

利用独立于内核的外设实现稳健去抖

简介

作者: Qubo Hu, Microchip Technology Inc.

典型的按钮去抖方法通常不够稳健,并且设置和响应速度较慢,这些问题可能导致出现虚假激励或检测不到激励。本 "技巧与诀窍"文档提供了两种更稳健、更快速的去抖解决方案,它们同样适用于旋转编码器、按钮、开关、键盘和 旋钮等。通过使用内部定时器来提供自定义慢速时钟和可配置逻辑单元(Configurable Logic Cell, CLC),可以滤除 由按钮产生的各种噪声。在第一种解决方案中,每个按钮需要使用两个 CLC,因此在具有八个 CLC 的 PIC18F Q10 系 列器件上,可以支持四个按钮的去抖。在第二种解决方案中,每个按钮需要使用三个 CLC,这样有助于提高稳健性, 从而应对 2-CLC 解决方案中的时序极端情况。在包含定时器和 CLC 配置在内的系统初始化之后,无需 CPU 执行即可 通过硬件外设执行去抖。这两种解决方案都需要两个 CLC 时钟周期,因为这样可以实现极快的去抖。

本文档介绍了在 MPLAB[®] X IDE 和 MCC 配置中创建示例的过程。此外, MPLAB Xpress 代码示例中还提供了用于重现结果的示例代码: mplabxpress.microchip.com/mplabcloud/example/details/799。

目录

简介	·	
1.	背景知	1识3
	1.1.	现有解决方案3
2.	使用(CLC 实现稳健去抖
	2.1.	2-CLC 去抖解决方案
	2.2.	3-CLC 去抖解决方案
	2.3.	进一步讨论7
3.	项目仓	J建和配置9
	3.1.	项目概述9
	3.2.	硬件准备工作9
	3.3.	软件准备工作9
	3.4.	硬件设置10
	3.5.	MPLAB X IDE 中的 2-CLC 解决方案配置10
	3.6.	生成代码并编程器件17
	3.7.	MPLAB X IDE 中的 3-CLC 解决方案配置17
4.	版本历	j史20
Mic	rochip	网站21
产品	一变更通	知服务21
客户	『支持	
Mic	rochip	器件代码保护功能
法律	≢声明	
商杭	Ā	
质量	管理体	云系
全球	就销售及	23

1. 背景知识

当在物理上旋转编码器或按下按钮时,两片金属会彼此接触。在完全接触之前,这两片金属可以间歇性地接触和断 开。当输入信号超过数字化阈值时,可能会导致数字化信号中出现持续时间不同的多个脉冲,如图 1-1 所示。由于单 片机要处理的输入信号线具有很高的采样率,因此输入信号线上的多个脉冲可能会导致将一次按下/释放动作记录为多 个触发信号。理想情况下,数字化输入信号的短周期脉冲只是噪声,这些噪声脉冲应当被滤除。只有周期足够长的稳 定脉冲(这意味着输入信号在一定时间内保持稳定)才能触发去抖。这种方法称为"去抖"。

图 1-1 还给出了与信号去抖相关的多种情形。在这张图中:

- 情形 1 是指将编码器旋转到 ON 的情况
- 情形 2 是指将编码器旋转到 OFF 的情况
- 情形 3 是指编码器机械松动或旋转到中间位置,导致输入信号非常不稳定的情况

去抖是一种低通滤波。去抖时间是从出现触发信号到记录触发信号之间的延时。该去抖时间会影响时间戳的精度。对于情形 1 和情形 2,应在经过去抖时间之后记录指示稳定脉冲的触发信号边沿(称为去抖信号)。对于情形 3,许多短周期脉冲可能会在极短的周期内出现在数字化信号上。用户应当事先定义这些短周期脉冲是否为要忽略的噪声脉冲,或者能否在一定条件下将它们视为有效且稳定的脉冲。

在本文档中,我们以旋转编码器为例进行了演示。但是,同样的技术也适用于按钮、开关、键盘和旋钮。

图 1-1. 去抖说明



1.1 现有解决方案

对于慢速信号的去抖,最简单的硬件解决方案是使用外部阻容式(Resistive-Capacitive, RC)滤波器元件进行去抖,以滤除快速脉冲变化,从而保留干净的边沿供单片机处理。这将需要更多的板上元件,进而导致成本提高、尺寸增大。另一方面,软件去抖解决方案的范围涵盖从简单到复杂的各种算法。最简单的去抖策略是通过使用延时周期(例如,每50 ms 至最长 500 ms)读取去抖输入信号,并设置一个标志来指示输入的状态。在初始抖动周期期间,读操作将返回 0 或 1,指示开关的不确定状态。这种策略的缺点之一是功耗较高,因为在等待延时期间,器件无法进入休眠模式。

要处理这种延时,可以通过使用一个定时器,以固定速率中断 CPU,并在等待延时期间部分释放 CPU。所有这些方法 都有一个缺点,即响应速度较慢,因为延时必须足够长才能避免在一次去抖中识别到多个脉冲。目前,已经开发出多 种增强型方法来缩短去抖时间。例如,有一种所谓的基于模式的去抖动器方法,这种方法考虑了在相对较长的时间段 内开关的电压输出的整体模式。其目的是改善高估抖动超时的情况。它会跟踪按钮当前处于哪种状态,并以一个精细 的时间周期检测去抖,但需要更多代码才能实现这种功能。

AN2805 背景知识

使用带 HLT 的 TMR2 进行无代码开关去抖提出了一种无代码解决方案,其中第一次开关激活用于启动定时器计数,同时忽略任何后续抖动。在定时器计数达到预先确定的值后,定时器外设将产生一个信号事件,该事件可用于指示已检测到有效的开关激活。此过程通过硬件执行,除了设置 CIP 和 Timer2 外,没有任何代码要求。这种方法无需代码,而且速度很快。局限性在于,它是用于生成已去抖信号的第一个脉冲,没有识别它是一个稳定脉冲还是一个噪声脉冲。

2. 使用 CLC 实现稳健去抖

就目前所知,对于图 1-1 给出的三种情形,现有解决方案均无法按预期工作。一些现有解决方案依赖于检测第一个输入信号脉冲,而不检查该脉冲是否为噪声脉冲;或者,它会等待一段很长的固定延时(较长的去抖时间),然后重新检查脉冲是否仍然有效。对于情形 1,依靠第一个脉冲进行去抖可能会导致在不正确的时间出现去抖信号,甚至导致错误的去抖。在等待固定延时期间,去抖时间通常较长,并且需要 CPU 的干预。对于情形 3,随着脉冲数和脉冲周期的变化,现有解决方案可能会导致不可预测的去抖信号。

本文档介绍了使用定时器和 CLC 的两种解决方案。在提出的第一种解决方案中,每个按钮需要一个定时器和两个 CLC,因此称为双 CLC(2-CLC)去抖解决方案。在实践中,即使是出现各种噪声脉冲的极端示例,这种解决方案仍 然有效。而对于由此引入的增强型三 CLC(3-CLC)解决方案,我们将在解决方案说明中加以讨论。用户可以根据自 己的需求在这两种解决方案之间进行选择。

2.1 2-CLC 去抖解决方案

图 2-1 给出了 2-CLC 解决方案的逻辑图。四个 2 输入 D 型触发器代表两组 CLC,分别为 CLC3 和 CLC1、CLC4 和 CLC2。它们分别对应于两个输入按钮 RC5 和 RB2。CLC3 的输入信号与 CLC3 的输出信号进行逻辑"与"运算,结 果用作 CLC1 的输入。Timer6 信号用作所有 CLC 的时钟。如果所有按钮的去抖扫描速率均处于同一范围内,则可以在 它们之间重复使用定时器。去抖输出将点亮 LED (D2、D3、D4 和 D5),以便在 MPLAB Curiosity HPC 板上进行演示。PIC18F Q10 系列器件最多包含八个 CLC,这意味着可以支持四个按钮。去抖通过硬件外设执行,除了在 MPLAB X 的 MPLAB 代码配置器(MPLAB Code Configurator, MCC)中配置定时器和 CLC 之外,无需任何代码。它不需要 外部硬件滤波,因此可避免占用额外空间和提高成本。有关配置,请参见 3.项目创建和配置。

图 2-1. 双 CLC 去抖解决方案逻辑图



图 2-2.a、.b 和.c 给出了将旋转编码器切换到 ON、OFF 和中间位置时这三种情形下的示波器波形图。在示波器波形图 中, 黄色信号 CH1 表示数字化输入信号。绿色信号 CH2 表示去抖信号,等效于图 2-1 中的 CLC2 输出 CLC2_OUT。 如图所示,当编码器进行切换时,在其达到稳定之前会有许多短噪声脉冲。对于示例旋转编码器,这些噪声脉冲的周期最长通常为 500 µs。为了滤除这些噪声脉冲,确保 CLC 时钟周期远大于最大噪声脉冲周期至关重要。这样可确保在 两个连续时钟内不会将任何噪声脉冲识别为虚假去抖。在这种情况下,可选择 1.5 ms 的时钟周期,该值为最大噪声周期的三倍,这意味着定时器的溢出时钟频率约为 700 Hz。可以根据需求将 CLC 时钟配置为任何频率。



对于 2-CLC 解决方案,当输入信号连续两个时钟周期保持为高电平时,输出信号将为逻辑高电平。由于图 2-2 中的噪声脉冲的周期均小于 500 µs,而该值又小于 CLC 周期(1.5 ms),因此一个噪声脉冲可使第一个 CLC 输出信号变为逻辑高电平,但不会使第二个 CLC 输出信号变为高电平,因此不会发生去抖。请注意,要使去抖输出信号变为低电平,输入信号只需在一个时钟周期内保持低电平,因为输出去抖信号是输入信号与第一个 CLC 输出进行逻辑"与"运算的结果。图 2-2.b 所示的去抖信号就是这种情况。

在极端情况下,当旋转编码器切换到中间位置时,两片金属会长时间保持部分接触。此时,输入信号变得非常嘈杂, 许多噪声脉冲不断出现,如图 2-2.c 所示。在这种情况下,输入信号在两个连续的 CLC 时钟周期内读为高电平的几率 增大,理论上会发生去抖。但是,在这种极端情况下,示波器中仍未监视到任何去抖。未发生去抖的原因可能是噪声 脉冲的周期(<300 μs)比所选 CLC 时钟周期(1.5 ms)短得多。另一个重要原因是未在 CLC 时钟边沿上捕捉到两个 连续的噪声脉冲。尽管实验中没有看到这种情况,但几率仍然存在。

2.1.1 低功耗模式

如前文所述,这是一个纯硬件解决方案,无需任何额外的代码。由于定时器和 CLC 都可以在休眠模式下运行,因此可通过将器件配置为在休眠模式下运行来暂停 CPU,以便最大程度地降低功耗。要实现此目的,可以在 main.c 文件的 main()函数中的系统初始化函数后面插入以下代码行:

SLEEP();

2.2 3-CLC 去抖解决方案

如前文所述,2-CLC 解决方案是一种非对称方案。要使去抖输出变为高电平,输入信号需要在两个时钟周期内保持逻辑高电平; 而要使去抖输出变为低电平,输入信号只需在一个时钟周期内保持逻辑低电平。对于非对称去抖时间,这通常不是问题。但是,当输入信号保持高电平,但却在 CLC 时钟边沿识别到低电平毛刺时,将导致输出去抖信号变为低电平并持续两个时钟周期,此时会发生虚假去抖。图 2-3 中 2-CLC 解决方案的时序图对此进行了说明。标记的第三个时钟边沿(两个 CLC 输出均为低电平)说明了虚假去抖情形。实验中尚未发生这种情形,但存在这种可能性。发生这种情形时,建议实现 3-CLC 解决方案来避免出现虚假去抖。



图 2-4 给出了 3-CLC 解决方案的逻辑图。第一个 CLC (CLC3) 具有与之前相同的输入(见图 2-1)。第三个 CLC (CLC5) 被选作 4 输入"与"逻辑。输入信号和前两个 CLC 输出信号成对进行逻辑"与"运算,然后进行逻辑 "或"运算:

CLC5_OUT = CLCIN0 * CLC3_OUT + CLCIN0 * CLC1_OUT + CLC3_OUT * CLC1_OUT

第三个 CLC 的输出信号为第二个 CLC (CLC1)提供输入信号。第二个 CLC 输出与之前相同的去抖信号。第三个 CLC 确保在其三个输入中的任何一个上均没有单个低电平值会导致去抖输出变为低电平。 图 2-3 还给出了 3-CLC 解决 方案的时序图,其中不再存在 2-CLC 解决方案中会出现的虚假去抖。

图 2-4. 3-CLC 去抖解决方案逻辑图



对于具有 8 个 CLC 的 PIC18F Q10 系列,使用 3-CLC 解决方案只能支持对两个按钮进行去抖,而使用 2-CLC 解决方案则可以支持对四个按钮进行去抖。由于 2-CLC 解决方案对于极端情况(如图 2-2.c 所示)通常也能满足要求,因此用户可以根据其应用需求和硬件资源来决定使用哪种解决方案,或者结合使用两种解决方案。

2.3 进一步讨论

到目前为止,我们已经介绍了这两种解决方案的工作方式。实验显示,这两种解决方案均适用于图 2-2 给出的三种典型情形。根据演示,两者均可在 3 ms 的去抖时间下提供极快的反应速度,而现有解决方案可能需要最长 20-200 ms 的去抖时间。相比之下,现有解决方案均无法在不发生意外去抖的情况下涵盖全部三种情形。

当连续出现一系列噪声脉冲时(如图 2-2.c 所示),如果在两个连续的 CLC 时钟上升沿捕捉到噪声脉冲,则仍有可能发生去抖。用户需要定义是否应将其视为生成有效去抖输出的稳定输入脉冲。如果不将其视为有效去抖,则关于如何

降低这种可能性的建议是使用更多级 CLC 和/或延长 CLC 时钟周期。例如,引入另一级 CLC 意味着进一步检查第三个 连续时钟周期时在输入信号上出现的噪声脉冲,从而降低识别出意外去抖的可能性。对于 2-CLC 解决方案,另一级 CLC 意味着需要 3 个 CLC。对于 3-CLC 解决方案,则意味着需要 4 个 CLC。另一方面,当 CLC 时钟周期延长时,这 种做法也有帮助。当 CLC 时钟周期延长时,一个时钟周期内滤除的噪声脉冲会增加,而下一个 CLC 时钟周期内出现 的噪声脉冲会减少。

如本文档中所述,在提供八个 CLC 的 PIC18F Q10 系列器件上,使用 2-CLC 解决方案最多可对四个按钮进行去抖。 或者,也可通过选择两个 3-CLC 解决方案和一个 2-CLC 解决方案来支持三个按钮的去抖。如有需要,还可以根据用户 需求调整为支持更少的按钮,即每个按钮使用更多的 CLC。

到目前为止,我们已经讨论了如何使用定时器为 CLC 提供可配置的时钟频率。一种替代方案是使用频率较低的主时钟 作为 CLC 时钟,前提是主时钟能够满足用户需求。如果主时钟对于 CLC 足够慢,则可以节省定时器,从而进一步降 低功耗。

3. 项目创建和配置

本节介绍如何在 MPLAB X IDE 中为 2-CLC 解决方案创建和配置示例项目。本文档的后面部分会介绍 3-CLC 解决方案 的配置。

3.1 项目概述

使用 MCU 的项目概述:

- CPU 时钟: 1 MHz
- 使用的外设:
 - Timer6:
 - Timer6 配置为以 1.5 ms 的定时器周期溢出并用作 CLC 时钟
 - CLC1、CLC2、CLC3、CLC4 和 CLC5:
 - CLC3 和 CLC1 一起用于板上按钮 S2 的去抖控制
 - CLC4 和 CLC2 一起用于外部旋转编码器的去抖控制
 - CLC5 用于将 2-CLC 解决方案(CLC3 和 CLC1) 扩展为 3-CLC 解决方案
 - GPIO:
 - 引脚 RC5: CLCIN0 输入信号,默认情况下连接到板上 S2 按钮
 - 引脚 RB2: CLCIN2 输入信号,手动连接到外部旋转编码器
 - 引脚 RA4: D2 LED 输出
 - 引脚 RA5: D3 LED 输出
 - 引脚 RA6: D4 LED 输出
 - 引脚 RA7: D5 LED 输出

3.2 硬件准备工作

本应用笔记中使用的硬件:

- Curiosity 高引脚数(High Pin Count, HPC)开发板(DM164136)
 - www.microchip.com/developmenttools/ProductDetails/PartNo/DM164136
- PIC18F45Q10 40 引脚单片机 (PDIP 封装,适用于 Curiosity HPC)
 - www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC18F45Q10
- 外部旋转编码器(使用 XMEGA-E5 Xplained 板上的编码器)
 - www.microchip.com/DevelopmentTools/ProductDetails/PartNO/ATXMEGAE5-XPLD
- 两根 Micro-USB 线缆
- 两根公头转母头电线

3.3 软件准备工作

本应用笔记中使用的软件:

- MPLAB X IDE v.5.15
 - www.microchip.com/mplab/mplab-x-ide
- MPLAB XC8 C 编译器 v.2.0
 - www.microchip.com/mplab/compilers
- MPLAB X IDE 中的 MPLAB 代码配置器(MCC) v3.75 插件

3.4 硬件设置

- Curiosity 高引脚数(HPC)开发板(DM164136)用作测试平台。开关 S2 用于测试按钮去抖。XMEGA-E5 Xplained 板的外部旋转编码器用于测试编码器去抖。当 S2 和外部编码器上发生去抖时,可通过分别检测 D2、 D3、D4 和 D5 四个板上 LED 的点亮状态来了解信息。
- XMEGA-E5 Xplained 板使用 USB 电源。XMEGA-E5 Xplained 板上的编码器引脚 J3→GPIO3 连接到 HPC 板的 去抖输入引脚 RB2。另外,应确保将开关设置为将编码器连接到图 3-1 中用红色圆圈标出的 插座 J3 中的 J3。
- HPC 使用通过跳线配置为 3.3V V_{CC} 的 USB 电源

图 3-1. 硬件设置: 连接了外部旋转编码器的 Curiosity HPC



下表列出了从 HPC 板到 XMEGA-E5 Xplained 板的外部编码器引脚连接。

表 3-1. HPC 与外部旋转编码器的硬件连接

HPC	XMEGA-E5 Xplained 板							
RB2 引脚	GPIO3 引脚							

3.5 MPLAB X IDE 中的 2-CLC 解决方案配置

本节介绍如何在 MPLAB X IDE 中为 2-CLC 解决方案创建和配置示例项目。有关配置的信息,请参见图 2-1 中的框图。

在 MPLAB X IDE 中,创建一个新项目:为 *Device Family*(器件系列)选择 *PIC18*,为 *Device*(器件)选择 *PIC18F45Q10*。为 *Hardware Tools*(硬件工具)选择 *Curiosity in Microchip Starter Kits*(Microchip 入门工具包中的 Curiosity)。为 *Compiler*(编译器)选择 *XC8*(使用 v2.0)。

创建项目后,单击项部菜单栏上的 MCC 徽标来配置代码。如上文所述,两个去抖输入将使用一个定时器和四个 CLC。在左侧的 Device Resources (器件资源)部分中,双击 TMR6、CLC1、CLC2、CLC3 和 CLC4 将它们添加到 Project Resource (项目资源)部分。

3.5.1 时钟

在 *Project Resource* → *System* → *System Module*(项目资源 → 系统 → 系统模块)下,将系统时钟配置为 1 MHz。 为 *Oscillator Select*(振荡器选择)选项选择 *HFINTOSC*(在图 3-2 中用红色圆圈标出)。确保在 *Clock Divider*(时钟 分频比)选项中选择 4。这样可将系统时钟配置为 1 MHz。

图 3-2. 1 MHz 系统时钟的系统模块

	System	Module
--	--------	--------

ଛେ Easy Setup 📃 Re	egisters								
▼ INTERNAL OSCILLATOR									
Current System clock 1 MHz									
Oscillator Select	HFINTOSC		-						
		-11							
External Clock Select	Oscillator not enac								
HF Internal Clock	4_MHz	▼ 3 →PLL Capable Frequency							
External Clock	1 MHz								
Clock Divider	4	·							

3.5.2 定时器

将 TMR6 的 Timer Period (定时器周期) 配置为 1.5 ms。选择 LTINTOSC 作为时钟源, 然后在 Timer Period 字段中 输入 1.5 ms, 如图 3-3 所示。

图 3-3. TMR6 以 1.5 ms 的周期溢出

TMR6

lardware Setting	gs					
Enable Time	r					
Timer Clock			Timer Period			
Clock Source Clock Frequence	LFINTOSC cy 32.768 kHz	*	Timer Period Actual Period 1.48	64.516 us ≤1. 33871 ms (Period calculate	5 ms ed via Timer Perio	≤ 16.516129 ms
Postscaler	1:1	-	Ext Reset Source	T6CKIPPS pin		
Prescaler	1:1	-	Control Mode	Roll over pulse	-	
Polarity	Rising Edge		Start/Reset Option	Software control	-	
Enable Pre	escaler O/P Sync ock Sync					

3.5.3 CLC3

按图 3-4 所示配置 CLC3。在 Mode(模式)字段中选择 2-input D flip-flop with R (带复位功能的 2 输入 D 型触发器)。选择 Timer6 溢出信号 TMR6_OUT 作为 D 型触发器寄存器的时钟。选择 CLCINO 作为输入信号。将这两个信号 分别连接到 CLC 逻辑门 1 和 2 (在图 3-4 中用红色圆圈标出)。

图 3-4. CLC3 配置

CLC3



3.5.4 CLC1

按图 3-5 所示配置 CLC1。在 Mode 字段中选择 2-input D flip-flop with R。选择 TMR6_OUT 作为 D 型触发器寄存器的 时钟信号。选择 CLC3_OUT (CLC3 的输出信号)并将其与默认 CLCIN0 (CLC3 的输入信号)进行逻辑"与"运算, 结果作为 CLC1 的输入信号。将 TMR6_OUT 信号连接到 CLC 逻辑门 1 (在图 3-5 中用红色圆圈标出)。将 CLC3_OUT 和 CLCIN0 连接到 CLC 逻辑门 2, 然后将 CLC 逻辑门 2 的输入和输出信号反相(用红色圆圈标出)。

图 3-5. CLC1 配置 CLC1 🔅 Easy Setup 📃 Registers ✓ Enable CLC Enable CLC Interrupt Enable Rising Interrupt Enable Falling Interrupt Export CLC image Mode 2-input D flip-flop with R Ŧ TMR6_OUT Ŧ 1 CLCINO (CLCINOPPS) D Q -3 CLC3_OUT Ŧ R 4 CLCINO (CLCINOPPS) Ŧ

3.5.5 CLC4

按图 3-6 所示配置 CLC4。在 Mode 字段中选择 2-input D flip-flop with R。选择 TMR6_OUT 溢出信号作为 D 型触发器 寄存器的时钟并选择 CLCIN2 作为输入信号。将这两个信号分别连接到 CLC 逻辑门 1 和 2 (在图 3-6 中用红色圆圈标 出)。

图 3-6. CLC4 配置 CLC4 🔅 Easy Setup 📃 Registers Hardware Settings ✓ Enable CLC Enable CLC Interrupt Enable Rising Interrupt Enable Falling Interrupt Export CLC image Mode 2-input D flip-flop with R -TMR6_OUT CLCIN2 (CLCIN2PPS) D Q 2 2 CLCINO (CLCINOPPS) ¥ R CLCINO (CLCINOPPS) Ŧ

3.5.6 CLC2

按图 3-7 所示配置 CLC2。在 Mode 字段中选择 2-input D flip-flop with R。选择 TMR6_OUT 作为 D 型触发器寄存器的 时钟。选择 CLC4_OUT (CLC4 的输出信号)并将其与默认 CLCIN2 (CLC4 的输入信号)进行逻辑"与"运算,结果 作为 CLC2 的输入信号。将 TMR6_OUT 信号连接到 CLC 逻辑门 1 (在图 3-7 中用红色圆圈标出)。将 CLC4_OUT 和 CLCIN2 连接到 CLC 逻辑门 2 并将 CLC 逻辑门 2 的输入和输出信号反相(用红色圆圈标出)。

图 3-7. CLC2 配置 CLC2 Easy Setup Registers Hardware Settings ✓ Enable CLC Enable CLC Interrupt Enable Rising Interrupt Enable Falling Interrupt Export CLC image Mode 2-input D flip-flop with R • TMR6_OUT 1 CLCIN2 (CLCIN2PPS) D Q CLC4_OUT * R CLCINO (CLCINOPPS) Ŧ

3.5.7 引脚

单击 *Pin Manager: Grid View*(引脚管理器: 网格视图)以配置输入/输出引脚。单击 *RC5*和 *RB2*,将其分别设置为 *CLCIN0*和 *CLCIN2*的输入引脚(在图 3-8 中用红色圆圈标出)。将 *CLC1*输出配置为引脚 *RA4*和 *RA5*(用红色圆圈标出)。将 *CLC2*输出配置为引脚 *RA6*和 *RA7*(用红色圆圈标出)。引脚 *RA4、RD5、RA6*和 *RA7*分别连接到 HPC 板的 LED D2、D3、D4和 D5。*RB2*将手动连接到外部旋转按钮,而 *RC5*已连接到板上按钮 S2。图 2-1 中已给出引 脚和 CLC 之间的连接。*CLC1*输出用于点亮 LED *D2*和 *D3*。*CLC2*输出用于点亮 LED *D4*和 *D5*。

Pin Manager: O	Grid View %			_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_		_	_	_	_		_			_		_	_	_		_	_	_
Package:	UQFN40	*	Pin No:	17	18	19	20	21	22	2 29	28	8	9	10	11	12	13	14	15	30	31	32	33	38	39	40	1	34	35	36	37	2	3	4	5	23	24	25	16
			4				Por	t A	V	-				1	Port	B			-		-	F	Port	C						F	Port	D	•	-	-	F	Port	EV	
Module	Fund	tion	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
CLC1	CLC10	DUT	output	B	î.	ì	j.		A	2	P									1	î.	1	î.	Ъ	6	j.	6												
CLC2	CLC20	DUT	output	ì	î.	î.	î.	ì	P.	â	â	⋗		_						ì	î.	ì	î.	1	ì	î.	ì												
CLC3	CLC30	DUT	output									ì	ì	î.	ì	î.	î.	î.	6									î.	ì	ì	î.	ì	î.	ì	î				
CLC4	CLC40	DUT	output									Ъ	ì	Ъ	B	j.	B	j.	Ъ									ĵ.	î.	Ъ	î.	B	j.	ì	Ъ				
	CLCIN	0	input	î	î	î	î	î	î	î	î									6	î	î	î	° b(R.)îa	î												
	CLCIN	1	input	ì	î.	î	î.	j.	n.	î.	j.									Ъ	î.	ì	ĵ.	î.	ì	j.	ì												
	CLCIN	2	input									Ъ	1	R.		î.	î.	î.	Ъ									î.	î.	î.	î.	î.	î.	ì	î.				
CI CX T	CLCIN	3	input									î	î	î	î	î	î	ĵ.	î									î	î	î	î	î	ĵ.	î	î				
CLCX V	CLCIN	4	input	ì	j.	h	B	j.	n.	j.	j.									Ъ	j.	ì	ĵ,	j.	ì	Ъ	ì												
	CLCIN	5	input	î	ì	ì	î	ì	î.	î	î.		_							ì	î	ì	î	ì	î	ĵ.	ì		_		_								
	CLCIN	6	input									î.	î	î.	î.	î.	î.	Ĵ.	î.									î.	1	î.	î	Ĵ.	Ĵ.	î	î				
	CLCIN	7	input									Ъ	ì	Ъ	B	J.	j.	j.	Ъ									ĵ.	î.	Ъ	î.	j.	j.	ì	Ъ				
OSC	CLKO	JT	output							ì											1																		
Din Madula	GPIO		input	î	î.	î	î.	î.	î.	î.	j.	î.	î	î.	ĵ.	ĵ.	î.	Ĵ.	î.	ĵ.	î.	î	î	î.	î	j.	î.	ĵ.	1	î.	î.	j.	Ĵ.	î	î.	î.	î	î.	ì
Pin Module	GPIO		output	Ъ	î.	Ъ	î.	ì	n.	î.	j.	Ъ	ì	Ъ	1	j.	î.	j.	Ъ	Ъ	î.	î.	î.	1	ì	j.	ì	B	î.	Ъ	Ъ	B	Ĵ.	ì	Ъ	Ъ	ì	î.	ì
RESET	MCLR		input																																				â
TMR6	T6IN		input									1	1	Ъ	1	1	1	1	1									1	1	1	1	1	î.	1	1				

图 3-8. Pin Manager: Grid View

3.6 生成代码并编程器件

单击 MPLAB X IDE 左上方子窗口中的 Generate,生成代码。生成的代码是最终代码,因为这是一种无软件的解决方案。

如上文所述,由于定时器和 CLC 均可在休眠模式下运行,因此可以将器件设置为休眠模式,以最大程度地降低功耗。 要实现此目的,可以在 main.c 文件的 main()函数中的系统初始化之后插入以下代码行。但是,这是一个可选项。

SLEEP();

使用快捷键 F11 编译项目并确保未发生错误。然后单击 MPLAB X IDE 项部工具栏上的 Make and Program Device Main Project (编译并编程器件主项目)图标,对器件进行编程。现在可以检测当按下/释放板上 S2 按钮时板上 LED D2 和 D3 的状态翻转。当连接到输入引脚 RB2 的外部旋转编码器旋转时,板上 LED D4 和 D5 应翻转状态。另外,也 建议使用示波器来监视当噪声脉冲被滤除时,去抖是如何进行的。

用户现在应该能够通过遵循上述配置步骤来重现解决方案。

3.7 MPLAB X IDE 中的 3-CLC 解决方案配置

本节介绍如何在 MCC 中将现有项目重新配置为图 2-4 所示的 3-CLC 解决方案。在此图中,第一级 CLC (*CLC3*)保持不变。第三级 CLC (*CLC5*)需要进行配置,第二级 CLC (*CLC1*)需要通过修改进行重新配置。

在 MPLAB X IDE 中,单击顶部菜单栏上的 MCC 徽标重新配置代码。在左侧的 Device Resources 部分中,双击 CLC5 将其添加到 Project Resource 部分。

3.7.1 CLC5

按图 3-9 所示配置 CLC5。在 Mode 字段中选择 4-input AND (4 输入 AND 逻辑)。选择用红色圆圈标出的三个输入信号,默认为 CLCIN0、CLC3_OUT 和 CLC1_OUT。CLC 逻辑门 1 的输出为用红色圆圈标出的 NOT (逻辑非)。确保 逻辑门 2、逻辑门 3 和逻辑门 4 连接了两个正确输入且已反相。这四个信号随后进行逻辑"与"运算,得到的值反相后 作为输出。CLC5 逻辑的作用是先对三个输入成对进行逻辑"与"运算,然后进行逻辑"或"运算。

图 3-9. CLC5 配置

CLC5



3.7.2 CLC1

按图 3-10 所示重新配置 CLC1。取消选择逻辑 2 之前和之后的所有反相。取消选择 CLC3_OUT 作为输入,选择 CLC5_OUT 作为逻辑 2 的惟一输入信号(用红色圆圈标出)。

图 3-10. CLC1 重新配置

CLC1



单击 MPLAB X IDE 左上方子窗口中的 *Generate*(生成),重新生成代码。生成的代码是适用于 3-CLC 解决方案的代码。使用快捷键 *SHIFT+F11* 重新编译项目,然后单击 MPLAB X IDE 顶部工具栏上的 *Make and Program Device Main Project* 图标,对器件进行重新编程。3-CLC 解决方案现已应用于所连接的外部旋转编码器。

4. 版本历史

文档版本	日期	备注
A	2019年6月	文档初始版本

Microchip 网站

Microchip 网站(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,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 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 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规范。
- Microchip 确信:在正常使用的情况下, Microchip 系列产品非常安全。
- 目前,仍存在着用恶意、甚至是非法的方法来试图破坏代码保护功能的行为。我们确信,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。这种试图破坏代码保护功能的行为极可能侵犯 Microchip 的知识产权。
- Microchip 愿与那些注重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。

本出版物中提供的信息仅仅是为方便您使用 Microchip 产品或使用这些产品来进行设计。本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利,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"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、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

AgileSwitch、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、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、Augmented Switching、BlueSky、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、 CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、 EtherGREEN、IdealBridge、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、maxCrypto、maxView、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、RTAX、RTG4、SAM-ICE、 Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SMART-I.S.、storClad、SQI、SuperSwitcher、 SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、VectorBlox、 VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect 和 ZENA 均为 Microchip Technology Incorporated 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 均为 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。

© 2021, Microchip Technology Incorporated 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-8139-3

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。



全球销售及服务网点

美洲	亚太地区	亚太地区	欧洲
公司总部	澳大利亚 - 悉尼		奥地利 - 韦尔斯
2355 West Chandler Blvd.	电话: 61-2-9868-6733	电话: 91-80-3090-4444	电话: 43-7242-2244-39
Chandler, AZ 85224-6199	中国 - 北京	印度 - 新德里	传真: 43-7242-2244-393
电话: 480-792-7200	电话: 86-10-8569-7000	电话: 91-11-4160-8631	丹麦 - 哥本哈根
传真: 480-792-7277	中国 - 成都	印度 - 浦那	电话: 45-4485-5910
技术支持:	电话: 86-28-8665-5511	电话: 91-20-4121-0141	传真: 45-4485-2829
www.microchip.com/support	中国 - 重庆	日本 - 大阪	芬兰 - 埃斯波
网址:	电话: 86-23-8980-9588	电话: 81-6-6152-7160	电话: 358-9-4520-820
www.microchip.com	中国 - 东莞	日本 - 东京	法国 - 巴黎
亚特兰大	电话: 86-769-8702-9880	电话: 81-3-6880-3770	电话: 33-1-69-53-63-20
德卢斯, 佐治亚州	中国 - 广州	韩国 - 大邱	传真: 33-1-69-30-90-79
电话: 678-957-9614	电话: 86-20-8755-8029	电话: 82-53-744-4301	德国 - 加兴
传真: 678-957-1455	中国 - 杭州	韩国 - 首尔	电话: 49-8931-9700
奥斯汀,德克萨斯州	电话: 86-571-8792-8115	电话: 82-2-554-7200	德国 - 哈恩
电话: 512-257-3370	中国 - 香港特别行政区	马来西亚 - 吉隆坡	电话: 49-2129-3766400
波士顿	电话: 852-2943-5100	电话: 60-3-7651-7906	德国 - 海尔布隆
韦斯特伯鲁,马萨诸塞州	中国 - 南京	马来西亚 - 槟榔屿	电话: 49-7131-72400
电话: 774-760-0087	电话: 86-25-8473-2460	电话: 60-4-227-8870	德国 - 卡尔斯鲁厄
传真: 774-760-0088	中国 - 青岛	菲律宾 - 马尼拉	电话: 49-721-625370
芝加哥	电话: 86-532-8502-7355	电话: 63-2-634-9065	德国 - 慕尼黑
艾塔斯卡,伊利诺伊州	中国 - 上海	新加坡	电话: 49-89-627-144-0
电话: 630-285-0071	电话: 86-21-3326-8000	电话: 65-6334-8870	传真: 49-89-627-144-44
传真: 630-285-0075	中国 - 沈阳	台湾地区 - 新竹	德国 - 罗森海姆
达拉斯	电话: 86-24-2334-2829	电话: 886-3-577-8366	电话: 49-8031-354-560
阿迪森,德克萨斯州	中国 - 深圳	台湾地区 - 高雄	以色列 - 若那那市
电话: 972-818-7423	电话: 86-755-8864-2200	电话: 886-7-213-7830	电话: 972-9-744-7705
传真: 972-818-2924	中国 - 苏州	台湾地区 - 台北	意大利 - 米兰
底特律	电话: 86-186-6233-1526	电话: 886-2-2508-8600	电话: 39-0331-742611
诸维,密歇根州	中国 - 武汉	泰国 - 曼谷	传真: 39-0331-466781
电话: 248-848-4000	电话: 86-27-5980-5300	电话: 66-2-694-1351	意大利 - 帕多瓦
休斯顿, 德克萨斯州	中国 - 西安	越南 - 胡志明市	电话: 39-049-7625286
电话: 281-894-5983	电话: 86-29-8833-7252	电话: 84-28-5448-2100	荷兰 - 德卢内市
印第安纳波利斯	中国 - 厦门		电话: 31-416-690399
话布尔斯维尔,印第女纳州	电话: 86-592-2388138		传真: 31-416-690340
电话: 317-773-8323	中国 - 珠海		挪威 - 特隆赫姆
传具: 317-773-5453	电话: 86-756-3210040		电话: 47-72884388
电话: 317-536-2380			波兰 - 华沙
洛 伦 州			电话: 48-22-3325737
木俱维何,加利個尼亚州 由廷 040 462 0522			罗马尼亚 - 布加勒斯特
电话: 949-402-9523			电话: 40-21-407-87-50
传兵: 949-402-9000			西班牙 - 马德里
电话: 951-273-7800			电话: 34-91-708-08-90
			传真: 34-91-708-08-91
电话: 919-044-7510			瑞典 - 哥德堡
纽约,纽约州 中迁 621,425,6000			电话: 46-31-704-60-40
玉山: 031-433-0000 天石室 加利道日亚 島			瑞典 - 斯德哥尔摩
王州產,加州個化业/// 由任,409,725,0440			电话: 46-8-5090-4654
电位: 400-735-9110			英国 - 沃金厄姆
电话: 408-430-4270 抽合士 タハタ			电话: 44-118-921-5800
加季入-多化多 由迁 005 005 1000			传真: 44-118-921-5820
电话: 905-095-1980			
传具: 905-095-2078			