

提高 48V 配电性能

Phil Davies

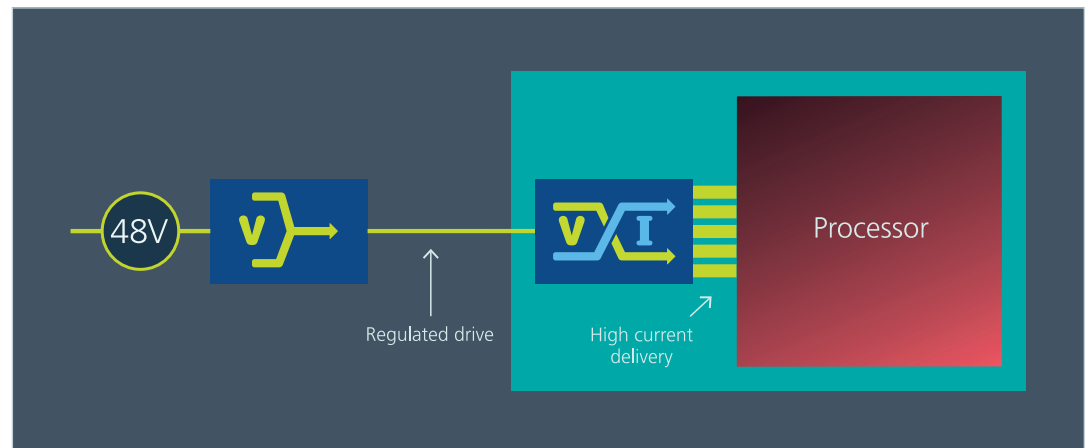


配电网络 (PDN) 是所有电源系统的主干部分。随着系统电源需求的不断上升, 传统 PDN 承受着提供足够性能的巨大压力。对于功耗和热管理而言, 主要有两种方法可以改善 PDN 对电源系统性能的影响。一是使用更大线缆、连接器和更厚主板电源层减少 PDN 电阻; 二是在给定的传输功率下, 提高 PDN 电压以减小电流, 这允许使用更小的线缆、连接器和更薄的主板铜箔电源层, 从而可缩减相应的尺寸、成本和重量。

多年来, 工程师一直使用第一种方法, 因为该方法与数十年来为单相 AC 及 12V DC-DC 转换器及稳压器构建的大型生态系统兼容。其它原因还包括 DC-DC 转换器拓扑性能不足, 无法高效将更高电压直接转换为负载点 (PoL) 电压, 以及这些电压更高的转换器及稳压器的相关费用等。

然而, 现代电源设计使用第二种方法的越来越多, 提高 PDN 电压。这一趋势的推动力源于系统负载功率的显著提升。以数据中心为例, 人工智能 (AI)、机器学习和深度学习的加入, 使机架功率迅速上升到了两倍, 达到 20kW 范围, 而超级计算机服务器机架则已接近 100kW 或更高。

图 1
理想的负载点电源系统。稳压器在 $V_{in} = V_{out}$ 时提供最高效率。大电流供电最接近负载点时效率最高, 从而可最大限度降低 PR 损耗。

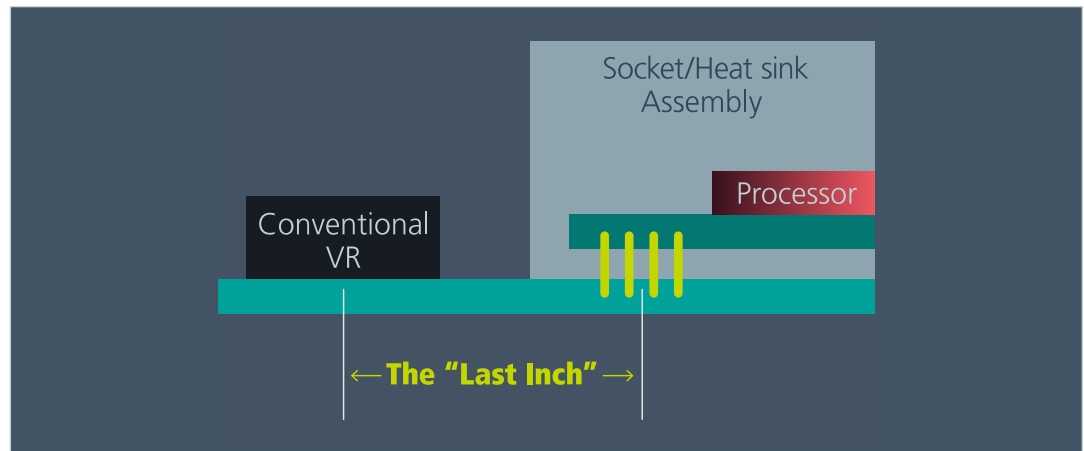


这一电源需求的增长促使系统工程师对其整个 PDN 进行了重新评估, 从机架到机架内部的配电, 乃至服务器刀片上的 PDN, 无一例外, 因为现代 CPU 和 AI 处理器功耗更大。机架功率为 5kW 水平时, 单相 AC 到机架是正常的。然后将 AC 转换为 12V, 配送给服务器刀片。功率为 5kW 时, PDN 电流为 416A (5kW/12V), 配电通过大量线缆进行。

处理器功率大约从 2015 年开始急剧上升, 因此机架电源上升到了 12kW。所以, 必须在 12V PDN 的机架内对 1kA 电流进行管理。OCP (开放计算项目) 联盟成员主要包括云计算、服务器和 CPU 公司, 该联盟将一如既往地发展其 12V 机架设计。OCP 机架从线缆转移到了母线排, 并在机架内分配多个单相 AC 至 12V 转换器, 以最大限度缩减机架到服务器刀片的 PDN 距离以及阻抗。与以往机架供电的主要差异是, 以前来自于机架馈电的单相交流电为三相中的单相。

能够构建其自己的机架及数据中心解决方案的公司开始转而采用 48V 配电。这一策略将 12kW 机架的大电流 PDN 问题削减到了 250A, 但为刀片服务器的功率转换带来了新的难题。

图 2
通过“最后一英寸”传输大电流，
为高功率处理器设置了障
碍。Vicor 技术不仅可提高这一性
能，而且还可简化主板设计。



机架电源超过 20kW 的范围时，服务器机架 PDN 设计将不断发展。人们为了维持 12V 原有系统的现状，在许多方面都得有创新，但数据中心引入AI的处理器稳态电流超过 1000安培、峰值电流接近 2000安培时，就会让基于 12V传统的 PDN 不切实际。AI 的核心是性能，而 12V PDN 则会限制性能和竞争力。

为了解决高功率机架的诸多难题，OCP 联盟正在向可容纳 48V PDN 的机架发展。从 12V 配电转向 48V，可将输入电流需求降低 4 倍 ($P=V \times I$)，将损耗锐减 16 倍 (功耗 = I^2R)。此外，汽车、5G、LED 照明和显示屏市场以及工业应用，也在向 48V 配电转型。因此，48V 电源转换器生态系统正在迅猛发展，转用 48V有很好的商业意义。但不是所有的 48V 转换器拓扑及架构都相同。48V 转换器市场性能参差不齐，这是一个值得仔细考虑的实际情况。

由于高性能和电源效率位列高功率机架及数据中心需求的榜首，有几家公司正在采用三相 AC 至 48V，为服务器刀片配电。另外，也可使用机架内分配的高电压 DC (380V，源自整流三相输入)。多家高性能计算公司正在将 HVDC PDN 用于功率高达 100kW 的机架。

为服务器刀片供电的 PDN 转换为 48V 时，刀片上的电源转换也必须改变。这种转变导致了DC-DC 转换器与稳压器在架构、拓扑与封装的多种选择。

48V 模式对于数据中心服务器而言还很陌生，但在路由器和网络交换机等通信应用中却很普及，因为它们使用的是可充电的 48V 铅酸备用电池系统。数据中心服务器中以前使用的通用架构叫中间母线架构或IBA。IBA 包括隔离式非稳压母线转换器，可将 -48V 转换为 +12V，提供给一系列多相降压稳压器，用于负载点。一些云计算公司和 HPC 公司最初为其 48V 系统复制了这一架构，但在功率增加而 PoL 电压降至 1V 以下时，设计人员开始寻找可替代的架构和拓扑。

电源系统架构、开关拓扑和封装对于高性能高密度设计而言非常重要。随着 AI 及 CPU 处理器电流的增加，由于稳压器和 PoL 之间的PDN 电阻影响，PoL处功率传递电路的密度成为人工智能应用中最关键的元素。

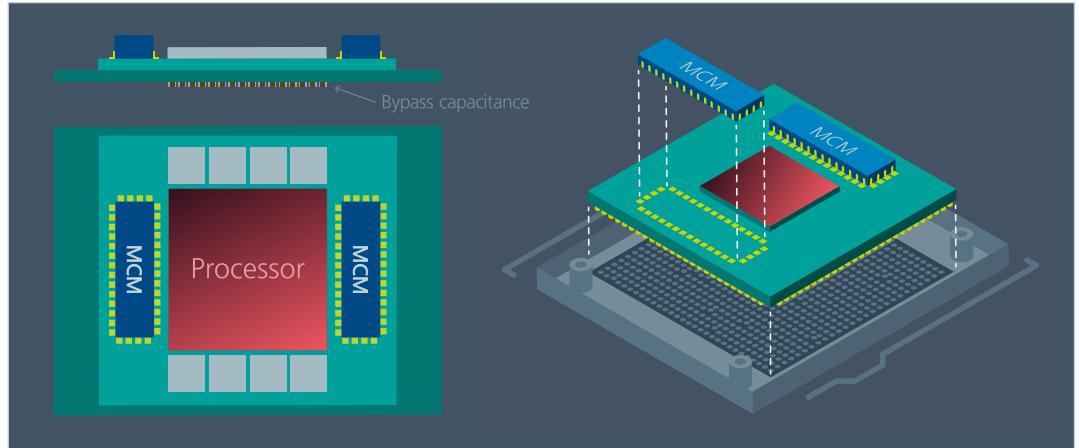
业界一流的最新 AI 处理器具有大约 1kA 的稳态电流，峰值电流达 1.5kA 至 2kA。考虑到处理器常规多相降压稳压器输出的典型 PDN 电阻在 200 至 400 $\mu\Omega$ 之间，所带来的 PCB 功耗为稳态 ($P = I^2R$) 200-400W，对于任何系统来说，都太高了，根本无法处理。

PDN 损耗成了 DC-DC 稳压器设计效率及性能的主导因素。这是一个负载点问题，而且提高电压根本不现实 (PoL 电压在快速下降，以维持摩尔定律的有效性)，因此唯一可行的方法是减少 PDN 电阻，将稳压器尽量靠近处理器布置。在多相降压稳压器的案例中，通常会占用 16-24 个相位，才能支持 AI 处理器的大电流。这不是一种高电流密度方案，无法解决 PDN 功耗问题。

分比式电源架构

IBA 的替代方案是 Vicor 的分比式电源架构 (FPA)，它包含前置稳压级 (PRM) 和紧随其后的变压级 (VTM)。这一专有架构可优化每个阶段的性能。PRM 执行非隔离 (48V 为安全超低电压 SELV) 稳压。其 48V 输入经过严格稳压，可提供 48V 输出，所需的 PoL 电压在 VTM 中转换，VTM 是一款固定比率转换器，输出电压为输入电压的固定比例。

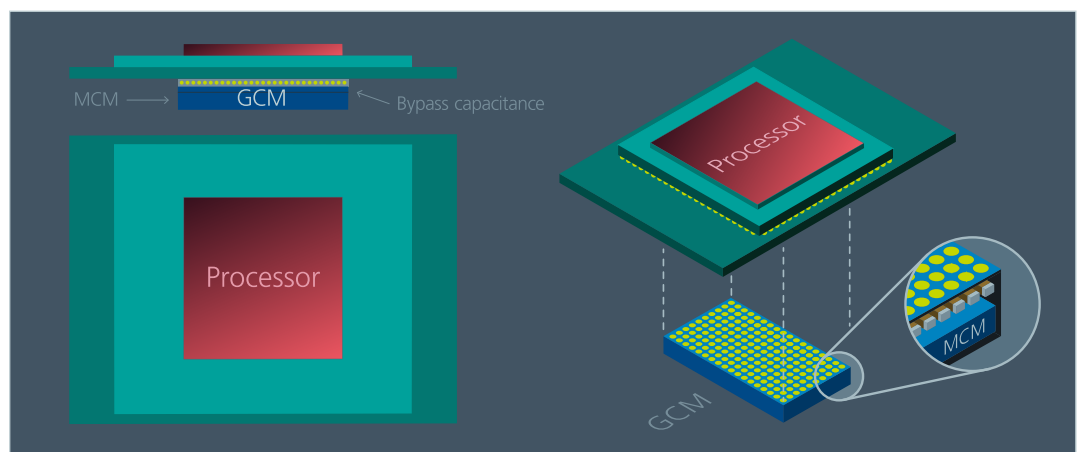
图 3
MCM 模块能够提供大电流，其可紧挨着处理器部署，可以在主板上，也可以在处理器基板上。这种近距离布置不仅可最大限度降低 PDN 损耗，而且还可减少电源所需的处理器基板 BGA 引脚。



这种架构及其性能都可通过 PRM 及 VTM 中使用的专有拓扑增强。PRM 使用零电压开关拓扑，而 VTM 则使用专有谐振高频率正弦振幅转换器 (SAC) 拓扑。转换为 PoL 电压，可使用零电压和零电流开关。VTM 实际上是一款 DC-DC 变压器，电压以 1/K 的比率降低，电流则按 K 因数增加。VTM 也叫电流倍增器，是一种高电流密度 PoL 转换器。（新产品目前可达到 $2\text{A}/\text{mm}^2$ 。）它可紧挨着处理器布置，因为它采用创新 ChiP 封装技术并支持高密度集成磁组件。

这种水平的高电流密度可为设计人员提供极大的灵活性。工程师可根据处理器电流，在横向供电或纵向供电 (LPD 及 VPD) 之间做出选择。在 LPD 中，电流倍增器布置在 AI 处理器的几毫米范围内，可在同一个基板上，也可以直接在主板上，从而可将 PDN 电阻降至大约 $50\mu\Omega$ 。

图 4
纵向供电 (VPD) 可进一步消除配电损耗及 VR PCB 板面占用。VPD 与 Vicor LPD 解决方案类似，在电流倍增器或 GCM 模块中增加了对旁路电容的集成。



为了进一步提高性能，VPD 将电流倍增器移到了处理器的正下方，在那里其输出功率引脚位图与其上方的处理器电源引脚的间距和位置非常吻合。此外，电流倍增器封装还集成高频率大容量电容器，其一般位于主板或基板上的处理器的正下方。这种电流倍增器叫齿轮传动电流倍增器 (GCM)。VPD 可将 PDN 电阻降至令人难以置信的 5 至 $7\mu\Omega$ ，从而可帮助 AI 处理器实现其真正的性能。

结论

对于如此复杂的电源问题，一个整体的设计方法才能确保获得成功的高性能结果。需要对架构、拓扑以及封装进行创新，才能解决最艰巨的电源挑战。提高 PDN 的电压，可解决大量系统性能挑战。降低 PDN 电阻是开启新一代 HPC 电源大门、兑现 AI 承诺的关键。

联系我们: <http://www.vicorpower.cn/zh-cn/contact-us>

Vicor Corporation

电话: 400 101 5482
www.vicorpower.cn

电子邮件

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