

Subsystem Design

PWM DAC



1 说明

PWM DAC 子系统示例说明如何使用 MSPM0 计时器，并演示通过一个简单的 RC 滤波器来创建 PWM DAC。示例软件创建一个 PWM 频率为 31250Hz 的 10 位 DAC。PWM 信号的占空比持续更新，以在滤波器输出端创建正弦波形。虽然 MSPM0Gx50x 器件包含一个 12 位 DAC，内部比较器包含可通过 OPA 进行缓冲的 8 位基准 DAC，但 PWM DAC 允许在缺少这些外设的器件上生成模拟输出电压，或在需要时为额外的 DAC 输出生成模拟输出电压。**图 1-1** 显示了单个 PWM DAC 的方框图。

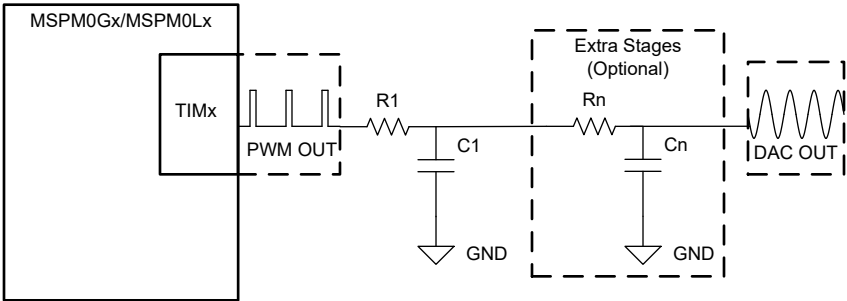


图 1-1. 子系统功能方框图

2 所需外设

该应用需要 PWM 外设和具有影子捕获比较寄存器的 TIMGx 实例。

表 2-1. 所需外设

子块功能	外设使用	注释
PWM	TIMGx	示例使用 TIMG4 影子寄存器来避免信号干扰

3 设计步骤

1. 配置 PWM 以使用影子寄存器和中断。
2. 配置 PWM 频率以获得所需的 DAC 分辨率。
3. 确定调整占空比所需的样本数。该子系统示例使用存储在一个数组中的 128 个样本。
4. 循环遍历样本数组。此示例在相关 ISR 期间递增数组索引，并加载新的比较值以更改 PWM 的占空比。
5. 为 PWM 输出设计一个低通滤波器来产生模拟电压。该示例使用单极 RC 滤波器。

4 设计注意事项

1. **PWM 频率**：PWM 频率与 DAC 分辨率的关系如下：

$$2^N = \frac{f_{\text{CLOCK}}}{f_{\text{PWM}}} \quad (1)$$

其中

- f_{CLOCK} 是计时器的时钟频率
- f_{PWM} 是输出 PWM 频率
- N 是 PWM DAC 的占空比分辨率（以位为单位）。

该子系统示例使用 32MHz 时钟频率或 16MHz 时钟频率来创建 10 位 DAC。表 4-1 详细说明了一些基于时钟和 PWM 频率的示例 PWM DAC 分辨率。

2. **PWM 配置**：该应用为边沿对齐 PWM 配置计时器，并将捕获比较更新值设置为在归零事件后生效。
3. **占空比更新同步**：影子寄存器用于防止计数器比较值更新丢失。这是通过启用相应计时器实例的影子加载功能在 MSPM0 中完成的。这样可以在计时器运行时更新占空比，而不用担心占空比输出中出现干扰。
4. **PWM 中断配置**：此处计时器配置为向下计数模式，因此中断配置为在出现捕获或比较递减事件时发生。如果需要在下一个周期更新占空比，则使用捕获比较递减或递增中断有助于确保在下一个加载事件或归零事件之前更新捕获的值。也可以使用任何其他系统中断，需要通过启用影子加载功能来同步该中断。
5. **样本数组**：当输出大于样本数的信号或波形时，会使输出分辨率更高。需要对样本数值进行格式化，以便与 PWM DAC 的分辨率保持一致。
6. **滤波器设计**：基本的 RC 滤波器通常足以对 PWM 输出进行滤波。滤波器截止频率需要至少比 PWM 频率低一个数量级。

如果需要对 PWM 边沿进行更好的滤波，则可以采用更高阶或更复杂的滤波器。

表 4-1. PWM DAC 分辨率

f_{CLOCK}	f_{PWM}	N
32MHz	125kHz	8
32MHz	31.3kHz	10
32MHz	7.8kHz	12
16MHz	62.5kHz	8
16MHz	15.6kHz	10
16MHz	3.9kHz	12

5 软件流程图

图 5-1 显示了该子系统示例的软件流程图，并显示了该示例中用于创建 PWM DAC 的 ISR 的软件流程。

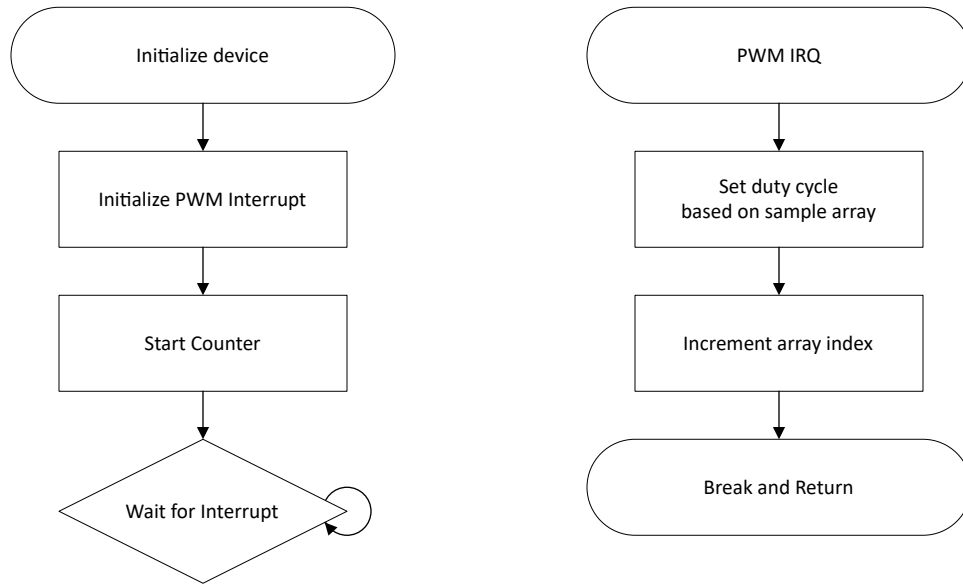


图 5-1. 应用软件流程图

6 应用代码

该应用利用 [TI 系统配置工具 \(SysConfig\)](#) 图形界面来生成器件外设的配置代码。使用图形界面配置器件外设可简化应用原型设计过程。

该示例应用程序代码使用包含 128 个样本的数组来连续更改单个 PWM 输出的占空比。这会在滤波之后产生正弦波。可以通过计时器中断和影子寄存器来更改占空比。中断在发生计数器比较递减事件时生成。在该中断期间，会设置数组索引中的下一个计数器比较值，为在计时器达到零后的下一个 TIMCLK 周期加载该值做好准备。这有助于防止应用错过任何 PWM 占空比变化，否则可能导致最终输出中出现干扰。

```

void PWM_0_INST_IRQHandler(void){
    switch (DL_TimerG_getPendingInterrupt(PWM_0_INST)){
        case DL_TIMERG_IIDX_CC0_DN: /* Interrupt on CC0 Down Event */
            /*Set new Duty Cycle based on sine array sample value */
            DL_TimerG_setCaptureCompareValue(PWM_0_INST, gSine128[gSineCounter%128],
                DL_TIMER_CC0_INDEX);

            /* Increment gSineCounter value */
            gSineCounter++;

            break;
        default:
            break;
    }
}
  
```

7 结果

图 7-1 显示了使用 32MHz 时钟频率时 PWM 数字输出与滤波器输出的比较。上半部分显示了最终正弦波周期一半的放大图，以清楚地显示 PWM 信号中占空比的变化。下半部分显示了一个更缩小的视图，以清楚地显示最终的正弦波输出。

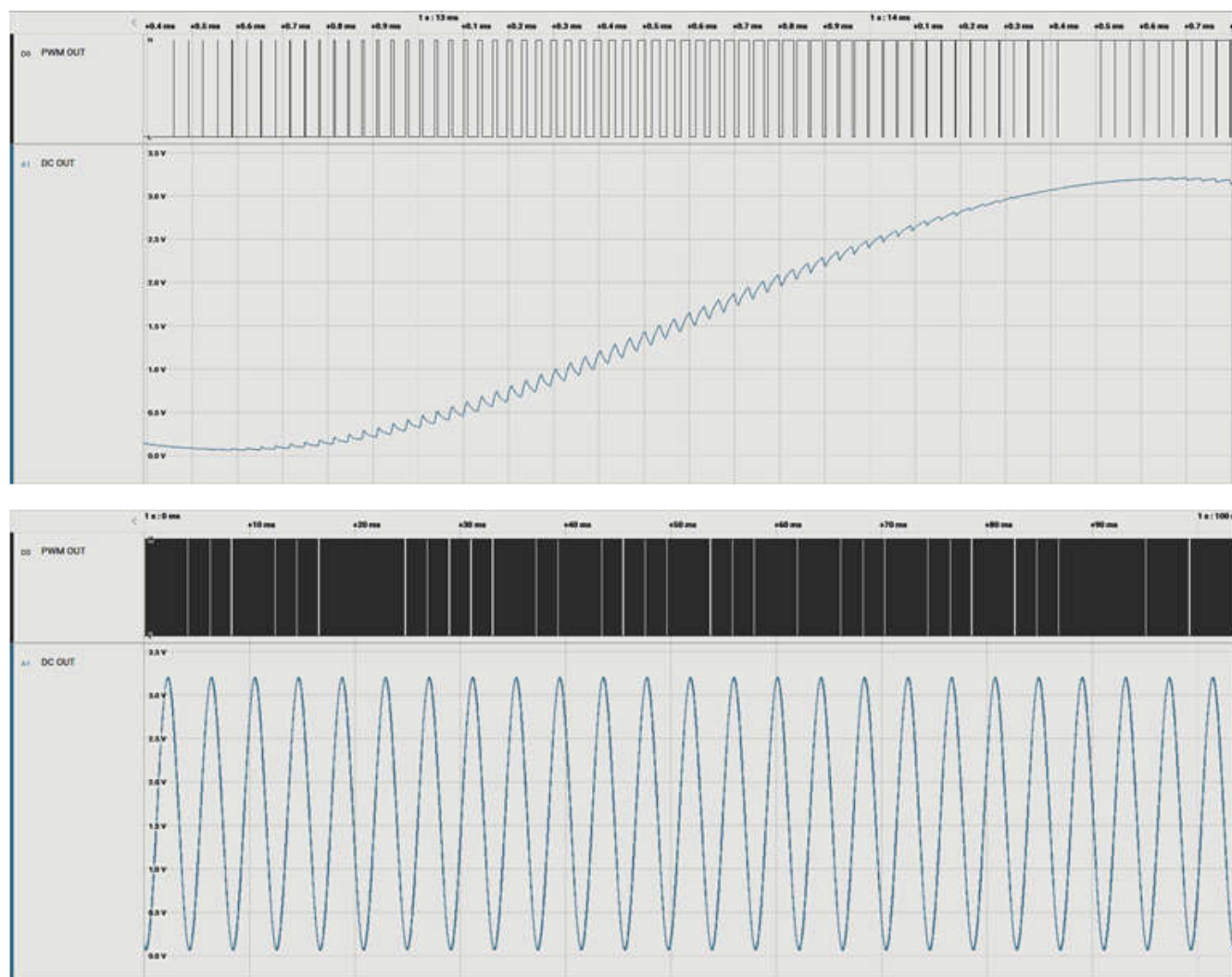


图 7-1. 结果

8 其他资源

- 德州仪器 (TI), [下载 MSPM0 SDK](#)
- 德州仪器 (TI), [详细了解 SysConfig](#)
- 德州仪器 (TI), [MSPM0L LaunchPad™](#)
- 德州仪器 (TI), [MSPM0G LaunchPad™](#)
- 德州仪器 (TI), [MSPM0 Academy](#)
- 德州仪器 (TI), [使用 MSP430 高分辨率计时器的 PWM DAC 应用手册](#)
- 德州仪器 (TI), [将 PWM Timer_B 用作 DAC 应用手册](#)
- 德州仪器 (TI), [使用 PWM DAC 的语音频带音频播放](#)

9 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision * (September 2024) to Revision A (August 2025)	Page
• 删除了“兼容器件”部分.....	2

10 E2E

请访问 TI 的 [E2E™](#) 支持论坛来查看讨论并发布新主题，以获得在设计中使用 MSPM0 器件的技术支持。

11 商标

LaunchPad™ and E2E™ are trademarks of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

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