

飞兆半导体特稿

2009年6月

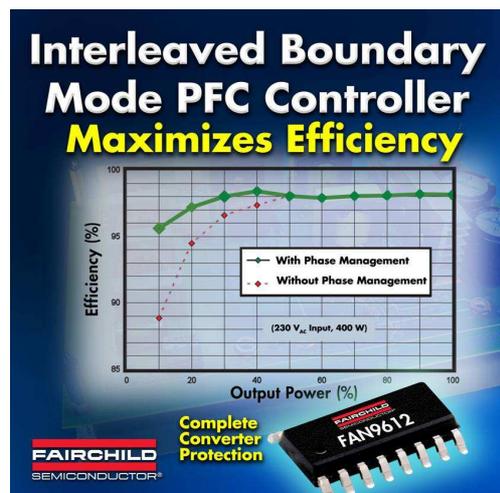
智能交错：实现高效 AC-DC电源的先进 PFC 控制器

作者：飞兆半导体公司大功率解决方案部系统工程师 Steve Mappus

在最近于美国华盛顿举行的 APEC 2009 峰会上，飞兆半导体发布了交错式双临界导通模式 (Boundary Conduction Mode, BCM) 功率因数校正 (PFC) 控制器 FAN9612。FAN9612 整合了数项新颖的创新性功能，旨在实现性能最大化，减少外部组件数目，提供一系列稳健的保护功能，并提高效率。

交错是一种特殊的并联方式，即在两个或多个功率级 (通常称之为相位或通道) 之间存在独特的相位关系。为了保持两级设计所拥有的全部纹波电流消除优势，必须让各个通道彼此间相差 180 度同差。由于每个通道都是针对处理 50% 功率而设计的，故同步的中断或失败，尤其是在负载超过最大额定电流的 50% 时，就可能造成整个设计的崩溃。换言之，缺乏严格容限的同步算法不必要的推动对功率级冗余设计 (over design) 的需求。FAN9612 采用飞兆半导体专有的同步方案 Sync-Lock™，可确保软启动、软中止 (Soft-Stop) 期间以及所有瞬态和稳态工作条件下近乎完美的 180 度同步。如果某个故障模式导致一个信道无法工作，内部重启定时器会被激活，相当于高效的功率限制，可防止此通道提供全额定功率。所有这些必须的同步和安全功能都完全由 FAN9612 处理，无需功率级冗余设计，从而获得针对效率、性能和可靠性高度优化的设计。

任何电源设计都要优先考虑启动，PFC 转换器也不例外。对大多数 PFC 应用而言，稳压输出电压设置点在 400V 范围之内，故只要有任何电压过冲，尤其是在软启动期间，就会对输出大电容和开关组件造成额外的应力。FAN9612 能够解决与启动有关的两大重要问题。第一是能够在整个启动程序期间保持闭环软启动。图1所示为 FAN9612 专有软启动电路的功能实现及启动程序仿真。



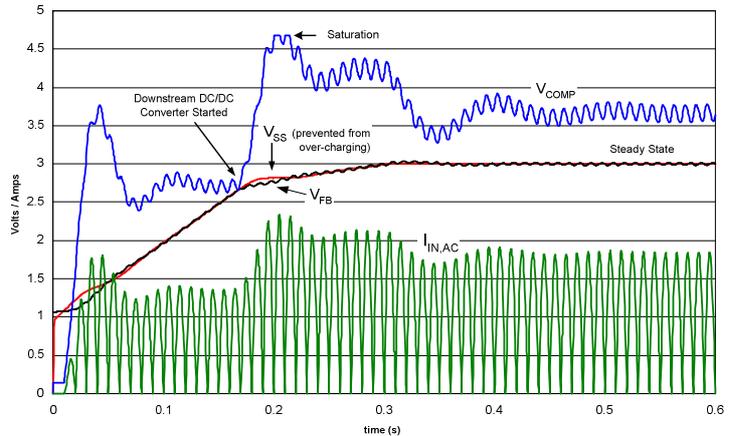
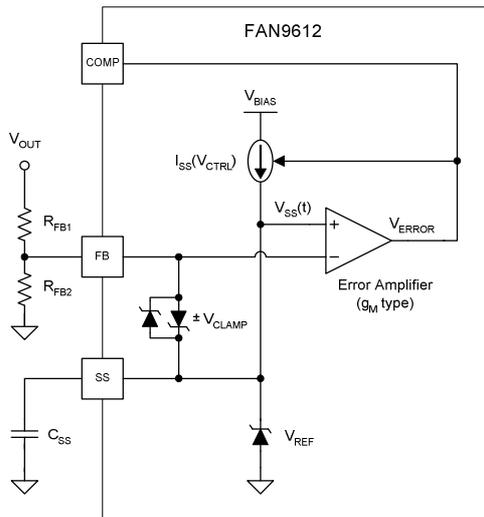


图1 闭环软启动性能

通过把参考电压钳位为误差放大器反馈电压，软启动电容 C_{SS} 稍微预充电，加快初始化启动。更重要的是，误差放大器输出直接控制软启动充电电流 $I_{SS}(V_{CTRL})$ ，因此，若误差放大器接近饱和，电流源就减小 $V_{SS}(t)$ ，确保对误差放大器输出电压的控制保持良好。不管在软启动周期内后级DC-DC 转换器从何处开始消耗 PFC 输出的功率，FAN9612 都可以在内部调节同相误差放大器输入以避免饱和，确保启动或重启动期间不会因瞬态故障条件而产生电压过冲。

除了闭环软启动工作模式之外，FAN9612 还具有通过 V_{OUT} 电阻分压器网络直接启动的可选功能。对于没有足够的辅助偏置电源电压或待机电源的应用，启动任何高电压 IC 都必须对 V_{DD} 电容进行充电，直到电压达到控制 IC 欠压锁定 (UVLO) 导通阈值为止。这一般需要额外的电路，因而会增加功耗及降低效率。有些设计人员会采用这种方法：当通过自举偏置 (bootstrap bias) 电源对 PFC 控制 IC 进行供电时，关断启动电路。虽然这种方案有助于降低功耗，但往往需要高侧开关和驱动电路，从而增加外部组件的数目。FAN9612 经特别设计，无需外部启动电阻即可启动。在 FB 和 VDD 之间增加一个小信号二极管 D_{START} 即可提供一条经过 R_{FB1} 的电流路径，见图 2 中的红色虚线。一旦内部 5V 参考电压有输出，小信号 MOSFET Q_{START} 就被开通，电阻反馈网络即从启动功能中解脱出来。另外也可以根据情况，忽略 D_{START} 和 Q_{START} ，采用传统的启动方法。

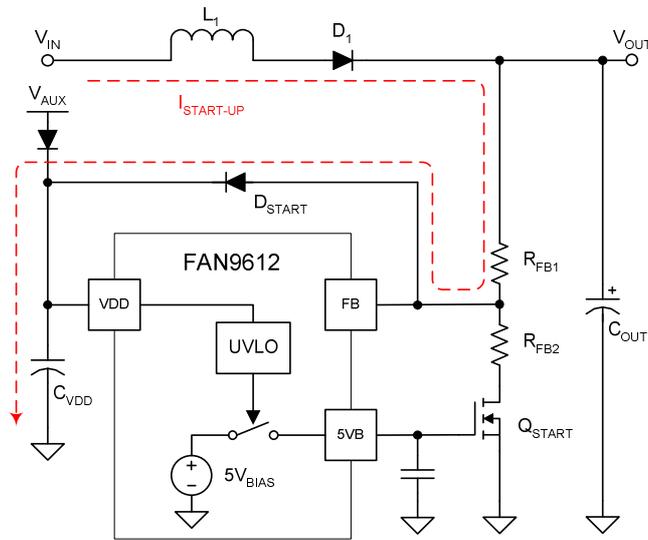


图2 交替式简化启动电路

对于感测 AC 输入电压的 PFC 电路，大多数控制器都需要一个外部两极滤波器来获得 RMS 线电压。虽然这对线路 UVLO (也称为 brown-out 保护，即电压过低保护) 是可接受的，但两极滤波器的慢速和低灵敏度会导致额外的线电流失真，从而妨碍利用 RMS 电压信息来实现任何部分的 PWM 控制，比如电压前馈。而 FAN9612 却能够通过感测 AC 输入电压的峰值来获得 RMS 值。由于 RMS 值与线电压峰值成比例，所需外部电路就从两极滤波器简化为一个简单的电阻分压器。如图 3 所示，FAN9612 利用经过分压(divided down) 的峰值电压信号来实现欠压保护 ($V_{IN(UVLO)}$)、输入过压保护 ($V_{IN(OVP)}$)，以及电压前馈 ($V_{IN(VFF)}$) 这些 PWM 控制任务。 R_{IN1} 和 R_{IN2} 的比值可用于设定 $V_{IN(OVP)}$ 、跳变点和欠压保护级。FAN9612 独有的 Brown out 迟滞可编程特性，可通过内部 $2\mu A$ 电流源和 $R_{IN(HYS)}$ 进行设置。

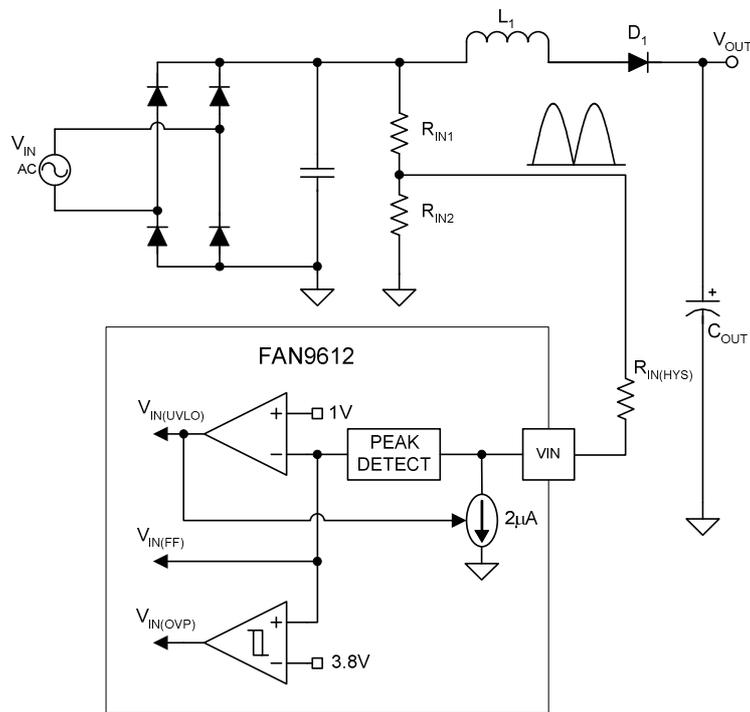


图3 输入电压感测电路

电压前馈为 PFC 转换器提供了数种优势。首先，控制环路增益变得与输入电压无关，这就大大简化了补偿任务，并有助于在线路瞬变期间保持更严格的输出电压调节。其次，输入电流仍为正弦波，即使在功率受限期间也可减少电流失真。第三，由于用户可编程最大导通时间 (MOT) 与 V_{IN} 成比例，所以每个通道都获得一个有效的功率限制功能。最后，FAN9612 还能够在 DC 输入电压下工作，故而适用于大功率逆变器，比如那些专为太阳能应用而设计的逆变器。

除了欠压保护和输入电压 OVP 外，FAN9612 还具有两极输出电压 OVP 功能。图 4 中所示的反馈电阻 R_{FB1} 和 R_{FB2} 对输出电压进行分压，并把信号馈入到 FAN9612 跨导误差放大器的输入端。一个非锁死输出 OVP 电路内部监控该信号，并被设置在反馈电压超过 3.25V 时阻止开关。因此实际上， R_{FB1} 和 R_{FB2} 具有调节输出电压和执行输出 OVP 的双重功能。某些应用可能有限制输出 OVP 和电压调节功能共享同一组串联电阻的设计要求。FAN9612 针对这一问题提供第二级锁定 OVP 功能，该锁定电路的阈值为 3.5V，可通过 R_{OV1} 和 R_{OV2} 来主动设置比非锁定的 OVP 更高的保护电压。在 R_{FB2} 与地短路这种可能性较小的事件中，这个第二级 OVP 功能可关闭 DRV1 和 DRV2。

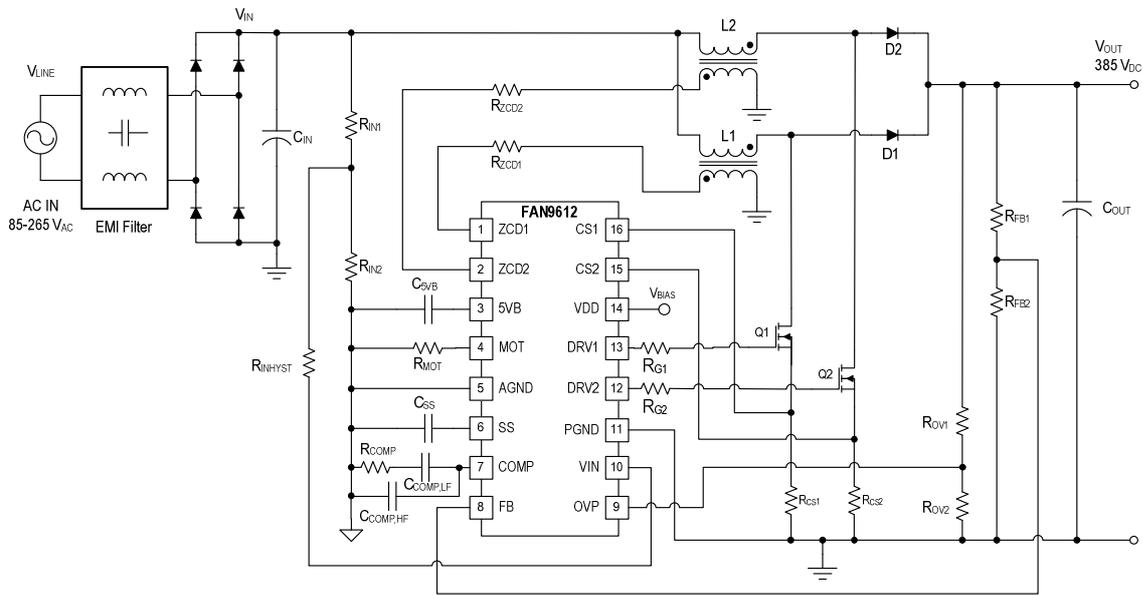


图4 简化应用电路

至于过流保护 (OCP)，FAN9612 可通过图 4 中的 R_{CS1} 和 R_{CS2} 独立感测每个通道的峰值电流。较之在返回路径上采用单个电流感测电阻，对相位的逐个感测可提供更可靠、更有效的 OCP 解决方案。为了减少组件，每个输入都在内部集成了一个小型 RC 滤波器 (一般用于抑制电流感测输入中的前沿尖刺)。最后，FAN9612 电流感测阈值设为 200mV，以使电流感测电阻上的功耗最小化。

FAN9612 采用多项节能技术来满足额定负载和轻负载下的效率要求。其同步电路的一部分利用最大频率钳位来限制轻载下和 AC 输入电压的过零点附近的与频率相关的 C_{OSS} MOSFET 开关损耗。在 V_{IN} 线电压部分大于 $V_{OUT}/2$ 期间，使用谷底开关技术以感测最佳 MOSFET 导通时间，可进一步降低 C_{OSS} 电容性开关损耗。另一方面，当 V_{IN} 小于 $V_{OUT}/2$ 时，主功率 MOSFET 利用零电压开关 (ZVS) 导通。ZVS 结合 BCM 工作模式的零电流开关 (ZCS)，可消除 MOSFET 导通开通损耗和输出整流器的反向恢复损耗。

FAN9612 的自动相位管理可以满足提高轻载效率的要求。FAN9612 评测板 (EVB) 可以演示约 30% (相位禁用) 和 40% (相位启用) 负载电流之间的相位管理能力，而利用 FAN9612 MOT 输入则可准确调节阈值。图 5 所示的效率图显示了在负载电流刚好下跌到最大额定值的 30% 以下致使某个相位禁用时，轻载效率的提高。当负载电流达到最大额定值的近 40% 时，两通道交错式工作恢复。FAN9612 EVB 是一个 400W 双交错式 BCM PFC 转换器，当 $V_{IN} = 115V_{AC}$ 时，测得轻载负载效率提高 1%； $V_{IN} = 230V_{AC}$ 时，提高 6.5%。

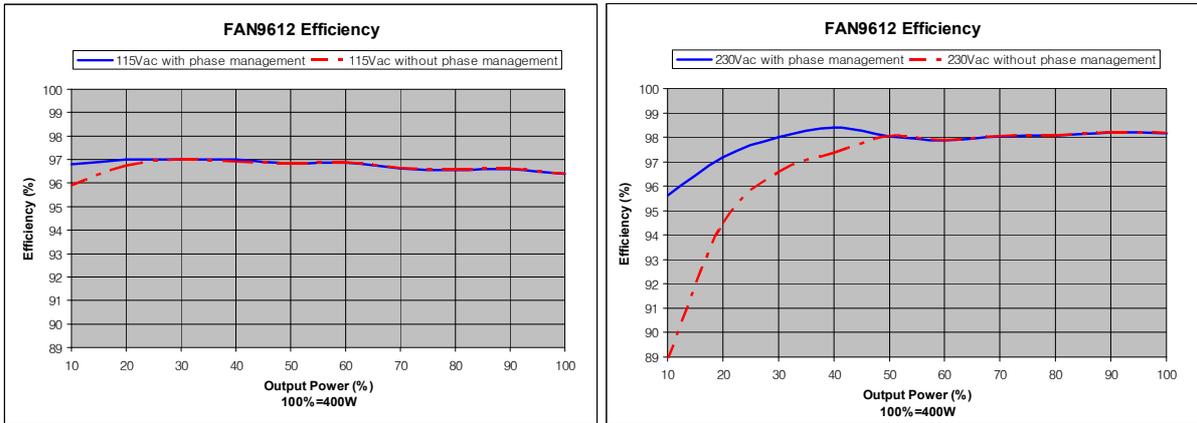


图5 FAN9612 EVB 相位管理的效率性能（注：包含 EMI 滤波器）

总而言之，对于 1KW 以下的 PFC 解决方案，FAN9612 能够实现尽可能高的效率级别，并具有最丰富的功能和性能组合，是目前市面上最好的交错式 BCM PFC 控制器。

可受益于这种拓扑的应用包括消费电子产品、数字显示器 (LCD、PDP、医疗设备)、照明、台式电脑、入门级服务器、电信整流器、工业电源系统，以及太阳能逆变器。

要了解更多有关上述功能的详细信息，请访问 FAN9612 产品网页

<http://www.fairchildsemi.com/pf/FA/FAN9612.html>