

# 双AMR电机位置传感器，适用于安全关键应用

作者：Enda Nicholl，战略营销经理

## 摘要

本文就我们在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(EP)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。

ADI公司(ADI)提供磁阻(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EP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。

## 简介

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安全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。

## 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EP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。

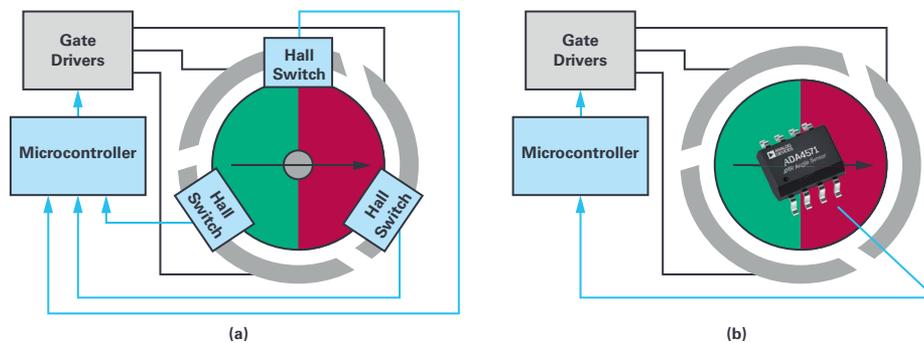


图1. (a) BLDC阻塞换相控制和(b) BLDC正弦换相控制。

ASIL (Automotive Safety Integrity Level)		Controllability (C)			
		C0 Controllable in General	C1 Simply Controllable	C2 Normally Controllable	C3 Difficult to Control or Uncontrollable
Severity (S)	Exposure (E)				
S0 No Injuries	-	QM			
	E0 - Unusual	QM			
	E1 - Very Low Probability	QM			
	E2 - Low Probability	QM			
	E3 - Medium Probability	QM			ASIL A
S1 Light and Moderate Injuries	E0 - High Probability	QM		ASIL A	ASIL B
	E0 - Unusual	QM			
	E1 - Very Low Probability	QM			
	E2 - Low Probability	QM			ASIL A
	E3 - Medium Probability	QM		ASIL A	ASIL B
S2 Severe Injuries, Possibly Life Threatening	E0 - High Probability	QM	ASIL A	ASIL B	ASIL C
	E0 - Unusual	QM			
	E1 - Very Low Probability	QM			
	E2 - Low Probability	QM			ASIL A
	E3 - Medium Probability	QM	ASIL A	ASIL B	ASIL C
S3 Life Threatening or Fatal Injuries	E0 - High Probability	QM	ASIL B	ASIL C	ASIL D
	E0 - Unusual	QM			
	E1 - Very Low Probability	QM			ASIL A
	E2 - Low Probability	QM		ASIL A	ASIL B
	E3 - Medium Probability	QM	ASIL A	ASIL B	ASIL C
E0 - High Probability	QM	ASIL B	ASIL C	ASIL D	

图2. ISO 26262 ASIL评级矩阵。

### 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（见图2）。

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。

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3a、图3b和图3c所示。

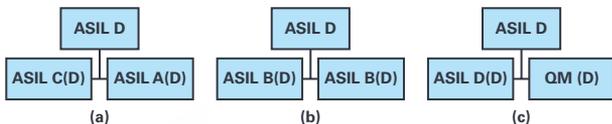


图3. 针对ASIL D系统的ASIL分解方案。

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。

### EPS系统拓扑

典型的EPS系统拓扑结构如图4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。

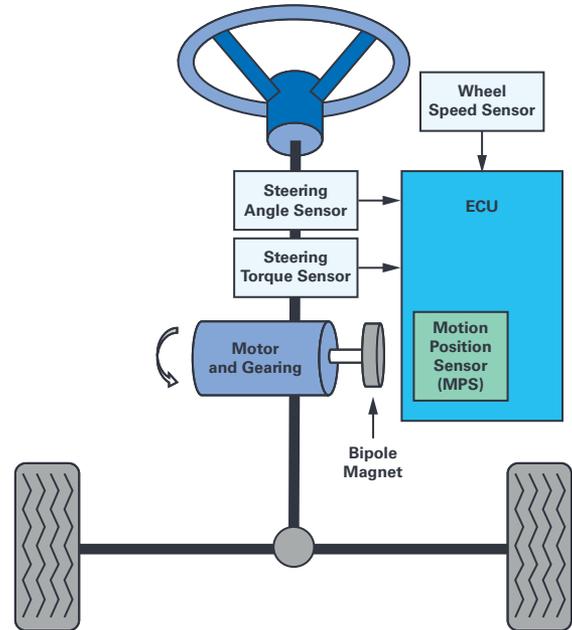


图4. 典型的EPS拓扑。

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5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。

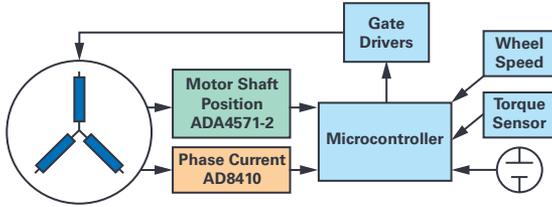


图5. 典型的EPS电机控制环路。

## 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, 系统能以安全地方式停止运行。

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。

## 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6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。

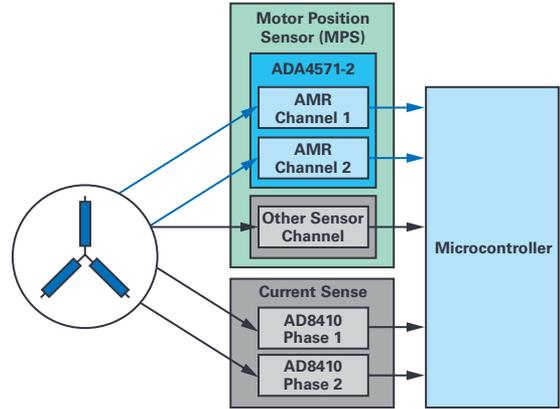


图6. 适用于安全性至关重要的应用的电机位置和相电流检测结构示例。

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。

## 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度范围内, 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>30 mT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。

## 参考资料

ISO 26262-1:2018。国际标准化组织，2018年12月。

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。



## 作者简介

Enda Nicholl是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](mailto:enda.nicholl@analog.com)。



ADI公司  
请访问[analog.com/cn](http://analog.com/cn)

如需了解区域总部、销售和分销商，或联系客户服务和  
技术支持，请访问[analog.com/cn/contact](http://analog.com/cn/contact)。

向我们的ADI技术专家提出棘手问题、浏览常见问题解  
答，或参与EngineerZone在线支持社区讨论。  
请访问[ez.analog.com/cn](http://ez.analog.com/cn)。

©2019 Analog Devices, Inc. 保留所有权利。  
商标和注册商标属各自所有人所有。

“超越一切可能”是ADI公司的商标。

