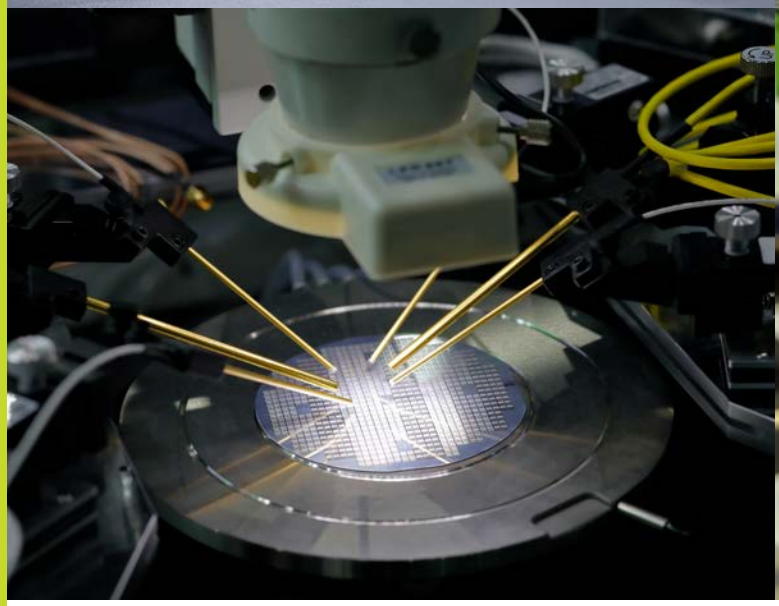
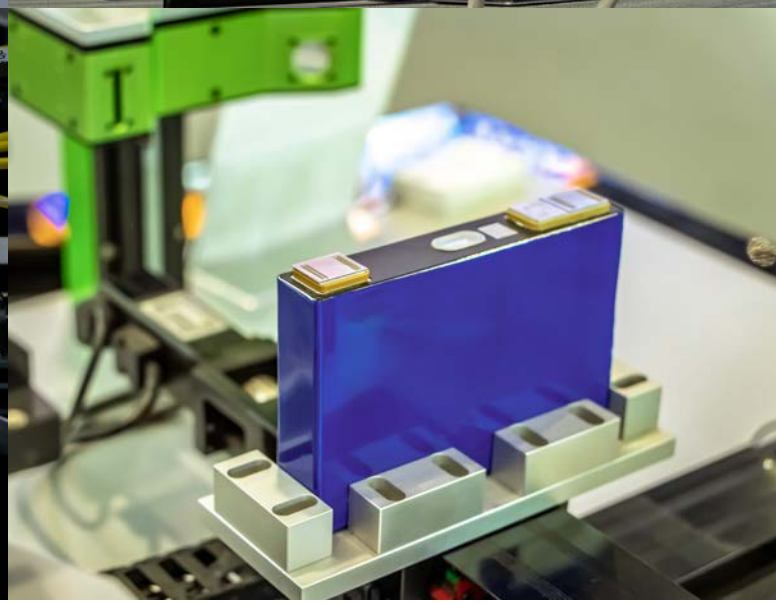








电子书

加速进入高性能 48V 供电网络

VICOR

引言

本电子书提供 48V 供电网络的实用设计指南，旨在提升工业产品性能、效率与可靠性。您将了解 48V 供电网络的演变历程、如何克服电源设计挑战，以及其他用户如何部署供电网络的成功案例。同时，您还将掌握如何利用高效能电源模块，快速实现 48V 供电网络的原型设计与实施。

目录

3 文章

向 48V 演进：赋能下一代创新

设计 48V 电源网络时需考察并突破的 15 项技术难题

专为 48V 供电网络优化的高效能电源模块

25 **案例研究**

自动驾驶电动穿梭车：先进的电源模块封装优化可用功率、可靠性和安全

系留无人机彻底改变了远端通信

水下遥控机器人迅速调节当前危险的水下任务

电池测试：最大限度提升吞吐量，快速灵活调节变化

34 **工具**

文章



文章

向 48V 演进：赋能下一代创新

在当今快速发展的各行各业，电源系统设计工程师持续面临着提升系统性能与功能的压力。为应对这一挑战，系统功率水平呈指数级增长，同时系统尺寸与重量的缩减压力持续攀升 —— 既要增加功能，又要提升效率，还要管理日益复杂的散热设计。这种“以少搏多”的持续挑战，正推动供电网络（PDN）的代际演进。这一演进的核心，是从原有 12V 系统向高效、可扩展的 48V 架构过渡，从而彻底释放电源系统的全新潜能和创新空间。

48V 架构最早于数十年前在电信行业获得采用，随后在先进高性能计算（HPC）、电动汽车（xEV）及日益广泛的工业应用领域中站稳脚跟。在每个应用场景中，48V 所具备的坚实技术与商业价值，均带来了显著的竞争优势。与 12V 系统相比，48V 供电网络可将传导损耗降低 16 倍，并简化配电。

这一演进的核心，是从原有 12V 系统向高效、可扩展的 48V 架构过渡，从而彻底释放电源系统的全新潜能和创新空间。

为什么过渡到 48V?

48V 系统的效率提升与其他优势源于著名的基本电学原理 —— 欧姆定律，它揭示了电压、电流与电阻之间的内在关系。功率是电压与电流的乘积（VI），但导体电阻造成的功率损耗与电流的平方成正比（即 I^2R 损耗）。在相同功率水平下，系统电压从 12V 提升至 48V，电流将减小 4 倍，而由此带来的 I^2R 传导热损耗降低 16 倍（即 4^2）。这种功率损耗的大幅降低，为电源系统设计带来诸多优势：

- 更低的散热量
- 更高的整体效率
- 更细更轻的配电电缆与更小的连接器
- 更高的系统可靠性

对于功率需求超过数千瓦的系统而言，这种过渡不仅有益，更是实现不断演进的系统性能目标的必要之举。

早期采用者：电信行业率先采用 48V

早在一百多年前，电信基础设施领域就率先采用了 48V 系统。数十年来，中央机房、蜂窝基站和网络节点一直依赖支持电池备份的 48V 系统，因为其在安全性、信号传输距离与效率方面达到了理想平衡。该电压水平既能确保系统安全值稳定处于 60V 的安全特低电压（SELV）限值（符合 IEC 60335 等标准要求）之下，又能最大限度地减少长距离电缆传输中的配电损耗。

这种方案使电信运营商能够在广阔地域内部署可扩展、可靠的电源系统。随着电信网络变得日益复杂而庞大，48V 系统展现出强大的稳健性与适应性，为其在其他行业的更广泛普及奠定了基础。

48V 在高性能计算领域的兴起

过去十年间，随着高性能计算与超大规模数据中心的兴起，48V 技术迎来了第二波大规模应用浪潮。云计算、生成式 AI 模型训练与推理及机器学习的爆发式增长，在服务器机架、计算集群及数据中心层面催生了巨大的电力需求。传统的 12V 配电因高电流需求、过量铜材消耗以及不断加剧的散热管理问题，已成为严重制约因素。供电不仅涉及配电，更关乎端到端的转换效率、解决方案尺寸与成本、以及散热管理开销（无论是强制风冷还是液冷）。通过采用 48V 电源架构，数据中心的供电网络配电损耗可降低 16 倍。

从 12V 过渡到 48V 供电网络，能够帮助数据中心：

- 提升机架级能效
- 使用更细的铜线输送更高功率
- 简化服务器机架内的母线配电
- 通过降低能耗减少总拥有成本（TCO）

在超大规模数据中心客户动态需求的驱动下，服务器原始设备制造商已广泛采用 48V 供电网络。开放计算项目（OCP）曾是 48V 事实标准的早期推动者。过去五年间，48V 供电网络有力地推动并促成了高密度、高效率计算平台的发展，使其能够胜任现代生成式 AI 工作负载。

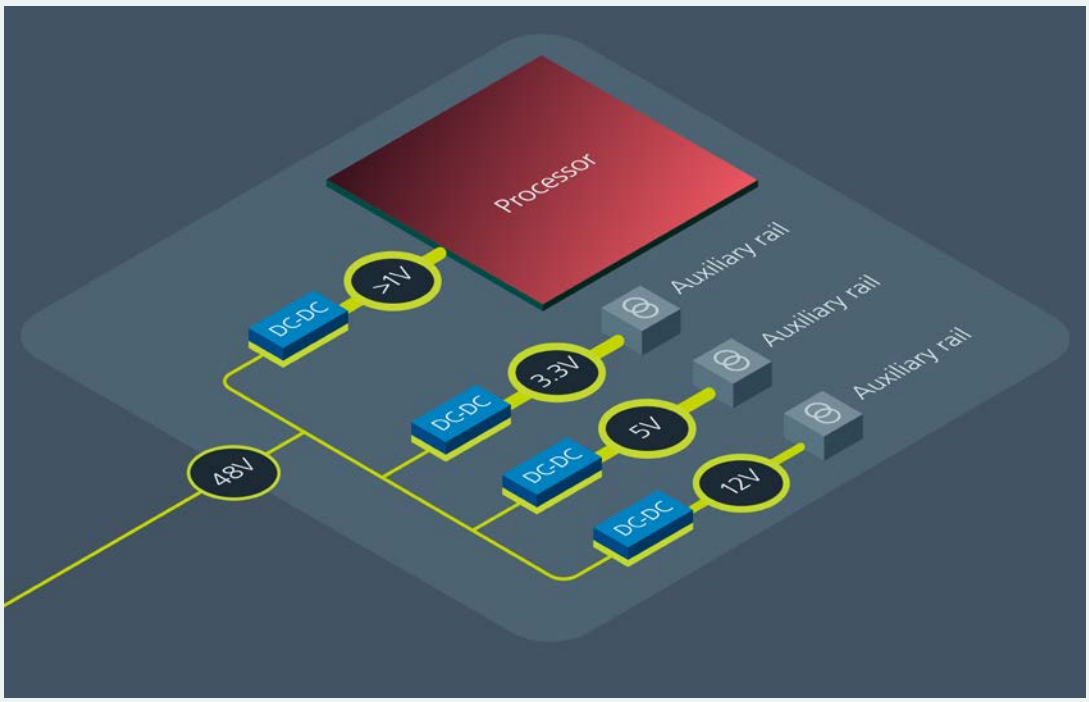


图 1：高性能计算系统通过服务器机架母线分配 48V 电源，为计算刀片、网络交换机和存储托盘供电。48V 电源轨经稳压后转换为 12V、5V、3.3V 电源（用于辅助负载），以及 1V 及更低电压（用于高电流处理器核心电源轨）。

48V 电源在汽车应用中的快速普及

随着众多汽车向电气化平台转型，汽车行业正在经历深刻变革，这不仅需要更高的总功率，还要求在整车范围内更广泛地分配电源。高级驾驶辅助系统（ADAS）、车载信息娱乐系统、电动助力转向系统及主动悬架系统都对供电网络架构提出了严苛要求。

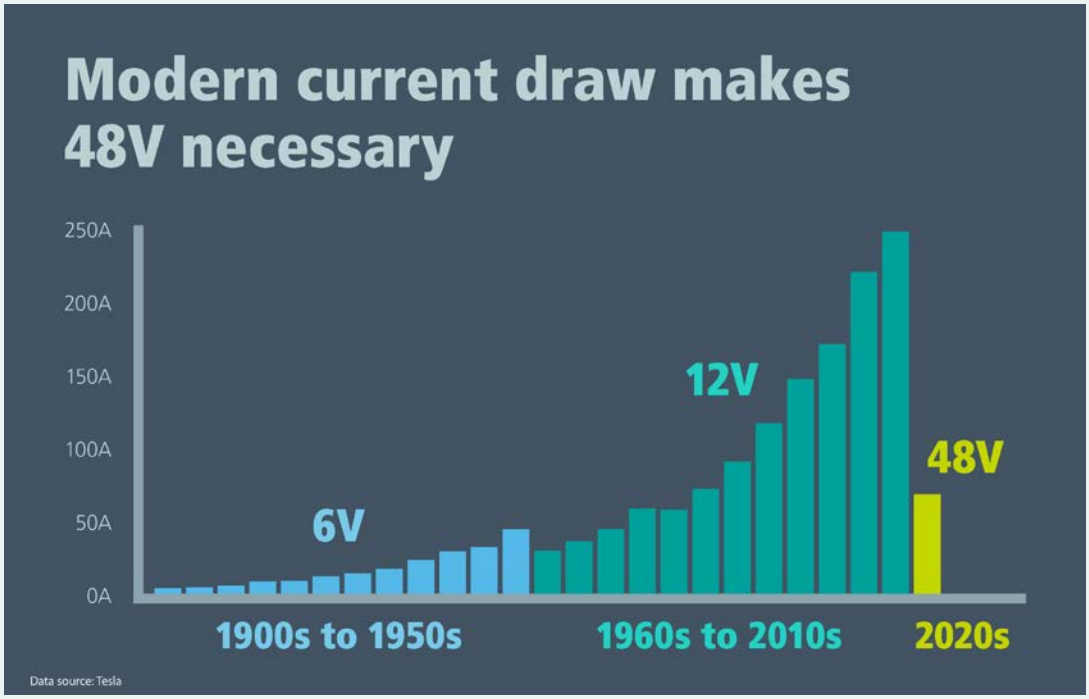


图 2：6V 电源系统曾满足汽车与工业设备长达五十年的需求。在 20 世纪其余时间及 21 世纪初，12V 电源与子系统尚可应对，但迅速攀升的电流水平使得向更高系统电压的过渡势在必行。当电压提升四倍（输送相同功率时传导损耗降低 16 倍），48V 成为满足安全特低电压（SELV）合规要求的最优选择。

原有的 12V 电源系统根本无法应对这些日益增长的电能负载；仅靠 12V 网络无法高效输送所需电流。因此，汽车制造商正转向 12V/48V 双电压架构，该架构具有以下几个关键优势：

- 通过混合动力技术提升内燃机（ICE）的燃油效率
- 借助启停系统、再生制动及主动悬架系统降低排放
- 支持高功率子系统，如红外座舱加热器、瞬时加热车窗和热泵空调系统
- 实现以往皮带驱动系统的电气化，降低机械复杂性，提升整车性能与可靠性
- 配备线控制动与线控转向的高级驾驶辅助系统（ADAS）

48V 在工业市场的崛起

测试测量、机器人、无人机、医疗设备与工厂自动化等工业领域，均可通过过渡到 48V 供电网络获益。

工业系统常面临与其他市场类似的空间、重量与热管理挑战。采用 48V 供电网络后，设计人员能在更小的空间内提供更高的功率，同时简化布线并降低散热成本。以半导体测试测量市场为例，用于高性能存储器和处理器的自动化测试设备面临着与数据中心同样紧迫的挑战，需要在紧凑的空间内为功耗巨大的 AI 处理器供电。

48V 供电网络为工业设备带来的优势，与在电信、高性能计算和汽车市场如出一辙：

- 更小更轻的供电系统
- 更优的散热特性与更高的能效
- 更大的功率容量与更出色的整体系统性能

此外，专用且可扩展的 48V 电源模块的普及，使得为各种应用快速设计和原型开发低噪声、高功率密度系统变得简单直接。

了解 48V 生态系统

向 48V 的过渡，最好视为从 12V 生态系统向 48V 生态系统的转型。12V 生态系统已存在数十年，拥有庞大的安装基础，并积累了数十年的投资与实践经验。相较之下，48V 生态系统仍在发展与完善中。幸运的是，目前已出现先进的模块化电源解决方案，可显著简化 48V 供电网络的设计与实施。

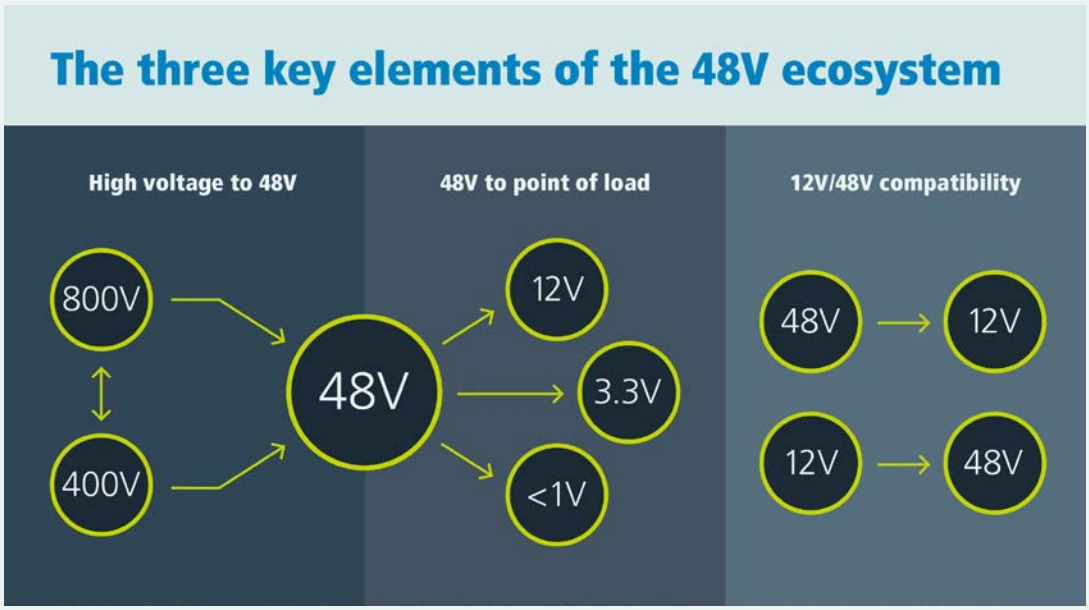


图 3：三大核心要素涵盖从电源到负载点的所有转换步骤。

为简化从 12V 电源的过渡，需重点关注 48V 生态系统中供电网络的三大核心要素。随着电动汽车长期向成本优化的 800V 和 400V 电池发展，高压至 48V 的转换至关重要。半导体（尤其是处理器和存储器）通常采用较低电压，其电流水平虽差异显著但总体呈上升趋势。成本效益高但性能较低的 12V 子系统在各种电子设备中仍很常见，因此实现 48V 与 12V 之间的高效桥接（例如用于再生制动）至关重要。牢记这三个供电网络要素，即可快速完成以 48V 为核心的全新供电网络的设计和原型开发，实现最高功率与电流密度。可扩展的模块化电源组件使 48V 供电网络可满足未来需求，同时降低功率损耗并简化散热管理。最后，集成的低噪声解决方案可简化输入/输出电磁干扰（EMI）滤波器设计。

将高压高效转换至 48V

在许多系统中，尤其是那些采用 AC 市电或高压 DC 输入的系统，第一阶段就是将高压电源（如 380V、400V 或 800V）降压至 48V 母线电压。完成这一步的最佳方案是采用高效的隔离式母线转换器。这些前端模块具备以下优势：

- 高功率密度，可最大限度减小解决方案尺寸
- 超高的转换效率，可降低能耗成本
- 一流的散热性能，可最大限度减少散热开销
- 符合法规认证，可降低工程设计咨询费用
- 电气隔离设计，确保最终用户安全并规避责任风险

此环节的成功设计，可为构建稳健的 48V 供电网络奠定基础，进而为所有下游负载供电。通常，高压至安全特低电压的转换需要在尺寸、重量和效率之间权衡取舍。寻找合适的 DC-DC 转换器面临诸多挑战，包括尺寸、重量、封装、设计工具可用性等。高度集成且高功率密度的 DC-DC 转换器模块，为空间受限且需要灵活性和可扩展性的设计带来了诸多优势。

直接从 48V 转换至负载点供电电压

一旦建立起中央 48V 母线，就必须将电源以精确的电压输送至设备设计的各个子系统 —— 处理器、传感器、执行器、电机、LED 等，并按需提供快速瞬态响应。这些转换与稳压阶段在转换为低电压（如低于 1V、3.3V、5V）时必须保持高效率，节省空间并确保精确的电压调节，以满足现代数字与模拟子系统的需求。

非隔离母线转换器是将 48V 降压至 12V 的理想选择。这些固定比率 DC-DC 转换器提供高效率和功率密度。若要将 12V 转换至负载点电源轨，分比式电源架构（FPA™）解决方案是理想选择，其中稳压器（通常远离负载）为电压转换电流倍增器（通常紧邻负载）供电。这种布局能够提供高达数百安培的低压电流，同时最大限度地减少 PCB 电阻损耗。

用 48V 电源系统为传统 12V 外设供电

高效的固定比率母线转换器可实现 48V 主干网与现有 12V 负载的无缝共存。这种架构灵活性在以下场景下至关重要：

- 因工程资源受限而需渐进式系统设计升级
- 难以重新设计低产量 12V 子系统以支持原生 48V 运行
- 兼容现有大批量 12V 现成组件及子系统

通过充分利用双向 K=1/4 固定比率母线转换器，设计人员可以迁移至 48V 供电网络，并按需支持原有的 12V 子系统。

采用 48V 电源面临的挑战

尽管 48V 电源的优势显而易见，但其采用确实伴随诸多挑战。数十年来，12V 系统已形成庞大的组件、工具和工程专业技术生态系统。相比之下，48V 设计需要：

- 了解新的安全与隔离标准
- 筛选权衡效率、性能、尺寸、重量与成本的优化组件
- 管理电磁干扰与热耗散
- 开发新的 PCB 布局规范
- 设计可扩展电源架构

Vicor 48V 供电生态系统

为加速 48V 供电网络的普及，Vicor 打造了全面优化的 48V 应用电源模块生态系统。这些模块具有高功率密度（W/in^3）和高电流密度（A/mm^2）。Vicor 的模块化方案使设计人员能够使用多种构建模块来构建端到端的 48V 系统，这些构建模块具有以下特性：

- 极其紧凑，功率密度高，支持灵活的外形设计
- 在宽负载范围内保持高效运行，降低最终用户运营成本
- 在需要时提供电气隔离，确保符合安全标准
- 采用现代封装技术优化散热，最大限度减少散热硬件

卓越的散热模块封装，结合高度功能集成，可缩短设计周期，降低工程风险，并实现跨多个功率等级的可扩展设计。

Vicor 的产品组合包括 48V 生态系统的三大要素解决方案：

- 将高压转换至 48V：BCM® 和 DCM™ 模块可实现高效的前端转换
- 将 48V 转换为负载点电压：DCM 模块、ZVS 降压稳压器以及 VTM™ 和 PRM™ 模块（支持分比式电源架构）
- 桥接 48V 与原有 12V 系统：DCM、NBM™ 和 ZVS 升降压稳压器可实现单向和双向 DC-DC 转换

48V 即新一代 12V

从电信领域的起源到在计算、汽车及工业领域不断扩大的应用，48V 电源正在重塑现代电子系统的供电模式。

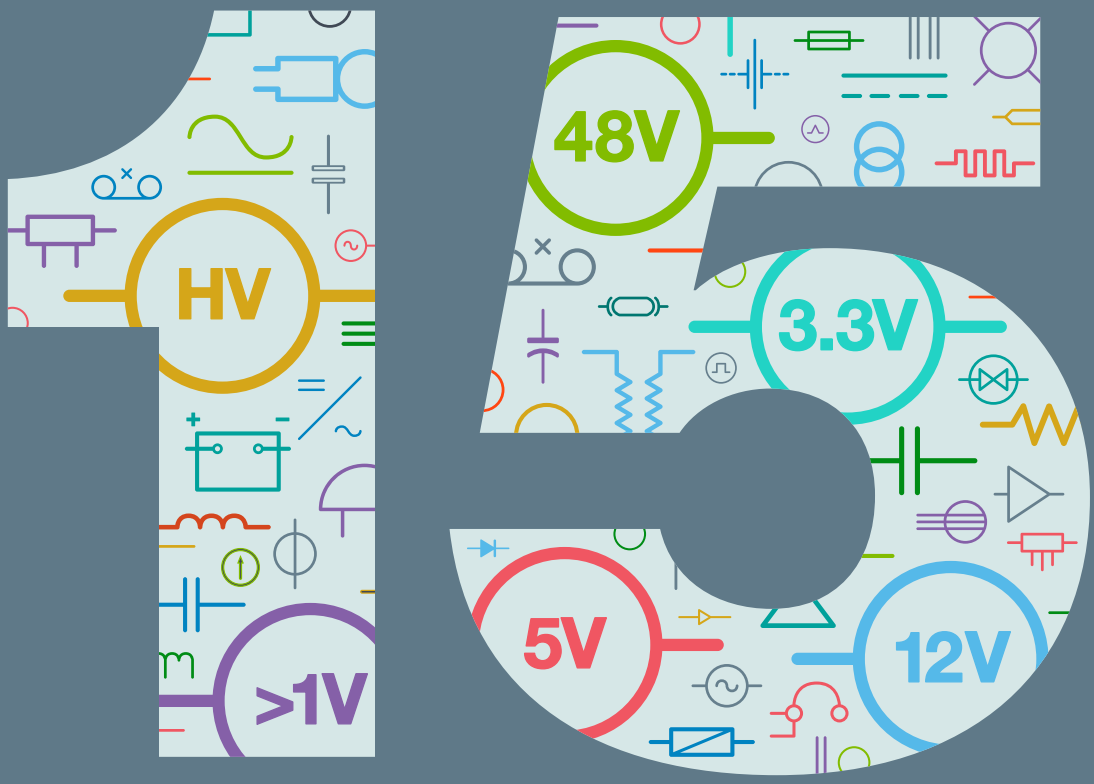
随着项目周期不断缩短，采用高效、可扩展的模块来实施 48V 电源架构的简便性愈发引人注目。

从 12V 到 48V 电源的代际演进，不仅仅是一次简单的电压变更。这标志着电子系统设计正整体演进 —— 为满足终端用户日益增长的需求与期望，系统必须具备更强大的功能与容量。

48V 供电网络赋能工程师开发出更紧凑、高效且可靠的设备设计，以满足先进技术的需求。Vicor 等公司的全面解决方案、拓扑结构、架构及技术支持，确保了迁移过程简便且成功。

尽管仍存在一些挑战，但 48V 电源生态系统正在迅速成熟。成功普及所需的各种设计工具、资源、组件和应用工程支持现已全部到位。目前，设计工程师需要在有限的外形尺寸下应对日益增长的功率需求，而 48V 供电网络将成为一项关键的使能技术 —— 为未来的系统创新注入动力。

Vicor 和 BCM® 是 Vicor 公司的注册商标。
DCM™、FPA™、NBM™、PRM™、VTM™ 是 Vicor 公司的商标。



文章

设计 48V 供电网络时需考虑并攻克的 15 项技术挑战

向 48V 供电网络 (PDN) 转型的优势已得到充分论证，但其中的技术挑战却鲜为人知。当开发工程师首次进行 48V 设计时，各种技术问题自然涌现。为帮助您全面备战 48V 系统迁移，本文深入解析以下 15 项技术挑战。

1 在第一级转换阶段实现最高效率

高压转 48V 供电网络 (PDN) 设计的关键，在于提供符合安全法规标准的隔离方案。

第一级转换通常无需电压调节，因此可以使用先进的拓扑结构，特别是固定比率正弦振幅转换 (SAC™) 技术。固定比率 SAC 母线转换器采用谐振电路架构，可最大限度减小变压器漏感，提升转换效率。此外，零电压 / 零电流软开关技术可显著降低开关损耗，进一步提高效率。SAC 母线转换器可提供通常超过 4,000V 的强电气隔离、双向运行能力及卓越的瞬态响应性能。现有的固定比率 800V 和 400V SAC 母线转换器采用小型模块化设计，完全符合爬电距离和电气间隙标准。

2 降低敏感负载周边的噪声

随着电源系统日益紧凑，采用固有开关噪声较低的转换器拓扑来保护对噪声敏感的负载显得愈发重要。采用高频开关的转换器可将转换噪声副产物转移至更高频段，便于滤波处理，从而减少对敏感负载的干扰。零电压开关 (ZVS) 与零电流开关 (ZCS) 等 MOSFET 软开关技术可显著降低电磁干扰 (EMI) 噪声，最大限度减少对噪声敏感负载的干扰。

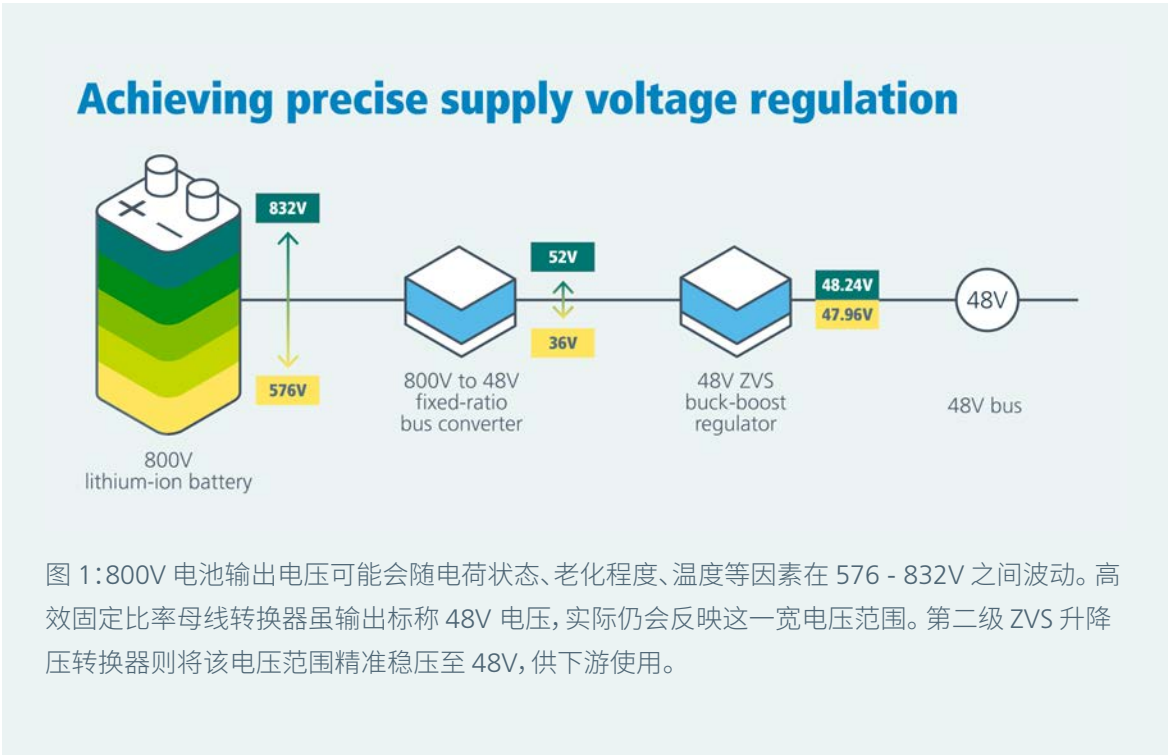


图 1：800V 电池输出电压可能会随电荷状态、老化程度、温度等因素在 576 - 832V 之间波动。高效固定比率母线转换器虽输出标称 48V 电压，实际仍会反映这一宽电压范围。第二级 ZVS 升降压转换器则将该电压范围精准稳压至 48V，供下游使用。

3 构建精密稳压的 48V 母线

某些子系统与外设已迁移至原生 48V 供电模式，特别是那些功耗需求超出 12V 电源合理供电能力的设备。虽然其中一些子系统不需要精密稳压的 48V 电源轨，但另一些则需要精确的供电稳压能力。

当使用隔离式固定比率母线转换器将高压 DC 电源转为 48V 时，通常会需要稳压 48V 母线，因为这类转换器通常不具备稳压输出功能。若母线转换器由 400V 或 800V 电池供电，其输出电压会因电池电荷状态、环境温度、电池老化程度及负载特性等因素产生较大波动。例如，800V 电池的输出电压可能在 576 - 832V 之间波动。若采用 K = 1/16 的母线转换器，则这一输入电压范围对应的输出电压范围为 36 - 52V。

在这种情况下，采用零电压开关（ZVS）升降压 DC-DC 转换器级会有效解决问题。例如，典型 800W ZVS 升降压转换器通常具备宽输入电压范围（如 38 - 60V，标称值为 48V），其标称 48V 输出可在 30 - 54V 范围内调节。此类 ZVS升降压转换器的输出电压负载调节率可达 0.3%，满载时典型转换效率达 97.7%。这一性能水平足以满足最严苛的 48V 负载需求。

4 确定电源稳压的最佳位置 —— 上游还是下游?

48V 电源轨的稳压位置取决于系统设计。若系统中不存在 48V 原生子系统，且所有负载均以 12V、5V、3.3V 或 1V 以下的供电电压运行，则无需对 48V 电源母线进行实际稳压调节。此时可通过降压稳压器在“桥接”转换环节（48V 转 12V）或负载点转换环节（48V 转低压）进行稳压。

对于 48V 至 12V 的桥接应用，可选用非隔离式稳压 DC-DC 转换器，其连续输出功率与峰值输出功率按负载需求进行匹配。输入电压范围应具备足够裕度，以适应 48V 母线的任何波动。12V 稳压精度取决于系统要求；ZVS 降压稳压器通常可实现 0.1% 的输出电压负载调节限值。

对于 5V、3.3V、1.8V 及低于 1V 稳压负载点处理器供电应用，分离稳压功能与电流倍增功能具有显著优势。这种功能划分被称为分比式电源架构（FPA™）。FPA 定义了一个精确的稳压级，后接电压转换级或电流倍增级，可在精密稳压供电电压下提供大电流输出。电流倍增转换的“K 因子”决定输出电压，例如 K=1/48 时，可将电压转换为 1V 输出至负载。同时 48V 电源提供的电流将相应地放大 48 倍。分比式电源架构使稳压级与电流倍增级在物理上分离，从而减少处理器周边组件布局的“拥塞”或拥挤问题。

5 为大电流负载供电

为大电流负载供电面临的一大挑战，就是最大限度降低印刷电路板（PCB）铜箔导线或导轨中的传导损耗。针对 AI 处理器等大电流低电压负载的供电，一个方案就是分比式电源架构（FPA™）。在此架构中，大功率稳压级将 54V 高效转换为 48V。该稳压级可部署在加速器 PCB 外围，避免与存储器及高速串行 I/O 等功能争用空间。该稳压级对 48V 电源进行精密稳压，使下游无需额外稳压。

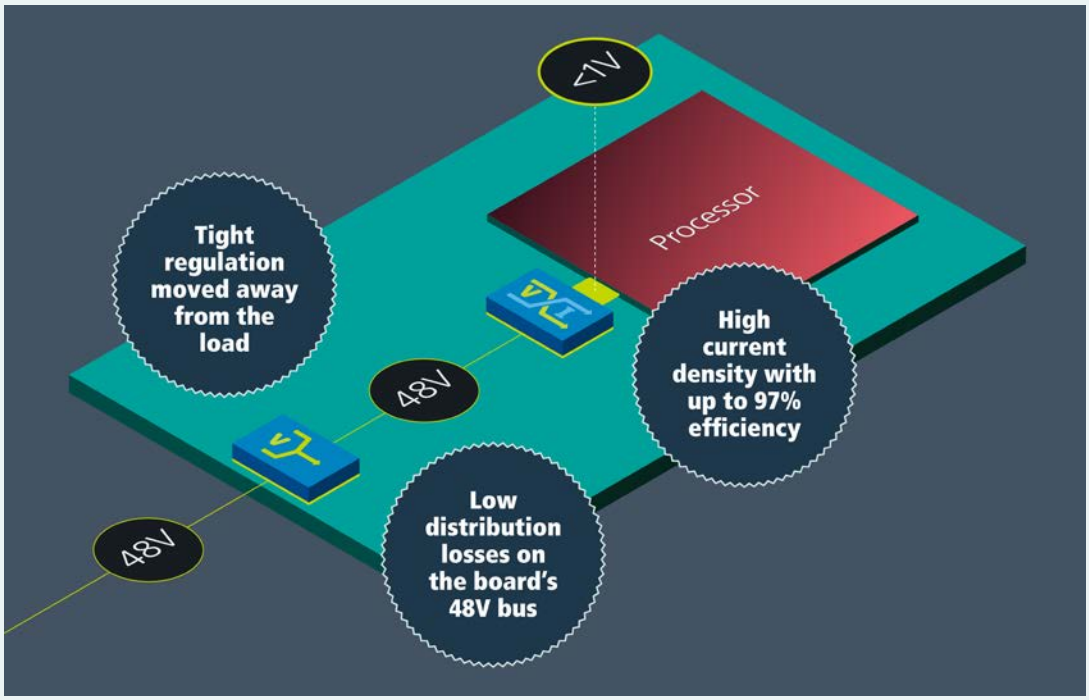


图 2：在分比式电源架构中，第一级稳压器远离处理器，为其他关键功能预留空间。第二级电流倍增器采用高效率固定比率转换将 48V 转换为 1V（或其他低压），可水平或垂直置于处理器下方，以限制 PCB 传导损耗。

采用 48V 作为中间母线电压可最大限度降低传导损耗。电压转换级或电流倍增级可水平布置于处理器旁（横向供电），或理想情况下垂直布置于处理器下方（垂直供电）。此布局可缩短电流倍增器与处理器电源 / 接地端之间的 PCB 铜线走线长度，从而降低 PCB 阻抗及相关电阻散热损耗。电压转换与电流倍增模块均为固定比率转换器，可在不到 1V 的电压水平下输出数百安培电流。FPA 方案可满足最先进 CPU、GPU 及网络处理器的供电需求。

6 在高压下实现足够安全的电气隔离

800V 和 400V 高压供电系统需提供数千伏的电气隔离。理想情况下，此类系统还应具备高达 100MΩ 的绝缘电阻，以及符合 IEC 60664-1 等行业安全标准的爬电距离和电气间隙。基于标准开关拓扑的分立式设计方案在实现高隔离等级方面存在固有局限，其制约因素包括：组件间寄生电容、爬电距离与电气间隙的布局不足，以及在维持隔离屏障介电完整性的前提下难以同步高速开关信号等。

采用 SAC 拓扑的 DC-DC 转换器凭借零电压 / 零电流开关技术，可实现极高压隔离等级。这些软开关技术可显著降低电磁干扰并最小化隔离屏障两端的电压应力，从而在不影响绝缘性能的前提下采用紧凑的磁性结构。因此，SAC 拓扑结构的 DC-DC 转换器可以集成高隔离变压器，即使在分立组件方案通常失效的高密度高压环境中也能保持高效率。

7 板卡空间受限时如何设计安全的爬电距离与电气间隙

高压组件在 PCB 板上密集排布时，电弧放电（电气间隙不足）和漏电起痕（爬电距离不足）风险显著加剧。需注意：电弧放电和漏电起痕这两种现象受工作电压、污染等级、海拔高度、湿度、绝缘材料及瞬态电压等多重因素影响。虽然灌封（Potting）工艺可降低风险，但全模塑封装才是更有效的解决方案。选用高功率密度集成解决方案更为理想，因其将电源系统所需元件封装在环氧树脂模塑封装内，可降低甚至消除电弧与漏电风险。关键是电源解决方案供应商必须按照 IEC 60664-1 和 62368-1 等标准进行爬电距离与电气间隙的合规测试。

8 克服 48V 组件生态系统不完善的难题

当前 48V 组件及配套生态系统的发展成熟度，远不及历经数十年发展的 12V 生态系统。在多数情况下，12V 组件与子系统已实现充分的成本优化，同类功能元件通过价格竞争形成多元化供应。合理的系统架构选择应是：当 12V 子系统能满足性能目标时予以保留，仅在高压能带来关键性能优势时选用 48V 子系统。鉴于分立式电源方案所需的 48V 电源元件相对稀缺，模块化 48V DC-DC 转换器成为极具吸引力的选择。采用模块化电源转换器可显著缩短产品开发周期、测试时间，减少专业工程设计资源投入及成本支出，同时支持快速原型设计，并减轻物料清单采购与元器件生命周期管理的负担。

若需融合这两种方案，建议采用 48V 转 12V 的桥接策略。若 48V 母线已稳压，采用 48V 转 12V 固定比率非隔离双向母线转换器最为理想，因为它的转换效率通常极高。若 48V 母线未稳压，则可通过非隔离零电压开关（ZVS）降压 DC-DC 转换器，从 48V 非稳压电源输出 12V 稳压电源。

9 满足高峰值功率需求，同时避免过度设计供电网络（PDN）

实际应用中的许多系统会出现间歇性功率需求高峰期。但为满足间歇性峰值功率（负载阶跃）需求而专门设计电源系统，可能造成成本浪费。通常采用负载点电容器为功率峰值提供能量支持。现代电源系统可提供短时（例如 20 毫秒）峰值功率容量，该容量比持续输出功率规格高 50%。

固定比率 SAC 母线转换器能实现快速瞬时响应（每秒数百万安培），可降低为满足峰值功率需求而过度设计额定输出功率的必要性。此类转换器还具有独特的电容倍增特性：输入电容值乘以 K 因子的平方后，将显示为有效输出电容。这一特性可减少满足峰值负载阶跃需求所需的电容量。

10 提升开关器件的效率与可靠性

DC-DC 转换器的效率与转换拓扑结构和分区、MOSFET 开关频率等因素相关。采用零电压开关与零电流开关技术的转换器拓扑结构，其效率可高于其他拓扑结构。分比式电源架构的第一级采用高效稳压器，第二级实施电压转换/电流倍增，凭借固定比率电流倍增器（其作用类似理想的 DC-DC 变压器），可实现卓越效率。MOSFET 高开关频率可最大程度降低电路寄生效应并提升转换效率。采用低热阻以及在模块顶部和底部设置共面散热界面的先进封装，可有效降低电源模块内部的最高温度，从而提升系统可靠性（即平均故障间隔时间（MTTF）更长）。

11 构建紧凑、高效散热的供电网络

显然，维持紧凑型供电网络低温运行的最有效方式是采用高效的 DC-DC 转换器。除此之外，紧凑型电源系统不仅需应对各个组件和模块的散热问题，还需处理紧密排布组件与模块之间的相互热耦合。通常而言，超过 1kW 的大功率 PDN 必须采用风冷或液冷硬件散热。电源系统的功率密度（W/in^3）越高，采用主动（风冷或液冷）冷却系统的重要性就越突出，这是确保高可靠性的关键。对于更倾向于被动散热方式的系统（尤其是紧凑型供电网络），采用高转换效率且低热阻封装的电源系统组件尤为重要。

12 在宽输入范围下获得稳定输出

微处理器、存储器和数据转换器等一些电子子系统必须获得稳定的供电电压，以避免内部器件永久性损坏（先进半导体工艺晶体管对供电电压极为敏感）。例如，电源稳压级的作用在于：从宽电压范围输入（典型值 40 - 60V）提供精确稳压的 48V 输出（典型输出负载电压调节率约 0.2%）。这使得第一级稳压器能配合电池供电的母线转换器工作，当电池的电荷状态、温度和老化程度变化时，额定 400V 电池的电压可能在 340 - 460V 之间波动。通过 K=1/8 的固定比率级将该电压范围转换为 42.5 - 57.5V，正好处于稳压器的输入范围之内。根据具体应用场景，宽输入范围稳压器是确保功能兼容性的关键。

13 实现高瞬态响应

许多电子与机电系统均具有高瞬态或瞬时功率需求特征。例如，汽车中的 12V 和 48V 电池需满足车内不同子系统（如空调电机）的瞬态电流需求。又如，多核数据中心 AI 处理器会因算法负载变化引发电流瞬态。这两类场景中，采用正弦振幅转换（SAC™）拓扑的固定比率转换器是应对这些瞬态需求的最佳供电网络解决方案。这类转换器采用高频开关，以更高频次向输出端传输能量，有效满足瞬态电流需求。它们的另一特性是低输出 AC 阻抗，这有助于在瞬态事件中保持输出电压稳定。此外，采用 SAC 技术的转换器还具有电容倍增效应：输入电容值乘以转换比（K）的平方后，将有效显现在输出端。这种电容倍增效应显著提升了供电网络的整体瞬态性能。

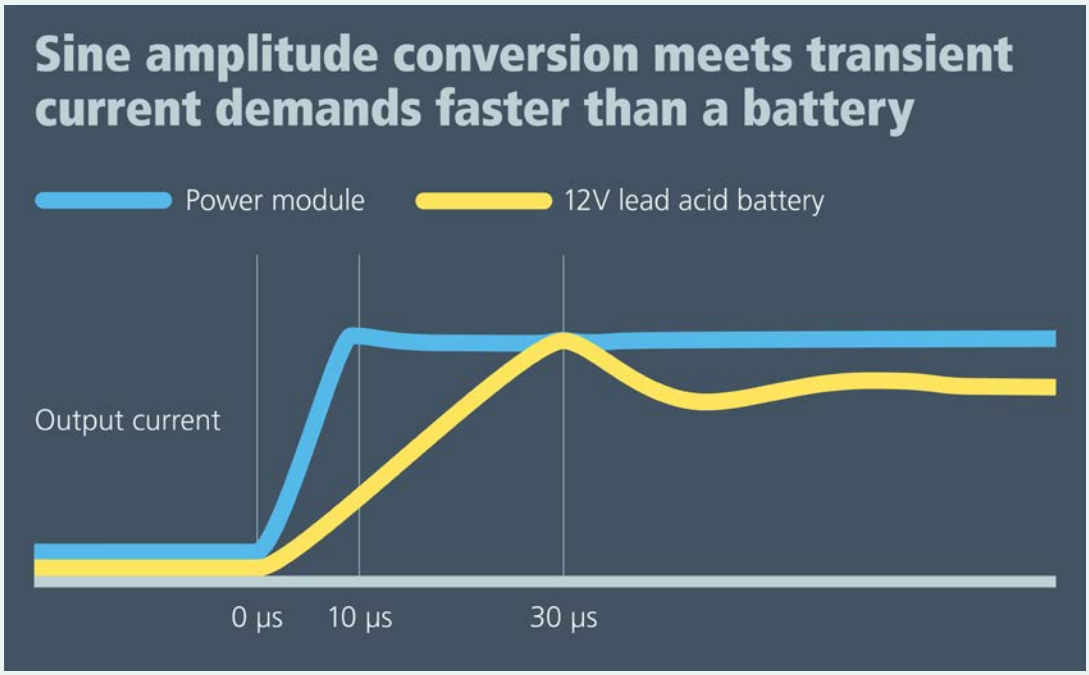


图 3：高频开关谐振正弦振幅转换器采用软开关技术（零电压开关和零电流开关）。其特点是控制带宽高、AC 输出阻抗低且输入电容倍增效应显著，这些特性共同造就了远超铅酸电池的极高瞬态响应能力。

14 兼容传统 12V 负载

大多数系统仍包含 12V 负载，例如 12VDC 风扇。这些 12V 子系统历经多年生产已实现成本优化，若替换为 48V 方案可能缺乏经济吸引力。对于需要稳压电源轨的子系统，理想方案就是采用 48V 转 12V DC-DC 转换器；而对于需要非稳压电源轨的子系统，可采用 48V 转 12V 非隔离母线转换器。若上游 48V DC-DC 转换器具备稳压功能，则非隔离母线转换器方案也可为 12V 子系统提供稳压输出。

15 确保 48V 供电网络可扩展且便于原型设计

各类电子系统的功率需求通常会随时间的推移而增长，例如，计算机系统中可能增配内存或网络硬件。理想方案是无需大幅重新设计系统就能扩展供电网络容量。虽然这种情况需要提前规划，但完全可以实现。

一些模块化 DC-DC 转换器支持阵列工作模式，通过多器件并联将输出功率提升至两倍或四倍。最佳方案是采用简单的导线互连均流方法来构建这种电源阵列。这种方案的优势在于：电路板上可预留两个或四个并联器件的布局空间，初期仅安装其中一个器件。若系统后续功率需求增长，只需增装一至三个（或更多）器件并连接少量跳接线，即可实现电源系统扩容，满足系统电源的新需求。

这种便捷的供电扩展方案不仅支持快速评估不同设计方案并加速其原型设计，还允许将同一设计方案用于不同功率需求的系统，大幅提升设计效率。

与分立式方案相比，模块化电源解决方案更便于原型设计。它们结构紧凑、I/O 接口数量相对较少，并且所需的外部组件也极少。更重要的是，这些模块已通过行业及监管标准的预测试与预认证。当项目追求产品快速面市时，电源模块便展现出极具吸引力的价值优势。

尽职调查助您轻松完成 48V 迁移，打造高性能供电网络

48V 系统电源的首次大规模应用可追溯至一百多年前，当时新兴的电话行业认识到其在效率与传输距离方面的优势。近年来，开放计算项目（Open Compute Project）积极倡导在数据中心机架内采用 48V 供电。一些电动汽车现已采用 48V 系统电源。

当前，从 12V 供电网络向 48V 供电网络代际变革的步伐正在加速。系统向 48V 迁移，已不是“是否”会迁移，而是“何时”迁移的问题。汽车电气化、人工智能计算的爆炸式增长以及大功率工业应用的涌现，共同推动着 48V 供电网络的发展。尽管电源工程师在 12V 供电网络方面拥有数十年经验并对其充满信心，但向更高容量的 48V 供电网络迁移时，设计团队仍面临诸多挑战。数十年来，分立式系统在 12V 电源设计领域表现出色，但应对日益复杂的供电挑战时却力不从心。幸运的是，当前行业在架构、拓扑及封装等方面的持续创新，将有效缓解新一代 48V 系统的实施难题。这些创新将加速向 48V 迁移的进程，助力打造可扩展、高密度且面向未来的供电网络。

SAC™ 和 FPA™ 是 Vicor 公司的商标。



文章

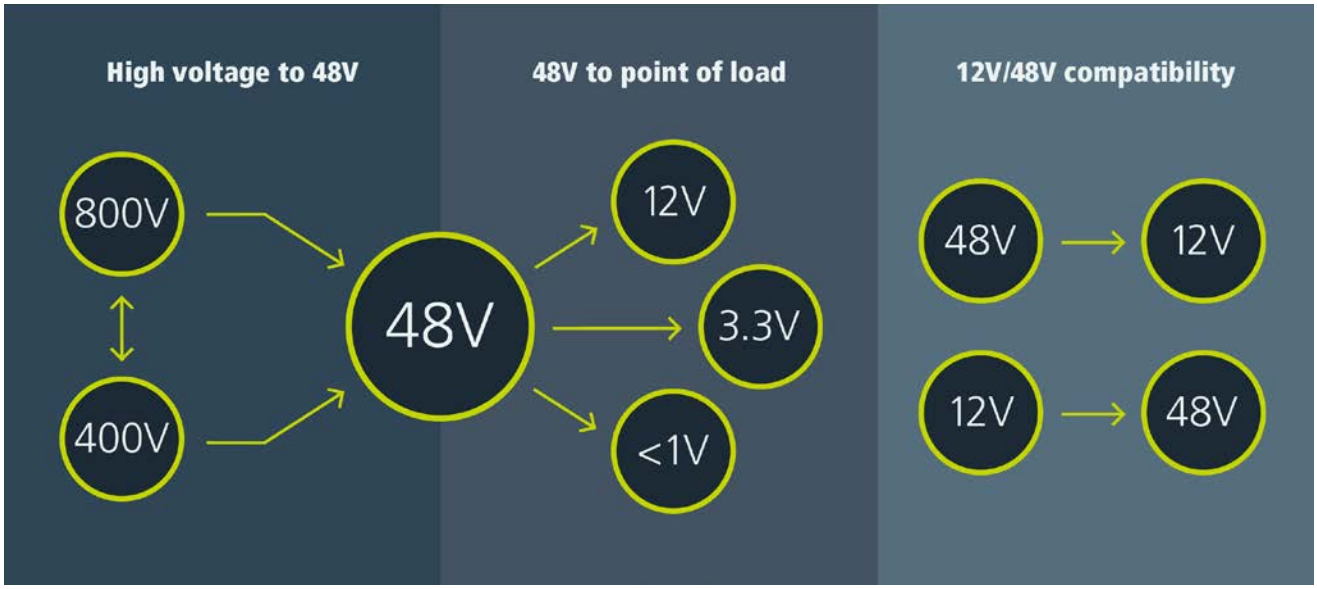
专为 48V 供电网络优化的高性能电源模块

完整的供电网络解决方案

在工业、AI / 数据中心以及汽车应用领域，随着系统在相同尺寸与重量下对功率需求的不断提升，向 48V 供电网络的转型正在加速推进。

Vicor 高密度模块化电源转换技术，为空间受限且需要灵活性和扩展性的设计场景提供了核心支持。这些电源模块具备低噪声特性，可简化滤波器设计；其高效的散热封装还能简化散热管理，大幅降低功率损耗。借助 Vicor 丰富的先进电源模块、架构及拓扑生态系统，客户能够快速完成整个 48V 供电网络的原型设计与部署，轻松实现向 48V 系统的转型。

48V 供电网络的三大核心设计要素



要素一：高效地将高压转换至 48V

Vicor 电源模块凭借业界领先的功率密度与创新架构，为电源设计人员提供隔离式与非隔离式两类解决方案，有效减小电源系统的尺寸、减轻重量，并充分发挥 48V 母线的优势。

要素二：从 48V 母线为负载点供电

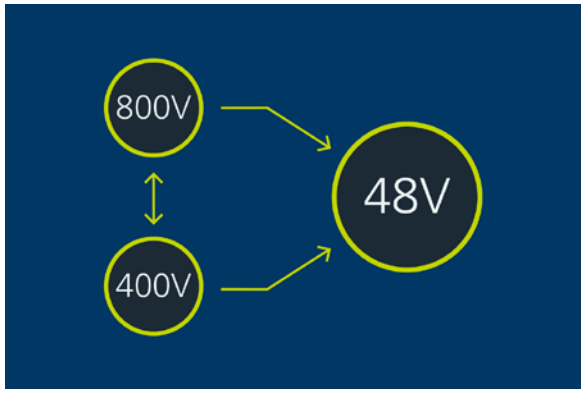
我们的 DC-DC 转换器与稳压器在实现高效率与卓越尺寸 / 重量比的同时，兼具模块化供电方案特有的灵活性与可扩展性。

要素三：桥接 48V 与传统 12V 系统

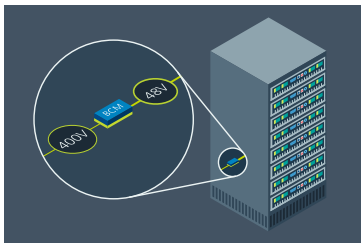
我们的稳压型与固定比率转换器一方面助力客户轻松过渡至本身高效的 48V 供电，同时减轻了重新设计系统的负担——这些系统数十年来始终围绕 12V 架构系统进行优化。

高效地将高压转换至 48V

电源设计的首要环节是将整流后的 AC 或高压 DC 输入转换为 48V。设计中常采用隔离式高效转换器，将 800V 或 400V 等高压逐步转换至 48V。Vicor 电源模块凭借业界领先的功率密度与创新架构，为电源设计人员提供隔离式与非隔离式两类解决方案，可减小电源系统的尺寸、减轻重量，并为构建 48V 母线系统提供最高效的解决方案。

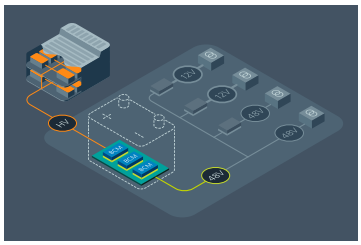


应用案例



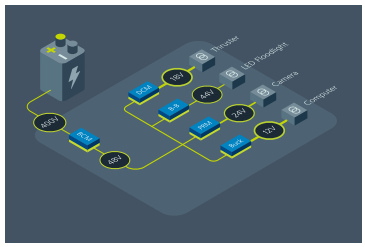
数据中心

通过集中部署 AC-DC 整流与电池备份，数据中心的高压配电系统可使每个机架容纳的处理器数量提升四倍。



汽车领域

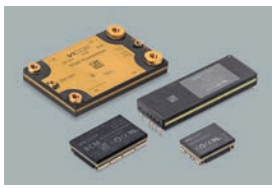
电源模块的快速瞬态响应可省去中间的 12V 或 48V 电池，显著减轻电动汽车的重量并减少空间占用。



机器人与无人机

将高压输入转换为 48V 母线，这使机器人能够节省宝贵的空间和重量，提升生产率、功能性和运行时间。

将高压转换至 48V 的电源模块



BCM® 母线转换器

- 隔离固定比率
- 输入: 800 – 48V
- 输出: 2.4 – 55.0V
- 电流: 高达 150A
- 峰值效率: 98%
- 尺寸 22.0 x 16.5 x 6.7 毫米

vicorpower.cn/zh-cn/bcm



DCM™ DC-DC 转换器

- 隔离稳压
- 输入: 9 – 420V
- 输出: 3.3, 5, 12, 13.8, 15, 24, 28, 36, 48V
- 功率: 高达 1300W
- 峰值效率: 96%
- 小巧至 24.8 x 22.8 x 7.21 毫米

vicorpower.cn/zh-cn/dcm



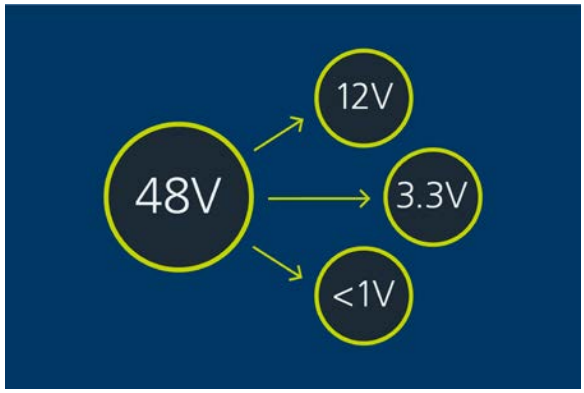
MIL-COTS DCM™ DC-DC 转换器

- 隔离 稳压
- 输入: 28, 30, 270V
- 输出: 3.3, 5, 12, 15, 24, 28, 48V
- 功率: 高达 1300W
- 峰值效率: 96%
- 小巧至 0.98 x 0.90 x 0.28 英寸

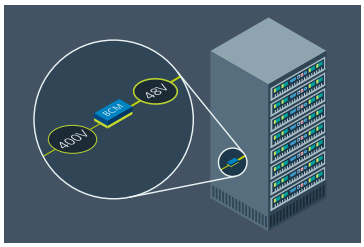
vicorpower.cn/zh-cn/mil-cots-dcm

从 48V 母线为负载点供电

48V 至负载点转换器为处理器、传感器、电机等负载供电。Vicor DC-DC 电源模块包括降压与升降压转换器、稳压器和固定比率母线转换器，以紧凑外形实现大功率低压输出，提供快速瞬态响应与精准稳压性能，兼具卓越的尺寸与重量，同时保留了模块化电源方案固有的灵活性与可扩展性。

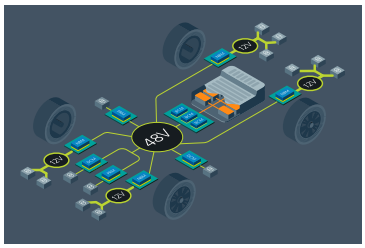


应用案例



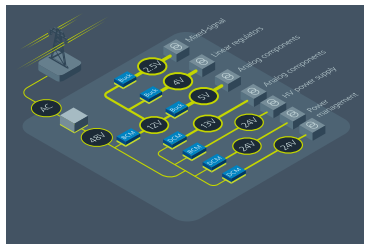
计算领域

垂直供电技术可实现处理器性能水平的突破性提升，满足 AI 等高性能应用的需求。



汽车领域

Vicor 电源模块支持 300 多种配置方案，作为基础构建模块，为 48V 区域架构中的每个负载点实现精准供电。



ATE（自动测试设备）

测试设备制造商可轻松调整功率等级，支持多种电压，并在相同的空间内实现最大吞吐量。

将 48V 转换至负载电压点的电源模块



DCM™ DC-DC 转换器

隔离稳压

输入: 9 – 420V

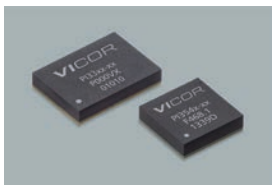
输出: 3.3, 5, 12, 13.8, 15, 24, 28, 36, 48V

功率: 高达 1300W

峰值效率: 96%

小巧至 24.8 x 22.8 x 7.21 毫米

vicorpower.cn/zh-cn/dcm



ZVS 降压稳压器

非隔离稳压

输入: 12V (8 – 18V),
24V (8 – 42V), 48V (30 – 60V)

输出: 2.2 – 16V

电流: 高达 22A

峰值效率: 98%

小巧至 10.0 x 10.0 x 2.56 毫米

vicorpower.cn/zh-cn/buck



ZVS 升降压稳压器

非隔离稳压

输入: 8 – 60V

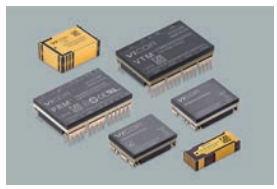
输出: 10 – 54V

功率: 高达 150W 持续电流

效率: 超过 97%

10 x 14 x 2.56 毫米

vicorpower.cn/zh-cn/buck-boost



PRM™ 和 VTM™ 模块

隔离 稳压

输入: 48V (36 – 75V)

输出: 0 – 55V

电流: 高达 130A

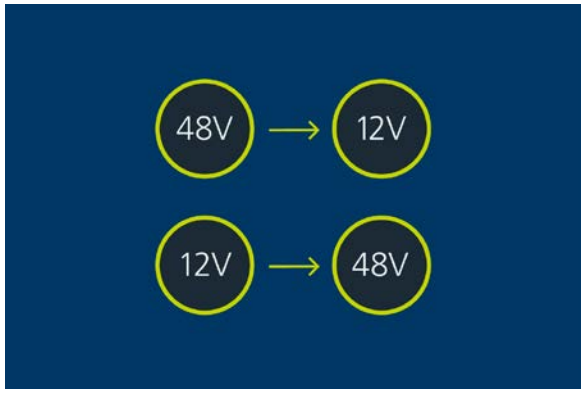
峰值效率: 97%

小巧至
22.83 x 8.52 x 4.9 毫米

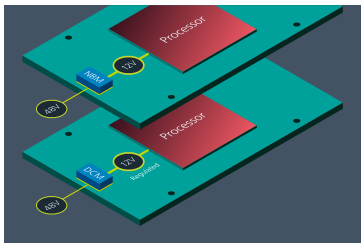
vicorpower.cn/zh-cn/prm-vtm

桥接 48V 与传统 12V 系统

48V 与 12V 的兼容设计简化了向 48V 系统的平滑过渡，使传统 12V 负载能与新型 48V 架构共存。Vicor 的双向及传统转换器支持渐进式升级，构建混合电压环境，并与现成组件兼容。这减轻了重新设计系统的负担 —— 这些系统数十年来始终围绕 12V 架构系统进行优化。

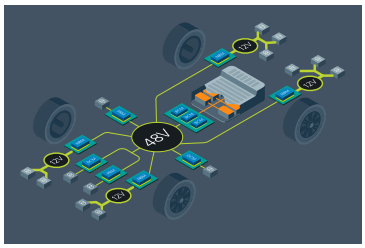


应用案例



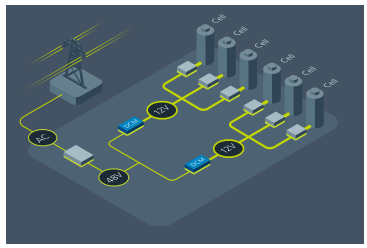
数据中心

Vicor 电源模块可在 48V 数据中心基础设施中为原有 12V 板卡供电。双向模块还能帮助将最新 GPU 集成到传统的 12V 架构中。



汽车领域

Vicor 电源模块在实现高效 48V 架构的同时，又规避了改造大量传统 12V 系统带来的风险与设计周期限制的障碍。



电池测试

48V 供电方案在尺寸、重量及效率方面具备显著优势，同时可保留传统 12V 母线，为电池单体监测及均衡控制单元供电。

将 48V 转换至 12V 以及 12V 转换至 48V 的电源模块



DCM DC-DC 转换器

非隔离稳压
输入: 40 – 60V
输出: 10 – 12.5V
功率: 高达 2kW
峰值效率: 96.5%
小巧至 36.7 x 17.3 x 5.2 毫米

vicorpower.cn/zh-cn/dcm48to12V



NBM™ 母线转换器

非隔离固定比率
输入: 36 – 60V
输出: 7.2 – 15.3V
功率: 高达 2400W
峰值效率: 98%
小巧至 23 x 17 x 5.2 毫米

vicorpower.cn/zh-cn/nbm



ZVS 降压稳压器

非隔离稳压
输入: 12V (8 – 18V), 24V (8 – 42V), 48V (30 – 60V)
输出: 2.2 – 16V
电流: 高达 22A
峰值效率: 98%
小巧至 10.0 x 10.0 x 2.56 毫米

vicorpower.cn/zh-cn/buck

案例研究

VICOR

案例研究：自动驾驶电动穿梭车



先进的电源模块封装优化可用功率、可靠性和安全性

客户所面临的挑战

低压（48V）自动驾驶电动穿梭车配备了先进的自动驾驶系统，能够在复杂的城市道路上自动行驶。GPU 和传感器是自动驾驶系统的关键组件，依赖高效的 ATX 电源。这些电源必须紧凑轻便以适应车辆有限的空间，高效运行以减少散热，并保持卓越的可靠性。为了满足不断变化的需求，电源系统必须具有可扩展性，适应日益增长 GPU 功率需求和更高的电池电压。其主要挑战包括：

- 避免过热并改善热管理
- 为 GPU 高效供电以提升功能和安全性
- 一个通用、可扩展的解决方案，以适应不断变化的需求

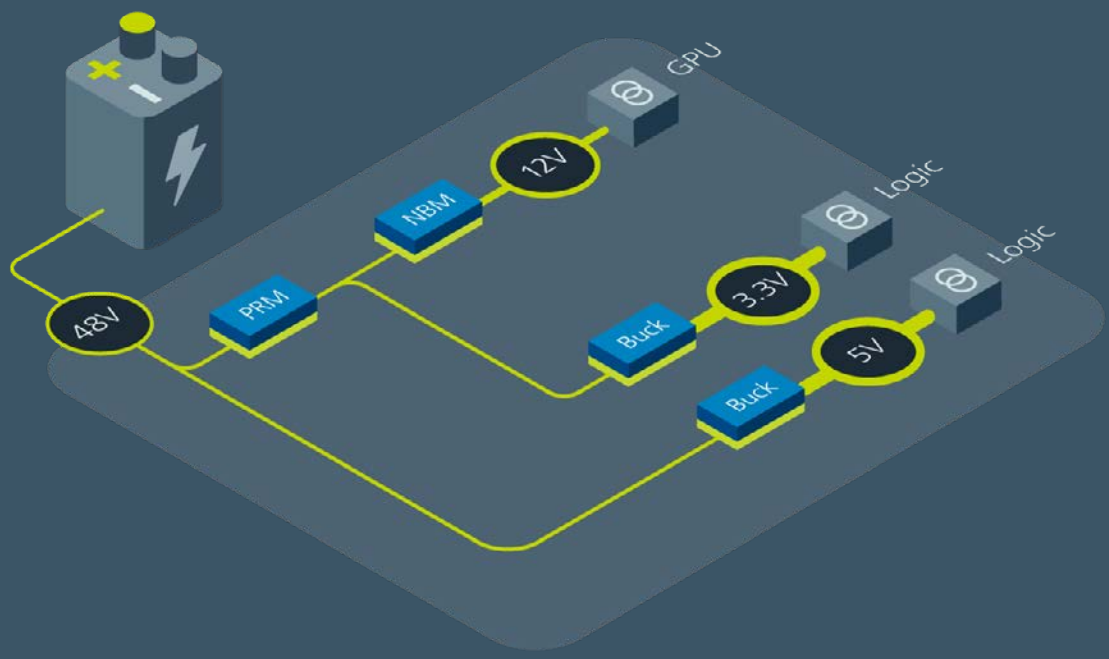
Vicor 解决方案

Vicor 高效电源模块可确保最小的散热，减少对复杂冷却解决方案的需求，并最大限度地提高功率。这意味着更高的可用功率和系统可靠性，对安全至关重要。Vicor 模块的高功率密度节省了空间和重量，可延长车辆运行时间，优化空间，满足额外的 GPU 功率和功能。其主要优势包括：

- 先进的封装和高效率降低冷却需求
- 易于扩展的解决方案可适应不同的车辆和平台
- 高性能电源模块可优化功耗，延长续航里程并增加功能

供电网络

Vicor PRM™ 和 NBM™ 模块的组合 —— 分比式电源构架 —— 高效地将 36 - 75V 输入降压至稳定的 12V 输出。该解决方案提供高达 1200W 的可扩展性能，确保无缝适应处理器日益增长的需求。Vicor 零电压开关（ZVS）降压转换器提供从电池到标准 5V 和 3.3V 逻辑轨的直流大电流（10A+）转换。这种直接转换可最大限度地减少损耗，并确保为关键系统组件提供可靠供电。这种供电网络可通过在 PRM 模块上游添加母线转换器模块，为车辆改装 400V 电池。





NBM™ 母线转换器

非隔离固定比率

输入: 36 – 60V

输出: 7.2 – 15.3V

功率: 高达 2400W

峰值效率: 98%

小巧至 23 x 17 x 5.2 毫米

vicorpower.cn/zh-cn/nbm



ZVS 降压稳压器

非隔离稳压

输入: 12V (8 – 18V),
24V (8 – 42V), 48V (30 – 60V)

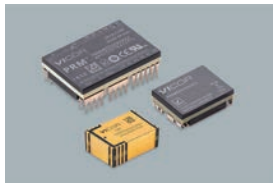
输出: 2.2 – 16V

电流: 高达 22A

峰值效率: 98%

小巧至 10.0 x 10.0 x 2.56 毫米

vicorpower.cn/zh-cn/buck



PRM™ 稳压器

非隔离稳压

输入: 48V (36 – 75V)

输出: 48V (5 – 55V)

功率: 高达 600W

峰值效率: 98%

小巧至 22.0 x 16.5 x 6.73 毫米

vicorpower.cn/zh-cn/prm

VICOR

案例研究：
Dragonfly Pictures 无人驾驶多旋翼空中接力系留无人机



系留无人机彻底改变了远程通信

客户所面临的挑战

随着当今海军变得复杂，对更可靠的远端通信和情报、监视和侦察（ISR）的需求也在增长。为了抵御恶劣的天气条件，该行业已将注意力转向垂直升空系留无人机技术。这项新技术或许会实现所有的预期目标，但仍有续航时间、稳定性和生存能力等挑战需克服。Dragonfly Pictures 的主要目标包括：

- 保持纤细的系线，减轻重量
- 高功率密度，支持更高电压输入
- 低电磁干扰，提升通信信号质量

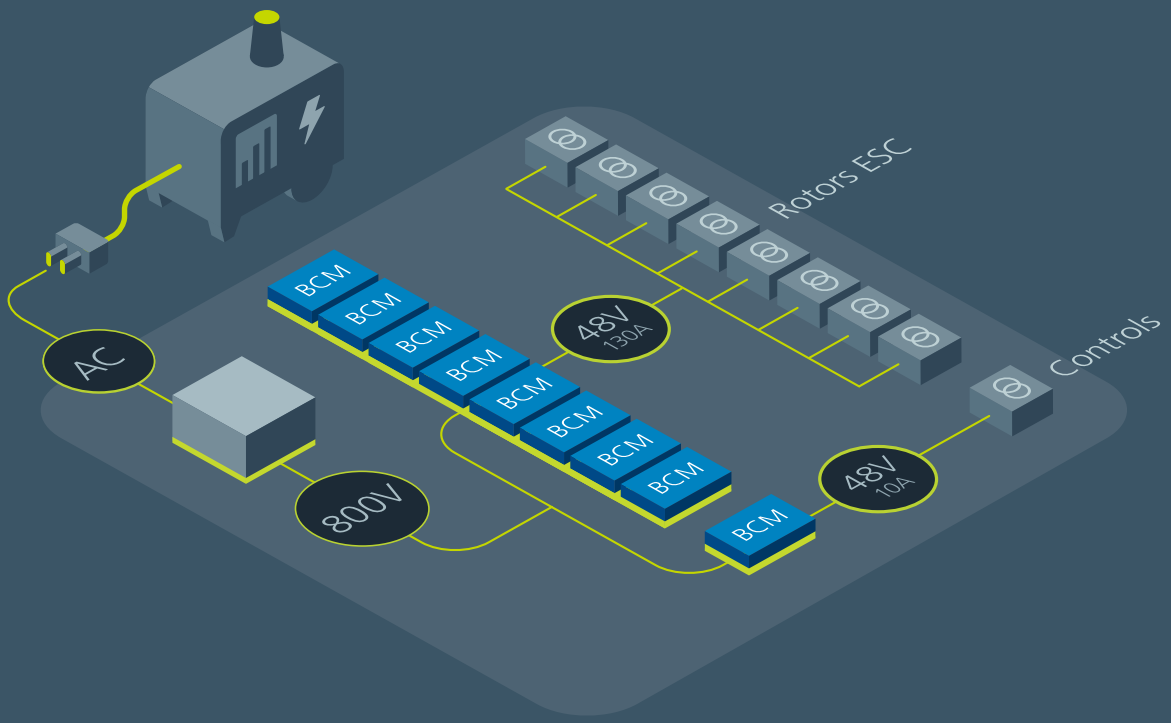
Vicor 解决方案

DPI 无人多旋翼空中接力（UMAR）系留无人机可在高达 500 英尺的高度提供 400 多小时的不间断正常运行和操作。为了实现这一目标，需要在极高的电压（500 – 800V）和低电流下将电源从主船输送到无人机，以便能够使用更细、更轻的系线，从而实现无人机更好的机动性和更大的机载有效载荷。此外，高压转换必须在尽可能更小、更轻的封装外壳中实现。其主要优势包括：

- 高功率密度实现更小的外形尺寸和更低的重量
- 更高的电压输入提供更高的效率，实现更长的飞行时间
- 低噪声功率拓扑支持更低的 EMI 和更清晰的通信

电源解决方案实现最薄、最轻的系统

UMAR 系留无人机使用的 Vicor 高压 BCM4414 VIA 超薄模块实现了从 800V 到 50V 的高效转换（98%）。**供电网络**的紧凑占板面积对于实现极高的功率密度板载配置尤为重要。八个 Vicor BCM® 的阵列为 DPI UMAR 的八个独立旋翼供电，能够在旋翼之间并联共享电源以增加冗余。Vicor BCM 内部的集成滤波功能有助于将 EMI 降至最低。





MIL-COTS BCM®
母线转换器

隔离 固定比率

输入: 200 – 400V, 400 – 700V, 500 – 800V

电流: 高达 35A

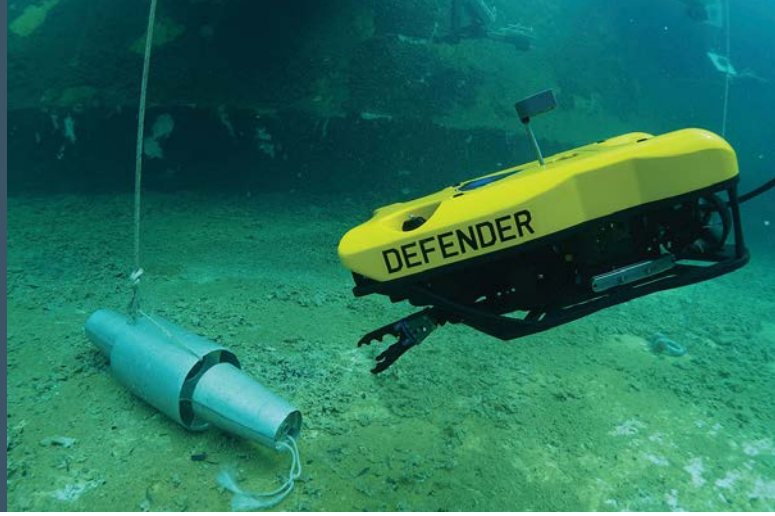
峰值效率: 98%

小巧至 1.28 x 0.86 x 0.26 英寸

vicorpower.cn/zh-cn/mil-cots-bcm

VICOR

案例研究：VideoRay 模块化多功能遥控水下机器人



水下遥控机器人迅速适应当前危险的水下任务

客户所面临的挑战

为了获得最佳的机动性并抵消洋流的阻力，水下遥控潜水器的系线需要 1kW 的推进器功率，同时系线必须又轻又细。在深水中使用时，为了最大限度地提高性能，VideoRay 通过 48V 板载电池为遥控潜水器供电，进一步减小了系线的直径。这样就消除了系留线的电源线及其重量，使其仅用于通信目的。其主要目标包括：

- 功率可扩展，可根据不同的使用情况快速重新配置平台
- 高功率密度和效率
- 低电磁干扰，避免干扰系留线的视频传输

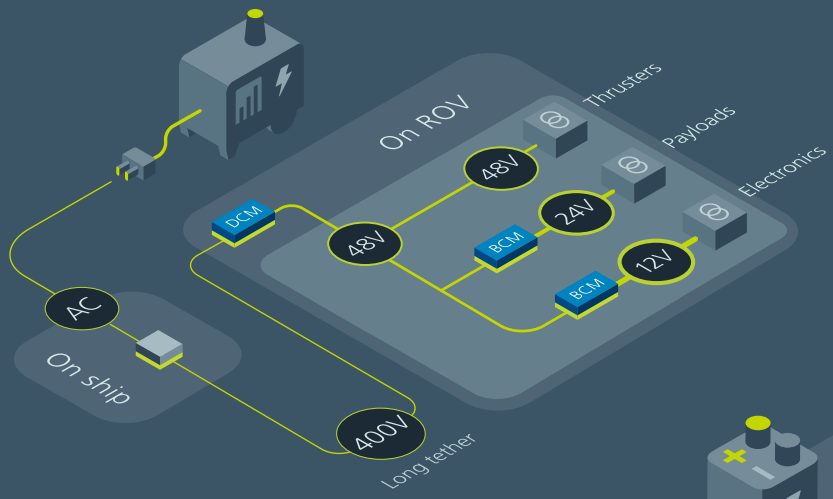
Vicor 解决方案

为每项任务提供合适的性能，需要一款适应性很强的模块化电源系统，满足每款不同 ROV 的不同有效载荷及其它需求。为确保在更深位置提供更高机动性，每种新配置都需要使用可扩充的供电网络以调节其任务，Vicor 高密度、高效率的电源模块使其成为可能。其主要优势包括：

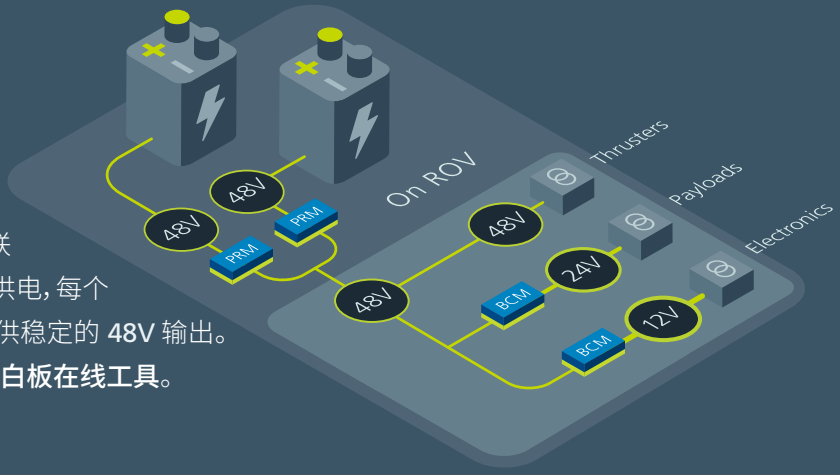
- 电源模块可扩展以满足不同需求
- 高密度解决方案所占空间仅为砖块式解决方案的 25%
- 坚固耐用、高度集成的电源模块具备高可靠性

灵活的电源组件可优化多种用途的转换

供电网络：在船上，交流电源通过整流为系线提供 400V 直流电压。在 ROV 上，系线电压由三个 DCM 转换器阵列隔离并稳压至 48V。稳压 48V 直接为推进器供电，而两个效率为 95% 的 BCM DC-DC 变压器则可为其它船上的电子设备提供 24V 及 12V 输出。



为了实现冗余，ROV 由两路并联输出的 48V 电池及 PRM 阵列供电，每个阵列包括三个 PRM 稳压器，提供稳定的 48V 输出。欲分析此电源链，请访问 **Vicor 白板在线工具**。





DCM™ DC-DC 转换器

隔离稳压

输入: 9 – 420V

输出: 3.3, 5, 12, 13.8, 15, 24, 28, 36, 48V

功率: 高达 1300W

峰值效率: 96%

小巧至 24.8 x 22.8 x 7.21 毫米

vicorpower.cn/zh-cn/dcm



PRM™ 稳压器

非隔离稳压

输入: 48V (36 – 75V)

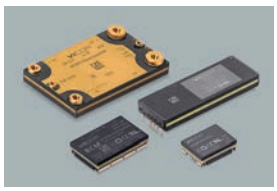
输出: 48V (5 – 55V)

功率: 高达 600W

峰值效率: 98%

小巧至 22.0 x 16.5 x 6.73 毫米

vicorpower.cn/zh-cn/prm



BCM® 母线转换器

隔离固定比率

输入: 800 – 48V

输出: 2.4 – 55.0V

电流: 高达 150A

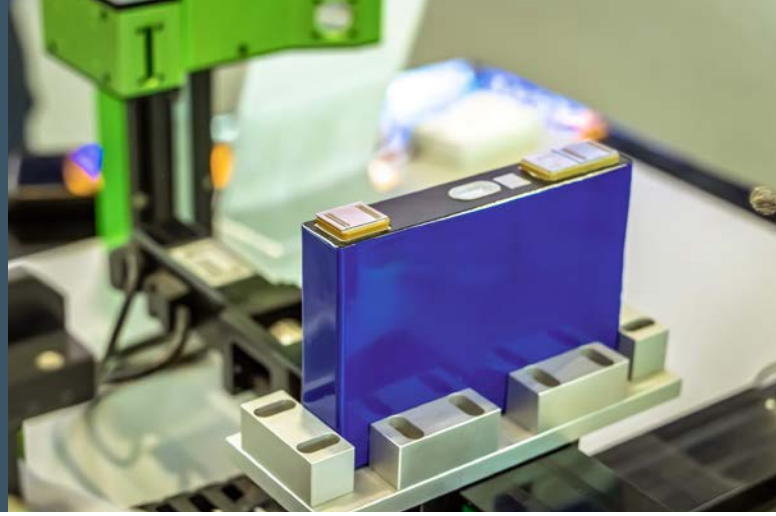
峰值效率: 98%

尺寸 22.0 x 16.5 x 6.7 毫米

vicorpower.cn/zh-cn/bcm

VICOR

案例研究:电池测试



最大限度提升吞吐量，快速灵活适应变化

客户所面临的挑战

随着电池需求的激增，电池测试设备制造商正面临巨大挑战：如何在不增加占用空间或设备尺寸的前提下，实现吞吐量最大化。同时，他们需要确保测试系统能够轻松适配并扩展，以满足新型或升级版电池包配置的要求。设备还必须在电池测试过程中应对大幅度电流波动，确保持续稳定运行。其主要挑战包括：

- 在现有高度限制内实现更高密度的供电能力
- 具备大电流能力与宽输入电压范围
- 提供可灵活扩展的解决方案

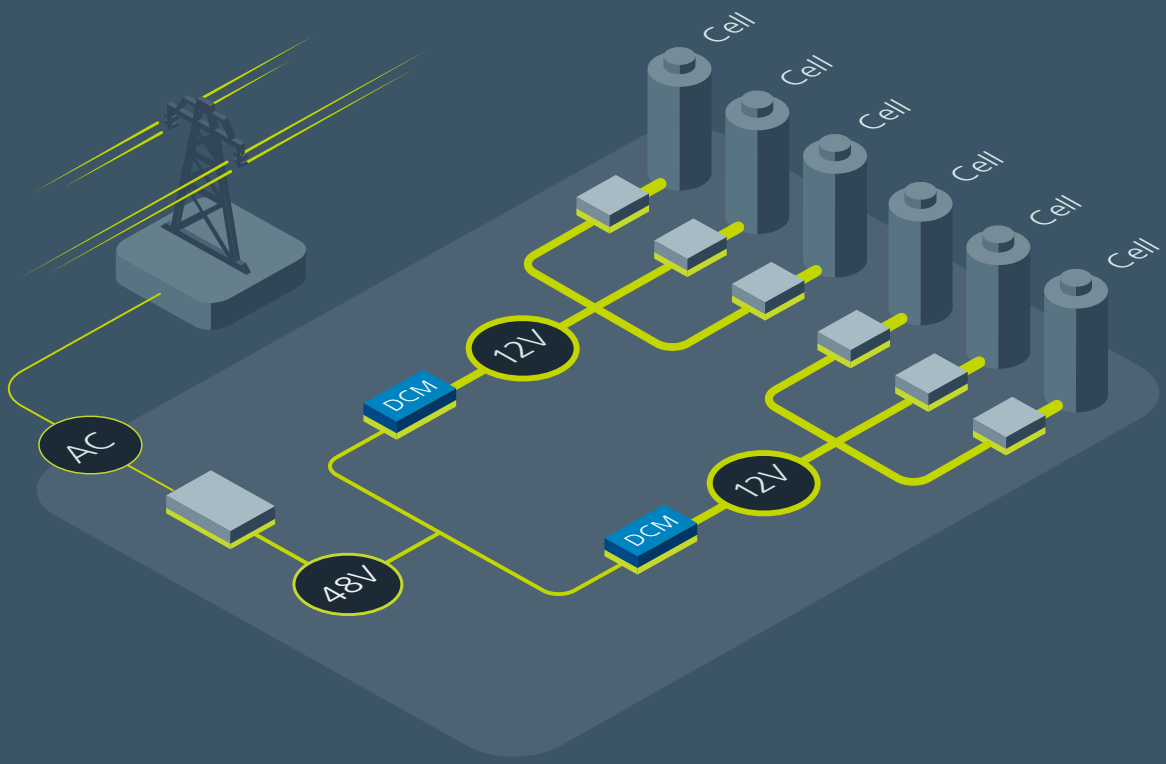
Vicor 解决方案

迁移至 48V 供电架构可显著提升效率，而 Vicor 电源模块的高密度特性，有助于在更小的空间内实现更大功率传输。Vicor 48V 至 24V DC-DC 转换器可支持沿用原有 12V 系统，节省新设备开发时间与成本。Vicor 的电源模块坚固耐用，专为应对电池测试过程中常见的大电流、有时甚至是不可预测的电流而设计，其主要优势包括：

- 显著缩小尺寸并减轻重量
- 支持从 0V 至 48V 以上的电池电压
- 能够快速且轻松地适应不断变化的需求

供电网络

传统方案通常由 12V 母线为下游电池监测器 / 均衡控制单元供电，非隔离稳压的 Vicor DCM 模块通过为其提供转换，轻松实现 48V 架构。这一高性能解决方案在尺寸、重量和能效方面优势显著。该电源模块简便易用，不仅降低了设计复杂性，还可通过并联扩展功率。





DCM DC-DC 转换器

非隔离稳压

输入: 40 – 60V

输出: 10 – 12.5V

功率: 高达 2kW

峰值效率: 96.5%

小巧至 36.7 x 17.3 x 5.2 毫米

vicorpower.cn/zh-cn/dcm48to12V

工具

该部分介绍了 Vicor 工具，这些工具为新手以及有经验的工程师提供了一个数字化的工作区，他们可以设计和测试电源模块解决方案，以最好地适配他们的应用需求。

电源系统设计工具

电源系统设计工具是一款对用户实用的软件，新手或有经验的系统设计师都可以利用它来构建端到端的供电网络。该工具利用 Vicor 的电源组件设计方法，产生优化的解决方案，无需耗时试错。电源系统设计工具还提供了比传统方法快 75% 的服务，并允许用户导出最终 BOM。

白板工具

白板是一个易于使用的在线工具，用户可以使用它来分析和优化不同电源链的性能。用户能够利用高密度、高效率的 Vicor 电源模块为其应用需求找到最佳解决方案。此外，用户可以为电源设计的每个组件设定工作条件，并获得单个组件和系统整体的损耗分析。

©2025 公司版权所有。Vicor 名称是 Vicor 公司的注册商标。所有商标、产品 名称、徽标和品牌均为其各自所有者的财产。Rev 1.0 11/2025