

The PI33xx: 把零电压开关技术应用在降压稳压器上

2012年7月



Picor PI33XX Cool-Power® ZVS降压稳压器系列产品，提供最大的功率密度和高效负载点DC-DC稳压。这款独特的高密度降压稳压器，在一个表面安装封装内集成了高性能零电压开关(ZVS)拓扑以及功率和辅助组件。本文简要介绍PI33xx降压稳压器系列产品中零电压开关(ZVS)拓扑的性能和价值。

降压稳压器的关键要求通常是尺寸和效率。由于印制电路板面积弥足珍贵，哪个设计人员也不愿意分配额外的空间给功率设计方案。此外，由于单片机和数字信号处理器（DSP）不断推陈出新，电路板设计方案也不断升级，尽管功率有所增加，但产品尺寸却不能增大了。因此，高密度稳压器便顺着最新IC集成技术、MOSFET及封装工艺的改良而不断发展。纵使这样，这些稳压器还是无法满足新系统的应用要求。尤其是系统内部的功率密度正日益提高。其主要原因是开关损耗阻碍稳压器MOSFET的内部性能。如果不从根本上解决这些损耗问题，那么只能期望些微的性能提升。

导致稳压器MOSFET开关损耗的主要原因是：高电平端MOSFET导通、米勒（Miller）栅极电荷以及体二极管传导损耗。高电平端MOSFET导通时，正好是稳压器MOSFET进行最高电压和电流开关的时候，由此带来的最大功率损耗。随着转换或稳压的输入电压的增高，这些损耗将进一步放大。

输入电压越高，主MOSFET的电压也就越高，导通损耗也就越大。这些开关损耗将阻碍整个功率系统解的发展，无法取得突破性的进展。例如，在工业流程控制系统中，要想将24V稳压至3.3V，需要通过两级降压稳压器：首先，将24V电压转换到12V；然后，再将12V电压转换到3.3V。相反，有些稳压器只需要一次转换，如PI33xx，可以直接将24V电压转换到3.3V，不仅提高效率，而且大幅降低成本，缩小空间，并提高可靠性。

开关损耗还限制了稳压器的开关频率。开关频率越高，MOSFET开关时间就越长，损耗就越大。如果开关不能在高频率切换，将限制更小型无源组件(电阻、电容和电感)的使用，从而使稳压器密度受到影响。

PI33xx采用零电压开关（ZVS）拓扑允许在更高频率和更高输入电压进行操作，而且不会牺牲效率。同传统稳压器采用的硬开关拓扑相比，零电压开关（ZVS）拓扑是一种软开关拓扑。同传统稳压器相比，PI33xx的软开关技术具有更高的效率以及更高的密度性能。零电压开关（ZVS）拓扑通常是成就高性能隔离电源的因素。在PI33xx内部集成零电压开关（ZVS）拓扑，实乃业界首创。

图1：
Picor PI3301 Cool-Power®
ZVS降压稳压器与竞争产品
的效率性能对比

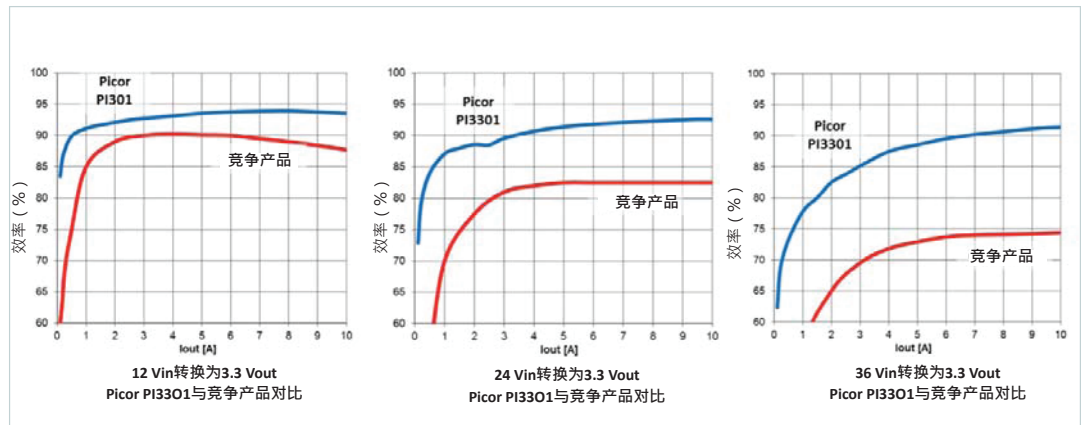


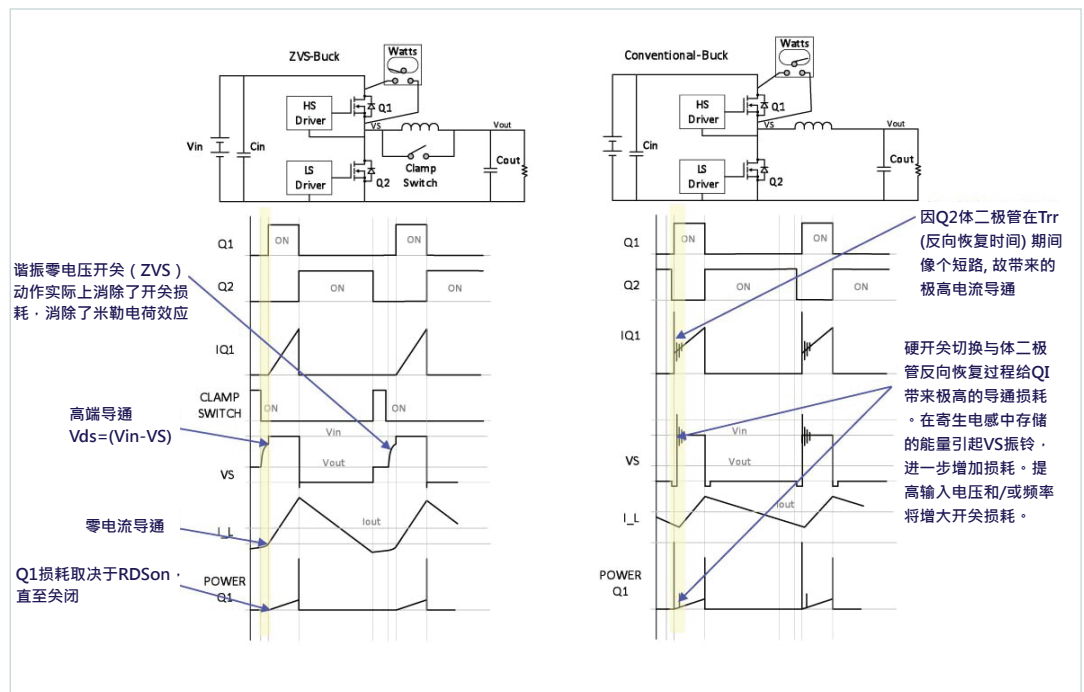
图1给出PI3301(PI33xx系列产品的3.3V版本)与业界常用高密度稳压器对比的效率性能。PI3301采用零电压开关 (ZVS) 或软开关拓扑, 而竞争产品则采用硬开关拓扑, 图1中给出输入电压分别是12V、24V和36V时的效率性能。从图1中的对比可以看出, 硬开关稳压器在较高输入电压时效率退化。这个效率退化是硬开关拓扑中开关损耗带来的直接结果。

PI33xx系列产品工作频率在1.5MHz以上, 是传统高密度稳压器的2~3倍。在更高的频率工作不仅降低无源组件的尺寸, 而且降低外部滤波组件的尺寸, 并允许对输入瞬态和负载瞬态做出快速动态响应。

PI33xx内的零电压开关 (ZVS) 开关拓扑

参见图2, 我们对传统降压拓扑与采用零电压开关 (ZVS) 拓扑的PI33xx进行直接对比。首先, 常用的方法是在完整开关周期起始处(图2中黄色竖条表示), 高端MOSFET得到指令而导通。在导通之前, 有电流流经输出电感器和同步MOSFET。为了避免两个MOSFET的交叉传导, 在关闭同步MOSFET和开启高端MOSFET之间存在一个微妙的平衡。

图2：
PI33xx降压拓扑与
传统产品的对比



这个设计折中的结果往往是体二极管传导。体二极管传导要求：在体二极管传导某些峰值电流时，积聚的存储电荷首先进行放电，然后才能支持任何反向截止电压。因此，当极高电流流经体二极管和流经高端MOSFET时，MOSFET的漏极-源极电压实际上是嵌位于输入电压(主要取决于寄生电感)，直到耗尽区形成，而体二极管开始支持反向电压。

耗尽区形成前，在高电平端MOSFET中消耗的瞬态功率是相当高的。其中，一部分损耗是由于反向恢复电流引起的，其他损耗则是由于MOSFET输出电容放电引起的。此外，在低端的MOSFET同步体二极管，也存在着反向恢复损耗。这些损耗将随着开关频率或输入电压的增加而增加。在图2中，传统降压稳压器的Q1功率曲线给出导通效应。导通时的峰值瞬态功率，将成为高开关频率应用中高端MOSFET损耗的主要来源。有些措施可以补救对与体二极管传导有关的开关损耗，办法包括：从更快的开关到自适应栅极驱动器，乃至通过各种改进型质量因子(FOM)器件对MOSFET进行改进。

PI33xx开关周期开始时，流经输出电感的电流几乎是零。由于零电压开关 (ZVS) 动作，Q1的电压也几乎是零。电感电流从零上升至峰值，然后Q1关闭。电感电流在小于10ns期间交换给Q2体二极管，之后Q2导通。在电感中存储的电荷转移至负载。Q2关闭被延迟，直到来自输出电容器的电流将电感电流驱动为负，因此，在电感中存储了能量。

接着，嵌位开关闭合导通，允许存储的能量循环，直到Q1再次需要开启并将VS嵌位至Vout。为了推动零电压开关 (ZVS)，嵌位开关开路。然后，存储的能量与Q1和Q2的输出电容发生谐振。谐振电流从源极到漏极流进Q1，并从漏极到源极流进Q2。这个谐振动作对Q1输出电容进行放电，并对Q2输出电容进行充电。然后，Q1以无损耗的方式切换。

PI33xx之所以能够解决传统稳压器的高导通损耗问题，是因为在高端MOSFET导通之前，避免高电流体二极管传导；使高端MOSFET的漏极-源极电压为零或接近零，而且不产生高电流尖脉冲或有破坏性的振铃。针对Q1的零电压开关 (ZVS) 动作，在Q1导通时可以消除米勒效应，允许在导通时使用更小的驱动器或更低的栅极驱动。

通过改进开关拓扑，能够以更高的效率和更小的尺寸，实现对更高电压的稳压。通过PI33xx中的零电压开关 (ZVS) 拓扑，Picor为工程师提供了一款高性能降压稳压器，可以将36Vin直接调节至3.3V，这是传统硬开关高密度稳压器所望尘莫及的。

The Power Behind Performance