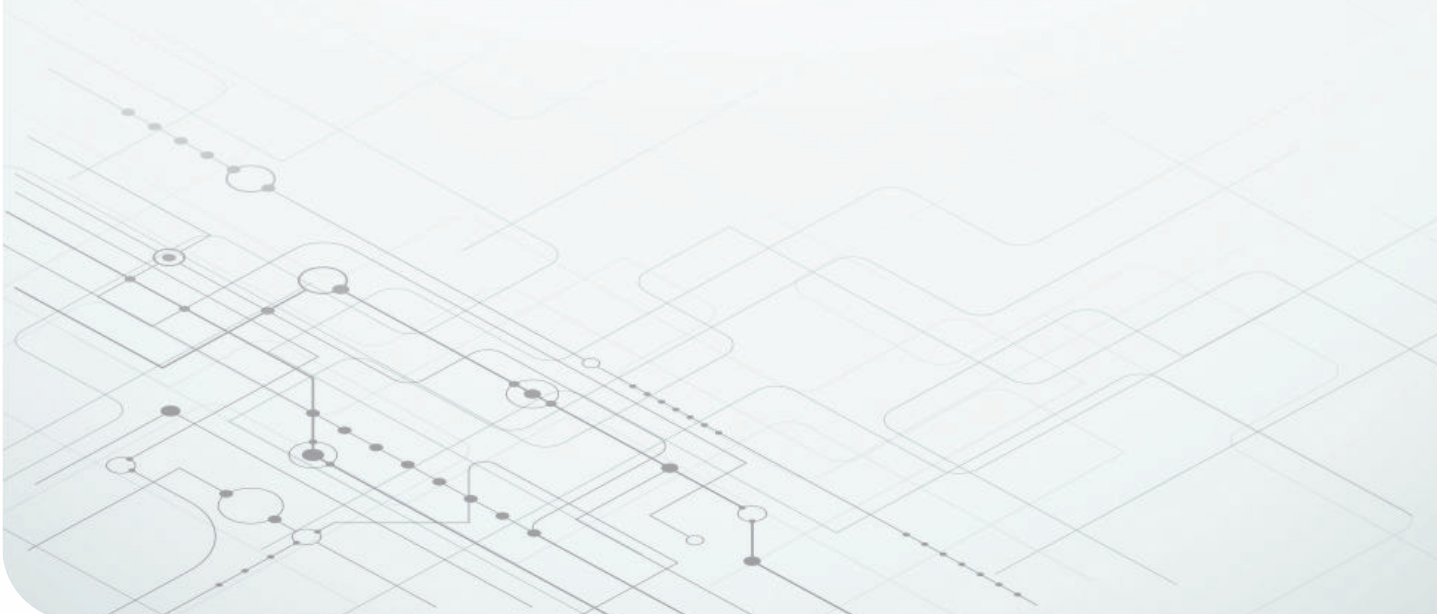


设计更安全、更智能、互联程度更高的电池管理系统



Dag Grini
Issac Hsu
Jordan Jennifer
Bryan Marshall
Mike Pienovi
Andreas Schaefer



内容概览

随着车辆架构趋向于更集中化的处理和更智能化的系统，这些系统中的半导体技术也需要不断演进。本文将探讨哪些趋势正在改变混合动力电动汽车 (HEV) 和电动汽车动力总成的结构，以及电池管理系统 (BMS) 中的技术正在如何转变以满足车辆更安全、更智能的需求。

- 1 动力总成发展为域控制和区域控制**
了解向域架构和区域架构转变的趋势，以及这种转变如何影响系统设计和半导体技术。
- 2 在 BMS 内实现智能的技术：MCU**
了解向更安全、更智能的 BMS 进行过渡如何促进 MCU 技术、通信接口和电池接线盒设计的发展。
- 3 数字孪生、机器学习和车队管理**
了解如何运用机器学习算法来推动智能电池数字孪生等趋势。

在消费者对安全性、便利性和个性化体验的期望不断提高的推动下，现代汽车正在经历以软件为中心的转型。就像智能手机重新定义了移动电话的角色和意义一样，软件定义车辆正在重新定义汽车的硬件架构，让驾驶员能够灵活选择他们想要的车辆功能。

汽车制造商现在发现自己有机会重新设计车辆的硬件和软件架构。您可以看到软件定义车辆对汽车内各种子系统的影响，包括向动力总成域控制架构和区域控制架构转变、设计更智能的系统以及减少 MCU 数量，所有这些都基于更智能的半导体技术。

电池管理系统创新如何提高电动汽车采用率 探讨了电池管理系统 (BMS) 的架构和重要子系统。此外，还详细讨论了软件定义车辆的发展趋势如何影响 HEV 和 EV 中的 BMS。

动力总成发展为域控制和区域控制

过去，当车辆设计中的传感器或执行器需要更高的智能化水平，进而需要更复杂的控制或通信时，设计人员会在设计中添加 MCU。但是，将不同车辆平台中各种选件的额外复杂性综合起来，会导致车辆系统描述很复杂，开发工作量增大，维护难度也更大。例如，进行无线更新时需要对所有配置进行测试，这会显著增加该过程的时间和复杂性。

为了帮助克服复杂性、重量和成本方面的挑战，人们提出了域控制架构和区域控制架构的概念。让我们看看这些不同架构对车辆内的子系统有哪些要求。

在域架构中，每个域将根据相关功能来集成某些电子控制单元 (ECU)。例如，车载充电器、DC/DC 转换器、牵引逆变器和 BMS 将包含 HEV/EV 控制域，并共享同一个集中式 MCU，如 **图 1** 所示。这种架构可以减少分布式 MCU 的数量，将功能放在邻近位置以简化连接，并将相同的功能集中到单个 MCU 中来实现计算资源的共享。例如，OBC 和逆变器不会同时运行，但会共享算力。

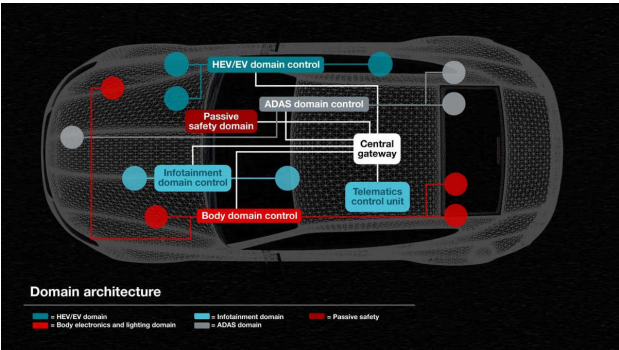


图 1. 域控制架构。

区域架构进一步发展了域控制的概念，根据车辆中的功能位置将功能分组为不同区域并由 MCU 进行控制，如 **图 1** 所示。由于区域之间的分布式传感器和执行器需要及时通信，因此这些区域通过高带宽通信骨干网进行连接。区域架构在减少 MCU 数量需求的同时，还能降低线束的复杂性和重量，从而进一步节省成本并延长行驶里程。硬件和

软件更新周期分离，因此汽车制造商可以采用基于服务的软件结构。

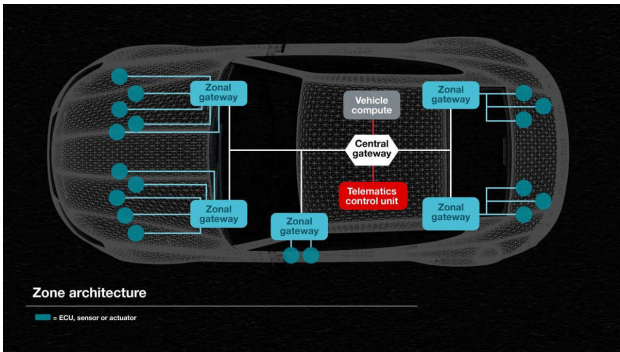


图2. 区域控制架构。

虽然域架构和区域架构具有不同的优势，并面临不同的挑战，但两者也可以在交叉架构内共存于同一车辆中。例如，BMS 可以使用域控制方法，而自动驾驶辅助系统 (ADAS) 可以使用区域控制方法。在攻克特定于应用的功能安全和系统敏捷性挑战后，通常，动力总成后续会向域控制架构或区域控制架构转变。按照最初的理念，需要尽可能集中 MCU 功能，这意味着 BMS 必须通过复杂或标准化的接口进行通信，在边缘没有 MCU 智能。这种类型的实施方式可以满足减少 MCU 数量的目标。

但是，一项技术挑战随之而来：电芯或电池包的高压芯片组数据（电压、电流和温度读数以及相关的安全措施信息）将作为原始数据传输。由于故障检测时间间隔、故障反应时间间隔和安全状态具有严格的定义，因此需要密切观察和优化接口的可用带宽，并且区域控制或域控制 MCU 需要严格的时隙，以便在给定的时间间隔内进行处理。图3 比较了 BMS 中的嵌入式系统架构。

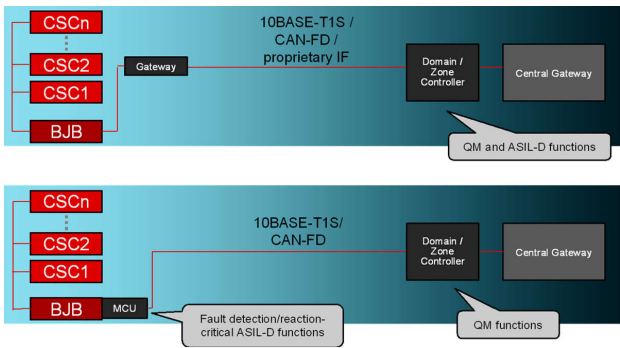


图3. BMS 中的嵌入式系统架构的比较。

提高高压芯片组的智能水平或在 BMS 边缘（例如在智能电池接线盒中）添加更小的安全 MCU，都可以简化这一挑战。通过在本地处理功能安全措施，不再需要在 BMS 内发送除任务之外的任何数据：边缘的本地安全 MCU 会向集中式 MCU 发送在本地获取的 OK/NOK 数据，而非底层的原始数据，从而显著减少时间并简化带宽挑战。

虽然这种方法与减少 MCU 数量的初衷相矛盾，但会带来进一步的好处。本地 MCU 可以启用控制器局域网灵活数据速率 (CAN-FD) 或以太网 10BASE-T1 等标准化接口，并进一步引入统一的抽象层，从而帮助实现电池包多源策略以及跨车辆、跨平台和跨代的兼容性。

让我们来讨论一下 BMS 中可以支持这些架构并提高系统智能水平的一些技术。

在 BMS 内实现智能的技术：MCU

从最基础的层面来说，MCU 在 BMS 中有两个主要作用：连接到传感器以接收数据，以及将该信息传回车辆网络。这两个功能有助于为 BMS 提供功能安全和重要的诊断信息（如荷电状态）。由于需要更先进的传感和计算以及更先进的网络，按照 MCU 现在的发展趋势，这两个主要功能都在不断提升。先进的 MCU 有助于从电池向车辆的其余部分发送更高质量的数据，从而帮助更准确地了解车内发生的情况。

看看 BMS 内 MCU 运行的高级场景。由于需要复杂的算法来提供智能以更大程度提高电池利用率，因此算力不断提高。随着电池尺寸的增加，需要测量的单个电芯的数量也将增加。电池内储存的电压电平和总功率也会更高。所有这一切都意味着传入信号比以往任何时候都更多，因此随着车辆架构从域控制向区域控制过渡，MCU 封装尺寸和输入/输出数量都需要增加。

为了满足这些高级算法的要求以及传感需求，一种方法是提高核心计算性能。传统 MCU 可能能够在 BMS 中运行，在单核上以 100MHz 运行速率进行简单的电流和电压测量以及温度测量。现在，有一些运行频率高达 1GHz 的多核器件能够在系统内进行计算和操作。设计人员可以利用数字信号处理器和现场可编程门阵列来构建能够以更高速度运行的计算引擎。TI 推出了基于 Arm® Cortex® 的 32 位

MCU 产品系列，其中包含高性能和高能效的器件，可帮助满足系统需求。

从电池 ECU 到汽车其余部分的通信也变得更加复杂。系统可能需要执行诊断或实施动态更改，例如预测功能，或根据电池负载在任务类型之间进行切换。举例来说，如果汽车正在高速行驶，则电池会满载，因此执行诊断或更新电芯等任务的效率将很低。但是，在汽车充电时，则有更多时间和系统带宽来执行这些任务，并能够通过以太网等协议以无线或有线方式与车辆网络进行通信，这种通信方式提供比以往 CAN 或 CAN-FD 总线高得多的数据速率。根据电池内的模块化水平，BMS 自身内部也可能需要通信。

在 BMS 中，MCU 的最重要标准是功能安全能力。随着网络化水平的持续提高，安全性也变得越来越重要。MCU 需要支持汽车安全完整性等级 (ASIL) D，并具有内置的硬件安全模块，旨在帮助满足系统的安全要求。**AM263P4-Q1 MCU** 等器件作为多核器件，具有更高的计算工作频率，并提供了高级外设来支持联网和提升传感和驱动 IP 的质量。MCU 还需要支持开放和标准化的汽车软件架构，如汽车开放系统架构 (AUTOSAR)，从而帮助提高安全性和缩短开发时间。

BMS 内提高智能水平的技术：无线功能

将边缘处理集成到无线 BMS 中标志着一项关键的进步。将计算过程推向边缘可以增强实时决策能力、减少延时并提升汽车系统的整体性能。

更大限度减少将数据传输到集中式 ECU 的需求可缩短响应时间，这对于需要即时反馈的应用（例如自适应电池管理和动态能量分配）而言至关重要。无线 BMS 可以利用边缘计算对电池健康状态、使用模式和环境因素执行实时分析。根据这些数据，系统能够即时调整和优化电池性能，从而帮助车辆在不同条件下实现最高运行效率。此外，通过在本地处理重要数据，无需再通过更多的网络传输敏感信息，因此可以降低相关网络威胁的风险。

TI 的软件定义无线电解决方案（如图 4 所示）可以消除传统电缆的限制，从而在软件定义车辆的复杂架构中实现更具创意和更高效的集成。

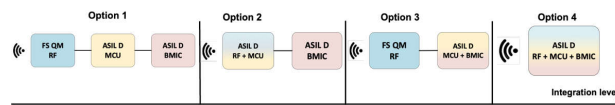


图 4. 无线 BMS 的软件定义无线电解决方案中的集成级别。

无线 BMS 能够动态适应不断变化的车辆配置。随着电池包的不断发展，无线解决方案可确保无缝集成各种更新或修改内容，为这些系统提供面向未来的解决方案。无线 BMS 还采用安全通信协议和多层冗余等先进技术，可增强系统可靠性。

BMS 内提高智能水平的技术：智能接线盒

智能电池接线盒通过电压、电流和绝缘电阻电池包监测器帮助直接测量电池中的高电压。典型的电池包监测器中提供多个电压和电流测量通道，可测量保险丝和接触器两端的电压并检查隔离情况。图 5 是电池接线盒的简化系统图。

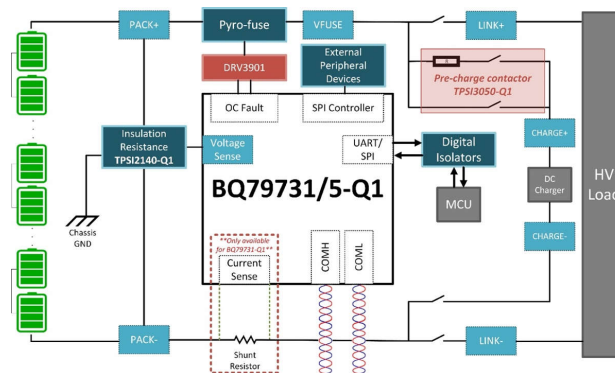


图 5. 简化版 BJB 系统方框图。

在电池管理系统中，有两项关键功能：电池断开和配电。接触器驱动器和热熔丝爆管驱动器可在碰撞过程中断开电池包与电动汽车系统的连接，智能电池接线盒整合了针对这些驱动器的数字控制功能。

为了实现高压电池断开，可以使用熔断型保险丝或热熔型保险丝。车辆中的大电流系统会引入新的情况，因此汽车市场不再使用由过流热事件进行触发的传统熔断型保险丝，而是改用通过 MCU/HUB 进行触发的热熔型保险丝。如今，热熔丝由分立式复杂电路进行驱动，可能导致效率低下。TI 推出了用于部署电动汽车热熔丝的单通道爆管驱动器 **DRV3901-Q1**。该器件提供高度集成、基于安全目的

开发的解决方案，能够在过流时通过热熔丝快速断开电池，旨在替代传统的熔断型保险丝系统。

高压配电接触器也需要能够处理更大的电流，但可选产品有限且价格昂贵或者过于复杂。节能型接触器带有额外的高电阻节能器线圈，可以减少接触器通电时的流耗和发热，从而提高主接触器的效率。虽然这些节能型接触器听起来像是提高系统效率的解决方案，但目前的可选产品有限，而且成本往往过高。相比之下，非节能型接触器没有这种额外的线圈，因此可以降低成本，但必须由更复杂的分立式电路进行驱动才能满足安全和效率标准。为了降低非节能型接触器的驱动电路的复杂性和成本，同时提高效率和可靠性，德州仪器 (TI) 投资开发了 **DRV3946-Q1** 器件。该器件是一款完全集成的双通道接触器驱动器，可让设计人员获得更大的自由度和设计灵活性。

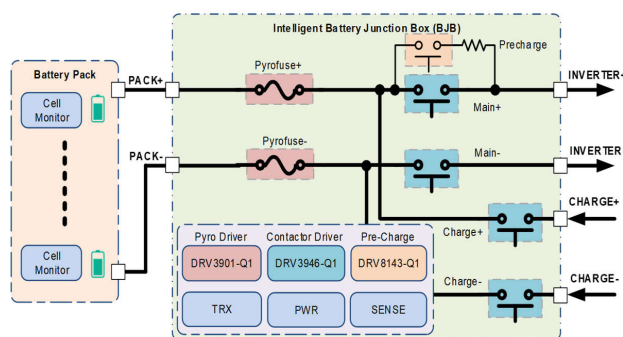


图 6. BMS 内适用于大功率情形的电池断开和配电。

电池包使用由电池包监测器控制的机械接触器来连接或断开整个车辆的子系统。如果出现不受控制的浪涌电流，机械高压接触器可能会因电弧和点蚀而焊接或损坏。**为何高压系统需要预充电电路**介绍了如何使用 **TPSI3050-Q1** 隔离式开关驱动器来构成可靠的固态继电器，以便在汽车电池接线盒中进行预充电。对于智能电池接线盒，可以在此类预充电应用中采用 **TPSI3100-Q1**，从而通过其集成的隔离式比较器和故障报告输出功能来进一步增强诊断能力。这些功能可以与过流或温度监测电路相结合，使此类故障检测电路能够通过 **TPSI3100-Q1** 可靠地反馈这些信息，并将所有这些事件报告给电池包监测器。

高压电池包的正极端子和负极端子必须与车辆底盘完全分离，从而保护驾驶员或技术人员免受潜在电击。对这种分离的定期监测称为隔离检查或绝缘电阻监测。**TPSI2140-**

Q1 等固态继电器用于连接和断开与未知电阻值（电池端子和底盘接地之间的电阻值）并联的已知电阻值（例如 $1M\Omega$ ）。通过使用 **BQ79731-Q1** 等电池包监测器来测量组合电阻，可以确定电池分离是否在容差范围内或是否存在潜在危害。

数字孪生、机器学习和车队管理

BMS 中的软件实施也在不断创新。获得精确的电池包和电芯测量是实现比卡尔曼滤波器或库仑计数更先进的 X 状态算法的基础。

借助于针对个人驾驶行为、交通状况以及地理和道路条件的监控功能，可以实现更精确的车辆续航里程预测以及电池健康状态数据和荷电状态估算。如果将数据集中在云中，机器学习算法可以监控整个车队并启用预测服务。例如，如果事先发现并存储了某种故障模式，则算法能够及早检测到故障迹象，并计算出其他车辆未来发生故障的概率，以便主动请求检修服务。此功能称为创建数字孪生，可实现进一步的商业模型，如软件定义车辆中的车辆续航里程临时升级。

TI 推出了基于 Arm 且支持 AutoSAR 的 **AM263P4-Q1** MCU 器件。这款器件包含一个使用自适应电芯建模系统的库，并支持机器学习服务，以改进车队和车辆 X 状态测量，有助于实现更智能的充电并优化电池健康状态和续航里程。

结语

BMS 是许多颠覆性和创新性概念的核心。TI 提供的器件解决方案涵盖了完整的 BMS 产品系列，旨在展示系统级优势并使车辆更智能、更安全、互联程度更高。

其他资源

1. 了解更多有关电动汽车智能电池管理的信息。(<https://www.ti.com.cn/zh-cn/applications/automotive/hev-ev-powertrain/overview.html#BMS>)
2. 查看混合动力、电动和动力总成系统的参考设计。
(<https://www.ti.com.cn/cn/reference-designs/index.html#search?applied=209,84,235167>)

重要声明: 本文所提及德州仪器 (TI) 及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。建议客户在订购之前获取有关 TI 产品和服务的最新和完整信息。TI 对应用帮助、客户的应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不负任何责任。有关任何其它公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的认可、保证或授权。

Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited (or its subsidiaries) in the US and/or elsewhere.
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