

摘要：为朝着半自动驾驶和全自动驾驶发展期间出现的汽车电气化趋势，尤其是为了让电子转向助力（EPS）和电子制动系统满足必要的安全标准，以确保无人驾驶汽车的安全性和可靠控制时需要作出的改变提供一些见解。本文分析了 ADI 公司提供的磁阻（MR）位置传感器产品和基于分流器的电流检测放大器产品，它们可使 EPS 和电子制动系统中使用的无刷电机实现高性能换相和安全运行。

关键词：电机位置传感器；汽车电气化；EPS；电子转向助力；安全；ADI；MR；磁阻

中图分类号：U463.6 文献标识码：B 文章编号：1006-883X(2020)04-0033-04

收稿日期：2020-04-01

适用于安全关键应用的双 AMR 电机位置传感器

Enda Nicholl

ADI

一、前言

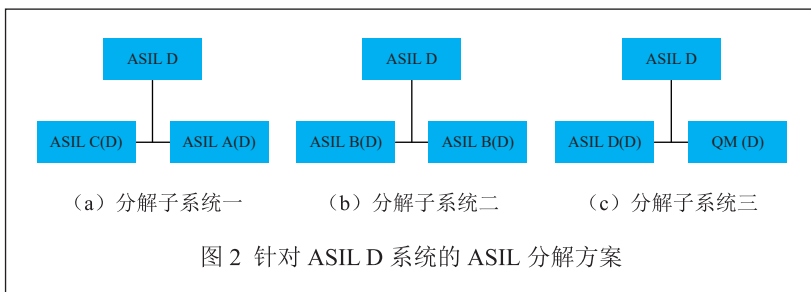
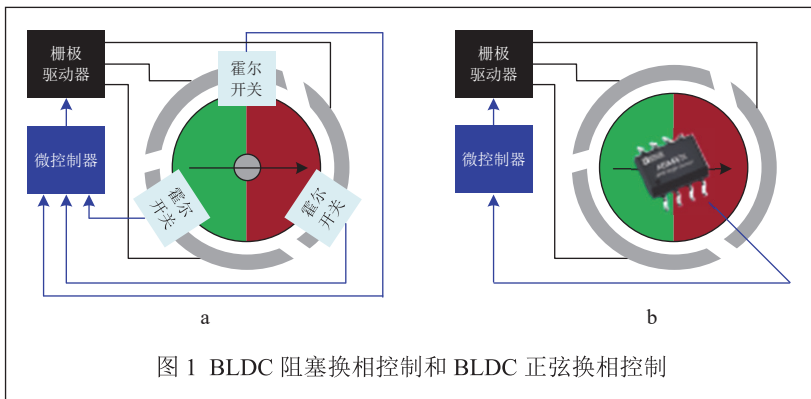
近年来，因为人们更加重视提高车辆安全，所以主动高级驾驶员辅助系统（ADAS）不断得到发展和推广，它是对依赖安全气囊来保护驾驶员和乘客安全的传统被动系统的一种补充。这些新出现的系统最初是为了帮助驾驶员在危急情况下做出正确决策，从长期而言，则是替代驾驶员做出决策。这些技术进步也引领着汽车朝向半自动和全自动驾驶转变。让电子控制单元（ECU）代替驾驶员做出决策，让执行器负责进行车辆转向和制动操作，如此，将驾驶车辆的任务移交给传感器、ECU 和电子执行器。这一趋势推动我们开始开发更可靠、更智能、性能更高的冗余电子执行器解决方案，这些解决方案需要符合 ISO 26262 功能安全标准。这是一项基于风险的安全标准，对危险操作情况的风险进行定性评估，并在组件和系统设计中融入安全措施，以避免或管控系统故障，以及检测或控制随机出现的硬件故障或减轻其影响。这些执行器系统通常使用无刷直流（BLDC）电机驱动，由于这些系统对安全性至关重要，设计人员在设计解决方

案的硬件和软件时，必须保证系统能够满足汽车安全完整性等级（ASIL）D 级的高标准^[1]。

二、BLDC 电机换相和控制

顾名思义，无刷直流电机没有电刷触点，需要使用电机位置传感器（MPS）来测量定子与转子之间的相对位置，以确保定子线圈按正确顺序通电。电机位置传感器在启动时至关重要，因为此时微控制器没有可用的反电动势来确定转子和定子的相对位置。

传统上，阻塞换相（见图 1a）由三个霍尔开关组成，用于指示无刷直流电机中转子的位置。由于人们要求提高 BLDC 电机驱动器（包括 EPS 系统）的性能，尤其是降低其噪声、振动和不平顺性（NVH），以及提高其运行效率，所以阻塞换相逐步被正弦换相控制取代。霍尔开关则可由安装在电机轴末端的双极磁铁前面的 MR 角度传感器代替（见图 1b）。在典型的应用中 MPS 也被安装在 ECU 总成上，ECU 则被集成到电机外壳中，并且安装在电机轴的末端。



三、安全关键应用的功能安全（示例 EPS）

ISO 26262 于 2011 年引入，作为一种安全标准，用于解决与电气安全相关的系统故障可能造成的危害，之后被 2018 年版取代。

必须对系统实施安全和风险分析，以确定系统的 ASIL 等级。ASIL 等级是通过审查系统在运行期间潜在危险的严重程度、暴露程度和可控性来确定的。

例如，如果我们对 EPS 系统实施风险和危害分析，可能会得出以下结论：基于这些事件（例如转向卡滞和自动转向等）的严重程度、可控性和暴露性，将这些严重事件评定为 ASIL D 等级。同样，对于即将推出的电子制动系统，可以采用同样的逻辑确定不可控事件的严重程度，如制动卡滞或自动制动^[1]。

根据 EPS 或制动系统示例，ASIL D 系统的评级可以通过分解子系统来实现，如图 2 所示。

并不要求每个系统组件都按照 ASIL D 标准和流程进行开发，以使 ASIL D 系统合规；但是，在进行系统级别的审核时，要求整个系统必须满足要求，并且可以集成 QM、ASIL A、B、C、D 级别的子组件作为系统的组成部分。系统分解还应该确保充分的独立性，

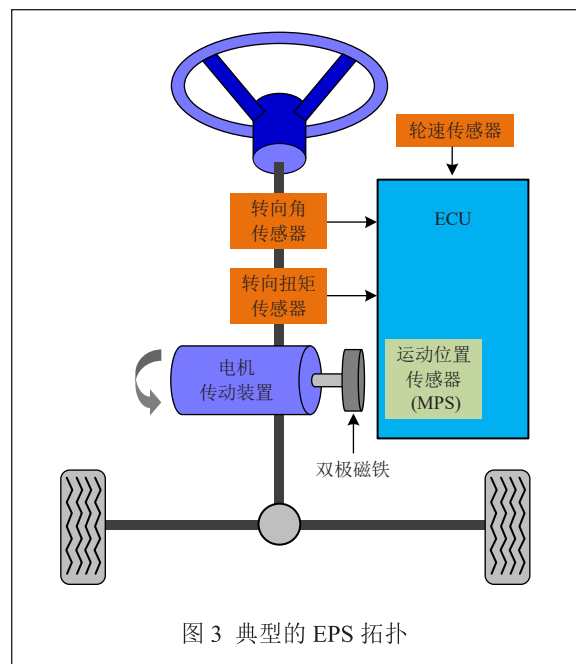
并考虑到依赖或共因故障的可能性。

四、EPS 系统拓扑

典型的 EPS 系统拓扑结构如图 3 所示。EPS ECU 根据驾驶员施加到方向盘上的转向扭矩、方向盘的位置和车辆的速度来计算所需的辅助功率。EPS 电机通过施加力来转动方向盘，减少驾驶员操纵方向盘所需的扭矩。

电机轴位置（MSP）角结合相电流测量信息，用于对 EPS 电机驱动器实施换相和控制。基本的典型 EPS 电机控制环路如图 4 所示。所需的扭矩辅助等级因驾驶条件而异，由车轮速度传感器和扭矩传感器决定，扭矩传感器测量驾驶员或无人驾驶汽车中的电机执行器施加到方向

盘上的扭矩。然后，微控制器使用 MSP 数据和相电流数据来控制提供给电机（提供所需的辅助）的电流负载。

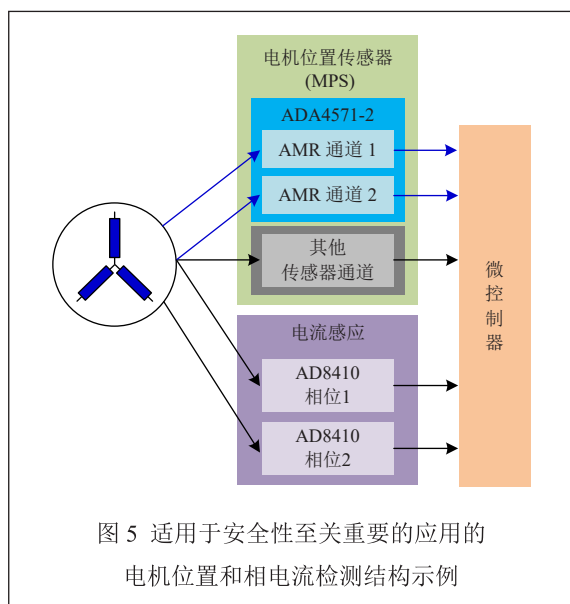
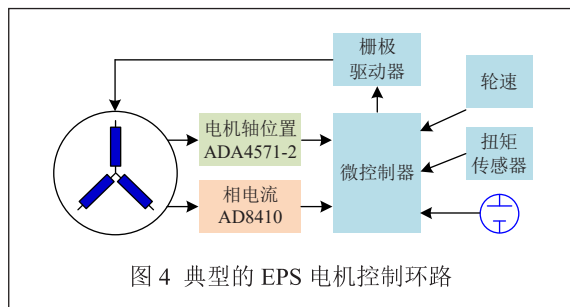


五、EPS 电机位置和相电流传感器

MPS 传感器故障可能导致或加重系统故障，例如转向锁止或自动转向，因此 MPS 是 EPS 系统中的关键组件。所以，重要的是，系统要能够综合全面地诊断传感器故障和冗余，以确保在 MPS 传感器出错或发生故障时能够确保继续正常运行，确保不会发生严重的系统故障，或者在出错时，系统能以安全方式停止运行^[2]。

电流检测放大器通常用于间接精确测量电机负载，一般应用于三个电机相位中的两个相位，提供额外的诊断信息(可以作为整体系统安全保障措施的一部分)。

此外，高度准确的电机位置和相电流测量可以从系统层面改善 EPS 电机的控制性能，实现非常高效、安静、平稳的转向，从而改善整个驾驶体验，因此它是系统中的关键组件。



六、EPS 电机控制的功能安全

在 EPS 或其他安全性关键电机控制应用中，我们可以采用不同的方法来实现 ASIL D 合规性。以下示例说明：可以将双重各向异性磁阻 (AMR) 电机位置传感器和 ADI 的电流检测放大器集成到这样的系统中，提供所需的性能等级和冗余，从系统级别实现 ISO 26262 ASIL D 合规性。

在图 5 所示的框图中，用基于不同技术 (例如霍尔、GMR 或 TMR) 的另一个传感器对双 AMR 传感器进行了完善和补充。双 AMR 传感器用作主 (高精度) 传感通道，第二个不同传感器技术通道有三个用途：

- 启用“三选二” (2oo3) 比较，以验证当与其他系统输入组合时，其中一个传感器通道是否出现故障；
- 在发生可能性极低的两个 AMR 通道都出现故障情况下，提供位置反馈；
- 在电机极数为奇数的情况下，为微控制器提供 360° 象限信息，用于电机换相。

准确的角度测量将继续由双 AMR 传感器的两个通道提供。额外的系统诊断，例如电机负载和轴的位置，可以从准确相位电流检测放大器的动态状态 (反电动势) 间接推断得出。

如果我们查看这个传感器架构示例中所有可能的传感器故障模式，可以看出，应该始终有两个位置传感器输入可用于进行可靠性检查。即使在两个 AMR 通道都由于常见的故障原因导致同时故障这种极不可能的极端示例中，仍然可以使用来自辅助传感器通道的降级位置检测信息和电流传感器在动态状态下提供的反电动势信息进行交叉比对，以确保系统的基本功能继续正常运行。

这种系统级别的诊断功能将确保不会发生严重的故障模式，并且保证系统实现 ISO 26262 ASIL D 合规性。之后，可以安全关闭系统的电源，或者转入跛行回家模式，以返回经销商处进行维修。

七、总结

随着用于提高汽车安全性的 ADAS 推出，以及全自动和半自动驾驶车辆的出现，人们开始要求获得更

可靠、更智能、性能更高的冗余电子执行器解决方案，且要求该方案符合 ISO 26262 功能安全标准。ADI 公司提供的电机轴位置和相电流检查产品不仅能满足提高性能，实现更顺畅、更高效的电机控制的要求，还提供了在 EPS 或制动系统等安全性至关重要的应用中实现高 ASIL 要求所需的冗余。

ADI 提供的 ADA4571-2 双 AMR 传感器专为需要冗余和独立检测通道的这类安全性至关重要的应用而设计。它是一款双通道 AMR 传感器，集成了信号调理放大器和 ADC 驱动器。该产品包括两个 AMR (Sensitac AA745) 传感器和两个放大器信号调理 ASIC。该传感器提供非常低的角度误差信号，通常在 0.1° 范围内，具备可忽略的迟滞、高带宽、低延迟和良好的线性度。这些特性能够帮助减少转矩波动和可听到的噪声，帮助实现顺畅、高效的 BLDC 电机控制。此外，AMR 传感器在饱和 >30mT 条件下工作，没有磁场窗口上限，而且传感器在高磁场条件下运行，因此解决方案能够经受严苛环境下的杂散磁场。

ADI 提供的 AD8410 电流检测放大器能够在 EPS 和其他 BLDC 电机控制系统中的分流电阻上进行双向电流测量。这是一个高电压、高分辨率和高带宽的分流放大器，用于在严苛环境下提供所需的准确测量，在安全性至关重要的应用中提供诊断，帮助减少转矩波动和可听到的噪声，实现顺畅、高效的 BLDC 电机控制（例如 EPS 或制动），并改善整个驾驶体验。

参考文献

- [1] ISO 26262-1: 2018. 国际标准化组织, 2018 年 12 月.
- [2] Isshi Koyata. "JARI 活动中, 解决 EPS 系统未来运行故障的方法." 日本汽车研究所 (JARI), 2019 年.

Dual AMR Motor Position Sensor for Safety Critical Applications

Enda Nicholl

ADI

Abstract: This article provides insight into the trends in automotive electrification as we move toward partial and full autonomous driving and, in particular, the

changes required to make electrical power steering (EPS) and electrical braking systems meet the necessary safety standards to ensure the safe and reliable control of driverless vehicles. Analog Devices, Inc. (ADI) is a provider of magnetoresistive (MR) position sensor products and shunt-based current sense amplifier products enabling high performance commutation and safe operation of brushless motors used in EPS and electrical braking systems.

Key words: motor position sensor; automotive electrification; EPS; electrical power steering; safe; ADI; MR; magnetoresistive

作者简介

Enda Nicholl: ADI 公司位于爱尔兰利默里克的 ERDC (欧洲研发中心) 汽车电气化部的战略营销经理。Enda 拥有中等教育证书、英国高等教育文凭、阿尔伯特塔大学机械工程学士学位，拥有 25 年的汽车传感器工作经验，从事应用工程、战略营销和业务开发工作。在此期间，他在 ADI 公司的汽车业务部工作 13 年之久。联系方式: enda.nicholl@analog.com