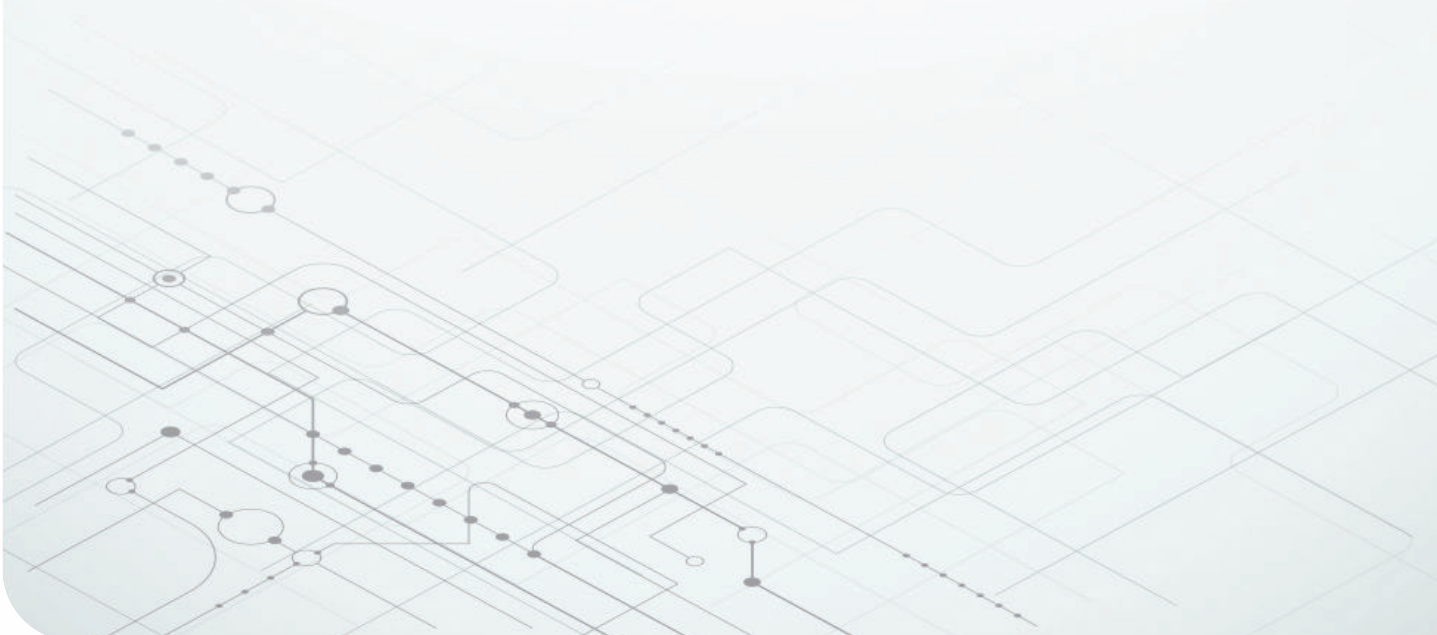


# 48V 汽车系统：为什么是现在？

---



**Madison Eaker**  
Systems Manager  
Body Electronics and Lighting



# 在本文中，我们将讨论电动车辆和混合动力车辆对 48V 低压轨系统的日益关注，以及工程师如何利用它们在实现新功能的同时，缩小线束尺寸并降低成本。

## 内容概览

-  **1 48V 系统在 MHEV 与 BEV 中的应用**  
了解 48V 系统在 MHEV 和 BEV 中的发展过程。
-  **2 减少线束**  
了解采用区域架构的 48V 系统如何降低线束复杂性和成本。
-  **3 48V 架构**  
了解用于优化线束设计和成本的各种 48V 系统设计方法。
-  **4 48V 系统的设计挑战**  
探究采用 48V 系统时的主要设计挑战、包括瞬变电压、爬电距离/间隙要求、EMC 标准和 IC 成本。

## 引言

最初发布于 [《Electronic Products》](#)。

在最近与汽车制造商的对话中，48V 低压轨被频繁提及。但为什么是现在？48V 系统并不是新事物。多年来，其一直在帮助提高轻度混合动力电动车辆 (MHEV) 的效率和性能。

48V 系统再次受到关注，可能与电池电动车辆 (BEV) 和混合动力车辆 (HEV) 的日益普及有关。通过高压电池产生 48V 电压的电动车辆或混合动力车辆可以实现 48V 系统的一个重要优势：增加 48V 低压轨可以缩减整车供电线束的规格，并降低电源开关和电机驱动器等下游半导体元件的负载电流要求。因此，48V 系统可提供比 12V 系统更强的功率，为增加人工智能或迷你冰箱等功能提供了机会。

BEV 原始设备制造商 (OEM) 正在寻求优化 BEV 成本、重量和续航里程的方法。从电气角度看，通过 [区域架构](#) 减少线束（如德州仪器 (TI) 的白皮书 [《区域架构如何为完全由软件定义的车辆铺平道路》](#) 中所述），或者使用 48V 低压轨进行配电，将有可能解决这三个问题。20 世纪初，在电气/电子 (E/E) 系统的功率需求迫使市场转向 12V 之前，汽车行业使用 6V 电压轨供电。如今，功能丰富的车辆正在逼近 12V 电压轨的极限。从 12V 转向 48V 会带来挑战，但也将为采用 48V 低压轨的 OEM 带来机遇。

## 48V 系统在 MHEV 与 BEV 中的应用

20 世纪 90 年代末，人们曾经推动采用 42V E/E 系统。但由于缺乏高效电机，OEM 放弃了这种方法，市场转向使用高压起动发电机的 MHEV。因此，虽然 MHEV 是“首批”48V 系统，但它们仅使用 48V 电池和小型电机来辅助 ICE，以降低油耗并提高效率。

在 MHEV 中，为 E/E 系统供电的主要低压轨仍为 12V，需要在 48V 和 12V 电压轨之间配置大型双向转换器，这显著增加了成本负担。相比之下，全混合动力车辆 (HEV)、插电式混合动力车辆 (PHEV) 和 BEV 可以使用高压电池创建 48V 低压轨，为整个 E/E 系统供电。

由于车型和平台有限，未来的 BEV 平台成为了 OEM 部署 48V 汽车系统的主要目标。向电动车辆的过渡也增加了对 HEV 和 PHEV 的投资。[图 1](#) 概述了不同车辆类型之间的差异。

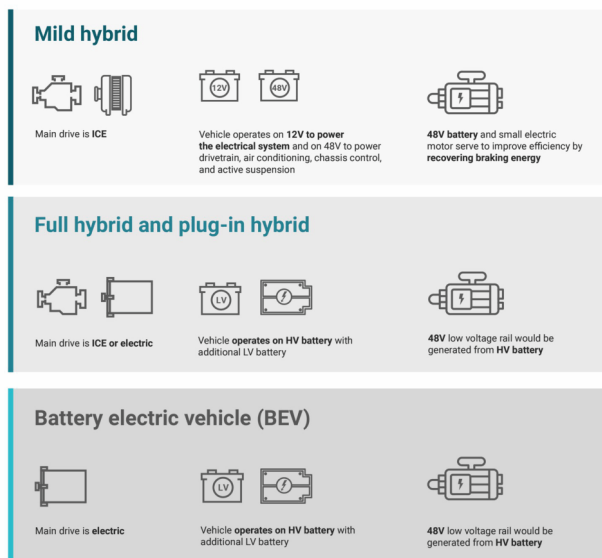


图1. 车辆动力总成类型概述。

## 减少线束

减少线束的首次重大尝试是引入区域架构，如图2中所示，该架构根据位置而不是功能对配电、通信和负载驱动进行分组，从而优化车辆布线。区域架构通过使用智能半导体保险丝替代传统的熔断式保险丝来进行配电，并充当从中央计算机到传感器、执行器和电子控制单元 (ECU) 的通信网关，从而减少了车辆布线。

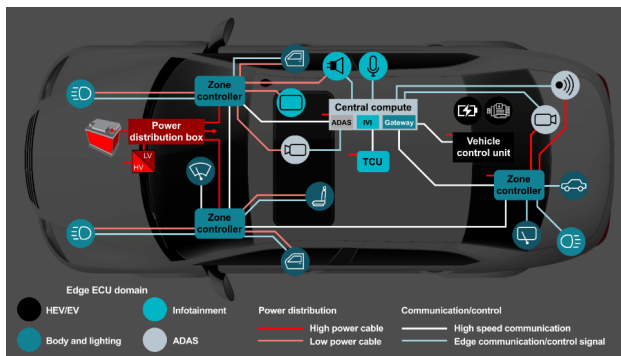


图2. 第一代区域架构。

在下一代区域架构中加入 48V 低压轨可进一步减轻线束重量，并降低成本。48V 电压轨可缩减线缆规格，减少线束中的功率损耗，还可能减小印刷电路板 (PCB) 的尺寸，因为在提供相同功率的情况下，电流将降低（例如，在 12V 下需要 100% 的电流，相比之下，在 48V 下仅需 25% 的电流）。图3说明了从 12V 转换到 48V 的优势。

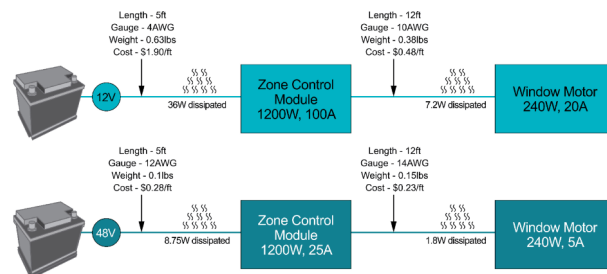


图3. 从 12V 到 48V 使得线束减少。

在中图3，区域控制模块需要 100A 才能在 12V 电压下提供 1,200W 功率。相比之下，48V 电压轨仅需 25A 就能提供 1,200W 的功率。通过将电压提升至四倍，并将电流降低四分之一，可将线束成本和重量降低 85%。对于窗口电机，12V 下的 20A 电流将变为 48V 下的 5A 电流，这将节省 60% 的成本并减少 52% 的线材重量。随着负载电流要求的降低，转向 48V 所带来的线束优势也会相应减少。

尽管转向 48V 的主要好处是缩减线缆规格，但线缆成本并非唯一因素。如今，在车辆上安装美国线缆规格 (AWG) 4 号等粗规格线缆需要投入大量劳动力。通过缩减 48V 系统中的线缆规格，将使采用自动化制造流程安装线束成为可能，从而显著降低成本。

## 48V 架构

在为 48V 架构优化线束时，OEM 需要评估不同的架构。

图4至图6展示了实现 48V 低压轨时的三种选项：48V 主配电和 12V 本地配电、48V 配电和 12V 配电，或仅 12V 配电和 48V 高电流负载。

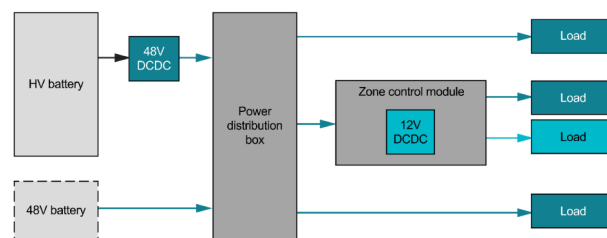


图4. 48V 架构（48V 主配电，12V 本地配电）。

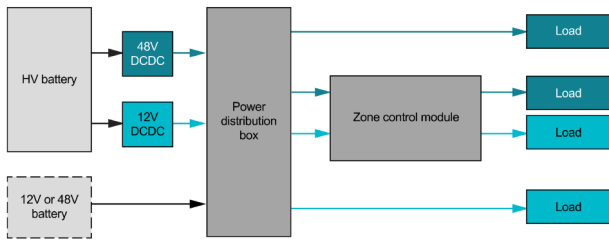


图5. 48V 和 12V 配电 — ZCM 48V 和 12V。

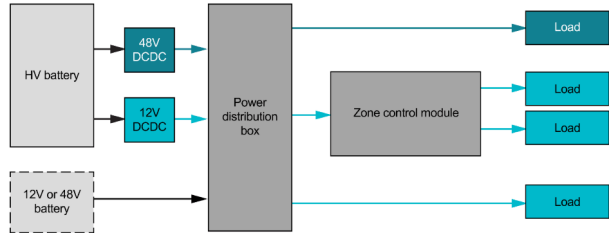


图6. 12V 主配电，48V 高电流负载。

对于 48V 设计，破坏性最小的方法是使用 48V 电压轨为高电流负载供电，并将其他所有负载维持在 12V。48V 和 12V 可分配给区域控制模块或其他 ECU，但这种方法会带来一些挑战。两种不同电压的分配使线束布线成为一个关键因素，因为在同一线束中铺设 12V 和 48V 可能导致从 12V 到 48V 系统之间出现短路。对功能安全的考量也会增加成本，因为可能需要冗余的 12V 和 48V 电源。

更激进的设计变更是直接采用 48V 配电架构，并根据需要在本地生成 12V 轨。带有本地 12V 电压的 48V 配电是一种最佳架构，能够实现转换至 48V 的全部优势，因为它最大限度地减少了线束尺寸和成本。

在带有本地 12V 电压的 48V 配电中，有许多不同的选项，可用于在 ECU 上形成本地 12V 电压轨，或用于选择完全不同的电压（25V、16V、5V、3.3V）。图 7 为 48V 系统提供了两种可能的电源架构：分布式 12V 和集中式 12V。

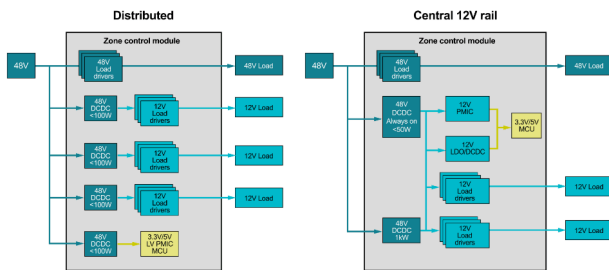


图7. 在 ECU 处进行的从 48V 向其他电压的转换。

在分布式架构中，多个功率要求较低的 DC/DC 转换器可为不同的负载组生成 12V 电压轨。这种方法可以使用集成了金属氧化物半导体场效应晶体管的 DC/DC 转换器，还可以自由选择电压（如 48V 至 3.3V），并改善 PCB 上的热分布。如果 OEM 希望重复使用现有的 12V 设计，集中式 12V 电压轨是更容易实现的方案。在此架构中，一个始终开启的 DC/DC 转换器为功能安全关键负载供电，而另一个对功率要求较高的 DC/DC 转换器则为 12V 系统的其余部分供电。另一种选项是使用双向 48V 至 12V DC/DC 转换器，让电机的反电动势或 12V 电压轨的正瞬变电压能量流回 48V 电源轨。

## 48V 系统的设计挑战

采用 48V 低压轨时，面临的设计挑战包括瞬变电压、爬电距离和电气间隙要求、电磁兼容性 (EMC) 标准，以及集成电路 (IC) 成本。

瞬变电压是 48V 系统中的主要讨论话题。如今，12V 系统已经广为人知，国际标准化组织 (ISO) 16750-2 等标准规定了最严苛工况（如负载突降）下的电压瞬变曲线。而对于 48V 系统，现行标准（ISO 21780 和 Liefervorschriften [LV] 148）是专门针对要求过电压点高达 70V 的 MHEV 制定的。但是，如果考虑到开关瞬变或元件裕量，元件额定电压将远高于 70V。

MHEV 标准虽然可以用作起点，但对于不使用大功率起动发电机系统，而是通过高压电池生成 48V 电压的电动或混合动力系统而言，这些标准不一定适用。有关 BEV 48V 低电压网的具体标准仍在制定中，但 OEM 可能会开始制定自有标准，以将线路瞬变电压控制在 70V 以下。图 8 将潜在的 BEV 标准与现有的 ISO 21780 标准进行了比较。

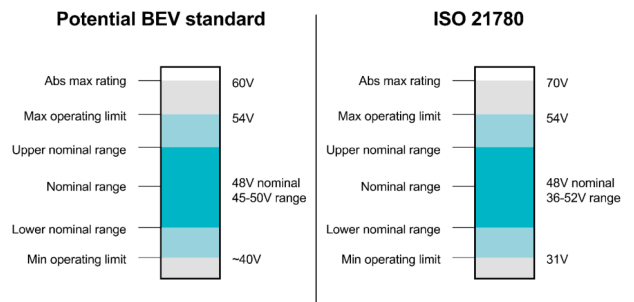


图8. 潜在 BEV 标准和 ISO 21780 的瞬变电压对比。

虽然 60V 和 70V 之间的差异看似微小，但适应更高电压的 IC 成本并不一定呈线性增长。此外，即使有可能限制电源电压范围，但仍然必须考虑可能发生的线束故障模式事件，而现行标准（如 ISO 7637-2）已对此进行了规范。

爬电距离与电气间隙要求是指根据行业标准，对 PCB 上所有导电部件之间最短距离的测量。当两点之间的电压超过击穿电压时，会产生电弧，而爬电距离与电气间隙是防止电弧的关键设计参数。存在多种不同的爬电距离与电气间隙标准（国际电工委员会 60664-1 与印制电路协会 2221A），而 OEM 甚至可能有自己的内部指导。从 12V 升级到 48V 将提升爬电距离与电气间隙要求，直接影响 IC 封装、PCB 布局，以及线束连接器等。

48V 系统的一个更细微影响是，虽然有助于减少传导损耗，但开关损耗会增加。这一点在针对开关电源转换器（如 DC/DC 转换器和电机驱动器）的 EMC 测试中将产生重要影响。将电压 ( $V_{DS}$ ) 从 12V 提高到 48V 可以降低电流 ( $I_{DS}$ )。但是，如果 48V 系统中的转换率 ( $t_R + t_F$ ) 仍与 12V 系统相同，那么功率开关损耗 ( $P_{SW}$ ) 将变为四倍。

虽然还有更多的因素会影响开关损耗，但图 9 说明了在 48V 系统中，转换率如何影响开关损耗。有关减少 DC/DC 转换器中传导发射的更多信息，请参阅应用说明“[降低 48V 汽车应用中降压转换器的传导 EMI](#)”。

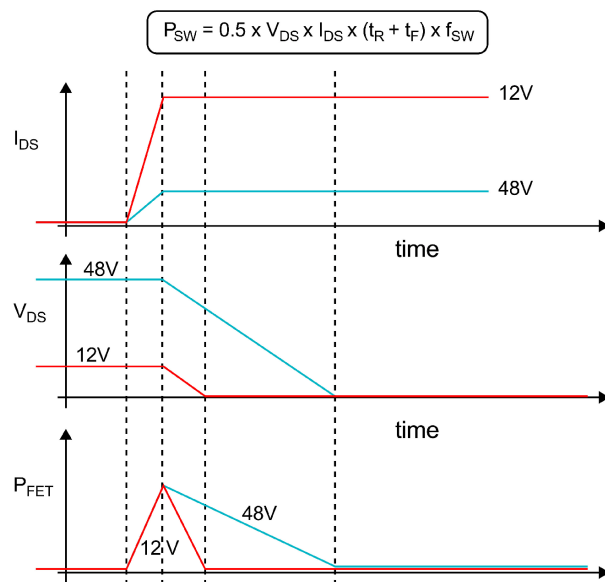


图 9. 开关损耗对 EMC 的影响。

## 结语

48V 系统可以缩减线束的重量和规格，从而节省线材的实际铜成本和制造成本，讨论又回到了成本问题上。无论是在 IC 级别还是系统级别，采用 48V 都会带来许多优势和挑战，从而以某种方式影响成本。OEM 将决定集成 48V 系统的时机和方式，以最大限度地提高优势并降低成本。最近的车辆创新证明了，市场和半导体供应商已经为 48V 系统做好了准备。

**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。

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