

BCM 控制方式在 STM32 中的实现-使用高级定时器

关键字: BCM, 高级控制定时器

1. 引言

在电源变换器的控制方式中, BCM 模式即临界传导模式(Boundary Conduction Mode), 或者叫 CRM(Critical Conduction Mode), 由于其容易实现软开关, 开关损耗低, EMI 小等优点在 AC/DC 变换器中被越来越多的使用。本文在简单介绍 BCM 控制模式的基本原理的基础上, 以 STM32G071 为例, 给出如何使用 STM32 系列 MCU 中的高级控制定时器来实现 BCM 控制 PWM 的发波方案。

2. BCM 控制模式基本原理

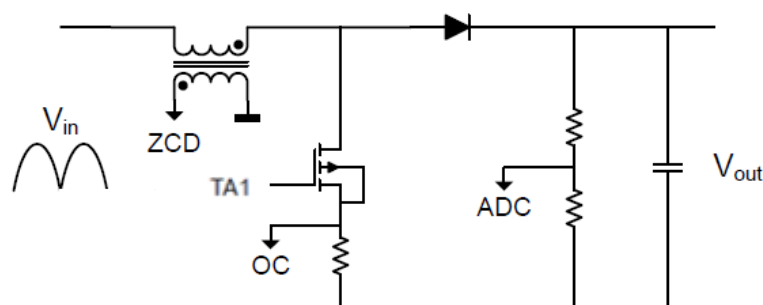
关于 BCM 控制模式的原理请参考 LAT《BCM 控制模式在 STM32 MCU 中的实现》。

3. 高级控制定时器 BCM 控制解决方案

3.1. 方案需求描述

基于 BCM 控制模式的原理, 接下来以 BOOST 变换器进行 PFC 为例, 给出使用高级控制定时器完成 BCM 控制 PWM 发波的解决方案。BOOST 与 PFC 的工作原理在此不再介绍, 可通过网络搜索相关文档进行了解。

图1. Boost 变换器结构



为了完成 BCM, 除了定时器资源之外, 还需要如下的功能:

- 1、电流过零点检测功能;
- 2、过流保护功能;

过流保护时强制封锁 PWM 输出，可以实现 cycle-by-cycle 保护；也可永久保护，直到软件中重新使能 PWM 输出。

对于电流过零点与过流保护检测，可以直接使用 STM32G071 片上的比较器来完成，且其比较器的比较参考点也可以直接使用片上的 DAC 输出，如果所选用的 MCU 片上没有比较器，则需要使用片外比较器来完成检测。本例中的过流保护采用 cycle-by-cycle 保护方式。

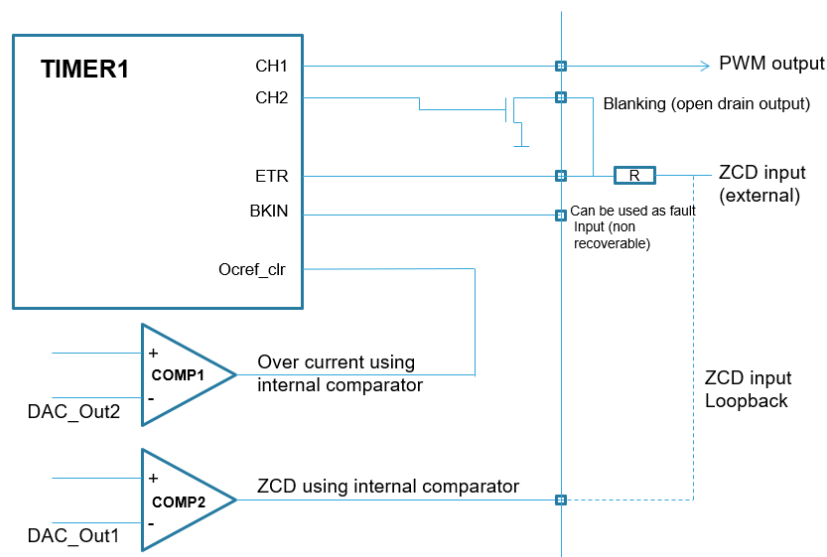
下表给出了针对 BCM 控制，高级定时器使用的对应功能。

BCM 功能	对应的高级控制定时器功能
电感电流过零时开始新的 PWM 周期	使用 ETR 触发高级控制定时器 Reset，片上电感电流过零检测比较器的输出连接在 ETR
PWM 开关周期不固定，随着电感电流过零点变化而变化	同上
PWM 的导通时间 Ton 固定，由设定的比较值确定	使用高级控制定时器的比较事件来确定 PWM 占空比
长时间检测不到电流过零点时要强制结束当前 PWM 周期，并开始下个 PWM 周期	使用定时器的周期值作为最大允许 PWM 周期，周期事件触发定时器 Reset
某些情况下检测到电流过零点时不能立即结束当前 PWM 周期，而是需要进行一定的延时后，才开始下个 PWM 周期	详见“高级控制定时器实现消隐功能”描述
过流保护	使用外部事件清除 PWM 输出功能 OCREF_CLR(Clearing the OCxREF signal on an external event)来完成 PWM 封锁，过流保护检测比较器输出信号作为外部事件/故障触发源。

3.2. 高级控制定时器实现消隐功能

相对于高精度定时器来说，高级控制定时器中没有消隐功能，所有在特定区间内对外部事件进行过滤和锁存的功能需要通过其他方式来弥补，下图给出了如何使用高级控制定时器实现事件消隐。

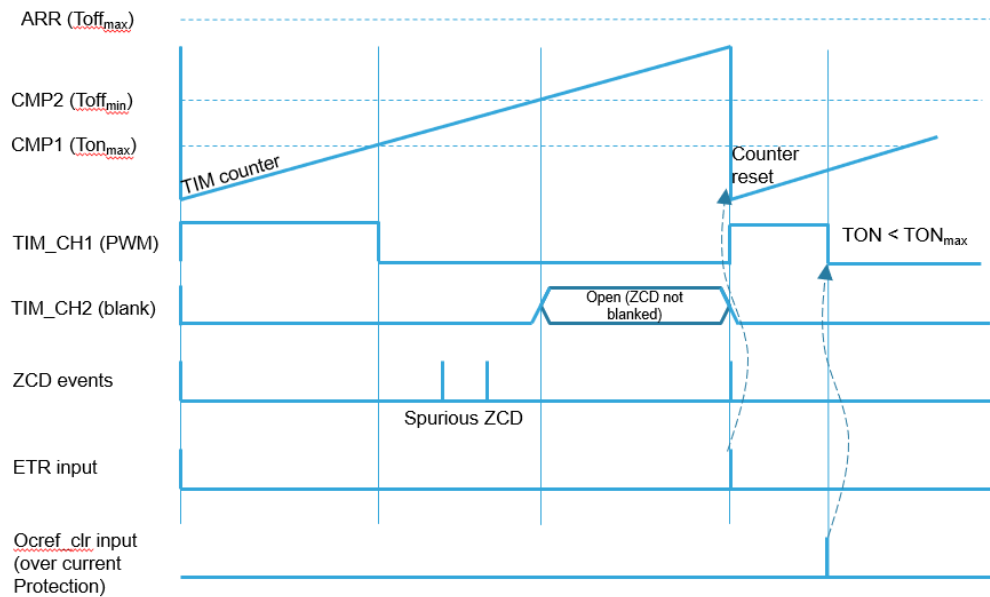
图2. 消隐功能实现原理图



使用定时器的 CH2 输出为漏级开路(Open Drain)，与 ZCD 检测比较器的输出通过一个电阻连接，二者完成一个“与”门的功能，最终信号连接到 ETR 管脚，作为定时器计数器的 Reset 信号。

通过以上的方案，在发生 PWM 生成波形示例如下。当 CH2 输出为低时，ETR 被钳位到 GND，只有当 CH2 输出为高时，ZCD 信号才有效，ETR 有效信号立即触发计数器复位，CH2 输出为低的区间即为 ZCD 信号的消隐区间。

图3. BCM 控制波形



3.3. 具体配置

详细的设置如下，所有的设置在 CubeMX 完成,以 STM32G071RB 为例。

1、配置电感电流过零点检测:

配置 DAC1_Out1 作为比较器 COMP1 比较参考，COMP1 输出到外部管脚且输出需要反相。

DAC1 Mode and Configuration	
Mode	
OUT1 mode	Connected to on chip-peripherals only
OUT2 mode	Connected to on chip-peripherals only
☐ External Trigger	

COMP1 Mode and Configuration

Mode

Input [+] INP

Input [-] DAC OUT1

☒ ExternalOutput

Configuration

Reset Configuration

Parameter Settings User Constants NVMC Settings GPIO Settings

Configure the below parameters :

Search (Ctrl+F)

Basic Parameters

Speed / Power Mode High Speed

Trigger Mode Rising Edge Event

Hysteresis Level High

Output Configuration

Blanking Source None

Output Pol COMP output on GPIO is inverted

Window Output Comparator output is indicating its own state

2、配置过流保护检测

DAC1_Out2 作为比较器 COMP2 较参考。

COMP2 Mode and Configuration

Mode

Input [+] INP

Input [-] DAC OUT2

☐ ExternalOutput

Configuration

Reset Configuration

Parameter Settings User Constants NVMC Settings GPIO Settings

Configure the below parameters :

Search (Ctrl+F)

Basic Parameters

Speed / Power Mode High Speed

Trigger Mode Rising Edge Event

Hysteresis Level High

Output Configuration

Blanking Source None

Output Pol COMP output on GPIO isn't inverted

Window Output Comparator output is indicating its own state

3、配置高级控制定时器 TIM1

TIM1 工作在 Reset 模式，触发源为 ETR，CH1 作为 PWM 输出，CH2 用来设定消隐区间，ETR 的触发计数器复位的方式为上升沿触发，定时器的周期在本例中设定为 10000。

TIM1 Mode and Configuration

Mode

Slave Mode Reset Mode

Trigger Source ETR1

Clock Source Internal Clock

Channel1 PWM Generation CH1

Channel2 PWM Generation CH2

Trigger	
Trigger Polarity	non inverted
Trigger Prescaler	Prescaler not used
Trigger Filter (4 bits value)	0

Counter Settings	
Prescaler (PSC - 16 bits value)	0
Counter Mode	Up
Counter Period (AutoReload Register - 16 bits value)	10000
Internal Clock Division (CKD)	No Division
Repetition Counter (RCR - 16 bits value)	0
auto-reload preload	Enable
Slave Mode Controller	Reset Mode

OCREF_CLR 选择 COMP2_OUT 信号作为触发源，直接内部连接，省去外部走线。

Clear Input	
Clear Input Source	Input Source COMP2_OUT
Clear Channel 1	Enable
Clear Channel 2	Disable

PWM CH1 用于 PWM 输出，本例固定占空比 30%。PWM CH2 用来设定消隐区间，输出模式为 PWM MODE 2, 比较值为 5000，即限定 PWM 最高频率为最低频率的 2 倍。

PWM Generation Channel 1	
Mode	PWM mode 1
Pulse (16 bits value)	3000
Output compare preload	Enable
Fast Mode	Disable
CH Polarity	High
CH Idle State	Reset
PWM Generation Channel 2	
Mode	PWM mode 2
Pulse (16 bits value)	5000
Output compare preload	Enable
Fast Mode	Disable
CH Polarity	High
CH Idle State	Reset

通过以上的设置生成对应的 Keil 功能，并调用对应的外设使能接口函数，即可完成 BCM 模式模式 PWM 发波方案的设计。

```
HAL_DAC_SetValue(&hdac1, DAC_CHANNEL_1, DAC_ALIGN_12B_R, 100);
HAL_DAC_SetValue(&hdac1, DAC_CHANNEL_2, DAC_ALIGN_12B_R, 3000);
HAL_DAC_Start(&hdac1, DAC_CHANNEL_1);
HAL_DAC_Start(&hdac1, DAC_CHANNEL_2);
HAL_COMP_Start(&hcomp1);
HAL_COMP_Start(&hcomp2);
HAL_TIM_PWM_Start(&htim1, TIM_CHANNEL_1);
HAL_TIM_PWM_Start(&htim1, TIM_CHANNEL_2);
HAL_TIM_PWM_Start(&htim1, TIM_CHANNEL_3);
```

4. 小结

针对 BCM 控制的特点，介绍了一种基于 STM32G071RB 高级控制器定时器以及片上比较器与 DAC 资源完成 BCM 控制的 PWM 发波方案设计。

版本历史

日期	版本	变更
2021 年 10 月 28 日	1.0	首版发布

重要通知 - 请仔细阅读

意法半导体公司及其子公司（“ST”）保留随时对 ST 产品和 / 或本文档进行变更的权利，恕不另行通知。买方在订货之前应获取关于 ST 产品的最新信息。ST 产品的销售依照订单确认时的相关 ST 销售条款。

买方自行负责对 ST 产品的选择和使用，ST 概不承担与应用协助或买方产品设计相关的任何责任。

ST 不对任何知识产权进行任何明示或默示的授权或许可。

转售的 ST 产品如有不同于此处提供的信息的规定，将导致 ST 针对该产品授予的任何保证失效。

ST 和 ST 徽标是 ST 的商标。若需 ST 商标的更多信息，请参考 www.st.com/trademarks。所有其他产品或服务名称均为其各自所有者的财产。

本文档是 ST 中国本地团队的技术性文章，旨在交流与分享，并期望借此给予客户产品应用上足够的帮助或提醒。若文中内容存有局限或与 ST 官网资料不一致，请以实际应用验证结果和 ST 官网最新发布的内容为准。您拥有完全自主权是否采纳本文档（包括代码，电路图等信息），我们也不承担因使用或采纳本文档内容而导致的任何风险。

本文档中的信息取代本文档所有早期版本中提供的信息。