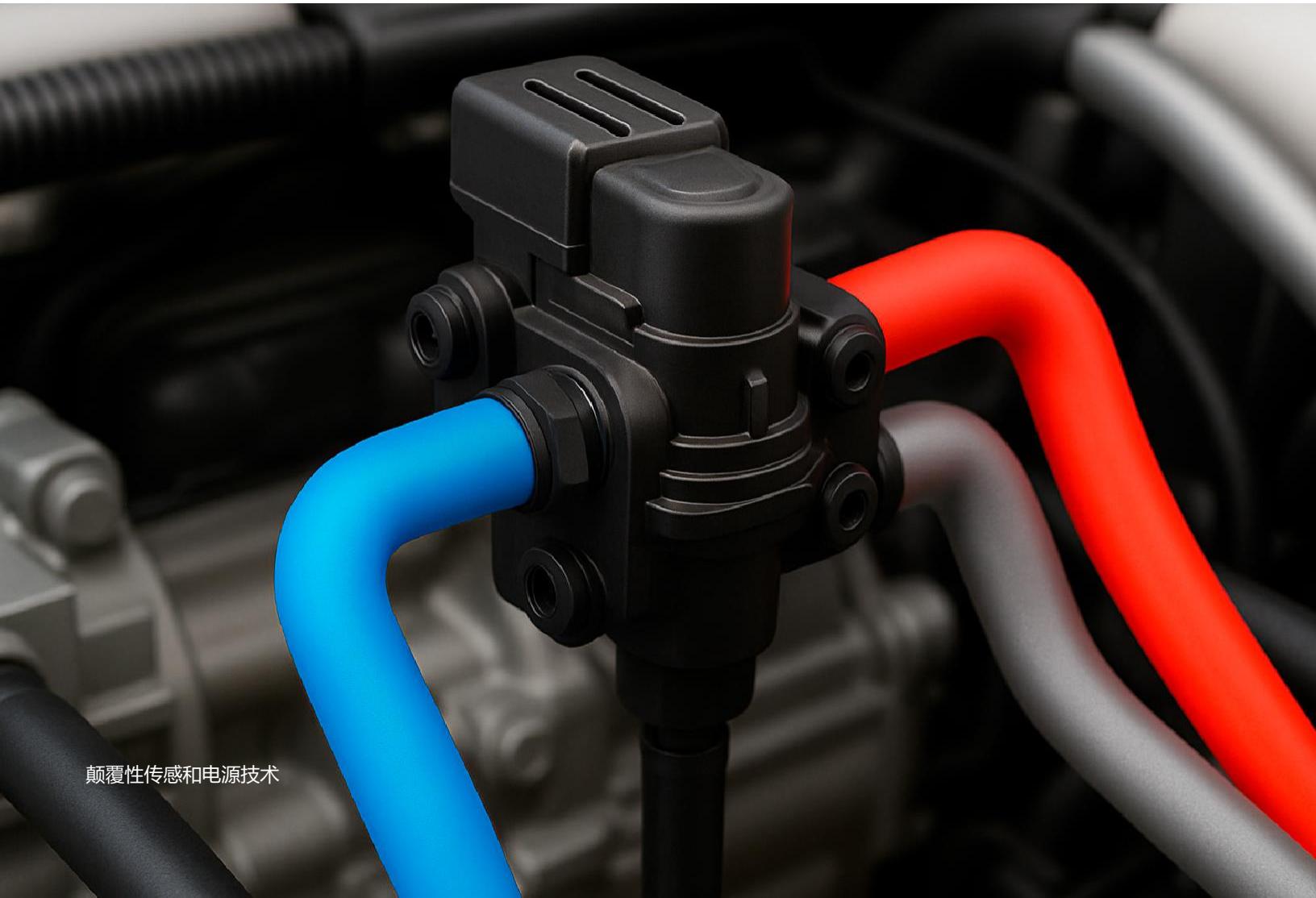




A89224

采用 A89224 系统级芯片实现 48V 热管理系统的电机控制



前言

汽车行业正在快速向电气化动力系统转型，48V 系统在轻度混合动力和纯电动汽车（BEV）中扮演着日益重要的角色。高效的热管理系统（特别是电池冷却系统）对于确保汽车性能、延长电池寿命和确保安全至关重要。然而，设计稳健可靠的 48V 电池冷却系统面临着若干独特挑战。本白皮书将对这些挑战进行探讨，并重点介绍 Allegro MicroSystems 的系列创新解决方案（如A89224）如何满足这些挑战性的需求，从而推动先进高效热管理系统的发展。

48V 趋势

48V 系统在汽车应用中有哪些优势？

汽车行业正在经历一场由电气化和先进功能需求驱动的重大变革。这一变革使得包括电动泵和冷却风扇等关键热管理功能在内的各种车辆系统对功率提出了更高要求。传统的 12V 电气系统在高效驱动这些高负载应用时面临日益严峻的挑战，而 48V 系统则针对这些挑战提供了极具吸引力的解决方案。

采用 48V 系统的一个主要驱动要素在于功率、电压和电流之间的基本关系 ($P=V \times I$)。通过将系统电压从 12V 提升至 48V，输送相同功率所需的电流可显著降低。这为热管理系统带来了若干关键优势。较低的电流直接意味着线束和电气元件中的功率损耗降低，此外，若针对 48V 系统进行充分优化，电机重量也可减轻。对于泵和风扇等高功率负载而言，可以显著降低电阻损耗，提升系统整体效率。对于电动和混合动力汽车，热管理等辅助系统效率的提升有助于延长续航里程和优化能源利用。

日益增长的功率需求

12V 系统难以满足现代的功率需求

更低的电流

更高的电压（48V）使电流需求减少四分之三 ($P = V \times I$)

降低功率损耗

更小的电流意味着更低的功率损耗和更高的效率

轻量化线束

更细的线缆可降低成本、减轻重量并节省空间



此外，较低的电流可以使用更细更轻的导线。线束尺寸减小和重量减轻是汽车设计中的关键优势，有助于实现整车减重，进而提升混合动力车的燃油效率或延长电动汽车的电池续航里程。小尺寸的线束和连接器还有助于实现更高的功率密度，使系统设计更为紧凑，对于空间有限的车辆架构而言其重要性不断提升。

除效率和封装优势外，48V 系统还能实现更强大的热管理解决方案。更高的电压使电机和泵能在更高的功率下运行，从而实现更快速、更有效的冷却。管理现代车辆中先进动力总成组件、电池组和其他高功率电子设备产生的热负荷时，这一点至关重要。虽然电压提升带来了新的设计考量因素，但 48V 系统仍在安全与性能之间实现了良好平衡。其电压值低于国际安全标准（如 IEC 61140、ISO 6469 和 ISO 21780）中规定的 60V 电击防护临界值，相比于电动汽车主牵引系统中所使用的更高电压，48V 是一种更安全的替代方案。

高于 48V 电压时面临的挑战：

- ▶ **安全法规与标准：**一旦电压超过 60V 直流，就不再属于安全特低电压 (SELV) 范畴，被认为对人体具有危险性，相关标准包括 IEC 60950、ISO6469、UL、NFPA、OSHA 等。
- ▶ **高昂的绝缘与隔离成本：**60V 以上的系统必须具备更强的绝缘和隔离能力，以保障人身安全，这直接导致系统复杂性和成本上升。
- ▶ **元件供应不足：**适用于高压系统的电子元件种类更少、价格更高。

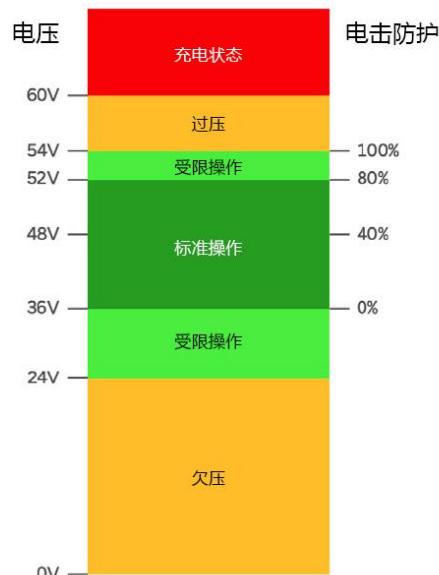


除此之外，对于高于 48V 的系统，热管理、EMI/EMC 干扰、能效优化等也是必须关注的问题。尽管 48V 电压较为理想，但设计时仍需注意一些关键事项 — 例如，连接器触点间距需合理布置，以防止电弧放电；还应采取预防措施防止 48V 向 12V 产生意外的电流倒灌。

48V 标称 ≠ 48V 恒定

在 12V/24V 系统中，已有成熟的标准（如 ISO16750、ISO7637）定义了在最严苛工况下（如负载突降、瞬态电压等）的电压瞬态曲线。对于 48V 系统，现行标准（ISO 21780 和 Liefervorschriften [LV] 148）是专为轻度混合动力汽车（MHEV）制定的，定义了高达 70V 的过电压点。但在实际应用中，若考虑开关瞬态电压或元件设计裕量（margining），元件实际耐压等级需远高于 70V。

48V 系统中的元件往往需要满足 70V 至 80V 的最高电压要求。



三大关键挑战

设计高效的 48V 电池冷却系统时，需要克服以下关键难题：

- ▶ **更高的电压裕量要求：**在 48V 系统中，电压瞬态幅度更高，对元件的承压能力提出更高要求。为低压系统设计的传统 ECU 可能缺乏足够裕量，导致元件应力损伤和失效。

Allegro 解决方案：A89224 汽车级 MCU 集成了 90V MOSFET 驱动器，采用 Allegro 110V 晶圆技术。这给系统带来充足的电压裕量，可以显著提升抗瞬态干扰能力和系统可靠性，让工程师在设计时更为灵活。更多信息请参阅 A89224 数据手册。

- ▶ **平台适配与小型化限制：**汽车 ECU 需适配各种车型平台，尺寸应尽可能紧凑。不同平台对 ECU 尺寸的要求不尽相同，需要灵活的软硬件解决方案。此外，还要支持 OTA 升级，并具备大容量数据存储能力。

Allegro 解决方案：A89224 通过高度集成和大容量存储来应对这些挑战。通过将功能强大的 ARM Cortex-M4 内核、90V MOSFET 驱动器和关键外设集成到一个芯片上，A89224 可实现紧凑型 ECU 设计。最大支持 248kB 闪存，满足电机控制算法、诊断例程与 OTA 升级等多样化需求。更多信息请参阅 A89224 数据手册。

- ▶ **可靠性与边界条件：**电池冷却系统需在各种恶劣工况下（如极端高温、强振动、气流受阻等）保持可靠运行。即使在风道堵塞或其他边界条件下，ECU 仍需稳定起动与维持风扇运行，避免热失控。

Allegro 解决方案：A89224 集成精确的 ADC 通道，可准确感测负载变化和系统参数。这使得 ECU 能够检测气流受阻或其他异常情况，并相应调整风机运行状态。此外，A89224 支持高频注入（HFI）技术，即使在挑战性工况下也能实现风机的平稳启动和控制。更多信息请参阅 A89224 数据手册。

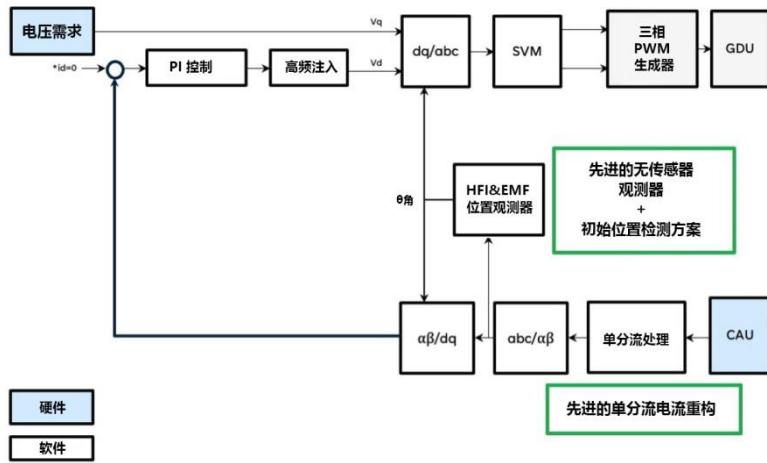
灵活性与性能并重

ARM Cortex-M4 的可编程内核进一步提升了灵活性。设计人员可以配置多种参数，如 PWM 频率、死区时间、电流限值，根据特定电机或负载条件进行优化设置。这种可编程特性使设计人员能够对 A89224 进行精细调节，以适应不同车型中泵或风扇等多种应用场景。

A89224 内核支持复杂的电机控制算法，如磁场定向控制（FOC），从而有效提升电机效率与性能。这使得 ECU 能够以更低能耗输出更大功率。其高速采样与转换机制，为 FOC 算法提供了更充足的计算时间，在每个 PWM 占空比更新前完成算法运算，确保控制精度与响应速度。

借助 AMCT 模块，A89212 既支持传统的基于传感器的电机控制，也提供了先进的无传感器控制能力，可以预测转速与转子位置，支持先进的无传感器磁场定向控制（FOC）与高频注入（HFI）等功能。





HFI 技术在无传感器模式下消除了对外部传感器的依赖，降低了系统复杂性和 BOM 成本，实现了零速下的稳定扭矩输出。这一能力为系统带来更精确的控制性能与更强的启动扭矩，对要求苛刻的应用尤为关键。此外，借助高频注入控制技术，可以进一步降低与系统运行相关的噪声，特别是那些与电机本体固有频谱信号相关的干扰。Allegro Microsystems 的专有电机控制库就是一个典型示例，仅需单个分流电流传感器，即可实现基于高频注入的控制方法，从而满足低速与高扭矩的工况需求。相比于工业标准的单频注入方式，该方案采用多频注入方式，可实现高达 25% 的噪声降低，具有显著的噪声抑制优势。

Allegro A89224 在热管理系统中的关键优势

- ▶ **宽工作电压范围 (5.5V 至 90V)**：宽电源电压范围，最高可达 90V，为 48V 标称电压提供了充足裕量，使其能够承受汽车电气系统中可能出现的电压瞬变。这种抗瞬变能力对于在严苛汽车环境中实现可靠运行至关重要，直接解决了一项客户关心的关键设计挑战。
- ▶ **强大的 ARM Cortex-M4 内核 + 大容量内存 (约 256K 高速闪存 + 32K DRAM)**：集成了 32 位 ARM Cortex-M4 CPU 内核与三相栅极驱动器。此外，其闪存读取速度极快，使得 CPU 内核在处理连续操作指令时无需等待。这种高度集成减少了对外部元件的需求，可实现更紧凑且可能更低成本的解决方案，与 48V 系统对更高功率密度的需求高度契合。集成的 MCU 提供了足够的处理能力，以运行复杂的电机控制算法，如无传感器的磁场定向控制 (FOC)，从而实现对泵和风扇的高效而精确的控制。
- ▶ **集成电流感测放大器与 ADC**：内置可编程增益的差分电流感测放大器，以及带有 16 通道多路复用器的 12 位数据采集 ADC。这一配置能够精确测量电机相电流，这对于实现 FOC 等先进电机控制算法至关重要。准确的电流感测能够实现电机性能、效率及保护功能的最优化。
- ▶ **全面的诊断与保护功能**：集成了一套可编程的诊断和保护功能，包括欠压、过压、过温和功率桥故障检测。集成诊断功能有助于识别和缓解潜在问题，提高系统可靠性。
- ▶ **汽车级认证 (AEC-Q100 1 级)**：拥有 AEC-Q100 认证，确保其在宽温度范围的严苛汽车环境中的适用性与可靠性。

Allegro 的其他热管理解决方案

除 A89224 外，Allegro 还提供全面的产品组合，用于优化 48V 汽车系统中的热管理系统：



电流传感器：高精度电流传感器（如 ACS37220）可实现对电池电流的精确监测，从而准确控制冷却风扇和泵，保持最佳电池温度并防止过热。



隔离式栅极驱动器：隔离式栅极驱动器（如 AHV85110）可确保对冷却系统电机驱动电路中的功率 MOSFET 进行可靠而高效的控制。



电源管理芯片（PMIC）：PMIC（如 A81411）为冷却系统中的各种组件提供高效的功率转换和稳压功能，最大限度降低功率损耗并提升系统整体效率。



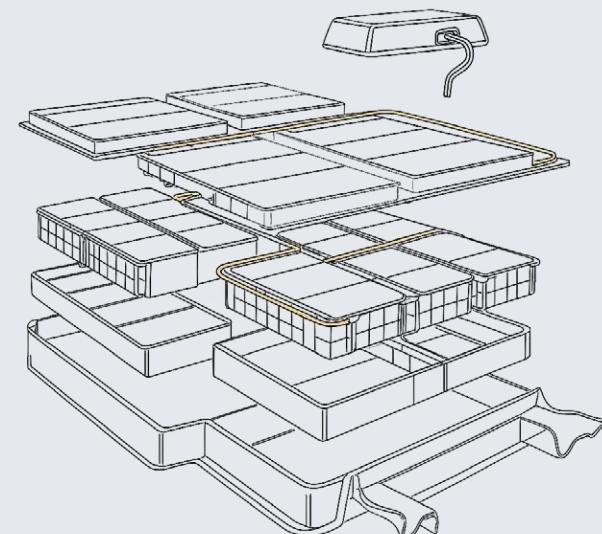
电机驱动器：Allegro 的电机驱动器旨在为冷却风扇和泵中使用的无刷直流（BLDC）电机提供可靠而高效的控制。这些驱动器提供磁场定向控制（FOC）和高频注入（HFI）等功能以优化电机性能和效率。



位置传感器：位置传感器，如 A1330（2D）和 A31331（3D），可提供精确的非接触式角度和位置测量，实现精准反馈和控制。

结论

高效的热管理对于现代汽车中 48V 电池系统的性能、寿命和安全性至关重要。Allegro MicroSystems 提供了一整套创新的综合解决方案，专门应对在设计稳健可靠的电池冷却系统时所面临的独特挑战。A89224 汽车级 MCU 与 Allegro 的高精度电流传感器、隔离式栅极驱动器、电源管理芯片（PMIC）以及电机驱动器相结合，使汽车工程师能够构建先进的热管理系统，从而最大限度地延长电池使用寿命、提升车辆性能，并增强系统整体的可靠性。



访问 allegromicro.com 了解更多信息

©2025, Allegro MicroSystems.

本文档中包含的信息不构成 Allegro 就本文档的主题向客户提供的任何陈述、保证、担保或诱导。文中提供的信息并不能保证基于这些信息的过程是可靠的，也不能保证 Allegro 已经探索了所有可能的故障模式。客户有责任对最终产品进行充分的验证测试，以确保产品的可靠性并满足所有设计要求。本文档的副本被视为不受控制的文档。

