

---

---

## 在实时应用中使用 CLC

---

---

### 简介

作者: Ankit Tripathi 和  
Srinivasa K R, Microchip Technology Inc

可配置逻辑单元 (Configurable Logic Cell, CLC) 是一种灵活的外设, 可为 PIC® 单片机创建片上定制逻辑功能。此外, 该外设允许用户将信号组合指定为逻辑功能的输入, 并将逻辑输出传送到其他外设或 I/O 引脚。它可配置各种基本逻辑功能, 例如逻辑门、触发器和锁存器。

CLC 是独立于内核的外设 (Core Independent Peripheral, CIP), 这意味着在完成配置后, 无需代码或 CPU 监控即可执行其任务。它独立工作, 不受 PIC 单片机 CPU 的速度限制。这不仅缩短了系统的响应时间, 还缩短了软件开发时间, 因为某些功能通常是通过代码而非硬件完成的。

CLC 可用于编译定制逻辑功能, 还可以在内部连接其他外设, 例如定时器、PWM、串行端口和 I/O 引脚, 从而能够十分轻松地进行硬件定制。

### 范围

本应用笔记介绍了 PIC® 单片机中的 CLC, 并给出了两个示例来说明如何将其用于简化实际系统的设计。此外, 还通过两个案例研究的相应固件对本应用笔记进行了补充。要获得相应固件, 请访问 <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC18F47Q10>。本应用笔记中介绍了以下内容:

- PIC 器件中 CLC 的概述
- CLC 的特性和优势
- 实时应用中的 CLC
- 使用 CLC 的有限状态机实现
- 使用 CLC 的编码器和解码器实现

## 目录

简介.....	1
范围.....	1
1. 概述.....	3
1.1. 特性.....	3
1.2. 优势.....	3
2. PIC18 Q10 系列中的 CLC.....	5
3. 实时应用中的 CLC.....	6
4. 应用 1: 有限状态机.....	7
4.1. 顺序逻辑电路.....	7
4.2. 案例研究——自动售货机.....	7
4.3. 有限状态机演示.....	22
5. 应用 2: 编码器和解码器.....	23
5.1. 编码器.....	23
5.2. 解码器.....	23
5.3. 案例研究——格雷码解码器.....	23
5.4. 格雷码解码器演示.....	33
6. 结论.....	34
7. 参考资料.....	35
Microchip 网站.....	36
变更通知客户服务.....	36
客户支持.....	36
Microchip 器件代码保护功能.....	36
法律声明.....	36
商标.....	37
DNV 认证的质量管理体系.....	37
全球销售及服务网点.....	38

## 1. 概述

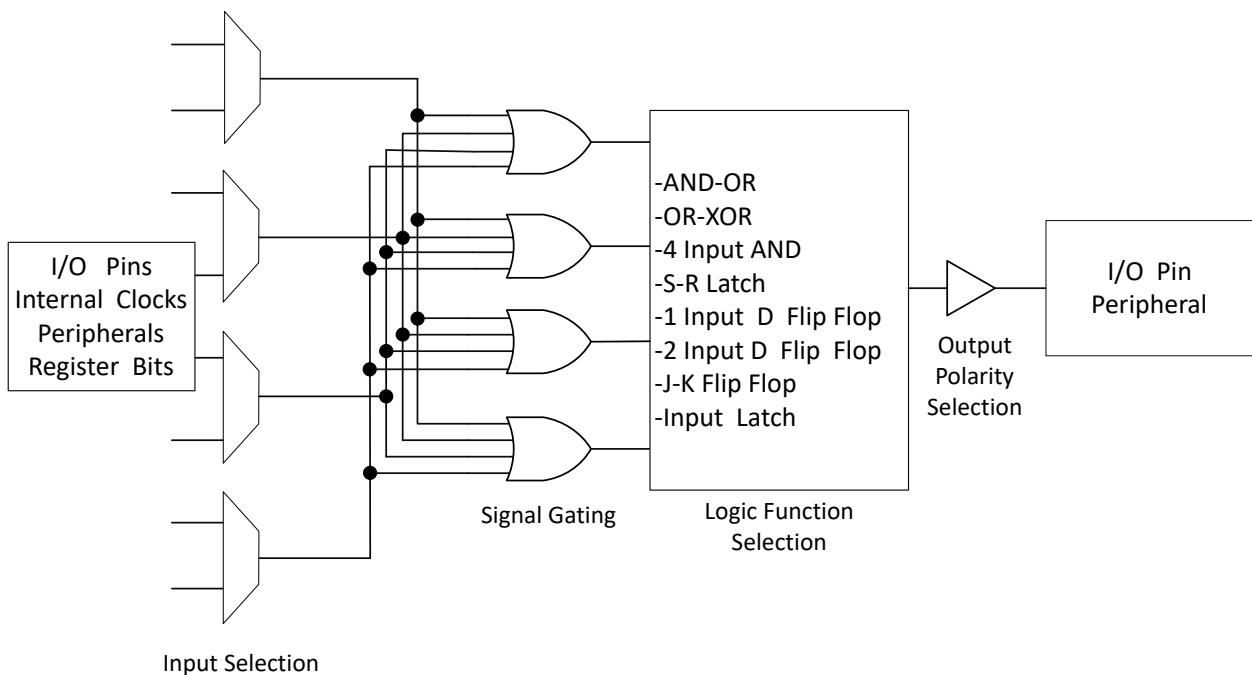
CLC 是一种用户可配置的外设，类似于可编程逻辑器件（Programmable Logic Device, PLD）。各种内部和外部信号都可以用作 CLC 的输入。来自其他外设或输入引脚的这些信号传送到 CLC 的指定组合和顺序逻辑。CLC 执行预期逻辑运算，并提供可传送到其他外设，或者可发送到 I/O 引脚以进行外部电路管理的输出。

### 1.1 特性

PIC 器件中的 CLC 支持多种输入和输出选择。通常，配置 CLC 涉及四个步骤。下面简要介绍了 CLC 外设的 4 级：

- **输入选择**  
CLC 可接收各种信号，例如输入引脚、内部时钟、其他外设的输出以及外设的事件（例如定时器输入）。
- **信号门控**  
可通过信号门控级将所选输入信号源定向到所需的逻辑功能。
- **逻辑功能选择**  
在 CLC 中，数据门控级的输出是逻辑功能选择级的输入。CLC 支持 AND-OR、OR-XOR、AND、SR 锁存器、D 触发器和 JK 触发器等逻辑功能。
- **输出极性选择**  
输出极性阶段用于选择逻辑输出的所需极性。

图 1-1. CLC 各级概览



有关更多详细信息，请参见具体器件数据手册。

### 1.2 优势

除了实现通用逻辑功能外，CLC 还可用于创建定制逻辑运算。单独的 CLC 中断触发信号允许在实时控制系统中实现许多可能的输入/输出信号组合。使用 CLC 的部分优势包括：

- CLC 可用作实现顺序和/或组合逻辑功能的独立外设，因此有助于实现快速事件触发和响应。
- CLC 支持更高级别的集成，无需任何外部组件，因此可减小 PCB 尺寸并降低系统成本。
- 与通过软件实现的逻辑功能相比，通过硬件实现的逻辑功能支持实时事件响应。
- CLC 与其他外设结合使用时允许基于硬件实现复杂的定制功能，进而扩展这些外设的功能。

- 由于 CLC 完全独立于内核，因此可有效降低任何应用对 CPU 带宽的需求，因为许多简单逻辑和事件响应都可从 CPU 卸载到外设。
- 由于不需要软件算法，因此 CLC 降低了闪存和 RAM 的需求。
- 作为真正的 CIP，CLC 可在掉电模式下用于任何逻辑或顺序运算，或用于创建 CPU 唤醒条件。

## 2. PIC18 Q10 系列中的 CLC

PIC18 Q10 系列的器件配备了八个可配置逻辑单元（CLC），这些单元提供了不受软件执行速度限制的可编程逻辑。每个逻辑单元最多可接收 64 个输入信号，并通过使用可配置门将 64 个输入缩减为 4 条驱动 8 种可选单输出逻辑功能之一的逻辑线。

CLC 输出可转向为许多外设或外部引脚的输入，以支持设计要求。此外，如果在应用中需要软件干预或快速做出决策，CLC 输出会产生可配置的上升沿和/或下降沿中断。这些中断也可用于为 MCU 唤醒创建复杂的条件。

CLC 模块可配置为组合逻辑或锁存器。可能的配置包括：

- **组合逻辑：**
  - AND
  - NAND
  - AND-OR
  - OR-XOR
- **锁存器：**
  - SR
  - 带置 1 和复位功能的时钟控制 D 型锁存器
  - 带置 1 和复位功能的透明 D 型锁存器
  - 带复位功能的时钟控制 J-K 型锁存器

### 3. 实时应用中的 CLC

对于实时应用，CLC 的通用性和简便性有助于扩展 PIC 单片机的功能。由于异步轮询的原因，很容易错过短时的应用信号。但是，CLC 可用于在输入上存储转换，可供 CPU 稍后进行检查。固件几乎无法实时监视两个信号并同时输出所有信号，因为执行这些操作至少需要一个时钟周期的延时。而 CLC 可用于实际的实时操作。

**实时应用示例：**

- 布尔表达式
- 时序电路
- 编码器和解码器
- 计数器
- 多路开关
- 在不引起中断的情况下进行实时数据捕捉
- 复杂波形生成（例如用于红外传输的 NEC 代码）
- 环形转换器
- 相位检测器
- 分频器
- 脉冲扩展器
- PWM 转向
- 信号阈值和保持电路
- 开关去抖

## 4. 应用 1：有限状态机

有限状态机（Finite State Machine, FSM）是一种逻辑单元或逻辑器件，用于存储给定时间的工作状态，并可执行状态转换以响应外部输入的变化。FSM 由其一系列状态、初始状态以及每次转换的条件定义。

简而言之，状态机可分为以下四个部分：

- 初始状态，或在某个位置存储某些内容的记录
- 一系列可能的输入事件
- 一系列可能因输入更改而引起的新状态
- 一系列由新状态引起的操作或输出事件

### 4.1 顺序逻辑电路

顺序逻辑是一种逻辑电路，其输出不仅取决于其输入信号的当前值，还取决于先前输入的顺序和输入历史。输入的前值保存在逻辑存储器件中。实际数字器件中的所有电路都是组合逻辑和顺序逻辑的混合。

### 4.2 案例研究——自动售货机

自动售货机是有限状态机相对简单但全面的一个示例。

假设自动售货机中每瓶/罐水或饮料的售价为 75 美分。

- 客户可向自动售货机中投入 1 枚 1 美元的硬币，也可投入多枚 25 美分的硬币。投入足够的钱后，自动售货机会分配一瓶/罐水或饮料。
  - 如果客户投入 1 枚 1 美元的硬币，自动售货机除了分配您购买的一瓶/罐水或饮料外，还会退回 1 枚 25 美分的硬币用于找零。
  - 如果客户投入 3 枚 25 美分的硬币，自动售货机只会分配一瓶/罐水或饮料。

- “收钱装置”检测钱何时投入自动售货机。

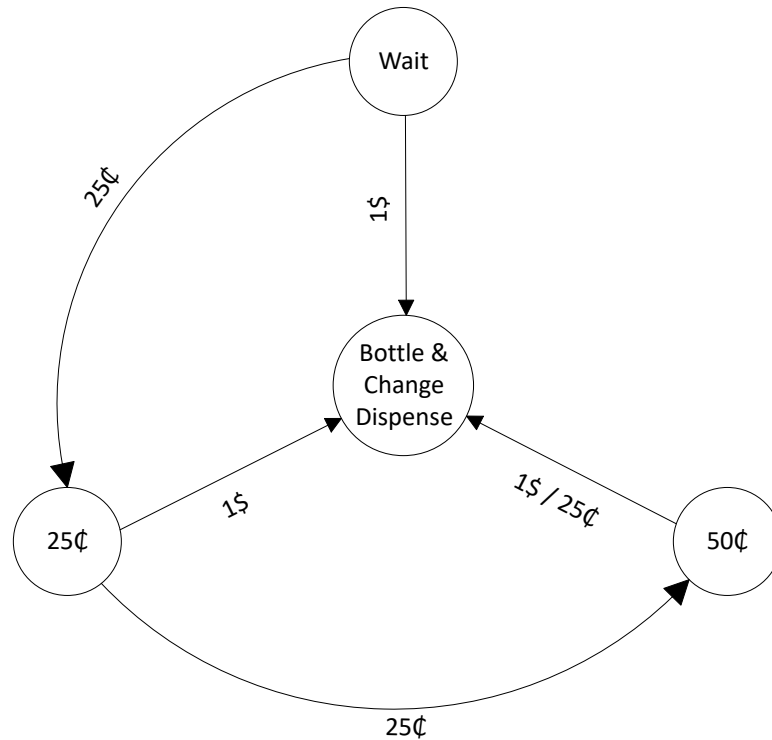
收钱装置向电路发送两个逻辑信号，指示是否投入了美元或美分。

- “瓶/罐分配器”系统装着许多瓶水/饮料，将在其输入信号置为有效时释放一瓶。
- “退币”系统装着多枚用于找零的 25 美分硬币，将在其输入信号置为有效时释放硬币。
- 自动售货机将根据投入的钱数正确找零：
  - 如果投入 1 枚 1 美元的硬币，则退回 1 枚 25 美分的硬币。
  - 如果投入 1 枚 25 美分的硬币后再投入 1 枚 1 美元的硬币，则退回 2 枚 25 美分的硬币。
  - 如果投入 2 枚 25 美分的硬币后再投入 1 枚 1 美元的硬币，则退回 3 枚 25 美分的硬币。

在上述所有情况下，瓶/罐分配器均释放一瓶或一罐。

- 当同时投入 1 枚 1 美元的硬币和 1 枚 25 美分的硬币时，系统还会生成错误条件。在出现错误时，所有硬币均退回并且不提供瓶装水/饮料。

图 4-1. 自动售货机状态图



#### 4.2.1 自动售货机——状态转换表和逻辑公式

每个状态图均可以转换表的形式进行解释。分解自动售货机示例可得到一个状态转换表，如表 4-1 所示。

表 4-1. 自动售货机的状态转换表

状态	输入				输出					
	当前状态		美元	25 美分	下一个状态		瓶	25 美分		误差
	A	B	C	D	P	Q	R	S	T	E
等待	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
等待	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
等待	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
等待	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1
25 美分	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
25 美分	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
25 美分	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0
25 美分	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1
50 美分	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
50 美分	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
50 美分	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0
50 美分	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1

使用 K-map 技术可以轻松地将此布尔表简化为每个输出的单独表达式，从而得出简单逻辑公式形式的结果。

求解下一个状态：

- $P = B C'D + A C'D'$



- $Q = A'B'C'D + B C'D'$

求解分配输出和错误状态：

- $R = C D' + A C'D$
- $S = B C D' + A C D'$
- $T = B'C D'$
- $E = C D$

除了这些逻辑运算外，可以发现，要计算下一个状态和分配信号，还需要上一个状态。因此，可使用基于 D 型触发器的锁存器的顺序电路保存上一个状态。

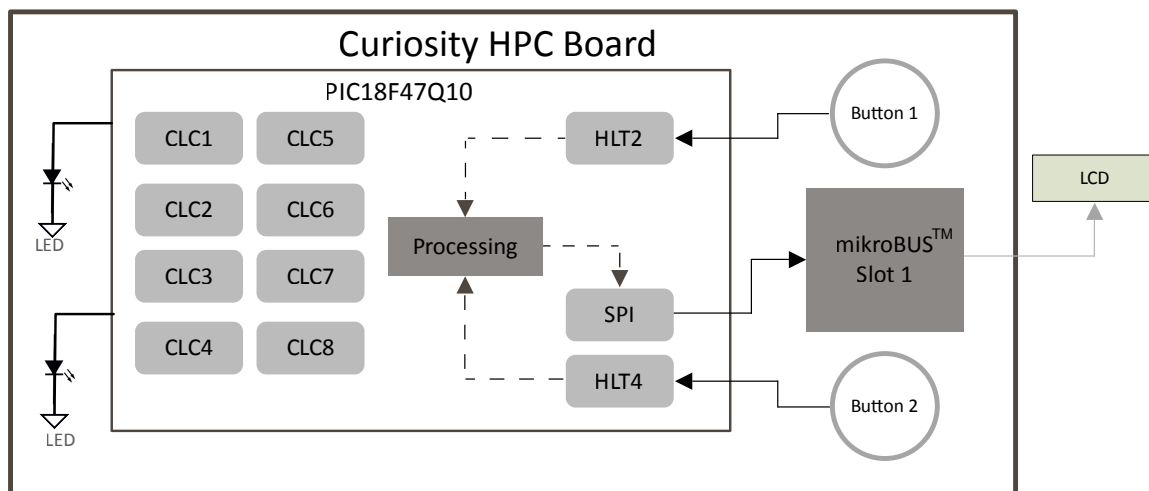
- $A = (P)$  的上一个状态
- $B = (Q)$  的上一个状态

#### 4.2.2 使用 Curiosity HPC 的自动售货机示例

Curiosity HPC 是一款从头开始设计的全集成 8 位开发平台，可充分利用 Microchip 的 MPLAB® X 开发环境。

Curiosity HPC 集成了编程器/调试器，无需额外硬件便可开始使用。它支持具有低电压编程功能的 28 引脚或 40 引脚 8 位 PIC 单片机。开发板上带有两个按钮、四个 LED 和两个 mikroBUS™ 连接器，能够为演示自动售货机示例提供理想的平台。

图 4-2. 使用 Curiosity HPC 开发板的自动售货机



### 4.2.3 应用概述

应用的总体思路是使用 CLC 实现所有逻辑计算。根据 4.2.1 自动售货机——状态转换表和逻辑公式得出的所有逻辑表达式均可使用 CLC 执行。将 CLC 设置为各种门配置后，便可使用 CLC 获得所需的逻辑表达式。

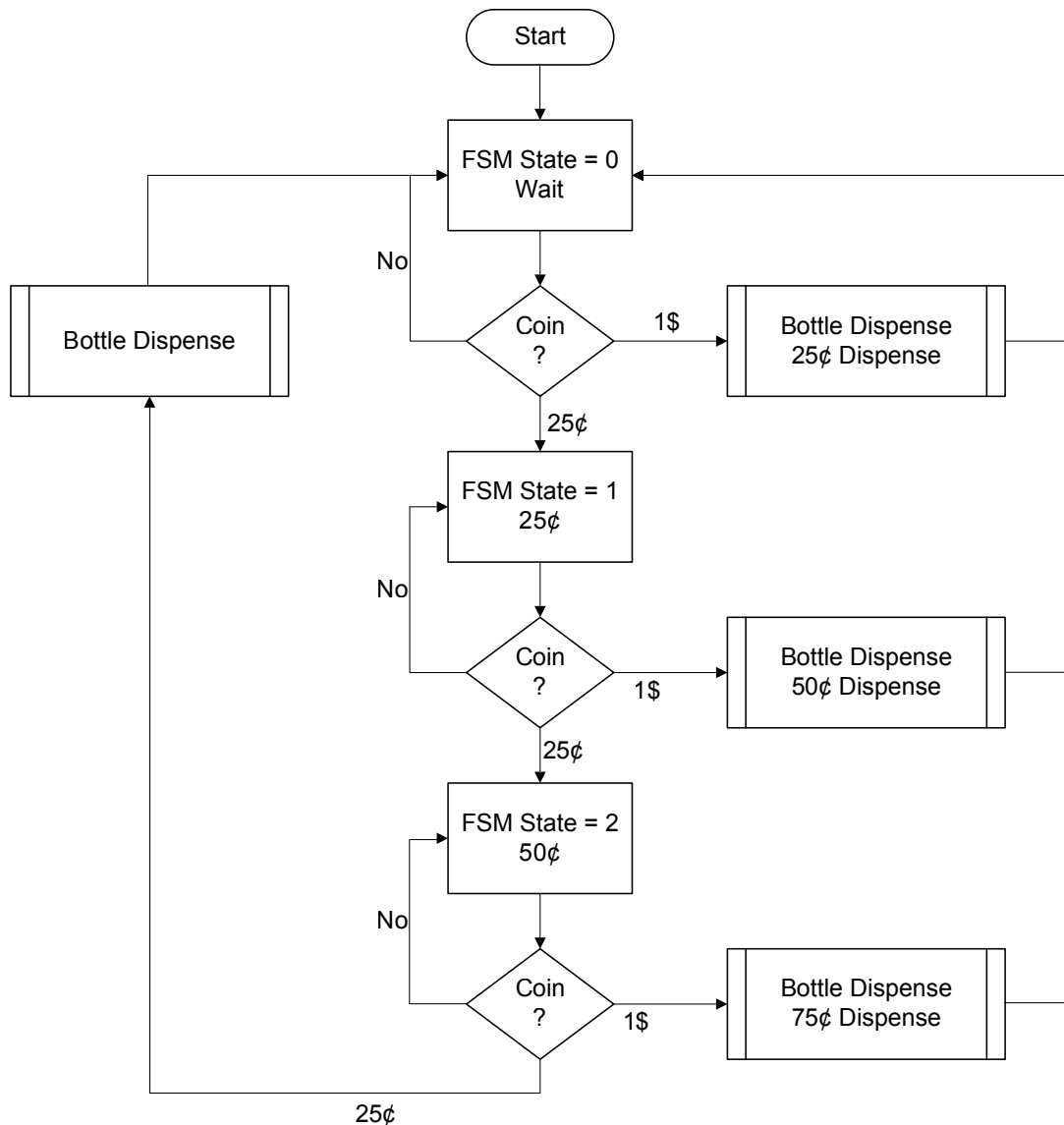
所需的输入为美元、25 美分和当前状态，而输出为下一个状态、瓶分配和零钱。要使用 Curiosity HPC 开发板实现自动售货机，需要使用某种模拟来创建完整的应用环境。因此，为进行演示，将分别使用开发板上的按钮 S2 和 S1 来模拟美元和 25 美分输入。

为进行开关去抖，在单稳态模式下为每个开关使用定时器 TMR2 和 TMR4。这些定时器将在每次按下开关时产生一个持续所编程时间的低电平脉冲。由于该脉冲具有低电平有效极性，每次按下开关均会得到逻辑 0，因此需要在输入到 CLC 之前将其反相。使用 CLC 的输入极性选择功能，可以轻松实现这一目的。

同样，为了指示瓶和零钱分配输出，将使用板上 LED。LED D5 用于指示瓶分配，而 LED D4、D3 和 D2 用于指示每个 25 美分输出。最多可释放 3 个 25 美分硬币，具体取决于收到的钱数。该输出由相应 CLC 输出的 CLC 中断触发，此时对应的 LED 点亮。LED 的点亮时间由专用定时器 TMR5 控制。当 LED 点亮时，定时器模块也将启动，这将在 3 秒后产生一个中断。该中断用于熄灭 LED 并再次停止 TMR5。

FSM 状态和分配消息会相应地显示在 LCD 上（与系统状态和分配输出同步）。来自 MikroElektronika 的 LCD mini click 用作显示单元，由 MPLAB<sup>®</sup> 代码配置器（MPLAB Code Configurator, MCC）提供支持。MCC 生成 LCD 所需的所有驱动程序文件，并且显示程序在应用程序级别实现。在经过用户设置的一段不活动时间后，控制器进入空闲模式并且 LCD 背光熄灭，以降低功耗。系统会在发生任何开关按下事件时自动唤醒，这是通过使用开关的定时器输出中断实现的。还可使用同一中断清除用户不活动超时。图 4-3 给出了自动售货机应用流程图的概览。

图 4-3. 自动售货机应用流程图



#### 4.2.4 硬件设置

Curiosity HPC (图 4-4) 与 PIC18F47Q10 单片机配合使用来演示自动售货机示例。自动售货机演示还使用一个可选的 LCD 显示屏来显示 FSM 状态和分配消息，因此将使用 MikroElektronika 的 LCD mini click (MIKROE-2453) (图 4-5)。LCD click 与 mikroBUS 槽 1 配合使用。

图 4-4. Curiosity HPC 开发板

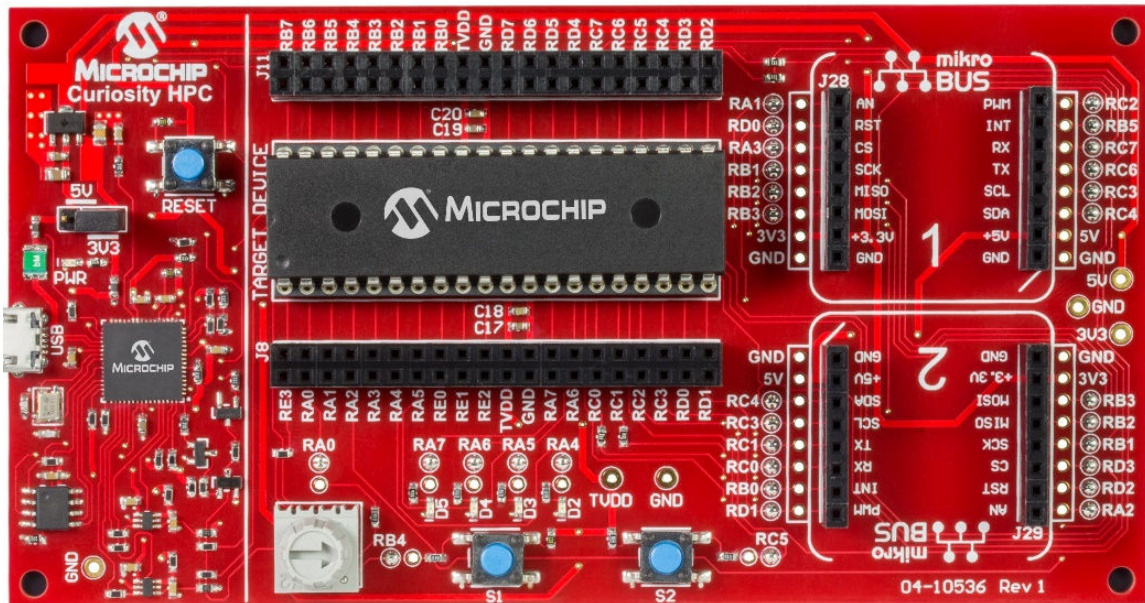


图 4-5. LCD Mini Click



#### 4.2.5 引脚映射

如 4.2.3 应用概述所述，演示需要两个开关（用于模拟美元和 25 美分面值的投币情况）、四个 LED（用于模拟瓶/罐和找零硬币的分配输出）以及一个 LCD 显示屏。表 4-2 列出了 PIC18 Q10 MCU 及其所连接模块（用于实现所需的所有外设）的引脚配置。

表 4-2. 自动售货机的引脚详细信息

引脚功能	引脚名称	引脚类型	用途
LCD CS	RA3	数字输出	LCD I/O
LCD CS2	RA1	数字输出	LCD I/O
LCD 复位	RD0	数字输出	LCD I/O
LCD BL	RC2	数字输出	LCD I/O
LCD SDI	RB2	数字输入	LCD SPI
LCD SDO	RB3	数字输出	LCD SPI
LCD SCK	RB1	数字输出	LCD SPI
瓶 LED	RA7	数字输出	I/O
零钱 1 LED	RA4	数字输出	I/O
零钱 2 LED	RA5	数字输出	I/O
零钱 3 LED	RA6	数字输出	I/O
美元开关	RB4	数字输入	TMR4 输入
25 美分开关	RC5	数字输入	TMR2 输入

#### 4.2.6 软件工具

在整个应用固件开发过程中使用 Microchip 的 MPLAB X IDE、编译器和图形代码生成器，以提供轻松无忧的用户体验。下面是用于本演示应用的工具：

- MPLAB X IDE v5.20
- XC8 编译器 v2.05
- MPLAB 代码配置器（MCC）v3.75



**重要：** 为了运行演示，应当安装相同或更高版本的工具。本示例未使用以前的版本进行测试。

#### 4.2.7 MCC 配置

MPLAB®代码配置器（MCC）是一种图形编程环境，可生成简单易懂的无缝 C 语言代码，为项目提供良好的开端，从而节省设计人员初始化和配置所有模块以及浏览数据手册的时间。它采用直观界面，可针对应用要求来使能和配置所有外设及功能。有关更多详细信息，请访问 <http://www.microchip.com/mplab/mplab-code-configurator>。

本演示使用 MCC 生成初始化和外设配置代码：

- 时钟设置的系统配置
- 逻辑表达式的 CLC 配置
- 开关去抖和 LED 点亮延时的定时器配置
- LCD mini click SPI 配置和相应的代码生成

下文详细说明了这些配置步骤：

- **系统配置**  
系统时钟采用 1 MHz，由 HFINTOSC 生成。禁止看门狗定时器。

图 4-6. 通过 MCC 进行系统配置

**System Module**

Easy Setup Registers

INTERNAL OSCILLATOR

Current System clock 1 MHz

Oscillator Select HFINTOSC

External Clock Select Oscillator not enabled

HF Internal Clock 1\_MHz →PLL Capable Frequency

External Clock 32.768 kHz

Clock Divider 1

WWDT

Watchdog Timer Enable WDT Disabled

Clock

Clock Source Software Control

Window Open Time window always open (100%); software control; keyed access not required

Time-out Period Divider ratio 1:65536; software control of WDTPS

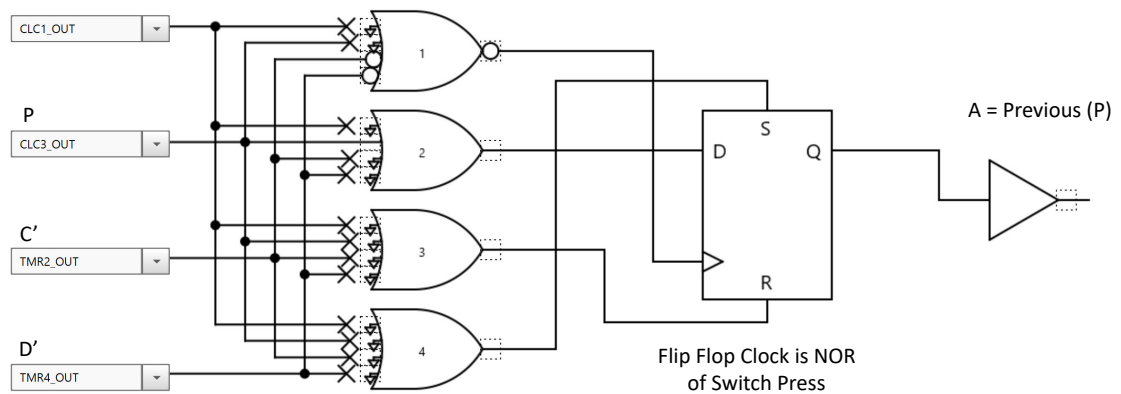
- CLC 配置

CLC 配置为获取每个变量的逻辑表达式，并为 MCU 生成唤醒信号。使用 CLC 对 4.2.1 自动售货机——状态转换表和逻辑公式所述的公式进行逻辑配置。表 4-3 列出了对 OR 的 AND（和的乘积）格式进行重新排列后的公式，这些公式将通过 CLC 实现。

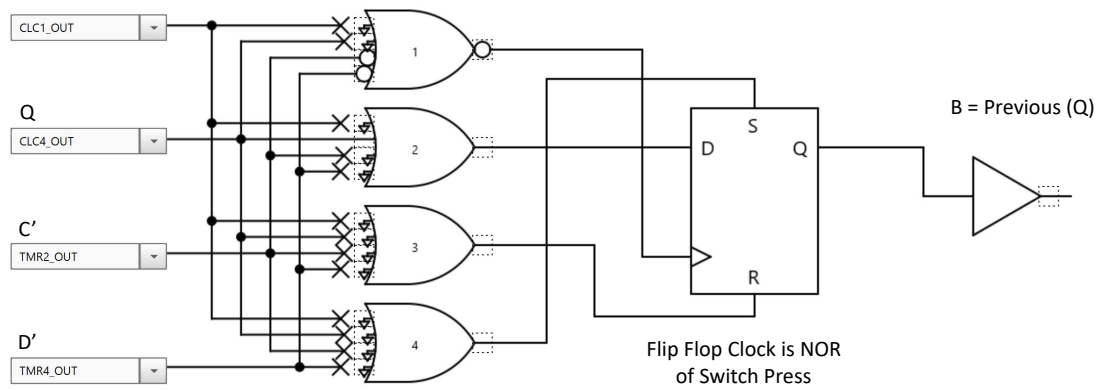
表 4-3. CLC 设置

序号	参考	逻辑表达式	功能	外设
1	A	上一个 (P)	当前状态 MSB	CLC 1
2	B	上一个 (Q)	当前状态 LSB	CLC 2
3	C	Timer 2 输出反相	美元输入	TMR 2
4	D	Timer 4 输出反相	25 美分输入	TMR 4
5	P	$[(B' + C + D') (A' + C + D)]'$	下一个状态 MSB	CLC 3
6	Q	$[(A + B + C + D') (B' + C + D)]'$	下一个状态 LSB	CLC 4
7	R	$[(C' + D) (A' + C + D)]'$	瓶输出	CLC 5
8	S	$[(B' + C' + D) (A' + C' + D)]'$	零钱输出 MSB	CLC 6
9	T	$B' C D'$	零钱输出 LSB	CLC 7
10	E	$C D$	错误状态	CLC 8

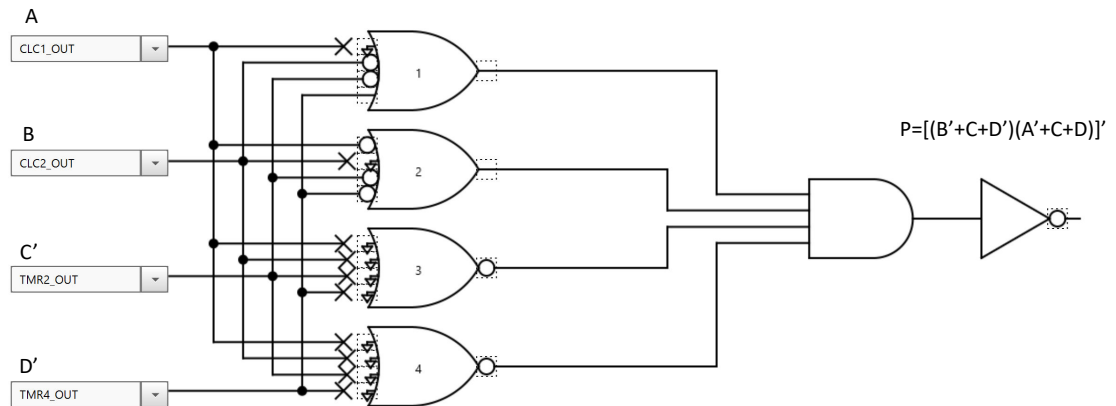
## a) CLC1: 1 输入 D 型触发器



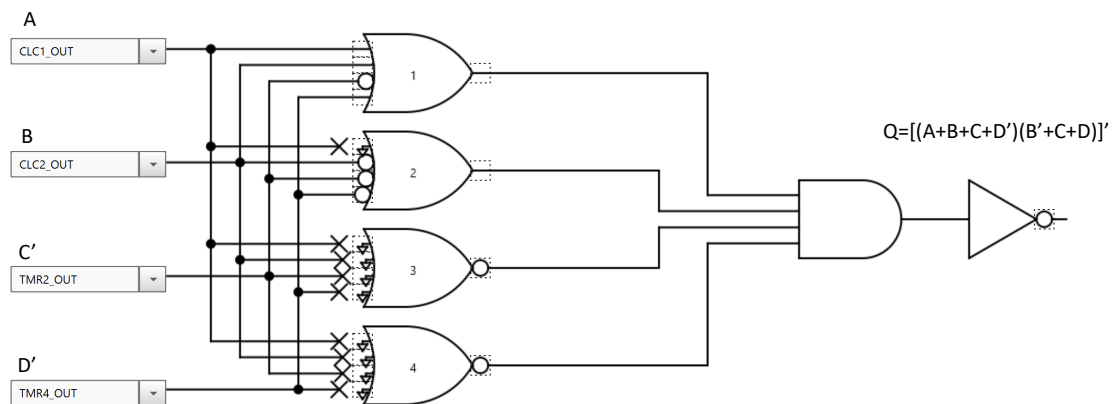
### b) CLC2: 1 输入 D 型触发器



### c) CLC3: 4 输入 AND

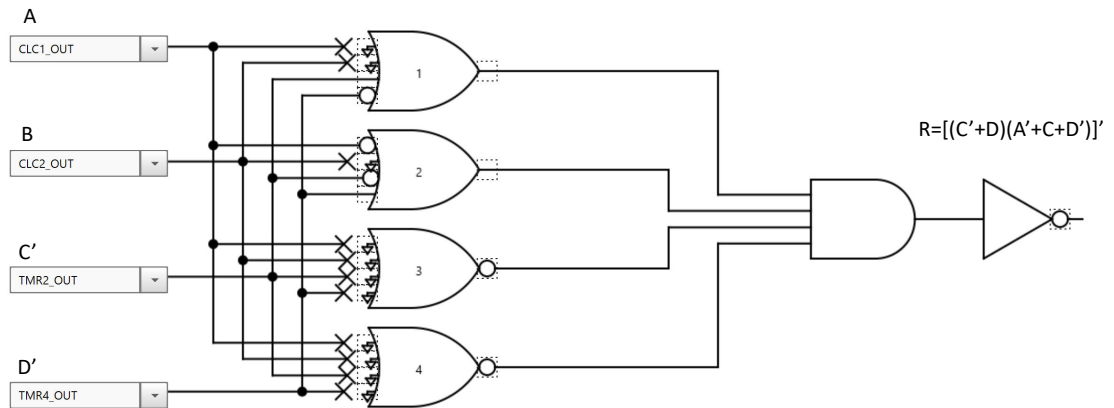


### d) CLC4: 4 输入 NAND

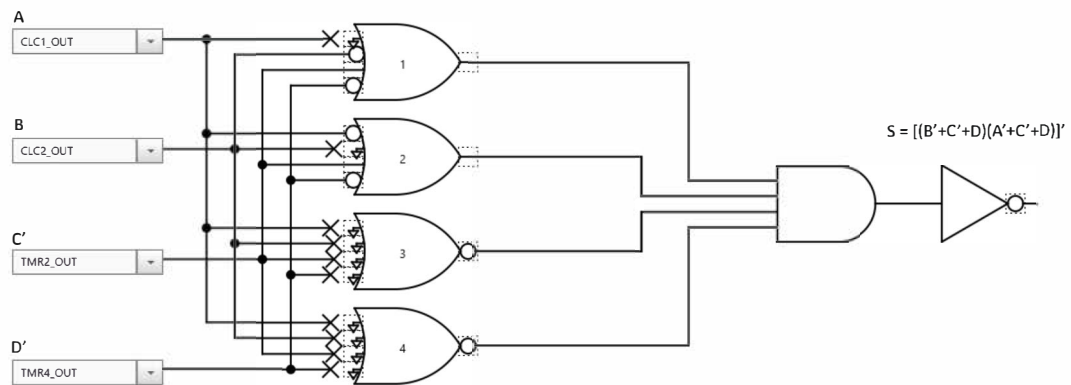




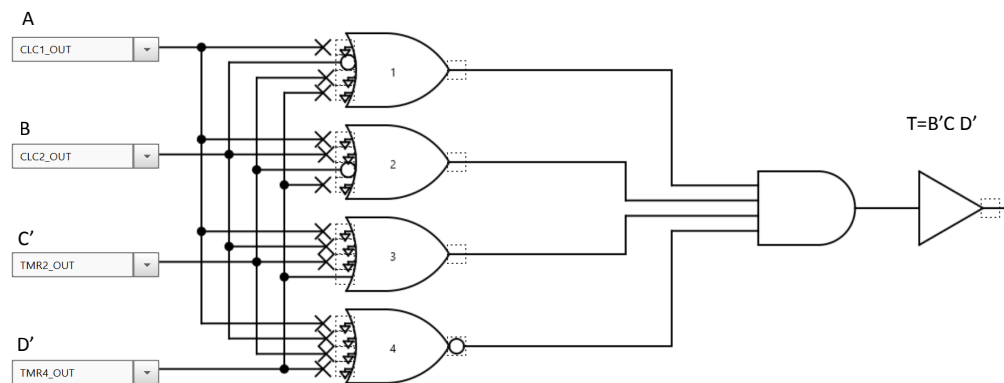
e) CLC5: 4 输入 AND, CLC 中断允许 (上升沿)



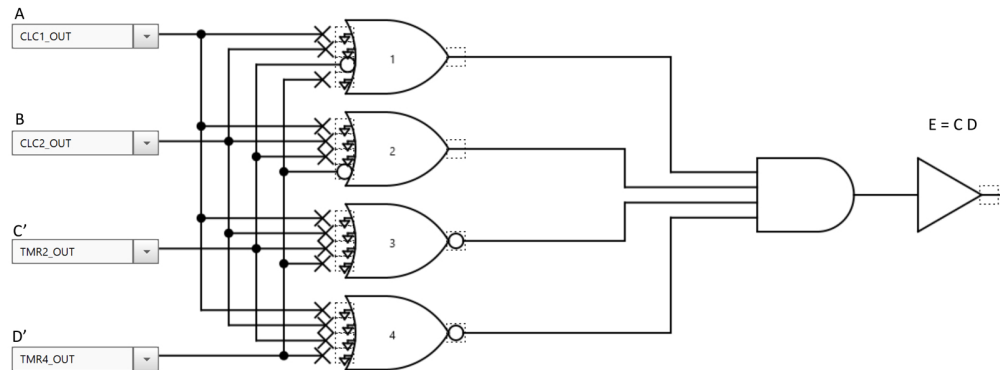
f) CLC6: 4 输入 AND, CLC 中断允许 (上升沿)



g) CLC7: 4 输入 AND, CLC 中断允许 (上升沿)



h) CLC8: 4 输入 AND, CLC 中断允许 (上升沿)



- **定时器配置**

如 [4.2.3 应用概述](#) 所述，在单稳态模式下使用 TMR2 和 TMR4 进行开关去抖，为去抖编程了 250 ms 的时间。定时器在开关释放事件的上升沿触发。定时器时钟设置为仅获取所需的定时器周期，不必与本应用中的设置相同。定时器输出直接馈入 CLC，但允许定时器中断以从休眠模式唤醒。

图 4-7. TMR2 和 TMR4 MCC 配置

## TMR2

**Hardware Settings**

Enable Timer

Control Mode: Monostable

Ext Reset Source: T2CKIPPS pin

Start/Reset Option: Starts on rising edge on TMR2\_ers

**Timer Clock**

Clock Source: LFINTOSC  Enable Clock Sync

Clock Frequency: 32.768 kHz

Polarity: Rising Edge

Prescaler: 1:128  Enable Prescaler O/P Sync

Postscaler: 1:1

**Timer Period**

Timer Period: 4.129032 ms ≤ 250 ms ≤ 1.057032258 s

Actual Period: 251.870968 ms (Period calculated via Timer Period)

**Software Settings**

Enable Timer Interrupt

Callback Function Rate: 0x0 x Time Period = 0 s

对于两个开关按下操作，TMR2 和 TMR4 的配置类似。通过引脚管理器工具选择定时器复位源。根据 Curiosity HPC 开发板开关连接分别为 T2CKIPPS 和 T4CKIPPS 配置引脚 RC5 和 RB4。

为实现 LED 延时，TMR5 配置为单触发模式以提供三秒的延时。定时器仅初始化而不使能。需要延时时，将在固件中启动 TMR5。允许 TMR5 的中断以通过软件控制来熄灭 LED。

图 4-8. TMR5 MCC 配置

- LCD 配置

MCC 支持各种 click 板，包括 **LCD mini click**。惟一需要完成的配置是选择 SPI 源、引脚和 SPI 速度。mikroBUS 槽 1 用于通过在引脚管理器中选择相应的引脚来配置 Curiosity HPC 开发板的 LCD。

有关引脚配置的信息，请参见图 4-9；有关引脚详细信息，请参见表 4-2。

图 4-9. 模块的引脚配置

Pin Module

Easy Setup Registers

Selected Package : UQFN40

Pin Name	Module	Function	Custom Name	Start High	Analog	Output
RA1	LCDMini	nCS2	LCDMini_nCS2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
RA3	LCDMini	nCS	LCDMini_nCS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
RA4	Pin Module	GPIO	CHANGE1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
RA5	Pin Module	GPIO	CHANGE2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
RA6	Pin Module	GPIO	CHANGE3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
RA7	Pin Module	GPIO	BOTTLE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
RB1	MSSP1	SCK1	SCK1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
RB2	MSSP1	SDI1	SDI1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RB3	MSSP1	SDO1	SDO1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
RB4	TMR4	T4IN		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RC2	Pin Module	GPIO	LCD_BL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
RC5	TMR2	T2IN		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RD0	LCDMini	nRESET	LCDMini_nRESET	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

#### 4.2.8 固件概述

自动售货机演示固件由最少的应用程序代码组成，这是因为大多数操作活动均由 CLC 和定时器等 CIP 执行。应用程序代码由 LCD 显示屏和休眠模式代码片段组成。

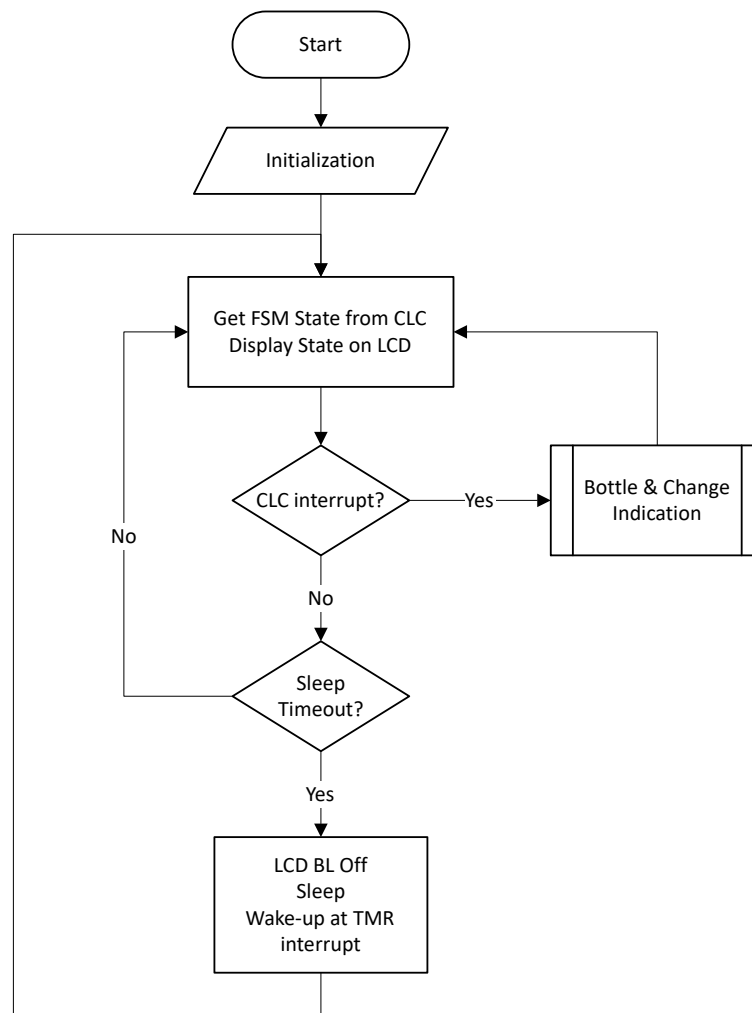
从 CLC 输出中获取瓶和零钱输出，并将相应的代码写入 CLC 中断中。每当 CLC 输出变为高电平时，相应的 LED 就会点亮，TMR5 也会启动，并且将在三秒钟后发出通知来熄灭 LED。此延时也可用于 LCD 显示间隔。因此，使用标志指示用于 LCD 显示功能的分配状态。如果系统处于分配状态，则 LCD 上显示分配消息，否则显示当前的 FSM 状态消息。发生错误时，使用 CLC8 中断设置 *invalidFlag* 状态。该标志在应用程序固件显示程序中使用，可显示由同时激活 25 美分信号和美元信号引起的错误。

为了获得瓶和零钱分配的 CLC 输出，需要允许相应 CLC 的中断。同样，需要允许 TMR5 的中断来熄灭 LED 并清零分配标志定时器。

该应用程序还会持续监视用户不活动时间。每次按下开关都会产生一个中断，该中断用于清零不活动时间计数器并唤醒 MCU。如果 60 秒内未按下任何开关，则在 LED 背光熄灭后，系统将进入休眠模式。为了使 CLC 在 CPU 处于休眠模式时保持运行，IDLE 位需设置为高电平。

**注：**60 秒延时是通过在 while 循环中使用计数器实现的，因此这是一个近似值，将在程序发生任何更改时变化。

图 4-10. 自动售货机固件应用程序流程



#### 4.2.9 存储器要求

表 4-4 列出了自动售货机应用的 PIC18F47Q10 MCU 的工作条件和外设配置。表 4-5 列出了自动售货机应用程序固件的存储器要求，MCU 以 1 MHz 的 CPU 时钟运行，并且支持无优化级别和最高编译器优化级别。

表 4-4. 自动售货机的外设配置

MCU	PIC18F47Q10
工作电压	3.3V
工作频率	1 MHz
CPU 时钟配置	1 MHz 内部振荡器 HFINTOSC 的时钟分频比配置为 1
使能的外设	CLC、SPI、TMR2、TMR4 和 TMR5
SPI 配置	MSSP1 配置为 125 kHz，SPI 用于 miniLCD 接口
CLC 配置	配置 CLC1、CLC2、CLC3、CLC4、CLC5、CLC6、CLC7 和 CLC8 以实现自动售货机逻辑
TMR2 和 TMR4	使用 LFINTOSC 时钟为单稳态模式提供 250 ms 延时周期，触发源为 SW1 和 SW2
TMR5	单触发模式下为 3s 延时

表 4-5. 自动售货机固件资源使用情况

参数	优化级别	
	无 (0)	最高 (S)
数据存储	173 字节	91 字节
程序存储器	4096 字节	3196 字节

### 4.3 有限状态机演示

使用 PIC 单片机的 CLC 模块实现自动售货机可得出有关固件简化特性的结论。将 CLC 用于基于逻辑和顺序表达式的应用是基本、明确且一致的做法。

## 5. 应用 2：编码器和解码器

在计算中，通常需要将数据从一种格式转换为另一种格式。为此，许多应用中都需要使用编码器和解码器。

### 5.1 编码器

编码是指将数据从标准或原始格式转换为任何其他格式；使用编码器的目的多种多样，包括数据的标准化、速度、保密性、安全性和/或压缩等。

示例：

- 旋转编码器
- 线性编码器
- 多路开关
- 格雷码编码器等

### 5.2 解码器

解码是将任何编码数据转换回原始数据格式的过程。解码器可采用多输入多输出的逻辑电路形式，这种电路可将编码的输入转换为解码的输出。

示例：

- 旋转解码器
- 二进制解码器
- 多路分离器
- 格雷码解码器等

### 5.3 案例研究——格雷码解码器

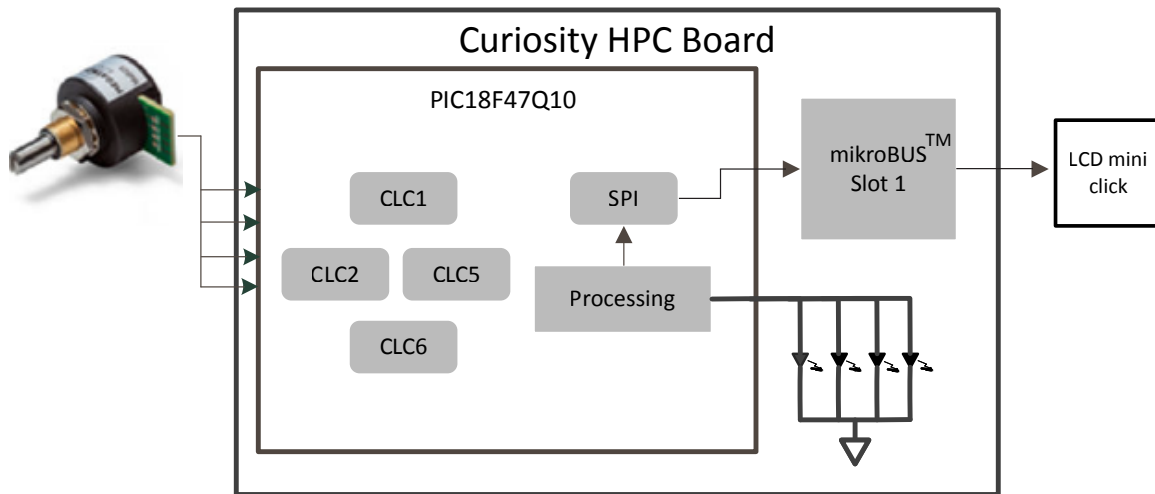
格雷码是二进制数制的一种排序方法，两个连续的值只有一位不同。更正式地说，格雷码是一种分配给一组连续整数中的每一个整数或一个循环列表中的每一个成员的代码，它是一种由符号组成的字：没有两个代码字完全相同，并且两个相邻的代码字都只有一个符号不同。这些代码也称为单距离代码，反映相邻代码之间的汉明距离为 1

格雷码在许多应用中使用，例如位置编码器、数学难题、遗传算法、布尔电路最小化、纠错、时钟域之间的通信以及以最小工作量遍历状态等。

为了在数字计算系统中使用以格雷码运行的器件，经常需要将数据解码为二进制，因为数学和逻辑计算不起作用。因此，此类应用需要使用格雷码解码器。

软件和硬件均可实现格雷码解码器。与软件功能不同，硬件实现不受任何限制，例如输入检测延时、非实时输入检测和耗时。

图 5-1. 使用 Curiosity HPC 开发板的格雷码解码器



### 5.3.1 格雷码解码器——使用逻辑门的逻辑设计

作为纯逻辑电路，格雷码解码器只需使用逻辑门即可实现。表 5-1 列出了解码器的逻辑实现。

表 5-1. 相应二进制代码的 4 位格雷码表示

格雷码	二进制	十进制
0000	0000	0
0001	0001	1
0011	0010	2
0010	0011	3
0110	0100	4
0111	0101	5
0101	0110	6
0100	0111	7
1100	1000	8
1101	1001	9
1111	1010	10
1110	1011	11
1010	1100	12
1011	1101	13
1001	1110	14
1000	1111	15

通过研究真值表，我们可以在将数据从格雷码转换为二进制时得出以下几点结论：

- 格雷码数的最高有效位始终与二进制数的最高有效位相同。
- 要导出连续的第二位，需要对二进制码的最高有效位和给定格雷码的第二位执行异或运算。



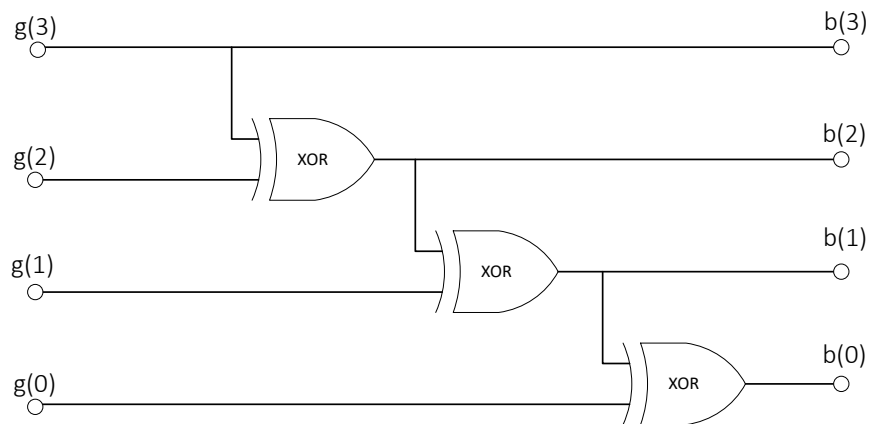
- 要导出连续的第三个二进制位，需要对二进制数的第二个最高有效位和格雷码的第三个最高有效位执行异或运算，并为接下来的连续二进制位的转换执行相同的运算以确定等效的二进制码。

此外，还可以使用卡诺图（K-map）或其他方法求解布尔表达式的输出，以得出相似的结论。格雷码解码器得出的逻辑表达式如下：

- $b(3) = g(3)$
- $b(2) = g(3) \oplus g(2)$
- $b(1) = b(2) \oplus g(1)$
- $b(0) = b(1) \oplus g(0)$

现在可使用图 5-2 所示的逻辑门来表示这些公式。

图 5-2. 解码器逻辑图



### 5.3.2 使用 Curiosity HPC 的格雷码解码器示例

Curiosity HPC 是一个用于探究 8 位 PIC 单片机的全集成 8 位开发平台。有关 Curiosity HPC 板的更多详细信息，请参见 4.2.2 使用 Curiosity HPC 的自动售货机示例。

### 5.3.3 应用概述

在本应用演示中，格雷码解码器是使用 8 位 PIC 单片机的 CLC 实现的。在 GPIO 引脚上获取 4 位格雷码输入，然后将其馈入 CLC。CLC 将执行逻辑运算并生成解码的输出。

为进行演示，将使用来自 Grayhill 的 4 位旋转编码器（见图 5-3）生成格雷码。编码器的输出用作基于 CLC 的解码器的输入。

图 5-3. 旋转格雷码编码器

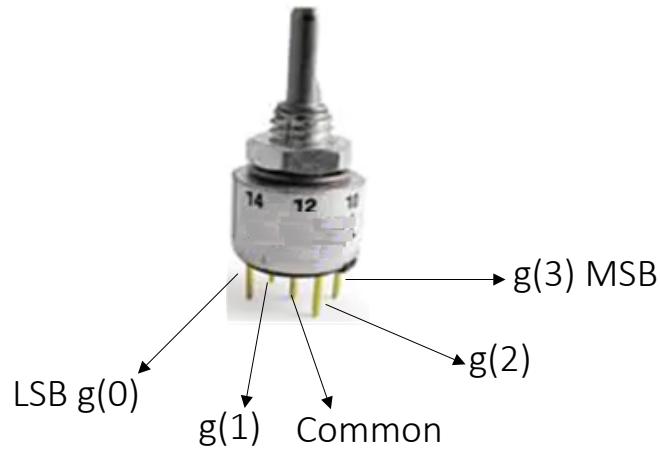
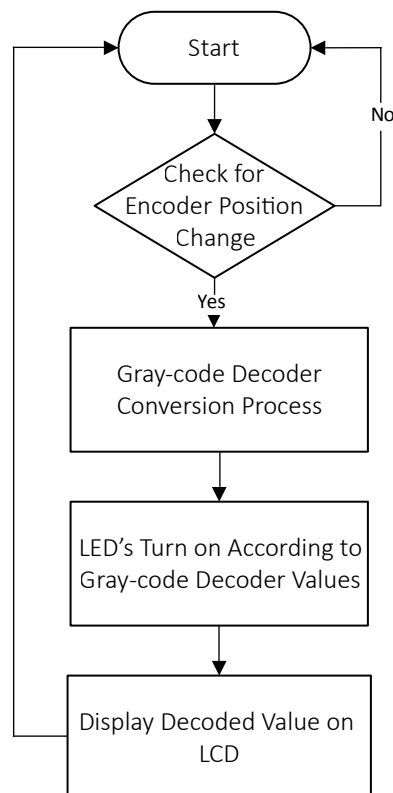


图 5-2 显示了一个基于逻辑门的设计，它使用通过 MCC 工具配置的 CLC 来实现。CLC 将对编码的输入值执行逻辑运算，并给出解码的二进制输出。每个 CLC 的输出连接到四个板上 LED，并由固件中读取以在 LCD 上显示。

MikroElektronika LCD mini click board™ 用于以格雷码的十进制值形式显示解码值，并以度为单位显示相应的旋转编码器位置。

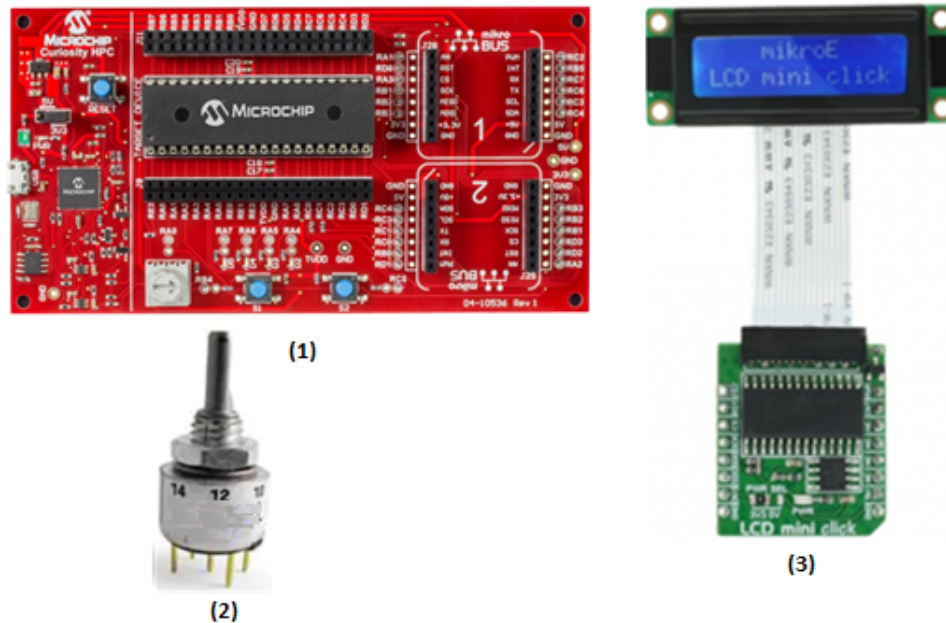
图 5-4. 格雷码解码器应用流程



### 5.3.4 硬件设置

Curiosity HPC (1) 与 PIC18F47Q10 单片机配合使用来演示格雷码解码器应用。如应用概述中所述，格雷码解码器应用需要一个格雷码旋转编码器 (2) 和一个 LCD 显示屏，以使用 MikroElektronika 的 LCD mini click (3) 显示解码值。

图 5-5. 硬件设置



1. Curiosity HPC 开发板 2. Grayhill 旋转编码器 3. LCD mini click

### 5.3.5 引脚映射

在“硬件设置”部分中，旋转编码器的输出作为输入连接到格雷码解码器，解码器的十进制输出使用 LED 和 LCD 显示。表 5-2 列出了格雷码解码器的 PIC18 Q10 MCU 的引脚映射。

表 5-2. 格雷码解码器引脚映射

引脚功能	引脚名称	引脚类型	使用的模块
解码器输入 g (0)	RC0	数字输入	I/O
解码器输入 g (1)	RC1	数字输入	I/O
解码器输入 g (2)	RD2	数字输入	I/O
解码器输入 g (3)	RD3	数字输入	I/O
LCD CS	RA3	数字输出	LCD I/O
LCD CS2	RA1	数字输出	LCD I/O
LCD 复位	RD0	数字输出	LCD I/O
LCD BL	RC2	数字输出	LCD I/O
LCD SDI	RB2	数字输入	LCD SPI
LCD SCK	RB1	数字输出	LCD SPI
解码器输出 b (0)	RA7	数字输出	I/O
解码器输出 b (1)	RA6	数字输出	I/O

..... (续)			
引脚功能	引脚名称	引脚类型	使用的模块
解码器输出 b (2)	RA5	数字输出	I/O
解码器输出 b (3)	RA4	数字输出	I/O

### 5.3.6 软件工具

在整个应用固件开发过程中使用 Microchip 的 MPLAB X IDE、编译器和图形代码生成器，以提供轻松无忧的用户体验。下面是用于本演示应用的工具：

- MPLAB X IDE v5.20
- XC8 编译器 v2.05
- MPLAB 代码配置器 (MCC) v3.75



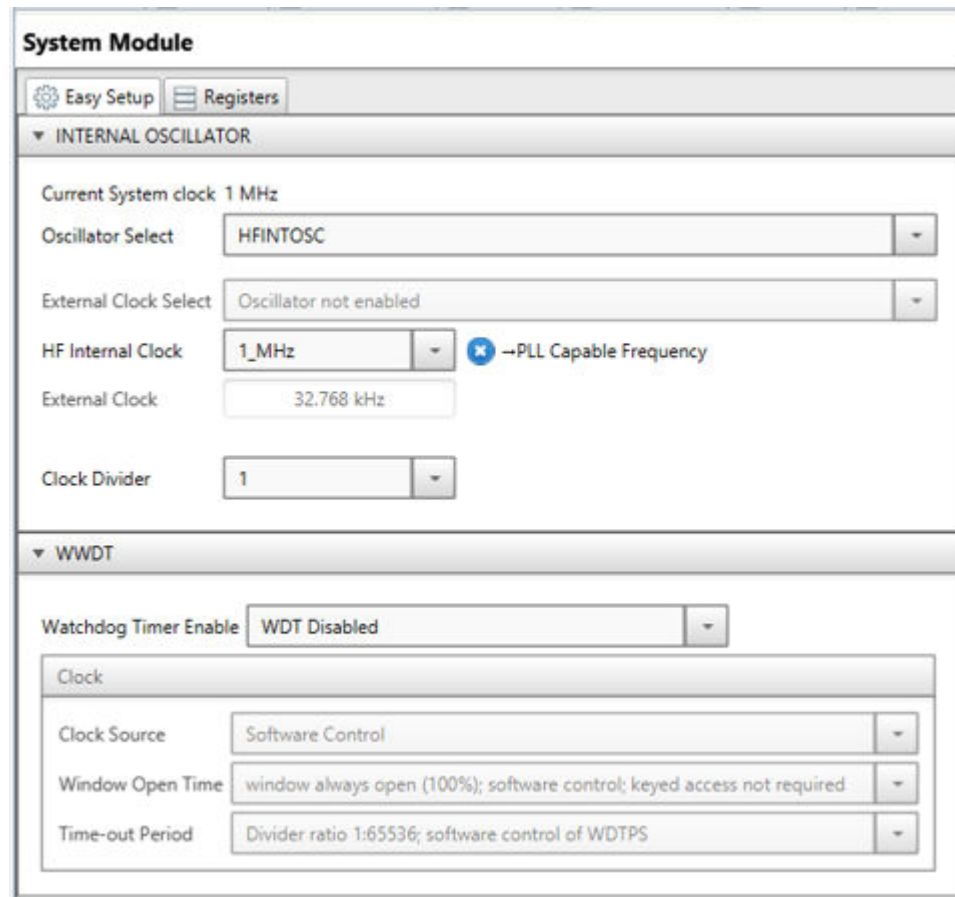
**重要：** 为了运行演示，应当安装相同或更高版本的工具。本示例未使用以前的版本进行测试。

### 5.3.7 MCC 配置

- **系统配置**

MCC 中的系统配置用于单片机振荡器配置、PLL、看门狗定时器和低电压编程设置。在本应用中，时钟分频比为 1 的 1 MHz 振荡器用作系统时钟，并且禁止看门狗定时器。图 5-6 给出了 MCC 工具中的系统配置设置。

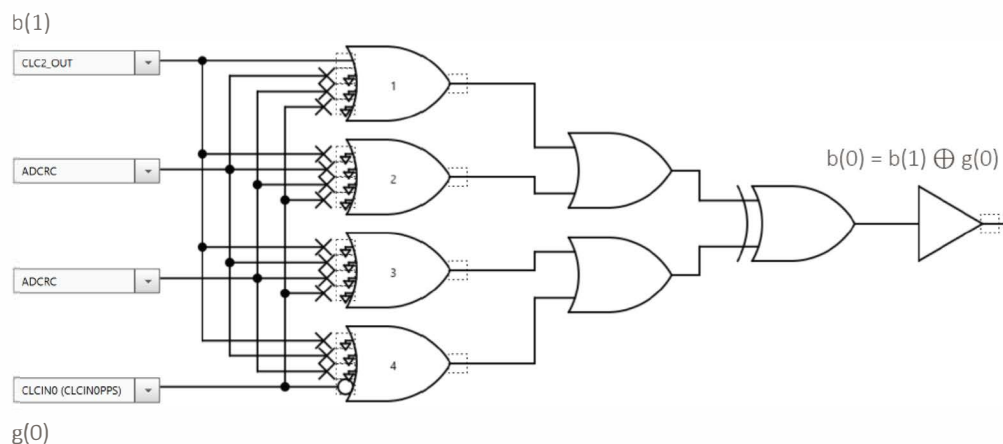
图 5-6. 系统配置



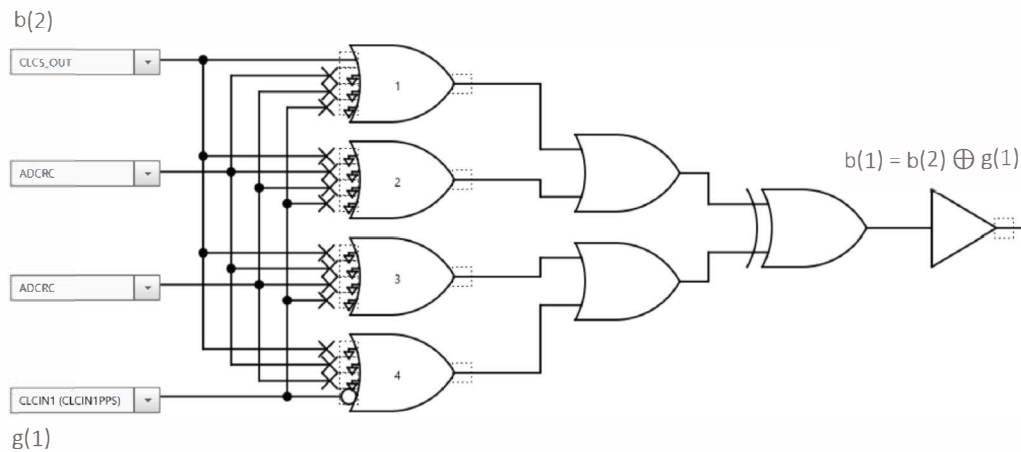
- **CLC 配置**

可配置逻辑单元（CLC）用于通过执行 [5.3.1 格雷码解码器——使用逻辑门的逻辑设计](#) 所述的布尔表达式来解码编码的格雷码值。后续步骤介绍如何使用 MCC 工具为 PIC 器件配置 CLC。

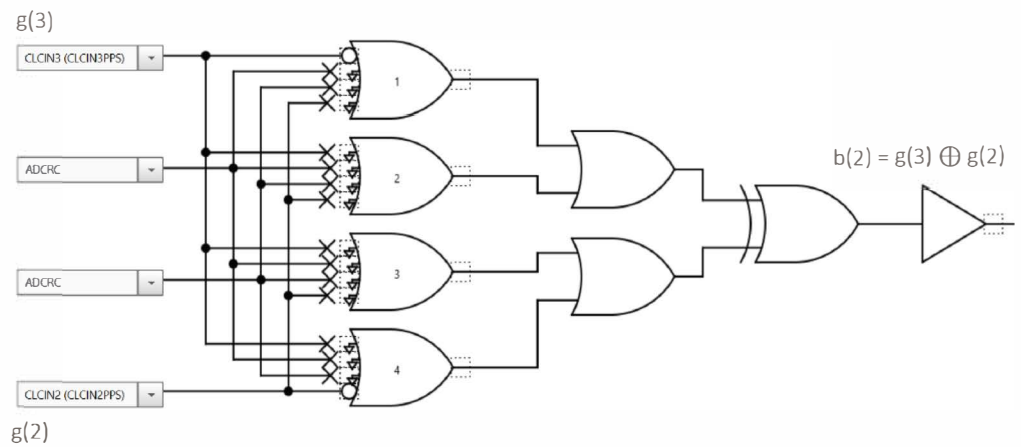
- a) **CLC 1: OR-XOR**



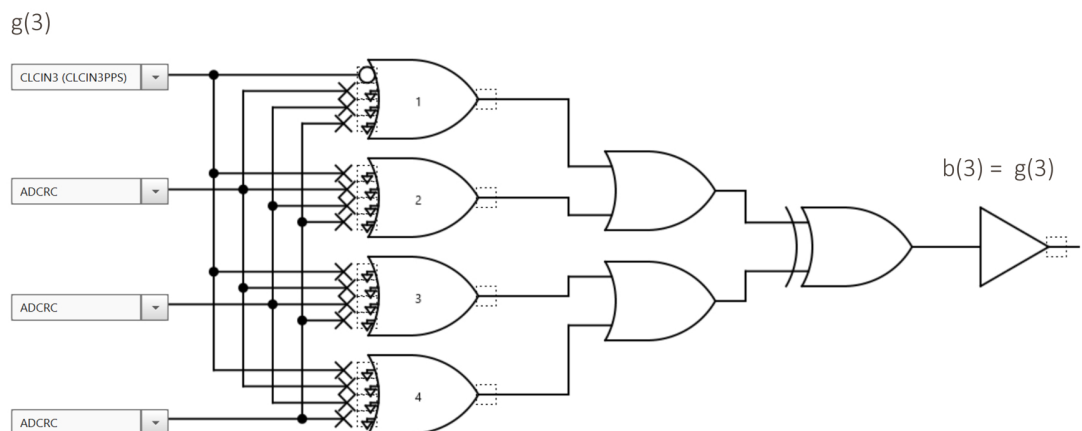
## b) CLC 2: OR-XOR



## c) CLC 5: OR-XOR



## d) CLC 6: OR-XOR



- LCD 配置

有关 LCD 配置的信息，请参见第 4.2.7 节“LCD 配置”。

格雷码解码器的引脚配置如图 5-7 所示。

图 5-7. 格雷码解码器的引脚映射

Pin Module									
Selected Package : UQFN40									
Pin Name ▲	Module	Function	Custom Na...	Start High	Analog	Output	WPU	OD	IOC
RA1	LCDMini	nCS2	LCDMini_n1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	none ▼
RA3	LCDMini	nCS	LCDMini_n1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	none ▼
RA4	CLC1	CLC1OUT		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	none ▼
RA5	CLC2	CLC2OUT		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	none ▼
RA6	CLC5	CLC5OUT		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	none ▼
RA7	CLC6	CLC6OUT		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	none ▼
RB1	MSSP1	SCK1	SCK1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	none ▼
RB2	MSSP1	SDI1	SDI1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	none ▼
RB3	MSSP1	SDO1	SDO1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	none ▼
RC0	CLC1	CLCIN0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	none ▼
RC0	CLC2	CLCIN0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	none ▼
RC0	CLC5	CLCIN0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	none ▼
RC0	CLC6	CLCIN0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	none ▼
RC1	CLC1	CLCIN1		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	none ▼
RC1	CLC2	CLCIN1		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	none ▼
RC1	CLC5	CLCIN1		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	none ▼
RC1	CLC6	CLCIN1		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	none ▼
RD0	LCDMini	nRESET	LCDMini_n1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
RD2	CLC1	CLCIN2		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
RD2	CLC2	CLCIN2		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
RD2	CLC5	CLCIN2		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
RD2	CLC6	CLCIN2		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
RD3	CLC5	CLCIN3		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
RD3	CLC2	CLCIN3		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
RD3	CLC6	CLCIN3		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
RD3	CLC1	CLCIN3		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

### 5.3.8 固件概述

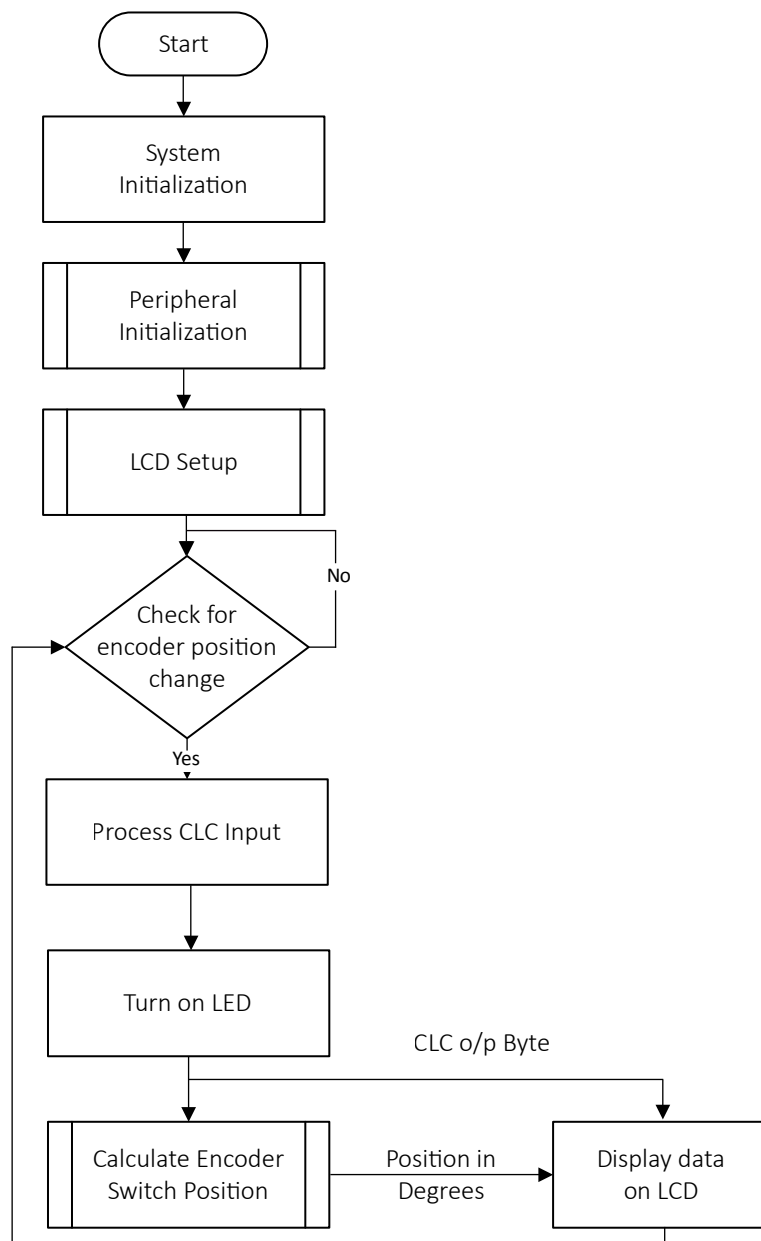
格雷码解码器固件包含最少的代码。CLC 的功能可完成应用所需的任务。LCD mini click 和 LED 用于显示应用活动，例如解码器的二进制和十进制输出以及旋转编码器开关位置。

应用流程初始化系统、引脚配置、CLC 配置和 LCD 显示屏配置。由于 CLC 是独立于内核的外设，因此不需要任何触发信号或运行命令即可处理输入。

格雷码旋转编码器馈入解码器的输入（如 5.3.3 应用概述所述）。解码的 CLC 输出在 CLC 输出寄存器（CLCDATA）以及输出线上提供。这些 CLC 输出线连接到板上 LED 所连的各个 GPIO，从而以二进制格式表示解码后的值。

由于 PIC18 Q10 器件上的八个可用 CLC 中只有四个用于设计解码器，并且 CLC 输出位在 8 位寄存器中提供，因此将在固件中完成移位和屏蔽操作，以便以十进制格式对齐 mini LCD 上显示的输出。编码器旋转开关的角度位置也显示在 LCD 上（以度为单位）。图 5-8 给出了整个应用流程。

图 5-8. 固件流程图





### 5.3.9 存储器要求

CLC 需要通过最少的软件功能执行格雷码解码器公式。表 5-3 列出了所使用的所有外设的工作条件和配置。表 5-4 和表 5-5 列出了格雷码解码器应用程序固件在 1 MHz 系统时钟下的存储器要求。

表 5-3. 为格雷码解码器配置的外设

MCU	PIC18F47Q10
工作电压	3.3V
工作频率	1 MHz
CPU 时钟配置	1 MHz 内部振荡器 HFINTOSC 的时钟分频比配置为 1
使能的外设	CLC 和 SPI
SPI 配置	MSSP1 配置为 125 kHz，SPI 用于 mini LCD click 接口
CLC 配置	将 CLC1、CLC2、CLC5 和 CLC6 配置为无中断以实现格雷码编码器公式

表 5-4. 不带 LCD 的格雷码解码器固件规范

参数	优化级别	
	无 (0)	最高 (S)
数据存储	72 字节	53 字节
程序存储器	1280 字节	1030 字节

表 5-5. 带 LCD 的格雷码解码器固件规范

参数	优化级别	
	无 (0)	最高 (S)
数据存储	177 字节	153 字节
程序存储器	5318 字节	4114 字节

## 5.4 格雷码解码器演示

使用 PIC18 Q10 系列单片机的 CLC 实现格雷码解码器时，可发挥基于 CIP 的应用的高效潜力。由于所有过程均由 CLC 处理，因此代码占用的整体存储空间非常小；剩余的存储空间可用于平衡用户应用程序。总之，对于编码器和解码器等实时应用，CLC 是非常有用的资源。

## 6. 结论

Microchip 的外设集增加了 CLC，使用户能够设计可与 PIC®单片机交互的逻辑应用电路。这扩展了 PIC MCU 器件的功能。通过可配置门将不同外设的输出与输入引脚结合使用，可实现并增强现有外设的功能，从而扩大了外设可以实现的应用范围。

由于与软件实现的逻辑功能相比，硬件实现的逻辑功能具有更快的事件响应速度，因此 CLC 可为用户带来响应速度更快和响应可预测这两大优势。它提供了更高的集成度，无需使用外部逻辑门来实现逻辑功能，因此可以减小 PCB 的尺寸。它还有助于使用不同的逻辑门组合各种输入源信号来产生不同的信号。

使用 CLC 可以实现多种应用，本文档只讨论了部分应用。Microchip 鼓励用户探究使用 CLC 可以实现的更多可能性。

---

---

## 7. 参考资料

- 要使用的具体器件的器件数据手册，网址：<http://www.microchip.com>。
- MCC 软件：<http://www.microchip.com/mplab/mplab-code-configurator>
- MPLAB X IDE：<http://www.microchip.com/mplab/mplab-x-ide>
- 演示固件：<https://mplabxpress.microchip.com/mplabcloud/example>
- Curiosity HPC：<https://www.microchip.com/Developmenttools/ProductDetails/DM164136>
- 格雷码编码器：<http://www.grayhill.com/products/mechanical-encoders/>
- LCD mini click：<https://www.mikroe.com/lcd-mini-click>

---

## Microchip 网站

---

Microchip 网站 <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。只要使用常用的互联网浏览器即可访问，网站提供以下信息：

- **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（FAQ）、技术支持请求、在线讨论组以及 Microchip 顾问计划成员名单
- **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

---

## 变更通知客户服务

---

Microchip 的变更通知客户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，请登录 Microchip 网站 <http://www.microchip.com/>。在“支持”（Support）下，点击“变更通知客户”（Customer Change Notification）服务后按照注册说明完成注册。

---

## 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（FAE）
- 技术支持

客户应联系其代理商、代表或应用工程师（FAE）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。

也可通过以下网站获得技术支持：<http://www.microchip.com/support>

---

## Microchip 器件代码保护功能

---

请注意以下有关 Microchip 器件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指标。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下，Microchip 系列产品是当今市场上同类产品中最安全的产品之一。
- 目前，仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知，所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- Microchip 愿意与关心代码完整性的客户合作。
- 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。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字器件千年版权法案（Digital Millennium Copyright Act）》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下，能访问您的软件或其他受版权保护的成果，您有权依据该法案提起诉讼，从而制止这种行为。

---

## 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。

本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。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，包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。Microchip 对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。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伤害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任，并加以赔偿。除非另外声明，否则在 Microchip 知识产权保护下，不得暗中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、PackeTime、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 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Inc.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、Liberio、motorBench、mTouch、Powermite 3、PrecisionEdge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus 徽标、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、Vite、WinPath 和 ZL 均为 Microchip Technology Inc.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 Inc.在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 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.在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 为 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。

© 2020, Microchip Technology Incorporated 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-5913-2

## 质量管理体系

有关Microchip的质量管理体系的信息，请访问<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. 钱德勒, 亚利桑那州 85224-6199 电话: 480-792-7200 传真: 480-792-7277 技术支持: <a href="http://www.microchip.com/support">http://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: 45-4450-2828 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> 米镇维荷, 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			