

## 交错式临界导通模式功率因数校正的挑战

近来，由于交错式临界导通模式 (BCM) 功率因数校正 (PFC) 电路能够降低磁性组件及EMI 滤波器的总体尺寸，并提高能效，因此这种技术越来越流行。交错式 BCM 转换器有利于解决输入滤波器问题，并将适用功率水平扩展到300W以上，而以往在这种情况下，只能选择连续传导模式(CCM)运作。交错式BCM转换器由两个相同的180° 相移操作的 BCM 转换器构成，如图1 所示。这样的转换器具有单个 BCM 转换器的所有优点，且通过纹波消除技术减少了输入电流纹波，从而使输入端差分模式 EMI 的滤除变得非常容易。

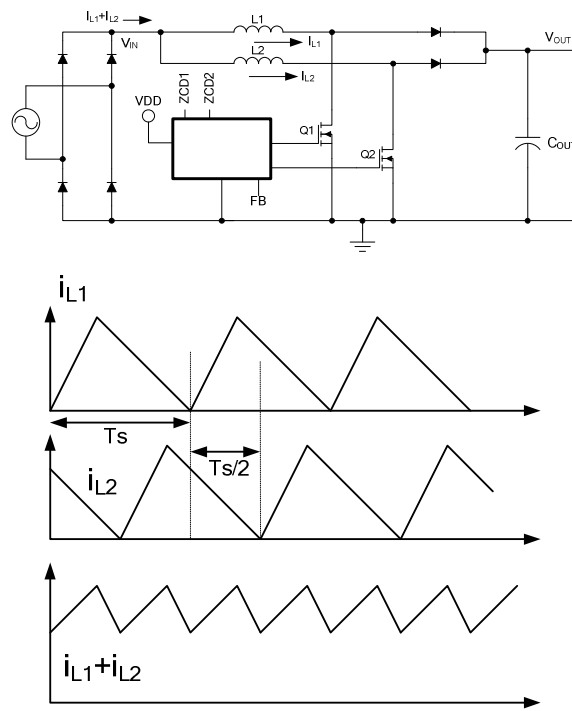


图1 交错式 BCM PFC及其主要波形

两个转换器的 180° 错相操作意味着其中一个转换器应该在另一个转换器开关间隔的半周期瞬间导通。对于开关频率恒定的转换器，这很容易，只需把一个转换器的导通时刻移动半个开关周期即能轻松实现。然而对于BCM 升压 PFC转换器，交错却不那么简单了，因为开关频率是随瞬间线电压、电感值、MOSFET 导通时间以及输出功率而不断变化的。

对于变频转换器，最简单的交错式方法是主从方法，即两个转换器共享一个误差电压，使两个转换器的导通时间相同。主转换器的导通瞬间由它的零电流检测(ZCD)电路决定；而从转换器的导通瞬间受主转换器的控制。在每一个开关周期，对主转换器的开关时间进行测量，然后在其半周期瞬间导通从转换器。但问题在于，每个开关周期的半周期瞬间应该在开关周期结束之前获知，而这却是不可能的。唯一的解决办法是利用前一个开关周期来估算，这时假设开关频率变化极慢，两个连续周期之间的差异可忽略不计。

如果两个转换器的导通时间相同，在给定工作条件下，它们的开关频率也相同，这就让采用主从型方法的两个交错式转换器进入 BCM 工作。不过，在实际中，由于存在组件公差，两个转换器的导通时间不可能完全相同。图2显示了主从型方法中，当两个转换器的导通时间不相同时会发生什么事情。当从转换器的导通时间短于主转换器时，从转换器进入不连续传导模式 (DCM) 工作；而当从转换器的导通时间长于主转换器时，从转换器进入连续传导模式(CCM)工作。一旦升压转换器进入 CCM 工作，所有控制和输入电流整形都将缺失，整流二极管的反向恢复损耗严重。因此，切记即使存在公差，也务必确保从转换器的导通时间短于主转换器，以杜绝从转换器进入 CCM 工作的可能性，保证从转换器始终以 DCM 工作，这有利于实现纹波消除，而纹波消除正是交错式方法的极大优点，大大减小了总体谐波失真 (THD)。

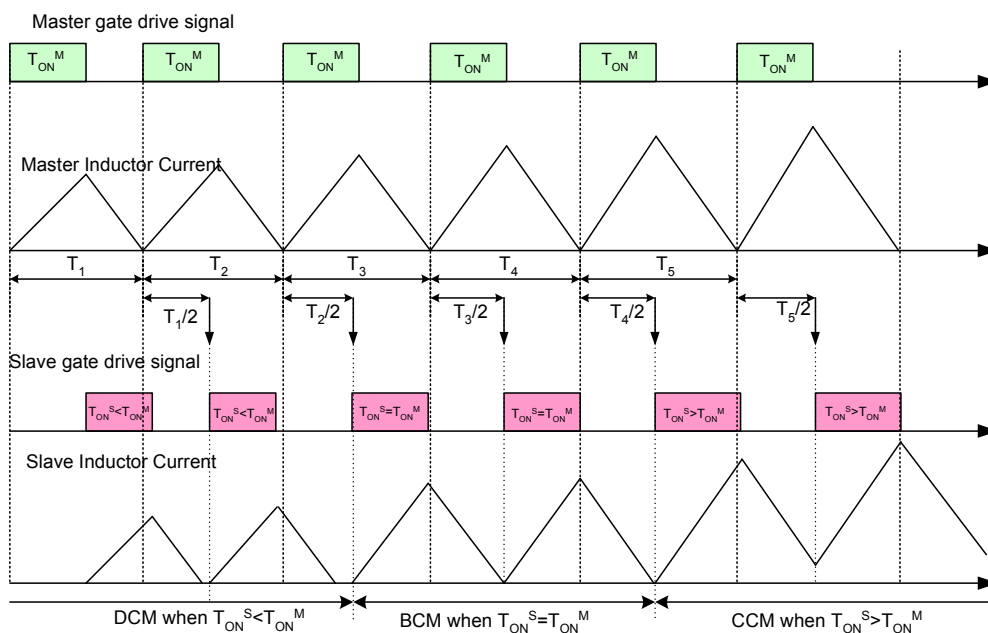


图2 主 / 从交错式方法的主要波形

变频转换器的另一种交错式方法是基于 PLL 的导通时间调制，即两个转换器都自由工作在 BCM 模式下，并对导通时间进行调制，使相移达到  $180^\circ$ 。图3所示为 PLL 交错式方法的工作波形。即使两个转换器开始时同相，在转换器 2 的导通时间调制大于转换器 1 时，其相位角也会增大。当相位角达到  $180^\circ$  时，为保持  $180^\circ$  相角，转换器 2 的导通时间会减小。

这种方法能够确保两个转换器都在 BCM 下工作。不过，由于 PLL 是基于带低通滤波器的均衡电路的，故只有在数十个开关周期之后才能够实现锁相。这样一来，在瞬间和启动期间交错缺失，导致输入端产生严重的开关纹波。

PLL 交错式方法的另一个挑战是相位管理。大多数交错式方案都采用相位管理技术，这种技术即是在轻载下关断一个转换器，以获得更好的效率。但当关断的转换器脱离相位管理时，它可能以任意相位角开始开关转换，而交错将缺失数十个周期，直到通过 PLL 使相位角达到  $180^\circ$ 。

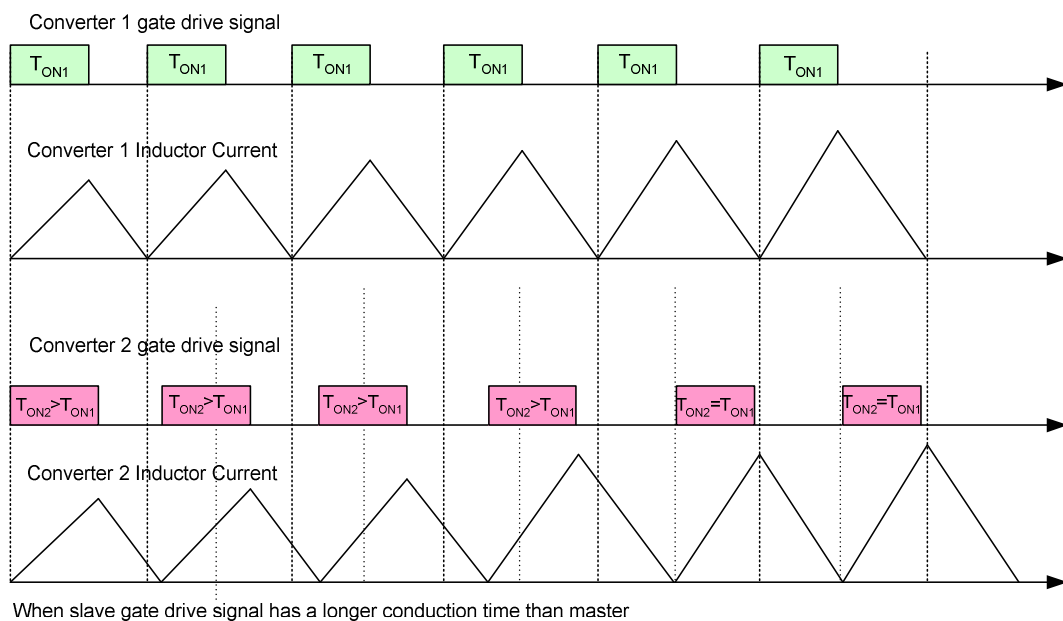


图3 PLL交错式方法的主要波形

飞兆半导体的交错式 BCM PFC 控制器 FAN9612 可以解决交错式方法的这个问题。FAN9612 内部的交叉耦合振荡器可确保两个转换器的导通时间公差最小，其 Inter-Lock™ 技术可在每一个开关周期测量每一个转换器的频率，允许任何一个开关频率较低的转换器成为主转换器。这样一来，交错时序自适应性改变，从而确保

交错在任何瞬态条件下都能顺利进行，如图 4 所示。由于相对较慢的 PPL 方法并未被采用，故交错时序的校正可在一个开关周期内任一瞬间提供。图 5 所示为 FAN9612 的相位增加波形。从图中可观察到，交错的实现从开关最初就得到了保证。还有一点值得注意的是，增加另一个通道时，导通时间被均分，故输入电流没有变化。

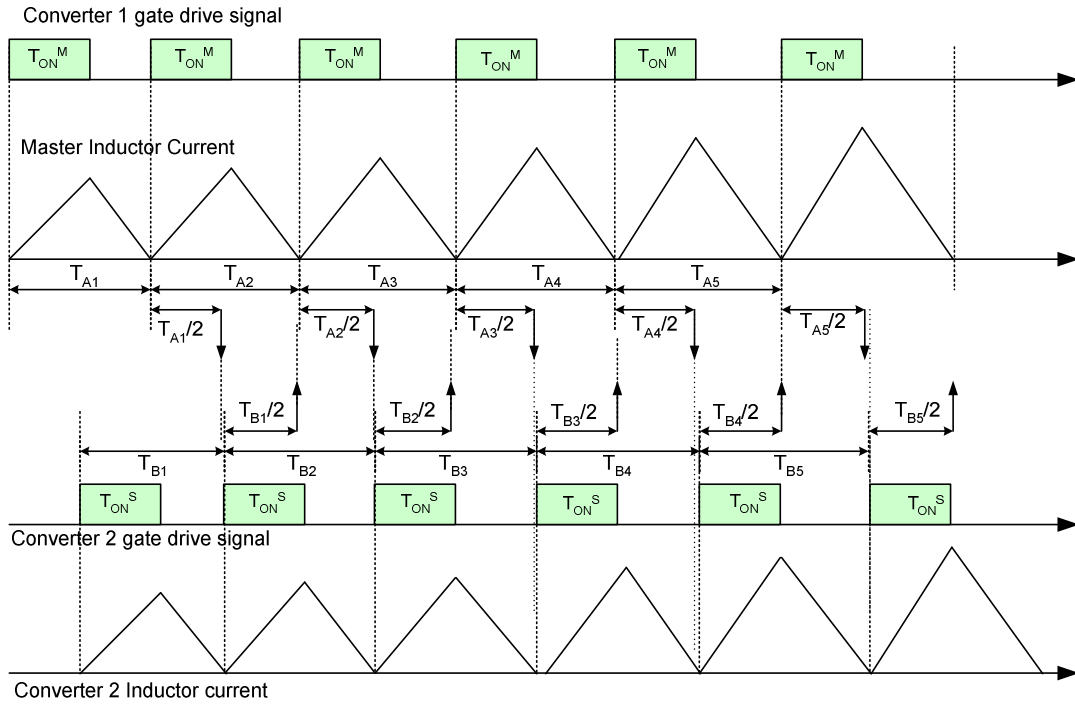


图4 FAN9612 交错式方法的主要波形

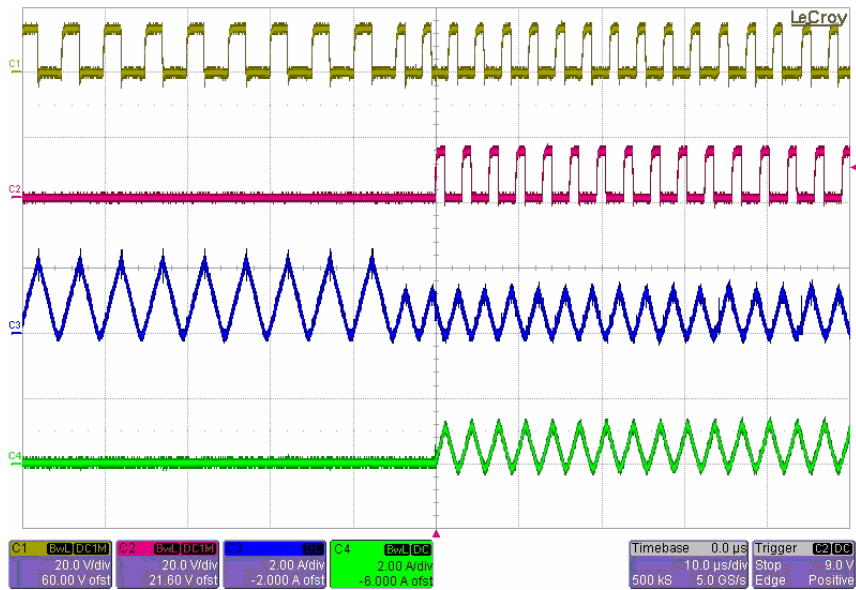


图5 FAN9612 交错式方法的相位管理波形

## 总结

虽然交错式 BCM PFC 拥有众多优于单个 BCM 或 CCM PFC 转换器的特性，但在确保整个工作条件下的交错式上仍然存在一些挑战。飞兆半导体的专有技术 Inter-Lock™ 能够在整个工作范围提供精确、快速又稳健的交错，帮助电源工程师更轻松构建高性能 PFC 转换器。