

Scott Bryson

Current and Position Sensing

转盘、操纵杆、恒温器、电子转向总成和通常用于万向节或机械臂的电机控制接头等旋转类器件都依赖于精确定义角度位置的能力。虽然可以使用机械触点等方法来监测旋转角度，但这些类型的传感器在使用时容易磨损，并且在有污垢的情况下会降低性能。霍尔效应传感器是一种非接触式检测替代产品，可提供更长的产品寿命、更高的可靠性及角度检测性能。

在存在角度旋转的应用中，对控制器的反馈可为器件配置提供有价值的见解。这可以是来自旋钮或方向盘的用户输入，也可以是电机驱动配置的精确位置控制。使用霍尔效应传感器实施此设计通常需要在旋转体上放置一个磁体，并在附近放置一个能够检测磁体产生的磁通密度的传感器。当使用沿旋转轴安装的径向圆柱体磁体时，使用线性霍尔效应传感器更容易实现角度监控。

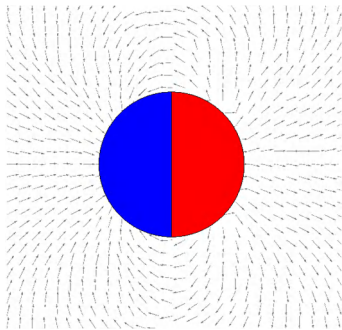


图 1. 径向磁体

由于这种类型的磁体轴向旋转，磁场矢量的各种分量（表征磁通密度）会发生周期性变化。根据相对于磁体的位置，始终至少有两个分量可供选择。当传感器放置在与磁体表面相距适当的距离时，这些分量为正弦。注意以下曲线，它们表示旋转磁体产生的每个分量。

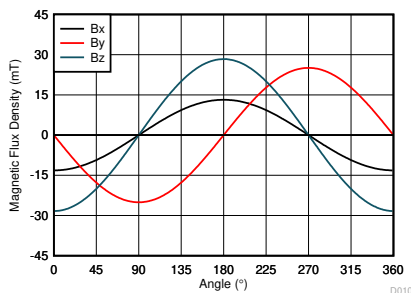


图 2. 磁通密度与磁体角度间的关系

如果传感器元件位于 XZ 平面，朝向 Y 方向的矢量分量为  $B_y$ ，则可以监控传感器元件。使用此输入，可以根据以下关系确定最多  $180^\circ$  的旋转角度。

$$\text{器件输出} = \alpha \sin(\theta) \tag{1}$$

添加与第一个传感器相位相差  $90^\circ$  的第二个传感器，可以将绝对角度检测设计扩展到  $360^\circ$ 。

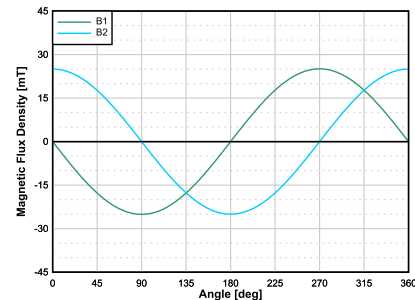


图 3. 具有  $90^\circ$  相移的磁场分量

当使用两个  $90^\circ$  异相的信号时，可以使用反正切函数计算角度。

$$\theta = \text{atan}(B1/B2) \tag{2}$$

设置角度计算的一种方法是使用两个一维传感器。对于这种方法，放置两个传感器时必须确保它们在物理上围绕磁铁中心间隔  $90^\circ$ 。这可以通过将传感器放在平面内（与磁体的磁极共面）或平面外来实现。平面内方法将传感器放置在与磁极直接对齐的位置，因此观察到的输入更大，但平面外对齐所需的物理空间更小。

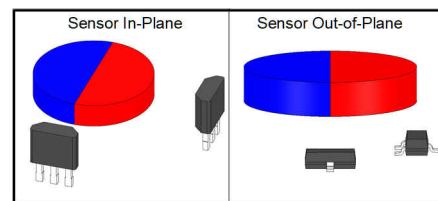


图 4. 使用一维霍尔效应传感器进行角度检测的配置

$90^\circ$  的机械间距可在输出端提供所需的相移。

由于每个器件都监控对应的磁场分量，因此使用 DRV5055 等器件可以轻松实施此方法，但此方法在灵敏度匹配、机械对齐和物理空间方面存在挑战。

为了在校正这些误差时实现更高精度，校准非常重要。

第二个选项是使用 3D 位置传感器实施设计。返回图 2 中的图，请注意 Y 和 Z 分量自然地呈 90° 异相。当使用具有多个灵敏度轴的 3D 位置传感器时，可以使用单个器件同时监控所需的各个磁场分量以进行角度计算。

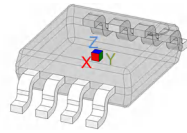


图 5. 3D 位置传感器

在单个封装中集成多个传感器的好处是通道间磁场灵敏度更一致，并可以更大限度地减小传感器所需的 PCB 面积。在设计此功能时，此优势使得多轴传感器成为一个具有吸引力的选择。3D 位置传感器的另一项特性是集成了 CORDIC 计算器，它能够复制反正切函数的结果并直接根据任意两个轴的输出数据生成角位置。

通常，此测量有三种不同的方向：同轴、平面内和平面外（离轴）。

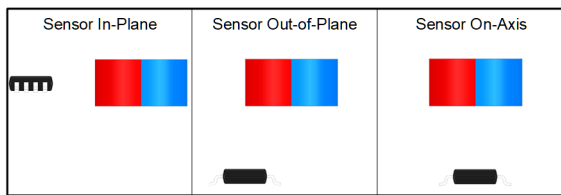


图 6. 使用多轴霍尔效应传感器进行角度检测的配置

在这三种情况中，最容易实施的是同轴，磁场分量会自然匹配。平面内传感器放置通常很方便，但只有两个可

测量的磁场分量。“平面外”基本上描述了所有其他位置。在所有三个方向上都有一个不同幅度的可测量磁场，并且传感器的放置位置可以根据设计的限制进行灵活调整。

考虑到在使用平面内或平面外方向时，在大多数位置的磁场分量的输入幅度大小通常不相等。

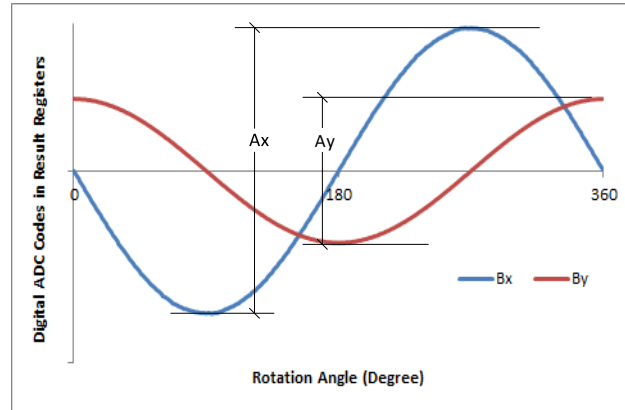


图 7. 不相等的磁场分量

因此，使用反正切进行计算会导致测量误差。可以通过精心放置来实现匹配的输入或使用数字化技术调节输出以进行匹配，从而纠正这一问题。TMAG5170-Q1、TMAG5170D-Q1 等器件中内置了这个归一化功能，并且所有传感器放置都实现了设计灵活性，而且可以通过在计算期间实施标量调整在控制器上实现此功能。

有关使用线性霍尔效应传感器及一维或 3D 位置传感器来测量绝对角度的更多详细信息和指南，请参阅表 1 和表 2。

表 1. 备选器件建议

器件	特征	设计注意事项
DRV5055	具有模拟输出、采用 SOT-23 和 TO-92 封装的单轴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。采用此器件的设计成本更低。360 度全方位监控需要两个器件。
DRV5055-Q1	具有模拟输出、采用 SOT-23 和 TO-92 封装的汽车级单轴线性霍尔效应传感器。	与商业级类似，但工作温度范围更宽。
DRV5057	具有 PWM 输出、采用 SOT-23 和 TO-92 封装的单轴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。360 度全方位监控需要两个器件。
DRV5057-Q1	具有 PWM 输出、采用 SOT-23 和 TO-92 封装的汽车级单轴线性霍尔效应传感器。	与商业级类似，但工作温度范围更宽。
TMAG5170-Q1	具有 SPI、采用 8 引脚 DGK 封装的汽车级线性 3D 霍尔效应位置传感器。	是一种单器件设计，能够检测所有磁场分量，并集成角度计算和磁场归一化。此器件通过 SPI 运行。
TMAG5170D-Q1	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。此器件通过 SPI 运行。

表 2. 相关技术资源

名称	说明
DRV5055 角度 EVM	使用一维霍尔效应传感器的角度测量演示。
TMAG5170 EVM	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。
TMAG5170DEV	GUI 和附加装置采用三维双芯片线性霍尔效应传感器进行角度测量。
TMAG5170 2D 角度误差计算器	此工具可帮助评估由于旋转速度、转换设置和器件级错误而产生的预期误差。

**表 2. 相关技术资源 (continued)**

名称	说明
<a href="#">SBAA463</a>	“使用多轴线性霍尔效应传感器进行角度测量”应用手册。
<a href="#">SLYA036</a>	“线性霍尔效应传感器角度测量原理、实施和校准”应用手册。
<a href="#">TI 精密实验室 - 磁传感器</a>	一个视频系列，介绍霍尔效应以及如何各种应用中利用霍尔效应。

## 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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司