



Aki Li

在诸多无桥 PFC 拓扑中，图腾柱 PFC 由于所需功率器件数量最少、更易实现高效率得到日渐广泛的应用。尤其随着第三代半导体器件氮化镓和碳化硅的引入，采用 CCM 控制的图腾柱 PFC 不需通过交错拓扑即可满足大功率的设计需求，也便于实现高功率密度的设计。

然而，在 CCM 模式的图腾柱 PFC 的控制中，考虑到氮化镓/碳化硅的第三象限导通压降很高，应用文档 [Optimized Control Schemes for Totem Pole PFC With Digital Controller](#) 指出，若采用传统的 PWM 配置方法，在逐周期限流保护 (Cycle by cycle, CBC) 时一般会将所有 PWM 输出全部关闭，但此时电感电流会通过续流管进行续流，从而导致氮化镓/碳化硅器件的导通损耗急剧增加，甚至出现热失效风险。因此，该文档提出了一种新的 CBC 发波机制，借用 Type 4 EPWM 新引入 Action-Qualifier (AQ) 模块的 T1/T2 事件触发源，在比较器触发过流保护事件时，利用 T1 事件关闭主管，并立刻开通续流管，从而确保续流管的导通压降降到最低。

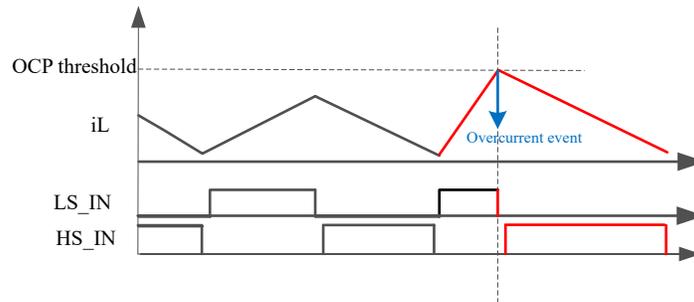


图 1. 基于 T1 事件的 CBC 保护 PWM 动作逻辑

该机制在实际应用中理论上可行，但如果考虑到极端情况，比如采样线路故障导致采样到的电感电流信号异常，该 CBC 保护工作机制可能不会响应过流保护事件进行封波处理。如图 2 所示，假设在第三个开关周期出现采样异常，PWM 信号可能会继续保持正常发波，而不会响应“过流保护事件”将 PWM 输出关断。

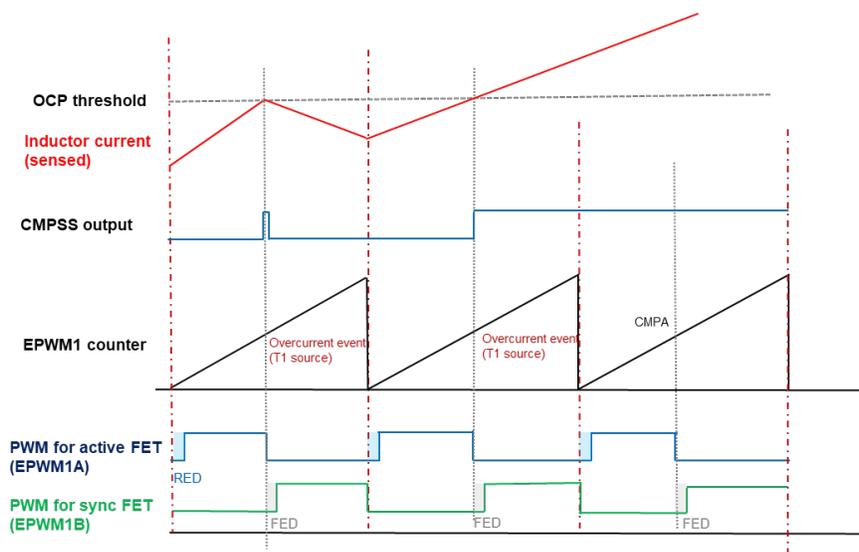


图 2. 电流采样异常后的边界情况

该现象出现的原因在于 T1 事件源在新的开关周期无法生效。如图 3 所示，EPWM 的 AQ 模块事件源包含了传统的 CMPx/ZERO/PRD 事件和新增的 T1/T2 事件，在现有的 TRM 手册中，只是针对传统的事件源使用了“脉冲”信号的标记，意味着 AQ 模块的动作机理是靠识别脉冲信号，即“边沿有效”，而不是“电平有效”，而实际上该逻辑也适用于 T1/T2 事件源。如图 2 所示，由于用于触发 CBC 保护的 T1 事件已经在第二个周期产生，并在之后的开关周期里面，即用于检测过流事件的比较器 CMPSS 输出电平仍为有效电平（T1 事件一直存在），但是由于在新的开关周期，AQ 模块无法识别到 T1 事件的脉冲，从而使得 T1 对应的 EPWM1A 动作配置无法触发，具体如图 4 所示。

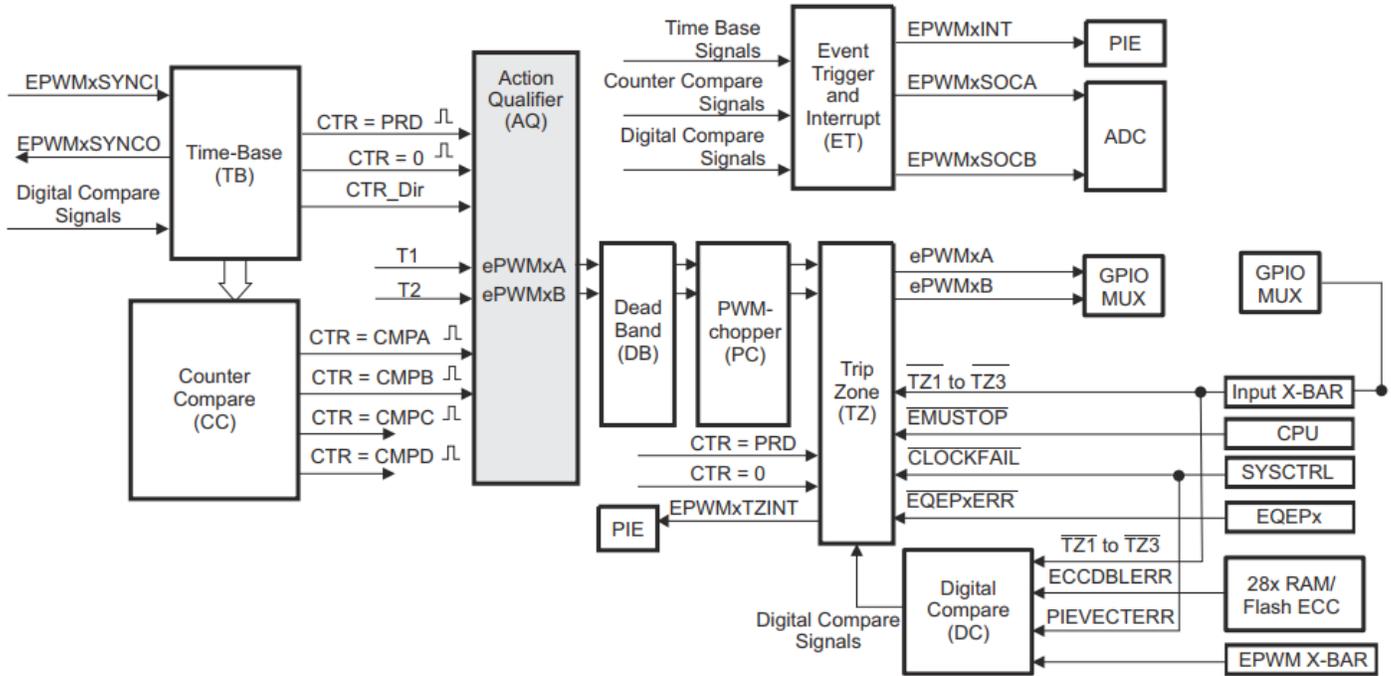


Figure 20-21. Action-Qualifier Submodule

图 3. EPWM 中的电流采样异常后的边界情况

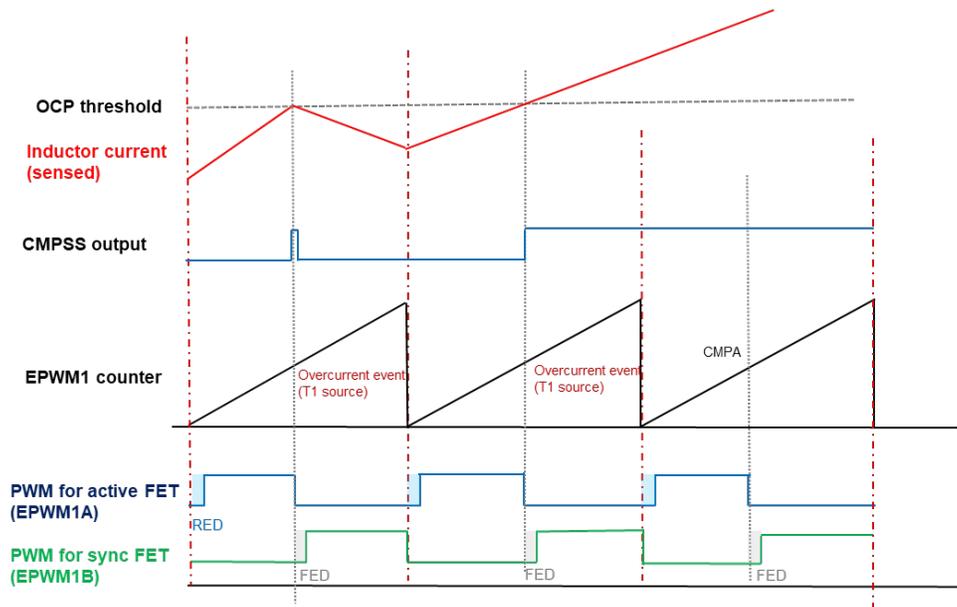


图 4. EPWM 中的电流采样异常后对应的 CMPSS 输出

为了规避此边界情况，可以采用 CMPSS 的复位机制进行配置逻辑优化。如图 5 所示的 CMPSS 配置框图，本方案选择 EPWM1SYNCPER 信号进行复位 CMPSS 的输出，并选择 CMPSS 的 latch 模式作为输出信号，同时，使能 EPWM 的 Counter = 0 作为 EPWM1SYNCPER 的信号源，以此可以在每个开关周期起始时刻复位 CMPSS 的输出状态，使得 CMPSS 的输出重新对输入信号进行响应，从而最终产生 T1 事件对应的脉冲信号。引入新增配置后的发波效果示意图如图 6 所示。

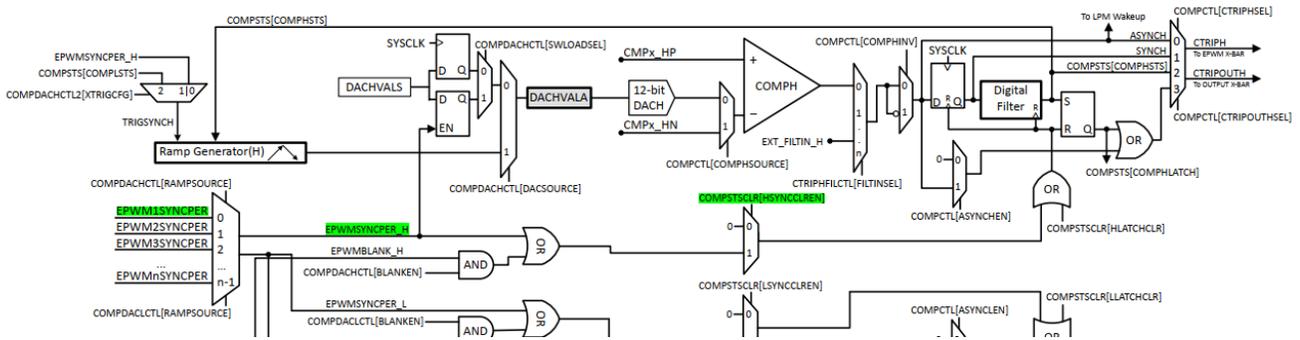


图 5. CMPSS 输出的复位机制

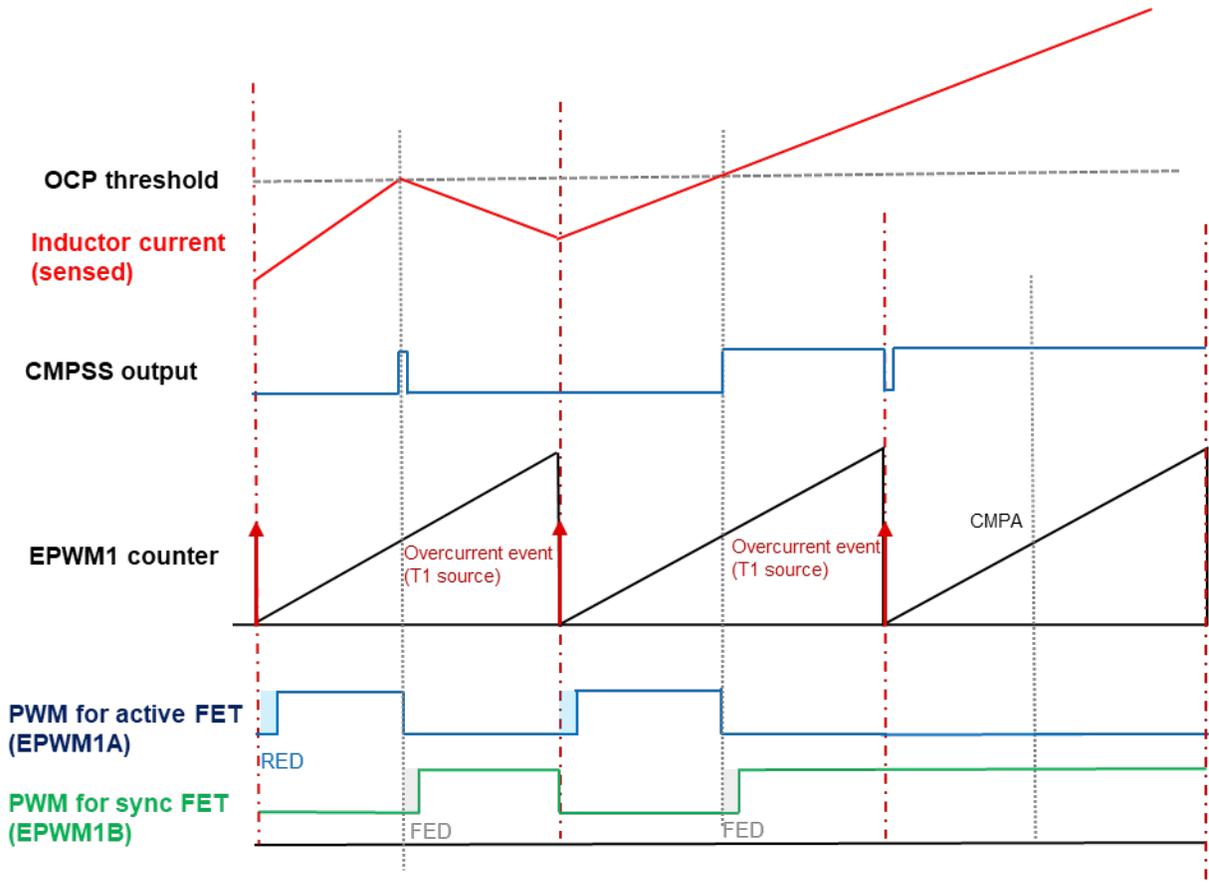


图 6. 引入新增配置后的发波效果示意图

另外，在以上新增配置的基础上，还需要考虑从 CMPSS 复位到 T1 事件对应的 AQ 动作 (PWM 置低) 的硬件延时。如果采用原始的 PWM 配置，及在 Counter=0 时置高 PWM，则会在新的开关周期出现一个很小脉宽的 PWM 输出，这是因为 T1 事件的动作最终生效时刻在过零事件之后。为了进一步得到完整的 PWM 关断波形，可以直接将 PWM 的置高事件修改为 Counter=CMPA (例如 CMPA=9，具体的数值根据实测的 T1 事件动作延时进行设定)。

关于 EPWM 和 CMPSS 的关键配置代码如下：

```
//select source for EPWM1SYNCPER
HRPWM_setSyncPulseSource(base, HRPWM_PWMSYNC_SOURCE_ZERO);

// setup counter compare submodule
EPWM_setCounterCompareValue(base, EPWM_COUNTER_COMPARE_A, 9);
EPWM_setActionQualifierAction(base, EPWM_AQ_OUTPUT_A, EPWM_AQ_OUTPUT_HIGH,
EPWM_AQ_OUTPUT_ON_TIMEBASE_UP_CMPA);

//select latch option for CMPSS output
CMPSS_configOutputsHigh(PFC_CMPSS_BASE, CMPSS_TRIP_LATCH);
//select EPWM2SYNCPER as the sync source for CMPSS
CMPSS_configureSyncSource(PFC_CMPSS_BASE, 1);
// enable EPWMSYNCPER to reset of High comparator
CMPSS_enableLatchResetOnPWMSYNCHigh(PFC_CMPSS_BASE);
```

参考文献：

1. Texas Instruments: Optimized Control Schemes for Totem Pole PFC With Digital Controller
2. Texas Instruments: TMS320F28003x Real-Time Microcontrollers Technical Reference Manual (Rev. C)

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司