



Manny Soltero, Gloria Kim

摘要

随着工业 4.0 进程的不断演变，市场越来越需要传统制造和工业设备具有更高的自动化水平。为确保系统级精度和可靠性，很多此类应用需要进行绝对位置测量。

在为特定应用选择正确的位置测量技术时，需要考虑多个因素，特别是测量精度、物体速度、功率要求、校准需求、支持各种配置的灵活性以及可靠性。本白皮书将介绍这些系统级设计挑战和注意事项，并说明了线性 3D 霍尔效应位置传感器如何以高性能解决这些问题。

内容

1 在高速度下实现高精度.....	2
2 降低功耗.....	4
3 实现更大的灵活性.....	5
4 提高可靠性.....	7
5 结论.....	9
6 其他资源.....	9

插图清单

图 1-1. 使用两个线性 3D 霍尔效应位置传感器的线性动子的概念实现.....	2
图 1-2. 伪同步采样的 XZX 模式示例.....	2
图 2-1. 传统门铰链应用中的角度检测示例.....	4
图 3-1. 在手持设备云台电机中使用 3D 线性进行偏轴角度测量.....	5
图 3-2. 在旋钮或转盘应用中使用线性 3D 霍尔效应位置传感器进行平面外角度测量的示例.....	6
图 3-3. 增益和偏移校正的 XY 示例.....	7
图 4-1. 使用 TMAG5170 的机械臂示例.....	7
图 4-2. TMAG5170 数字接口.....	8

表格清单

表 2-1. TMAG5170 功耗模式.....	4
表 4-1. TMAG5170 连续诊断和用户启用的诊断.....	8

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 在高速度下实现高精度

实现尽可能高的精度通常需要以较低的速度运行系统，这会降低系统性能。对于需要快速、实时控制的应用，以高速度进行高度精确的测量会降低系统性能，这是不可行的。具有这些要求的一个应用是电机运输系统，也被称为线性动子。线性动子由带有内置微控制器 (MCU) 的智能轨道系统组成，可实现每个动子的独立定位。这种系统配置在自动化控制方面提供了多种优势，包括高传输速度、精确定位，还能在生产线上前后移动产品以提高制造效率。

线性动子使用一系列传感器来跟踪安装在动子上的磁体的绝对位置。如图 1-1 所示，传感器沿 X 轴等距放置。使用相邻的线性 3D 霍尔效应位置传感器并根据磁场的 X 和 Z 分量计算角度则可得出动子的绝对位置。

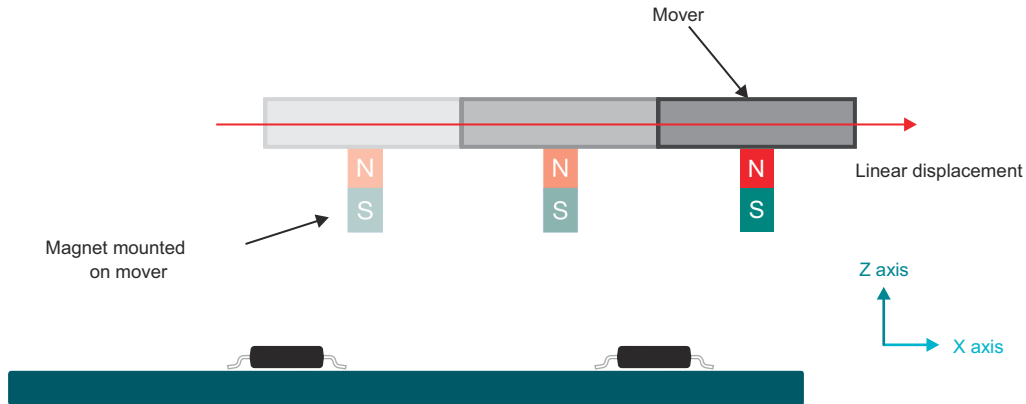


图 1-1. 使用两个线性 3D 霍尔效应位置传感器的线性动子的概念实现

对于对精度和高速度有要求的线性动子系统而言，高性能线性 3D 霍尔效应位置传感器可以减少误差。在内部，这些误差源是灵敏度、偏移、线性度、温度变化产生的噪声以及耦合到每个轴的输入参考磁噪声造成的。外部引起的误差有多种来源：机械振动、磁体和传感器之间的意外空间变化和容差、快速变化的磁场和偏轴角度测量。

高性能线性 3D 霍尔效应位置传感器的一个重要部分是板载角坐标旋转数字计算机 (CORDIC) 计算器，该计算器在二维空间中执行三角近似迭代以计算角度和幅度，实现 0.25 度的分辨率。在器件上执行此类计算，即无需对磁信息进行后处理。

没有独立内部信号路径 (包括单轴测量、增益调整、滤波和数据转换) 的线性 3D 霍尔效应位置传感器，则不适用于快速变化的磁场。为了减少误差，具有单个数据转换器 and 伪同时采样功能的 3D 霍尔效应位置传感器可提供出色的解决方案。

图 1-2 举例说明了 Z 和 X_1' 的采样在同一时间发生的理想情况。但是，磁场是不断变化的且使用单一信号路径进行测量，因此无法实现这一点。对于伪同时采样， X_1' 前后 X 分量 (分别标记为 X_1 和 X_2) 的平均值用作与 Z 匹配的 X 轴值。假设 B 场的变化在小区间内是相对线性的，结果类似于同时对两个轴进行采样。

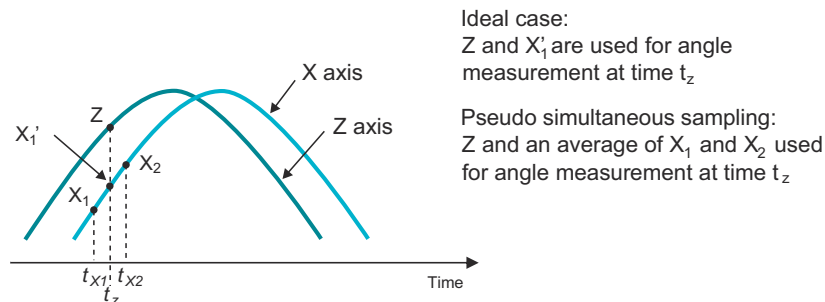


图 1-2. 伪同步采样的 XZX 模式示例

线性 3D 霍尔效应位置传感器通常采用传感器技术，可以感应平面内和垂直于封装的磁场。这是两个不同的传感器，因此每个传感器的磁噪声是不同的。因此，通过对每个轴的样本数求平均来均衡本底噪声是有利的。可以对多达 32 个样本求平均的线性 3D 霍尔效应位置传感器显著降低了本底噪声。

可进行高速精确测量的高精度 3D 霍尔效应位置传感器 (例如 [TMAG5170](#)) 非常适用于此类应用。凭借 $\pm 2.6\%$ 的最大满量程灵敏度误差、低灵敏度失配误差 (每轴) 和低漂移过热, TMAG5170 可提供超高精度。如能达到这种超高精度则无需进行系统级校准, 从而降低了总系统成本。此外, TMAG5170 提供高达 20kSPS 的采样率, 这对于许多线性动子应用来说已经足够快了。有关采样率影响的更多信息, 请参阅 [《使用多轴霍尔效应传感器进行角度测量》](#) 应用报告。

2 降低功耗

对于监控移动或位置的系统，确保足够的测量精度和速度同时消耗尽可能少的功率也很重要。这对于电池供电或低功耗系统至关重要，在这种系统中，磁传感器的功耗可能会占用系统总功率的很大一部分。这方面的一个示例是工厂车间使用的远程遥控器，它通过 4-20mA 环路与可编程逻辑控制器进行通信。

其他电池或低功率应用示例是用于楼宇或家居安全系统的门窗传感器。具有角度检测功能的门传感器可以检测开关事件并测量门打开的距离。可以通过嵌入传统门铰链中的环形磁铁和线性 3D 霍尔效应位置传感器来实现此功能（参阅图 2-1）。对于低功耗应用，线性 3D 霍尔效应位置传感器应置于低功耗占空比模式下，以 5Hz 或更低的低频运行。

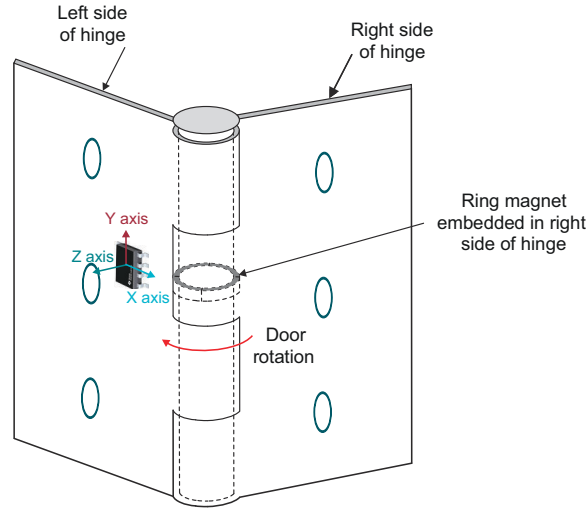


图 2-1. 传统门铰链应用中的角度检测示例

在此应用中使用线性 3D 霍尔效应位置传感器的另一个好处是只有两个灵敏度轴监测角度，从而能够使用第三个轴来检测恶意篡改或禁用，例如在传感器上放置磁铁以让系统误认为门仍处于关闭状态。

TMAG5170 提供各种电源选项（参阅表 2-1）来降低系统功耗。根据应用需求，传感器可以设置为完全主动转换、待机、占空比、睡眠或深度睡眠模式。

表 2-1. TMAG5170 功耗模式

功耗模式	运行情况
有源转换	产生连续数据流。在全面分析或处理磁场时使用。典型的电流消耗处于低单位数 mA 范围内。
待机	器件处于低功耗状态，将根据 MCU 的提示开始测量。电流消耗 < 1mA。
占空比	器件处于睡眠模式并以指定的时间间隔唤醒以进行测量。1Hz 时的电流消耗为 1.3μA。
睡眠	类似于占空比模式，不同之处在于器件正在等待 MCU 提示进行测量，而不是自行进行。
深度睡眠	器件基本上处于断电状态，消耗 5nA 电流。

3 实现更大的灵活性

使用霍尔效应传感器进行设计时，一个非常重要的设计考虑因素是传感器相对于磁体的位置。传感器放置不灵活可能会导致最终的产品外形不理想。新设计在设计之初通常没有明确的机械要求，因此线性 3D 霍尔效应位置传感器必须具有可配置的功能，例如可选择的磁性灵敏度范围、增益和偏轴校正、可变更速率和温度补偿。

TMAG5170 具有这种功能，其多功能性允许在任何设计阶段进行配置，并且适用于多种应用。

一般而言，指示磁通密度的磁体剩余磁化强度会随着温度升高而降低。为了使用不同类型的磁体（例如钕铁硼或铁氧体磁体）提高系统性能，具有温度补偿功能的线性 3D 霍尔效应位置传感器提供了更大的灵活性。

TMAG5170 具有可配置的板载温度补偿功能，如果只有磁体或传感器发生温度变化，也可以关闭该功能。

云台电机是需要灵活配置特定灵敏度范围或其他参数的应用示例。云台电机用于手持设备相机稳定器和无人机，为 MCU 提供角度测量信息。这些电机通过在发生移动时连续调整电机位置来使视频片段稳定。如果传感器可在提供同轴或偏轴放置（参阅图 3-1）的同时精确测量角度，就可以实现磁体-传感器放置的机械灵活性。

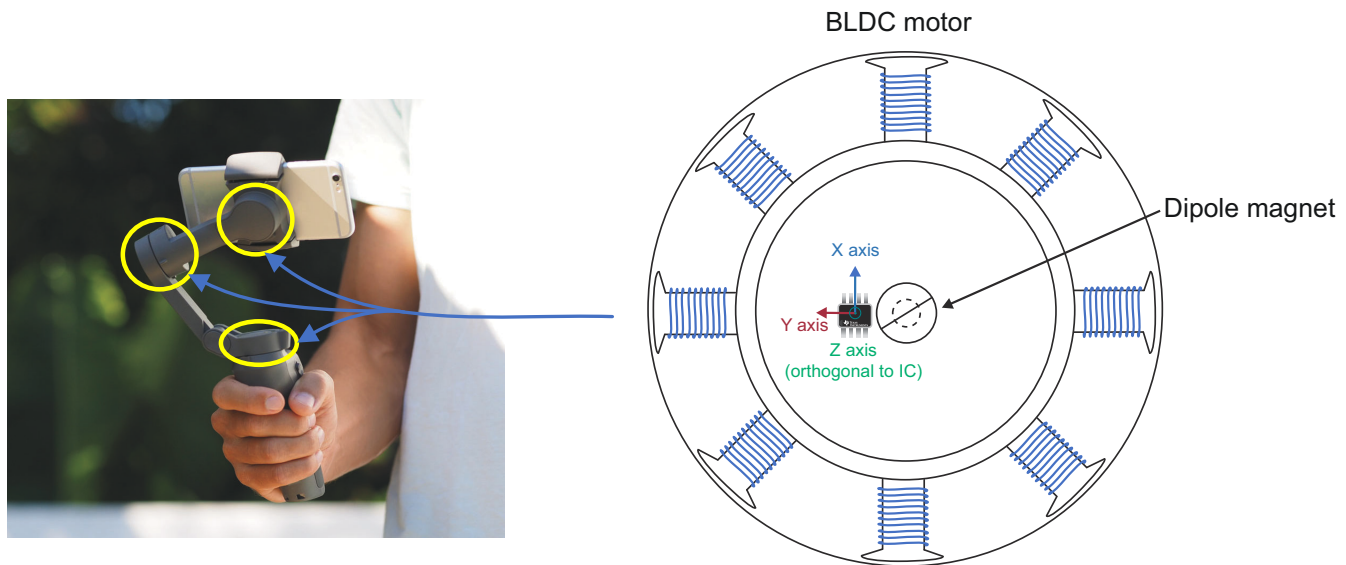


图 3-1. 在手持设备云台电机中使用 3D 线性进行偏轴角度测量

线性 3D 霍尔效应位置传感器能够在转动转盘时精确测量磁场，家用电器、测试和测量设备以及个人电子产品中的人机界面和控制（参阅图 3-2）会从中受益。磁场信息用于计算任意两个维度（XY、YZ 或 ZX）之间的角度位置。如图所示，TMAG5170 的平面外传感器配置实现了转盘，但图中描述的三种方法中的任何一种都可以实现，从而进一步提高了灵活性。除了能够通过监控 X 和 Y 分量的大偏移来实现推送特性之外，3D 灵敏度还能够检测与理想配置不一致的情况（通过监控第三个未使用的 Z 轴），从而针对因转盘磨损或损坏而引起的预测性维护提供警报。

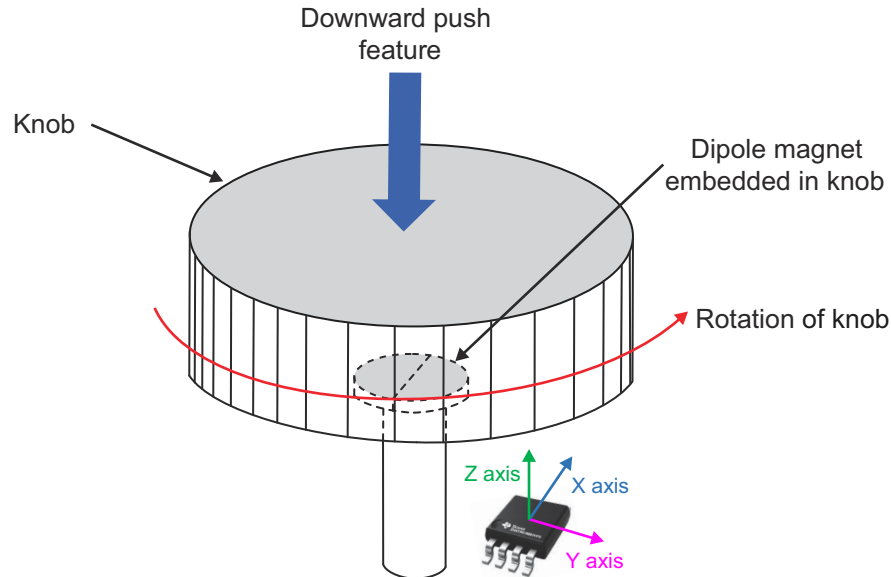
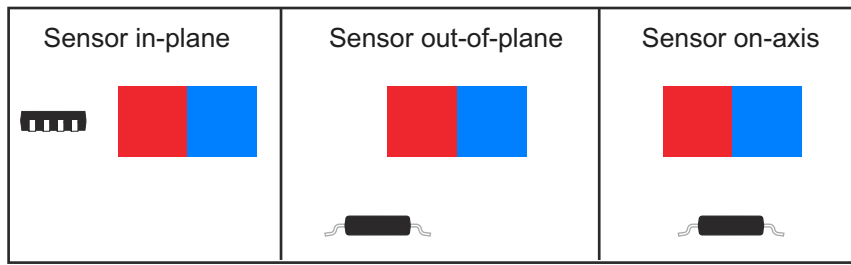


图 3-2. 在旋钮或转盘应用中使用线性 3D 霍尔效应位置传感器进行平面外角度测量的示例

在计算旋转轴的角度测量值时，在给定等效幅度场矢量的情况下，轴上测量（传感器位于旋转磁体正下方或正上方）可提供更准确的磁场测量值。但是，对于图 3-2 中显示的人机界面和控制旋钮，轴上实施是不可行的，因为轴阻碍了传感器的放置。通过监测 X 和 Y 分量，磁场由正弦和余弦函数表示，从而可以使用反正切函数计算它们之间的角度。

图 3-3 显示了由恒速旋转磁体（如转盘）产生的磁场。 B_X 表示 X 方向的磁场， B_Y 表示 Y 方向的磁场。这些正弦和余弦波形 B_X 和 B_Y 代表了轴上测量。考虑到不同的磁场强度，平面外实现（之前在图 3-2 中显示）增加了角度计算的复杂性。在本例中，一个磁场矢量的幅度可能比另一个小 - 这在图中显示为 $B_{X(OFF-AXIS)}$ （与 B_X 相比）。 $B_{X(OFF-AXIS)}$ 场会失真，这会产生角度计算误差，而不具有两个表现正常的波形。

关于磁场测量，要考虑的另一个方面是偏移。将整组测量值减去偏移（如图 3-3 中的三个向下箭头所示），并有效地为 $B_{X(OFF-AXIS, OFFSET)}$ 生成与 $B_{X(OFF-AXIS)}$ 匹配的场矢量，将补偿小的磁场偏移并确保精确的旋转角度计算。为简单起见，只有一个测量轴具有此偏移；实际上，所有轴都具有需要补偿的固有偏移。去除偏移后，必须对某个场矢量进行标准化才能匹配另一个。在此示例中，如果对 B_Y （显示为 $B_{Y(NORMALIZED)}$ ）进行标准化以匹配 $B_{X(OFF-AXIS)}$ ，则会将其幅度减至等于 $B_{X(OFF-AXIS)}$ 除以 B_Y 。使用这种增益和偏移校正配置 TMAG5170 可确保更准确的角度计算，同时还提供了将其放置在更便于设计的位置的灵活性。

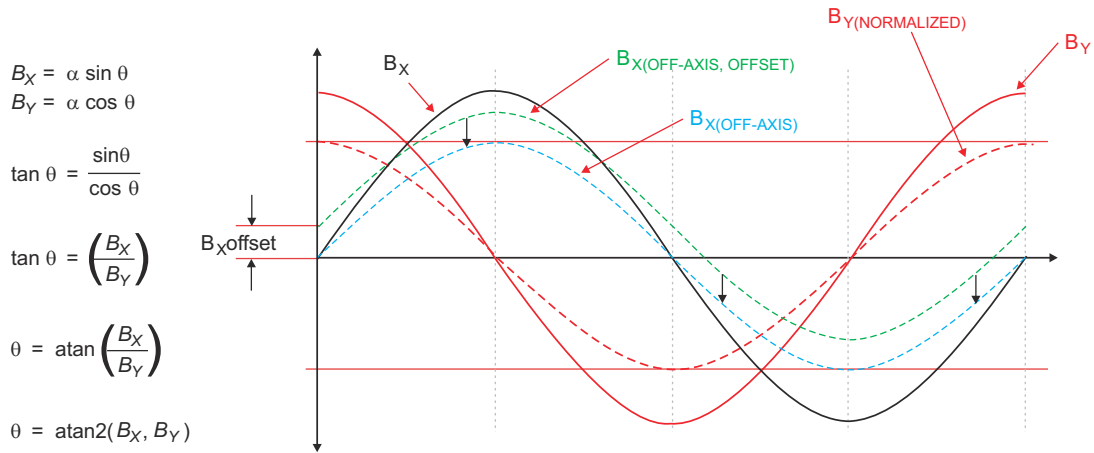


图 3-3. 增益和偏移校正的 XY 示例

4 提高可靠性

工厂自动化始终需要高度可靠的产品。随着工业 4.0 的到来，可靠的诊断方案对于实现零停机时间或至少尽可能减少停机时间至关重要。在大多数机器人系统中，多轴传感器或旋转编码器用于确定机械臂中每个关节的角度（如图 4-1 所示）或自主移动机器人中每个轮子的角度，确保在整个装配线和工厂车间中实现精确移动和导航。与易受灰尘或湿气影响的光学编码解决方案不同，磁性编码器的性能在恶劣环境中不受影响。

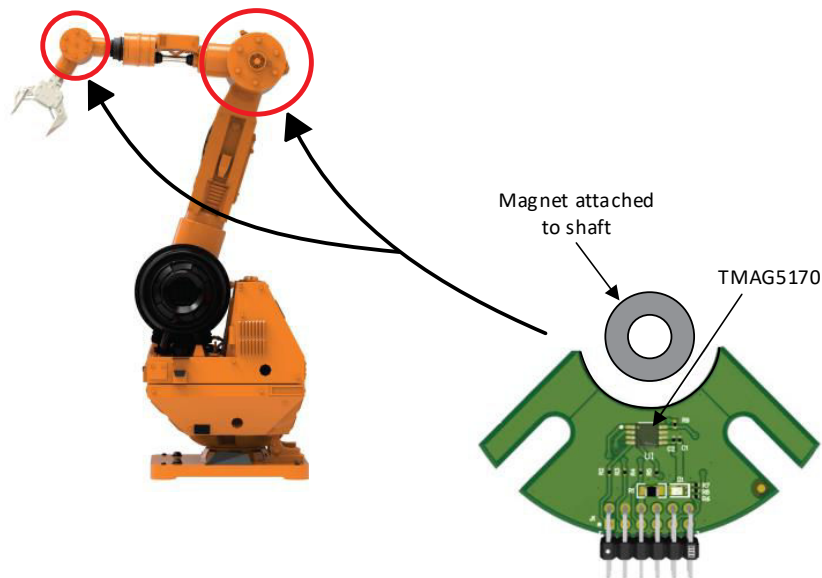


图 4-1. 使用 TMAG5170 的机械臂示例

工厂自动化系统需要包含内置安全措施并让用户能够诊断运行过程中可能出现的潜在问题的传感器。表 4-1 总结了 TMAG5170 提供的器件级和系统级诊断功能。

表 4-1. TMAG5170 连续诊断和用户启用的诊断

器件级诊断		
诊断	功能	优势
可靠的通信检查	循环冗余校验 (CRC) 通信： <ul style="list-style-type: none"> 对接收到的通信进行 CRC 检查 嵌入预期的 CRC 帧信息以供 MCU 检查 	提供不需要接口过滤的通信解决方案，以减少噪声注入和数据损坏
内部存储器和寄存器检查	<ul style="list-style-type: none"> 上电、转换启动和传感器配置时的 CRC MCU 可定期读取配置寄存器值以确认准确性 	检查传感器信号路径以确保已知的良好测量
信号路径诊断	检查信号路径完整性	
每轴霍尔传感器诊断	<ul style="list-style-type: none"> 检查传感器精度和完整性 验证偏移和灵敏度的精确性 	
系统级诊断		
诊断	功能	优势
引脚连续性	检查 V _{CC} 、GND 和串行外设接口 (SPI) 总线引脚等各种引脚之间的短路	通过检测可能导致灾难性故障的潜在危险，增加系统级的长期可靠性
磁场超出范围	在配置期间设置阈值并与磁场进行比较	无需额外的霍尔开关即可启用冗余场幅度检查
环境温度超出范围	片上温度传感器用于监测内核温度并与用户定义的阈值进行比较	无需支付额外成本来使用外部温度传感器，即可向系统发出热故障事件警报
电源欠压、过压和内部低压降欠压	向 MCU 发出电源电压超出范围警报	无需外部电源管理监控器件

SPI 提供与 TMAG5170 的可靠通信，其中包括用于增加功能性的警报输入/输出引脚，如图 4-2 所述。

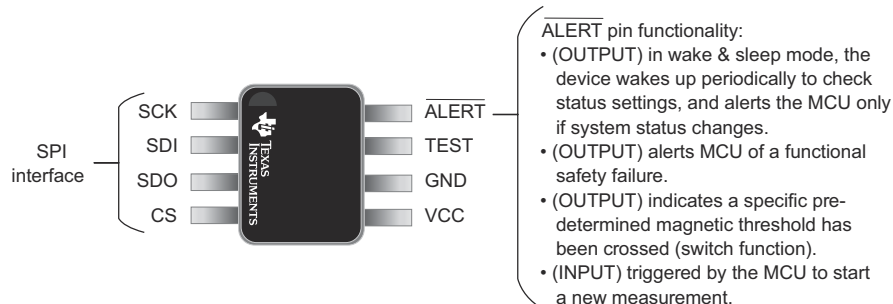


图 4-2. TMAG5170 数字接口

5 结论

本白皮书中讨论的所有功能均可通过单个传感器 TMAG5170 实现。这款线性 3D 霍尔效应位置传感器在高速下具有高精度，可以针对功耗进行优化，无需进行系统级校准，能灵活适应许多应用并满足要求，还可在非常严苛的环境下提供诊断功能。与具有饱和、迟滞或横轴灵敏度的其他感应技术相比，高度集成的 TMAG5170 可在众多终端应用中简化机电系统。

6 其他资源

- 德州仪器 (TI), [《TMAG5170 具有 SPI 的高精度 3D 线性霍尔效应传感器》数据表](#)
- 德州仪器 (TI), [TMAG5170 评估模块](#)
- 德州仪器 (TI), [TMAG5170 2D 角度误差计算器](#)
- 德州仪器 (TI), [《什么是霍尔效应传感器?》](#)
- TI 高精度实验室视频：
 - [磁传感器：三维 \(3D\) 霍尔效应传感器的规格](#)
 - [磁传感器：角度检测](#)

重要声明和免责声明

TI 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安全、安保或其他要求。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 (<https://www.ti.com/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com](https://www.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。

邮寄地址: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2021, 德州仪器 (TI) 公司

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 © 2021，德州仪器 (TI) 公司