

Joe Wang, Stanley Xu, Zoey Wu

摘要

旋钮作为人类与机器交互的一种方式，广泛应用于许多场景。大多数应用都需要检测旋钮的旋转角度。与传统旋钮相比，采用霍尔效应传感器的旋钮具有更多优势。TMAG5273 和 TMAG5170 等 TI 3D 线性霍尔效应传感器可以测量三个方向的磁场，并可以通过板载 CORDIC 计算器计算任意两个轴上的角度，使 MCU 能够直接读取角度。此外，按钮式旋钮设计还可提供用途更为广泛的功能。

内容

1 机械旋钮和旋转编码器存在问题.....	2
2 使用 3D 霍尔传感器进行角度测量.....	2
3 同轴和离轴测试.....	3
3.1 同轴测试.....	3
3.2 离轴测试.....	4
4 按钮式旋钮功能测试.....	5
5 总结.....	8
6 参考文献.....	9

插图清单

图 1-1. 电器中使用的旋钮.....	2
图 2-1. 同轴和离轴角度测量.....	2
图 2-2. 3D 线性霍尔效应传感器轴.....	2
图 3-1. 使用 3D 霍尔效应传感器进行角度检测的配置.....	3
图 3-2. 3D 线性霍尔效应传感器同轴测试.....	3
图 3-3. 角度数据和 XY 轴数据输出.....	3
图 3-4. 3D 线性霍尔效应传感器同轴输出.....	4
图 3-5. 离轴放置.....	4
图 3-6. 线性霍尔效应传感器离轴输出.....	4
图 3-7. 磁体角度和霍尔传感器.....	5
图 4-1. 按钮式旋钮.....	5
图 4-2. 按钮功能数据输出.....	6
图 4-3. 按钮功能软件流程图.....	7

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 机械旋钮和旋转编码器存在问题

家用电器中有很多使用旋钮的产品，例如微波炉、饮水机、空气炸锅、灶具等。图 1-1 仅展示了家用电器上的几个旋钮示例。目前，主流的旋钮设计有两种：机械和旋转编码器。机械旋钮体积大、不美观，而且长期使用后会出现磨损，影响使用寿命。接触式旋转编码器旋钮容易受到环境（例如水和灰尘）的干扰。接触式旋转编码器旋钮在很多情况下都不实用。此类旋钮的价格也可能很昂贵。本文档介绍了基于 3D 霍尔效应传感器的旋钮设计，该设计可以克服上述设计的缺点。3D 霍尔效应传感器具有体积小、寿命长、成本低的优势，并且这些传感器不容易受到环境的干扰。



图 1-1. 电器中使用的旋钮

2 使用 3D 霍尔传感器进行角度测量

TI 提供几种不同类型的霍尔效应传感器：开关、锁存器、单轴线性传感器和 3D 线性传感器。线性霍尔传感器输出模拟或数字信号，当外部磁场强度改变时，输出也会改变。与单轴传感器不同，3D 线性传感器可以使用来自所有 3 个方向的磁场数据来计算角度和幅度。集成角度计算引擎 (CORDIC) 为同轴和离轴角度测量拓扑提供完整的 360° 角度位置信息，请参阅图 2-1。使用用户选择的两个磁轴执行角度计算。3D 线性霍尔效应传感器的三轴灵敏度定义如图 2-2 所示。

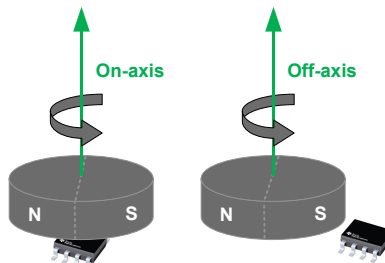


图 2-1. 同轴和离轴角度测量

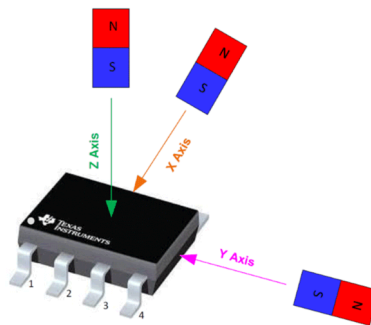


图 2-2. 3D 线性霍尔效应传感器轴

3 同轴和离轴测试

如图 3-1 所示，通过将磁体放置在不同的位置，可以使用多种方法来测量角度，例如平面内、平面外、同轴测试等。不同的放置方法对磁体的要求不同。用户可以根据实际应用场景、机械设计、安装位置等多种因素选择合适的方法。

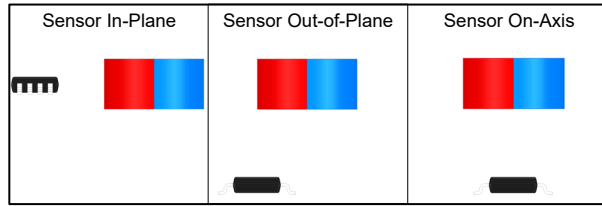


图 3-1. 使用 3D 霍尔效应传感器进行角度检测的配置

3.1 同轴测试

使用同轴方法，将磁体放置在传感器正上方。如图 3-2 所示，选择 3D 霍尔传感器的 X 轴和 Y 轴以确定磁体的旋转角度。

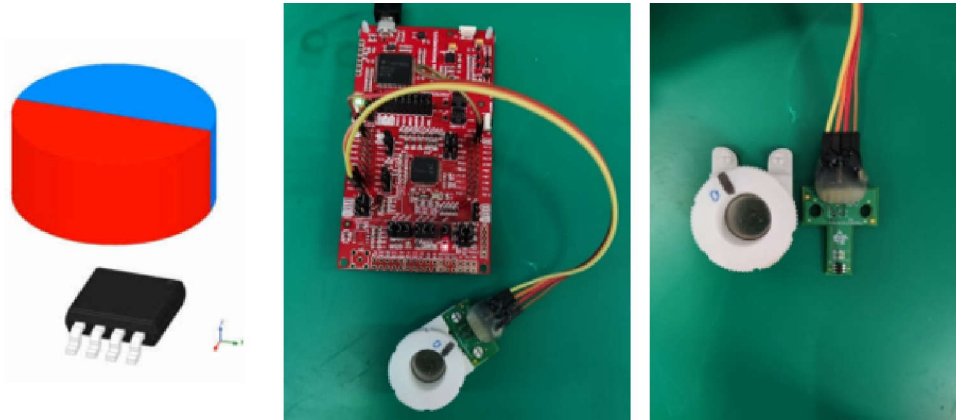


图 3-2. 3D 线性霍尔效应传感器同轴测试

TI 3D 霍尔传感器 TMAG5273 和 TMAG5170 的 CORDIC 引擎可以无缝计算角度，因此微控制器可以直接读取寄存器的值，而无需处理磁场数据。图 3-3 展示了实际测试中的角度数据以及 X 轴和 Y 轴数据。请注意，由于手动转动旋钮，曲线呈阶梯形。

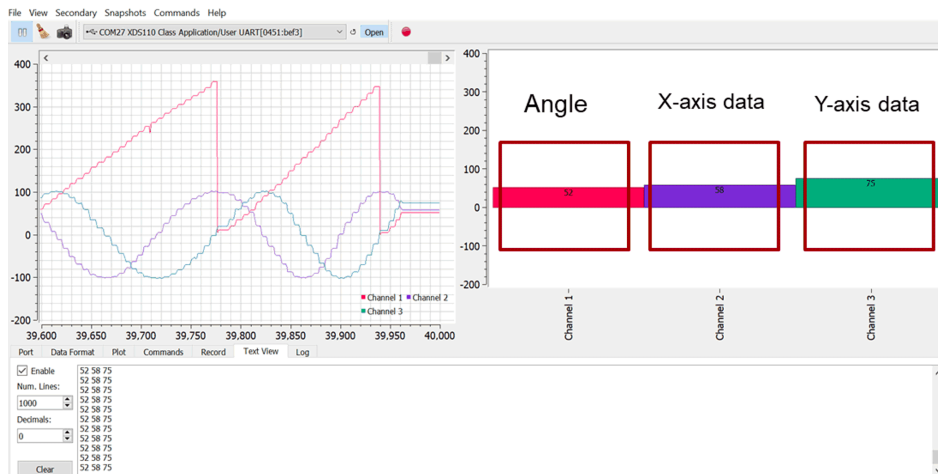


图 3-3. 角度数据和 XY 轴数据输出

当磁铁旋转时，磁场的 X 轴和 Y 轴以正弦模式变化。请参阅图 3-4。

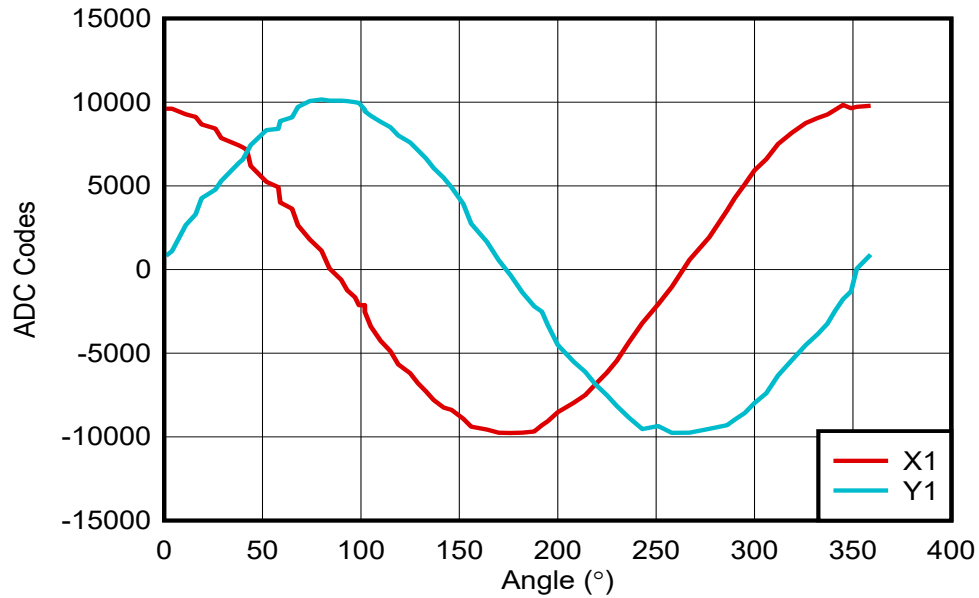


图 3-4. 3D 线性霍尔效应传感器同轴输出

3.2 离轴测试

在离轴方法中，磁体不应放置在传感器正上方，它可以是合理接近磁体的任何其他位置。图 3-5 展示了放置位置。

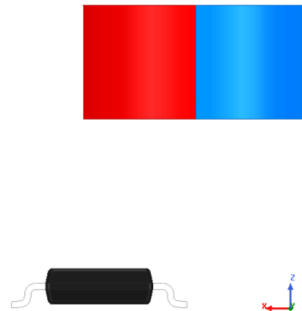


图 3-5. 离轴放置

X 轴和 Y 轴的输出和角度变化如图 3-6 所示：

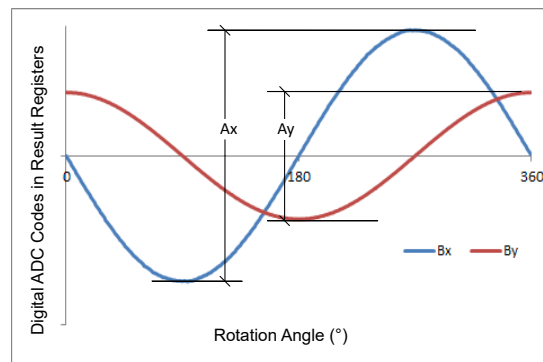


图 3-6. 线性霍尔效应传感器离轴输出

考虑安装的旋钮和使用的磁体，平面外测量方法很常见；以灶台面旋钮为例，如图 3-7 所示。霍尔传感器位于旋钮下方，磁体位于旋钮内部。

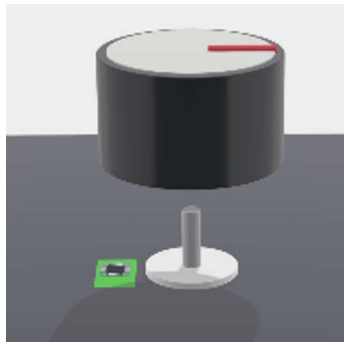


图 3-7. 磁体角度和霍尔传感器

4 按钮式旋钮功能测试

在某些应用场景中，不仅需要检测旋钮角度，有时用户还需要添加按钮功能。以轴上测试为例，演示如何使用 3D 霍尔效应传感器实现按钮功能。

在轴上测试中，z 轴的磁场强度基本不变，因此要判断旋钮是否按下，只需检测 X 轴和 Y 轴磁场的变化即可。然而，当旋钮旋转时，X 轴和 Y 轴的磁场也会发生变化，这使得用户很难区分是按下旋钮还是旋转旋钮引起的变化。但在使用场景中，旋转引起的 X 轴和 Y 轴变化与按压产生的变化仍然存在一些差异，可以通过考虑以下两点来判断：

1. 绝对磁场强度：按下并旋转旋钮时，其绝对磁场强度不同。我们可以设置磁场阈值来判断是按下还是旋转。然而，这与实际磁体的安装有关，不能被视为充分必要条件。
2. 单位时间内磁场的突然变化：与正常旋转相比，按下旋钮时，X 轴和 Y 轴上磁场的突然变化更大。

此处我们使用一个可被按下的旋钮，如图 4-1 所示，其中说明如何使用一个可被按下的旋钮，并将 3D 霍尔传感器放置在旋钮下方。

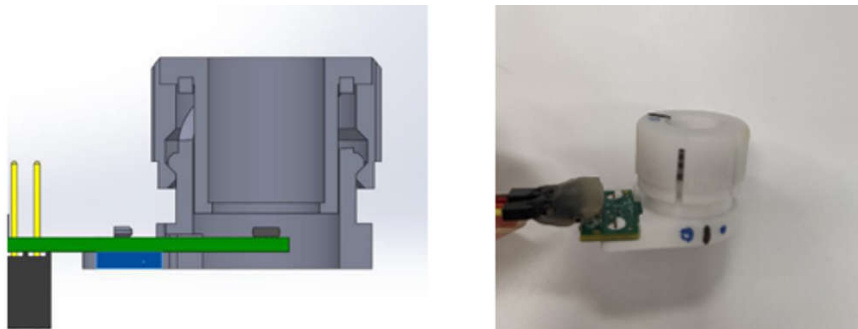


图 4-1. 按钮式旋钮

使用上面的旋钮执行按钮测试和无按钮测试，并获取 X 轴和 Y 轴磁场数据，如图 4-2 中所示。用户手动旋转旋钮并使用 UART 接收数据。由于数据量不大，因此曲线不是很平滑。

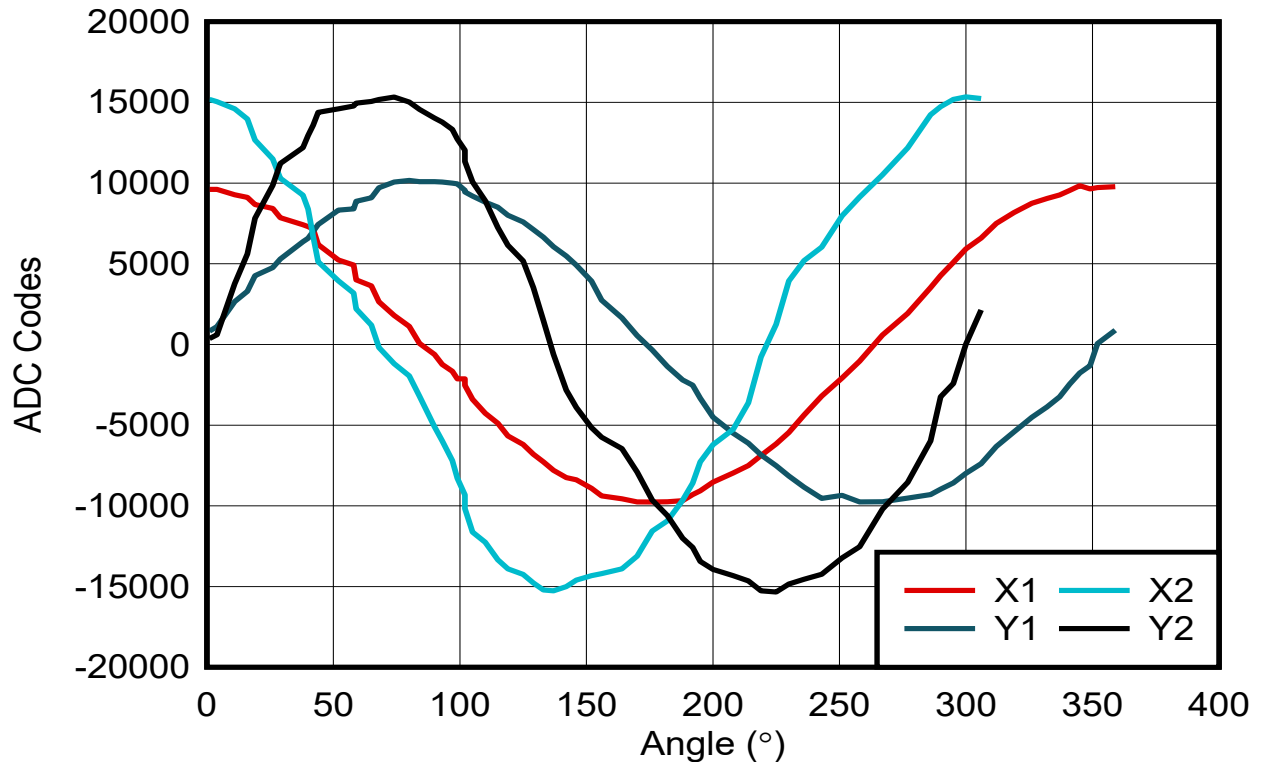


图 4-2. 按钮功能数据输出

从图中可以得出以下结论：

1. 无论是否按下该旋钮，X 和 Y 磁场的趋势都是相同的，这意味着获得的角度也是相同的。
2. 按下旋钮时，X 轴和 Y 轴的磁场强度大于未按下旋钮时的磁场强度。
3. 随时按下按钮，磁场强度的突然变化会非常明显。

软件实现的流程图如图 4-3 所示：

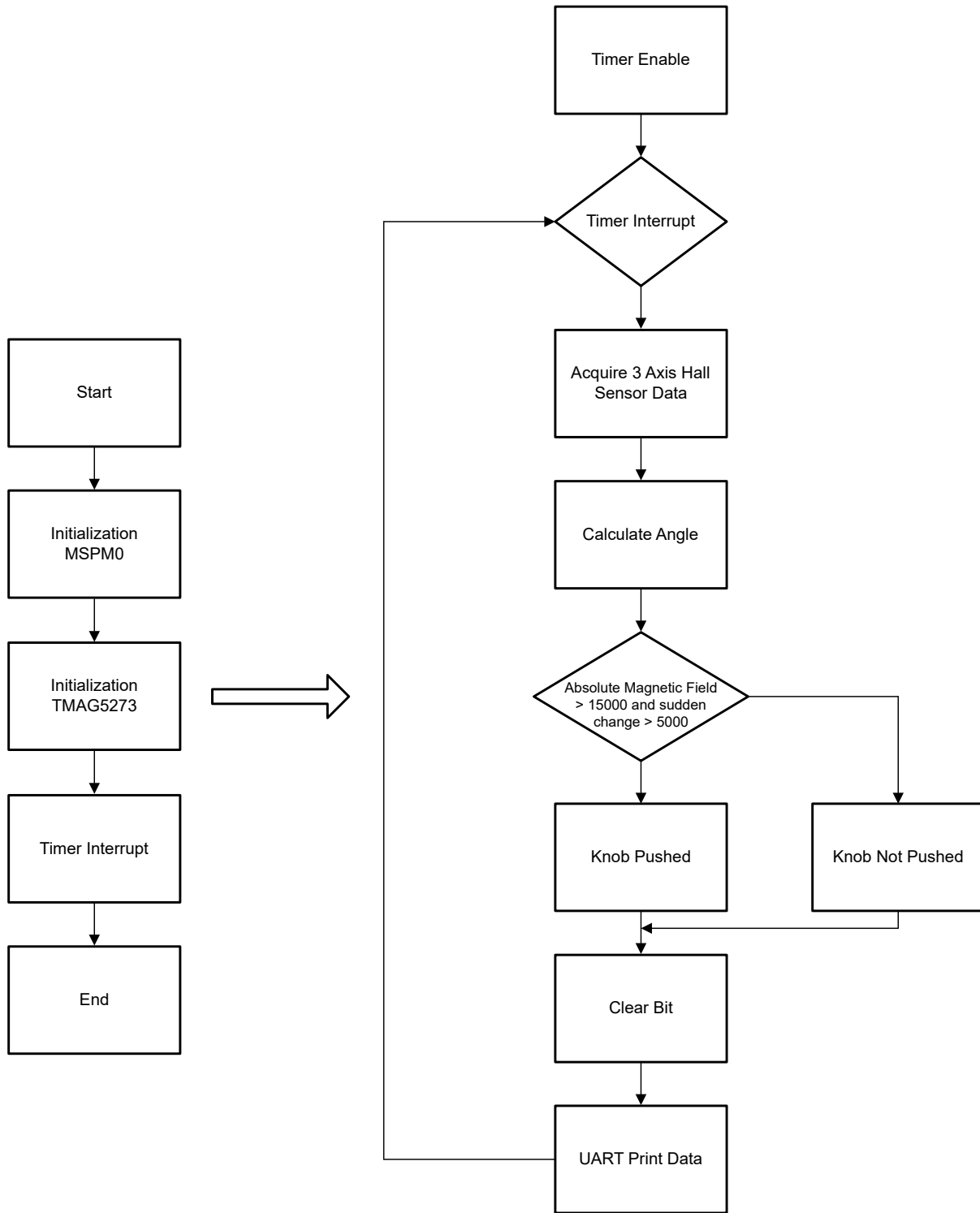


图 4-3. 按钮功能软件流程图

5 总结

TMAG5273 和 TMAG5170 等 TI 3D 线性霍尔效应传感器可以测量三个方向的磁场。这些传感器还可以使用板载 CORDIC 计算器计算任意两个轴的角度，使 MCU 能够直接读取角度，节省 MCU 资源并方便客户使用。

不同的测量方法对传感器和磁体的放置有不同的要求。客户可以根据自己的应用场景选择合适的测量方法。通常，在家用电器中，优选的方法是使用 TMAG5273 3D 霍尔效应传感器，因为成本较低，并且在不考虑机械误差的情况下，传感器的检测角度精度可以达到 1°，能满足大多数家用电器场景的要求。

6 参考文献

1. 德州仪器 (TI), [3D 霍尔传感器在扫地机器人中用于碰撞检测应用手册](#)。
2. 德州仪器 (TI), [将霍尔效应传感器用于非接触式旋转编码和旋钮应用应用简报](#)。
3. 德州仪器 (TI), [使用多轴线性霍尔效应传感器进行角度测量应用手册](#)。
4. 德州仪器 (TI), [利用霍尔效应传感器测量旋转运动的绝对角度应用简报](#)。

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