

## Application Brief

## 使用线性霍尔效应传感器跟踪滑动位移



Scott Bryson

## 引言

在位置检测应用中使用霍尔效应传感器的一个主要优势是，该传感器无需物理接触，即可在机械设计中实现定位。这是因为，线性霍尔效应传感器可以使用附近磁体产生的磁通量生成随输入磁场变化而变化的输出。磁场可以穿透空气、灰尘和污垢、塑料以及其他一般的非铁磁性材料。因此，该传感器可以方便地放置于存在可测量磁场的任何位置来提供反馈。使用线性输出霍尔效应传感器时存在一个特殊的挑战，那就是磁通密度与磁体距离的平方成反比。因此，由于线性步长会在输出上产生非线性变化，这会增加位置计算的复杂性。虽然这可以针对任何特定的磁体进行校准，但采用将磁体和传感器滑动摆放的配置更有用。这时，磁体不会直接朝着传感器移动，而是以线性路径在传感器上方移动。

## 一维传感器滑动

以一维传感器的布局为例，例如图 1 中所示的 DRV5055，磁体沿与 Y 轴平行的黑线按任一方向移动。在本示例中，所示的磁体厚度约为 22mm，半径约为 3mm。

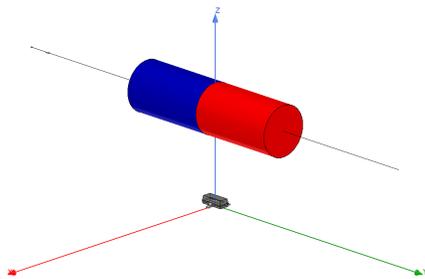


图 1. 磁体滑动方向

在此配置中，传感器检测 Z 轴方向的磁场矢量分量。在此磁体的移动过程中，传感器产生的输入会产生一种有趣的现象。与磁体长度大致相同的区域会产生磁场的线性变化。借助此输入，现在可通过在线性输入区域中进行测量来更轻松地监测位置变化。

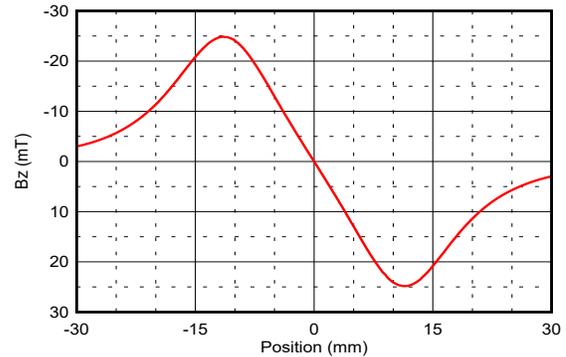


图 2. 滑动输入磁场

另外，通过添加多个传感器，可以轻松地进行调整，以增加整体冲程长度。[线性霍尔效应传感器阵列设计](#)应用手册中更详细地讨论了此类设计中涉及的过程。

## 3D 传感器滑动

一维情形中，范围受限于磁体长度。在线性输入区域之外移动会产生位置不确定性，因为现在有两个位置会映射到相同的输入幅度。改为使用三维传感器可以解决不确定性问题。借助此类传感器，会显示如图 1 中所示的输入磁场。

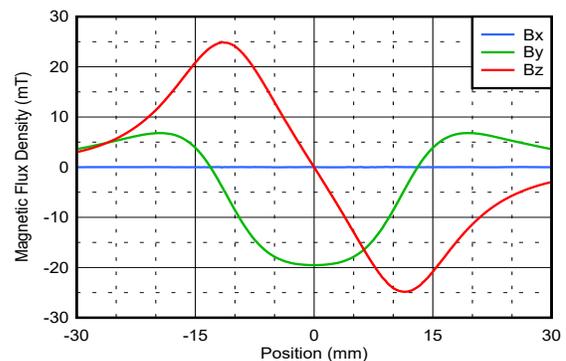


图 3. 3D 滑动输入磁场

利用此输入可以定义三个不同的输入区域。线性区域为线性运动提供最佳相关性，但根据 Y 分量，现在也可以区分非线性区域中磁体的接近方向。假设为  $B_y$  设置  $-6\text{mT}$  的限值来与  $B_z$  的峰值相对应

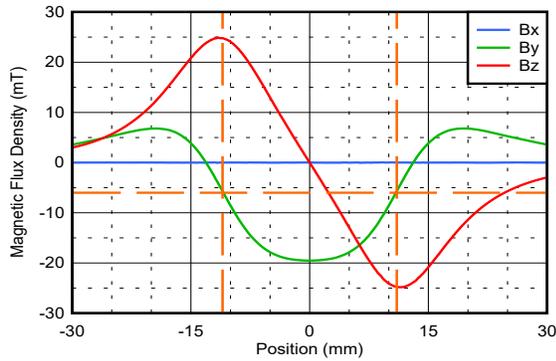


图 4. 输入磁场区域

当  $B_y$  超过此阈值时，磁体已知位于线性检测区域。如果  $B_y$  低于阈值，则  $B_z$  的符号会指示是从右还从左接近。可以利用校准来确定这个非线性区域的位置，并且随着磁体远离传感器，精度会下降。

### 使用角度计算滑动

一种类似但有利的方法是使用 3D 传感器（例如 [TMAG5170](#) 或 [TMAG5173-Q1](#)），但这次磁极与传感器表面垂直，而不是平行。磁体行程中的磁场曲线与上一个示例类似。

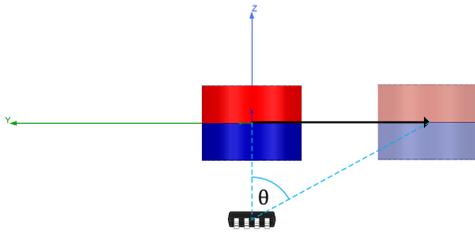


图 5. 滑动机械角度

当磁体沿 Y 轴移动时，此运动会产生如图 1 所示的输入。在本例中，磁体比之前小得多，厚度约为 5mm，半径约为 3mm。由于磁体方向发生变化，现在可以在  $B_y$  分量上观察到线性区域。在这个特定情况下，该区域的宽度仅为 6mm。

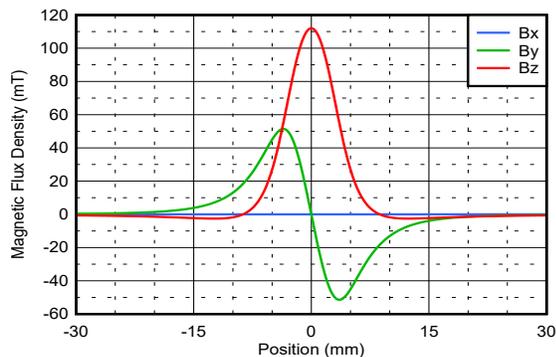


图 6. 角度测量输入

借助此数据，可以仅使用  $B_y$  来跟踪位置，但使用反正切函数能够在更宽的范围内实现位置检测。

$$\text{Electrical Angle: } \theta = \text{atan2}(B_z, B_y) \quad (1)$$

通过比较根据磁场输入计算得出的电角与磁体和传感器之间的实际机械角，可以发现一种有趣的现象。

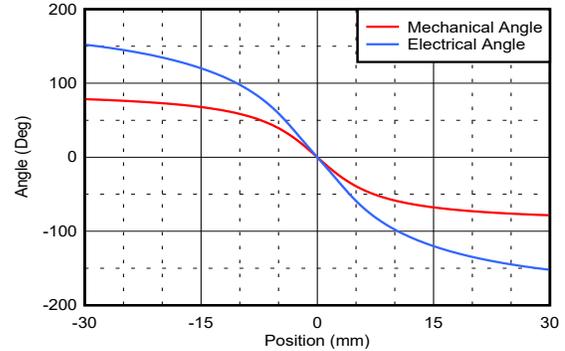


图 7. 测量角度与位置间的关系

虽然由于使用不严格遵循正弦曲线的磁场输入，两种计算之间存在显著的误差，但是很明显，常规的电角计算与机械角相关。鉴于这种相似性，可以调整电角计算以匹配实际机械角。

使用 [TMAG5170](#) 或 [TMAG5173-Q1](#) 时，可以对单个通道应用增益和偏移校正，两者可以分别表示为  $\alpha$  和  $\delta$ 。此外，很明显，第二个标量有助于降低总体幅值。此标量以  $\beta$  表示。记录 [TMAG5170](#) 或 [TMAG5173-Q1](#) 输出的微控制器可应用此校正。通过更深入的分析还会发现，随角度增加的比例系数  $\gamma$  也有助于在最远的磁体位置处对齐两条曲线的渐进行为。[方程式 2](#) 和 [方程式 3](#) 展示了基于公式与每个因素对齐的示例。

$$\theta' = \text{atan2}(\alpha \times (B_z + \delta), B_y) \quad (2)$$

$$\theta = \beta \times \theta' - \gamma \times \sin(\theta') \quad (3)$$

### 工作台评估工具

要实现此功能的演示，请参阅图 1 中所示 [TMAG5170 EVM](#) 的附加装置。[TMAG5170 滑动附加装置](#) 用户指南中提供了介绍如何对该附加装置和物理几何构型进行 3D 打印的文件。



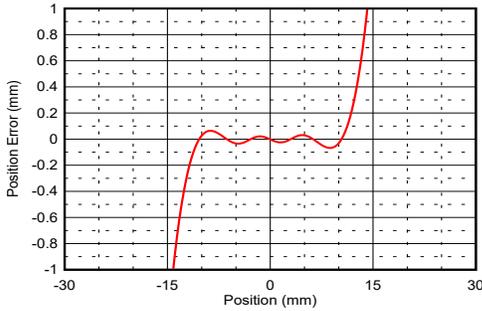
图 8. TMAG5170 滑动附加装置

根据仿真数据和 [方程式 2](#) 及 [方程式 3](#) 的结果，有多种可能的实现方式，并具有不同的精度。这些值和对应的

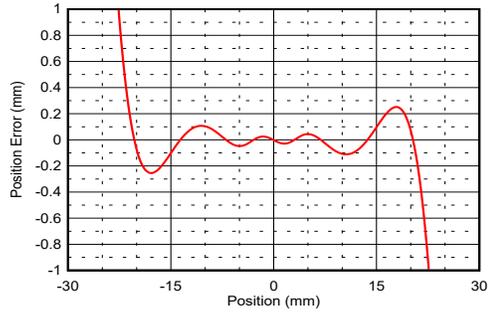
误差是通过检查确定的。其他线性化方法（包括多点校准）也可以证明使结果线性化的方法是成功的。以下列中显示了三种配置。配置 1 对 Z 轴进行标量校正，然后调整所产生角度输出的幅值。配置 2 也使用这些因素，但包括额外的有意偏移来帮助扩展灵敏度范围。为了帮助进一步限制误差，配置 3 添加了最终校正因子，以帮助进一步扩展传感器的可视范围，使输入参考噪声可以成为影响位置精度的主要因素。

**表 1. 配置和测量范围**

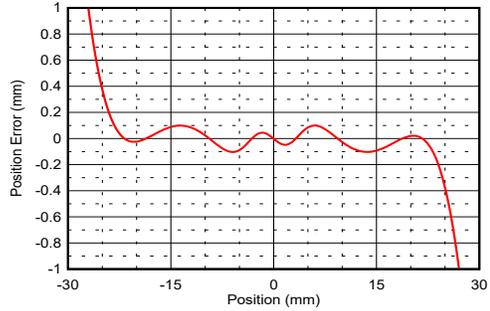
配置	$\alpha$	$\beta$	$\delta$	$\gamma$	范围	精度
1	0.6075	0.786	0	0	±11mm	±0.06mm
2	0.6145	0.795	0.43	0	±21mm	±0.25mm
3	0.534	0.87	0.24	-7.25	±23mm	±0.1mm



**图 9. 配置 1**



**图 10. 配置 2**



**图 11. 配置 3**

这些结果可能因系统之间的灵敏度误差、偏移、噪声和机械变化而异。这些变化会影响这些结果，这些结果是理论上的理想值。可以实施其他校准因数来提高总体精度。

**表 2. 备选器件建议**

器件	特性	设计注意事项
<a href="#">DRV5055 (DRV5055-Q1)</a>	具有模拟输出、采用 SOT-23 和 TO-92 封装的商用（汽车级）单轴双极性线性霍尔效应传感器。	模拟输出受电气噪声影响，计算需要 MCU 计算。单轴灵敏度限制了在自由空间内跟踪运动的能力。
<a href="#">DRV5057 (DRV5057-Q1)</a>	具有 PWM 输出、采用 SOT-23 和 TO-92 封装的商用（汽车级）单轴双极性线性霍尔效应传感器。	PWM 输出需要转换，但不易受到耦合噪声的影响。单轴灵敏度限制了在自由空间内跟踪运动的能力。
<a href="#">TMAG5170 (TMAG5170-Q1)</a>	具有 SPI 接口、采用 8 引脚 DGK 封装的商用（汽车级）线性 3D 霍尔效应位置传感器。	高磁矢量灵敏度。该器件能够跟踪各种磁体位置，但仍需要仔细规划，确保所有输入条件都映射到特定位置。
<a href="#">TMAG5170D-Q1</a>	具有 SPI、采用 16 引脚 TSSOP 封装的汽车级双芯片线性 3D 霍尔效应位置传感器。	是一种双器件设计，能够检测所有磁场分量，并集成角度计算和磁场归一化。专为功能安全而开发，并提供资源来支持高达 ASIL D 级别的设计。
<a href="#">TMAG5273</a>	具有 I2C 接口、采用 6 引脚 SOT-23 封装的线性 3D 霍尔效应位置传感器。	TMAG5170 具有更严格的灵敏度公差，而 TMAG5273 则在 I2C 上运行。
<a href="#">TMAG5173-Q1</a>	具有 I2C 接口、采用 6 引脚 SOT-23 封装的汽车级线性 3D 霍尔效应位置传感器。	与 TMAG5170 类似，但可在 I2C 上运行，具有更宽的灵敏度公差规格。

**表 3. 相关技术资源**

名称	说明
<a href="#">线性霍尔效应传感器阵列设计</a>	指导如何设计可用于跟踪长路径运动的传感器阵列。
<a href="#">线性霍尔效应传感器简介：实现非接触式精确位置检测</a>	论述线性输出和开关输出霍尔效应传感器之间的差异。
<a href="#">霍尔效应传感器是什么？</a>	介绍霍尔效应以及霍尔效应如何用于制造磁传感器。
<a href="#">TMAG5170UEVM</a>	GUI 和附加装置采用精确的三维线性霍尔效应传感器进行角度测量。
<a href="#">TMAG5170DEV</a>	GUI 和附加装置采用精确的三维线性霍尔效应传感器进行角度测量。
<a href="#">TMAG5273EVM</a>	GUI 和附加装置采用精确的三维线性霍尔效应传感器进行角度测量。
<a href="#">DRV5055EVM</a>	EVM 包含一个数字显示屏，具有多种拟合直线的线性灵敏度。
<a href="#">TMAG5173EVM</a>	GUI 和附加装置采用精确的三维线性霍尔效应传感器进行角度测量。
<a href="#">TI 精密实验室 - 磁传感器</a>	一个有用的视频系列，介绍霍尔效应以及如何在各种应用中利用霍尔效应。

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 重要声明和免责声明

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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。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  
Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司