

从48 V直接到Intel VR12.0: 每个数据中心的“大数据”每年可节省50万美元

作者: Stephen Oliver
VI Chip产品线副总裁
2012年7月



摘要

大数据的生成、处理和存储，以及来自密集型工业仿真、医学研究和社交媒体网站的来源在呈指数上升，凸显了全球数据中心和云计算能力日益增长的需求。后续任务是最大限度地提高能源效率，从而节省资金和天然能源资源，减少污染，同时应对美国能源部的百万兆级挑战要求；仅使用20MW的电力执行ExaFLOP（ 1×10^{18} 每秒浮点运算）的计算工作量。对于功率半导体行业，面临的挑战是为从进入数据中心的480 V三相AC电源转到1 V，100 A以上处理器提供高效率 and “高品质”的电源转换。在这里，“高品质”是指提供动态处理器所要求的最佳电压和电流来实现最高性能运行。

本文介绍了Vicor的分比式电源架构（Factorized Power Architecture[®]，FPA[®]）如何实现全球第一个从运行的48 V配电系统直接到Intel[®] VR12.0兼容解决方案，每年节省50万美元的数据中心运行成本。

引言

数据中心等大容量数据处理和数据通信任务需要大规模的专用、优化的硬件设施，这些设施由IBM[®]、Amazon[®]、Cisco[®]、Hewlett-Packard[®]、Google[®]、Cray[®]及其他公司设计和运行。在数据中心基础设施内，经典物理学原理规定，电力应该以高电压输送到数据处理位置，以减小电流，同时尽量减少配电损耗^[a]。

计算密度（与处理器的数量、内存、输入/输出功能相关）和后续功耗也是一个关键问题。随着每个机架的功率增加到超过10kW，传统12V机架配电损耗过大，增加了资金和尺寸相关的成本，如更大、更昂贵的铜母线，连接器等。对于每个机架接近20kW及以上的应用，必须有高效率的48V配电。一个例子是基于POWER7的IBM Blue Gene[®]/Q，它采用48V配电，每个机架80kW，是世界上最高性能^[b]和最高效的^[c]超级计算机，可实现20,132 TFLOP和2,026 MFLOPS/W的性能。另外，高可靠性或高“正常运行时间”服务器需要一个能量存储系统（通常是铅酸电池）来给主AC馈电中断事件提供后备电源。

历史上，电信行业的交换和路由等处理任务都是由很小的30–40W专用集成电路（ASIC）执行的。随着手机和平板电脑“三网合一”（语音、视频、互联网）使用的兴起，只有声音的“电信”设备已变成使用标准计算处理器的“数据通信”。这些系统通常使用48V电压轨，但在“中心局”设备中，电池备用电压可能宽得多，要求更宽输入范围的转换器，这进一步降低了系统的效率。能量存储也与电压有关，所以48V再次成为了最佳选择^[d]。

^[a] 功率 = 电压 × 电流。因此对于相同功率，随着电压增加，电流减小。配电损耗 = 电流² × 配电轨电阻。因此，48 V配电的效率比12 V高16倍。

^[b] 2012年6月“500强”名单，<http://www.top500.org/list/2012/06/100>

^[c] 2011年11月“绿色500强”名单，<http://www.绿色500.org/lists/2011/11/top/list.php>

^[d] 在电池和电容器技术中，能量存储与电压的平方有关

电压稳压

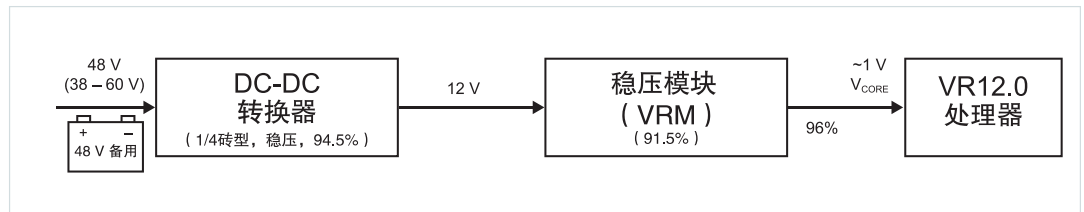
计算工作量是随时间变化的。随着需求的增加，每个处理器需要更多的功率来维持性能（MFLOP）。由于工作量的减少，处理器可能会回减速，转到空闲或休眠状态，以节省电力。由于预期电力需求的变化，处理器发送给电力输送系统一串“电压识别”（VID）代码。在所有稳态和瞬态期间，传送到处理器的电压必须保持在严格的预先定义范围内，以最大限度地提高性能并减少系统崩溃的机会。英特尔处理器的功率需求是以稳压（VR）规范来确定的。对于SandyBridge和Ivy Bridge处理器芯片组，需要符合VR12.0规范。

传统12 V的局限性

由于每机架功率随48 V机架配电要求增加，传统12 V-VR12.0解决方案必须由一个独立48 V-12 V转换级为开端，如图1所示。

图1:

传统高功率服务器架构显示了两级48-12-1V方法，显示了有48V备用能量存储的宽服务器范围48V（38-60V）。“96%”代表主板的损耗，因为VRM较大且无法靠近处理器插座。



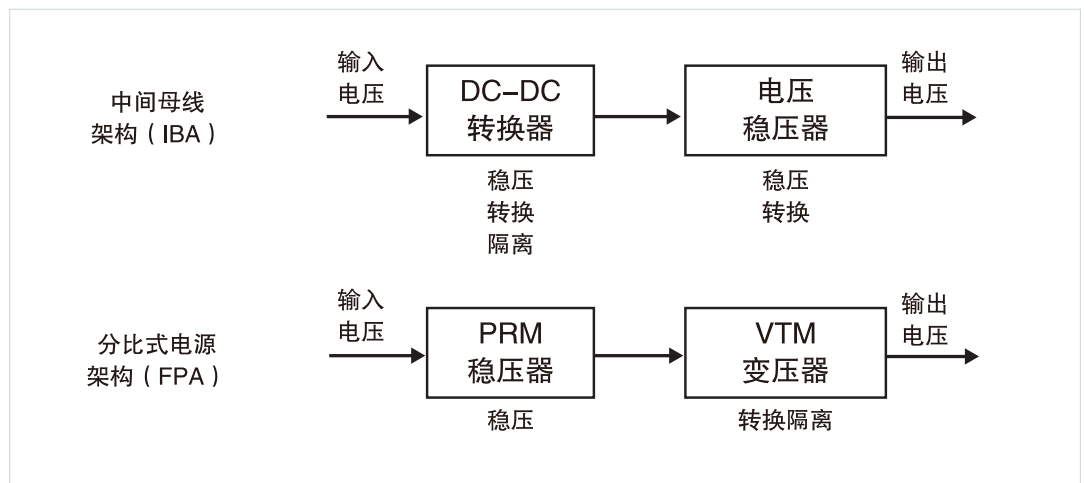
考虑电源方案的全部，这一点至关重要。首要规范要求DC-DC转换器和VRM忽略与主板和任何连接器配电损耗相关的损耗。正确的方法需要测量从48V直接到处理器插座本身，因此要考虑所有潜在的损耗元件。

优化的48 V解决方案：分比式电源架构（FPA®）

分比式电源架构（FPA）^[6]采用一种与众不同功率转换方法，以实现一个典型DC-DC转换器的调节、隔离和电压转换功能，并分离或将其“分比（factorizing）”成单个元件。然后，这些单独元件（小型、高效率稳压器和变压器/隔离器被称为“VI Chips®”）被安排在最佳功率架构中。

图2:

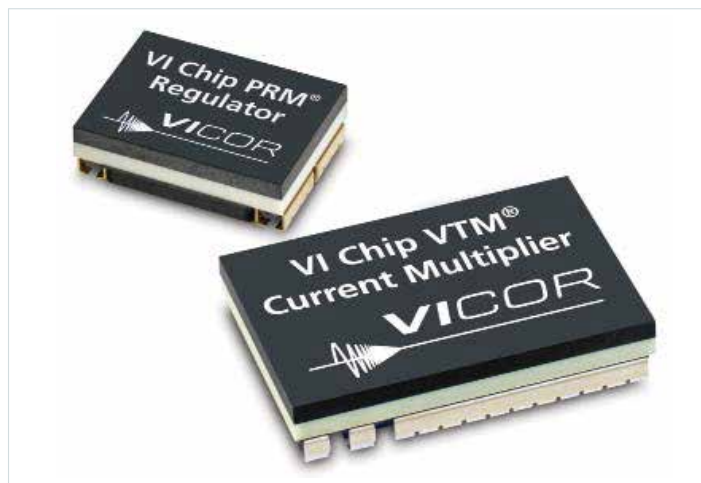
在传统IBA中，功能是重复的，从而增加了损耗。FPA消除了重复劳动，提高了工作效率。



^[6] 有关其他信息，请在www.vicorpower.com参阅白皮书“FPA101”

采用非隔离降压-升压拓扑结构。PRM可接受变化的DC输入，并创建一个严格稳压、可调的DC输出（即“分比母线”（ V_F ）），它馈电给下游VTM[®]变压器。VTM是一个采用“正弦振幅转换器”（SAC[®]）的固定比率DC-DC变压器，它直接向下转换 V_F 至处理器的内核电压 V_{CORE} 。由于零电压（ZVS）和零电流（ZCS）MHz开关技术可以实现高效率和高功率密度，PRM[™]峰值高达97%，超过1,000 W/in³，而VTM峰值超过94%，超过100 A/in²。

图3:
用于FPA的VI Chip PRM和
VTM功率元件

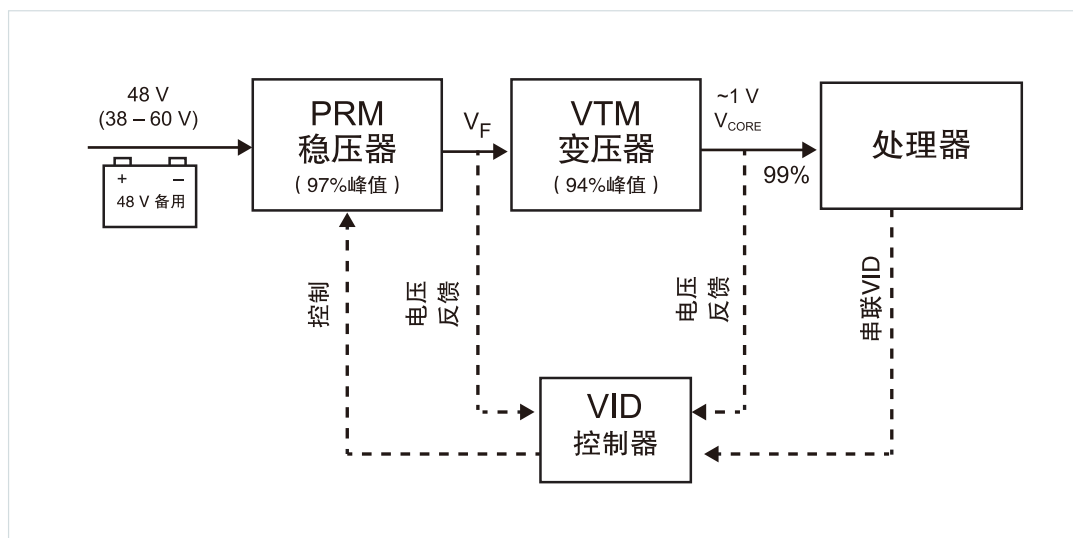


利用FPA架构的电源系统，从整个路径到主板上，可保持高效率48V配电，使用PRM和靠近处理器插座的VTM VI Chip。这样就实现了一个高效、小型的电源系统，以及有良好记录的高性能系统，包括前面提到的48-1V Blue Gene/Q系统。

全球第一个48 V-VR12.0解决方案

对于英特尔处理器系统，VI Chip组成了一个“纯粹的”电源传送电路，它采用一个独立的VID控制器，充当数字处理器VID和FPA电源传送电路之间的转换器，这反过来利用了优化的快速模拟控制回路提供了准确的处理器内核电压（ V_{CORE} ）。

图4:
来自处理器（VID指令）
的信息和电流和电压的
反馈被馈送到VID控制IC。
该IC发送一个控制信号到
PRM稳压器来控制电源传送电路。



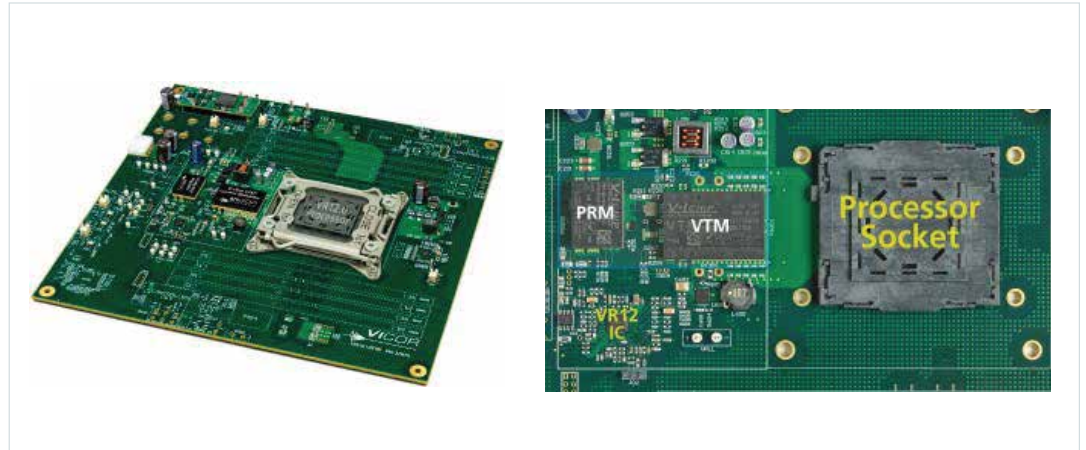
⁽¹⁾ 用于VR12.0示例的VI Chip元件是PRM48DH480T250A03和VTM48EF012T130A01，可从www.vicorpower.com获得

为了证明VR12.0合规性，创建了一个如图5所示的稳压测试板（VTRB），其配置支持一个145W的“Socket R”处理器。

图5:

VTRB与特写显示的PRM和VTM模块均靠近处理器插座。

V_{CORE} 不需要独立的48-12 V转换器。还请注意，在FPA设计中没有笨重的电解电容器。



在处理器插座插入一个电压测试工具（VTT），仿真处理器的行为来表征电源传送电路的性能。性能使用一个自动化电子表格记录下来，并与VR12.0规格相比较。在典型“负载线”结果中，随着处理器电流的增加，内核电压必须保持在严格范围内，如图6所示。

图6:

随着处理器电流需求的增加，功率不能马上增加，所以内核电压允许相对于负载下降。这被称为“负载线（load line）”，而内核电压必须保持在严格限制范围内，以确保处理器的稳定性和性能。FPA结果（蓝线）显示了负载从0增加到165 A。

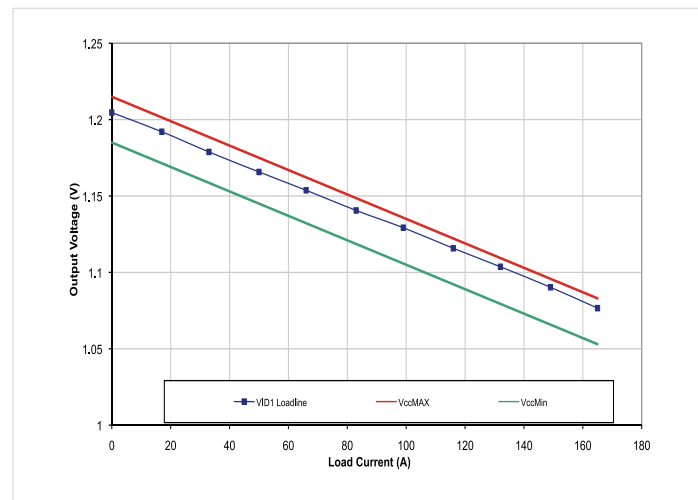


图7和8显示了电源状态转换期间电压和电流示波器轨迹的示例。

图7:

负载瞬态波形（电源状态1到电源状态0过渡（16至147 A）显示在两个不同的时间尺度。FPA系统在5μs内有一个干净、稳定的响应。在示波器图像中，黄色=电流阶跃，粉红色=只有SMT陶瓷电容器的VTT测得的负载电压。FPA系统没有使用传统大型、不可靠的电解电容器。

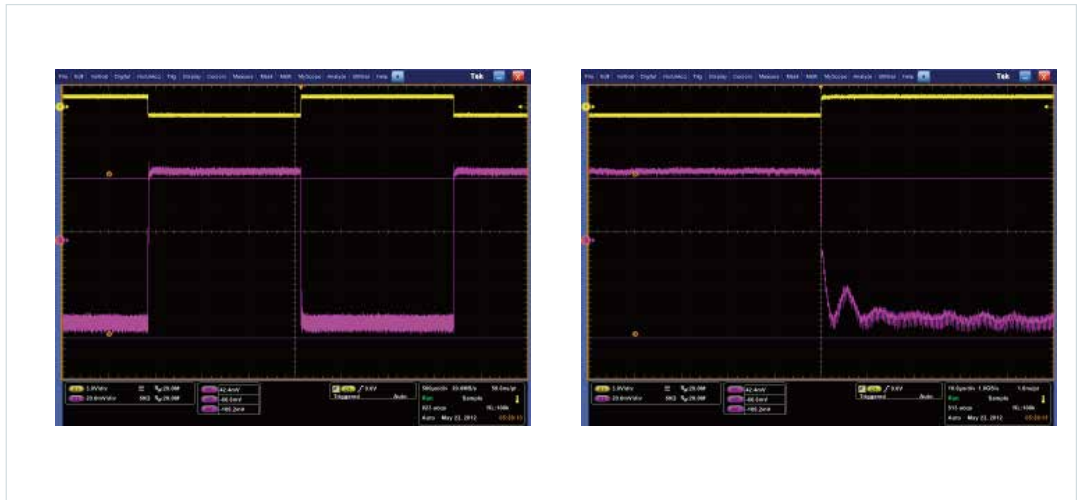
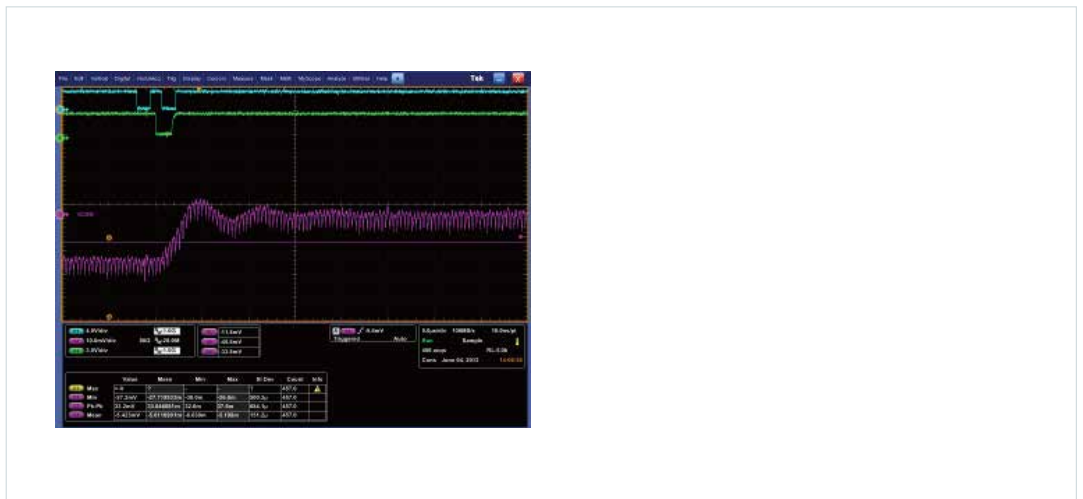


图8:

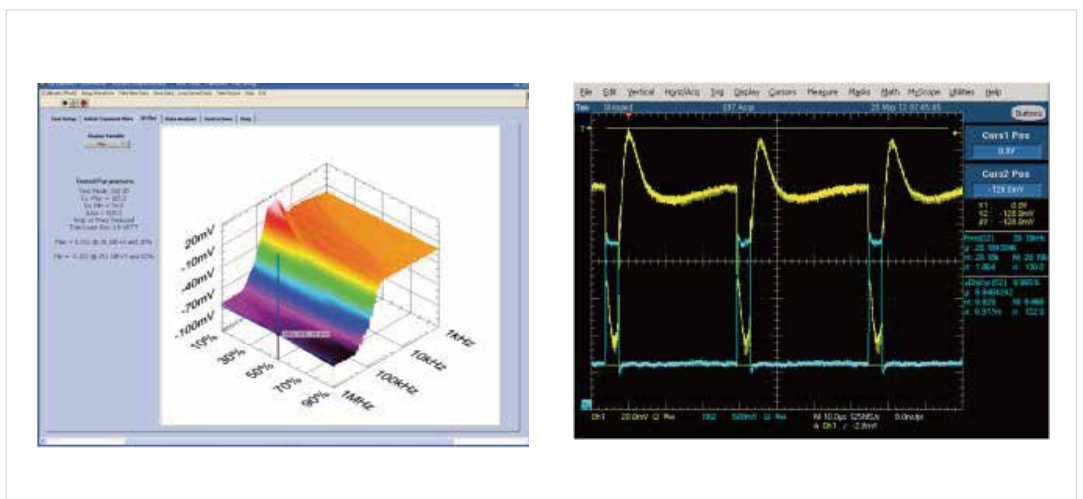
显示了响应VID指令（Dvid_ps0_121A_up（1.05 V至1.07 V））的电压。粉红色轨迹 = VCORE（输出电压），深蓝 = CSO（芯片选择），绿色 = 警报。结果表明，只有2μs的稳定响应。



此外，更加严格的测试使用处理器频率、负载功率“扫描”，也要执行VID命令。创建的“3D矩阵”图，如图9的示例所示。

图9:

Intel Dupont的3D矩阵结果。图表坐标轴：X = 负载（处理器）开关频率（kHz），y = 负载开关占空比（%），Z轴是高于设定点的最大偏移。

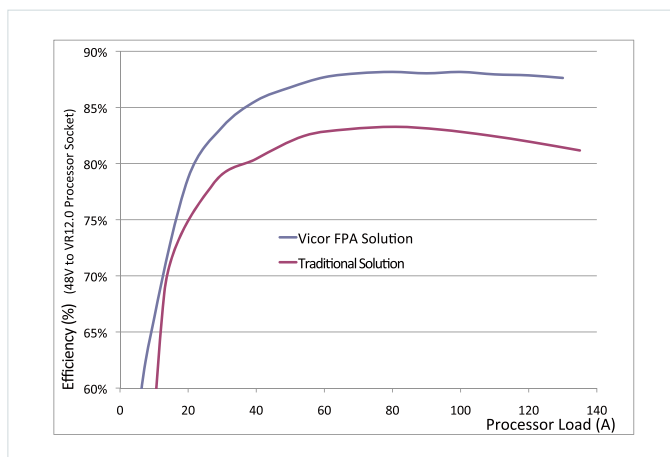


节省

一个完整的电源传送电路的评估呈现了FPA与传统IBA系统相比显著的尺寸和效率节省。服务器主板空间（PCB面积）很昂贵。电源传送电路尺寸的减小意味着增加了可用于更多计算功能的空间（处理器、内存、输入/输出功能）。FPA解决方案采用比IBA小50%的主板，另外，省去了板外（off-board）DC-DC转换器，总的来说，尺寸减小了3倍。在功率方面，FPA解决方案在从60%至100%处理器负载时效率大于5%，如图10所示。这对VR12.0系统是一个显著改善，相当于每个处理器功率损耗降低了10 W或30%。

图10:

48 V至VR12.0插座效率
(占转换和配电损耗比重)。



在占空比/使用率（85%）和空调成本（70%）调整方面，每个处理器的终值节省了14.5W。新建造的数据中心通常使用30,000个处理器。使用的电力价格为0.13美元/kWhr，14.5W很快就会使数据中心的运行成本每年减少500,000美元（相当于进口2,300万桶石油）。年节约意味着在不到三年时间里，可完全收回VI Chip VR12.0电源传送电路的投资。

性能的动力