

## Technical Article

## 借助高度集成的实时控制 MCU 实现更平稳、更静音的电机性能



TI 员工



消费者希望电器能够静音运行，并具有更高的机械和电气耐用性。即使手持工具、洗衣机、风扇以及暖通空调 (HVAC) 单元等终端设备也是如此。

过去，改善声学性能、动态行为和系统寿命的方法是改进机械设计，采用新材料，或者采用热管理或高级控制策略。其中许多控制策略都需要跨多个器件进行实现：一个用于处理，另一个用于检测，额外的器件用于信号调节或保护。虽然这些实现在技术上有效，但可能会跨硬件和软件引入紧密耦合的依赖关系，增加延时和抖动，并且需要投入精力来进行集成和调整。因此，面临的挑战已从实现系统性能目标转向在不增加系统复杂性或成本的情况下实现这些目标。

### 使用统一的处理环境推动电机控制发展

在统一的处理环境中实现高级电机控制技术，例如无传感器磁场定向控制 (FOC) 或振动补偿，有助于显著减少协调工作量，减少时序变化并实现更可预测的行为。从软件角度来看，TI 的 [F28E120SC](#) 等高度集成的实时控制微控制器 (MCU) 提供了统一的处理环境，设计人员可以使用该环境简化电机控制应用中检测、控制和驱动功能的实现。

这些 MCU 支持实时电机控制算法（例如无传感器 FOC），当转子位置很难估算时，可帮助设计人员在低速下满足时序预算。更精确的电机控制使扭矩产生更平滑、振动更低和运行更静音，无需依赖外部传感器或专用的加速硬件。图 1 展示了典型电机控制设计中 [F28E120SC](#) MCU 的方框图。

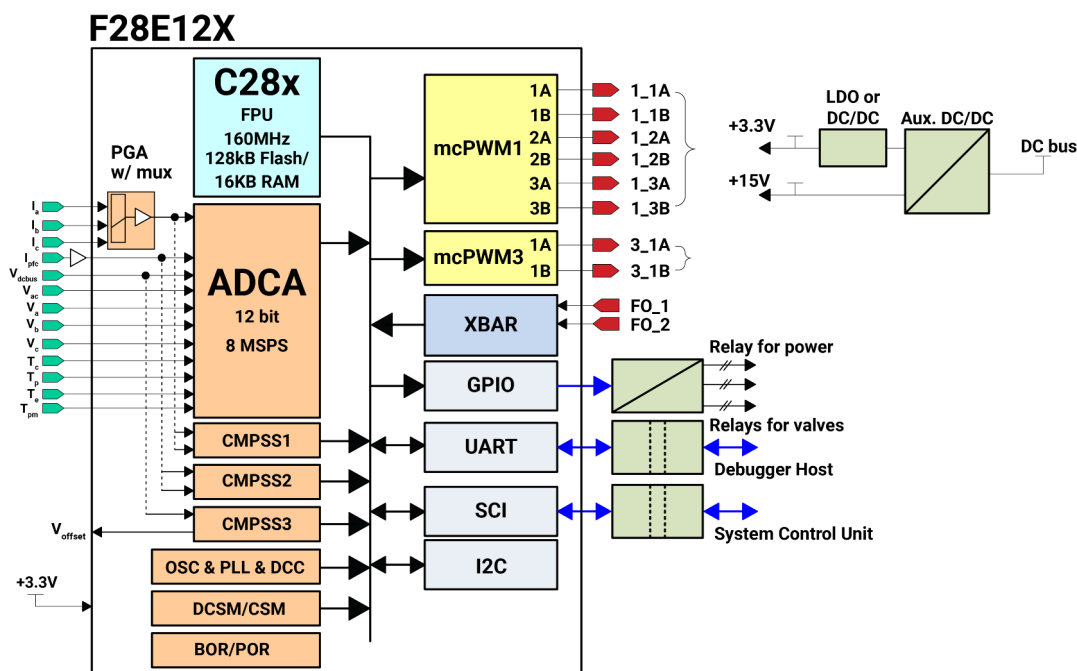


图 1. 典型电机控制设计中 F28E120x MCU 的简化方框图

从硬件的角度来看，这些 MCU 采用集成公式元件，包括高速模数转换器 (ADC) 以及集成式可编程增益放大器和模拟比较器。这些集成式元件可帮助设计人员简化系统信号链，从而实现低噪声电流反馈，无需片外运算放大器或分立式模拟集成电路。

由于这种统一的控制架构不依赖于跨分立式器件手动协调时序，因此设计人员可以减少延时、抖动和系统管理时间。此架构还通过同步脉宽调制 (PWM) 和 ADC 触发来改善系统响应，以使采样与开关事件精确保持一致。

我们来看两个示例，它们演示了统一处理环境对于电机控制的好处。

## 洗衣机中的电机控制

在洗衣机中，电机控制算法需要适应实际条件，例如开环启动、旋转周期内的突然负载不平衡、清洗阶段不同的扭矩需求以及用于织物护理和甩干的精确速度和方向转换。传统架构通常依赖外部传感器、模拟前端和自定义调优逻辑来平稳且静音地管理这些转换。

实时 MCU 将整个控制路径整合到一个器件中。无传感器 FOC 无需位置传感器即可实现平稳可靠的启动和加速。可以使用基于软件的振动补偿来减少桶不平衡和声学噪声，而不是仅依靠机械平衡。

更紧凑的确定性控制架构使得洗衣机电机控制器可以更静音地运行、持续时间更长并且更易于制造。

## HVAC 系统中的电机控制

HVAC 系统必须在空气流量有限、布板空间紧凑且维护频率不高的密闭且散热受限的外壳中长时间运行电机。可靠、高效的系统包含电机控制功能，例如静音启动、稳定的气流控制和高整体效率。

HVAC 系统可以采用与电器中相同的高级控制技术，但还具有热稳定性和长占空比容差。无传感器控制策略无需霍尔效应传感器或编码器，简化了机械设计并提高了长期可靠性。F28E120SC 等 MCU 具有误差校正码保护的闪存存储器和奇偶校验保护的静态随机存取存储器，可在长占空比期间提高系统性能。这些 MCU 的高带宽 FOC 运行和死区时间补偿有助于将总谐波失真降低多达 50%，从而实现更平稳的气流控制和更静音的运行。

即使开关频率增加或热条件变化，PWM 逻辑和 ADC 采样在单个时钟域内紧密同步也可实现一致的控制行为。然后，设计人员可以对压缩机和风扇负载应用更严格的环路控制，调整开关转换，以便显著降低可闻噪声，并且无需那些会因发热或振动而承受应力的外部元件。

## 结语

对于需要在不同负载条件下控制行为需要保持可预测且高效的电机驱动应用，实时控制 MCU 将紧密的模数集成与以周期级精度进行的确定性高性能执行相结合，同时降低了设计成本。

## 商标

所有商标均为其各自所有者所有。

## 重要通知和免责声明

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。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  
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司