

分比式电源架构：实现板载电源的高密度和高效率

Tom Curatolo
首席应用工程师



随着主板负载功率开始增加，高功率密度主板的设计变得更具挑战性，因此电源系统架构从分布式 DC-DC 转换器（或砖型解决方案）发展成了中间母线架构 (IBA)。有了 IBA，转换器可将 48V 输入降至 12V，然后多个非隔离式负载点稳压器 (niPOL) 可将 12V 降低到特定的负载电压要求。电源系统架构适合解决不断变化的通信、计算及工业领域的最新挑战，这些挑战源于不断增长的性能需求。

当前的功率要求和较低的 ($\ll 1V$) PoL 工作电压对 IBA 提出了新的要求，这些要求现在会影响系统性能。目前许多负载 (CPU、GPU、AI 处理器) 功率及动态负载变化的增加，要求其稳压器尽可能靠近负载输入电源引脚。这可显著降低通过称之为配电网 (PDN) 的印刷电路板或基板铜箔电源层的功率损耗。此外，许多负载需要极大电流的瞬态响应 (di/dt)，主板阻抗的高低会对系统稳定性产生很大影响。

然而，为了支持高功率就需要大量的 VR (niPOL)，而将大电流稳压器部置在高功率负载附近，确实对中间母线架构不利。这反过来需要更大的空间，不仅会导致电源输出端到负载端的距离 (阻抗) 增加，而且还会因为损耗增加及随后更低的动态性能而降低整体效率。由于占空比限制，12 到 $\ll 1V$ 转换效率的提升也是多相降压 niPOL 阵列面对的巨大挑战。

分比式电源：为应对当前电源需求挑战而生的解决方案

总结当前电源系统设计趋势的挑战：

1. 500 到 2000A 的极大电流传输能力。
2. 要求高动态性能的负载
3. 较大 PDN 损耗和阻抗
4. 扩展 48V 母线基础架构的使用范围，需要 48V 至 1V 以下的转换能力

解决这种大电流、高密度负载点 (PoL) 问题，需要一个不同的方法。分比式电源架构™ (FPA™) 就是这样一种全新的解决方案。

分布式电源架构和 IBA 均由转换级和稳压级组成，以将电压降至负载点电压。在 IBA 使用案例中，稳压及转换级 (降压稳压器，niPOL) 连接在转换级中间母线转换器 (IBC) 之后。分解这些架构，可实现：

- 变压 (将电压从一个等级变为另一个等级)
- 稳压 (即使输入电压发生变化，也能将转换器输出电压控制在目标值下)

当 $V_{IN} = V_{OUT}$ 时，稳压器效率最佳，而在稳压器输入输出比例增加时，效率会跟着降低。当典型输入电压在 36 和 60V 之间变化时，最佳输出母线电压将为 48V，而不是 IBA 原有的典型 12V 母线。48V 输出母线所需的电流比 12V 母线 ($P = V \cdot I$) 低 4 倍，而 PDN 损耗是该电流的平方 ($P = I^2 R$)，其可将损耗降低 16 倍。因此，先配置稳压器并稳压至 48V 输出，将实现最高的效率。通过本实例可以看出，该稳压器必须接受有时摆幅低于 48V 的输入，因而需要一个升降压稳压级来满足这方面的设计需求。输入电压稳压后，就需要将 48V 转换为 1V。

在需要 1V 负载的情况下，最佳变压比为 48: 1。在这种情况下，前级稳压器可将输入降压或升压至 48V 输出，后级变压器可将电压从 48 降至 1V。鉴于步降变压器会以相同的比率增加电流，因此步降变压器的等效名称是电流倍增器。在这种情况下，1A 输入电流将倍增至 48A 输出。为了最大限度降低大电流输出的 PDN 损耗，电流倍增器必须要尽量地小，才能尽可能靠近负载部署。

PRM™ 稳压器和 VTM™ 电流倍增器相结合，形成了 Vicor 分比式电源架构™。这两款器件相互配合，每个器件都可高效发挥其专业作用，实现完整的 DC-DC 转换功能。

PRM 把未稳压的输入电源转换为稳压输出电压或“分比式母线”。该母线可为 VTM 供电，将分比式母线电压变为负载所需的电压水平。

与 IBA 不同，FPA 不能通过串联电感从中间母线电压降至 PoL。FPA 并非均衡降低中间母线电压，而是使用电流增益为 1:48 或更高的高压稳压及“电流倍增器”模块 (VTM)，提供更高的效率、更小的尺寸、更快的响应以及支持 1000A 以上负载的可扩展性。

分比式电源背后的组件

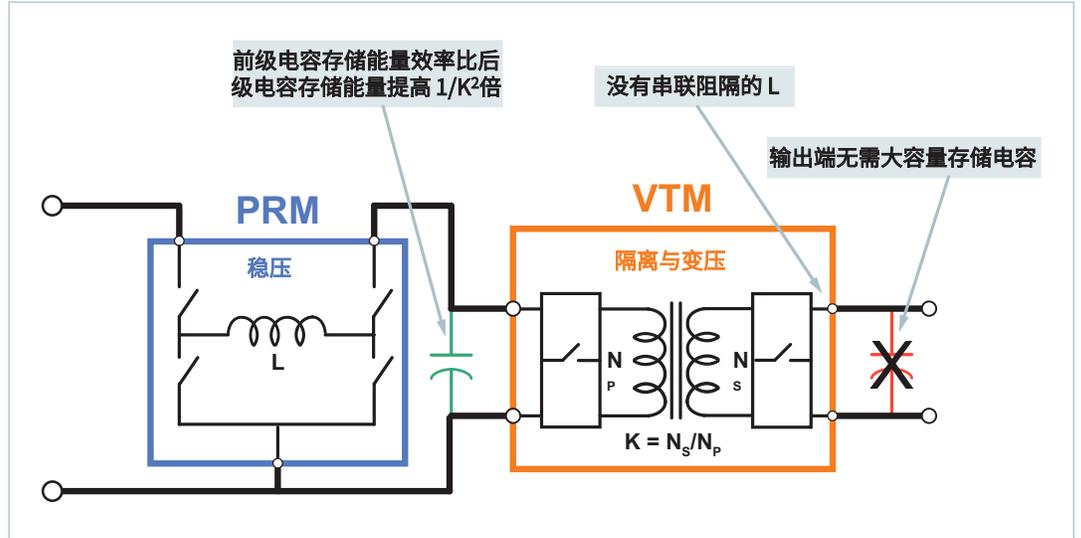
PRM 和 VTM 是实现 FPA 的组件。PRM 使用获得专利的零电压开关 (ZVS) 升降压控制架构提供高效率升降压稳压和软启动；当 $V_{IN} = V_{OUT}$ 时，可实现最高效率，最新 PRM 可实现 99.3% 的峰值效率。

VTM 电流倍增器是一款采用专有零电流开关/零电压开关 (ZCS / ZVS) 正弦振幅转换器 (SAC™) 的高效率变压模块。它工作波形为纯正弦，支持高光谱纯度和共模对称性。这些特性意味着它不仅不会产生典型 PWM 类转换器所具有的谐波含量，而且几乎不会产生噪声。控制架构将工作频率锁定至功率级谐振频率，不仅支持高达 97% 的效率，而且还可通过有效消除无功部分来最大限度降低输出阻抗。这种极低的无电感输出阻抗使其几乎可以瞬间响应负载电流的阶跃变化。

VTM 以 3.5MHz 的有效开关频率工作，因此即使负载电流以小于 1 微秒的速率变化，VTM 都可以自如应对没有问题。VTM 的高带宽可取消对负载点大型电容的需求。即使没有任何外部输出电容器，VTM 的输出在功率突增时，电压扰动也会很有限。极少量的外部旁路电容（低 ESR/ESL 陶瓷电容的形式）足以消除任何瞬态电压过冲。

FPA™的能量存储和动态响应方式

图 1



对于在雷达和自动测试设备测试端等要求苛刻的应用中经常需要的更快负载瞬态响应，采用固定比率转换器的 SAC™ 拓扑的优势在于不会对系统内部敏感的控制环路施加带宽限制。因此，VTM™ 功率级提供一种独特的电容倍增特性。

例如，当使用 K 为 1/48 的 VTM 时，有效输出电容是输入电容的 2300 倍。这就意味着需要在 VTM 输出端添加的电容明显减少。

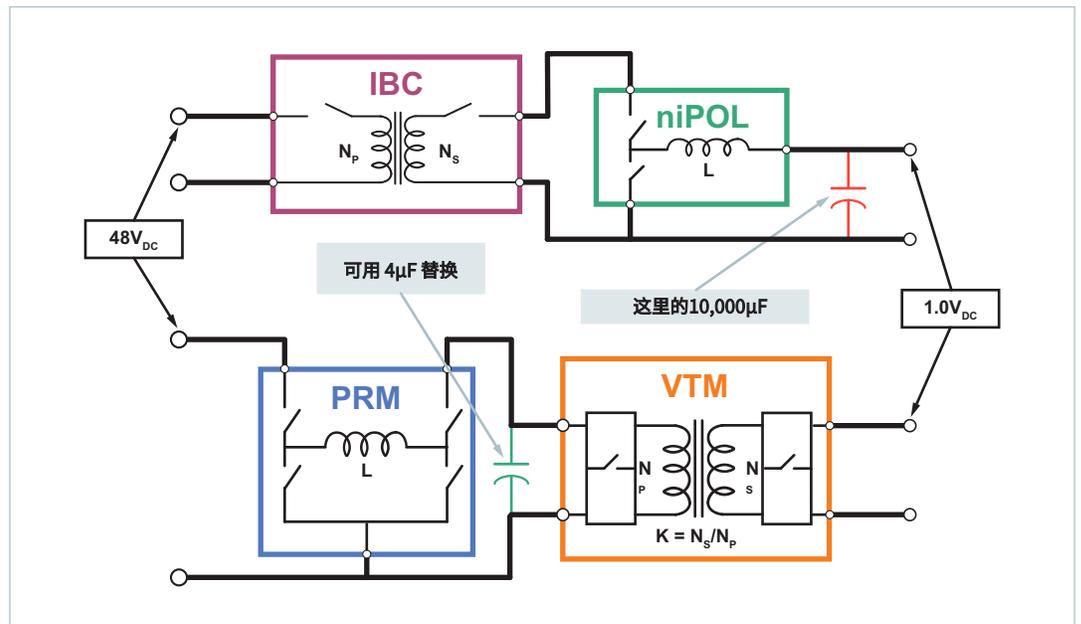
存储在电容器中的能量 (E) 是：

$$E = 1/2 CV^2 \quad (1)$$

因此，VTM 48V 输入端少量小容量电容的作用与添加在多相降压转换器（通常是用于 IBA 的 niPOL）1V 输出端大量大容量电容的作用相同。

FPA 架构不仅可减少电容，而且还可节省电路板空间

图 2



FPA™ 的优势

分比式电源架构™ 可使电源系统密度和大电流需求与快速发展的 CPU、GPU 和 ASIC 技术保持同步。采用这些电源组件设计系统时，主要优势包括：

- CPU/GPU 附近的基板消耗锐减 50% 以上
- PDN 及相关电路板损耗减少一个数量级
- 将 PRM™ 和数字控制器放置在不重要的电路板边缘区域，电源整体性能不受任何影响，使得 PCB 布局更加简单容易。
- 使得 CPU I/O 走线更加简单容易。
- 由于 VTM™ 较低噪声的特性，降低了在处理器附近布置电源转换模块的风险
- VTM 可轻松并联，因此可通过并联功能满足更高功率的需求

从电源系统的整体效率来看—包括PRM和VTM的组合—可以提供从高压输入到低压输出的整体效率在 90%~95%之间。效率越高，总体热耗散就越低，这是电源系统设计中的另一个重要考虑因素。

FPA：可扩展解决方案满足未来板载电源的需求

随着负载电流不断增加，Vicor 不断增强 FPA，以最大化电流输送并进一步减少负载点的 PDN和提高功率密度。现在，Vicor 提供分比式合封电源解决方案，包括模块化电路驱动器 (MCD) 和模块化电流倍增器 (MCM)，其中只有先前的 VTM 变压级的二次侧位于负载点。PRM和VTM 的一次侧现已合封在 MCD 中。MCM 安装在与大电流处理器相同的封装/基板上。与 PRM 的情况一样，MCD 可采用不会影响密度的电路板基板安装在远离电流倍增器的位置。

越来越多的应用正在利用分比式电源架构，为 CPU、GPU、ASIC 和存储器负载提供 48V 直接至 PoL 的功率转换。这一增强性能现已成了人工智能 (AI) 计算、雷达和汽车自动驾驶及安全性 (ADAS) 应用的福音，在这些应用中，对高密度、高效率和低噪声的要求是常规功率转换器件无法满足的。

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

Vicor 公司

电话: 400 101 5482

www.vicorpower.cn

电子邮箱

客服: vicorchina@vicorpower.com

技术支持: chinaapps@vicorpower.com

© 2019 年 Vicor 公司版权所有。保留一切权利。Vicor 名称是 Vicor 公司的注册商标。所有其它商标、产品名称、徽标及品牌均是其各自所有者的财产。