

分比功率架构和 V•I 晶片

灵活、优越的功率系统方案

内容	页数	引言
引言	1	当今电子系统如高端处理器及记忆体，对电源的需求是趋向更低电压、更高电流的应用。同时、对负载的反应速度也要提高。因此功率系统工程师要面临的挑战，是要设计出符合系统要求的细小、价廉但高效率的电源系统。而这些要求都不是传统功率架构能够完全满足的。Vicor 提出的分比功率架构(Factorized Power Architecture™ FPA)以及一系列的整合功率元件，可提供革命性的功率转换方案，应付以上提及的各项挑战。这些功率元件称为 V•I 晶片。
功率转换上的结构问题	1	
分比功率架构(FPA)解决现今功率转换的问题	2	
电压转换模块(VTM™): 正弦振幅转换器	2	
VTM™ – 转换及隔离	3	功率转换的结构问题
预稳压模块(PRM™)高效升压 – 降压	4	现在、每一代新推出的处理器、记忆体、DSP 或 ASIC，它们的电源需求趋向是更低工作电压、更高电流、更高速度。同时、在同一系统内有更多应用电压。系统设计师要面临的挑战，是要应付数量激增的低电压的同时，更要应付更快速的瞬变响应，改善整体电源系统的效率，但只可占更少的板面空间。
PRM™ + VTM™ 架构和应用	4	
母线转换模块	5	
(BCM™): 中转总线转换	5	过往、好几个功率系统架构是一直沿用至现在，包括集中式功率架构(CPA)、分布式功率架构(DPA)及中转母线架构(IBA)。
应用 FPA: 为何分比化?	6	
细小 – 更少的空间获得更多功率	6	集中式功率架构，是其中最古老的功率系统架构，是把系统上所有需要的电压集中在一处，然后经由分布母线把它们分布至负载的位置上。这样只是对高电压低电流，或者是电源和负载距离非常接近的应用才会有效。但是若要为低电压及分布很广泛的负载供电时，由于分布功耗 = (I ² R)，分布功耗变得难以承受。因此为了维持不变的分布效率，必须把母线的横切面以所减低的电压的平方来增加 – 但以现今如此复杂的低电压系统而言，这样是不能实行的。
灵活性 – 有更多设计电源系统选择	6	
高效率 – 给负载更多功率，但产生热量更少	8	
更快的瞬态响应 – 对负载的快速变化提供更多功率	8	在 80 年代初期，引进了模块式的高功率密度的转换器，实现了分布式功率架构，解决集中式功率架构 (CPA)的某些问题。在分布式功率架构 (DPA)中，“砖式模块(Bricks)”包含了传统 DC-DC 转换器的所有功能 – 包括隔离、电压转换和负载点的稳压。但当板上电压数量激增时，采用分布式功率架构 (DPA)方案便需要使用更多的砖式模块，这样便要牺牲更多板上空间和付上更多金钱。还有典型分布式功率架构 (DPA)所使用的砖式模块，它的拓扑是不足够应付今日负载快速的瞬变响应要求。
由砖式模块及非隔离负载点转换模块转变到 V•I 晶片	8	
总结	8	

分比率架构(FPA): 解决现今功率转换的问题

分比功率架构 FPA 是 Vicor 对功率架构研究的成果, 以专用集成电路为基础开发的产品。而命名为“V•I 晶片”的集成功率元件是 FPA 的基本元件, 能够把功率密度, 效率, 响应和成本效益达到新的标准。并且更能让电源设计师以一个全新的方法去解决功率问题。这元件以“V•I 晶片”为名, 是由于它能够倍增电流及分配电压, 从而使 V•I 的乘积维持常数不变。

电压转换模块(VTM™): 正弦振幅转换器(SAC)

图 1 所示的电压转换模块 VTM™ – 是分比式功率架构(FPA)的其中一个基要元件。它是一个按专利的零电流 – 零电压(ZCS-ZVS) 开关技术设计的阔范围电压输入、高效率电压转换的正弦振幅转换器。



图 1
电压转换模块

图 2 所示是正弦振幅转换器的简化电路。其功率转换是一个低电荷(Q), 高频的控制振荡器。而且是共模对称和具极高的频谱纯度, 从而获得接近不带噪声的操作。其控制架构是把工作频率锁定在功率转换的谐振频率, 达至最佳的效率, 和抵消电抗成份把输出阻抗减至最低。单个 VTM™ 的 R_{out} 值可少至 0.8 毫欧姆。如这还是不够少, 或需要更大功率时, 可并联多个 VTM™, 倍大输出, 并且可以均流。以正弦振幅转技术为基础的 VTM™ 不单静噪和功能强大, 可以当作为一个线性电压 / 电流转换器, 并且其输出阻抗直至约 1MHz 都是平值的。

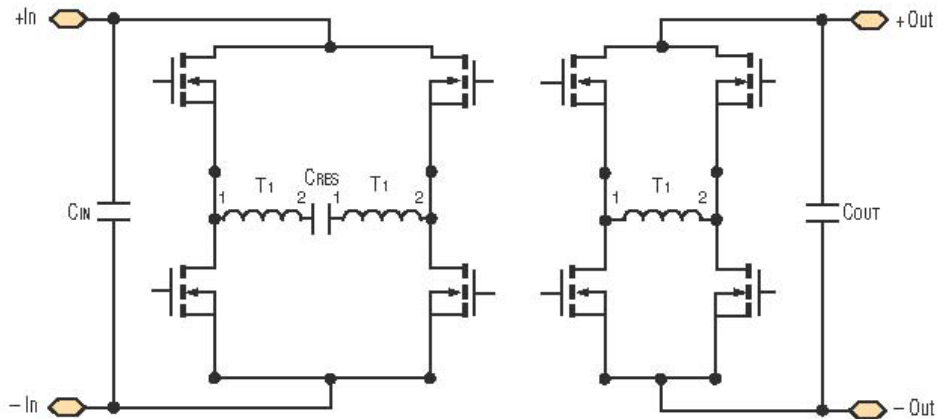


图 2.
正弦振幅转换器
的简化电路图

SAC VTM™ 的次级电流基本上是纯正弦波。图 3 所示是其中一个 VTM™ 的工作波形, 显示出其纯正弦波, 低输出阻抗及快速的响应。注意图 4a 所示的波形中, 时间刻度只是每格 200 纳秒, 并且测试时负载是不带任何输出电容的。而图 4b 则显示 VTM™ 极少和非感性的输出阻抗, 差不多可以在 100% 负载阶跃电流时做出即时响应。这是由于 VTM™ 内部是不带稳压电路, 没有环路延时或稳定性问题, 也不需花时间在内部控制电路反应负载变化。内部 ASIC 控制器只需不断地控制开关频率同步化至谐振工作便可。

图3
其中一款
SAC VTM™ 波形

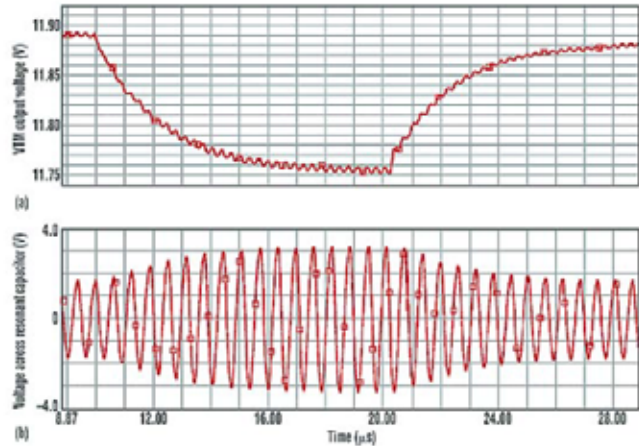


图4
VTM™ 动态响应

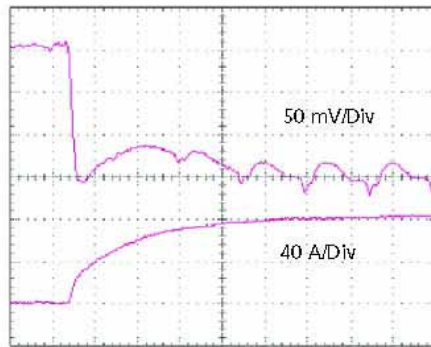


图4a
不带输出电容时 0-80A 负载阶跃

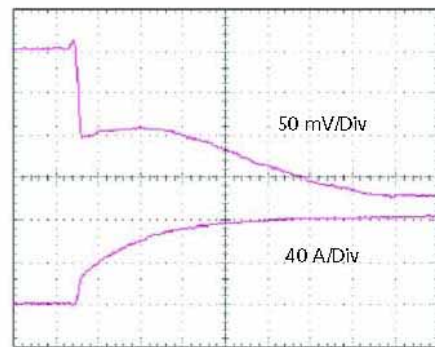


图4b
带 100μF 输出电容时 0-80A 负载阶跃

VTM™ – 转换及隔离

VTM™ 提供输入对输出隔离，可应付讲求速度、高密度和高效率的负载点应用，如 DSP、FPGA、ASIC、处理器核心和微处理器等。它的响应时间更少于 1 微秒，能输出 100A，效率非常高。

VTM™ 可以想象为一个固定比率的 DC-DC 变压器并带以下特点：

- 输入范围和 48V 和 24V PRM™ 兼容
- 输出高达 400W 或 100A
- 功率密度高达 1,095W/in³
- 效率达 97%
- 1.1in² 的封装能承受 2,250Vdc 隔离
- 负载点处很少的功耗
- 输出阻抗很少而获很快的动态响应

在 DC-DC 的功率转换，VTM™ 是和 PRM™ (下一节)一同使用的。其中 PRM™ 提供了软起动，稳压及起动时发出 Vcc 脉冲给 VTM™ 的 VC(VTM Control)控制阜。如系统可提供 Vcc 脉冲，VTM™ 仍可能单独工作的。请参考应用文章 AN: 007。

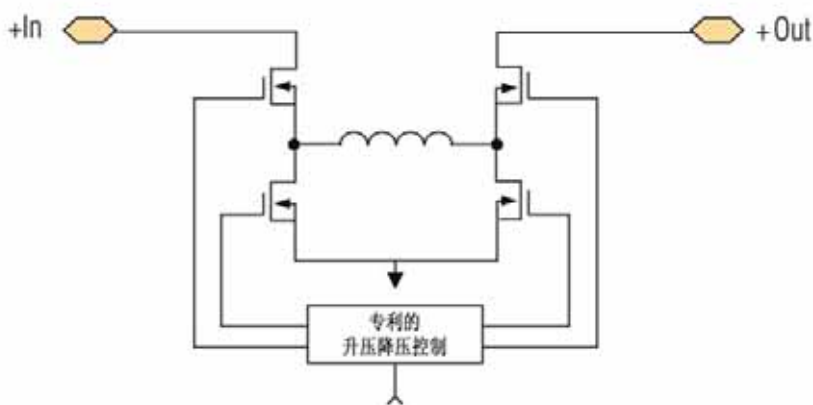
预稳压模块(PRM™): 高效的升压 – 降压母线转换

图 5 所示是一个预稳压模块(PRM™)。它利用专利的 ZVS 降压-升压稳压器的控制架构(见图 6)，提供高效率的升压 / 降压的电压调节。当输出电压和输入电压相近时，它的效率是最高的。而 PRM™ 在约 1MHz(最高 1.5MHz)固定频率工作。如 VTM™ 一样，PRM™ 可以并联增加功率。PRM™ 控制架构上独有的特点是不论在降压或升压模式时，开关的次序是不变的 – 只是控制转变每一工作周期里各相位的相对时间。

图 5
预稳压模块
PRM™



图 6
PRM™
的简化电路图



PRM™ 把不稳定的输入转换为稳压的输出 – 称为“分比化母线”(factorized bus)。PRM™ 和 VTM™ 组合起来便可提供带隔离，稳压输出的 DC-DC 转换器。而 PRM™ 也可单独应用作为非隔离式稳压器。

PRM™ 的特性包括:

- 18-36V 和 36-75V 输入范围
- 输出高达 320W
- 功率密度高达 1,100W/in³
- 效率高达 97%
- 1.5MHz 开关频率
- 工作温度可达 125°C

PRM™ + VTM™ 架构和应用

PRM™ 的控制系统和内部的 ASIC 可用不同的方法控制 VTM™ 的输出电压。

本地环控制 (local loop control) 是最简单的控制系统。在本地环控制下如图 7 所示，PRM™ 只感应自身的输出电压并调节分比母线电压为一个不变数值。负载电压便因 VTM™ 的输出阻抗而按比例地“下降”。

图7
本地闭环 FPA

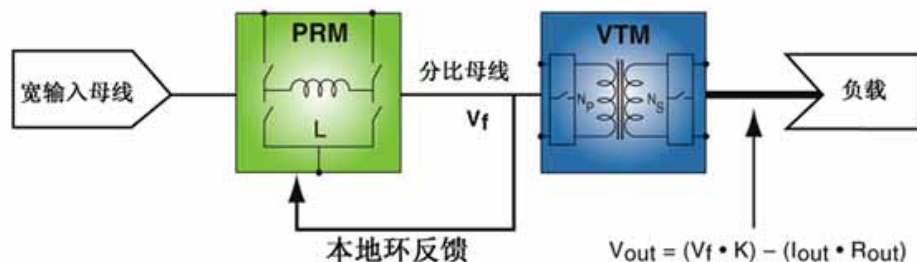


图8所示是自适应环控制 (adaptive loop control), VTM™ 会传送一个讯号给 PRM™, PRM™ 从而调节分比母线电压把因 VTM™ 输出阻抗的压降作出补偿。自适应控制改善本地闭环控制的稳压度 - 可在 +/- 1% 内, 只需简单、非隔离的反馈连线便可。

图8
自适应闭环 FPA

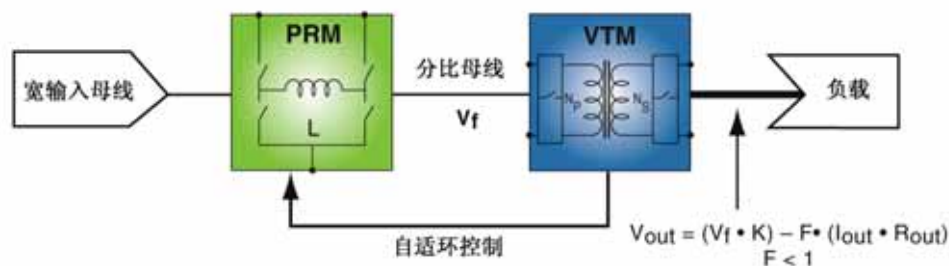
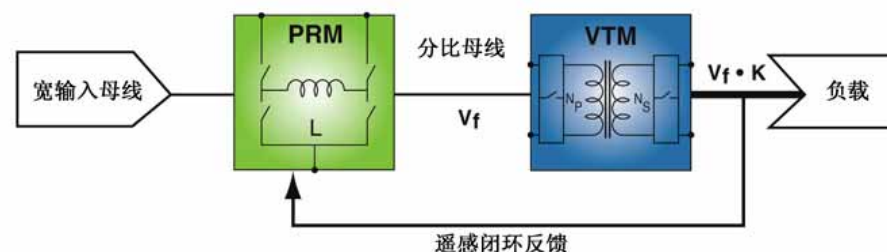


图9所示是遥感闭环控制 (remote loop control) 把负载点电压感应并反馈至 PRM™. 这种反馈协议提供最准确的电压, 更可稳压在 +/- 0.2% 内, 但反馈回路则需要隔离。

遥感闭环控制联同 Picor 的负载点 IC, 可以作为数字控制, 兼容最新的微处理器 VID 规格。

图9
遥感闭环 FPA



母线转换模块 (BCM™): 中转总线转换

图10所示的 V•I BCM™ 也是正弦振幅转换器(SAC), 将窄的输入直流源转换为带隔离的中转总线电压供电给非隔离负载点转换器, 获得最大的功率转换。BCM™ 可当作为固定比率的 DC-DC 变压器, 并带以下特性:

- 48V 和高电压输入范围
- 输出高达 300W 或 100A
- 功率密度高达 1,036W/in³
- 效率高达 97%
- 重量只 0.4 安士(12 克)
- 1.1in² 的封装能承受 4,242Vdc 隔离



图 10
母线转换模块

BCM™ 可用作独立直流源或供电给非隔离负载点转换器。由于它的快速响应及低噪声，因而可减少使用短寿命的铝电解电容或钽电容 – 甚至可完全屏弃 – 节省电路板空间、减少元件数量及整体系统成本。BCM™ 自行地支持均流，不需外加控制电路或特别连线便可并联。

当高功率密度的 BCM™ 应用为母线转换器时，可减少系统的总电容量，组成高密度的中转总线架构 (IBA)，见图 11。在应用文章 AN:001 “利用 Vicor 的母线转换模块 (BCM™) 配置低功率非隔离负载点转换器 (niPOLs)” 中有更多关于应用 BCM™ 在中转总线架构 (IBA) 架构的资料。

BCM™ 系列也有高输入电压范围型号 (352V、384V，作为高密度 DC-DC 转换)，特别适合带功率因数校正 (PFC) 前端作为离线 AC-DC 转换至 48V 或 12V。

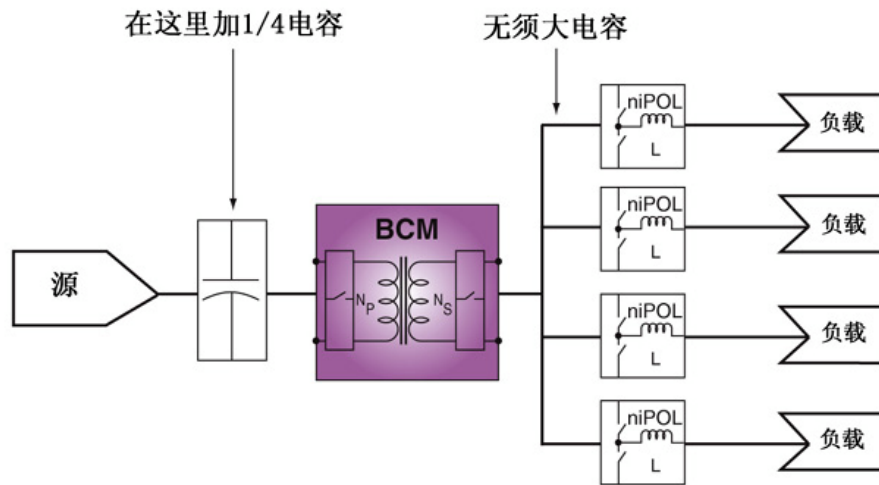


图 11
利用 BCM™
作为总线转换

应用 FPA: 为何分比化?

细小 - 更少的空间获得更多功率

V•I 晶片是现时最细小的功率元件 – 约为 1/16 砖式模块 – 并且功率密度极高。它们可用作基本转换元件替代现有电路 (如 1/4 砖模和桌面电脑电源)。分比功率意义是令负载点节省更多空间 (只一半的功耗和把稳压功能放在远端)。

灵活性 - 有更多设计电源系统的选择

分比功率 (FPA) 和 V•I 晶片的其中一个要点是为了增加电源系统的灵活性。在分布式电源架构 (DPA)，DC-DC 转换器把三个基要功能 (「隔离」、「转换」和「稳压」) 集合于一身成为砖式模块。但这种方法已不能够满足现今的应用，特别是对成本及性能表现的要求。在中转总线架构 (IBA)

中，非隔离负载点转换器放弃了隔离和高比例电压转换来降低成本。但它们仍依靠附近的总线模块提供较低电压的功率。它们把对过压敏感的负载暴露于一些致命的故障情形及存在接地环路等问题。

V•I 晶片系列中的 BCM™、VTM™ 和 PRM™，是特别针对不同额定输入及输出电压、不同功率的封装而设计。它提供一系列的功率转换元件给电源系统设计者，达至低成本地解决几乎所有电源转换的疑难。较复杂的系统可合并应用 V•I 晶片中不同的控制模式，便可快捷地做出既少外加元件而又高密度、低矮的方案。获得低成本、高效率并且是最尖端的表现。

V•I 晶片可把隔离和稳压功能配置到所需要的位置。把 VTM™ 配置到负载点而 PRM™ 则可放在附近或远端，背板或甚至是子板上。

在多重输入和输出的应用时，在分比功率架构系统中所需要的独特的元件可比砖式模块方案少。不论输入电压，你都可使用相同的 VTM™；或都不论输出电压，你都可使用相同的 PRM™。这里所供应的是连续性输出电压的选择。

你可使用 PRM™ 和 VTM™ 设计的电源系统满足新的要求或者替代现行架构的电源。图 12、13 及 14 阐明几个设计的选择。

图 12
低电压
高电流电源

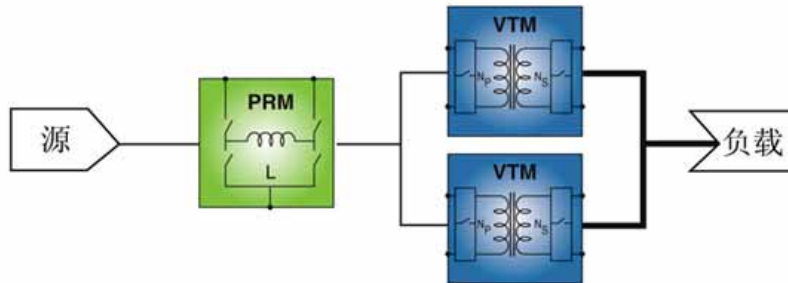


图 13
高输出电压

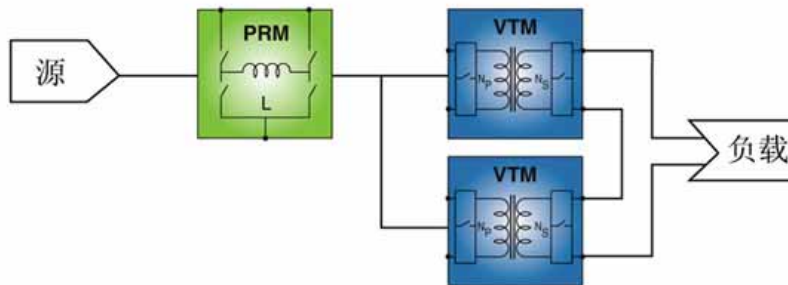
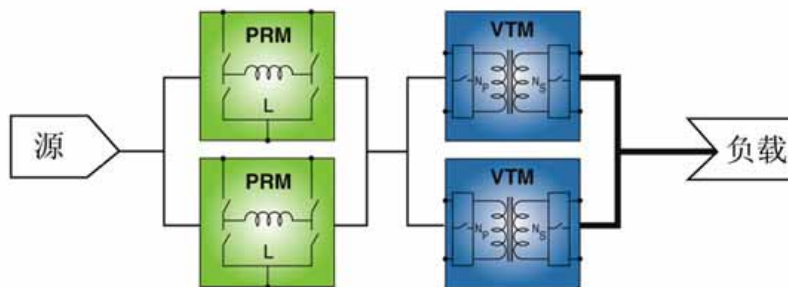


图 14
高功率阵列



高效率 – 更多功率给负载，但只有更少热量产生

PRM™ 和 VTM™ 的效率可以达到超过 97%。因为整个系统的效率 – 包括 PRM™ 和 VTM™ 的

组合，从非稳压直流源至提供低电压至负载是可在 90%至 95%间。而在很多应用中，即使是满载情况时，亦可能造到整体效率达 95%或更高。高效率代表电源系统中另一重要的要素 – 散热的要求可进一步减少。

V_oI 晶片的热处理也是十分灵活的: V_oI 晶片封装的热阻很低，同时它的封装设计可简化散热器的设计。

更快的瞬态响应 – 对负载的快速变化提供更多功率

现今的负载已不单要求高电流，且是更快的瞬态响应。不论负载变化大小，有效开关频率达 3.5MHz 的 VTM™ 可在一微秒内作出响应。这比现时最快响应的砖式模块还要快 20 倍(图 15)。

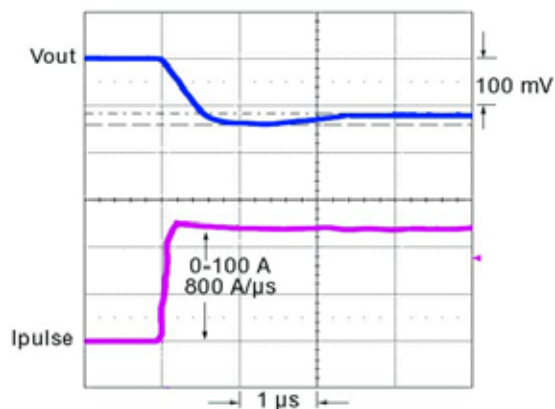


图 15
快速的瞬态响应

由于 VTM™ 的高频宽，可省减大量的负载点旁路电容。在瞬态的突变时，即使没有任何输出电容，VTM™ 输出只有极小的扰乱。只需极少量的外加旁路电容，最好是低 ESR/ESL 的陶瓷电容，便可有效地减去因瞬态而产生的上冲电压。

由砖式模块及非隔离负载点转换模块转变到 V_oI 晶片

现在的电源需求趋向低负载电压和低成本，中转总线架构(IBA)可以是个有效的过渡期方案。但 IBA 是依赖非隔离负载点稳压器(niPOL)，它只保留稳压和转换功能在负载点处，依靠中转总线转换模块提供中转总线电压和隔离。这样，中转母线架构 (IBA)便需要在分布和转换的损耗之间作取舍，这样便间接令瞬变响应不佳。

总结

FPA 及 V(I) 晶片提供了一个功率转换架构及基要功率元件，克服了各电源架构的固有限制，令每一项重要的系统要求均能获得更好的表现。分比化功率，其实就是透过提升系统灵活性，功率密度，转换效率，瞬态响应，噪声表及可靠性等，把电源系统的性能表现推至顶峰。

如需更多有关 FPA, V(I) 晶片及有关产,请浏览 Vicor 网站