

Application Brief

使用 C2000 F29 MCU 优化 EPS 系统



Susmitha Bumadi

汽车市场日新月异，在电动助力转向 (EPS) 等安全至关重要的细分市场中，人们一直在寻求更多可靠且节省空间的创新设计。在当今的新型汽车中，电动助力转向是实现高度自动驾驶的一项标准先进技术。电动助力转向系统于 1951 年投入商业使用，是一种让驾驶员能够更轻松地操纵车辆的手段。从那时起，大多数动力转向系统都依赖于液压机构或电子液压机构。最近，人们开始采用纯电动助力转向系统。EPS 系统无需液压泵、软管和储液罐，效率更高，结构更紧凑。早期的 EPS 系统虽然有效，但缺乏最新 EPS 系统的操纵感和精密性。如今的 EPS 与卓越的驾驶辅助功能紧密结合，同时为驾驶员提供良好的操纵感。

由于 EPS 系统提供的巨大辅助，现代汽车只需要驾驶员稍微用力就能操纵车轮。EPS 可与 ADAS (高级驾驶辅助系统) 结合使用，以提供车道保持辅助、自适应巡航控制等帮助。

从根本上说，EPS 系统通过测量驾驶员的输入力和方向盘的位置来提供与驾驶员输入力成正比的额外辅助力。此外，该系统还能确保转向角度与驾驶员的预期方向一致。有鉴于此，一些与安全相关的问题也就显而易见：

1. 当驾驶员无意让 EPS 系统转向车辆时，该系统不会提供转向力
2. 系统不会根据驾驶员的输入过度转向或转向不足。

EPS 系统的主要元件包括转向柱、传感器、电机、电池、转向齿条以及电子感应与控制机制。该系统的输入由驾驶员在方向盘接口处提供。传感器负责检测方向盘的移动 (方向、速度和角度) 并将该数据发送到微控制器。数据会得到处理，信号会发送到电机驱动器。电机开始运转，并通过施加的力旋转转向齿轮，从而降低驾驶员所需的扭矩。电机配有转子位置传感器，用于检测转子的位置。EPS 系统中有扭矩和角度传感器 (大多带有 SENT 接口)，用于测量驾驶员施加到方向盘上的扭矩和方向盘的角度。

EPS 系统可以是失效防护系统，也可以是故障运行系统。在故障情况下，失效防护型 EPS 系统不再提供辅助，系统转为手动模式，而故障运行型系统可为驾驶员提供全部或部分辅助。这种设计采用双冗余或三冗余功能，可达到所需的安全 ASIL 级别。

当今电动助力转向系统的核心电子元件是现代 32 位和 64 位微控制器 (MCU)。只有高性能 MCU 才能为复杂的电机控制功能提供足够的计算能力和专用外设。由于 EPS 系统与驾驶安全有关，因此对系统的功能安全要求很高 (ASIL-D)。在配备高级 ADAS 或自动驾驶功能的系统中，需要具备故障运行功能。模拟反馈完整性需要冗余采样和比较。安全 PMIC 需要通过 SPI 实现轨道监控和 Q/A 看门狗功能，来检测常见故障。在主机通信方面，需要使用多个 CAN FD 接口，并满足 AutoSAR 和安全要求。在许多情况下，MCU 还需要满足 FOTA (无线固件) 和网络安全 (EVITA full) 要求。

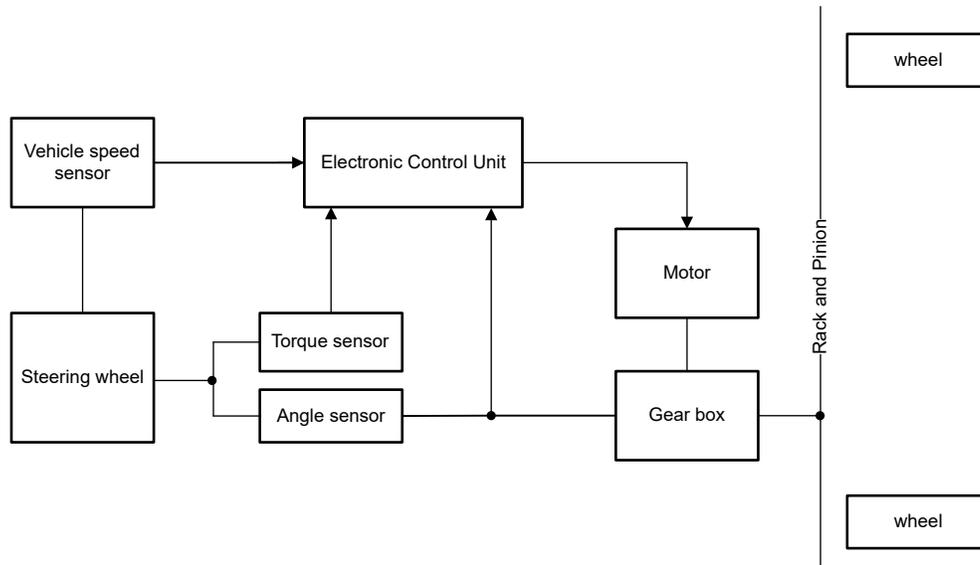


图 1. 电动助力转向方框图

用于 EPS 的 F29x

F29x 系列微控制器是 C2000™ 实时微控制器系列的最新成员。F29x 系列是可扩展的超低延迟器件，旨在提高电动电子产品的效率。实时控制子系统拥有运行频率为 200MHz 的 C29 DSP 内核，完全能够运行要求苛刻的汽车和工业控制应用。

它具有许多特性，可支持系统级 ASIL-D 功能安全设计。C29x CPU1 和 CPU2 内核同步运行，可检测永久性故障和瞬态故障。此外，除其他安全特性外，该器件架构还具有 CPU 内置 ECC 逻辑、总线互连中的端到端安全、用于系统性故障汇总和诊断的错误信号模块等。这些特性对于实现 EPS 应用所需的安全功能至关重要。

功能安全和信息安全单元 (SSU) 与 C29 CPU 相结合，可在不影响实时性能的情况下帮助系统设计人员满足实时控制应用中最严格的现代功能安全和信息安全标准。SSU 具有情境相关的 MPU 机制，可以根据当前正在执行的线程或任务自动切换硬件的访问权限。这样一来，EPS 应用可以实现真正的无干扰 (FFI) 功能，从而在控制和通信方面实现安全任务隔离，同时保持要求严苛的实时系统所需的相同高速和低延迟处理。存储器、外设和堆栈均由 SSU 全面保护以实现完全隔离。

硬件安全管理器 (HSM) 提供 EVITA-full 安全支持。HSM 支持在不可信的工厂环境中进行安全密钥和代码配置、安全启动、运行时加密服务，并支持通过 A/B 交换对 HSM 进行无线固件更新。

F29x MCU 集成了 SENT 接收器以支持 EPS 应用。SENT 通道可用于与传感器连接。目前，有许多使用 SENT 接口开发的传感器。多个传感器可连接到同一个 MCU。这样就可以自由选择自己的传感器。

在 EPS 冗余系统中，MCU 通常相互通信以监控运行状态。实现 EPS 功能的 MCU 必须能够通过高速、低延迟和同步链路进行通信。快速串行接口 (FSI) 模块是一个串行通信外设，能够跨电压隔离边界进行稳健的高速通信。与其他串行通信外设相比，FSI 的成本更低，同时还具有硬件附加功能 (CRC 校验)，只需几根线就能提高跨器件的数据完整性。C29 中的快速串行接口 (FSI) 可跨隔离边界实现高达 200Mbps 的稳健通信。因此，FSI 可用于 EPS 应用中的 MCU 间通信。

随着这种安全关键型系统成为汽车行业的趋势，从 EPS 到线控转向，都需要配备功能安全和信息安全机制的小型冗余系统。F29 是理想的器件系列，能为不同类型的 EPS 系统提供封装扩展性 (100 引脚 QFP 至 256 引脚 BGA) 和器件规格 (锁步配置和闪存尺寸) 扩展性。独特的通信外设 (例如 FSI 和 SENT) 为 F29 带来的优势使其成为这些安全应用领域的理想产品。

商标

C2000™ is a trademark of Texas Instruments.

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