

白皮书作者：Tom Curatolo，首席应用工程师

创新供电网络

VICOR

设备或系统的每一个电子组件都有一个由线缆、母线排、连接器、电路板铜箔电源层以及 AC 至 DC 及 DC 至 DC 转换器及稳压器组成的供电网络 (PDN)。控制 PDN 性能的是其整体架构，例如对 AC 或 DC 电压配电、特定电压和电流等级的使用，以及网络需要进行电压转换和稳压的时间与次数。许多 PDN 经过多年的发展，已在特定行业中实现了标准化，例如国防与航空航天工业中的 270V 和 28V、通信基础设施应用中使用的 -48V 以及汽车中使用的 12V PDN，这些后来都成了计算机服务器和工业应用中的标准。因此，围绕标准 PDN 建立起了数十亿美元的产业。

当标准 PDN 再也无法满足系统电源的需求时，就会出现严重混乱。这种混乱的出现，为电源系统设计人员带来了巨大的机遇，可以在以 48V 为基础的最新 PDN 上实现创新，48V 标准现已出现在混合动力汽车、数据中心、人工智能 (AI) 加速卡、照明以及无人驾驶汽车行业。随着各行各业向最新 PDN 过渡，通过新型 PDN 和技术来实现性能突破的机会越来越多。

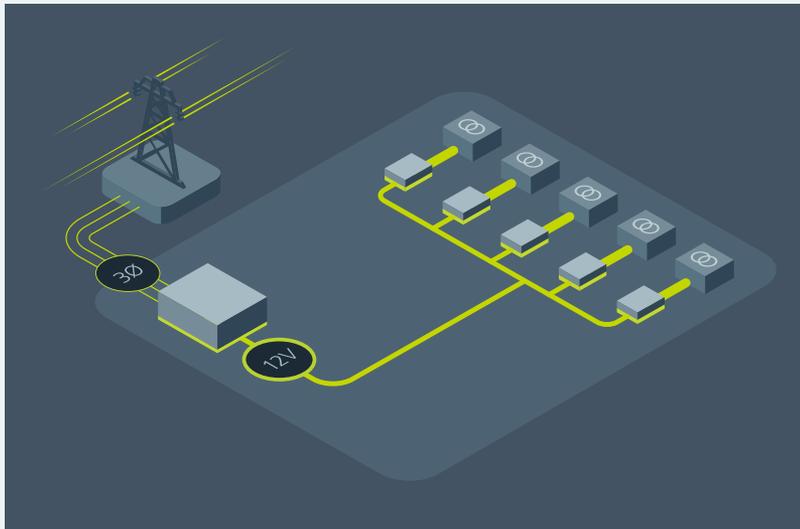


图 1：离网应用中的传统三相电至 12V 转换器，由 12V 总线为下游负载供电。

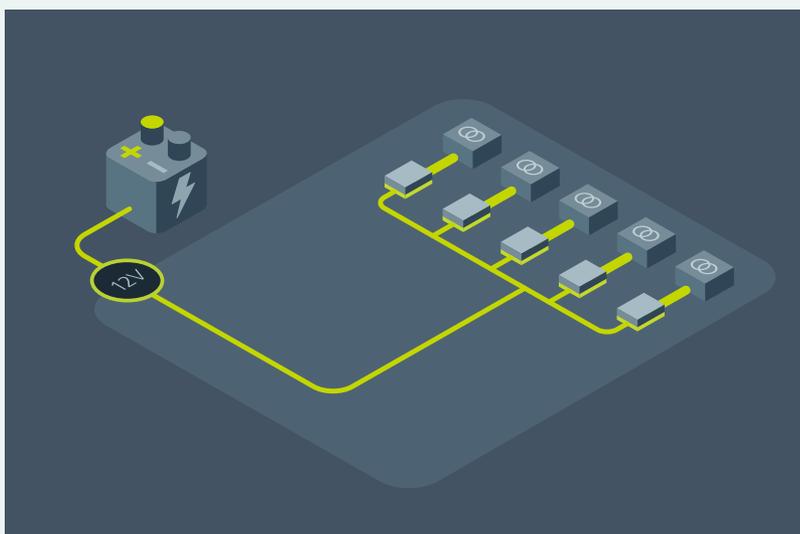


图2：典型的 12V 蓄电池到点负载的转换器。因为 12V 铅酸蓄电池的增长，该配置常见于汽车应用。

PDN 的功能

PDN 旨在将大功率电源转换成特定的电压和电流，从而为系统中的多个负载供电。变换器的工作需要在特性的温度范围内，满足负载的稳态和峰值供电需求。当电能从电源传输到负载时，PDN 的性能按照功耗、其物理尺寸、重量和成本来衡量。

企业及高性能计算的高级系统、通信与网络基础设施、自动驾驶汽车以及大量交通运输应用只是需要更多电源的高增长产业中的几个。当 PDN 采用 12V 时，这些负载及负载功耗不断增长的系统为实现高性能带来了复杂的设计挑战。将较高电压整合在 PDN 中，会带来巨大的挑战，而且抵制变革的理由很充分。在某些情况下，几十年来已经建立了庞大的生态系统来支持行业的 12V PDN。

主要的半导体、连接器及线缆产业与公司已围绕 12 伏 DC 网络的组件供应纷纷建立。这种供电网络出现在上世纪 60 年代的汽车市场。在汽车电源很快超过了 6V 电池所能提供的电源后，PDN 改用 12V 电压。最初使用的是两个串联的 6V 电池。随着 12 伏电压成为大容量乘用车的标准，12 伏 PDN 组件迅速商品化，现已成了数十亿美元的市场，进入门槛很高。12 伏组件的大量供货，为 12 伏标准进入工业和计算机服务器市场起到了推波助澜的作用，而卡车市场则推动了 24V 标准进入更高功率的工业应用领域。

“高级供电系统的负载数量，负载功率在前所未有的增长。基于 12V 的供电系统要实现高性能，设计上面临着复杂的挑战。”

这段简短的历史，介绍了系统功率的提升推动了高性能供电网络的发展情况。供应链的成本要求、多电源供电和风险带来了改变 PDN 的阻力。然而，这种阻力可能会成为系统性能以及保持竞争优势的限制因素。

48V 的出现

电信行业使用 48V PDN 已有几十年了。48V 是最好的选项，因为：

- 它是安全超低电压 (SELV)
- 小型标准线可承载必须以极低压降远距离运行的电流
- “常开”要求促使该行业使用了 48V 大型可充电铅酸电池组

随着互联网、笔记本电脑和移动电话的出现，通信网络基础架构变得越来越复杂，利用现有 48V PDN 基础架构为新设备供电，意义重大。然而，用 48V 电源为很多新型的复杂负载，包括网络处理器、存储器、控制器供电是一项挑战。因为大多数现有技术主要集中在 12V 供电系统，并在该电压等级下对半导体转换器、稳压器件等做了精心优化。

为解决这个 48V 至 12V 问题，部署了一种名为中间母线架构 (IBA) 的架构，其很快成了通信及网络基础架构应用中的事实标准。使用的这类母线转换器是非稳压固定比率 1:4 隔离

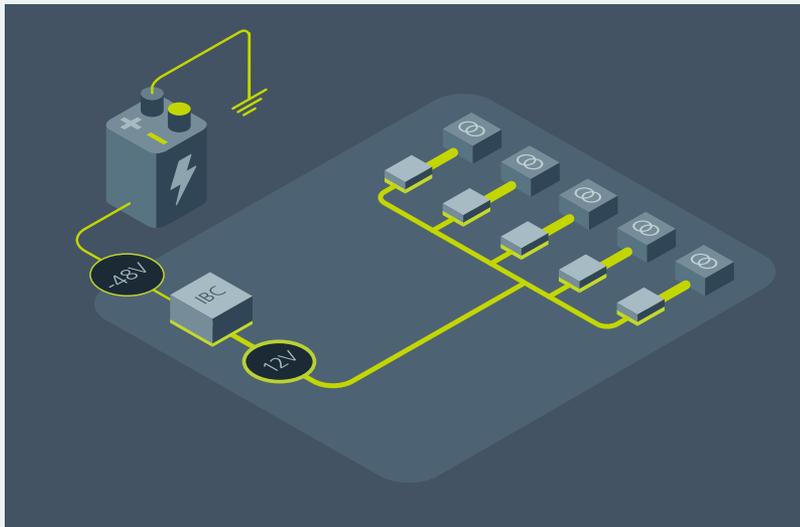


图 3: 支持 IBC™ 模块中间母线转换器的中间母线架构 (IBA) 将 48V 电池电压转换为隔离 12V 母线电压，为 PoL 转换器供电。这是通信与网络设备的典型 PDN，于 90 年代在 niPoL 降压转换器广泛应用之后，变得非常普遍。

器件，建立在一个开放框架封装基础之上，符合 DOSA 和 POLA 引脚分配标准，支持多种电源。隔离不是 SELV IBA 的安全要求，因为电池正极与接地相连，可阻止电蚀，带来 -48V 电压。将隔离式固定比率母线转换器用作 DC-DC 变压器，可使用 -48V 输入为下游负载点 (PoL) 稳压器提供 +12V 输出。

电源系统工程师花大量时间来构建和优化供电网络，以提供高系统性能和高可靠性。如果系统负载功耗较高，采用较高电压为中间母线设计大容量供电，可减少电流 ($I = P/V$)、压降 ($V = I \cdot R$) 和功耗 ($P_{\text{Loss}} = I^2 R$)，从而可为 PDN 缩小尺寸，减轻重量并降低成本

(线缆、母线排、连接器、主板铜箔电源层)。在转换为低

压大电流之前，构建系统，最大限度延长较高电压的运行时间是一个巨大的优势。

每个行业 (和应用) 都是不同的，然而围绕特定 PDN 电压或架构 (如 IBA) 进行标准化，会限制 PDN 性能的提高。在大多数情况下，通过新特性和新功能来超越和获得竞争优势的需求可促进针对 PDN 的变革。例如，数据中心的人工智能 (AI) 等高级应用正在推动数据中心从 12V 转向 48V 并从 IBA 转向新的架构。处理器及相关服务器机架功率级的显著提升已超过 12V 所能达到的极限。

对于汽车市场而言，需要满足要求降低汽车 CO₂ 排放的管控标准，是探索汽车电气化的催化剂。监管压力加上对更高车辆性能的要求，催生了 48V 电池，以支持最新轻度混合动力传动系统、安全系统以及信息娱乐系统设计。

在大型 LED 显示系统中，线缆运行时间长、功率较高以及需要 SELV 等典型问题使得 48V PDN 成了这个新兴行业的标准。

更高电压的全新 PDN

许多 12V PDN 的设计都使用非常简单的 AC 至 12V、然后 12V 至 PoL 的两级结构。以 12V 蓄电池作为电源为例，大功率的配电系统将 12V 分配给 PoL 和稳压器。

随着更高系统功率需求的出现，基于 380V 和 48V 的 PDN 现已变得更加复杂，因为许多行业仍试图在负载点保留原有 12V PDN 基础架构。其它 PDN 挑战来自全新高压大型电源，如纯电动汽车 (EV) 及高性能汽车中的 800V 电池等。

在这些新系统及新应用中，PDN 可分为三个基本部分：

- 大型电源转换为 48V
- 先进行 48V 中间母线供电，然后进行转换，有时候会稳压至 12V
- 负载点 (PoL) 供电在 12V 位置执行转换并稳压

额外增加的 48V 至 12V 转换，会增加损耗、PCB 空间和成本。但是，高压 PDN 的供电优势，以及高压所带来的效率提升，超过了 48V 转 12V 带来的损耗。此外，还有多种将 48V 直接转换给负载供电的模块化解决方案，采用不同的拓扑和体系，让两种供电方式都能实现最佳效果。

为大型供电实现创新

要为中间 48V PDN 的大型电源转换实现创新，主要看以下几个方面：

- 实现更高功率密度
- 使用模块化方法实现冗余并简化热管理
- 通过散热良好的平面封装实现高级散热技术
- 使用固定比率转换器



随着功率级的不断提高，大型电源系统设计的挑战现已变得越来越复杂。管理大型电源转换器的尺寸和重量，并针对其因较高功耗带来的高温进行散热，是大多数应用关注的主要方面。如果尺寸和重量不是问题，就可实现非常高的效率并可通过风扇散热实现热管理。

然而，大多数应用都需要提高功率密度。电源系统工程师应该考虑使用电源模块设计和构建这些大型转换器的优势，而不是从头构建分立式设计。电源模块与创新架构、拓扑、控制系统及封装相结合，可提供改善大型 PDN 性能的新方法。

如果大容量电源为 AC 或高压 DC，则需要隔离。在任何转换器中，隔离级都会增加功耗，但如果中间母线 PDN 包含 PoL 级（即 48V 至 12V）的稳压，则可能不需要稳压。这种方法有两个考虑因素：

- 电源的输入范围：固定比率转换器会根据其匝数比或 K 因数将该输入电压反映至输出，就像变压器一样
- 三相和单相 AC 电源需要功率因数校正 (PFC)

利用固定比率转换器的高功率密度和高效率来改善大型电源转换器的尺寸和重量的另一种方法是将其用作转换和隔离级功能，其中 PFC 和稳压由前级完成。由于 BCM 输出阻抗的温度系数为正，因此固定比率转换器可轻松并联，实现高功率。

数据中心和百亿亿次计算通常需要在有限的空间内获得最大的处理能力，因此它们从高密度组件及高级散热技术中获得了极大的优势。在某些情况下，完全浸入式散热是在整个服务器布置在一个惰性液槽中的环境中实施的。另外，其它高性能计算应用也在使用通过热导管散热技术和冷却板散热技术实现的散热技术。在这些应用中，需要一款纤薄的平面封装来为大型电源系统提供电源转换及稳压级。

中间母线及负载点供电的创新

要为 48V 中间母线 PDN 实现创新，主要看以下几个方面：

- 利用非隔离固定比率母线转换器实现 48V 至 12V 的转换
- 部署高功率密度的稳压电源模块转换器
- 结合 IBA 的不同架构，称之为分比式电源架构 (FPA™)

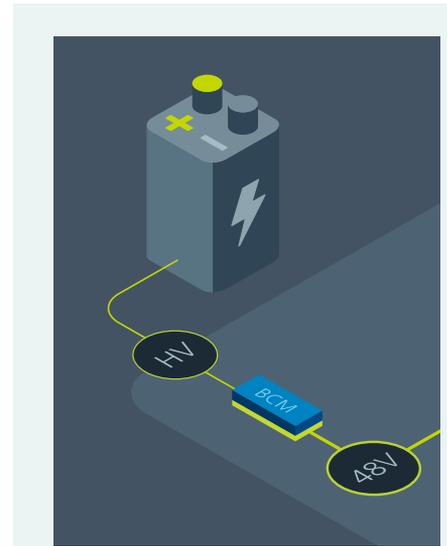


图 4：锂离子及其它新型电池化学成份的变体可为生成高压电源提供优势。BCM 母线转换器是业界领先的高效率固定比率转换器，可兼容从高压电容到 48V 母线的应用。

从 12V 中间母线 PDN 过渡到 48V PDN，既有一些挑战性，也有很大的优势。延长 48V 运行空间，使其尽可能接近 PoL 稳压器，将缩减线缆连接器和 PCB 铜箔电源层、尺寸、重量以及成本。PoL 空间限制一般都存在问题，因此转换器必须具备高功率密度和效率。只要 PoL 稳压器可以处理其输入端电压变化（等于母线转换器的电压输入范围除以匝数比或 K 因数 ($V_{IN} / K = V_{OUT}$)），非隔离式固定比率母线转换器就是最好的选项。如果大型电源转换器设计有合理的稳压公差，那么这种设计方法不仅可行，而且还很有优势。

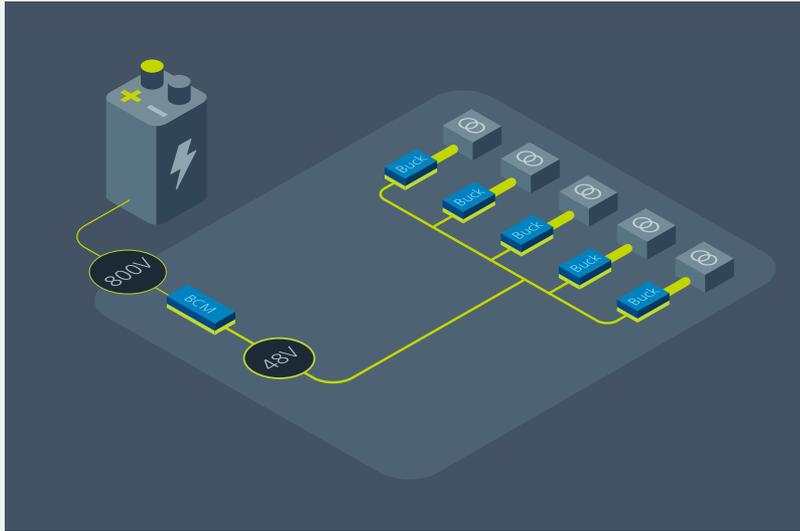


图 5：800V DC 母线电压在减轻重量和节省充电时间方面具有显著优势，因此在电动汽车市场上越来越受欢迎。灵活的 BCM® 母线转换器提供与 800V 电池电源的协同作用，可转换为隔离的 48V 中间母线。

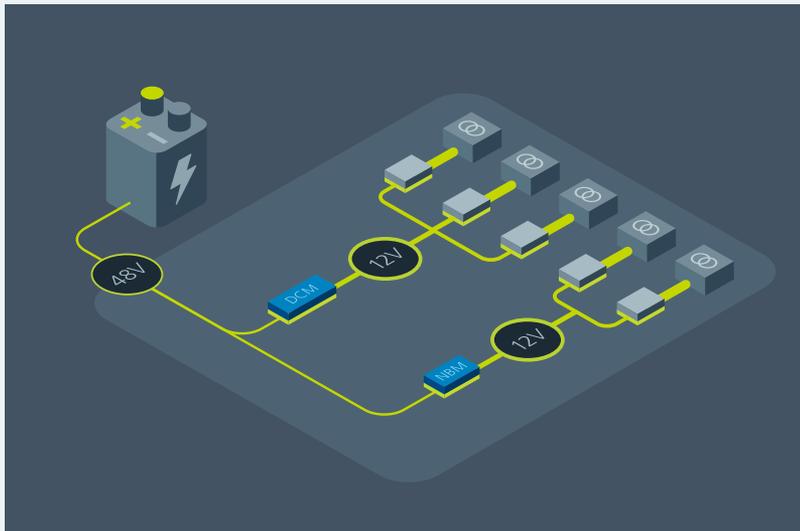
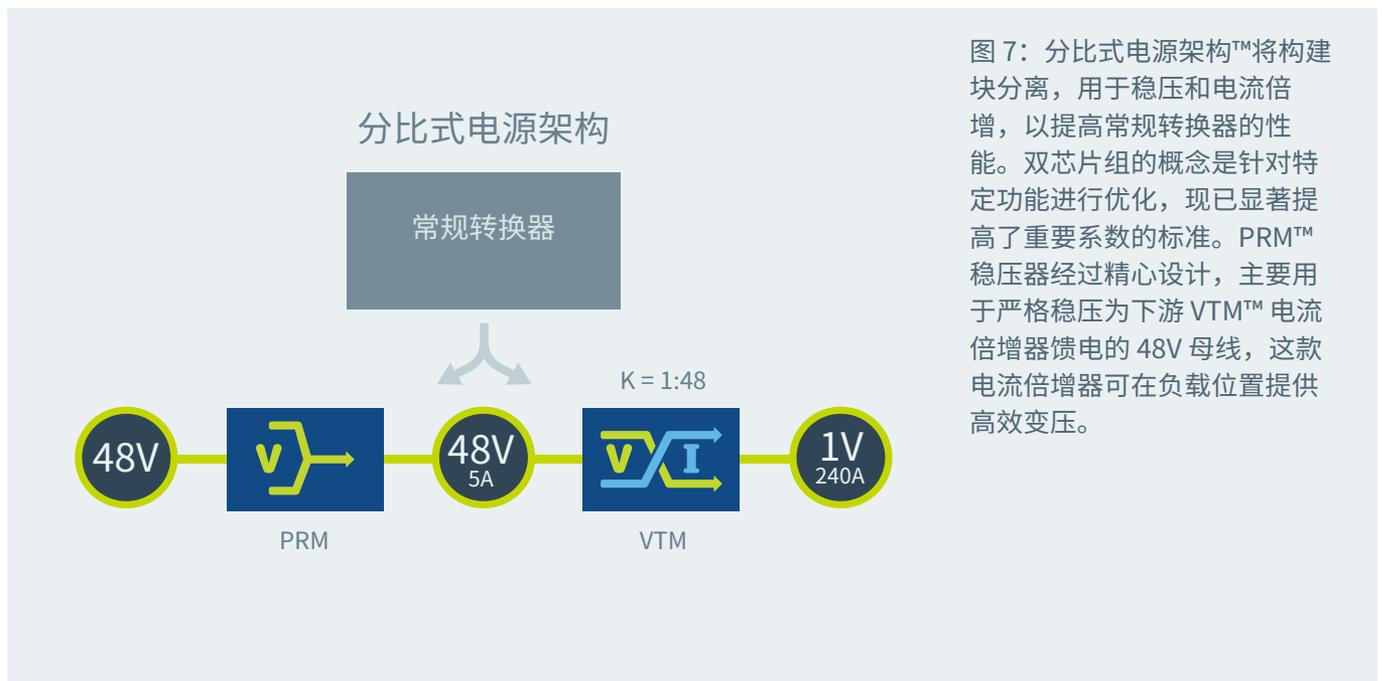


图 6：这是典型汽车 PDN 设计的最新发展，在全新汽车系统中与原有 12V 电子产品保持兼容。48V 电池电压可通过 DCM™ DC-DC 转换器和非隔离 NBM 母线转换器高效转换为 12V，以应对尺寸、重量和功率密度的挑战。

对于大型电源转换器或大容量电源（如 48V 电池）具有宽输出电压范围的设计，可能需要根据 PoL 稳压器输入电压规范使用稳压 DC-DC 转换器。在 48V 至 12V 阶段增加稳压，可能会将转换器效率降低 2% 到 4%，具体要看拓扑。此外，稳压还可降低整体功率密度，在极高功率应用中增加处理功耗的热管理挑战。最好的选项是找到一款采用散热良好型封装，具有高效率、高功率密度的稳压 48V 至 12V 转换器。

但为了真正推动 PDN 设计发展，在 PoL 显著提高性能和高电流密度，需要考虑一款全新架构，那就是 Vicor 分比式电源架构 (FPA)。FPA 是一种名为电流倍增器的新型转换器，其不仅可高效率、高密度地直接将 48V 转换为负载电压，而且还可紧挨着负载布置。这在大电流应用中很有优势，因为它可降低转换器至负载之间的 PDN 阻抗，该阻抗可能是极高功耗的源头，而且也会影响 di/dt 瞬态性能。电流倍增器是固定比率转换器，因此其输入必须由上游稳压级进行稳压。为了最大限度提高效率和密度并最大限度降低功耗，稳压器模块 (PRM) 在选择电流倍增器的 K 因数为负载提供所需的输出电压级的同时，还提供 48V 至 48V 稳压。



结论

随着许多行业的功率等级不断提高，采用更高电压的 PDN 可缓解电源系统工程师面临的众多挑战。电源系统工程师应该评估新供应商的新拓扑和新架构，其可实现显著的系统性能优势。发展、进步及创新总是需要新思维、新理念和新方法。当您的业务需求发生变化时，请张开双臂，拥抱一切可能。探索和研究备选方案，在很多方面都是值得的。

VICOR

www.vicorpower.cn 客服: vicorchina@vicorpower.com 技术支持: chinaapps@vicorpower.com

©2020 Vicor 公司, 版权所有。Vicor 名称是 Vicor 公司的注册商标。其他商标、产品名称、徽标和品牌均为其各自所有者的财产。Rev 1.0 10/2020