

Application Brief

提高 EV 动力总成效率：利用 TMS320F28P55x MCU 优化电机控制和电池性能



Andrew Poirier

简介

两轮车和三轮车电动汽车 (EV) 平台的快速发展带来了新的设计挑战，印度和东南亚地区尤为如此。这些设计挑战包括增加 EV 续航里程，降低最终产品成本以及为消费者提供高性能动力总成。高效的牵引逆变器和电池管理系统 (BMS) 解决方案对于优化性能、成本和续航里程至关重要。本文重点介绍汽车 TMS320F28P55x 微控制器 (MCU) 如何帮助制造商应对这些设计挑战并满足不断变化的市场需求。这些 MCU 具有高实时性能、高级模拟和控制功能，再加上 TI 开放的软件生态系统、参考设计和产品支持，使制造商能够实现其设计目标，并满足牵引逆变器和 BMS 应用的生产时间表。

通过提高动力总成效率来延长续航里程并提高性能

适用于电机控制的高效牵引逆变器解决方案

牵引逆变器系统的功效对 EV 的续航里程影响最大。在这些应用中，重要的是利用包含加速器的 MCU 来协助 CPU 进行数学运算，从而提高电机控制的效率和精度。通过在 EV 动力总成中更高效地使用功率，这可直接为牵引逆变器系统带来好处。TMS320F28P55x MCU 具有多个 CPU 加速器，例如浮点单元 (FPU)、三角函数单元 (TMU) 和控制律加速器 (CLA)。

FPU 简化了依赖于浮点数学运算控制算法的移植过程，与基于定点数学运算或不采用 FPU 的 MCU 相比，显著减少了开发工作量。此外，FPU 通过提供额外的浮点寄存器和指令，使 MCU 能够支持使用 IEEE-754 单精度浮点格式运算的硬件。与定点数学 MCU 解决方案相比，使用 FPU 完成复杂的数学运算（如 FFT 和平方根运算）所需的周期数显著减少，减少了 2 倍以上（参见表 1）。

表 1. FPU 性能改进

功能	类型	FPU 周期	FPU64 周期	固定周期数	改进/注释
复数 FFT	512 pt 1024 pt	24243 53219	43935 98683	63192 141037	2.61x (FPU)/1.44x (FPU64) 与定点间的关系 2.65x (FPU)/1.43x (FPU64) 与定点间的关系
实数 FFT	512 pt 1024 pt	13670 30352	20219 45476	34513 76262	2.52x (FPU)/1.71x (FPU64) 与定点间的关系 2.51x (FPU)/1.68x (FPU64) 与定点间的关系
平方根	编译器内在函数	22	22	64	2.91x (FPU/FPU64) 与定点间的关系 - 两种模式都使用 32 位浮点参数
有限脉冲响应 (FIR)	64pt	119	280	111	0.93x (FPU)/0.40x (FPU64) 与定点间的关系 - FIR 算法（使用循环寻址模式）

TMU 通过进一步增强 CPU 的指令集，使 C28x CPU 和 FPU 都受益。表 2 包括 TMU 提供的操作列表。拥有这些指令功能可显著减少对三角函数计算（例如 Park 和 Park 逆变换、空间矢量生成以及 FFT 幅度和相位计算）非常繁重的常用控制应用的周期计数。

表 2. TMU 支持的指令

运行	C 等效运算
乘以 2π	$a = b * 2\pi$
除以 2π	$a = b/2\pi$
分频	$a = b/c$
平方根	$a = \text{sqrt}(b)$
单位正弦	$a = \sin(b*2\pi)$
单位余弦	$a = \cos(b*2\pi)$
单位反正切	$a = \text{atan}(b)/2\pi$
反正切 2 和象限运算	用于协助计算 ATANPU2 的运算
对数	$a = \log_2(b)$
反指数	$a = 2^{- b }$

CLA 与 C28x CPU 和上述加速器并行工作，通过管理低级控制环路来降低 CPU 的带宽。该器件能够访问 TMS320F28P55x MCU 上的各种不同外设，因此能够实现快速中断响应，最大限度地减少 MCU 中断延迟并控制环路延迟。如图 1 中所示，CLA 有助于对发送到 CPU 的几个不同命令进行流水线处理，从而有助于实现更严格的控制循环。所有这些硬件加速器都支持 MCU 在 HEV/EV 动力总成操作中的核心功能和效率，从而增大 EV 的续航里程。

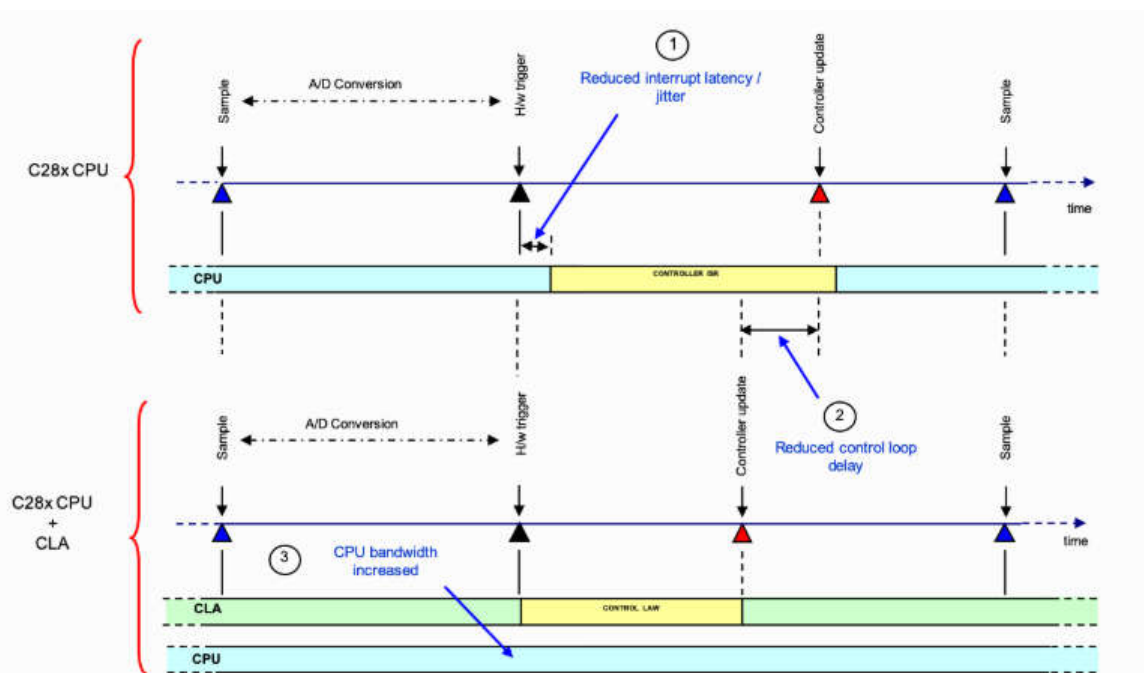


图 1. CLA 的优势

这些器件具有紧密耦合的感应外设、高处理速度和快速驱动功能，可实现实时、低延迟控制。此外，高速 ADC 和增强型 PWM (ePWM) 模块使得这些器件非常适合汽车市场高性能电机控制和数字电源应用。TMS320F28P55x 器件还集成了比较器子系统 (CMPSS) 和可编程增益放大器 (PGA) 来降低 BOM 成本，从而增加了利用这些 MCU 给终端客户带来的优势。

优化电池组的使用

EV 市场的一项关键设计挑战是提高 EV 的续航里程。BMS 在 EV 续航里程中发挥着重要作用，因为它需要以尽可能高效的方式为 EV 动力总成提供电源。随着设计要求的不断增加，改进 BMS 软件变得更加重要。反过来，设计人员正在寻找具有硬件功能的 MCU 以帮助提高 BMS 软件的性能和功能。特定于 TMS320F28P55x MCU 的集成式神经网络处理单元 (NNPU) 可加速某些机器学习操作。在 BMS 环境中，这种形式的边缘 AI 有利于基于机器学习的充电状态 (SoC) 和健康状态 (SoH) 算法。此外，由于对内部电池参数有深入的了解，人们对 BMS 的兴趣越来越大，即利用电化学阻抗谱 (EIS)。此信息进而可用于为电池组提供准确得多的 SoC 和 SoH 读数，这意味着 EV 的续航里程测量会变得更加精确。在准确地保持剩余使用寿命 (RUL)、SoC 和 SoH 的状态时，EV 更有可能在接近其原始最大续航里程的情况下运行。

X-in-1 集成可实现紧凑、具有成本效益的设计

X-in-1 集成是一种系统设计技术，其中单个 MCU 可以控制 EV 动力总成的多个组件，且越来越受欢迎。X-in-1 集成可显著降低这些系统设计人员的成本，因为可以使用更少的材料来实现相同的动力总成功能。应对这一趋势至关重要，因为预计这将成为一项全市场战略，尤其是在必须节省空间和成本的两轮车和三轮车电动汽车应用中。TMS320F28P55x MCU 上配备的上述 CLA 实质上可以作为功能较弱的 MCU 的附加 CPU 运行。这使得该器件能够在不牺牲性能的情况下支持带宽较高的控制算法。在 MCU 上使用此特性有可能显著降低成本、简化制造以及整合软件功能，以简化无线 (OTA) 更新。尽管 X-in-1 集成需要 MCU 提供更多带宽，但它最大限度地减小了 EV 动力总成的尺寸和重量。

结语

随着平台的不断发展，设计配备远距离、具有成本效益和高性能动力总成系统的两轮车和三轮车平台至关重要。随着制造商迁移到适用于两轮车和三轮车动力总成应用的通过汽车认证的器件，人们对安全、可靠和高性能解决方案的需求也在不断增加。TI 还为两轮车和三轮车 EV 市场客户提供资源丰富的支持生态系统。此生态系统包括参考设计（例如 [TIDM-02017](#)），用于仿真和代码生成的[基于 Mathworks 模型的设计](#)，以及通过 [C2000 微控制器论坛](#)和其他平台提供密切的客户支持。借助 TMS320F28P55x MCU 的可扩展产品，这些器件有助于实现下一代高性能、扩展续航里程，以及经济实惠的 BMS 和牵引逆变器。TMS320F28P55x MCU 结合了各种硬件和软件支持系统，可为制造商提供面向两轮车和三轮车汽车市场的超快、高性能解决方案。

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

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