SHRTIM 使用指南

简介

本文档介绍 SHRTIM 的使用问题以及 SDK 中 SHRTIM 的 example。

目录

1 SHRTIM 使用问题 3
1.1 DAC 复位触发延迟 3
2 SHRTIM 的 EXAMPLE 介绍 3
2.1 过渡模式功率因数控制器 3
2.2 多相降压转换器 7
2.2.1 调试 ADC 操作 13
2.3 无死区时间插入的逐周期保护 14
3 版本历史 19
4 声明 20

国民技术股份有限公司 Nations Technologies Inc.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路 109 号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
邮箱：info@nationstech.com 邮编：518057

1 SHRTIM 使用问题

本章节收录遇到过的 SHRTIM 的使用问题，供用户参考。

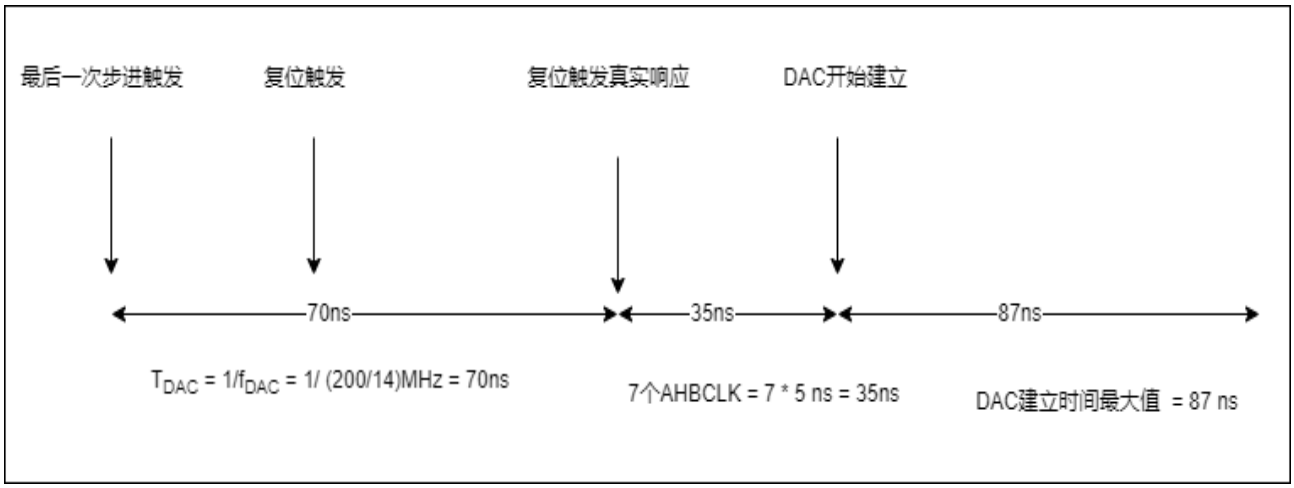
1.1 DAC 复位触发延迟

SHRTIM 触发 DAC 输出递减锯齿波，当 DAC 复位触发太靠近最后一次步进触发，DAC 复位触发会延迟响应。

复位位触发会延迟到最后一次步进触发后的 $1/f_{DAC}$ 开始响应，响应后再等待 7 个 AHB_clk + 64ns~87ns 的建立时间，复位的电压值真正打出去。

如果 DAC 输出接比较器的输入，要对 DAC 复位触发时的比较器输出进行消隐，建议最大消隐窗口时长 = 70 + 35 + 87 = 192ns。

图 1-1 DAC 复位触发延迟



2 SHRTIM 的 example 介绍

Example 的路径：

Nations.N32H47x_48x_Library.x.x.x\projects\n32h47x_48x_EVAL\examples\SHRTIM。

SHRTIM Basic Single PWM --- 单通道 PWM，比较简单不作详细介绍。

SHRTIM CBC Deadtime --- “无死区时间插入的逐周期保护”的例程

SHRTIM Multiphase --- “多相降压转换器”的例程

SHRTIM TM PFC --- “过渡模式功率因数控制器”的例程

2.1 过渡模式功率因数控制器

本章关键点：

1. 外部事件调节和过滤
2. 定时器计数器复位
3. 事件消隐窗口

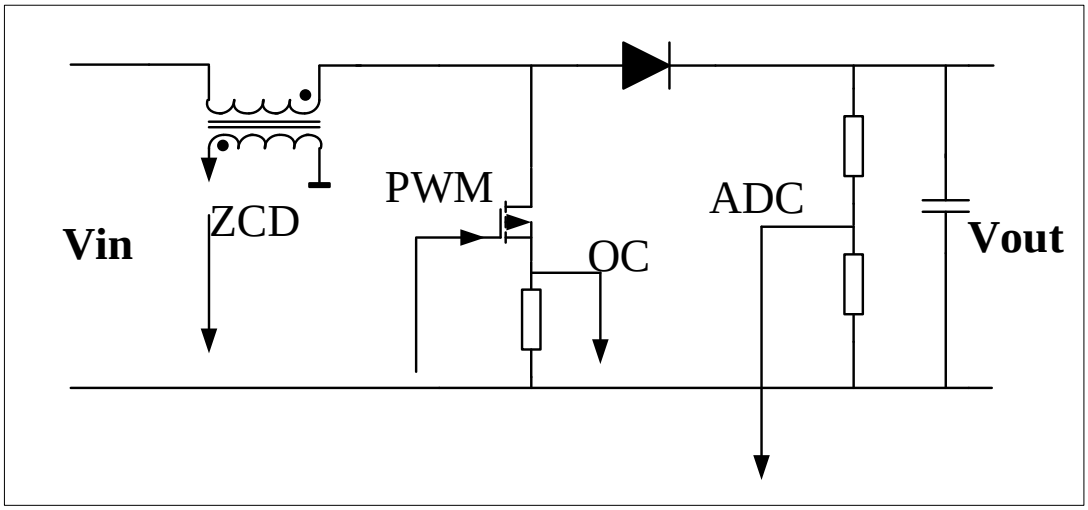
国民技术股份有限公司 Nations Technologies Inc.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路 109 号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
邮箱：info@nationstech.com 邮编：518057

4. 捕获单元
5. 恒定 Ton 时间转换器。

本例给出了过渡模式 （也称为边界导通模式）功率因数控制器 （PFC）。

图 2-1 显示了与升压转换器类似的拓扑。它具有一个输出电压读数和退磁检测线圈 （耦合到主电感，用于零电流检测）。

图 2-1 过渡模式 PFC



基本工作原理是，在固定的 T_{on} 时间内建立进入电感的电流。

该电流将随后在 T_{off} 时间内消退，当电流为零时重新开始此循环周期。可利用过零检测（ZCD）电路（实际上由主电感上的辅助线圈构成）对其进行检测。由于有恒定T_{on}，电感中的电流峰值与整流的交流输入电压直接成比例，这提供了功率因数校正。

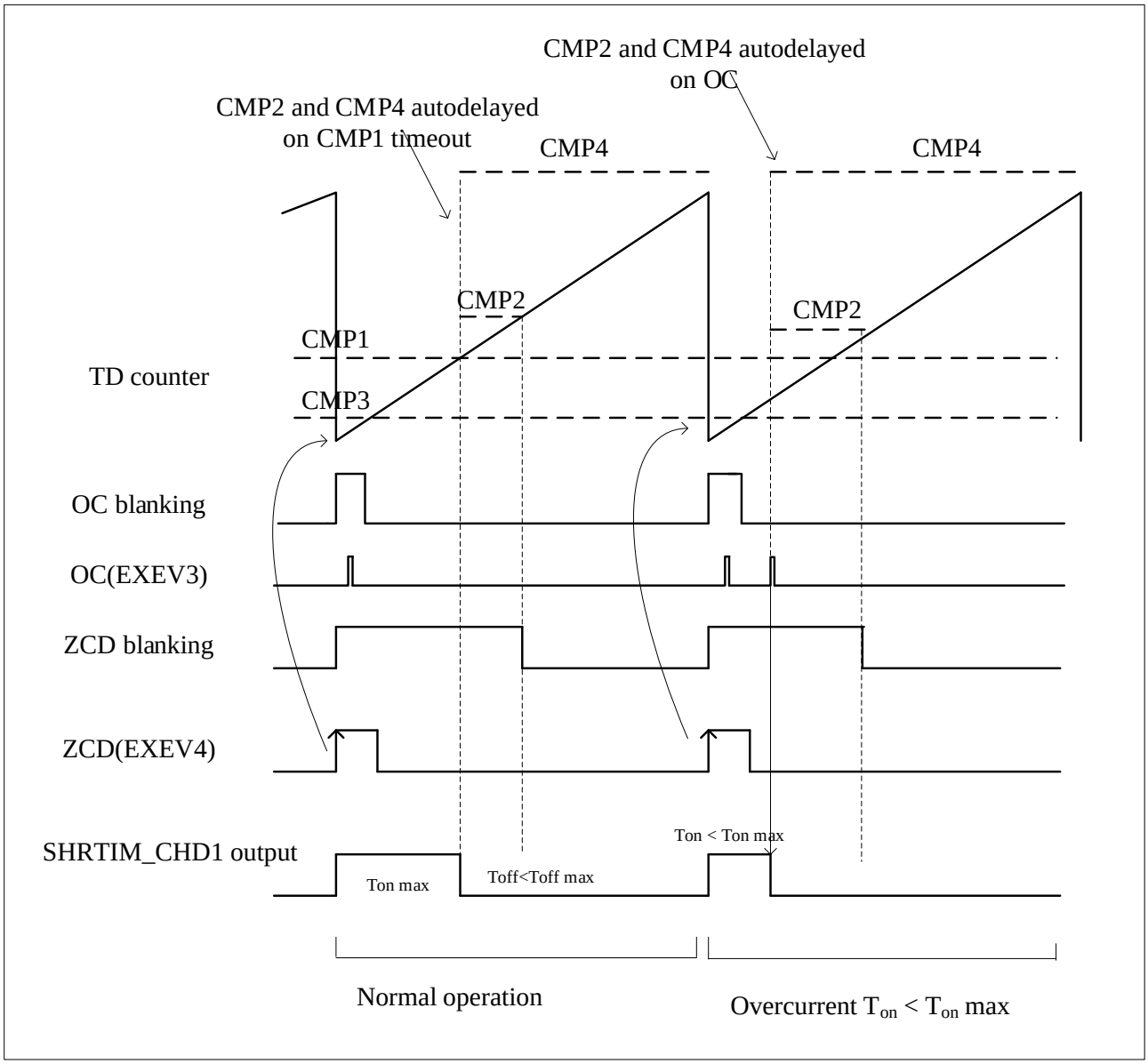
此转换器具有恒定的 T_{on}，由于 T_{off} 变化其频率也是变化的 （取决于输入电压）。它还必须包括一些功能，以便在未检测到过零电压时工作，或在过流（OC）时限制 T_{on}。OC 反馈通常由内置比较器调节，发送到外部事件通道。

*注：下面的工作原理也可应用于关断时间恒定的转换器。*图 2-2 和图 2-3 显示了工作模式变化过程中的波形，其参数定义如下：

- T_{on} min：在此期间，丢弃伪过流（通常它们是续流二极管恢复电流）。它表示为 OC 消隐并由 CMP3 编程；
- T_{on} max：实际上是转换器的set-ponit。它由 CMP1 定义；
- T_{off} min：在电流极限接近 0 时 （退磁非常快）限制频率。自动延迟模式下它由 CMP2 定义；
- T_{off} max：避免在无 ZCD 发生时系统卡死。自动延迟模式下它由 CMP4 定义。

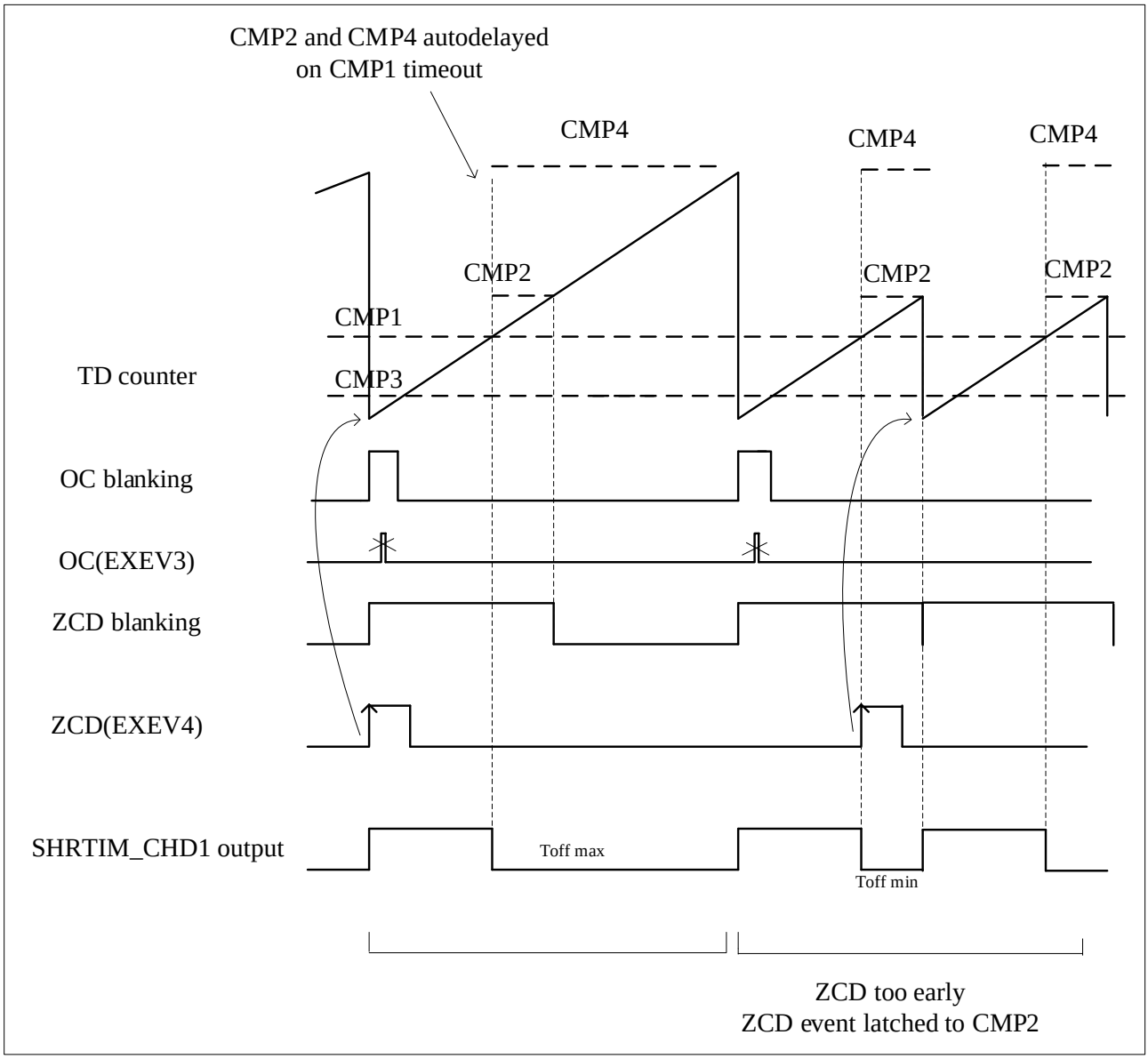
国民技术股份有限公司 Nations Technologies Inc.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路 109 号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
邮箱：info@nationstech.com 邮编：518057

图 2-2 T_{on} max 和过流时的过渡模式 PFC 操作



国民技术股份有限公司 Nations Technologies Inc.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路 109 号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
邮箱：info@nationstech.com 邮编：518057

图 2-3 Toff max 和 Toff min 时的过渡模式 PFC 操作



SHRTIM 工作于连续模式， TD1 信号定义如下：

- 置位，（TD CMP4 或 ZCD 锁存)
- 复位，当 (TD CMP1 或 OC)

ZCD 锁存。 TDCMP2 指示 ZCD 事件由消隐窗口过滤，从定时器 D 计数器复位开始，至 TDCMP2 匹配结束。 ZCD 事件锁存：如果发生在消隐窗口过程中，则不丢弃，并在消隐周期结束时起作用。 ZCD 信号应用到外部事件 4。

OC。TDCMP3 指示 OC 事件由消隐窗口过滤，从定时器 D 计数器复位开始，至 TDCMP3 匹配结束。 OC 事件不锁存：如果发生在消隐窗口过程中，则丢弃。 OC 信号应用到外部事件 3。

两个 Toff 值 （基于 CMP2 和 CMP4）都是自动延迟的：此时间必须与输出信号下降沿相关

国民技术股份有限公司 Nations Technologies Inc.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路 109 号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
邮箱：info@nationstech.com 邮编：518057

（CMP1 匹配或 OC 事件下发生）。 CMP2 和 CMP4 事件在自动延迟模式下 CMP1 超时产生，分别基于捕获 1 和捕获 2 事件。两个捕获单元由 OC 信号 （EXEV3）触发。

ZCD 事件或 CMP4 匹配 （超时情况下）时，定时器 D 计数器复位。

利用 FALT1 数字输入来保护转换器，高电平有效。TD1 输出在发生 FALT1 事件的情况下被强制为低电平。

为了运行演示并测试所有的工作模式，有必要利用函数发生器来仿真反馈 2 输入信号：

- 过流 （OC，在 EXEV3/PB7 上）
- 过零检测 （ZCD，在 EXEV4/PB6 上）

不同工作模式可测试如下：

- 如果 OC 信号在 Ton 时间内产生，则脉冲将缩短；
- ZCD 信号复位定时器计数器，并相应地引起开关频率发生变化。

FAULT1 输入在 PA12 （高电平有效）上使能，可关断 PWM（FAULT 状态下 PWM 是低电平）。触发错误时， TD1 信号停止。可通过按下用户按钮复位系统功能演示。

2.2 多相降压转换器

本章关键点：

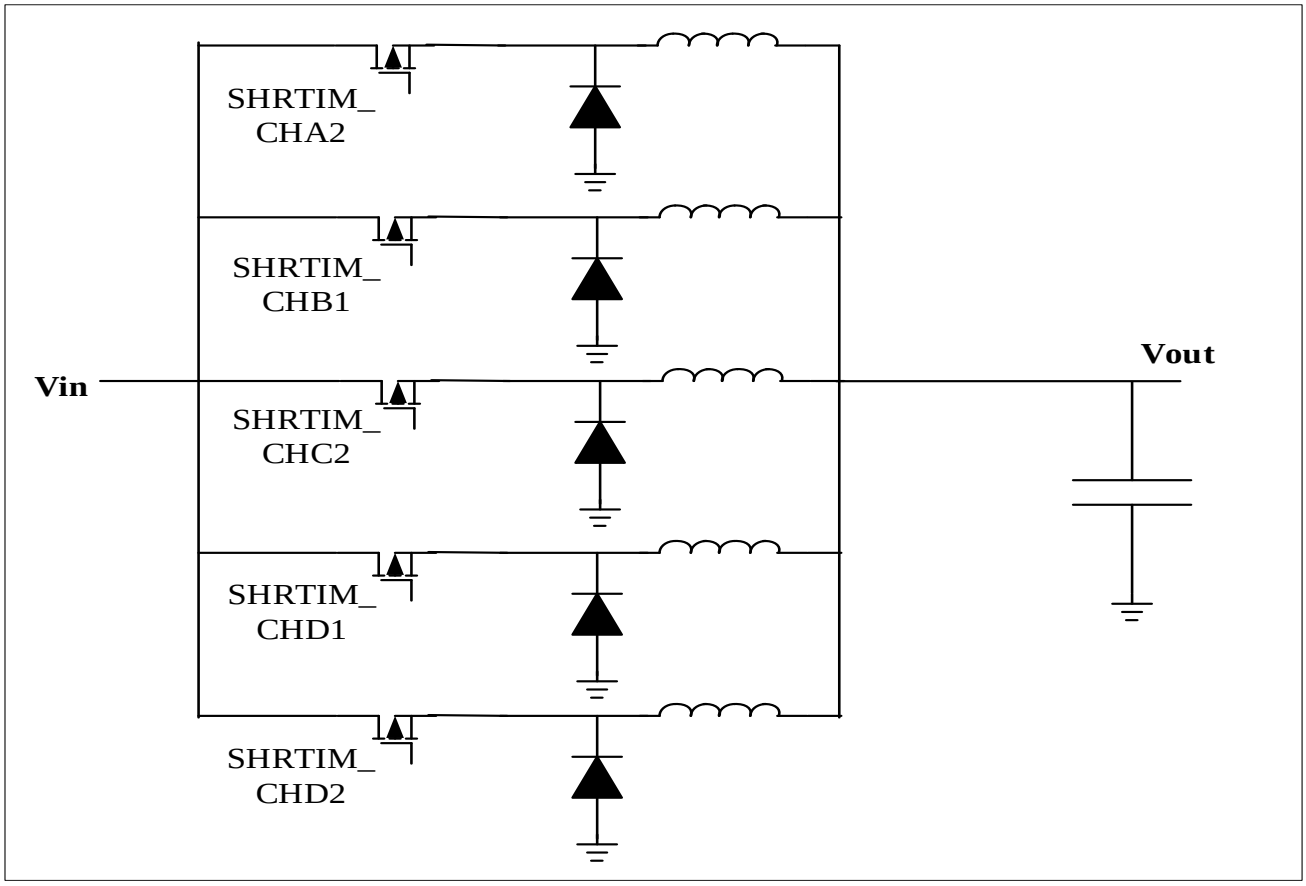
- 主定时器
- 定时器交叉复位
- 多定时器单元同步
- 突发模式控制器

多相技术可应用于多种电源转换拓扑（降压、升压）。 它们的主要好处是：:

- 减少输入输出电容上的电流纹波
- 降低EMI
- 通过动态改变相数（切相）提高轻载效率。

国民技术股份有限公司 Nations Technologies Inc.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路 109 号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
邮箱：info@nationstech.com 邮编：518057

图 2-45 相交错 buck 转换器



主定时器处理相位管理：它通过定期复位从定时器来定义各个降压转换器之间的相位关系。 相对相移是 360° 除以相数，在这个给定示例中为 72°。

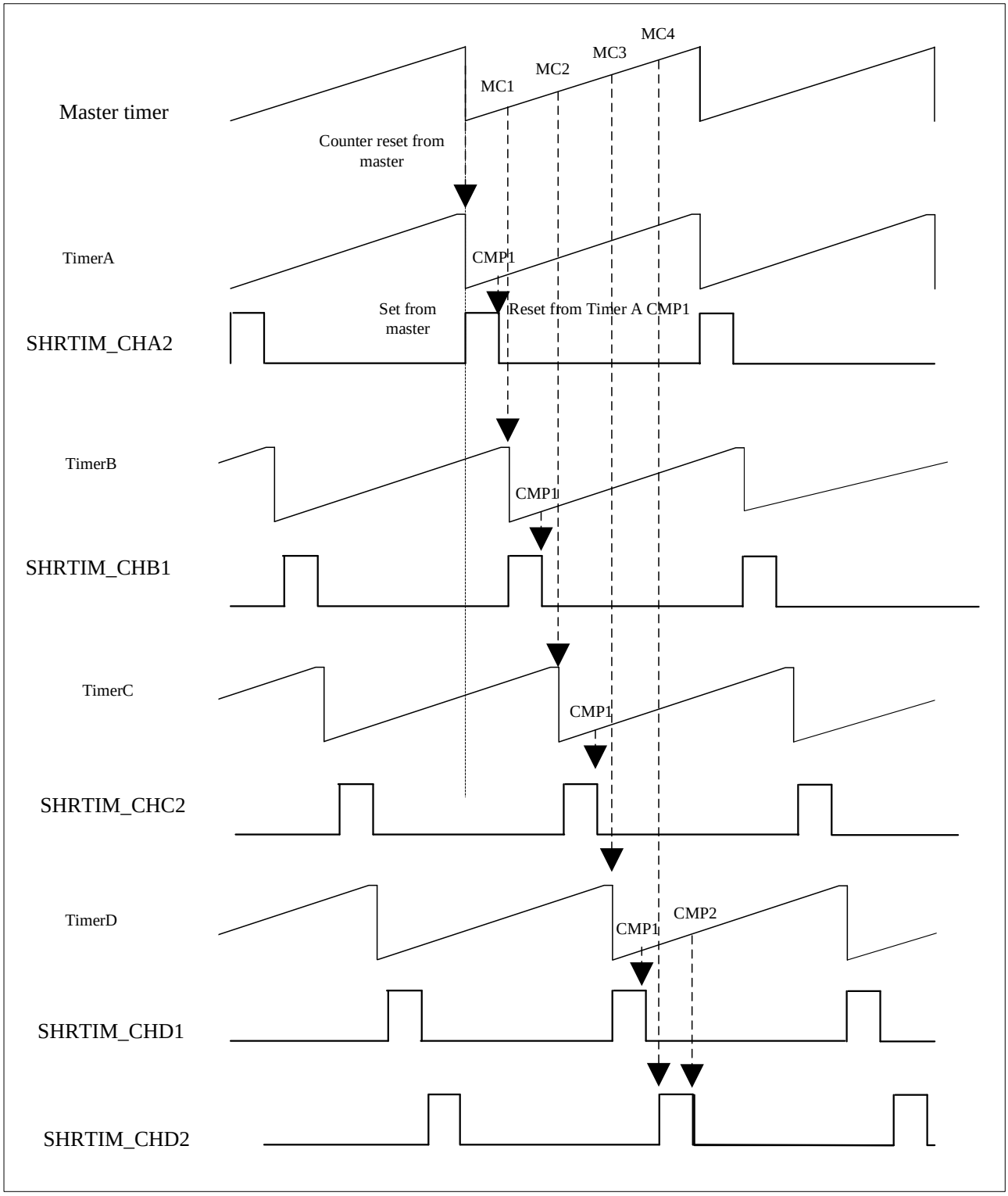
主定时器以连续模式运行，而从定时器处于单次可再触发模式。 从定时器计数器由主定时器事件复位（定时器 A 由主机周期，定时器 B、C 和 D 分别由主机比较 1、2、3）复位。占空比被编程到每个定时器中，与相移无关，相移在操作期间会发生变化。 输出波形定义如下：

- SHRTIM_CHA2：set on master timer period, reset on TACMP1
- SHRTIM_CHB1：set on master timer MCMP1, reset on TBCMP1
- SHRTIM_CHC2：set on master timer MCMP2, reset on TCCMP1
- SHRTIM_CHD1：set on master timer MCPM3, reset on TDCMP1
- SHRTIM_CHD2：set on master timer MCMP4, reset on TDCMP2

波形和主要事件(输出设置/复位和从定时器计数器复位)如图 2-5所示，其中 MCx 代表主定时器 CMPx，CMPx 代表从定时器 CMPx。 主定时器通过相同的事件管理计数器复位和输出设置。 使用来自从定时器的比较事件来编程占空比。 这可以将用于效率和 EMI 的相位管理（减少有源相位的数量、相移变化、扩频频率抖动）与用于输出电压调节的占空比管理分离。

国民技术股份有限公司 Nations Technologies Inc.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路 109 号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
邮箱：info@nationstech.com 邮编：518057

图 2-5 5 相交错 buck 转换器控制波形



主定时器在其重复事件上更新（每 N 个 PWM 周期一次，N 从 1 到 256，以使 CPU 负载与开关频率分离）。 本次更新活动触发从预加载到活动寄存器的传输，以便同时考虑所有修改的值，没有任何故障风险。

国民技术股份有限公司 Nations Technologies Inc.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路 109 号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
邮箱：info@nationstech.com 邮编：518057

该事件还传播到所有从属寄存器，以便为整个转换器同步更新新的操作设定点（相移和占空比）。 这是通过设置 MCTRL 寄存器中的 MREPTUEN 位和 TxCTRL 寄存器中的 MUEN 位来实现的（TIMx 更新在主机更新事件时完成）

转换器在运行期间由单个中断服务程序（主机重复事件）控制，以便在下次更新发生之前让软件有最长时间。

多相转换器可以根据输出负载动态调整相数，以减少损耗并提高效率。 一旦一个相位被禁用，就需要调整其余相位的相移。 这是通过调整四个主定时器比较寄存器来完成的。 当主比较值设置在主定时器周期值之上时，从定时器不会重新触发（也不会设置其输出）并且相应的相位会关闭，如图 2-6 所示。

图 2-6 基于主定时器禁能一个相位

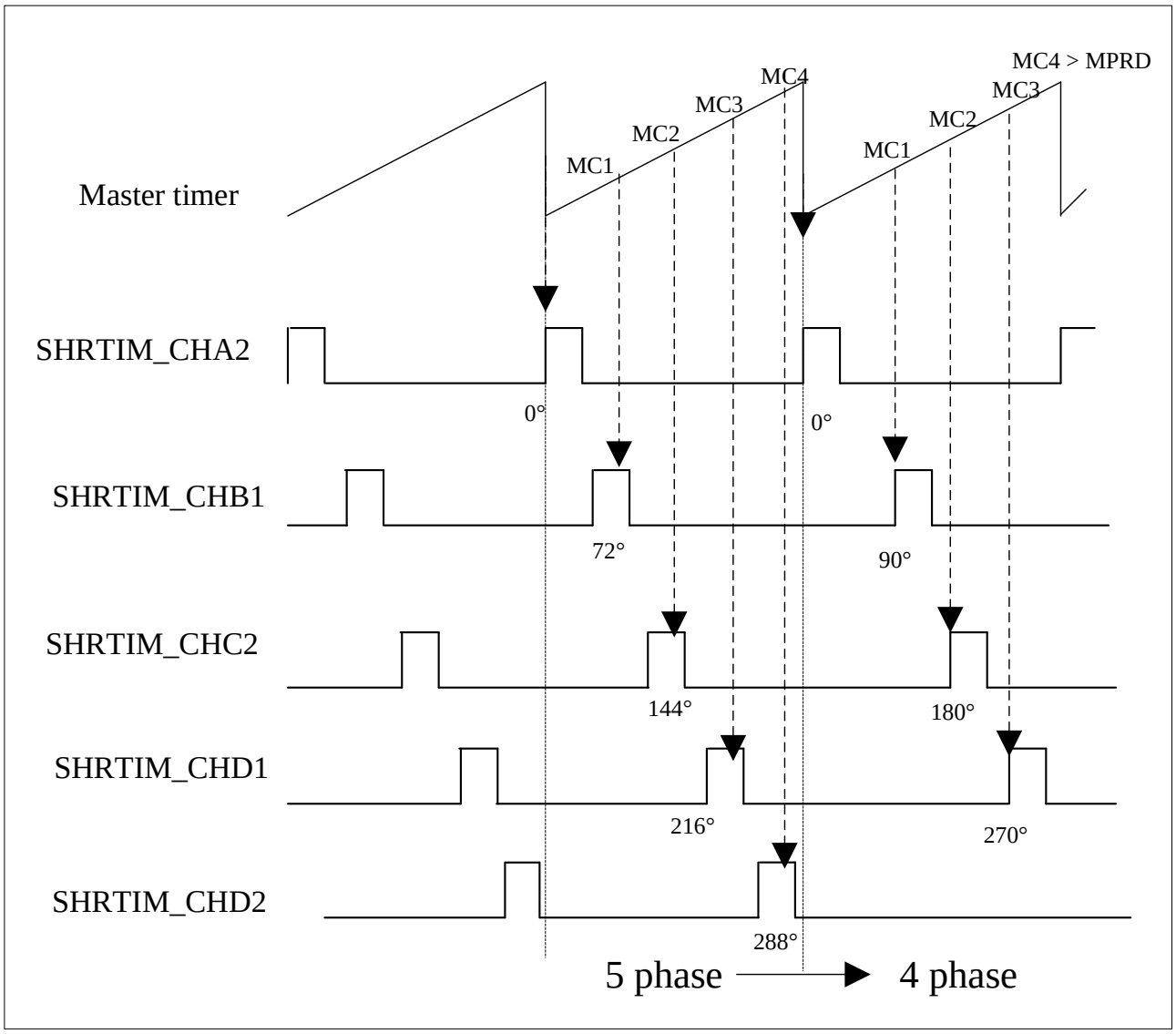
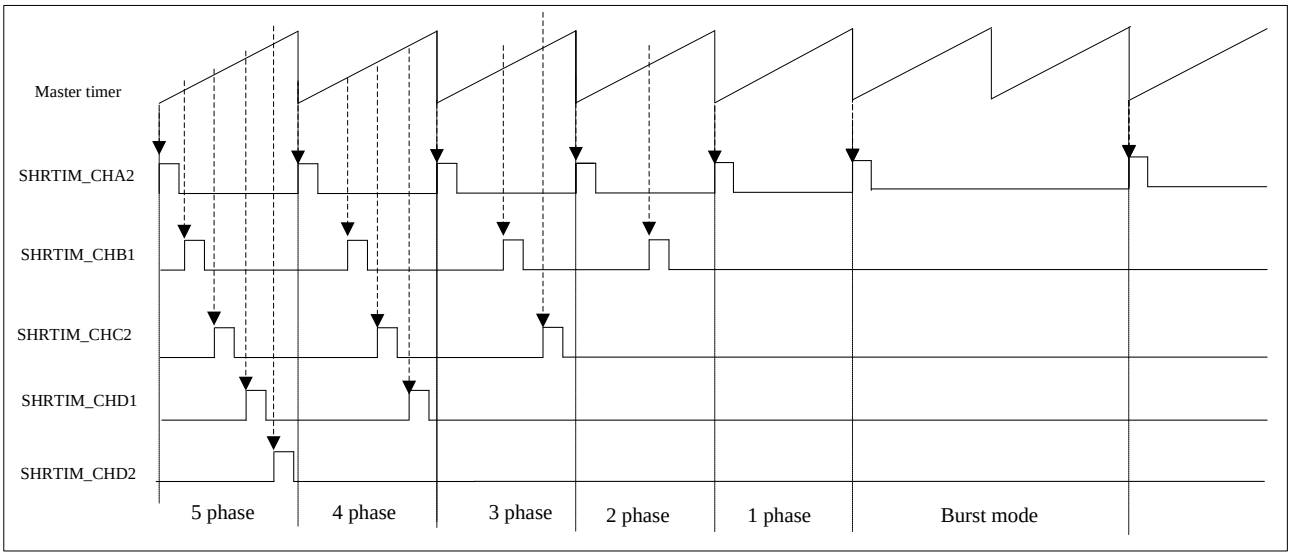


图 2-7表示六种可能的相位排列，从 5 相到 1 相，然后是用于跳相的突发模式

国民技术股份有限公司 Nations Technologies Inc.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路 109 号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
邮箱：info@nationstech.com 邮编：518057

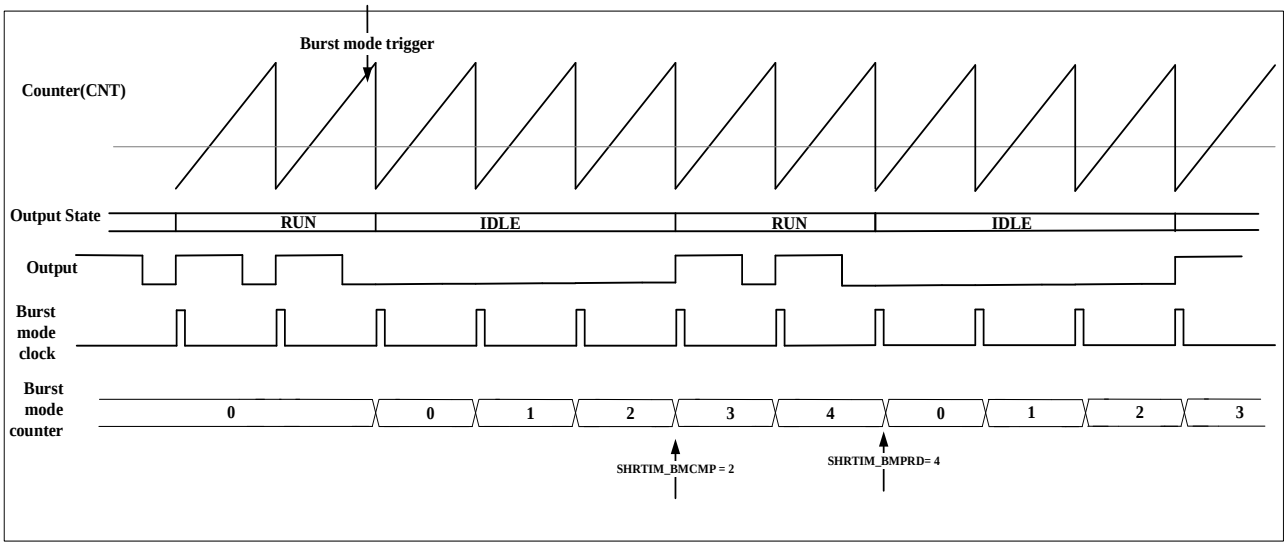
图 2-7 基于相位屏蔽和突发模式的轻载管理



突发模式控制器可以通过定期禁用 PWM 输出来提高轻负载操作期间的降压控制器效率。 这适用于单相或多相转换器。

下图显示了 RUN / IDLE 比率为 2 / 4 的 PWM 波形。在这种情况下，突发模式时钟由主定时器计数器翻转事件提供。 当必须恢复满载操作时，它由软件终止。

图 2-8 轻载 buck 转换器



ADC 触发由备用 TxCMPy 比较事件生成。 在提供的示例中，ADC 配置为在每个相位导通时间的中间完成转换。 由于所有 ADC 触发源都是相移的，因此可以将它们全部组合成一个 ADC 触发以节省 ADC 资源（这里单个 ADC 常规通道足以用于完整的多相转换器监控）。

ADC 在非连续模式下运行：一次扫描定序器一个转换，每个触发器启动一个独特的转换。 转换结果由 DMA 控制器存储在 5 单元 RAM 表中，以循环模式编程。 还可以增加 RAM 表以存储任何深度的转换历史。

采样策略取决于active phases的数量：必须调整 ADC 触发点，因为某些从定时器可能会停止。建议的实现允许生成虚拟转换，以便在相同的 RAM 位置读取相位数据。表 2-1显示了取决于活动相位数量的活动ADC触发。

国民技术股份有限公司 Nations Technologies Inc.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路 109 号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
邮箱：info@nationstech.com 邮编：518057

表 2-1 采样触发和 RAM 表 Data[0..4]的结果

Trigger		5-phase	4-phase	3-phase	2-phase	1-phase
1	Source	TACMP2	TACMP2	TACMP2	TACMP2	TACMP2
	Result: Data[0]	Phase1_value	Phase1_value	Phase1_value	Phase1_value	Phase1_value
2	Source	TBCMP2	TBCMP2	TBCMP2	TBCMP2	TACMP3
	Result: Data[1]	Phase2_value	Phase2_value	Phase2_value	Phase2_value	Dummy
3	Source	TCCMP2	TCCMP2	TCCMP2	TBCMP3	TACMP4
	Result: Data[2]	Phase3_value	Phase3_value	Phase3_value	Dummy	Dummy
4	Source	TDCMP3	TDCMP3	TCCMP3	TBCMP4	TACMP5
	Result: Data[3]	Phase4_value	Phase4_value	Dummy	Dummy	Dummy
5	Source	TDCMP4	TDCMP4	TCCMP4	TACMP3	MCMP4
	Result: Data[4]	Phase5_value	Dummy	Dummy	Dummy	Dummy

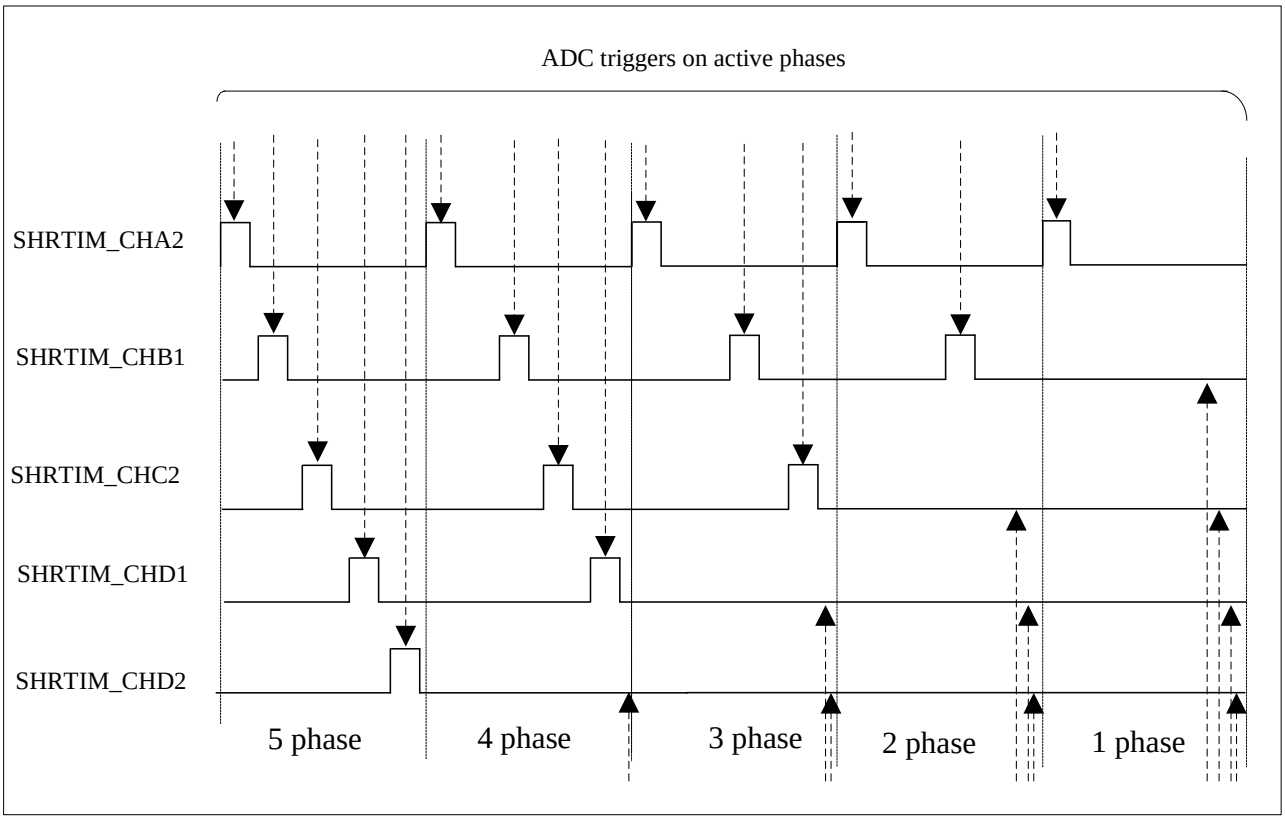
当一个phase被禁用时，仍然会使用剩余的定时器资源生成一个虚拟触发器。 这使得给定的相位读数始终位于同一位置成为可能，并且避免了在转换器操作期间重新编程 ADC 或 DMA 控制器以更改定序器或 DMA 表长度的需要。

让我们考虑 DMA 在循环模式下运行，并不断用转换结果填充 Data[0..4] RAM表。表 2-1显示 Phase3_value 始终存储在数据[2] 位置。 对于 2 相和 1 相 配置，Data[2] 位置填充了一个虚拟转换结果，分别使用 TBCMP3 和 TACMP4 触发器（定时器 B 在 1 相配置中停止，不能再用于触发器）。

虚拟采样点（见图 2-9）被放置在接近多相转换器周期的末尾，背靠背，以便为放置相关采样点提供最大的自由度。

国民技术股份有限公司 Nations Technologies Inc.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路 109 号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
邮箱：info@nationstech.com 邮编：518057

图 2-9 采样点的放置取决于活动相的数量



尽管此示例仅限于五个采样点，但可以使用更多的采样事件来转换其他输入。 第二个 ADC 实例也可用于监控一个（或多个）附加独立转换器的操作。

2.2.1 调试 ADC 操作

本节介绍了调试 ADC 操作和轻松验证采样点位置的技巧。 它基本上包括构建一个带有转换器 PWM 输出的简单 DAC，如图 2-10所示。由于 ADC 样本位于转换器 Ton 时间的中间，因此很容易同时验证：

国民技术股份有限公司 Nations Technologies Inc.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路 109 号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
邮箱：info@nationstech.com 邮编：518057

图 2-10 确保 ADC 采样点被正确放置

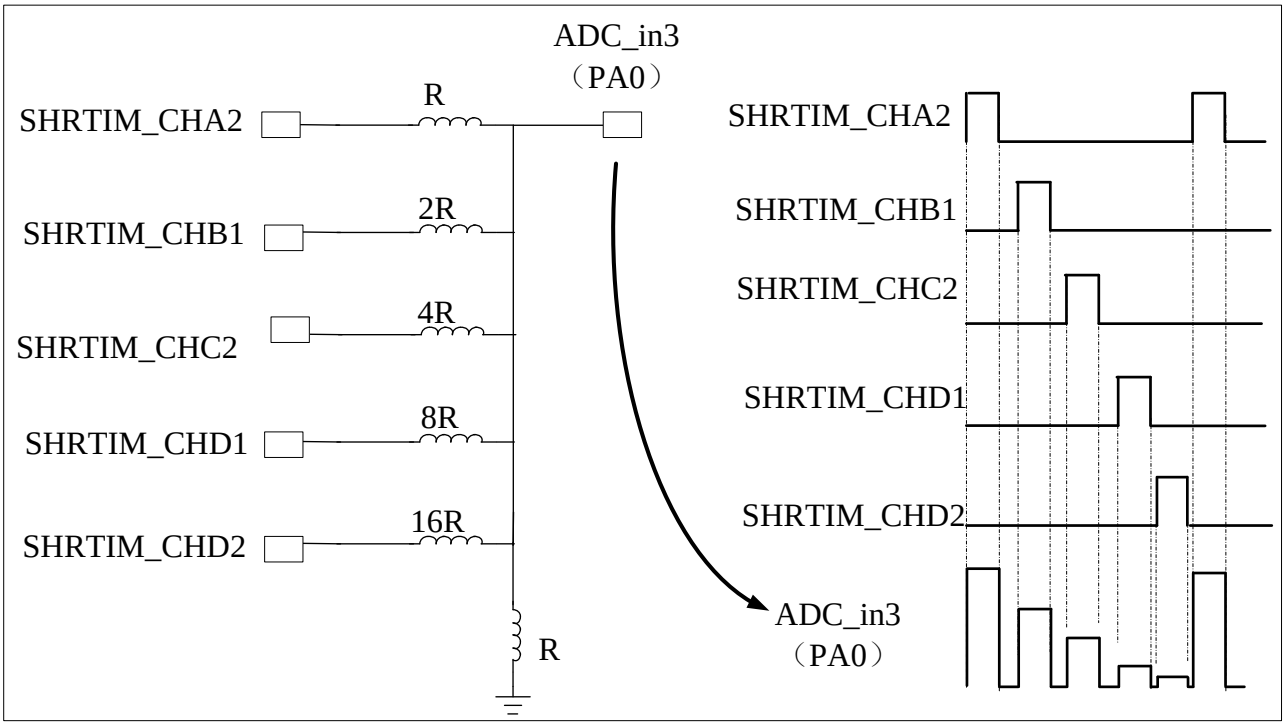


表 2-2给出了不同配置的预期值。 对于突发模式，配置类似于 1-phase。

表 2-2 期望转换结果

Trigger		5-phase	4-phase	3-phase	2-phase	1-phase
1	Result: Data[0]	VREF+ / 2	VREF+ / 2	VREF+ / 2	VREF+ / 2	VREF+ / 2
2	Result: Data[1]	VREF+ / 3	VREF+ / 3	VREF+ / 3	VREF+ / 3	0
2	Result: Data[2]	VREF+ / 5	VREF+ / 5	VREF+ / 5	0	0
3	Result: Data[3]	VREF+ / 9	VREF+ / 9	0	0	0
4	Result: Data[4]	VREF+ / 17	0	0	0	0

2.3 无死区时间插入的逐周期保护

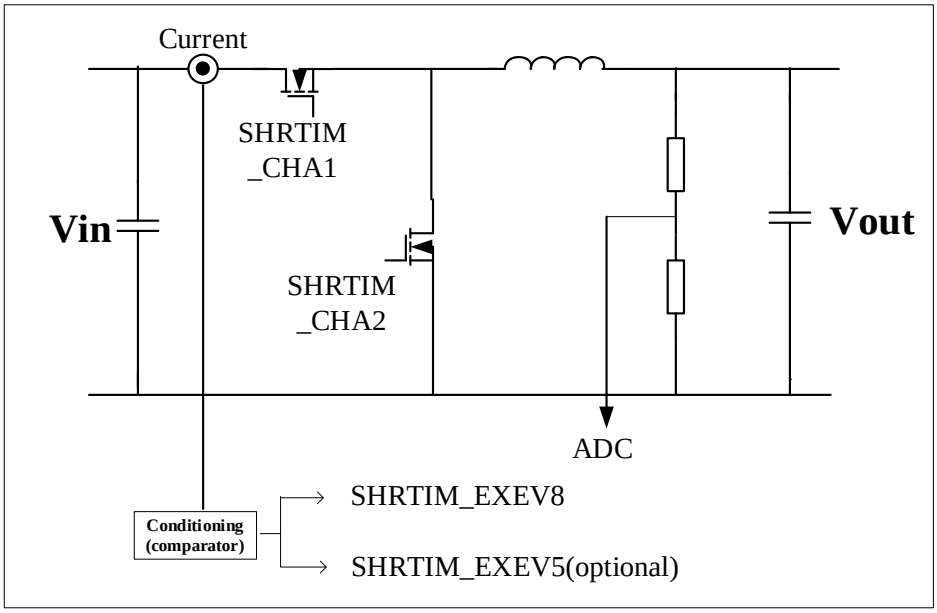
本章关键点：

- 过流期间的死区时间管理
- 通过自动延迟模式实现死区

由 SHRTIM 驱动的过流保护降压转换器如图所示

国民技术股份有限公司 Nations Technologies Inc.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路 109 号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
邮箱：info@nationstech.com 邮编：518057

图 2-11 电流模式 buck 转换器



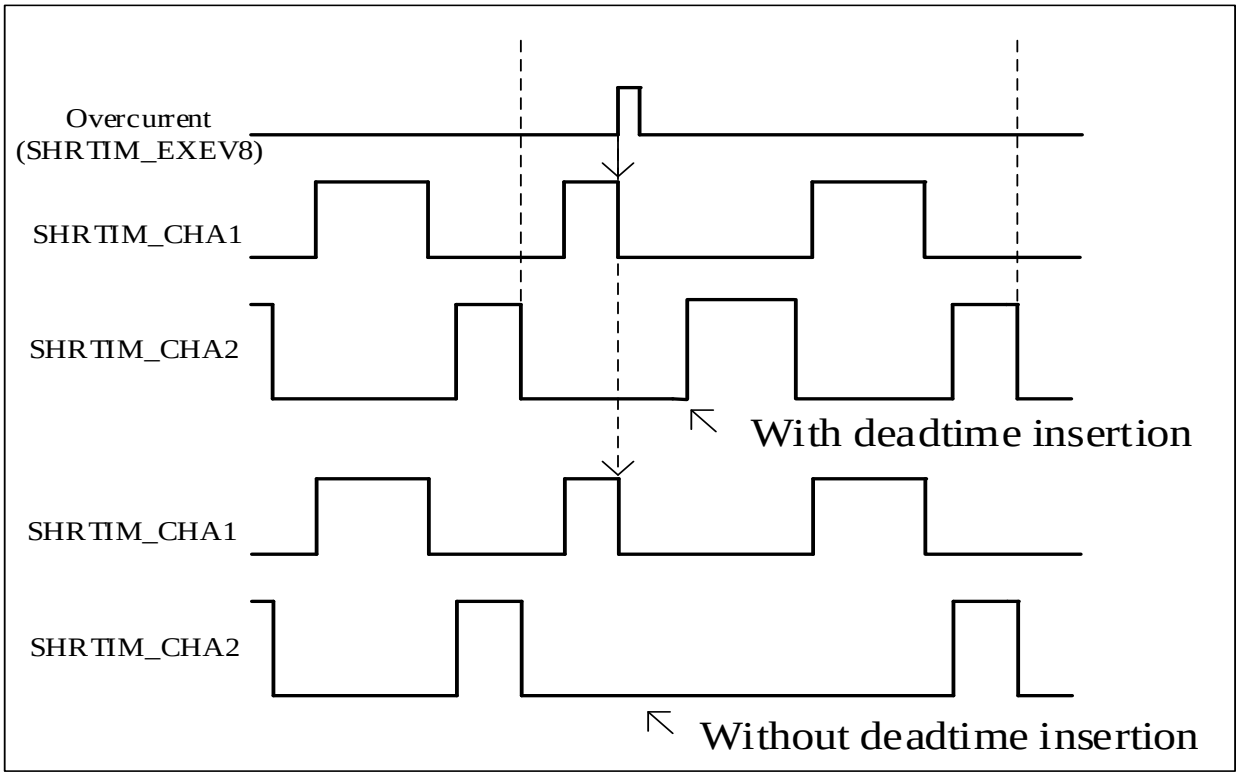
由 SHRTIM_CHA1 驱动的高边 MOSFET 是主功率开关，以固定的 PWM 频率和可变的占空比控制输出电压。 低端 MOSFET 由 SHRTIM_CHA2 控制执行同步整流。两个晶体管由互补 PWM 信号和死区插入控制，以避免交叉传导。

死区时间可通过死区时间生成单元生成。死区插入单元意味着信号始终互补，即使在过流保护复位高压侧 MOSFET 命令的情况下也是如此。

可能有必要采用替代保护方案，其中两个 MOSFET 在开关期间均关闭，并遵循过流保护。图 2-12 显示了两种不同的行为。

图 2-12 过流保护方案

国民技术股份有限公司 Nations Technologies Inc.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路 109 号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
邮箱：info@nationstech.com 邮编：518057

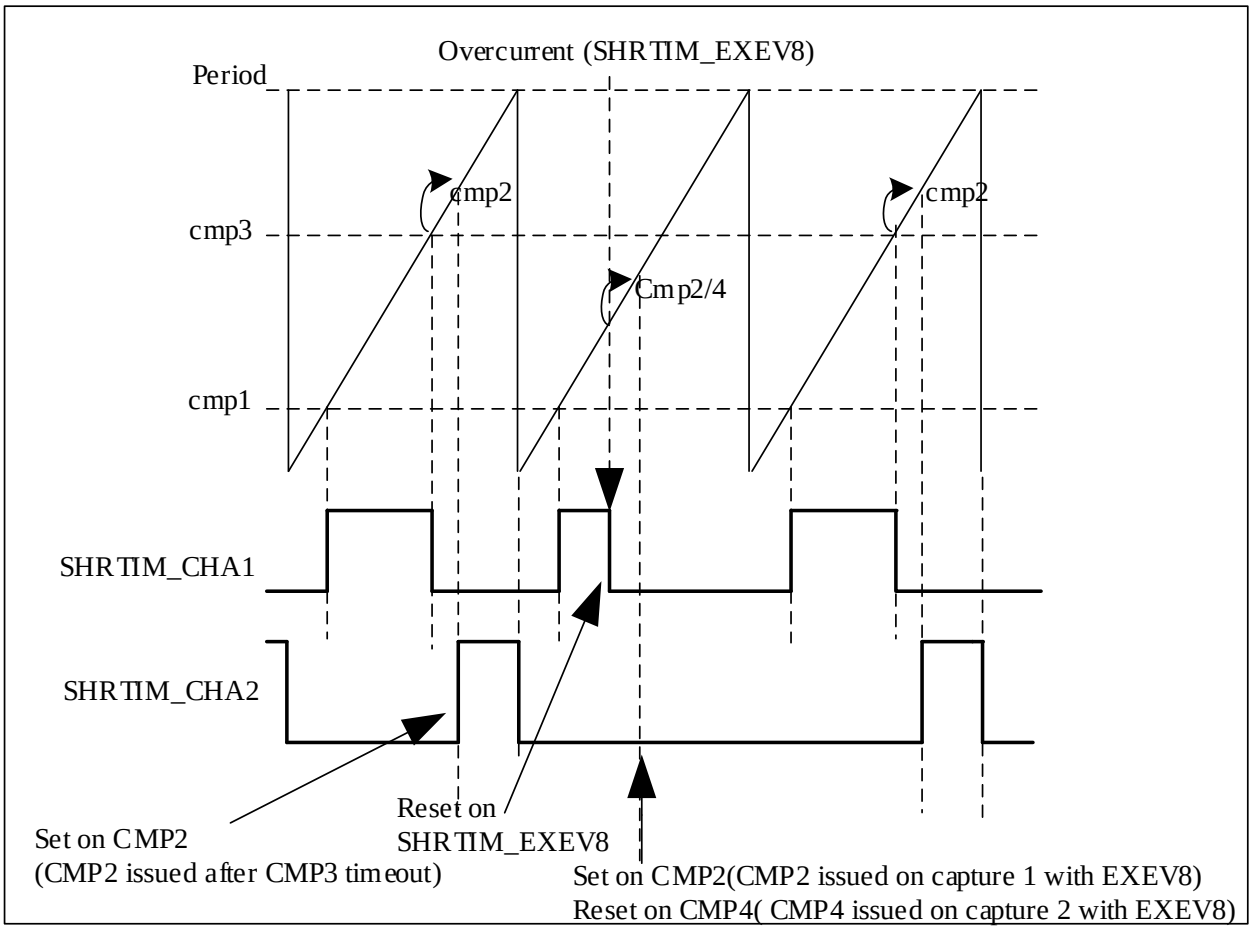


为了在不使用死区时间插入单元的情况下实施保护方案，前沿死区时间由 CMP1 生成（SHRTIM_CHA2 在 Timer A 周期复位，SHRTIM_CHA1 在 Timer A CMP1 上设置）。 使用在 SHRTIM_EXEV8 输入上触发的 CMP2 自动延迟模式生成后沿死区时间，在 CMP3 上超时，如下所示：

- CMP3 寄存器定义正常工作条件下 SHRTIM_CHA1 的占空比（无过流）
- 当没有过流时，在 CMP3 超时时触发自动延迟模式，以便在 CMP2 寄存器值定义的死区时间之后设置 SHRTIM_CHA2 输出
- 在过流的情况下，自动延迟模式由 SHRTIM_EXEV8 输入触发，并在 CMP2 定义的死区时间之后发出对 SHRTIM_CHA2 输出的设置请求。 为了取消这个置位请求，同时发出一个复位请求，在自动延迟模式下使用 CMP4 寄存器。与设置请求相比，复位请求具有更高的优先级，SHRTIM_CHA2 输出保持低电平，如图 2-13所示。

国民技术股份有限公司 Nations Technologies Inc.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路 109 号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
邮箱：info@nationstech.com 邮编：518057

图 2-13 无死区的过流保护



自动延迟 CMP4 必须由与自动延迟 CMP2（此处为 SHRTIM_EXEV8）相同的源触发，具有相同的比较值。 必须禁用超时模式：没有过流条件时不会生成 CMP4 事件。

自动延迟 CMP2 在 SHRTIM_EXEV8 上升沿和下降沿由捕获 1 事件触发，自动延迟 CMP4 由捕获 2 事件在 SHRTIM_EXEV8 上升沿和下降沿触发。

如果过流脉冲发生在 CMP1 开启之前，SHRTIM_EXEV8 将被锁存并延迟到 CMP1 事件，以确保确认过流信息并将两个输出保持为零，即使在提前到达的情况下也是如此。

该方案适用于开关周期内持续时间短的过电流脉冲。这通常是短期超载的情况。

对于需要在多个 PWM 周期（多周期过载）内长时间关闭 PWM 的应用，建议的方案必须通过第二个 SHRTIM_EXEVx 输入完成，这里是 SHRTIM_EXEV5，与 SHRTIM_ EXEV8 并联。

SHRTIM_EXEV5 事件被编程为激活电平，因此只要存在过电流条件，两个输出就保持为低电平（见图 2-14）。图 2-15 显示了只有 SHRTIM_EXEV8 事件激活时的波形。

国民技术股份有限公司 Nations Technologies Inc.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路 109 号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
邮箱：info@nationstech.com 邮编：518057

图 2-14 基于双外部事件的多周期过载保护

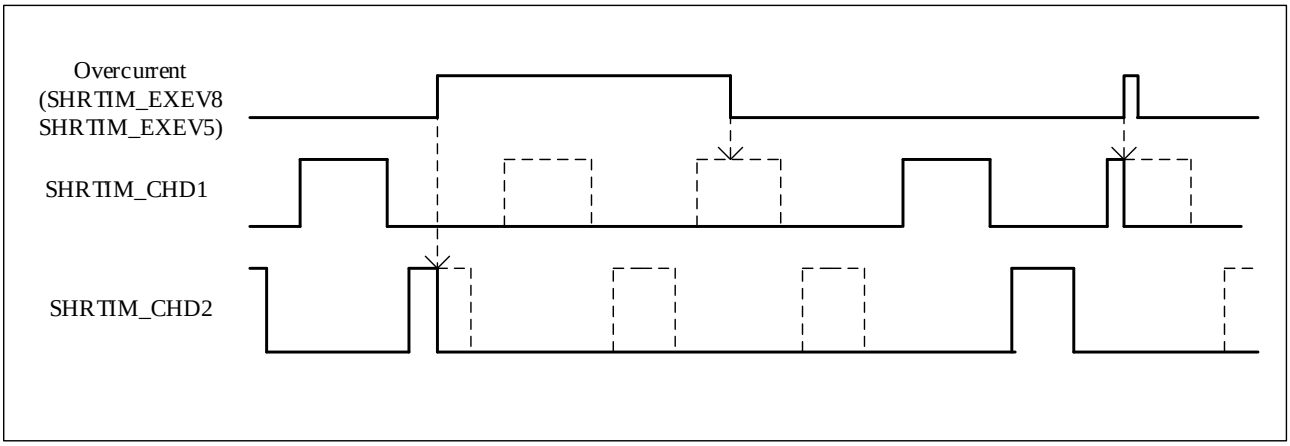
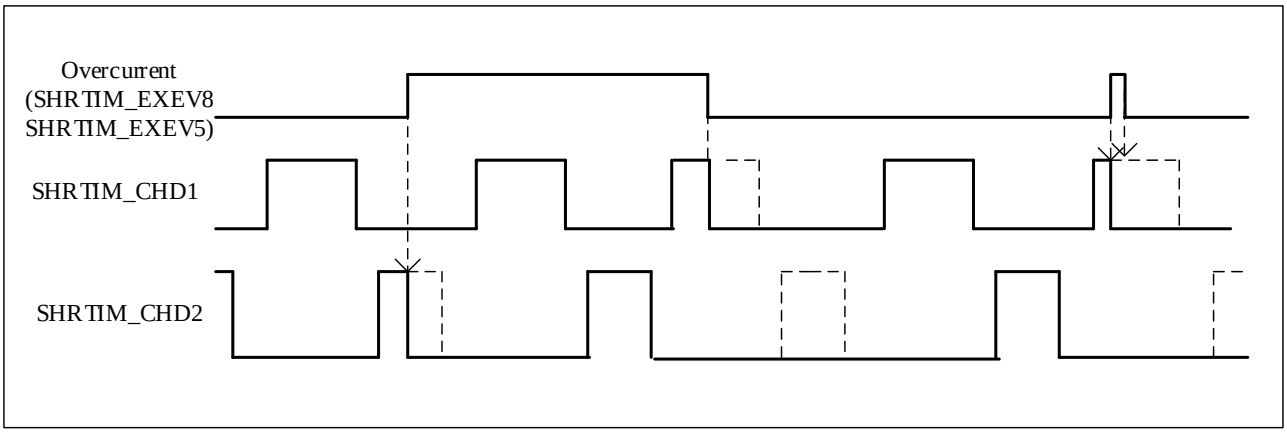


图 2-15 基于单外部事件的多周期过载保护



总之，输出配置（括号内是多周期过载选项）是：

- SHRTIM_CHA1 set: CMP1
- SHRTIM_CHA1 reset: CMP3 or SHRTIM_EXEV8 edge (or SHRTIM_EXEV5 active)
- SHRTIM_CHA2 set: CMP2 (autodelayed)
- SHRTIM_CHA2 reset: Timer A period or CMP4 autodelayed (or SHRTIM_EXEV5 active)

国民技术股份有限公司 Nations Technologies Inc.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路 109 号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
邮箱：info@nationstech.com 邮编：518057

3 版本历史

日期	版本	备注
2024.04.15	V1.0	初版

国民技术股份有限公司 Nations Technologies Inc.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路 109 号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
邮箱：info@nationstech.com 邮编：518057

4 声明

国民技术股份有限公司（下称“国民技术”）对此文档拥有专属产权。依据中华人民共和国的法律、条约以及世界其他法域相适用的管辖，此文档及其中描述的国民技术产品（下称“产品”）为公司所有。

国民技术在此并未授予专利权、著作权、商标权或其他任何知识产权许可。所提到或引用的第三方名称或品牌（如有）仅用作区别之目的。

国民技术保留随时变更、订正、增强、修改和改良此文档的权利，恕不另行通知。请使用人在下单购买前联系国民技术获取此文档的最新版本。

国民技术竭力提供准确可信的资讯，但即便如此，并不推定国民技术对此文档准确性和可靠性承担责任。

使用此文档信息以及生成产品时，使用者应当进行合理的设计、编程并测试其功能性和安全性，国民技术不对任何因使用此文档或本产品而产生的任何直接、间接、意外、特殊、惩罚性或衍生性损害结果承担责任。

国民技术对于产品在系统或设备中的应用效果没有任何故意或保证，如有任何应用在其发生操作不当或故障情况下，有可能致使人员伤亡、人身伤害或严重财产损失，则此类应用被视为“不安全使用”。

不安全使用包括但不限于：外科手术设备、原子能控制仪器、飞机或宇宙飞船仪器、所有类型的安全装置以及其他旨在支持或维持生命的应用。

所有不安全使用的风险应由使用人承担，同时使用人应使国民技术免于因为这类不安全使用而导致被诉、支付费用、发生损害或承担责任时的赔偿。

对于此文档和产品的任何明示、默示之保证，包括但不限于适销性、特定用途适用性和不侵权的保证责任，国民技术可在法律允许范围内进行免责。

未经明确许可，任何人不得以任何理由对此文档的全部或部分进行使用、复制、修改、抄录和传播。

国民技术股份有限公司 Nations Technologies Inc.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路 109 号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
邮箱：info@nationstech.com 邮编：518057