

---

## 使用 AVR<sup>®</sup> DA 外设库的独立于内核的解决方案

---

### 简介

---

嵌入式解决方案中的大量计算可独立于内核完成，从而减轻内核负荷并减少占用程序存储空间。大多数 Microchip 单片机配备独立于内核的外设（Core Independent Peripheral, CIP），这有助于在内核之外进行处理，并且可以增强单片机的硬件功能。

CIP 凭借关键属性实现了强大功能和稳健性。经过初始化后，CIP 可提供稳态的闭环嵌入式控制，无需 CPU 的干预。各 CIP 之间智能互连，能够无延迟地共享数据、逻辑输入或模拟信号，无需添加代码或中断 CPU。最后但同样重要的是，凭借这些 CIP，小尺寸的低功耗 MCU 也可以执行极为复杂的任务，例如高功率照明控制和通信。

本文档提供了可配置定制逻辑（Configurable Custom Logic, CCL）外设的概述、示例及其使用技巧和诀窍，例如如何使用真值表实现基本功能、如何对信号应用延时以及如何对信号进行分频。

为了更好地了解 CCL 外设及其优势，本培训手册涵盖以下独立于内核的解决方案：在 CNANO 板 LED 上生成可视 SOS 信号，其中内核只参与初始化部分。

本文档将从使用点和线的莫尔斯信号表示开始，介绍与 SOS 报文相关的波形以及所用外设和其他波形。

文档末尾将提供使用 MPLAB<sup>®</sup> MCC 和 MPLAB X IDE 生成 SOS 信号的操作步骤。

### 准备工作

---

#### 硬件要求：

- AVR128DA48 Curiosity Nano ([DM164151](#))

#### 软件要求：

- MPLAB X 集成开发环境（Integrated Development Environment, IDE）版本 5.40 或更高版本
- MPLAB 代码配置器（MPLAB Code Configurator, MCC）版本 3.95.0 或更高版本
- MPLAB XC8 编译器版本 2.20 或更高版本
- MCC 8 位 AVR MCU 库版本 2.3.0

#### 文档资料：

- [AVR128DA28/32/48/64 数据手册](#)
- [AVR128DA48 器件概述](#)
- [MPLAB 代码配置器用户指南](#)

---

## 目录

---

简介.....	1
准备工作.....	1
1. 可配置定制逻辑（CCL）.....	3
1.1. 概述.....	3
1.2. 使用真值表实现逻辑功能.....	3
1.3. 为其他功能使用滤波器配置.....	4
2. 独立于内核的示例——SOS 序列生成器.....	7
2.1. SOS 序列摩斯密码基础知识.....	7
2.2. SOS 序列逻辑功能实现.....	7
2.3. 解决方案.....	10
3. 版本历史.....	27
Microchip 网站.....	28
产品变更通知服务.....	28
客户支持.....	28
Microchip 器件代码保护功能.....	28
法律声明.....	28
商标.....	29
质量管理体系.....	29
全球销售及服务网点.....	30

## 1. 可配置定制逻辑 (CCL)

### 1.1 概述

CCL 是可编程逻辑外设，可以连接到器件引脚、事件或其他内部外设。CCL 可以用作器件外设与外部器件之间的“胶连逻辑”。

使用 CCL 不但可消除对外部逻辑组件的需求，而且还可与其他独立于内核的外设 (CIP) 组合来独立于 CPU 处理应用中的时间关键部分，从而帮助设计人员克服实时约束。

AVR128DA48 上的 CCL 外设提供六个查找表 (Look-up Table, LUT)。每个 LUT 由三个输入、一个真值表、一个同步器/滤波器和一个边沿检测器组成。用户可借此生成一个输出，作为可编程逻辑表达式 (最多三个输入)。

CCL 可配置为在 LUT 输出发生变化时对输出值进行滤波以及生成中断请求。

相邻 LUT 可组合执行特定操作，序列器可用于生成复杂波形。

### 1.2 使用真值表实现逻辑功能

每个 LUT 有三个输入和一个真值表，可实现最多三个输入和一个输出的逻辑功能；未使用的输入可连接低电平 (屏蔽)。

所需组合逻辑表达式的真值表通过 LUTn 真值表 (CCL.TRUTHn) 寄存器中的位定义。输入位的每一种组合都对应于该寄存器中的一个位。

表 1-1. LUT 真值表

LUTn-TRUTHSEL[2]	LUTn-TRUTHSEL[1]	LUTn-TRUTHSEL[0]	输出
0	0	0	TRUTH[0]
0	0	1	TRUTH[1]
0	1	0	TRUTH[2]
0	1	1	TRUTH[3]
1	0	0	TRUTH[4]
1	0	1	TRUTH[5]
1	1	0	TRUTH[6]
1	1	1	TRUTH[7]

#### 1.2.1 逻辑功能示例

如前文所述，凭借真值表可实现最多三个输入和一个输出的任何组合逻辑功能。本节将提供两个可实现的标准功能示例。

##### 1. 三输入逻辑或功能

下表列出了三输入逻辑或功能的真值表：

IN2	IN1	IN0	IN0 OR IN1 OR IN2
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1

..... (续)

IN2	IN1	IN0	IN0 OR IN1 OR IN2
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

要使用真值表实现该逻辑功能，CCL.TRUTHn 寄存器中各个位的值应与上表中的对应项相同。相应的配置如下：

CCL.TRUTHn = 0xFE

## 2. 双输入逻辑与功能

下表列出了双输入逻辑与功能的真值表：

X	IN1	IN0	IN0 AND IN1
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1

由于只有两个输入，第三个输入通道连接至低电平 (IN2 = 0)。要使用真值表实现该逻辑功能，CCL.TRUTHn 寄存器中各个位的值应与上表中的对应项相同。相应的配置如下：

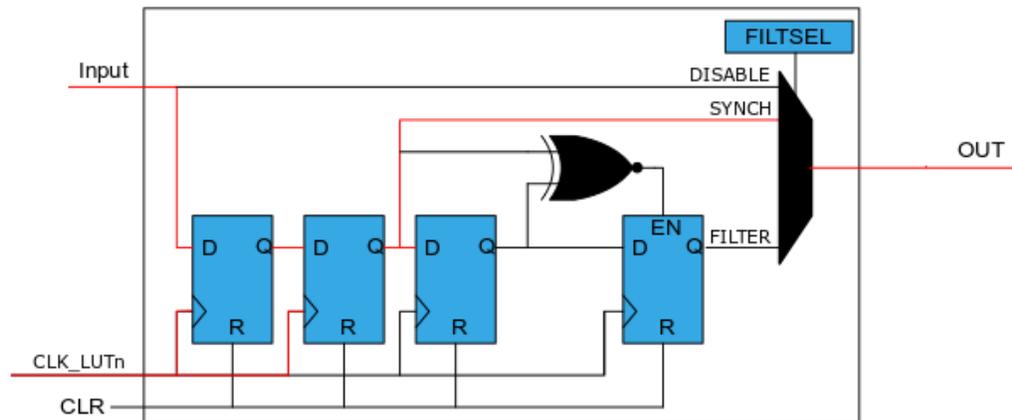
CCL.TRUTHn = 0x08

## 1.3 为其他功能使用滤波器配置

使用组合逻辑时需要执行的最常见操作之一是应用延时 (固定数量的时钟周期)。CCL 可通过写入 LUTn 控制 A (CCL.LUTnCTRLA) 寄存器中的滤波器选择 (FILTSEL) 位域完成该操作。

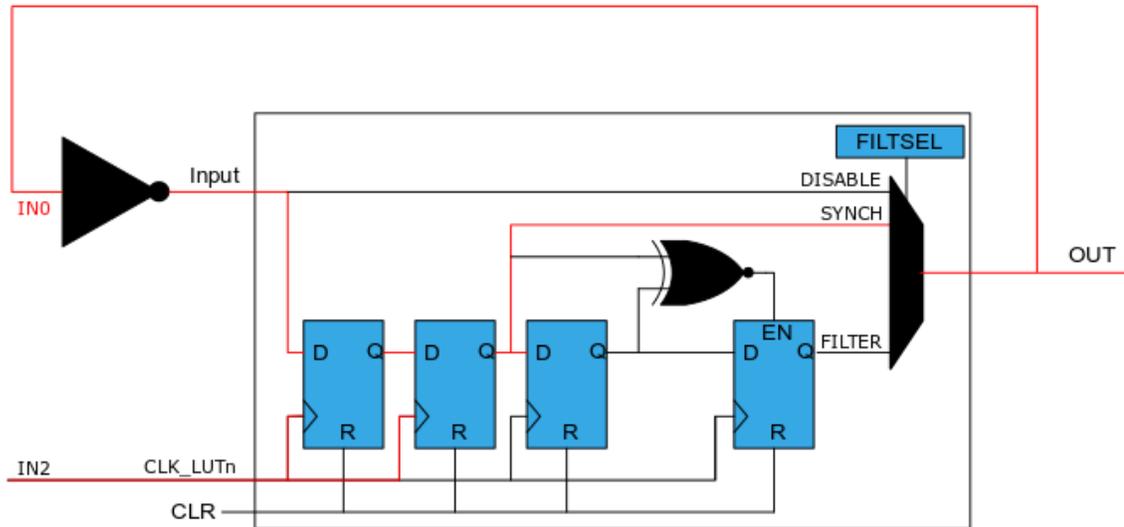
当 FILTSEL = SYNCH 时，该配置可用于将输出与 CLK\_LUTn 同步并获取两个 CLK\_LUTn 周期的延时。

图 1-1. 两个 CLK\_LUTn 周期的延时



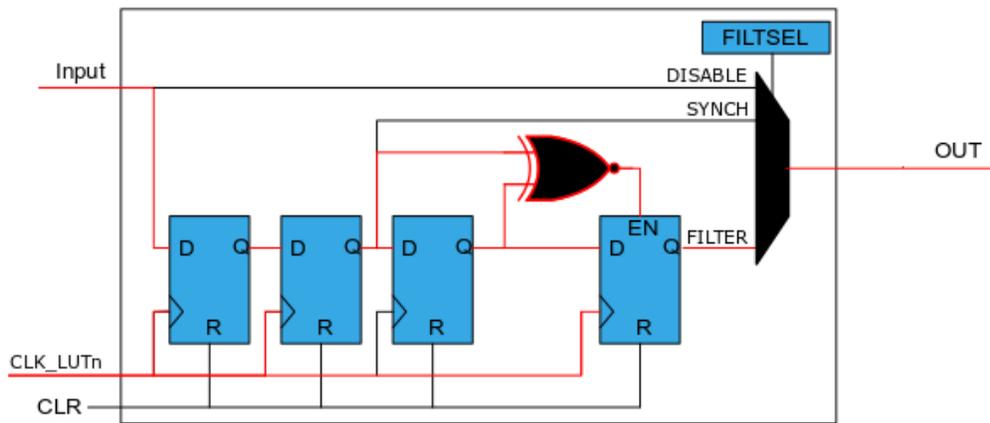
使用 LUT 反馈功能，可实现 4 分频配置。将被分频的信号必须用作 LUT 的时钟输入，LUT 的输出必须连接到输入。

图 1-2. 4 分频配置



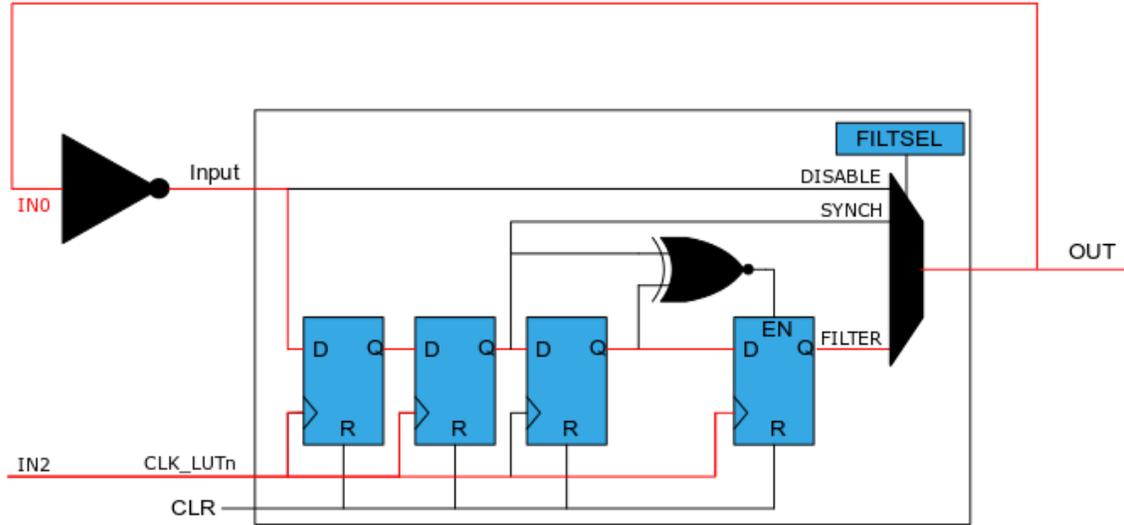
当  $FILTSEL = FILTER$  且输入信号有至少四个输入时钟时，输出将延迟四个时钟周期。

图 1-3. 四个  $CLK\_LUTn$  周期的延时



使用 LUT 反馈功能，可实现 8 分频配置。将被分频的信号必须用作 LUT 的时钟输入，LUT 的输出必须连接到输入。

图 1-4. 8 分频配置



## 2. 独立于内核的示例——SOS 序列生成器

以下示例将说明如何在没有 CPU 干预的情况下生成 SOS 信号。CCL 外设与定时器和事件系统结合使用来生成序列，除了初始化部分以外，所有操作均独立于内核完成。SOS 序列将使用 CNANO 板 LED 进行显示。

### 2.1 SOS 序列摩斯密码基础知识

摩斯密码是一种使用点和线符号编码文本字符的方法。可通过以下规则区分点与线：

- 点的长度为一个时间单位
- 线的长度为三个时间单位
- 同一字母的符号（点和线）的间隔为一个时间单位
- 字母的间隔为三个时间单位
- 字的间隔为七个时间单位

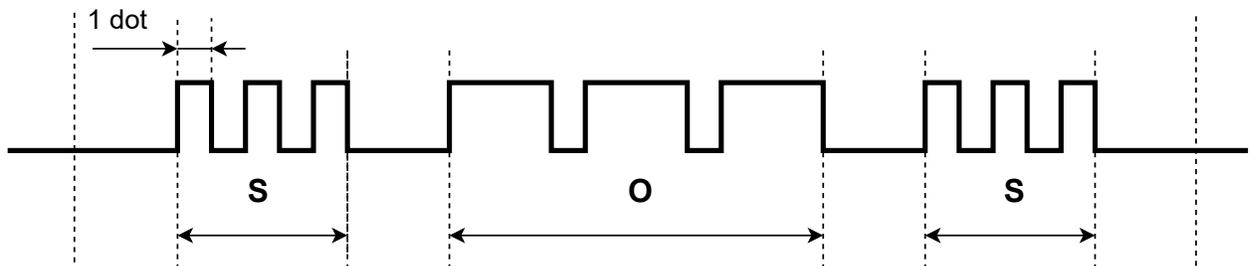
每个字母在摩斯密码中都有惟一的表示。字母“S”由三个点组成，而字母“O”由三条线组成。

图 2-1. 字母 S 和 O 的摩斯密码表示



在数字表示中，点和线为脉冲（逻辑 1），而间隔为逻辑 0。相应的波形如下：

图 2-2. SOS 数字波形



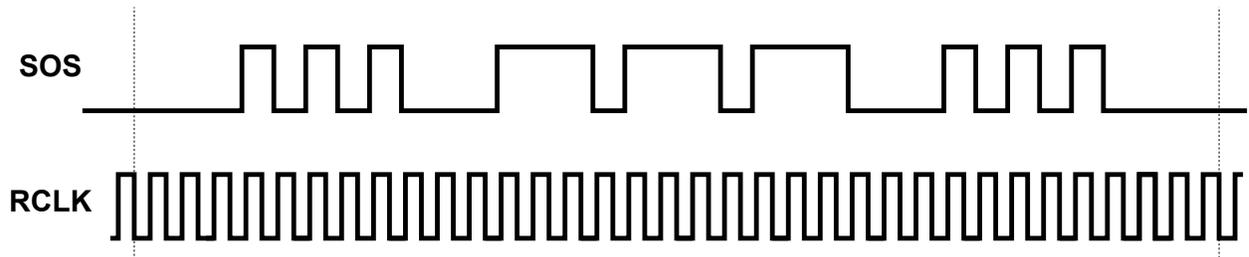
SOS 报文将不断重复，这意味着 SOS 波形将呈周期性。在上图中，波形的周期从第一条垂直虚线开始，一直到最后一条垂直虚线。

由于字的间隔长达七个点，因此周期将长达 34 个点。

### 2.2 SOS 序列逻辑功能实现

生成波形之前，需要时间参考。点的周期为 50 ms，所以整个 SOS 波形周期为  $34 \times 50 = 1700$  ms。自 AVR 资源起，对称序列的实现要容易很多。要形成这种对称，参考时钟的周期应为点周期的一半（25 ms）。

图 2-3. 参考时钟



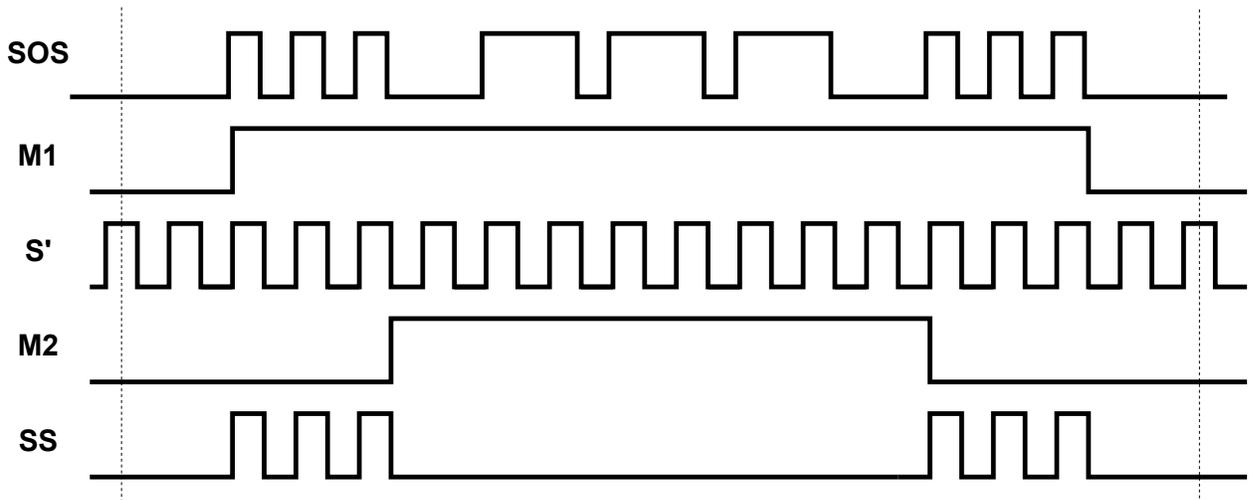
生成 SOS 信号的过程可分为三部分：

- 生成字母“S”的波形
- 生成字母“O”的波形
- 组合波形

### 2.2.1 生成字母“S”的波形

可通过生成包含字母类型和两个应用逻辑功能的屏蔽信号的波形生成字母“S”的波形。

图 2-4. 字母 S 的波形



上述操作为： $SS = M1 \text{ AND } \overline{M2} \text{ AND } S'$

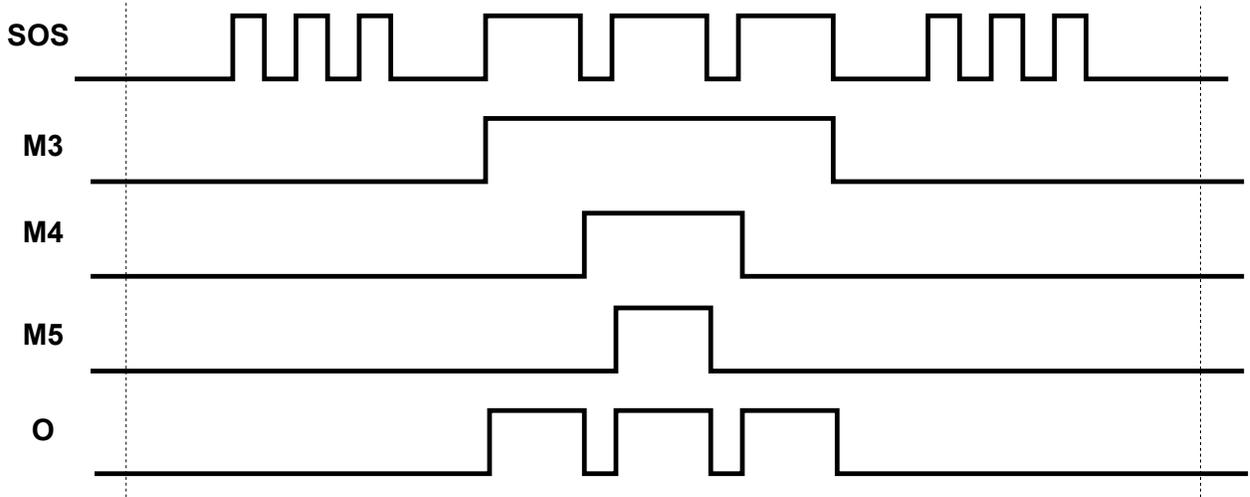
下表列出了逻辑运算的真值表：

M1	M2	S'	SS
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	0

### 2.2.2 生成字母“O”的波形

可通过生成三个应用逻辑功能的屏蔽信号生成字母“O”的波形。

图 2-5. 字母“O”的波形



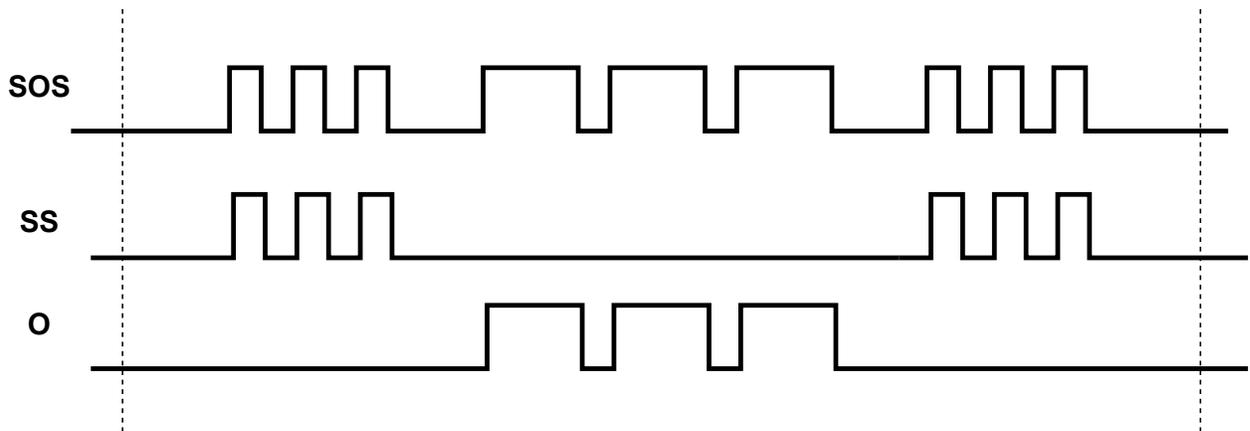
下表列出了运算的真值表:

M3	M4	M5	O
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

### 2.2.3 生成 SOS 报文的波形

通过对 SS 波形和 O 波形执行逻辑或运算生成 SOS 报文的波形:  $SOS = SS \text{ OR } O$

图 2-6. SOS 报文的波形



## 2.3 解决方案

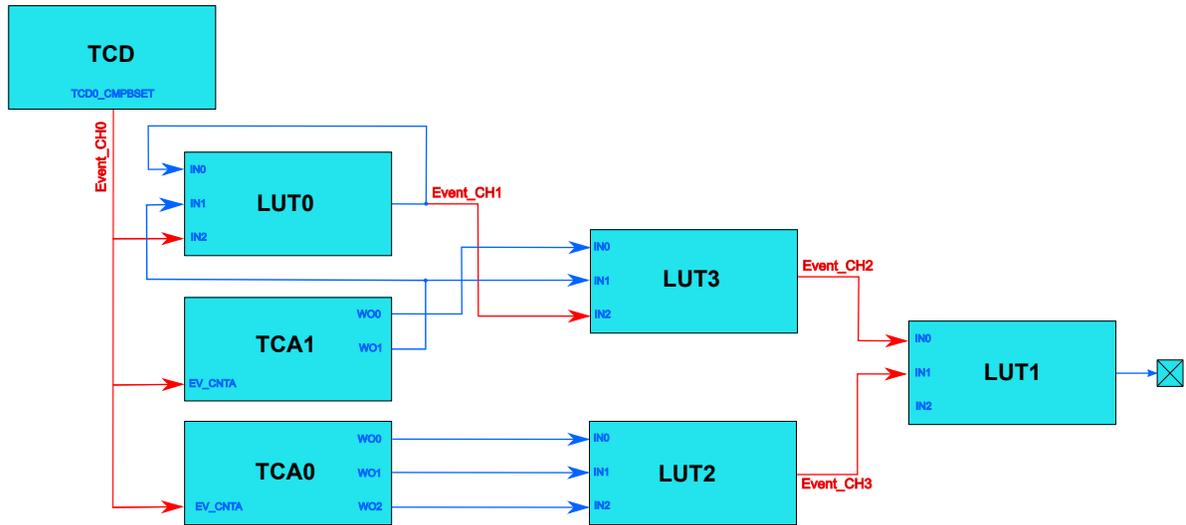
### 2.3.1 事件系统连接框图

实现该应用所使用的外设如下：

- A 型定时器/计数器（TCA）
- D 型定时器/计数器（TCD）
- 可配置定制逻辑（CCL）
- 事件系统（EVSYS）

以下框图显示了各个外设及它们之间的连接。红线表示事件通道，而蓝线表示内部信号。

图 2-7. 框图



如上节所述，参考时钟的周期必须为 25 ms（频率为 40 Hz）。参考时钟使用 TCD0 生成，TCD0 以特定频率触发事件。事件将用作 LUT0、TCA0 和 TCA1 的时钟输入。

TCA1 用于生成 M1 和 M2 信号，这些信号经 TCA1-WO0 和 TCA1-WO1 输出连接到 LUT0 和 LUT3 作为其输入。

TCA0 用于生成 M3、M4 和 M5 信号，这些信号经 TCA0-WO2、TCA0-WO1 和 TCA0-WO0 输出连接到 LUT2 作为其输入。

LUT0 用于生成包含字母“S”类型的信号（S'）。由于使用了反馈功能，S' 信号的频率两倍于来自 TCD0 的事件的频率。

LUT3 用于执行第 2.2.1 节：生成字母“S”的波形中所述的逻辑运算。其输出表示 SS 信号，通过事件通道与 LUT1 连接。

LUT2 用于执行第 2.2.2 节：生成字母“O”的波形中所述的逻辑运算。其输出表示 O 信号，通过事件通道与 LUT1 连接。

LUT1 用于执行第 2.2.3 节：获取 SOS 报文的波形中所述的逻辑运算以及在 CNANO 板 LED 上输出 SOS 报文。其输入用 LUT2 和 LUT3 生成的事件表示。

EVSYS 用于外设互连。

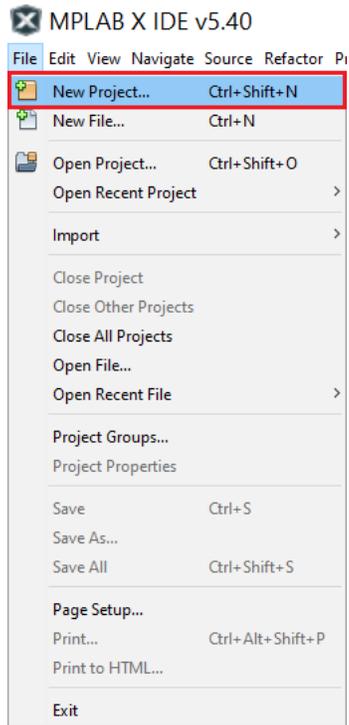
### 2.3.2 使用 MCC 的分步设计实现

使用 MCC 生成项目的步骤如下：

1. 为 AVR128DA48 新建一个 MPLAB X 项目。

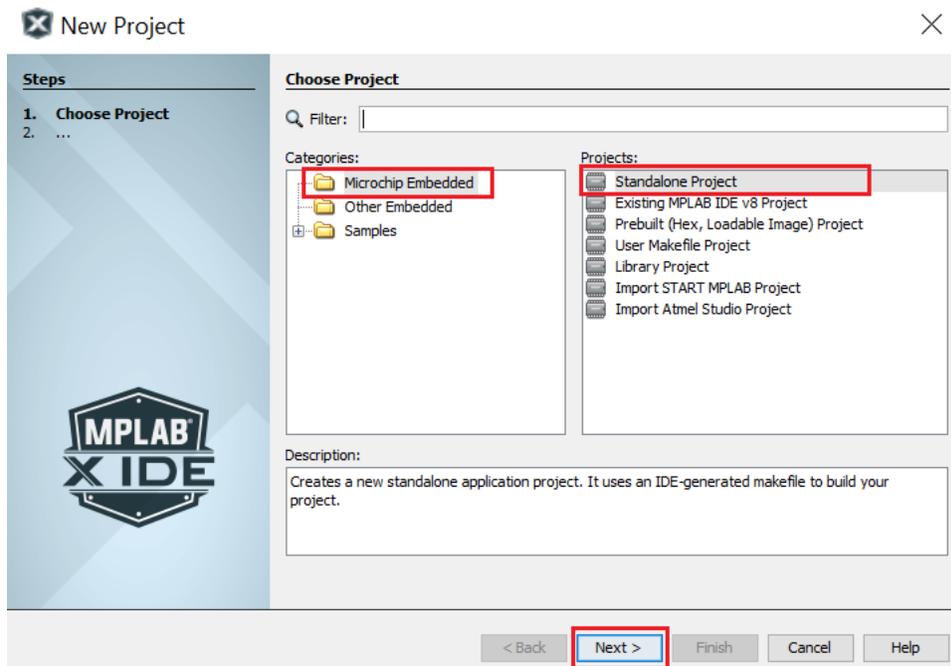
- a. 打开 **MPLAB X IDE v 5.40**。转到 **File > New Project**（文件 > 新建项目）。

图 2-8. 新建项目



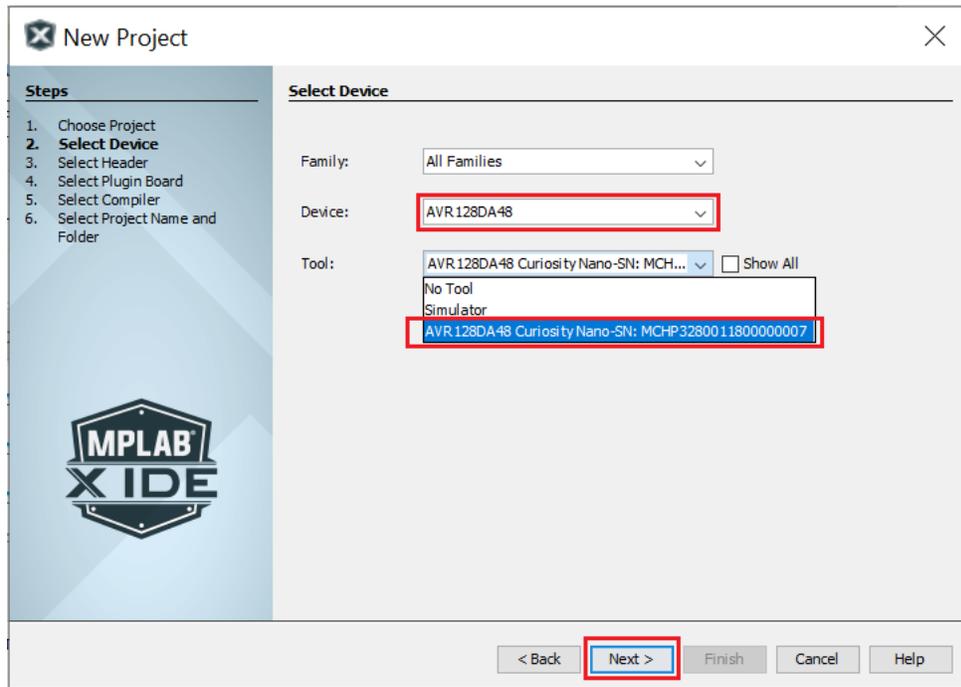
- b. 从屏幕上出现的窗口中，依次选择 **Microchip Embedded**（Microchip 已安装工具）和 **Standalone Project**（独立项目），然后单击 **Next**（下一步）。

图 2-9. 新建项目——选择项目



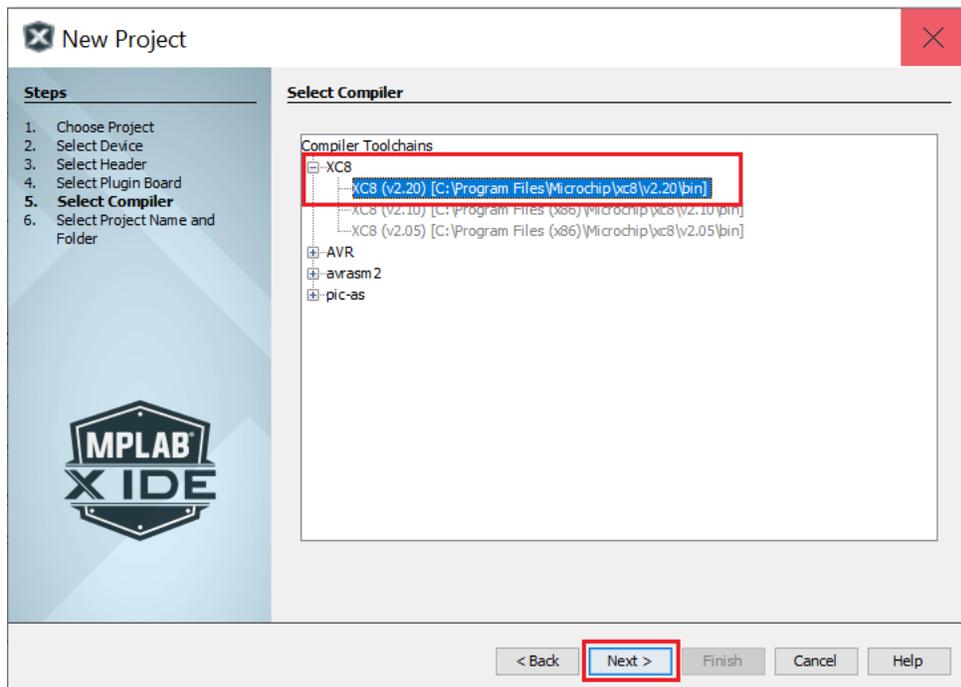
- c. 从 **Device**（器件）选项卡中选择 **AVR128DA48** 并从 **Tool**（工具）选项卡中选择 **AVR128DA48 Curiosity Nano**（单击 **SN**）。单击 **Next**。

图 2-10. 新建项目——选择器件



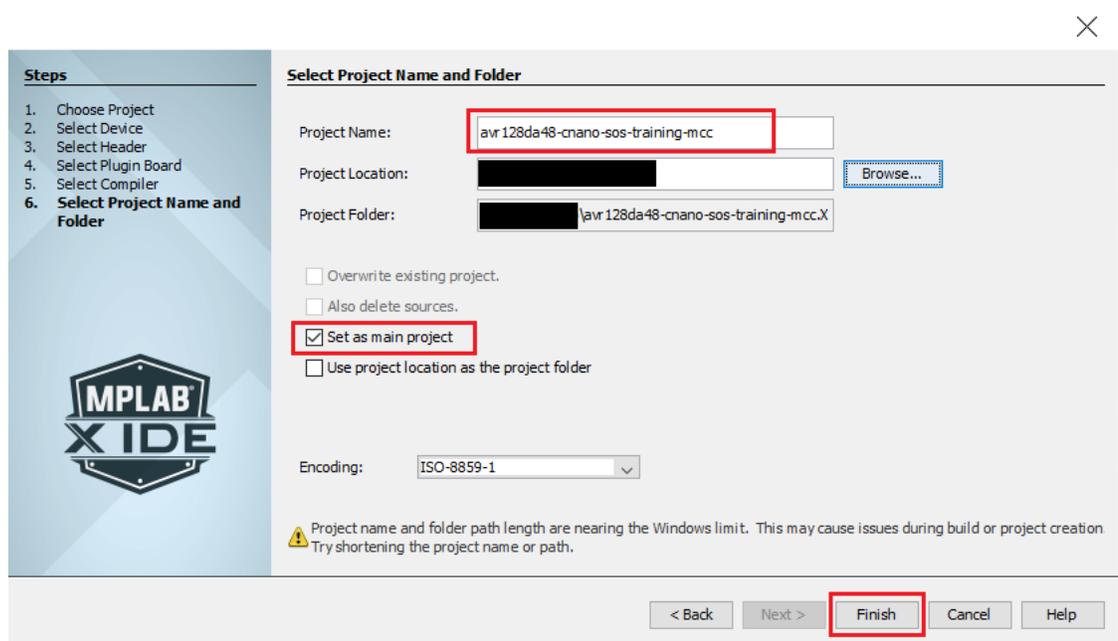
- d. 选择 XC8 (v2.20)编译器，然后单击 **Next**。

图 2-11. 新建项目——选择编译器



- e. 插入项目的名称，然后选择保存项目的位置。确保选中 **Set as main project**（设置为主项目），然后单击 **Finish**（完成）。

图 2-12. 新建项目——选择项目名称和文件夹



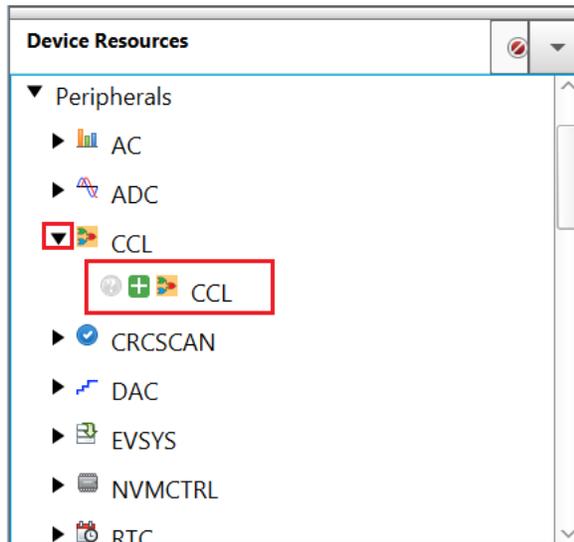
2. 从工具栏中打开 **MCC**。  
如果未安装 MCC，请遵循安装 [MPLAB 代码配置器 \(MCC\)](#) 网页上提供的说明。

图 2-13. MCC 图标



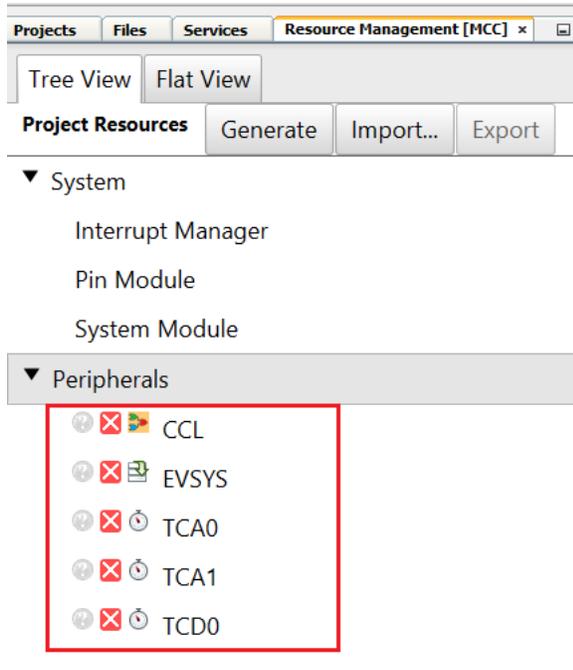
3. 添加外设并对其进行配置：
  - a. 从 Device Resources (器件资源) 窗口中，添加 **CCL**、**EVSYS**、**TCA0**、**TCA1** 和 **TCD0**。选中要添加的外设，单击 “+” 图标。  
**注：**图中将显示如何单独添加 CCL 外设。为上述所有外设执行相同的操作。

图 2-14. 添加外设



添加的外设位于 *Project Resources > Peripherals* (项目资源 > 外设) 中。

图 2-15. 添加的外设

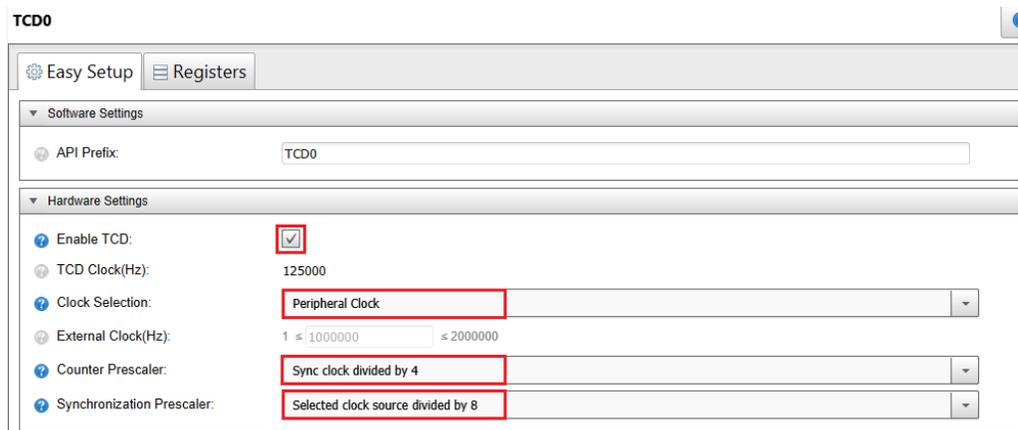


b. 对每个外设执行以下配置:

- **TCD0 配置:**

- *Easy Setup > Hardware Settings* (简单设置 > 硬件设置):

图 2-16. TCD0-简单设置



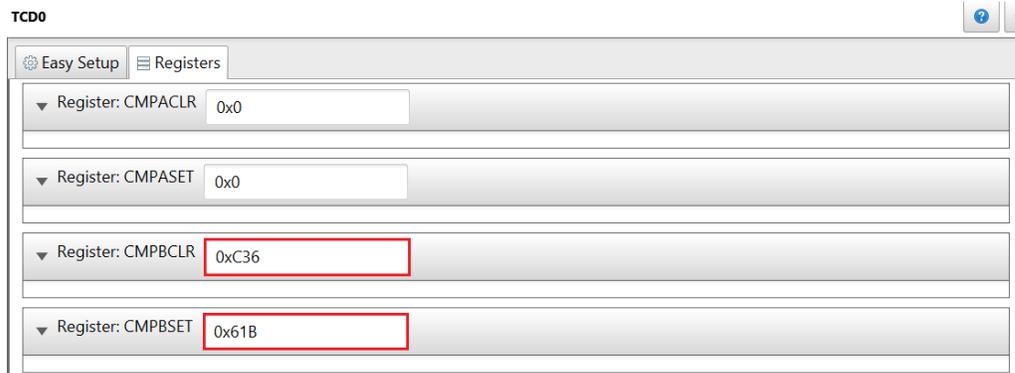
- **Enable TCD (使能 TCD) 复选框:** 选中
- **Clock Selection (时钟选择):** Peripheral Clock (外设时钟)
- **Counter Prescaler (计数器预分频比):** Sync clock divided by 4 (同步时钟被 4 分频)
- **Synchronization Prescaler (同步预分频比):** Selected Clock Source divided by 8 (所选时钟源被 8 分频)

进行上述配置后, TCD0 时钟的频率将为 125 kHz。

**注:** 应用程序使用默认时钟配置 (内部高频振荡器的频率为 4 MHz)。

- *Registers* (寄存器) 选项卡:

图 2-17. TDC0-寄存器-CMPBCLR 和 CMPBSET



- 比较 B 清零: 0xC36
- 比较 B 置 1: 0x61B

TDC0 将配置为每次计数器达到 CMPBSET 寄存器中的值时生成一个事件。两个连续事件之间的时间差为 TDC0 时钟/CMPBCLR。

由于事件必须以 40 Hz 的频率发生，因此  $CMPBCLR = TDC0 \text{ 时钟}/40 \text{ Hz} = 0xC36$ 。

图 2-18. TDC0-寄存器-CMPB 和 CMPBEN

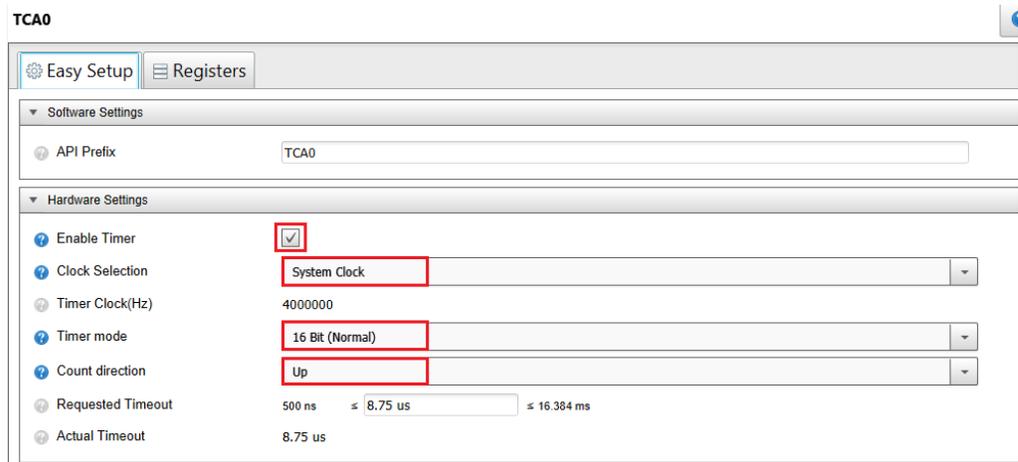


- 比较 B 值: enabled (使能)
- 比较 B 使能: enabled

进行上述配置后，TCD 将每 25 ms 生成一个事件。在本演示中，该事件随后将与 LUT0、TCA0 和 TCA1 连接。

- **TCA0 配置:**
  - *Easy Setup > Hardware Settings:*

图 2-19. TCA0-简单设置-硬件设置



- Enable Timer (使能定时器) 复选框: 选中
  - Clock Selection: System Clock (系统时钟)
  - Timer mode (定时器模式): 16 Bit (Normal) (16 位 (常规))
  - Count direction (计数方向): Up (递增)
- Registers 选项卡:

图 2-20. TCA0-寄存器-PER

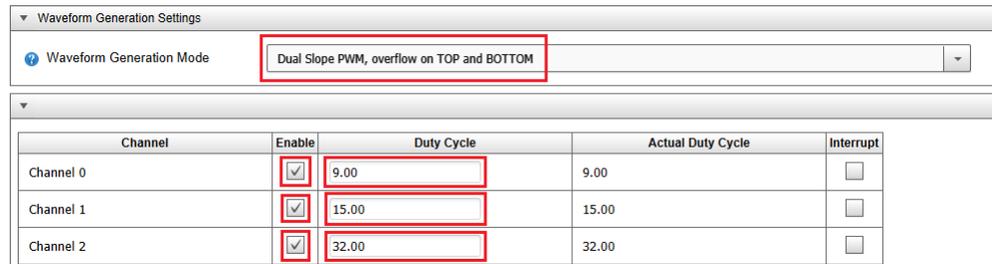


- 周期: 0x22

采用十进制时,  $0x22 = 34$ , 即 SOS 报文周期内的点数。这样, TCA0 输出的分辨率将为 1 个点。

- Easy Setup > Waveform Generation Settings (简单设置 > 波形生成设置):

图 2-21. TCA0-简单设置-波形生成设置



- Waveform Generation Mode (波形生成模式): Dual Slope PWM, overflow on TOP and BOTTOM (双斜率 PWM, 在 TOP 和 BOTTOM 时溢出)
- Channel 0 (通道 0) 右侧的 Enable (使能) 复选框: 选中
- Channel 0 右侧的 Duty Cycle (占空比): 9.00
- Channel 1 (通道 1) 右侧的 Enable 复选框: 选中
- Channel 1 右侧的 Duty Cycle: 15.00
- Channel 2 (通道 2) 右侧的 Enable 复选框: 选中

- Channel 2 右侧的 Duty Cycle: 32.00

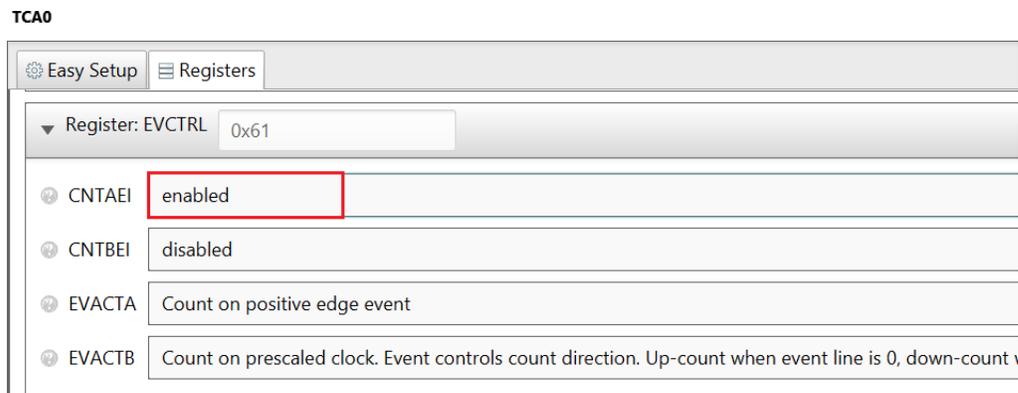
- Registers 选项卡:

图 2-22. TCA0-寄存器-CTRLC



- 比较输出值 0: enabled
- 比较输出值 1: enabled
- 比较输出值 2: enabled

图 2-23. TCA0-寄存器-EVCTRL



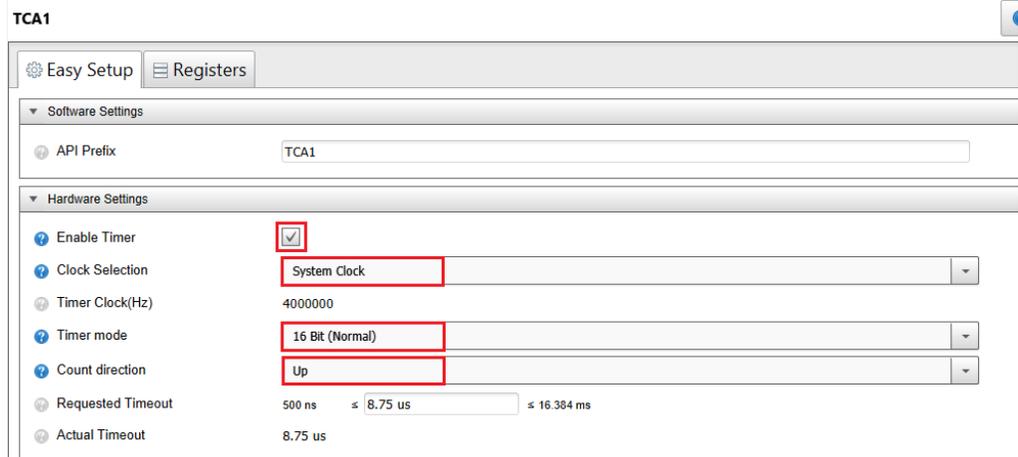
- 使能计数器事件输入 A: enabled

每次发生 TCD0 中的事件时，TCA0 将进行计数。

• TCA1 配置:

- *Easy Setup > Hardware Settings:*

图 2-24. TCA1-简单设置-硬件设置



- Enable Timer 复选框：选中
  - Clock Selection: System Clock
  - Timer mode: 16 Bit (Normal)
  - Count direction: Up
- Registers 选项卡：

图 2-25. TCA1-寄存器-PER

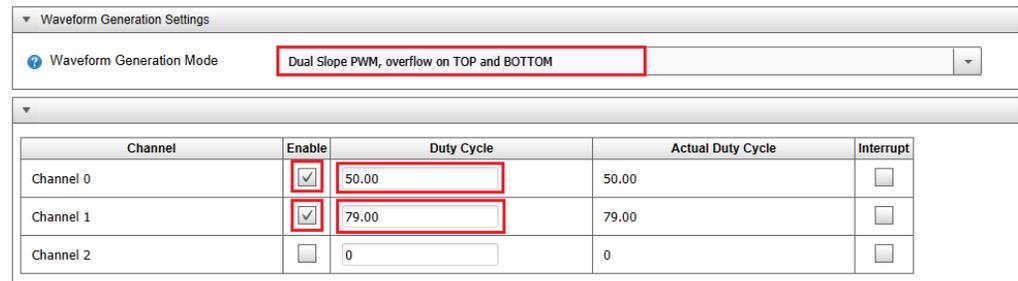


- 周期: 0x22

采用十进制时， $0x22 = 34$ ，即 SOS 报文周期内的点数。这样，TCA1 输出的分辨率将为 1 个点。

- *Easy Setup*>*Waveform Generation Settings*:

图 2-26. TCA1-简单设置-波形生成设置



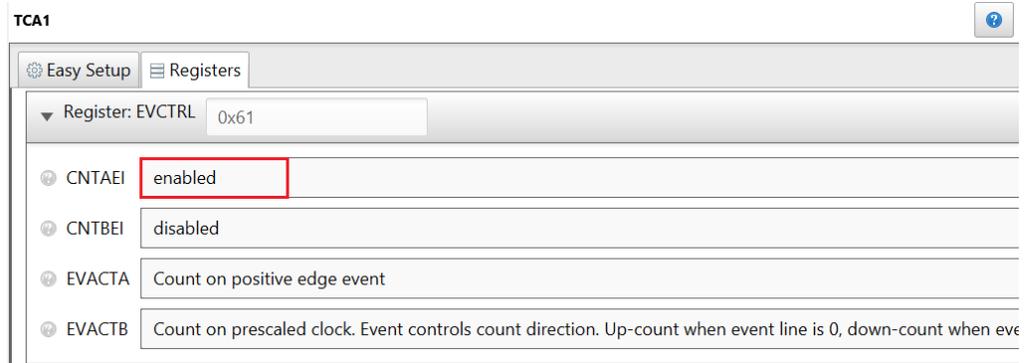
- Waveform Generation Mode: Dual Slope PWM, overflow on TOP and BOTTOM
  - Channel 0 右侧的 Enable 复选框：选中
  - Channel 0 右侧的 Duty Cycle: 50.00
  - Channel 1 右侧的 Enable 复选框：选中
  - Channel 1 右侧的 Duty Cycle: 79.00
- Registers 选项卡：

图 2-27. TCA1-寄存器-CTRLC



- 比较输出值 0: enabled
- 比较输出值 1: enabled

图 2-28. TCA1-寄存器-EVCTRL



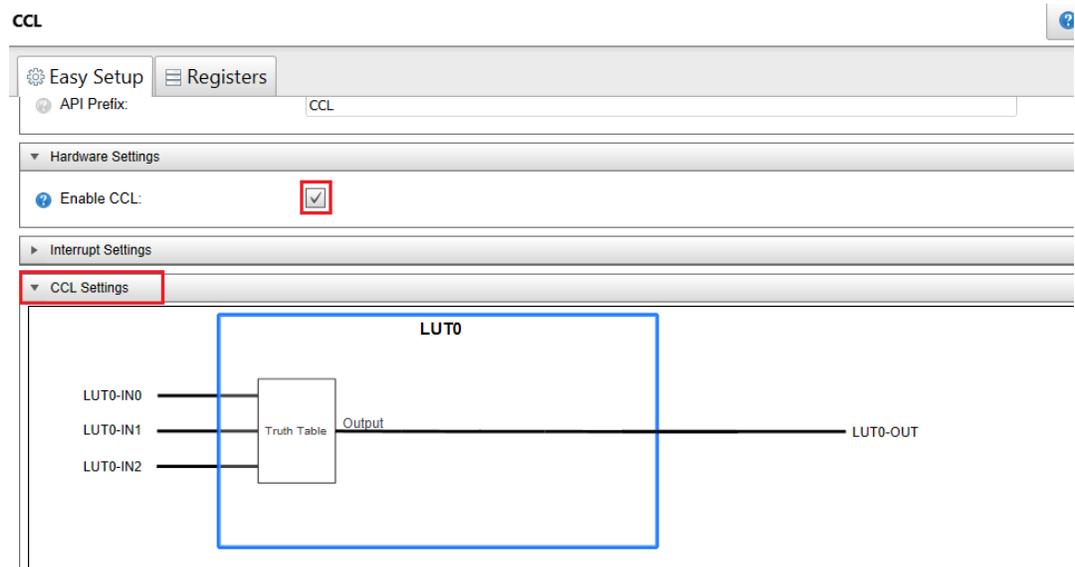
- 使能计数器事件输入 A: enabled

每次发生 TCD0 中的事件时，TCA1 将进行计数。

• **CCL 配置:**

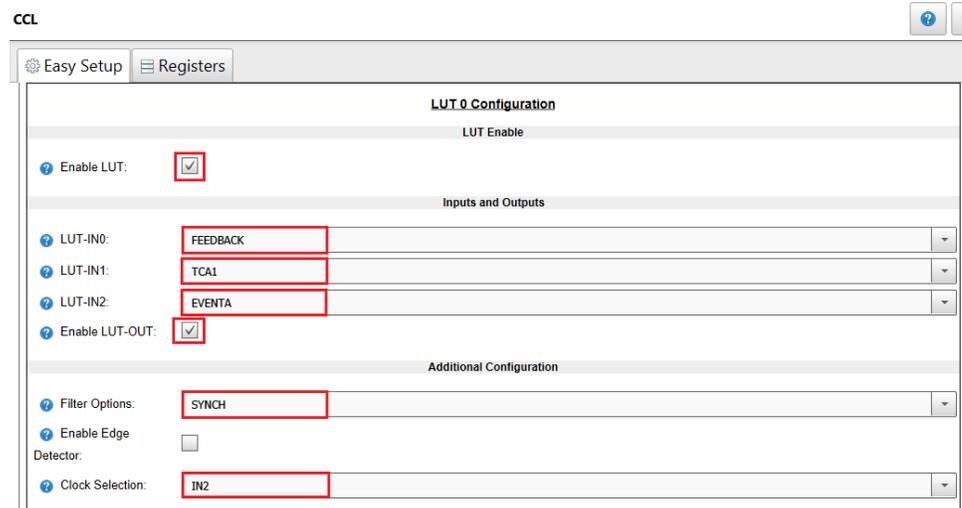
可从 **Easy Setup > CCL Settings** (简单设置 > CCL 设置) 中选择不同的 LUT 实例。单击要配置的实例，确保选中 **Enable CCL** (使能 CCL) 复选框。

图 2-29. LUT 选择



- *Easy Setup > CCL Settings:*
  - **LUT0 Configuration** (LUT0 配置) :

图 2-30. LUT0 配置



- Enable LUT (使能 LUT) 复选框: 选中
- LUT-IN0: FEEDBACK
- LUT-IN1: TCA1
- LUT-IN2: EVENTA
- Enable LUT-OUT (使能 LUT-OUT) 复选框: 选中
- Filter Options (滤波器选项): SYNCH
- Clock Selection: IN2

LUT0 中的滤波器在 SYNC 模式下与反馈环配合使用，以获取包含字母“S”类型的信号。它将对 TCD0 所触发事件的频率进行 4 分频。

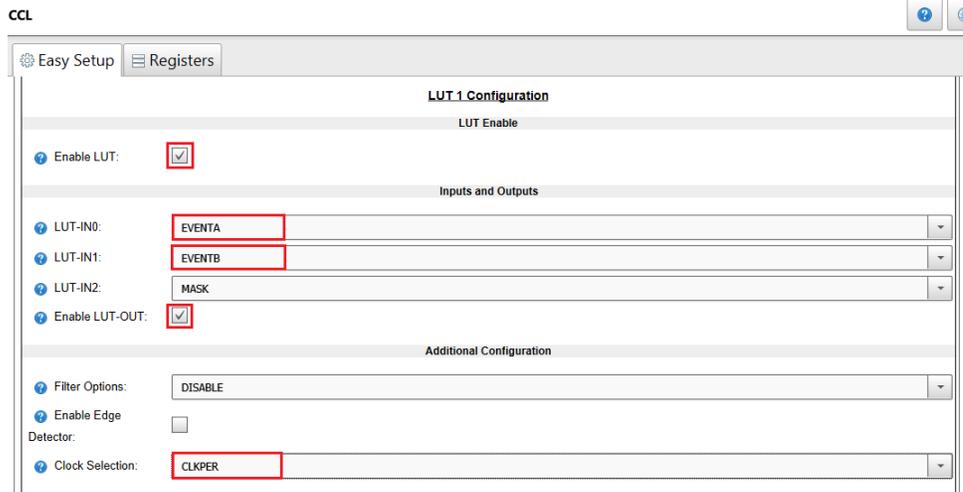
图 2-31. LUT0 真值表

Truth Table			
Custom			
IN2	IN1	IN0	OUT
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

- Truth Table (真值表): Custom (定制)
- OUT: (从上至下) 00100000

• LUT1 Configuration (LUT1 配置) :

图 2-32. LUT1 配置



- Enable LUT 复选框: 选中
- LUT-IN0: EVENTA
- LUT-IN1: EVENTB
- LUT-IN2: MASK
- Enable LUT-OUT 复选框: 选中
- Filter Options: DISABLE
- Clock Selection: CLKPER

图 2-33. LUT1 真值表

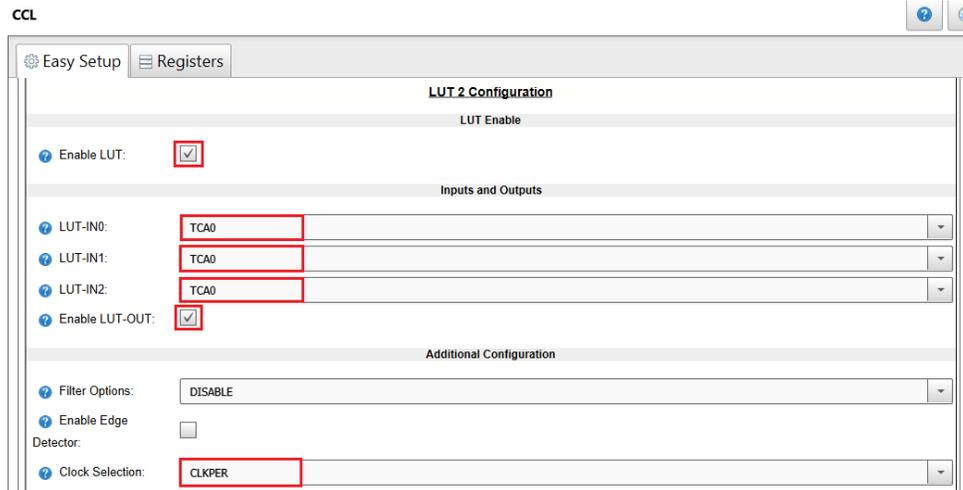
Truth Table			
Custom			
IN2	IN1	IN0	OUT
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

- Truth Table: Custom
- OUT: (从上至下) 10001111

OUT 位的值将取反，这是因为 LUT1 的输出将依据反逻辑来驱动 CNANO 板 LED（逻辑 0——点亮，逻辑 1——熄灭）。

• LUT2 Configuration (LUT2 配置) :

图 2-34. LUT2 配置



- Enable LUT 复选框: 选中
- LUT-IN0: TCA0
- LUT-IN1: TCA0
- LUT-IN2: TCA0
- Enable LUT-OUT 复选框: 选中
- Filter Options: DISABLE
- Clock Selection: CLKPER

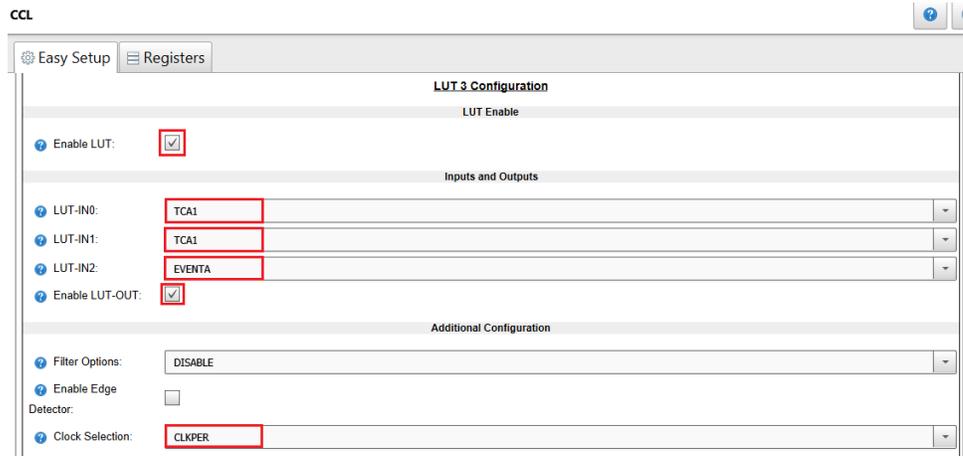
图 2-35. LUT2 真值表

Truth Table			
Custom			
IN2	IN1	IN0	OUT
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

- Truth Table: Custom
- OUT: (从上至下) 00001001

• **LUT3 Configuration** (LUT3 配置) :

图 2-36. LUT3 配置



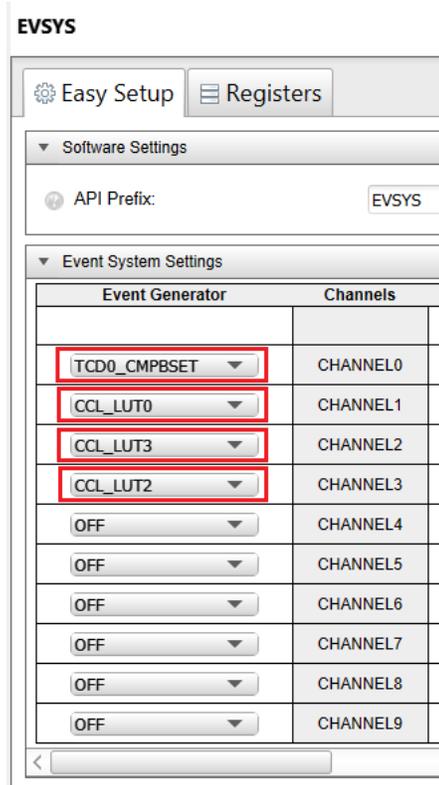
- Enable LUT 复选框: 选中
- LUT-IN0: TCA1
- LUT-IN1: TCA1
- LUT-IN2: EVENTA
- Enable LUT-OUT 复选框: 选中
- Filter Options: DISABLE
- Clock Selection: CLKPER

图 2-37. LUT3 真值表

Truth Table			
Custom			
IN2	IN1	IN0	OUT
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

- Truth Table: Custom
  - OUT: (从上至下) 00100000
- **EVSYS 配置:**
- Event Generator (事件生成器) :
    - CHANNEL0: TCD0\_CMPBSET
    - CHANNEL1: CCL\_LUT0
    - CHANNEL2: CCL\_LUT3
    - CHANNEL3: CCL\_LUT2

图 2-38. EVSYS 事件生成器



- Event Users (事件用户)
  - CHANNEL0: CCLLUT0A、TCA0CNTA 和 TCA1CNTA
  - CHANNEL1: CCLLUT3A
  - CHANNEL2: CCLLUT1A
  - CHANNEL3: CCLLUT1B

图 2-39. EVSYS 事件用户(1)

Event Generator		Channels								
Event Generator	Channels	ADC0START	CCLLUT0A	CCLLUT0B	CCLLUT1A	CCLLUT1B	CCLLUT2A	CCLLUT2B	CCLLUT3A	
TCD0_CMPBSET	CHANNEL0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
CCL_LUT0	CHANNEL1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
CCL_LUT3	CHANNEL2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
CCL_LUT2	CHANNEL3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
OFF	CHANNEL4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

图 2-40. EVSYS 事件用户(2)

Event Users					
Event User	PTCSTART	TCA0CNTA	TCA0CNTB	TCA1CNTA	TCA1CNTB
CHANNEL0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CHANNEL1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CHANNEL2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CHANNEL3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. 转到 *Pin Manager > Grid View* (引脚管理器 > 网格视图)，然后执行以下配置：
  - 将端口 A 引脚 3 (RA3) 设置为 LUT0 的输出
  - 将端口 C 引脚 6 (RC6) 设置为 LUT1 的输出

- 将端口 D 引脚 3 (RD3) 设置为 LUT2 的输出
- 将端口 F 引脚 3 (RF3) 设置为 LUT3 的输出

图 2-41. 引脚模块 CLC

Output - MPLAB® Code Configurator			Notifications [MCC]			Pin Manager: Grid View ×																																				
Package: QFN48			Pin No: 44 45 46 47 48			1 2 3 4			5 6 7 8			9 10 11 12 13			16 17 18			19 20 21 22 23			24 25 26 27			30 31 32 33			34 35 36 37			38 39 40												
			Port A ▼				Port B ▼				Port C ▼				Port D ▼				Port E ▼				Port F ▼																			
Module	Function	Direction	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7
CCL ▼	LUT0	output				🔒			🔒																																	
	LUT0_IN0	input	🔒																																							
	LUT0_IN1	input		🔒																																						
	LUT0_IN2	input			🔒																																					
	LUT1	output																																								
	LUT1_IN0	input									🔒																															
	LUT1_IN1	input										🔒																														
	LUT1_IN2	input											🔒																													
	LUT2	output																																								
	LUT2_IN0	input																									🔒															
	LUT2_IN1	input																										🔒														
	LUT2_IN2	input																											🔒													
	LUT3	output																																								
	LUT3_IN0	input																																	🔒							
	LUT3_IN1	input																																		🔒						
LUT3_IN2	input																																			🔒						

- 将端口 A 引脚 0-2 (RA0-RA2) 设置为 TCA0 的输出
- 将端口 B 引脚 0-2 (RB0-RB2) 设置为 TCA1 的输出
- 将端口 A 引脚 4-7 (RA4-RA7) 设置为 TCD0 的输出

图 2-42. 引脚模块定时器

Output - MPLAB® Code Configurator			Notifications [MCC]			Pin Manager: Grid View ×																																				
			Port A ▼				Port B ▼				Port C ▼				Port D ▼				Port E ▼				Port F ▼																			
Module	Function	Direction	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7
TCA0 ▼	WO0	output	🔒																																							
	WO1	output		🔒																																						
	WO2	output			🔒																																					
TCA1 ▼	WO0	output																																								
	WO1	output																																								
	WO2	output																																								
TCD0 ▼	WOA	output																																								
	WOB	output																																								
	WOC	output																																								
	WOD	output																																								

注：SOS 信号将在 RC6 上输出。其余信号对应的输出引脚仅用于调试。

以下几张图显示了通过逻辑分析器捕捉的输出波形。

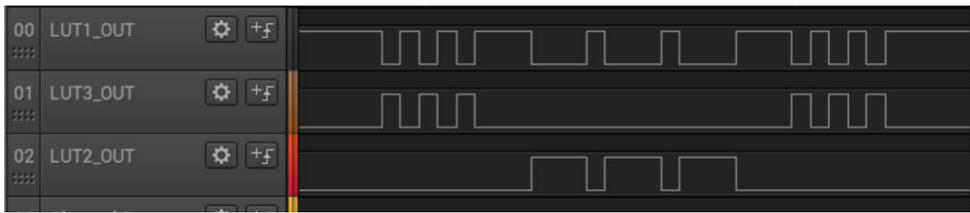
图 2-43. TCA1、LUT0 和 LUT3 输出



图 2-44. TCA0 和 LUT2 输出



图 2-45. SOS 报文波形



 [View Code Example on GitHub](#)  
Click to browse repository

### 3. 版本历史

版本	日期	说明
A	2020 年 8 月	文档初始版本

---

## Microchip 网站

---

Microchip 网站 ([www.microchip.com](http://www.microchip.com)) 为客户提供在线支持。客户可通过该网站方便地获取文件和信息。我们的网站提供以下内容:

- **产品支持**——数据手册和勘误表、应用笔记和示例程序、设计资源、用户指南以及硬件支持文档、最新的软件版本以及归档软件
- **一般技术支持**——常见问题解答 (FAQ)、技术支持请求、在线讨论组以及 Microchip 设计伙伴计划成员名单
- **Microchip 业务**——产品选型和订购指南、最新 Microchip 新闻稿、研讨会和活动安排表、Microchip 销售办事处、代理商以及工厂代表列表

---

## 产品变更通知服务

---

Microchip 的产品变更通知服务有助于客户了解 Microchip 产品的最新信息。注册客户可在他们感兴趣的某个产品系列或开发工具发生变更、更新、发布新版本或勘误表时, 收到电子邮件通知。

欲注册, 请访问 [www.microchip.com/pcn](http://www.microchip.com/pcn), 然后按照注册说明进行操作。

---

## 客户支持

---

Microchip 产品的用户可通过以下渠道获得帮助:

- 代理商或代表
- 当地销售办事处
- 应用工程师 (ESE)
- 技术支持

客户应联系其代理商、代表或 ESE 寻求支持。当地销售办事处也可为客户提供帮助。本文档后附有销售办事处的联系方式。

也可通过 [www.microchip.com/support](http://www.microchip.com/support) 获得网上技术支持。

---

## Microchip 器件代码保护功能

---

请注意以下有关 Microchip 产品代码保护功能的要点:

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术规范。
- Microchip 确信: 在正常使用且符合工作规范的情况下, Microchip 系列产品非常安全。
- Microchip 注重并积极保护其知识产权。严禁任何试图破坏 Microchip 产品代码保护功能的行为, 这种行为可能会违反《数字千年版权法案》(Digital Millennium Copyright Act)。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。代码保护功能处于持续发展中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。

---

## 法律声明

---

提供本文档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分, 因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原版文档。

本出版物及其提供的信息仅适用于 Microchip 产品, 包括设计、测试以及将 Microchip 产品集成到您的应用中。以其他方式使用这些信息都将被视为违反条款。本出版物中的器件应用信息仅为您提供便利, 将来可能会发生更新。如需额外的支持, 请联系当地的 Microchip 销售办事处, 或访问 <https://www.microchip.com/en-us/support/design-help/client-supportservices>。

Microchip “按原样”提供这些信息。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对非侵权性、适销性和特定用途的适用性的暗示担保，或针对其使用情况、质量或性能的担保。

在任何情况下，对于因这些信息或使用这些信息而产生的任何间接的、特殊的、惩罚性的、偶然的或间接的损失、损害或任何类型的开销，Microchip 概不承担任何责任，即使 Microchip 已被告知可能发生损害或损害可以预见。在法律允许的最大范围内，对于因这些信息或使用这些信息而产生的所有索赔，Microchip 在任何情况下所承担的全部责任均不超出您为获得这些信息向 Microchip 直接支付的金额（如有）。如果将 Microchip 器件用于生命维持和/或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切损害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任。除非另外声明，在 Microchip 知识产权保护下，不得暗或以其他方式转让任何许可证。

## 商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、Adaptec、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、chipKIT、chipKIT 徽标、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi 徽标、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PacTime、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TempTrackr、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron 和 XMEGA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、FlashTec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus 徽标、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、Vite、WinPath 和 ZL 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BlueSky、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNet 徽标、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICKit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQL、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、ViewSpan、WiperLock、Wireless DNA 和 ZENA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 是 Microchip Technology Incorporated 在美国的服务标记。

Adaptec 徽标、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology 和 Symmcom 为 Microchip Technology Inc. 在其他国家或地区的注册商标。

GestIC 是 Microchip Technology Inc. 的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2022, Microchip Technology Incorporated, 美国印刷, 版权所有。

ISBN: 978-1-6683-2485-1

## 质量管理体系

有关 Microchip 的质量管理体系的信息，请访问 [www.microchip.com/quality](http://www.microchip.com/quality)。

## 全球销售及服务中心

美洲	亚太地区	亚太地区	欧洲
<b>公司总部</b> 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 电话: 480-792-7200 传真: 480-792-7277 技术支持: <a href="http://www.microchip.com/support">www.microchip.com/support</a> 网址: <a href="http://www.microchip.com">www.microchip.com</a>	<b>澳大利亚 - 悉尼</b> 电话: 61-2-9868-6733 <b>中国 - 北京</b> 电话: 86-10-8569-7000 <b>中国 - 成都</b> 电话: 86-28-8665-5511 <b>中国 - 重庆</b> 电话: 86-23-8980-9588 <b>中国 - 东莞</b> 电话: 86-769-8702-9880 <b>中国 - 广州</b> 电话: 86-20-8755-8029 <b>中国 - 杭州</b> 电话: 86-571-8792-8115 <b>中国 - 香港特别行政区</b> 电话: 852-2943-5100 <b>中国 - 南京</b> 电话: 86-25-8473-2460 <b>中国 - 青岛</b> 电话: 86-532-8502-7355 <b>中国 - 上海</b> 电话: 86-21-3326-8000 <b>中国 - 沈阳</b> 电话: 86-24-2334-2829 <b>中国 - 深圳</b> 电话: 86-755-8864-2200 <b>中国 - 苏州</b> 电话: 86-186-6233-1526 <b>中国 - 武汉</b> 电话: 86-27-5980-5300 <b>中国 - 西安</b> 电话: 86-29-8833-7252 <b>中国 - 厦门</b> 电话: 86-592-2388138 <b>中国 - 珠海</b> 电话: 86-756-3210040	<b>印度 - 班加罗尔</b> 电话: 91-80-3090-4444 <b>印度 - 新德里</b> 电话: 91-11-4160-8631 <b>印度 - 浦那</b> 电话: 91-20-4121-0141 <b>日本 - 大阪</b> 电话: 81-6-6152-7160 <b>日本 - 东京</b> 电话: 81-3-6880-3770 <b>韩国 - 大邱</b> 电话: 82-53-744-4301 <b>韩国 - 首尔</b> 电话: 82-2-554-7200 <b>马来西亚 - 吉隆坡</b> 电话: 60-3-7651-7906 <b>马来西亚 - 槟榔屿</b> 电话: 60-4-227-8870 <b>菲律宾 - 马尼拉</b> 电话: 63-2-634-9065 <b>新加坡</b> 电话: 65-6334-8870 <b>台湾地区 - 新竹</b> 电话: 886-3-577-8366 <b>台湾地区 - 高雄</b> 电话: 886-7-213-7830 <b>台湾地区 - 台北</b> 电话: 886-2-2508-8600 <b>泰国 - 曼谷</b> 电话: 66-2-694-1351 <b>越南 - 胡志明市</b> 电话: 84-28-5448-2100	<b>奥地利 - 韦尔斯</b> 电话: 43-7242-2244-39 传真: 43-7242-2244-393 <b>丹麦 - 哥本哈根</b> 电话: 45-4485-5910 传真: 45-4485-2829 <b>芬兰 - 埃斯波</b> 电话: 358-9-4520-820 <b>法国 - 巴黎</b> 电话: 33-1-69-53-63-20 传真: 33-1-69-30-90-79 <b>德国 - 加兴</b> 电话: 49-8931-9700 <b>德国 - 哈恩</b> 电话: 49-2129-3766400 <b>德国 - 海尔布隆</b> 电话: 49-7131-72400 <b>德国 - 卡尔斯鲁厄</b> 电话: 49-721-625370 <b>德国 - 慕尼黑</b> 电话: 49-89-627-144-0 传真: 49-89-627-144-44 <b>德国 - 罗森海姆</b> 电话: 49-8031-354-560 <b>以色列 - 若那那市</b> 电话: 972-9-744-7705 <b>意大利 - 米兰</b> 电话: 39-0331-742611 传真: 39-0331-466781 <b>意大利 - 帕多瓦</b> 电话: 39-049-7625286 <b>荷兰 - 德卢内市</b> 电话: 31-416-690399 传真: 31-416-690340 <b>挪威 - 特隆赫姆</b> 电话: 47-72884388 <b>波兰 - 华沙</b> 电话: 48-22-3325737 <b>罗马尼亚 - 布加勒斯特</b> 电话: 40-21-407-87-50 <b>西班牙 - 马德里</b> 电话: 34-91-708-08-90 传真: 34-91-708-08-91 <b>瑞典 - 哥德堡</b> 电话: 46-31-704-60-40 <b>瑞典 - 斯德哥尔摩</b> 电话: 46-8-5090-4654 <b>英国 - 沃金厄姆</b> 电话: 44-118-921-5800 传真: 44-118-921-5820
<b>亚特兰大</b> 德卢斯, 佐治亚州 电话: 678-957-9614 传真: 678-957-1455 <b>奥斯汀, 德克萨斯州</b> 电话: 512-257-3370 <b>波士顿</b> 韦斯特伯鲁, 马萨诸塞州 电话: 774-760-0087 传真: 774-760-0088 <b>芝加哥</b> 艾塔斯卡, 伊利诺伊州 电话: 630-285-0071 传真: 630-285-0075 <b>达拉斯</b> 阿迪森, 德克萨斯州 电话: 972-818-7423 传真: 972-818-2924 <b>底特律</b> 诺维, 密歇根州 电话: 248-848-4000 <b>休斯顿, 德克萨斯州</b> 电话: 281-894-5983 <b>印第安纳波利斯</b> 诺布尔斯特维尔, 印第安纳州 电话: 317-773-8323 传真: 317-773-5453 电话: 317-536-2380 <b>洛杉矶</b> 米慎维荷, 加利福尼亚州 电话: 949-462-9523 传真: 949-462-9608 电话: 951-273-7800 <b>罗利, 北卡罗来纳州</b> 电话: 919-844-7510 <b>纽约, 纽约州</b> 电话: 631-435-6000 <b>圣何塞, 加利福尼亚州</b> 电话: 408-735-9110 电话: 408-436-4270 <b>加拿大 - 多伦多</b> 电话: 905-695-1980 传真: 905-695-2078			