

Scott Bryson

引言

随着汽车行业在车辆电气化、自动化和连接性方面不断取得进步，传统的机械车辆控制系统现在正在被电子实现所取代。这些线控系统可以实现更精确的操控、更简单的维护以及通过对车辆控制装置进行数字控制操作而增强的安全功能。电子控制模块还为车内布置和系统本身的设计提供了更大的灵活性。

例如，传统的换挡器依赖于与变速箱的机械连接，并且必须靠近车辆的变速器。线控换挡系统捕获来自驾驶员的输入，以使用执行器远程换挡。因此，换挡器可以由转盘、按钮或转向柱模块代替，其样式与传统的转向灯或雨刮器控制装置类似。

磁性位置传感器提供了一种日益流行的方法，可消除机械接触点、减小整体设计尺寸，并提供诊断功能和其他可提高安全性的集成功能。

包括转向灯、雨刮器、前照灯和柱式换挡器控制装置的转向柱模块受益于线控模块提供的机械简化和系统诊断功能。

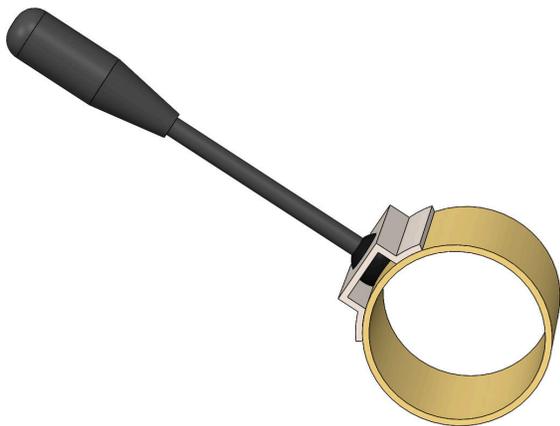


图 1. 转向柱控制模块

消除机械接触

过去，转向柱控制装置（如控制杆、旋钮和操纵杆）都是使用机电部件实现的。在大多数情况下，这些控制装置均由小压力开关或电位器进行监控。

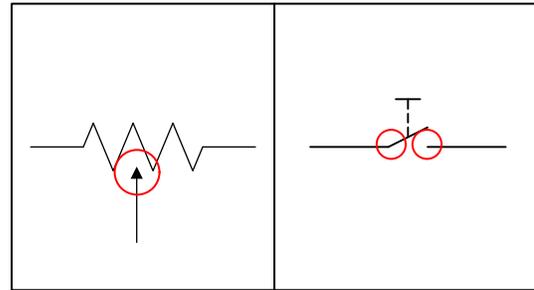


图 2. 常见机械故障点

但是，这两种机械部件存在一个明显的缺点，那就是磨损。随着时间的推移，由于机械磨损、氧化或聚集其他表面污染物（如灰尘或污垢），开关冲击板的电触头或电位器的抽头容易退化。随着机械触点的质量下降，控制的可靠性会成为一个重要问题，尤其是在汽车控制中。假设前照灯、雨刮器或转向灯控制装置出现故障。这些功能中的任何一项出现故障都可能会给用户带来重大的安全风险。

磁感应消除了系统中的机械故障点。磁场能够穿透非铁磁材料，这使得磁体和传感器可以自由移动并且不受污染物的影响。

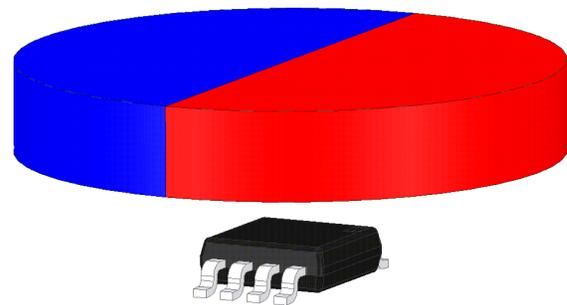


图 3. 非接触式位置测量

例如，TMAG5170-Q1（如[非接触式位置测量](#)所示）无需进行任何物理接触，即可跟踪传感器上方径向旋转磁体的角度位置。这种类型的配置可用于替换控制系统中的各种旋钮和拨盘。

充分减小设计尺寸

汽车控制中的另一个重要问题是监控大量机械开关所需的总体设计尺寸。对于由通用输入/输出 (GPIO) 监控的

每个开关，可能需要大量的外设电路，才能实现稳健的位置跟踪。在提供 100 个或更多开关的高级系统中，这会导致庞大的 PCB 设计。

下面以控制车前灯的转向灯控制装置（如[多功能位置检测](#)所示）为例来进行说明。

控制杆必须能够触发至少九个分立式位置，以操作远光灯、超车闪光灯和转向灯。此外，通常会在轴的末端添加一个旋钮，以便在关闭、驻车灯和标准前照灯设置之间进行选择。

所有这些位置都可以通过多个电阻式接触板和压力开关来实现。这些组件每个都需要偏置电路和 GPIO 控制。在电子元件可用空间有限的固定装置中，应使用能够检测多种设置的磁性位置传感器。

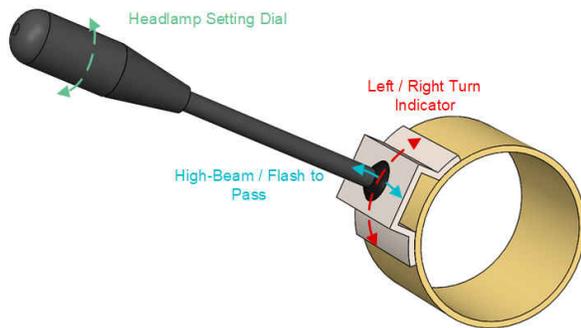


图 4. 多功能位置检测

在此示例中，只需使用两个 TMAG5170-Q1 传感器即可实现所有功能。该器件是一款 3D 线性霍尔效应传感器，可对其进行编程以检测附近永磁体产生的任何 B 场矢量分量。例如，轴向圆柱磁体可以放置在组件内，使传感器与空档位置对齐。在这里，磁场完全朝向传感器的 Z 方向。当指示轴移动到不同位置时，X 和 Y 场分量可用于计算运动方向和行进距离。

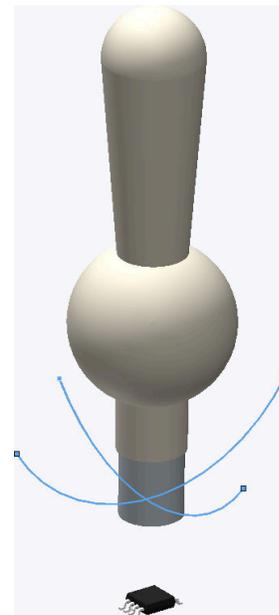


图 5. 操纵杆运动

第二个传感器方便地放置在轴的末端，并与前照灯拨盘控制装置中的旋转磁体同轴放置，如[多功能位置检测](#)所示。径向圆柱磁体的旋转轴直接放置在传感器上方。使用之前[非接触式位置测量](#)中所示的磁体方向时，可以根据磁场的 X 和 Y 分量的角度轻松检测每个前照灯设置。

TMAG5170-Q1 通过串行外设接口 (SPI) 进行通信，并且两个传感器输出必须由主机微控制器定期读取。传感器可以共用同一 SPI 总线，但需要单独的芯片选择输入。由于通过单个控制器读取两个传感器的输出，总设计尺寸可以非常小。

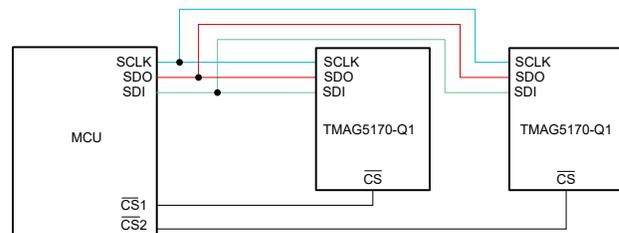


图 6. 简化版方框图

诊断和功能安全

在设计汽车控制时，安全问题是另一个关键问题。与分立式机械实现相比，磁性位置传感器由于内置安全机制、冗余功能和功能安全特性，因此可以降低操作风险并提高系统可靠性。这些传感器不仅可以监控系统性能的异常行为，以防止系统故障，而且还有助于减少因模块发生故障行为（器件损坏或接线故障）而可能导致的危险。

TMAG5170-Q1 包含多种诊断功能来检测和报告系统级和器件级故障。该器件会监控多个参数，包括温度、

磁性组件完整性、电源完整性和通信完整性。该器件还会执行自诊断，以监控传感器本身的精度和性能。而机械部件不提供任何系统级或器件级诊断检查。需要额外的电路来检测元件级故障或监控压力开关和电位器等分立设计的性能下降。这种补充电路会增加整个系统的成本和复杂性。

在安全问题日益受到关注的情况下，通常需要使用冗余传感器来达到最高的安全等级。对于存在这种问题的应用，有必要考虑使用 **TMAG5170D-Q1**。此器件在单个封装中包含两个独立运行的芯片。传感器垂直堆叠，且检测元件紧密对齐。这种形式减少了由于并排放置芯片或使用两个分离器件而产生的系统级失配错误。

唤醒和睡眠以实现节能

转向柱内的许多用户控制装置还有一个额外的要求，那就是当发动机不运转时，某些功能必须工作。在这种情况下，系统仅通过电池供电运行，需要最低的电流消耗。**TMAG5170-Q1** 的另一个特性是，该器件具有集成的唤醒和睡眠功能。在此模式下，传感器进入低功耗睡眠模式，并定期启用霍尔效应传感器以获取读数。

增加转换之间的延迟是大幅降低系统电流要求的另一种方法。**TMAG5170-Q1** 的唤醒和睡眠模式以 1ms、5ms、10ms、15ms、20ms、30ms、100ms、500ms 和 1000ms 的间隔运行。对于双通道配置，单个 **TMAG5170-Q1** 传感器的预期典型电流消耗如表 1 所示。

表 1. TMAG5170 唤醒和睡眠电流消耗

唤醒和睡眠间隔 (ms)	平均电流消耗 (µA)
1	297.19
5	74.65
10	39.04
15	26.68
20	20.39
30	14.05
50	8.92
100	5.05
500	1.93
1000	1.54

结论

转向柱控制模块在单个控制臂上集成了多种功能，并设计为采用 3D 霍尔效应传感器，从而消除了不必要的机械触点，这些触点往往会随着时间的推移而磨损，并且需要额外的电路来实现诊断功能。**TMAG5173-Q1**、**TMAG5170-Q1** 和 **TMAG5273** 等器件中集成的功能和诊断功能可提高线控模块的读取能力，同时保持非常小的尺寸。

如需更多信息，请参阅以下器件建议和支持文档。

表 2. 备选器件建议

器件	特征	设计注意事项
TMAG5170 (TMAG5170-Q1)	具有 SPI 接口的商用 (汽车) 级线性 3D 霍尔效应位置传感器，采用 8 引脚 VSSOP 封装且硬件完整性高达 ASIL B 级。	通过四线制 SPI 进行通信，以提供完整的磁矢量灵敏度。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。
TMAG5170D-Q1	采用双芯片封装的汽车级线性 3D 霍尔效应位置传感器。每个芯片均通过 SPI 独立通信，并采用 16 引脚 TSSOP 封装。	堆叠芯片在单个封装内紧密对齐每个器件的检测元件。电源和 SPI 引脚不在传感器之间共享，必须单独布线。
TMAG5273	具有 I2C 接口、采用 6 引脚 SOT-23 封装的商用级线性 3D 霍尔效应位置传感器。	与 TMAG5170 类似，但通过两线制 I2C 接口通信，具有更宽泛的灵敏度容差规格。
TMAG5173-Q1	具有 I2C 接口的汽车级线性 3D 霍尔效应位置传感器，采用 6 引脚 SOT-23 封装且硬件完整性高达 ASIL B 级。	通过两线制 I2C 接口进行通信，性能与 TMAG5170 相当。

表 3. 相关技术资源

名称	说明
利用霍尔效应传感器测量旋转运动的绝对角度	简要讨论如何使用 3D 传感器测量旋转磁体的角度位置。
使用绝对位置传感器测量 3D 运动	介绍如何使用线性霍尔效应传感器捕获操纵杆应用中常见的旋转磁体的运动。
使用霍尔效应传感器设计操纵杆	讨论操纵杆设计的视频概述和演示。
使用多轴线性霍尔效应传感器进行角度测量	详细讨论如何使用 3D 霍尔效应传感器进行角度测量，并提供了包含按钮式旋钮测试数据的示例设计。
TMAG5170UEVM	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。
TMAG5173EVM	GUI 和附加装置采用三维线性霍尔效应传感器实现操纵杆功能。
TMAG5170DEVM	GUI 和附加装置采用两个三维线性霍尔效应传感器进行角度测量。
TI 高精度实验室 - 磁传感器	一个实用的视频系列，介绍霍尔效应以及如何各种应用中利用霍尔效应，还包含一个介绍 CORDIC 计算的视频。

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