

600V CoolMOS™ P6——

“多功能”器件的新标杆

600V CoolMOS™ P6 – The New Benchmark of “Multipurpose” Parts

英飞凌科技公司的高压应用工程师 Alois Steiner

当今，PFC 级和 DC/DC 级对电源效率的要求越来越高，尤其是在轻负载运行中。为满足这些要求，逻辑上工程师应选择使用栅极电荷较低的 MOSFET 来减少驱动损耗。在整个负载范围内，低栅极电荷可以在开通和关断时实现快速的开关切换。但是，该选择也存在一些缺点。由于栅极存在振荡，因此工程师必须选择一个更高的 $R_{G,ext}$ 以降低开关速度或使用铁氧体磁珠进行减振。

上述任意一种方法都会花费大量的工程设计时间，并且增加设计成本。因此，工程师必须寻找一种既可以提高效率又不花费大量工程设计时间可简单插入系统的功率 MOSFET。第二个特征通常称为“易用性”。当然，工程师在达到这一要求的同时还必须尽量减少材料清单上的成本。实现这一目的的方法是在 PFC 和 DC/DC 阶段选择同一种 MOSFET；但除了高效和“易用性”的要求之外，DC/DC 阶段的硬交换还需使用坚固的体二极管。

CoolMOS™ P6 是 600V CoolMOS™ 系列的最新产品，专为满足所有这些应用要求而设计，可一次性解决高效、“易用性”以及 PFC 阶段和 DC/DC 阶段多用途的问题，从而节省设计时间和设计成本。

目标应用

新的 CoolMOS™ P6 是针对典型的 AC/DC SMPS 功率架构的不同应用而设计的。

P6 技术适用于硬开关 PFC 阶段，还适用于软开关的 DC/DC 阶段。以下包含针对 600V P6 的目标应用：

表 1:目标应用与拓扑

应用	PFC	DC/DC
服务器	升压阶段	LLC
电信	升压阶段	LLC
PC 电源	升压阶段	TTF
		LLC
消费电子	升压阶段	LLC

以下技术参数是确定 P6 技术在此类应用中有效性的关键因素。

降低栅极电荷 (Q_g)

CoolMOS™ P6 最重要的改进点之一就是减少了器件的栅极电荷损耗，减少的栅极电荷 Q_g 可带来各种益处，尤其是在轻负载条件下驱动损耗。与 CoolMOS™ E6 相比，P6 可以减少 30% 的栅极电荷 Q_g ，主要来自于平台状态电荷的减少。P6 还可实现快速的开关切换。

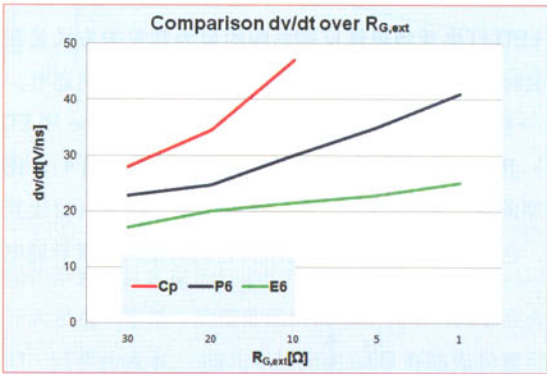


图1

集成式栅极电阻 (R_G)

为了平衡快速的开关切换以达到最高效率，同时不影响“易用性”和良好的可控性，CoolMOS™ P6 的设计带有较小的集成栅极电阻 R_G 。这种较小的集成栅极电阻 R_G 可以在正常工作电流条件下实现快速的开通和关断，而且在非正常工作情况时可以限制 di/dt 和 dv/dt 。

高栅极阈值电压 (V_{th})

在 LLC、ZVS 等谐振拓扑中，可以消除开机损耗，但关机损耗仍然在总损耗中占相当大的比例。高栅极阈值电压 (V_{th}) 可以提前关闭 MOSFET，从而提高效率。

英飞凌之前的 CP 和 E6 技术将 V_{th} 的典型值定为

3V。基于这一特征，不难看出，若采用 P6 技术， V_{th} 将增加到 4V 的典型值。对于开关速度，可以看出，P6 的开关斜率明显高于 E6，而且更接近 CP，从而减少了开关损耗，提高了功率转换效率。

dv/dt 额定值增加至 100V/ns

超结 MOSFET 的 MOSFET dv/dt 典型额定值为 50V/ns。工程师受该数据表参数的限制，只能通过低 $R_{G,ext}$ 强制进行快速切换，从而实现高效应用。由于 P6 的 Q_g 较低，且电容量有所减少，结合 12 年的制造经验，P6 技术将 dv/dt 的额定值从 50V/ns 增加到 100V/ns。

图 1 显示了 E6、P6 与 CP 在最大电阻 $R_{DS(on)}$ 190m Ω 范围以内的 dv/dt 测定值的对比情况。CP 的 dv/dt 最大值为 50V/ns，斜率较高。与 CP 相比，P6 技术使 dv/dt 更加平稳，且控制水平也得到提高。甚至在最小 $R_{G,ext}$ 的情况下，P6 的 dv/dt 仍低于 50V/ns。

P6 技术是一项非常稳固的技术，可以承受 50V/ns 以上的 dv/dt，且特性不发生变化。dv/dt 改进后，可以减少外部 R_G ，从而提高效率。

“易用性”——P6 栅极的振荡

图 2 显示了 IPP60R190P6 在 PFC 中的典型开关切换波形。该测试电路配置了一个额外的 7.2pF 外部栅漏电容，模拟栅极和漏极与 PCB 之间耦合的寄生电容。设计人员在布线时应特别注意，尽量减少这种寄生电容，以确保 MOSFET 的最高性能。在这一测量中，190m Ω 的器件采用 5 Ω 的外部 R_G 。

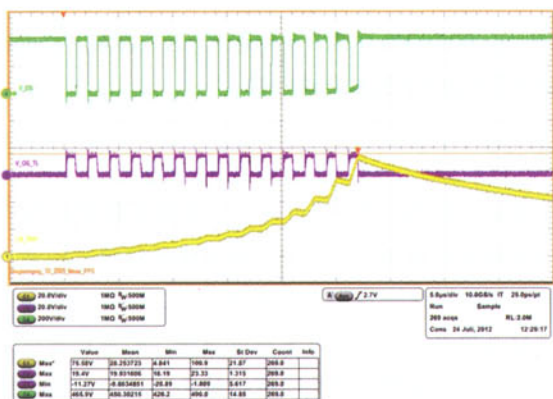


图2 开关切换波形

开关切换波形采用 $V_{DS}=400V$ （显示为绿色）和 $V_{GS}=13V$ （显示为深红色）进行测定。显示为黄色的电流

波形在每次脉冲时都在增加，直至达到饱和状态，主要表现为峰值电流为 75A 时 V_{DS} 的偏移。P6 采用优化的 R_G ，可以呈现出良好的开关切换波形，而且不会影响 VGS 规格限值。

导通体二极管的硬交换

软开关应用需要对导通体二极管进行硬切换，并且需要在体二极管的硬交换可靠性和快速开关之间进行平衡。快速开关器件的所有特征（高 di/dt、低 Q_g 、低 R_G ）可以导致导通体二极管硬交换期间的较高电压峰值。图 3 显示了在 10 μs 导通时间后的体二极管硬交换下的电压峰值（在正常操作条件下，体二极管的导通时间不会超过 400ns）。

图 3 显示了交换中 di/dt 较高而导致的 V_{DSmax} 过冲。被测器件与开关器件相同驱动电阻 $R_{G,ext}$ 电阻值均为 10 Ω 。 V_{DSmax} 过冲将受到布线寄生分量、外部电阻 R_G 以及开关的开关切换速度的影响。相对于 CP，P6 的交换性能得到改善。

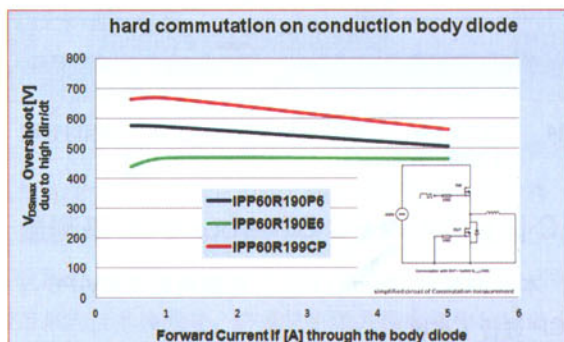


图3 600V P6、E6、CP之间的导电二极管硬式整流对比

测量结果

本节显示实际应用中的测量结果，以展示 CoolMOS™ P6 在硬开关和软开关应用中的作用。

CCM PFC 中 300W PC Silverbox 中的效率测量

本次测量在 190m Ω $R_{DS(on)}$ 范围内将 600V P6、E6 和 CP 进行了对比。

参数设置：

- $V_{in}=90VAC$
- $V_{out}=400VDC$
- $P_{out}=0W\sim300W$
- 频率 = 65kHz

- 在 $R_{G,ext}=10\Omega$ ，采用即插即用的方式，将 600V P6、E6 和 CP 器件进行了对比

这种即插即用的测量方式表明，与 CoolMOS™ E6 和 CoolMOS™ CP 相比，CoolMOS™ P6 有许多优点。在 300W 连续导通模式 (CCM) 下的 PC Silverbox，输出功率达到 70W 或以上时以 CCM 运行，否则以 DCM 运行。即使在轻负载条件下非等同对比情况下，P6 的效率也有小幅提升。当输出功率超过 70W，运行于 CCM，与 E6 相比，在满负载条件下 P6 的效率可以提高 0.2% 至 0.3%。因 Q_g 的减少和相对较高的 V_{th} ，使效率得以提高。

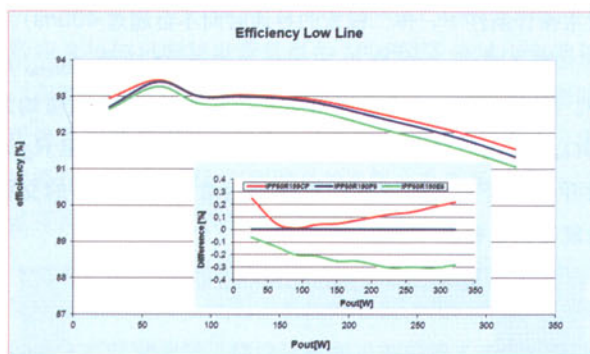


图4 600V P6、E6与CP在绝对效率（上端）和相对效率（下端）方面的对比

LLC 阶段200W PC Silverbox 的效率测量

本次测量在 $280m\Omega$ $R_{DS(on)}$ 范围内将 600V P6 与 E6 和 CP 进行了对比。

参数设置：

- 200WPC Silverbox LLC 阶段
- $V_{in}=90VAC$
- $V_{out}=400VDC$
- $P_{out}=0W\sim 200W$
- 频率 = 65kHz
- $R_{G,ext, turn, on}=27\Omega$
- $R_{G,ext, turn, off}=10\Omega$
- 采用即插即用的方式，将 600V P6、E6 和 CP 进行对比

在 LLC 测量中，与 E6 相比，P6 在轻负载条件下的效率提升 0.8% 以上。效率的提升同样的原因是与 E6 相比 Q_g 减少了 30%。在满负载条件下，P6 和 E6 的效率测量结果相似，这是因为其 $R_{DS(on)}$ 水平相同，这是满负载条件下的重要参数。

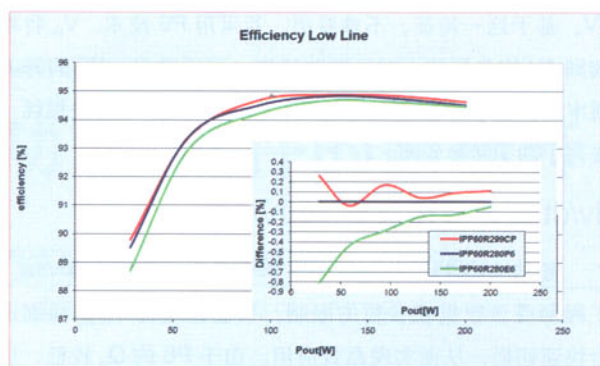


图5 600V P6、E6与CP在绝对效率（上端）和相对效率（下端）方面的对比

600V P6 的使用设计指南

关于如何以最佳方式使用 CoolMOS™ P6 实现性能最优化，以下章节提供了一些相关指引。

最小化外部栅极电阻($R_{g,ext}$)

在设计良好的电源系统中，我们推荐采用极低的外部电阻，开通时最小电阻为 5Ω ，关断时电阻为 0Ω 。由于采用 $R_{g,int}$ 和非常稳固的 CoolMOS™ P6 设计，因此可以使用这种高效的 R_g 。然而，选择外部 R_g 始终取决于 PCB 的寄生组件，由于来自 $L_{stray} \cdot di/dt$ 的电压信号和来自 $C_{parasitics} \cdot du/dt$ 的电流信号，这些寄生组件会在 MOSFET 上产生超预期的峰值电压或峰值电流。为避免出现这类峰值电压或峰值电流，推荐减少寄生参数或在 MOSFET 上使用更大的 $R_{g,ext}$ 。

600V P6 的并联

对于 600V P6 并联，我们通常建议在栅极上采用铁氧体磁珠或单独的图腾柱驱动电路。

结论

在目前的 MOSFET 市场上，大多数器件的易用性和可的效率各有不同。一些器件提供最简单可控性，最佳的易用性，仅一定程度的效率折衷。还有一些器件可提供最高效率，但由于开关速度过快，需要在设计中特别关注。CoolMOS™ P6 的推出解决了这类问题：使用该器件，可以在满足高效率需求的同时并不影响易用性。这可以通过一个良好的平衡技术，提供最佳的易用性和性能的器件。GEC