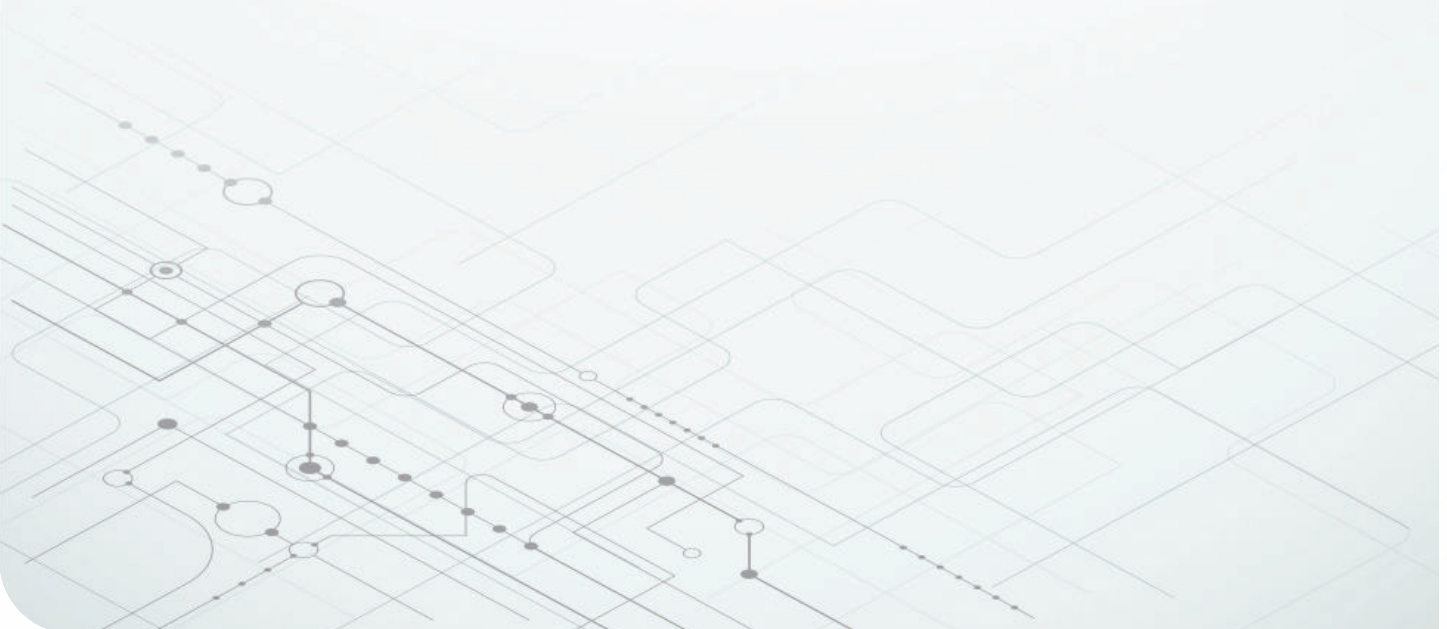


位置传感器如何推动汽车和工业应用创新



Manny Soltero



本文探讨了汽车和工业应用中位置检测的趋势，以及相关的设计挑战和解决方案。

内容概览

- 趋势一：系统电气化**
在不断发展的汽车系统（包括电机和电动助力转向 (EPS) 系统）中，位置传感器能够以高精度测量复杂的角度。
- 趋势二：提高可靠性和安全性的需求**
从机械系统转向磁传感器可减少磨损，同时提高对功能安全的需求。
- 趋势三：最终产品的整体外形小型化**
高灵敏度磁体和更高的集成度可解决小型化的折衷问题，包括较低的精度和分辨率。
- 趋势四：从稀土材料到铁氧体的过渡**
在磁传感器中，铁氧体是稀土材料的替代品，资源丰富，成本低廉，但需要能够补偿其减小的磁场和温漂。

无论您的驾驶经验丰富与否，都有可能没注意到方向盘甚至制动系统在不同车辆之间有什么差异。这是设计使然。操控方面的改进为驾驶员提供了更多便利，但总体而言，这些系统的感觉相对保持不变，以确保无论哪一年的车型，用户体验都是一样的。

然而，随着时间的推移，这些系统中使用的技术也在不断发展，位置传感器就是其中的重要组成部分。

当今有许多类型的位置传感器可供使用，包括超声波、光学、磁、电容和电感式传感器。位置传感集成电路 (IC) 可检测物体的运动，并将输入信号转换为适用于微控制器 (MCU) 处理和控制的电信号。在本文中，当提及位置传感器时，您可以假设 IC 传感器使用霍尔效应、各向异性磁阻 (AMR) 或电感技术。**图 1** 说明了这三种传感器类型的基本功能。

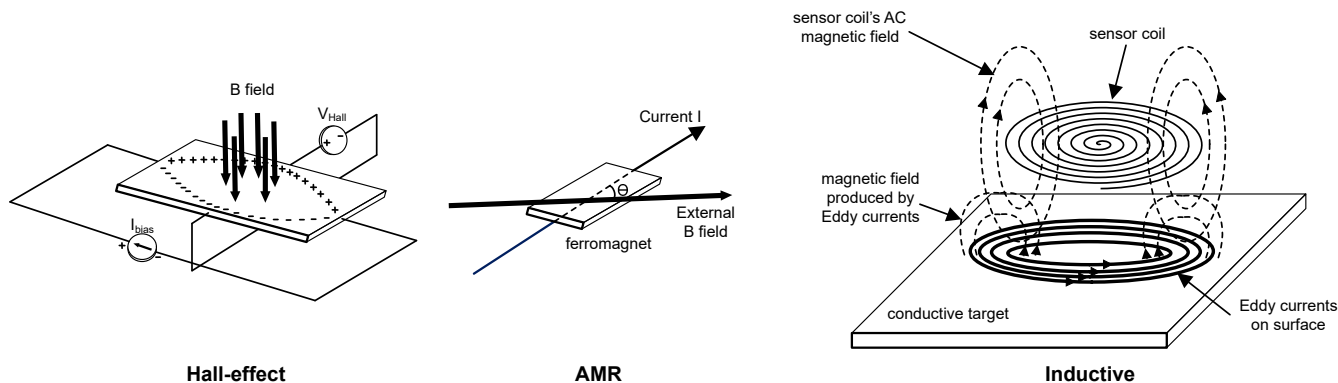


图 1. 霍尔效应、AMR 和电感传感器功能。

在霍尔效应技术中，电流会被导入铁磁材料中。施加磁场（标记为 B 场，请参阅**图 1**）会产生垂直于电流流动的霍尔电压。

AMR 传感器的电阻随施加的磁场而降低。此外，各向异性方面意味着 AMR 传感器取决于施加的磁场的方向。

电感式传感器使用传感器线圈（电感器）来产生自己的磁场，这些磁场与金属目标上形成的涡流产生的磁场耦合。

本白皮书讨论了位置检测的四种当前趋势：系统电气化、提高可靠性和安全性的需求、整体最终产品外形的小型化以及从稀土材料到铁氧体的过渡。通过了解 IC 传感器的最新改进，设计人员可以从中受益，这些传感器现在更加精确和灵敏，能够提供更高的分辨率和更多功能，功耗比以往更低，同时采用越来越小的封装。

趋势一：系统电气化

自动驾驶、对更好用户体验的需求以及减少温室气体排放的推动力，使得汽车电气化程度不断提高，这需要在汽车中安装更多的半导体器件，包括位置传感器。这是我们的第一个趋势。

热效率对于电动汽车 (EV) 至关重要。电动泵将冷却剂（如机油和水乙二醇）在整个车辆内循环，以控制各种系统的温度。多个电子控制单元 (ECU) 控制这些系统。电动汽车开启后，MCU 可以通过监测温度来确定是否有足够的冷却液泵送到特定系统。电动泵增量旋转编码器中使用的高分辨率霍尔效应传感器使微处理器能够更高效地响应热事件。诸如高带宽 **TMAG5110-Q1** 之类的器件可提供低延迟输出，同时还提供高灵敏度功能，从而让设计人员在传感器放置方面拥有更大灵活性。

各原始设备制造商 (OEM) 的转向柱设计不尽相同，但常用的实现方式是连接多个控制模块，并管理多个开关和按钮控制功能，例如转向灯、前照灯、雨刮器、巡航控制和滚轮。以前考虑到自动驾驶或舒适性原因，这些功能是采用机械方式实现的，现在已成为同时具有磁性功能的电气解决方案。对于大多数应用，**TMAG5170D-Q1** 和 **TMAG5173-Q1** 能够以高精度测量复杂角度，从而满足汽车安全完整性等级 (ASIL) B 甚至 ASIL D 系统级合规性。

图 2 显示了经过改装，以使用 3D 霍尔效应传感器开发板代替机械触点的 OEM 转向柱控制模块。

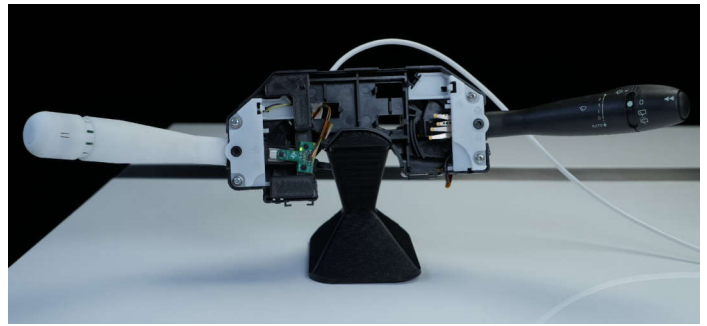


图 2. 转向柱加装 TI 3D 传感器评估模块。

电机位置检测是电机设计的一个基本方面，可确保电机以卓越效率运行。随着功效要求的提高，位置传感器的性能预期也会提高，这些传感器能够高精度地监测电机轴的精确旋转位置。通过了解电机的位置，牵引逆变器中的微处理器和功率级可以为电机线圈提供精确的电流，从而更高效地管理扭矩。挑战在于当电机以全速（100,000rpm 或更高）运行时，如何以尽可能高的精度（约 0.5°）在整个额定温度范围内测量角度。由于 **LDC5072-Q1** 电感式传感器（也称为电感式旋转变压器）本身对杂散磁场具有抗扰度，因此适用于此任务。这项技术的另一个好处是不需要磁体。**图 3** 显示了顶部安装了牵引逆变器的电机。



图 3. 电机和牵引逆变器。

汽车电气化为位置传感器创造了许多用例，其中电动助力转向 (EPS) 最为普遍。随着 EPS 的不断发展，电机位置传感器和车轮位置传感器的精度和分辨率要求也不断提高。在 EPS 系统中，**TMAG6181-Q1** 可以非常精确地提供电机转子位置，角度误差低至 0.4°，并支持高达 100,000rpm 的转速，延迟小于 2μs，而 **TMAG5170D-Q1** 有助于确定方向盘的 3D 位置。方向盘角度传感器将数据发送到 ECU，以实现出色的车辆操作和控制。

电气化不仅涉及汽车，还涉及电动自行车、踏板电动自行车和电动踏板车等运输系统。虽然这些产品已经问世多年，但在电机换向、转速和轮速感应方面仍有新的进步，需要位置传感器。电动自行车有几种新趋势值得注意：

- 电机换向之前是通过三锁存器无刷直流电机实现的，但大多数电动自行车电机提供商现在都通过高速、高精度角度传感器来监控电机。**TMAG6180-Q1** AMR 传感器具有高精度角度测量（室温下为 0.1°），因此非常适合这种应用。
- 使用 **TMAG5115** 等霍尔效应锁存器进行车轮转速和节奏监控可实现低抖动和快速响应时间，从而实现精度更高的速度和方向测量。过去，霍尔效应开关主要用于车轮转速检测。

趋势二：提高可靠性和安全性的需求

在开发工业、个人电子产品和汽车系统的同时，设计人员还在思考如何使他们的设计更可靠，以延长产品的寿命。位置检测的一个新趋势涉及到通过几种不同的方法来实现这一目标：从机械系统转向磁传感器，以及加速实现功能安全合规性。

磁传感器消除了由摩擦引起的恒定机械磨损。例如，在无绳电动工具中，机械触发器设计是很常见的故障模式，制造商通常要求在产品生命周期内进行 >200,000 次循环。使用寿命周期目标因最终产品而异，但人们期望基于磁的解决方案能够延长产品寿命。**表 1** 总结了其中的一些示例。

应用	现有技术	使用位置传感器而非机械传感器的好处	推荐技术
用于无线电动工具和医疗电钻的触发器	机械电位器设计	<ul style="list-style-type: none"> • 延长了触发机制的生命周期。 • 您可以将传感器直接放置在主电路板上，无需外部模块。 	霍尔效应，电感式
冰箱门开/关检测	微型开关	<ul style="list-style-type: none"> • 无需可见开关，就能呈现美观的门接口。 	霍尔效应
游戏控制器和键盘	机械设计	<ul style="list-style-type: none"> • 提供了检测特定按钮或触发器上作用力的功能。 • 在游戏控制器中，这有助于防止随着时间的推移而出现漂移。 	霍尔效应，电感式
转向系统： 转向杆换挡器、转向柱、旋钮和电子换挡器	机械设计	<ul style="list-style-type: none"> • 使用无磨损的电气位置信号提供线控转向方法。 	霍尔效应、电感和 AMR
制动系统	机械液压设计	<ul style="list-style-type: none"> • 电子线控制动提供了更高的安全性和快速的响应时间。 	霍尔效应，电感式

表 1. 转向非接触式方法的工业、个人电子产品和汽车系统应用示例。

汽车电气化的出现，以及几乎所有电力驱动产品都增加了更多的电子设备，共同推动了对功能安全的需求。汽车行业的汽车产品遵循国际标准化组织的 26262 标准，而工业部门则遵循国际电工委员会的 61508 标准。功能安全旨在

通过消除由电子系统故障引起的不合理风险来保护用户。如果系统发生故障，则应默认为可预测的已知状态。

根据严重程度或后果（可能发生的伤害程度）、暴露或可能性（发生的可能性有多大）和可控性（用户可控制的程度）、汽车和工业功能安全标准分为几类。汽车系统中需

要最高功能安全等级的几个例子是 EPS 或换挡系统（电子换挡器）。考虑到与系统故障相关的风险，这两个系统通常都需要最高汽车等级 (ASIL D)。

为了满足 ASIL D 级要求，系统开发人员通常使用冗余传感器或解决方案，这些解决方案具有两个完全相同但独立的传感器，它们在内部相互隔离。两个传感器同时发生故障的可能性非常低。这些类型的高性能系统也需要高精度角度检测。**TMAG5170-Q1** 3D 传感器及其双芯片同等产品 **TMAG5170D-Q1** 具有针对器件和系统级别的内置诊断功能。

趋势三：最终产品的整体外形小型化

第三个趋势与磁系统设计的小型化有关。缩减产品尺寸的原因很多：为了降低成本、提升用户体验、打造更时尚的外观，这样做通常涉及缩减磁体尺寸或使用多轴传感器。另一种风险较小的方法是通过迁移到制造流程允许的尺寸更小、集成度更高的元件来减小电路板尺寸。为了解决这些问题，德州仪器 (TI) 提供了采用 Extra-Small Outline No-lead (X2SON) (1.1mm² x 1.4mm²) 和 Wafer Chip-Scale Packaging (WCSP) (0.8mm² x 0.8mm²) 封装的小尺寸解决方案。在小型封装中实现高集成度的一个例子是 **TMAG3001**，它是采用 WCSP 封装的 3D 线性解决方案。

缩减磁体尺寸会带来问题，因为这意味着磁场较弱，因此需要具有高灵敏度的磁传感器。借助 **TMAG5231** 等高灵敏度解决方案，有望使用更小的磁体。或者，您可以将磁体放置在更靠近传感器的位置，以便在没有高灵敏度解决方案的情况下实现精确测量。对于较弱的磁场，具有高信噪比 (SNR) 的器件有助于确保尽可能精确的测量。

DRV5055 和 **TMAG5253** 可以提供高达 70dB 的 SNR。

不论技术如何发展，缩小终端设备尺寸的大趋势对任何位置传感器都是一个挑战。电感式传感器使用金属目标来检测物体的位置或存在，通过满足数据表中规定的指南，可以实现与健身腕带上侧按钮一样小的外形尺寸。电感式传

感器的主要系统级要求是使感应线圈的尺寸与目标相同，并且位于线圈直径的 10% 到 20% 范围内。趋向于缩小尺寸的应用示例包括医用胰岛素泵、手术内镜工具以及工厂自动化中的气缸。

通过减少元件数量，还可以实现小型化。例如，在电表（或智能电子锁和门窗传感器）中实现篡改检测涉及使用单个 3D 线性传感器，而非三个霍尔效应开关或线性器件，来检测大型外部磁体的篡改，这种篡改导致电表无法准确测量用电量。设计人员正在使用 3D 磁传感器通过更低功耗和可调外部磁场检测器件（如 **TMAG5273**）来改进电表设计。借助此类器件还可通过更少的元件实现小型化的其他优势，包括采用单个数字接口而非多个输出，降低印刷电路板组装成本以及提高磁性灵敏度的可配置性。

当使用更少的元件来缩小系统尺寸时，增量和绝对编码器设计人员面临的一个挑战是如何提高产品的分辨率，包括在数字或模拟输出解决方案之间进行选择。增量编码器监控磁体的移动速度或速率以及方向。绝对编码器可以做到这一点，并始终能在高分辨率下确定其确切位置。

增量编码器设计人员使用数字输出霍尔效应锁存器时，分辨率严格取决于系统中磁极的数量。实现更高的分辨率需要更高极数的环形磁体，而随着磁极尺寸变小，磁体产生的磁场本身就会变弱，迫使设计人员将传感器放置在更靠近磁体的位置或使用灵敏度更高的传感器。此时，大多数设计人员转为使用具有双集成锁存器的单芯片解决方案，例如 **TMAG5111**。务必确保双锁存器解决方案具有内置的 2D 锁存器，这可以在监控 3D 空间中的任何两个轴时实现很大的灵活性。更高分辨率的设计需要带有线性传感器的绝对编码器。具有角度测量功能的单个 3D 线性传感器是高分辨率绝对编码器的最终迁移步骤。请注意，此实现仅测量两个轴，但大多数 3D 线性传感器可以灵活地配置任何两个轴。使用 3D 传感器的一个额外好处是能够检测按压功能。**图 4** 展示了编码器设计的趋势。

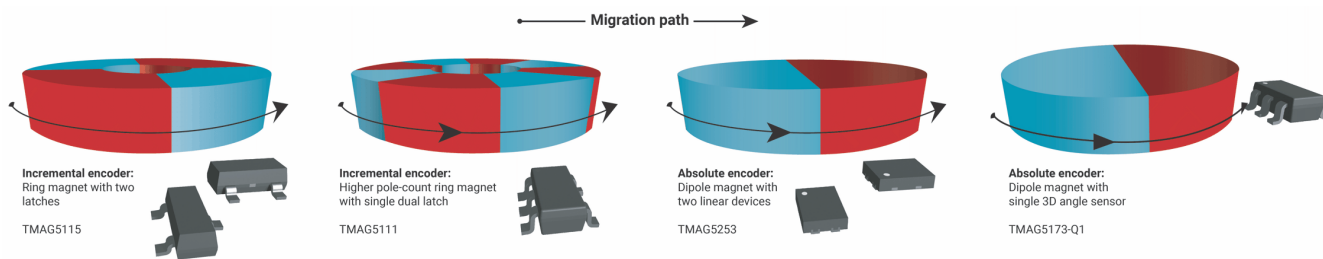


图 4. 编码器的更高分辨率趋势。

趋势四：从稀土材料到铁氧体的过渡

稀土材料的生产主要集中在全球少数几个国家/地区。这些材料并非取之不尽、用之不竭，按照目前的消耗速度，如果不进行回收利用，预计世界储量很可能在 21 世纪下半叶耗尽 [1]。

一些公司已经开始通过将一些磁体消耗转移到铁氧体材料来减少依赖和地缘政治风险。铁氧体磁铁的成本仅为稀土磁铁（如钕铁硼）的一小部分，而且由于铁氧体材料丰富，价格稳定。使用铁氧体磁体的缺点是产生的磁场大大减少，降低了多达 10 倍，并且温漂为 0.2%/°C。

德州仪器 (TI) 的 **TMAG5170** 和 **TMAG5273** 磁传感器与陶瓷铁氧体或稀土磁体配合使用，并具有专门针对这些磁体类型的温漂补偿功能。

结语

创新是工业和汽车系统不可或缺的一部分，位置传感器对于需要精确测量线性或旋转运动的应用至关重要。随着各个行业采用新型技术，市场对提升安全和用户体验的需求将持续增长，进而需要精确的感应技术。德州仪器 (TI) 的位置传感器正在推动这四个趋势，公司将在未来继续开发位置传感器，以支持下一波浪潮。

参考资料

1. Britannica. n.d. “**Abundance, Occurrence, and Reserves.**” 2023 年 10 月 24 日。

其他资源

1. 阅读白皮书，[将霍尔效应传感器用于非接触式旋转编码和旋钮应用](#)。
2. 阅读设计指南，[使用 LDC1314 电感数字转换器的 1° 转盘设计指南](#)。
3. 阅读技术文章，[仪表防篡改：阻止那些讨厌的篡改电表者](#)。
4. 阅读应用手册，[利用 2D 霍尔效应传感器减少增量旋转编码的正交误差](#)。
5. 请参阅 [TMAG5115 评估模块用户指南](#)。

重要声明： 本文所提及德州仪器 (TI) 及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。建议客户在订购之前获取有关 TI 产品和服务的最新和完整信息。TI 对应用帮助、客户的应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不负任何责任。有关任何其它公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的认可、保证或授权。

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