Application Brief

TI 可编程逻辑器件中的 PWM 发生器

应用说明

脉宽调制 (PWM) 是一种提供占空比不同的方波或矩形波信号的方法，通常用于功率转换或控制 LED 亮度等应用。一些 TI 可编程逻辑器件 (TPLD) 能够提供集成式脉宽调制发生器，可以帮助设计人员轻松生成和控制具有可变占空比的方波。本文档概述了 TPLD1202 中包含的 PWM 发生器，介绍了一些可用设置以及如何在 InterConnect Studio (ICS) 中对其进行配置。

PWM 发生器组件

在 ICS 中进行实例化时，PWM 发生器 (*pwm0*) 会与处于有限状态机 (FSM) 模式下的计数器模块 (*cnt0*) 一同显示，同时还会显示内部振荡器 (*osc0*)，如图 1 中所示。

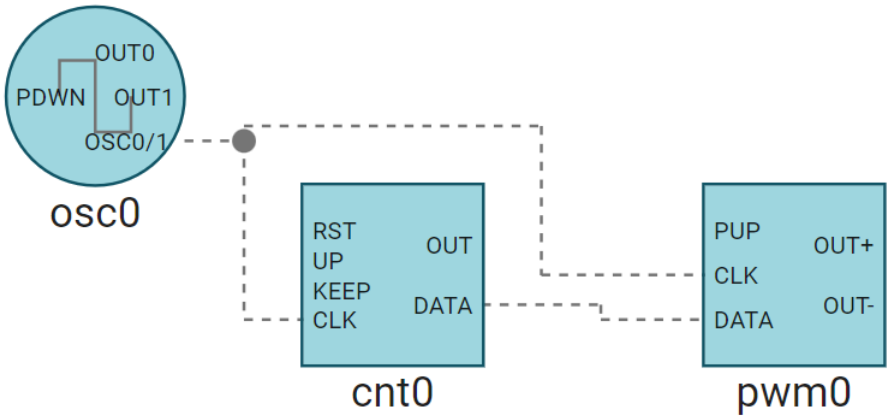

图 1. ICS 中的 PWM 发生器

内部振荡器会自动设置为同时用作计数器和 PWM 发生器的时钟。内部振荡器具有允许更改输出频率的设置。您还可以通过更改计数器或 PWM 发生器上的时钟源设置来实现分频；也可以根据需要使用外部时钟源设置时钟源。请注意，为避免输出失真，计数器和 PWM 发生器使用相同的时钟源并以相同的频率运行。要详细了解振荡器模块的配置，请参阅《*利用 TPLD 中的时序元件*》。

计数器 FSM 功能

默认情况下，计数器 FSM 的工作方式为：从每个接收到的时钟脉冲 *Control Data* 值中向下计数一个值，直到内部计数值为零，此时 FSM 为一个时钟周期提供一个输出脉冲，然后复位。图 2 显示了 ICS 计数器仿真示例，其中 *Control Data* 设为 3，如图 3 中的计数器设置所示；请注意，计数器（黄色）每三个时钟周期（蓝色）经历一次高脉冲。

English Document: SCLA082
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

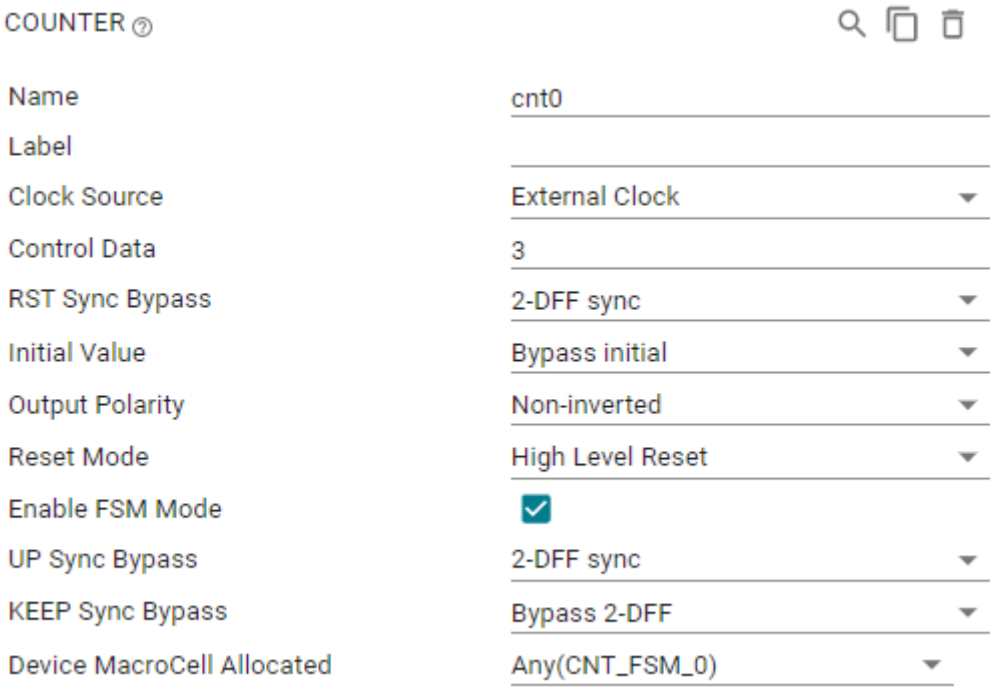

图 2. 计数器模块设置

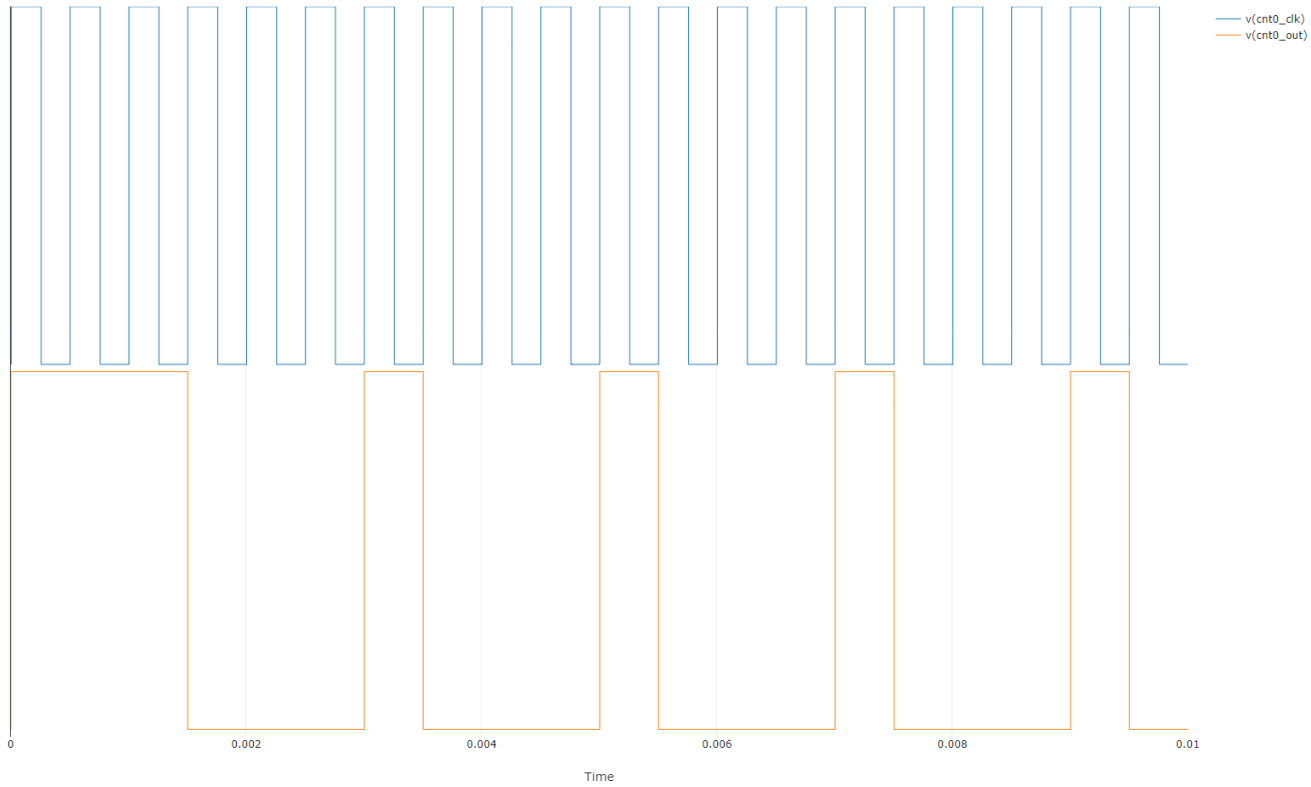

图 3. 控制数据设为 3 时的计数器仿真

English Document: SCLA082
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

图 1 中显示的 *DATA* 连接是向 PWM 发生器提供当前内部计数值的计数器。该值决定 PWM 发生器输出的占空比。可以通过以下公式计算 PWM 信号的占空比：占空比 (%) = (*DATA* / 256) × 100，最小占空比为 0% (0/256)，最大占空比为 99.61% (255/256)。计数值的每次变化都会使占空比增加或减小 0.39%。

在为给定计数器选中 *Enable FSM Mode* 设置时（参见图 2），会如图 1 中所示，显示计数器输入信号 *UP* 和 *KEEP*（向 PWM 提供 *DATA* 的计数器在 FSM 模式下处于锁定状态）。这些信号可用于控制计数器提供的内部计数值/*DATA*，从而能够动态地更改 PWM 发生器的占空比。逻辑高电平信号 *UP* 会使计数器在发出脉冲之前计数到 255，而不是向下计数到 0。无论传入的时钟脉冲如何，逻辑高电平信号 *KEEP* 均保持当前的内部计数值。逻辑高电平 *RST* 输入信号会将当前的内部计数值复位为由 *Control Data* 设置设定的初始值。

图 4 显示了采用各种 FSM 信号的计数器 ICS 仿真。从上到下，蓝色代表时钟、黄色代表计数器输出、绿色代表 *KEEP* 输入、红色代表 *RST* 输入、紫色代表 *UP* 输入。

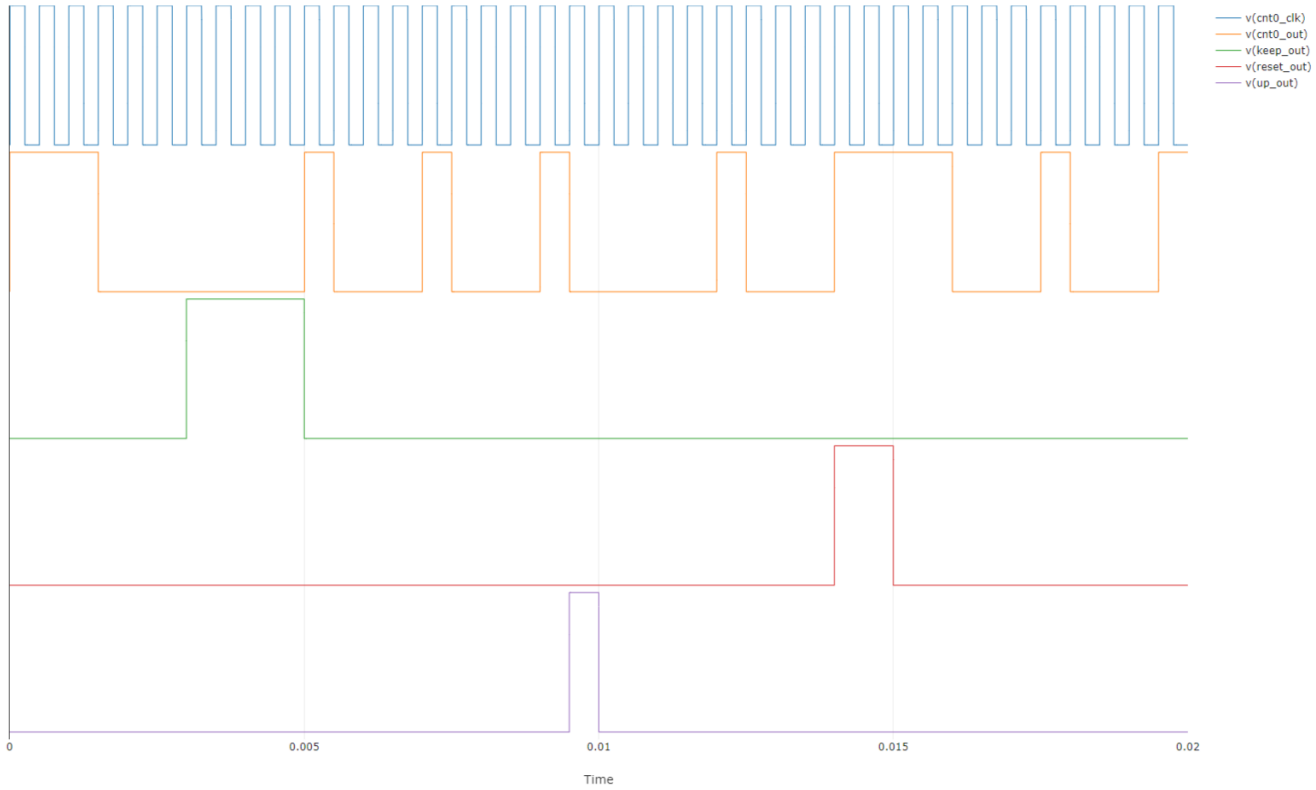

图 4. 控制数据设为 3 时的计数器 FSM 仿真

PWM 发生器配置

除了 *CLK* 和 *DATA* 连接外，PWM 发生器还具有 *PUP*（上电）输入，该输入必须为逻辑高电平，发生器才能提供输出信号，并且两个输出 *OUT+* 和 *OUT-* 默认情况下彼此同相，如图 1 中所示。PWM 配置选项如图 5 中所示。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

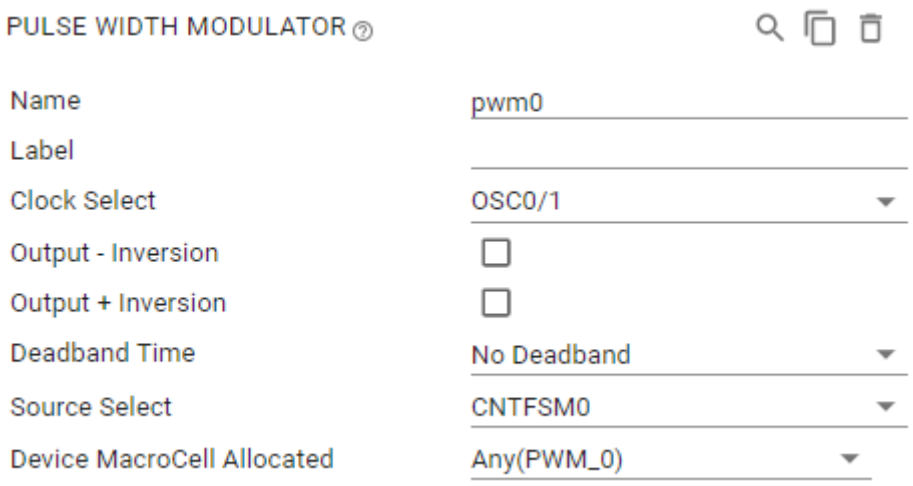

图 5. PWM 配置选项

通过选中适当的 *Output Inversion* 框，可以对 *OUT+* 和 *OUT-* 进行反转。可以针对 *OUT-* 选择 0、1、2 或 5 个时钟的死区；此设置可降低在 H 桥等电路上使用 PWM 时击穿电流的可能性。图 6 中显示了 PWM 发生器的仿真波形，其 *DATA* 设置为 128（占空比为 50%），*OUT-* 输出已反转并且死区为 5 个时钟。*OUT-* 为蓝色，*OUT+* 为黄色。一个完整的输出周期需要 255 个时钟周期，并由 PWM 输入时钟源确定。

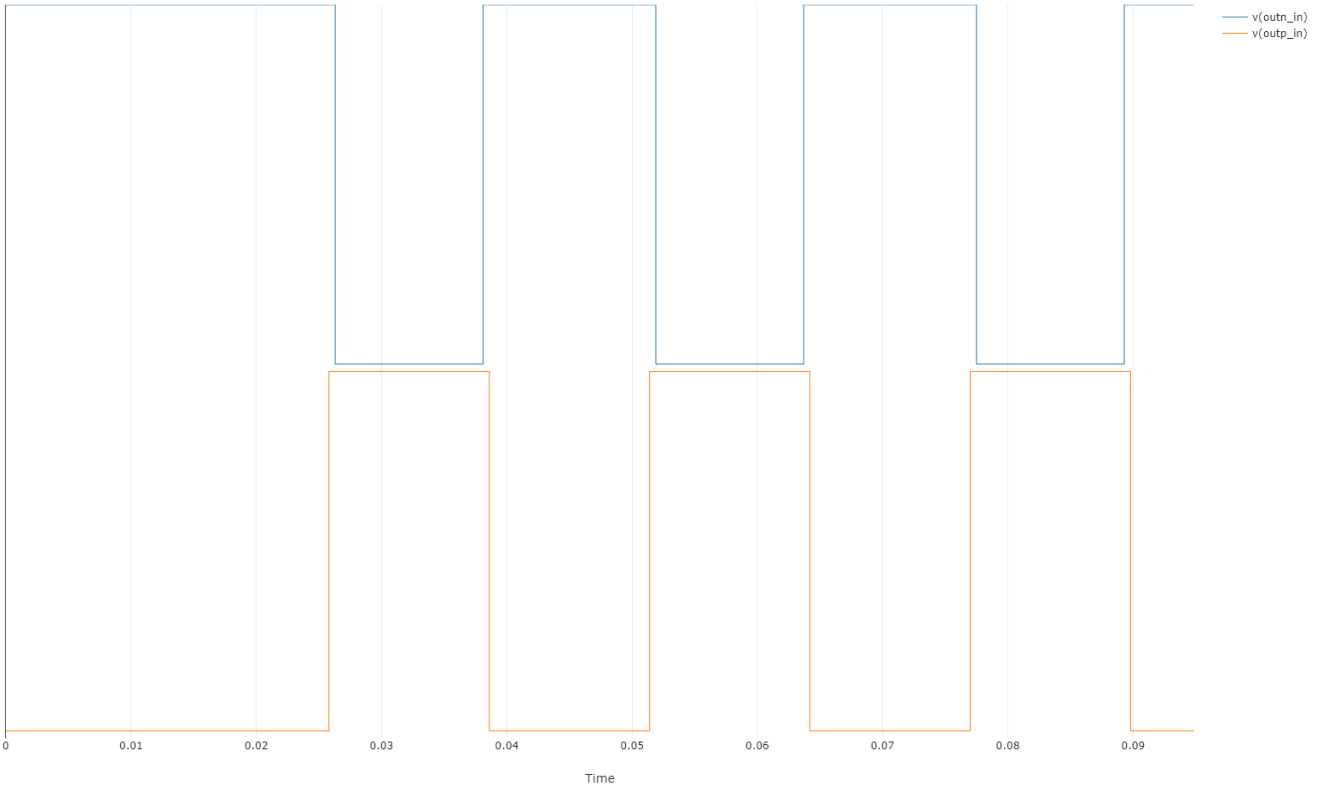

图 6. PWM 仿真

示例电路

在过压和欠压检测及控制应用示例中，图 7 中的电路配置为动态改变 PWM 发生器的占空比。PWM 默认设置为以 50% 占空比运行（*cnt0* 的控制数据设为 128），*KEEP* 设置为逻辑高电平。多通道模拟比较器 (*mcacmp0*) 用于

English Document: SCLA082
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

检测低于 800mV 和高于 1.216V 的电压。当检测到高于 1.216V 的电压时，*KEEP* 设置为低电平，并且允许计数器向下计数以减小占空比，直到电压下降到低于 1.216V 阈值。当检测到低于 800mV 的电压时，*KEEP* 设置为低电平，*UP* 设置为高电平，以便计数器增加占空比。此电路的仿真如图 8 中所示。PWM 输出以蓝色表示，输入电压以黄色表示。

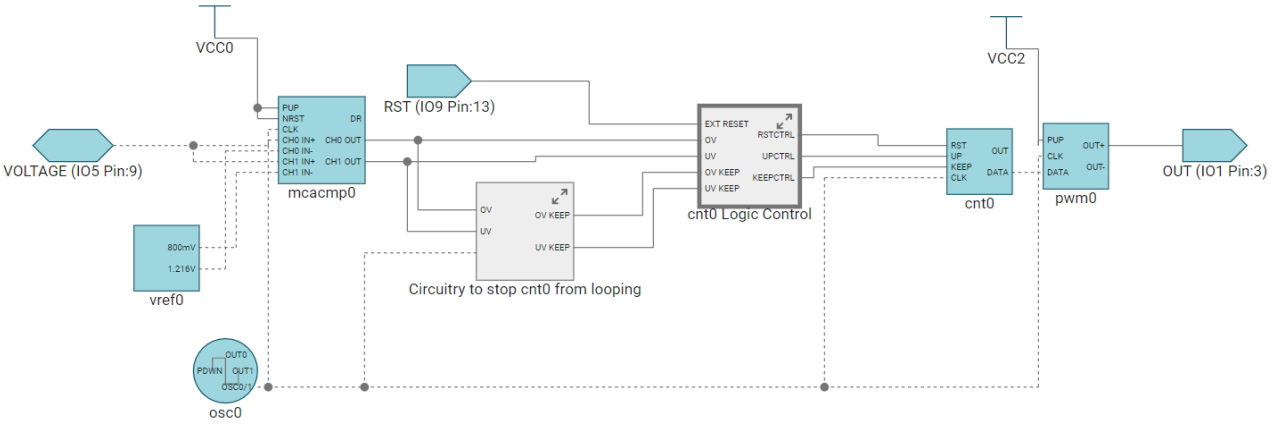

图 7. 过压和欠压 PWM 电路

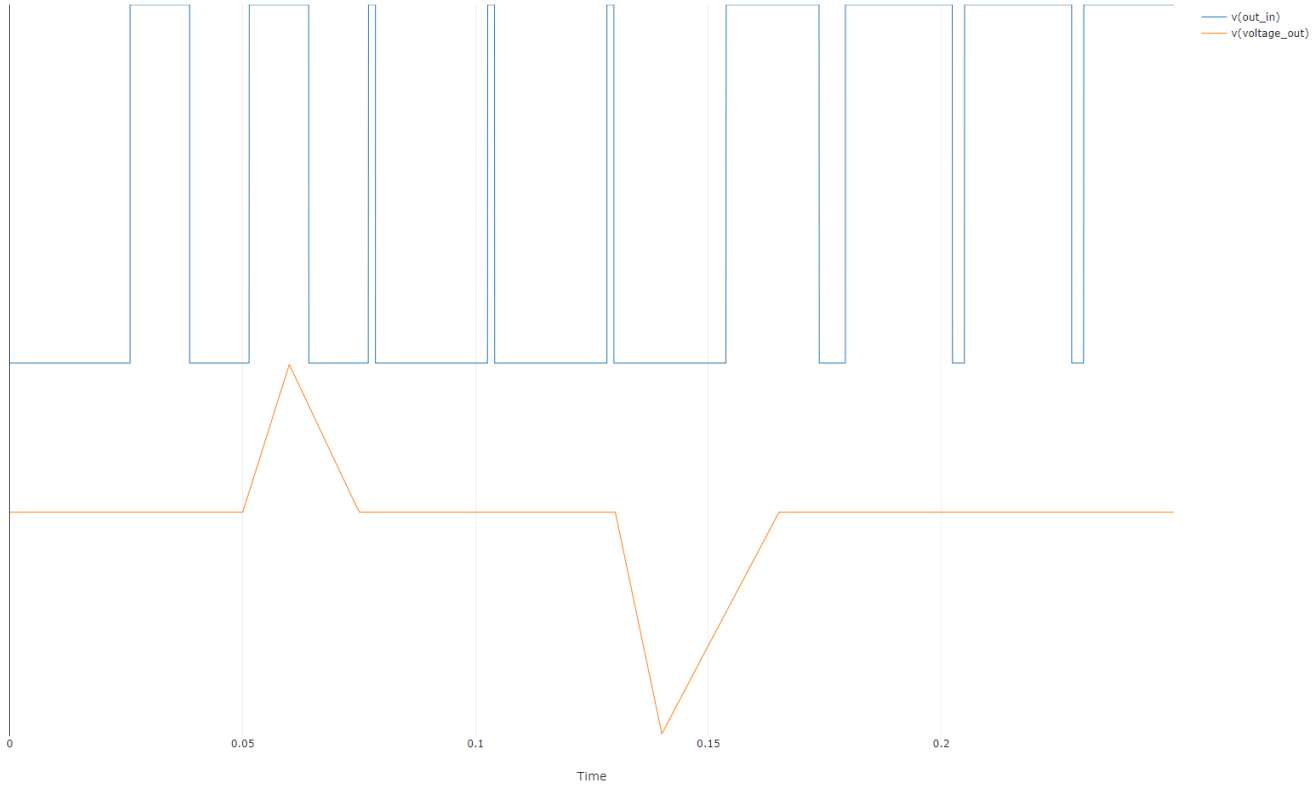

图 8. PWM 电路仿真

如前面的计数器 FSM 功能部分所述，计数器模块会向下计数到 0 或向上计数到 255，然后重置计数值。因此，需要额外的电路将 *cnt0* 计数暂停在值 0 或 255 附近，以保持最小和最大占空比并防止计数器循环。该电路如图 9 中所示；*cntOV* 的控制数据配置为 125（比 *cnt0* 低 3），而 *cntUV* 的控制数据配置为 131（比 *cnt0* 高 3）。进入过压状态后，*cnt0* 和 *cntOV* 将复位并开始向下计数；由于控制数据较低，*cntOV* 在 *cnt0* 开始计数之前计数到 0，

English Document: SCLA082
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

并且相应的输出脉冲由 *dff0* 锁存，用于设置 *KEEP* 高电平并保持 *cnt0* 的当前计数值。处于欠压状态时，*cntUV* 以相同的方式运行，向上而不是向下计数。

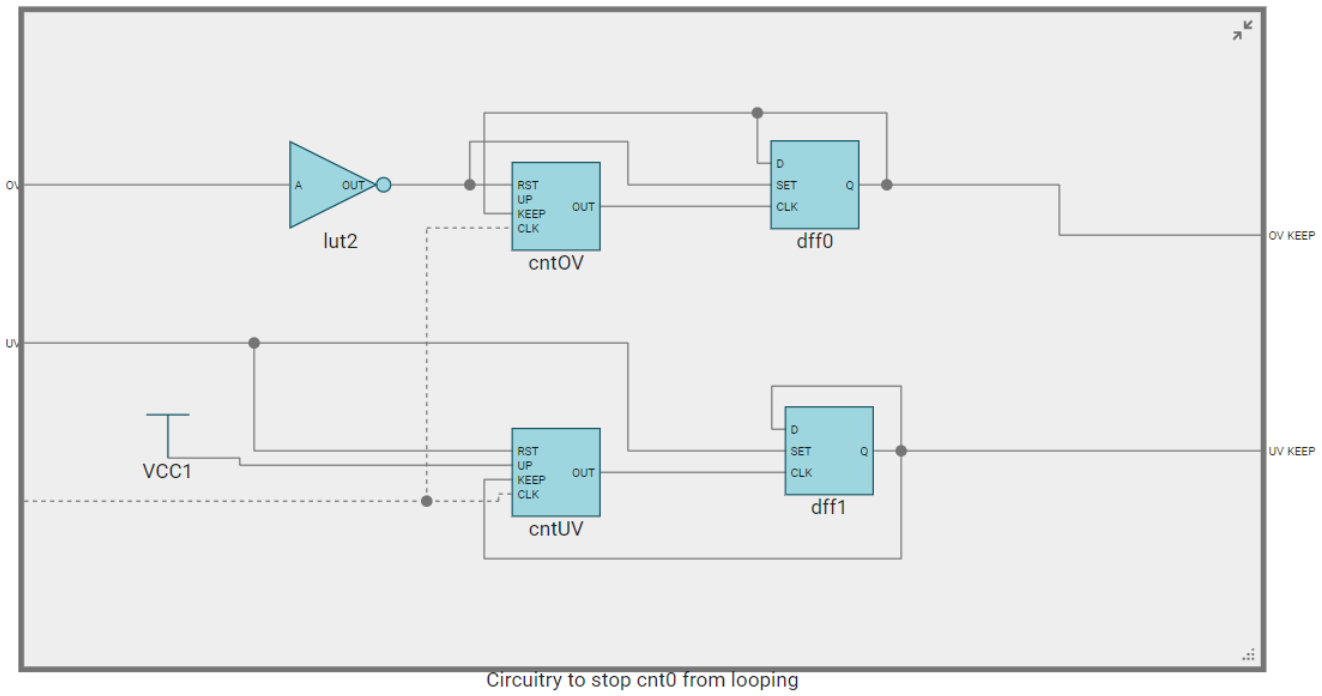

图 9. PWM 防环路电路

为了确保 *cntOV* 和 *cntUV* 在 *cnt0* 开始计数之前完成计数，*cnt0* 在转换为过压或欠压状态时还必须复位。这意味着在转换到任一状态时占空比将重置为 50%。在 *cnt0* 中控制复位和 FSM 信号的逻辑如图 10 中所示。

English Document: SCLA082
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

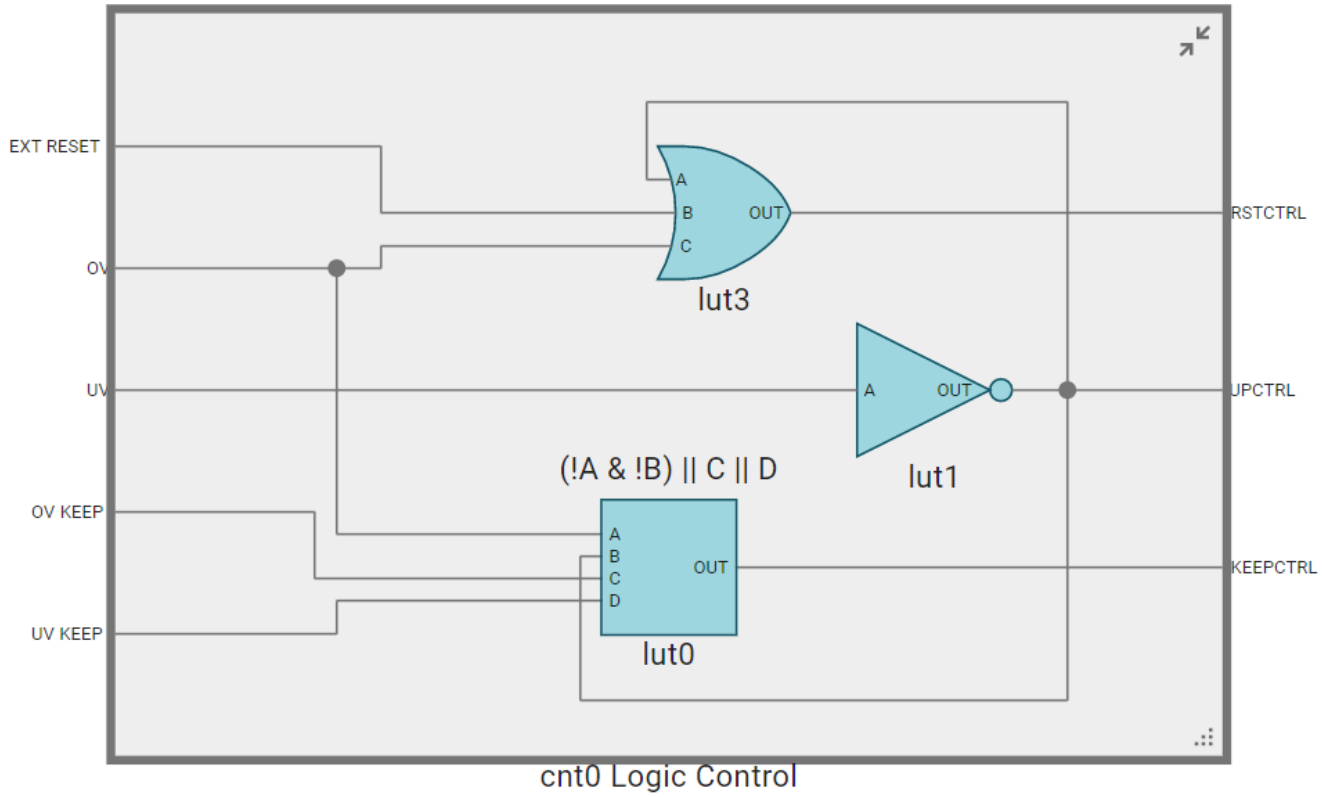

图 10. PWM 计数器 FSM 控制电路

其他注意事项

图 8 显示 PWM 输出快速达到最大和最小占空比值。通过将计数器时钟设置为比 PWM 时钟更慢，可以实现更缓慢的占空比变化，尽管这可能会导致由于时钟抖动和偏斜而偶尔在 PWM 输出中出现短时脉冲波干扰。

也可以使用 I2C 或 SPI 接收器来控制 PWM 占空比，并将所需的控制数据写入相应计数器 FSM 的数据寄存器中。

结论

通过使用 PWM 模块，TPLD 可生成占空比不同的方波。通过结合多种不同的逻辑功能和模拟传感器，TPLD 可提供能够实现实时 PWM 生成和控制的集成设计。

详细了解 TI 的可编程逻辑器件产品系列

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

重要通知和免责声明

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出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 产品的相关应用。 严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。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
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司