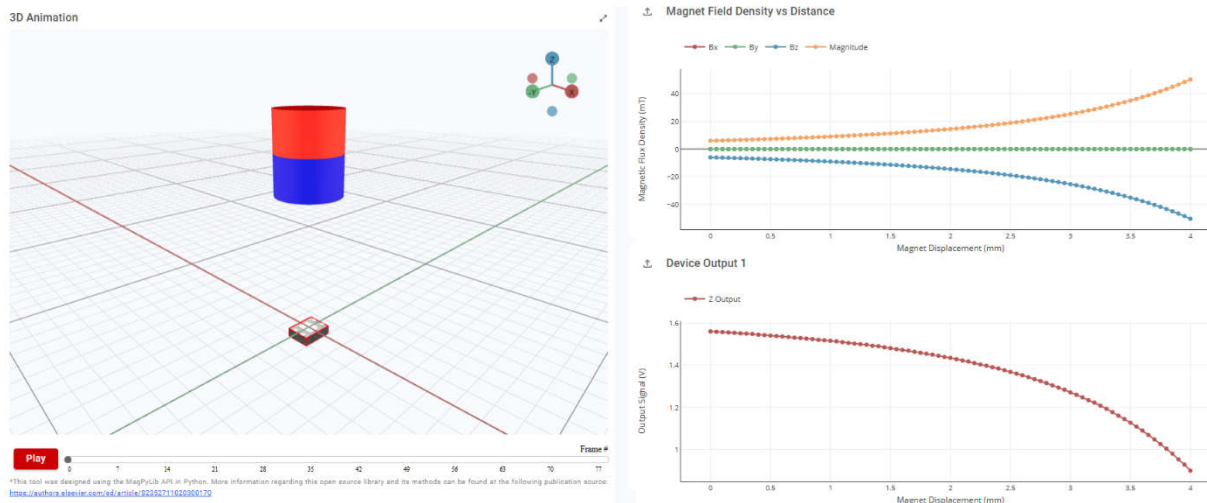


图 3-6. TMAG5253BA3 击键结果

此外，图 3-7 显示了 TMAG5253BA4 型号的结果，该型号具有 $\pm 160\text{mT}$ 的更大磁场范围和 7.5mV/mT 的更低灵敏度。通过将图 3-6 和图 3-7 的器件输出图中的结果进行比较，发现 TMAG5253BA3 可提供比 TMAG5253BA4 更高的粒度，从而实现更精确的运动跟踪。

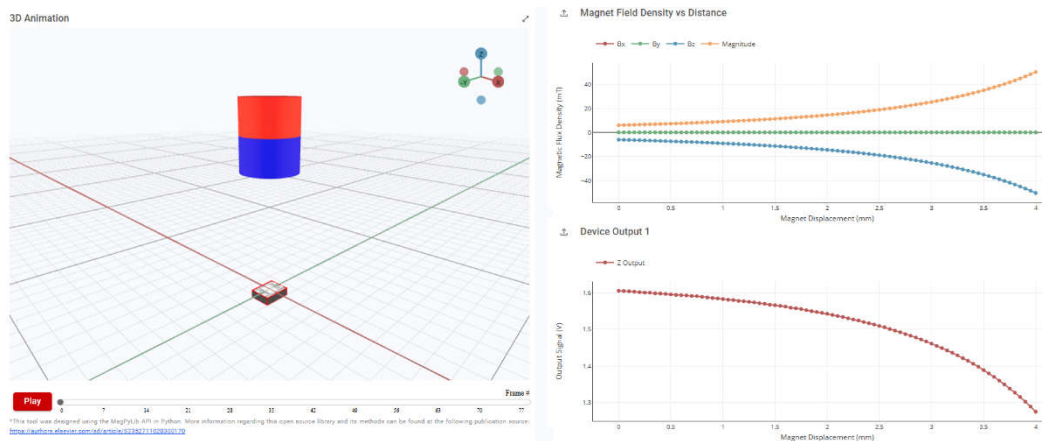


图 3-7. TMAG5253BA4 击键结果

图 3-8 显示了 TMAG5253BA2 型号的结果，与 TMAG5253BA3 型号相比，前者具有 $\pm 40\text{mT}$ 的更小磁场范围和 30mV/mT 的更高灵敏度。但是，从图 3-8 所示的“器件输出 1”图中可以看出，当磁体非常靠近传感器时，会出现饱和。如果选择了 TMAG5253BA2 型号，在一段时间内，由于该饱和情况，可能无法观察到有用的磁性数据。

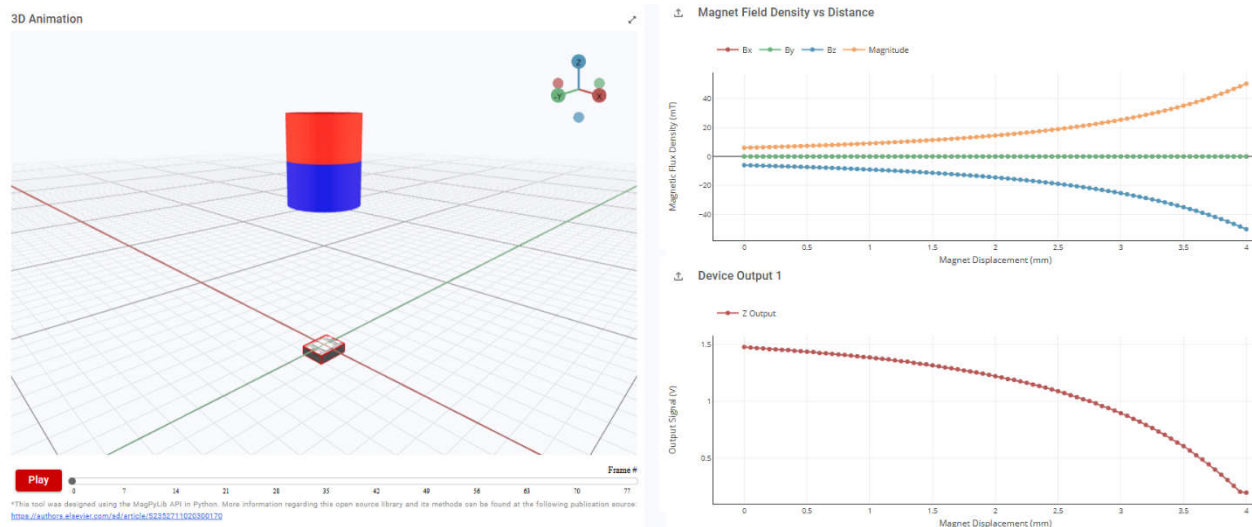


图 3-8. TMAG5253BA2 击键结果

根据图 3-6、图 3-7 和图 3-8 中观察到的结果，可以实现最高灵敏度且不出现在饱和的型号是 **TMAG5253BA3**。

3.2 击键基准测试结果

为了验证 **TIMSS** 仿真的结果，创建了一个物理基准测试设置。为进行这些测试，**TMAG5253BA3** 和 **TMAG5253BA2** 均已组装到了 **HALL-ADAPTER-EVM** 分线板上。这样可以比较两个型号的结果，以便查看 **TMAG5253BA3** 型号是否仍然是最佳选择，如 **TIMSS** 中所示。实验室设置包括放置在固定位置的磁性键盘开关中的 **Samarium Cobalt YX18** 磁体。然后放置带有 **TMAG5253BA2** 的 **HALL-ADAPTER-EVM**，使传感器中心与磁体中心对齐。首先，传感器处于完全按下状态，磁体此时距离传感器约 2.1mm。然后，传感器以 0.05mm 的增量移动，直到传感器从起始位置总共移动 4mm，此时传感器距离磁体 6.1mm，以此模拟磁性键盘开关从按下变为未按下。图 3-9 显示了在此期间从传感器采集的数据结果。

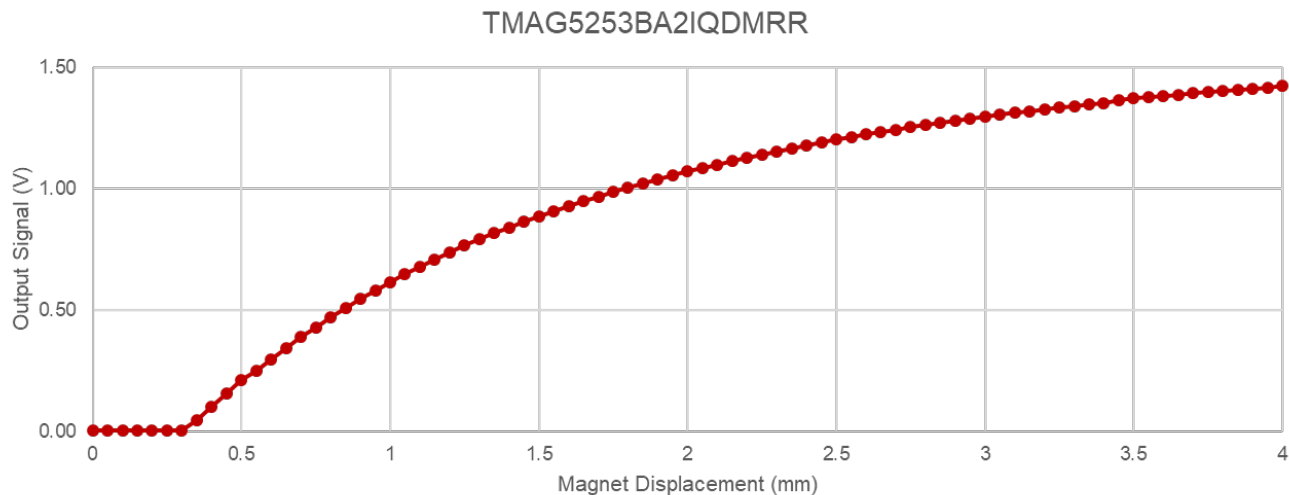


图 3-9. TMAG5253BA2 基准测试结果

与 **TMAG5253BA2** 型号的 **TIMSS** 仿真中观察到的结果类似，当磁体达到完全按下状态时，检测元件变得饱和，这意味着此时无法提取到有意义的数据。图 3-10 显示了从 **TMAG5253BA3** 测得的结果。根据图 3-10 中显示的结果，不仅没有出现饱和，而且在每次以 0.05mm 的增量移动时，传感器还能够随着自身远离磁体而观测到增量变化。

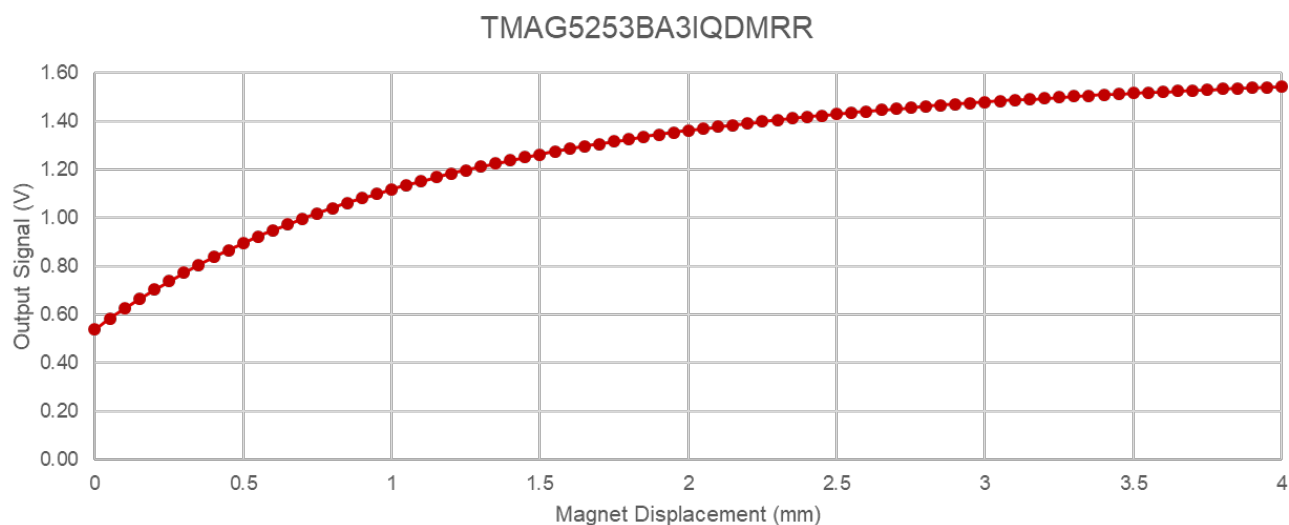


图 3-10. TMAG5253BA3 基准测试结果

与所有测试一样，从上述基准测试中观察到的结果需要注意人为错误。虽然基准测试设置设计得尽可能准确，并使用 Newport 线性运动控制器控制传感器的运动，但传感器不会与磁体中心精确对齐。此外，传感器与磁体之间的原始距离可能并非恰好为 2.1mm，这可以解释基准测试结果与仿真观察到的结果进行比较时出现的细微差异。

4 键盘设计示例

图 4-1 展示了一个键盘设计示例，其中包含四个可用作箭头键的按键以及一个旋钮。该设计示例采用四个 **TMAG5253** 器件用于箭头键，并采用一个 **TMAG3001** 用于旋钮。此外，每个箭头键都包含一个 **RGB LED**，这样每个键在未按下时都会亮起某种颜色，而在按下时会变为白色。LED 的颜色由旋钮控制。因此，随着旋钮的旋转，LED 可以改变颜色。有关如何将 3D 霍尔效应传感器用于旋钮或如何使用 3D 霍尔效应传感器进行角度测量的更多信息，请分别参阅“[适用于电器旋钮的 3D 霍尔效应传感器](#)”应用手册或“[使用多轴霍尔效应传感器进行角度测量](#)”应用手册。

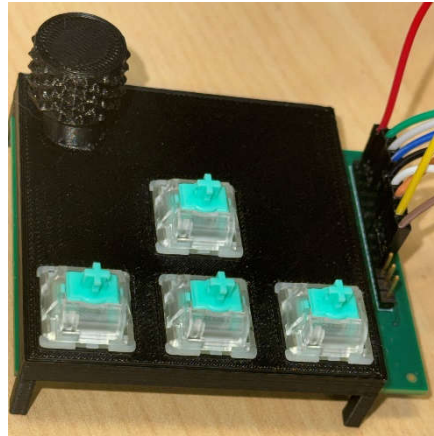


图 4-1. 键盘设计示例

上述键盘设计的原理图如图 4-2 所示。此键盘示例的工作原理是通过多路复用器在每个 **TMAG5253** 的四个 ADC 输出之间进行切换。通过使用 MCU 控制多路复用器的输入 (**TMAG_EN0** 和 **TMAG_EN1**)，MCU 可以选择要侦听四个箭头键输出中的哪一个。

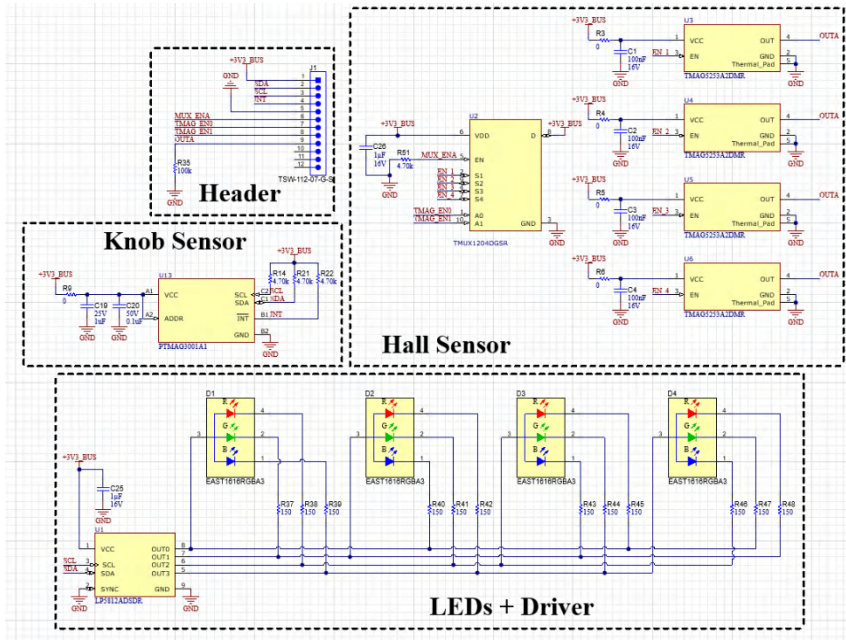


图 4-2. 键盘设计示例原理图

表 4-1 展示了键盘箭头逻辑的真值表

表 4-1. 键盘真值表

TMAG_EN0	TMAG_EN1	选定按键
0	0	向左箭头

表 4-1. 键盘真值表 (续)

TMAG_EN0	TMAG_EN1	选定按键
0	1	向下箭头
1	0	向右箭头
1	1	向上箭头

借助 图 3-10 中所示的键盘设计示例，可以使用德州仪器 (TI) Launchpad (如 MSP-EXP432E401Y) 连接到 图 3-9 中所示的排针，从而为电路板供电并实现交互。

5 总结

总之，在键盘应用方面，霍尔效应传感器具有许多优势。通过实现非接触式操作（提高键盘的耐用性）和可定制的触发点，霍尔效应传感器在性能和使用寿命等方面的优势使其非常适合专业、游戏和工业键盘应用。随着用户对响应迅速、性能可靠且可定制的输入器件的需求不断增长，霍尔效应技术有望在高性能键盘中发挥关键作用。

6 参考资料

- 德州仪器 (TI)，[用于电器旋钮的 3D 霍尔效应传感器](#) 应用手册。
- 德州仪器 (TI)，[使用多轴霍尔效应传感器进行角度测量](#) 应用手册。
- 德州仪器 (TI)，[TMAG5253 具有 EN 引脚、采用超小型封装的低功耗线性霍尔效应传感器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI)，[TMAG3001 采用 WCSP 封装、具有 I2C 接口和唤醒检测功能的低功耗 3D 线性和角度霍尔效应传感器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI)，[TMAG3001 具有 I²C 和可编程开关的三轴线性霍尔效应传感器评估模块](#) 用户指南。

表 6-1. 器件建议

器件	特性	设计注意事项
TMAG5253	具有使能引脚、采用 X2SON 封装的低功耗线性霍尔效应传感器	测量 Z 轴上的磁场强度，并通过 ADC 输出报告数据。使能引脚使多个器件可以共用一个 ADC 引脚，并禁用未使用的器件，从而降低系统电流消耗。
DRV5055	采用 SOT23 或 TO-92 封装的线性霍尔效应传感器	测量 Z 轴上的磁场强度，并通过 ADC 输出报告数据。
TMAG5231	采用 SOT23 或 X2SON 封装的低功耗霍尔效应开关	测量 Z 轴上的磁场强度，并在超过 BOP 时拉高/拉低电平（取决于型号）。在仅需要通断响应时有用。
TMAG3001	采用 YBG 封装、具有 I2C 接口和唤醒检测功能的低功耗 3D 线性和角度霍尔效应传感器。	测量 X、Y 和 Z 轴上的磁场强度，并具有内部 CORDIC 来计算角度。提供唤醒和睡眠模式，可在降低平均电流消耗的同时进行采样。

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