
带触摸界面和 IR 通信的电机控制

简介

作者：Microchip 的 Namrata Dalvi 和 Ankit Phougat

在如今的工业和智能家居领域，智能电子设备已成为不可或缺的一部分。利用这类电子设备，可以执行多种实时控制应用，而采用的通信模式对这些应用十分关键。

红外光通常称为“IR”，是一种十分常见且易于使用的通信方式。在通过传输信息和命令来控制各种家电的应用中实现时，这种技术兼具低功耗和经济高效两大优势。一些涉及红外通信的常用家电包括电视和空调的遥控器。红外通信还用于安防和安全产品，例如烟雾探测器和占用传感器。许多产品使用电机控制和红外通信，例如打印机、玩具车和风扇等。

PIC18 Q10 系列单片机（MCU）提供了多种功能可满足此类应用的需求。它们包括模拟和数字外设、通信模块以及大量独立于内核的外设（Core Independent Peripheral, CIP），这些外设独立工作，可以减少 CPU 开销。该系列器件功耗很低，非常适合电池供电的应用。此外，凭借可预测的时序和监视，它们还可提供精确的控制功能。

本应用笔记介绍了一个这样的应用，它通过使用 PIC18 Q10 单片机的智能外设将红外通信与直流电机控制结合在一起。

特性

本应用笔记包含以下内容：

- PIC18 Q10 MCU 用于实时控制应用的特色功能
- Microchip 的电容触摸传感技术概述（mTouch®传感解决方案）
- 红外通信和 NEC 协议概述
- 使用带有 CVD 的 ADC²、CLC 和 DSM 外设实现红外发射器和触摸界面的详细信息
- 使用 CCP 和 PWM 外设实现红外接收器和直流电机控制的详细信息

目录

简介.....	1
1. PIC18 Q10 器件的功能.....	4
2. 电容触摸传感.....	6
2.1. 使用 ADC ² 和硬件电容分压器 (CVD) 的电容触摸传感.....	6
2.2. 适用于 MPLAB X 代码配置器的 mTouch 电容触摸传感库模块.....	6
3. 红外通信.....	7
3.1. 红外通信协议.....	7
3.2. NEC 协议.....	8
4. 应用概览.....	9
5. 硬件概述.....	11
5.1. Curiosity HPC 开发板.....	11
5.2. QT7 Xplained Pro.....	11
5.3. IR Click.....	12
5.4. DC Motor 8 Click.....	12
5.5. 直流电机.....	13
6. 固件概述.....	14
6.1. 软件工具.....	14
6.2. 触摸界面和红外发射器.....	14
6.3. 红外接收器和直流电机控制.....	25
7. 演示操作.....	35
7.1. 触摸界面和红外发射器的演示设置.....	35
7.2. 红外接收器和直流电机控制的演示设置.....	37
8. 支持的应用用例.....	39
9. 结论.....	40
10. 参考资料.....	41
11. 附录.....	42
11.1. 红外通信在实时控制应用中的优势和挑战.....	42
Microchip 网站.....	43
变更通知客户服务.....	43
客户支持.....	43
Microchip 器件代码保护功能.....	43
法律声明.....	43
商标.....	44

DNV 认证的质量管理体系.....44

全球销售及服务网点..... 45

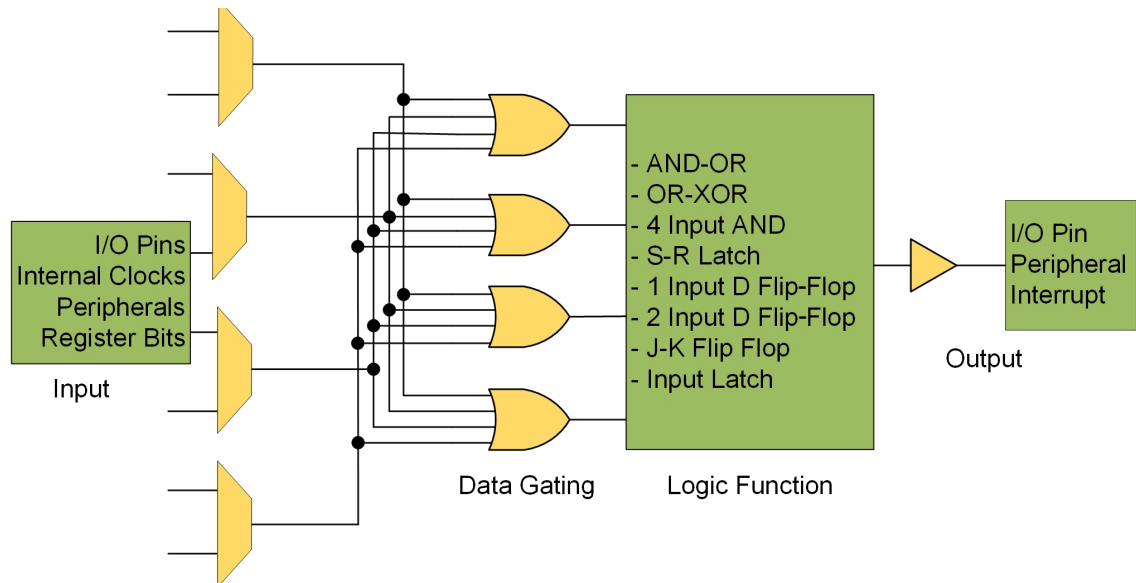
1. PIC18 Q10 器件的功能

PIC18 Q10 系列单片机配有一个支持计算功能的 10 位 ADC (ADC²)，此 ADC 包含用于电容触摸传感应用的硬件电容分压器 (Capacitive Voltage Divider, CVD)。这些器件提供了一组独立于内核的器件 (CIP)，例如可配置逻辑单元 (Configurable Logic Cell, CLC)、数据信号调制器 (Data Signal Modulator, DSM)、硬件限制定时器 (TMR2/4/6+HLT) 和外设引脚选择 (Peripheral Pin Select, PPS)，从而可提高设计灵活性并降低系统成本。

本章重点介绍 PIC18 Q10 MCU 器件中对于实时控制应用至关重要的功能：

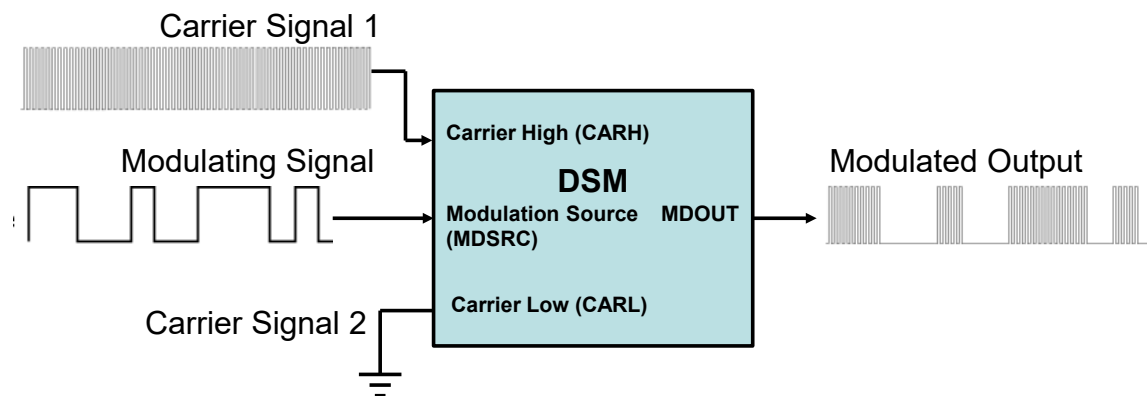
- 62.5 ns 最小指令周期时整个 V_{DD} 范围内的工作速度 (64 MHz)
- 3 个带有硬件限制定时器 (Hardware Limit Timer, HLT) 的 8 位定时器 (TMR2/4/6)
- 4 个 16 位定时器 (TMR0/1/3/5)
- 存储器：
 - 最高 128 KB 的闪存程序存储器
 - 最高 3615 字节的数据 SRAM 存储器
 - 最高 1024 字节的数据 EEPROM，具有可编程代码保护以及直接、间接和相对寻址模式
- 不同节能模式，支持外设模块禁止 (Peripheral Module Disable, PMD) 和超低功耗 (Extreme Low-Power, XLP) 模式
- 最多 35 个 I/O 引脚和 1 个输入引脚，所有引脚均支持电平变化中断 (Interrupt-on-Change, IOC)
- 独立于内核的外设
 - 8 个带有集成组合和顺序逻辑的可配置逻辑单元 (CLC)：提供可超越软件执行速度限制而工作的可编程逻辑。CLC 可用于编译定制逻辑函数，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，从而能够非常轻松地进行硬件定制。

图 1-1. 可配置逻辑单元 (CLC)



- 数据信号调制器 (DSM) 使用户能够将数据流 (调制信号) 与载波信号混合以产生调制输出。

图 1-2. 数据信号调制器 (DSM)



- 硬件限制定时器 (TMR2/4/6+HLT) :
 - 丢失定期事件的硬件监视和故障检测
 - 具有外部复位功能的通用 8 位定时器/计数器
 - 支持不同的模式, 例如, 计满返回脉冲、单稳态、单触发和带边沿触发的单触发
- 具有两个 CCP 的捕捉/比较/PWM (Capture/Compare/PWM, CCP) 模块, 捕捉/比较模式为 16 位分辨率, PWM 模式为 10 位分辨率
- 2 个 10 位脉宽调制器 (Pulse-Width Modulator, PWM)
- 外设引脚选择 (PPS) 可使能数字 I/O 的引脚映射
- 带计算功能的 10 位模数转换器 (Analog-to-Digital Converter, ADC²) :
 - 35 个外部通道
 - 可在休眠模式下进行转换
 - 4 个内部模拟通道
 - 内部和外部触发选项
 - 自动对输入信号进行数学函数运算:
 - 平均值计算、滤波器计算、过采样和阈值比较
 - 8 位硬件采集定时器
- 支持硬件电容分压器 (CVD) :
 - 8 位预充电定时器
 - 可调节采样保持电容阵列
 - 保护环数字输出驱动器

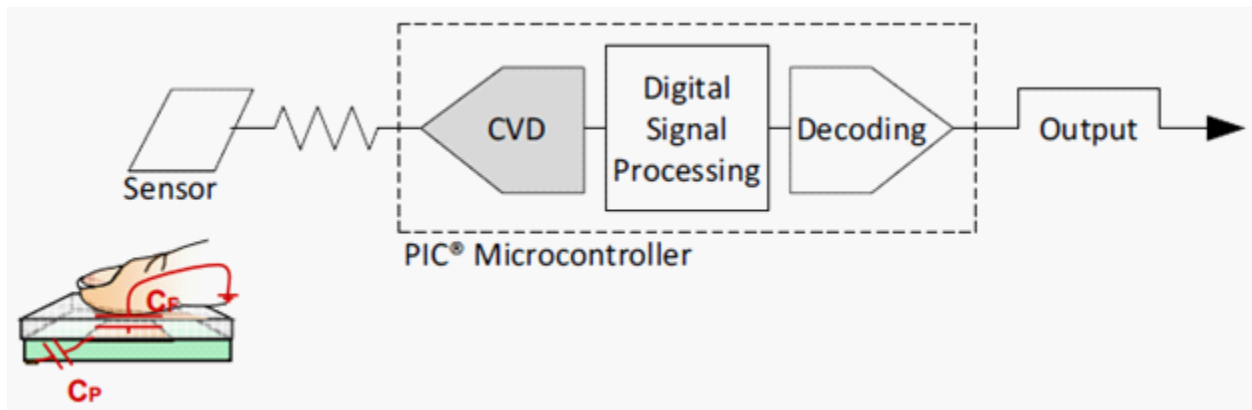
2. 电容触摸传感

许多需要人机交互的产品都集成了电容触摸界面，因为它兼具美观性和耐用性，同时设计灵活且极具成本效益。Microchip 的 mTouch 传感解决方案是一款基于电容变化的触摸传感解决方案。许多 PIC® 单片机支持具有计算功能的 ADC (ADC²) 和硬件电容分压器 (CVD)，这对电容触摸传感必不可少。Microchip 还为 MPLAB® X 代码配置器 (MPLAB X Code Configurator, MCC) 提供了易于使用的 mTouch 电容触摸传感库模块。将 mTouch 库添加到固件项目可在应用实现触摸传感器所需的触摸传感通道。

2.1 使用 ADC² 和硬件电容分压器 (CVD) 的电容触摸传感

有几种技术可用于电容触摸检测，最常见的是电容分压 (Capacitive Voltage Division, CVD)。Microchip 的差分 CVD 采集技术是一种基于电荷/电压的技术，仅需一个 ADC 和极少的数字处理开销即可测量引脚上的相对电容，从而实现高级触摸传感。CVD 产生充电方波并测量衰减结果，然后对多个衰减结果求平均值，并将其与某个阈值进行比较。

图 2-1. CVD 系统



有关 CVD 的更多详细信息，请参见 Microchip 网站上的应用笔记 [AN1478: mTouch® 触摸传感解决方案采集方法电容分压器](#)

2.2 适用于 MPLAB X 代码配置器的 mTouch 电容触摸传感库模块

利用 mTouch 电容触摸传感库模块，用户可以快速轻松地生成电容触摸按钮、接近传感器和滑动条/滚轮解决方案的 C 代码。

该库模块使用 MCC 的图形用户界面 (Graphical User Interface, GUI) 来实现以下配置：

- 设置多个 mTouch 参数
- 使能各种 mTouch 功能
- 生成编程 PIC 单片机所需的 C 代码

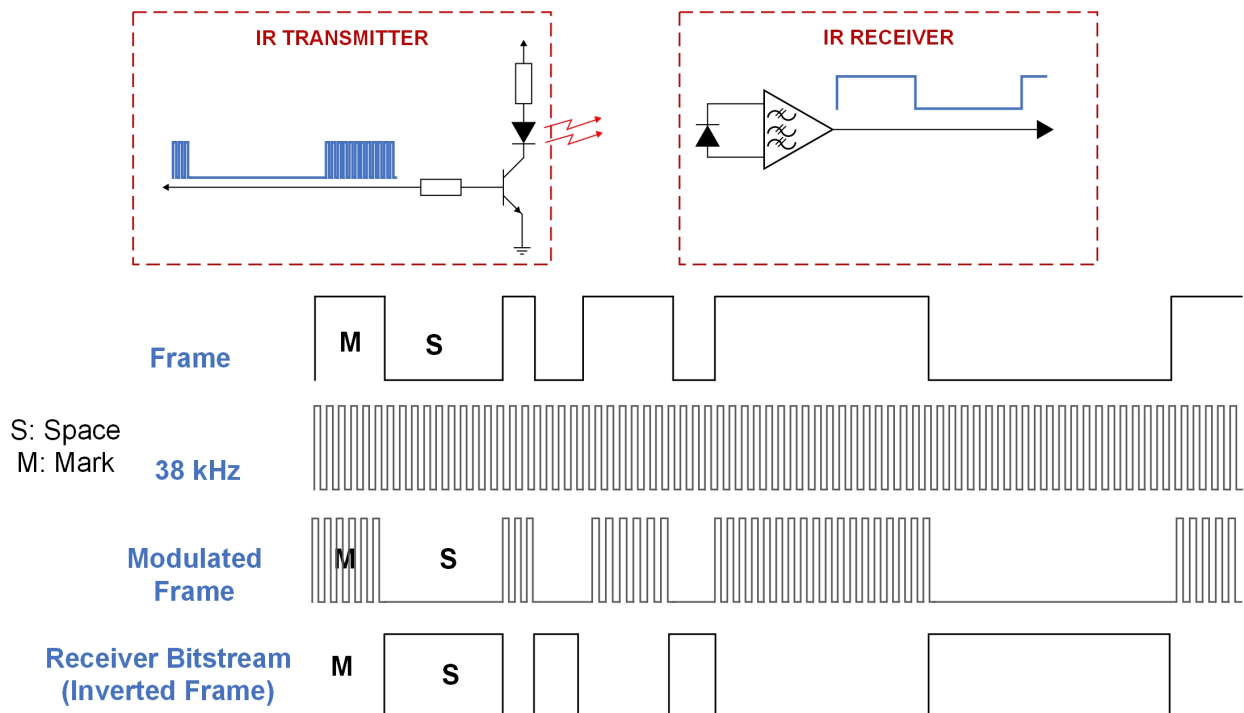
有关如何设置基本 mTouch 项目的更多详细信息，请参见 [mTouch® Capacitive Sensing Library Module for MPLAB® X Code Configurator User's Guide](#)。

3. 红外通信

由于红外（IR）成本低廉、简单易用，因此成为一种十分常见的无线通信技术。红外光的波长略长于可见光的波长，因此人眼无法看到。在日常生活中，有许多红外光源，例如太阳、灯泡和任何散发热量的物体。

因此，在实际应用中，需要用载波信号调制红外信号，以避免干扰周围红外源发出的其余红外信号。通常使用固定载波频率（通常在 33 至 40 kHz 或 50 至 60 kHz 之间）进行调制。最常用的协议是 NEC 红外协议，它指定了 38 kHz 的载波频率。

图 3-1. 红外传输



如上所示，典型的红外帧由标记和间隔组成。间隔是信号的默认状态（“帧”和“调制帧”信号的逻辑低电平）。标记是发射器处于活动状态并以调制频率开关时的状态。标记和间隔的持续时间是编码要传达的信息的时间。

不同的协议使用标记和间隔的方式也不同。标记和间隔因接收器而异。在红外接收器中，标记为逻辑低电平，间隔为逻辑高电平。

3.1 红外通信协议

目前有多种常用的标准红外数据通信协议。Sony®制造了多种类型的消费类设备，这些设备共享一种称为 S-link 的通用专有协议。Philips 开发的 RECS-80 和 RC-5 代码被临时称为国际标准。但是，RECS-80 协议容易受到干扰，很快被 RC-5 协议取代。

由于对 DVD 播放器、电缆盒或 DVR 等新型电子产品的需求迅速增长，这促使 Philips 将 RC-5 协议替换为较新的 RC-6 协议，RC-6 协议支持一组扩展设备（RC-6 协议为 256 个，而 RC-5 协议为 32 个），每个设备有多条命令（RC-6 中为 256 条，而 RC-5 中为 64 条，RC-5x 中为 128 条）。

日本主要的消费电子产品制造商几乎普遍采用了由 NEC（现为 Renesas Electronics）开发和管理的协议。NEC 协议中为每个制造商都分配了包含在发送命令中的惟一代码，从而避免其他远程手持设备错误触发。

使用通用 8 位单片机可以轻松创建和/或解码这些传输协议。发送红外命令仅需要一个单片机和一个红外发光二极管（Light-Emitting Diode, LED），LED 可以从多种来源获得。可以通过专用的红外接收器轻松接收 RC-5、RC-6 和 NEC 协议的调制命令。在此应用中，将使用 NEC 协议。

3.2 NEC 协议

NEC 红外传输协议使用报文位的脉冲距离编码。每个脉冲突发（标记——红外 LED 发射器开启）的长度为 562.5 μ s，载波频率为 38 kHz。逻辑位的发送方式如下：

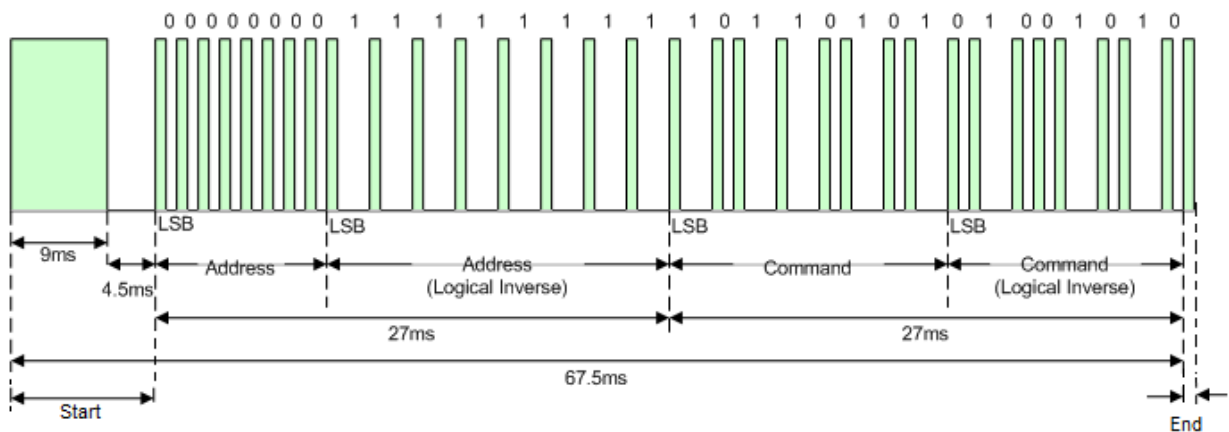
- 逻辑 0——562.5 μ s 脉冲突发，后跟 562.5 μ s 间隔；总发送时间为 1.125 ms。
- 逻辑 1——562.5 μ s 脉冲突发，后跟 1.6875 ms 间隔；总发送时间为 2.25 ms。

在使用 NEC 红外传输协议发送或接收远程控制代码时，如果将用于调制/解调的载波频率设置为 38.222 kHz，则编解码器具有最佳性能。当按下遥控器上的一个按键时，发送的报文依次包含以下内容：

- 9 ms 前导脉冲突发（是逻辑数据位所采用的脉冲突发长度的 16 倍）
- 4.5 ms 间隔（9 ms 标记 + 4.5 ms 间隔 = 13.5 ms 启动序列）
- 接收设备的 8 位地址
- 地址的 8 位逻辑取反结果
- 8 位命令
- 命令的 8 位逻辑取反结果
- 最后的 562.5 μ s 脉冲突发表示报文发送结束。

依次发送四个字节的的数据位（两个字节的地址和两个字节的命令），先发送最低有效位（Least Significant bit, Lsb）。下图给出了地址为 0x00（00000000b）且命令为 0xAD（10101101b）的 NEC 红外传输帧的格式。

图 3-2. 使用 NEC 红外传输协议的报文帧示例



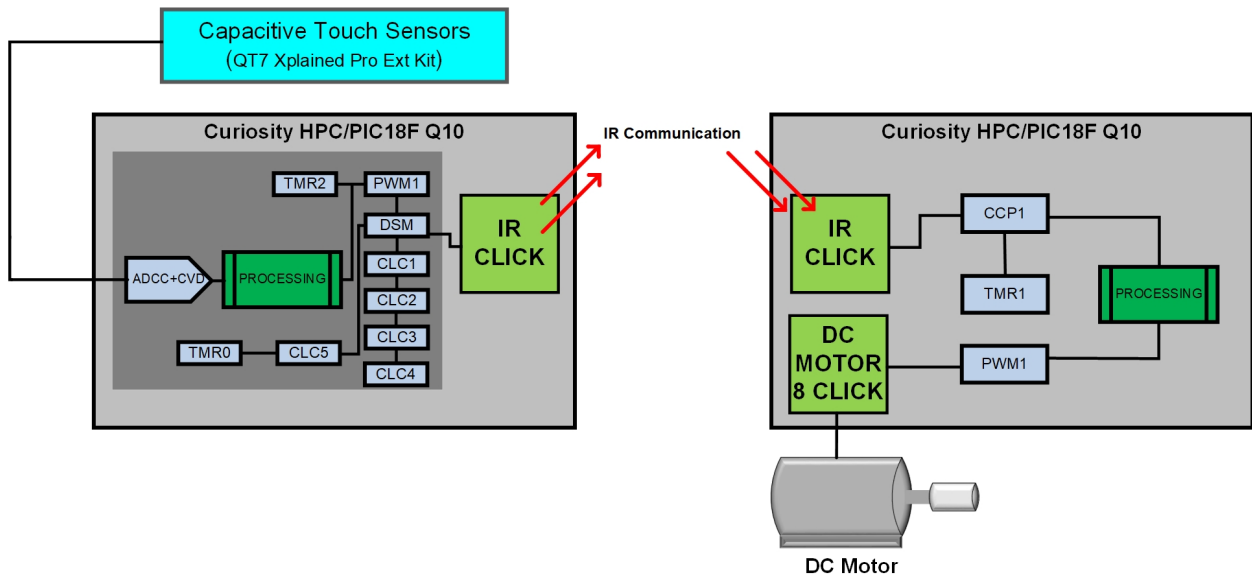
下文说明了如何计算使用上图所示的 NEC 红外传输协议发送一个字节的命令所需的时间。

- 发送 16 位地址（地址 + 逻辑取反结果）和 16 位命令（命令 + 逻辑取反结果）各需要 27 ms。这源自最终包含 8 个 0 和 8 个 1 的各个 16 位块，因此需要 $(8 * 1.125) \text{ ms} + (8 * 2.25) \text{ ms} = 9 + 18 \text{ ms} = 27 \text{ ms}$ 。
- 发送报文帧需要 68.625 ms 的时间：13.5 ms 的启动序列，27 ms 的接收器地址，27 ms 的命令和最终 562.5 μ s 的脉冲突发（表示报文结束）。

4. 应用概览

本应用笔记中使用 PIC18 Q10 MCU 实现了一个简单的实时控制应用。本应用将多个 CIP 结合使用来构建电容触摸传感界面、红外发射器、红外接收器和直流电机控制单元。

图 4-1. 使用触摸界面和红外通信控制直流电机

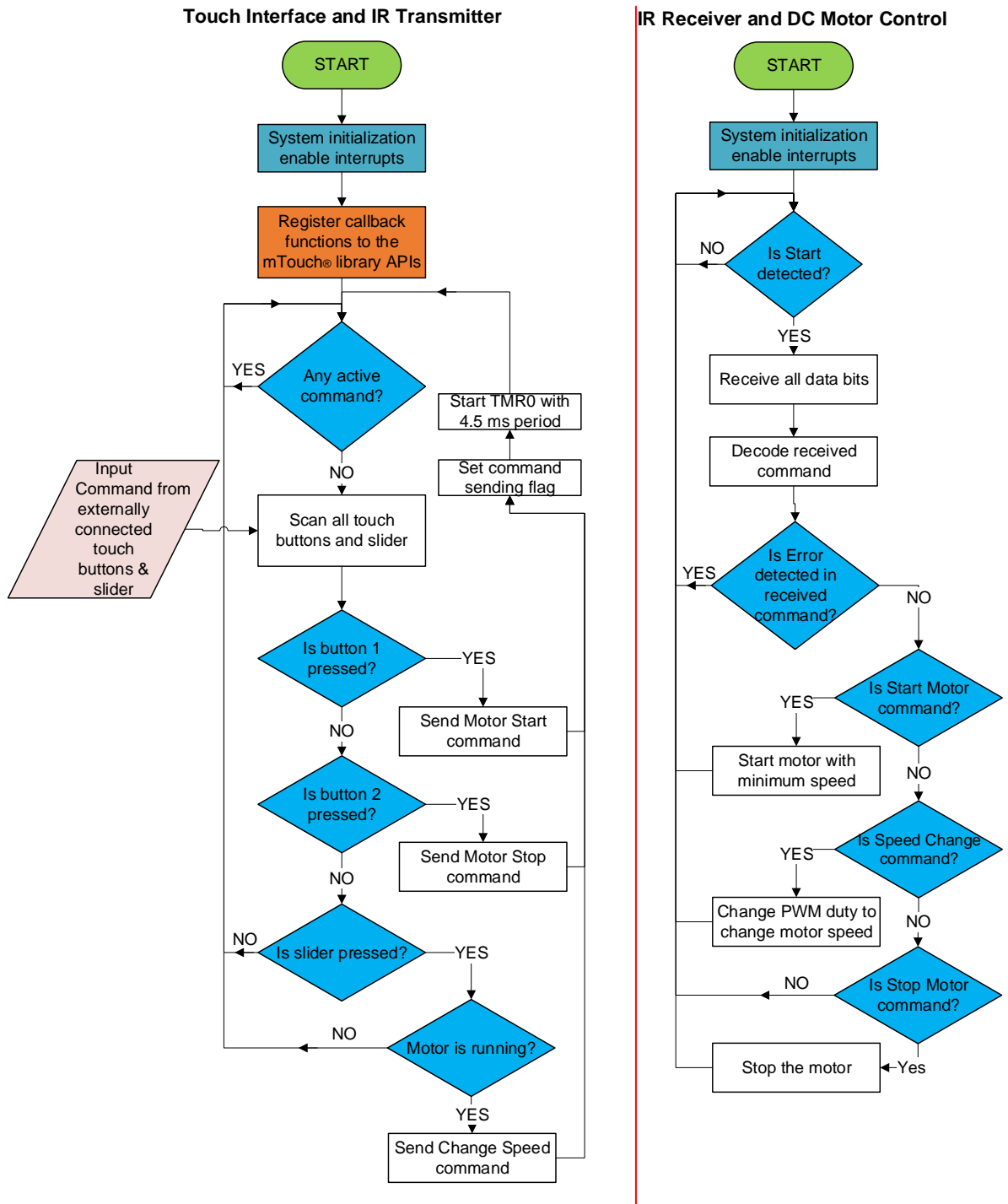


PIC 单片机的 ADC² 模块使用 CVD 技术连续获取电容触摸传感器的数据，并监视触摸传感器的状态。QT7 Xplained Pro 扩展板由两个触摸按钮和一个滑动条组成。QT7 Xplained Pro 扩展板上的两个触摸按钮中的按钮 1 用于启动电机。当直流电机停转并按下按钮 1 时，将发送启动电机的命令。而当电机正在运行并按下按钮 2 时，将发送停止电机的命令。可使用滑动条增大或减小直流电机的速度。单片机根据适当的传感器检测结果生成预定义的命令。

生成的命令通过红外通信发送到接收器。红外发射器通过 PIC18 Q10 单片机的 CLC、PWM 和 DSM 外设实现，并使用 NEC 协议对要发送的命令进行编码。从 DSM 模块输出的红外信号将提供给 IR click 板上的红外 LED。

在接收器侧，IR click 板使用板上红外接收器模块接收红外命令。接收到的信号馈入 Curiosity HPC 板上的 PIC18 Q10 MCU 的 CCP。单片机使用 CCP 模块对接收到的命令进行解码。使用单片机的 PWM 外设和直流电机 click 板，采取相应的控制措施启动/停止以及更改直流电机的速度。

图 4-2. 应用程序流程图



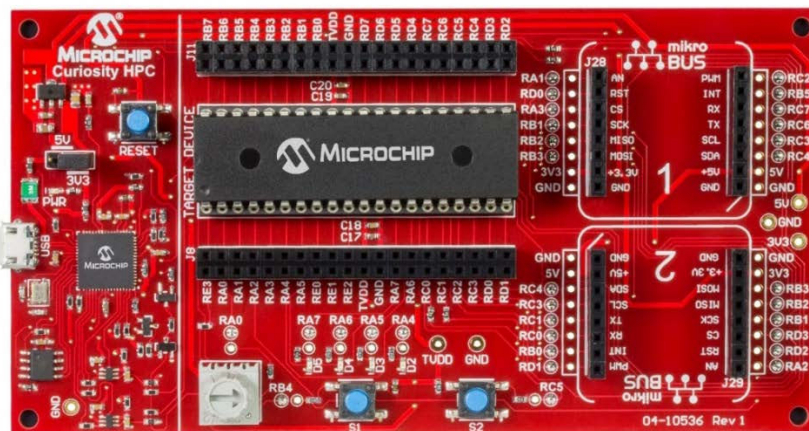
5. 硬件概述

本应用使用现有的评估板。触摸界面和红外发射器一节由 Curiosity HPC 开发板、Microchip 的 QT7 Xplained Pro 扩展板和 MikroElektronika 的 IR Click Boards™ 组成。红外接收器和直流电机控制一节由 Microchip 的 Curiosity HPC 开发板以及 MikroElektronika 的 DC Motor 8 click 和 IR click 板组成。小型直流电机由单片机的 PWM 模块控制。

5.1 Curiosity HPC 开发板

Curiosity HPC 开发板是一款全集成的 8 位开发平台，它包含集成编程器/调试器，无需额外硬件即可开始使用。这款开发板提供了几种用户界面选项，包括物理开关、板上电位器和用户 LED 指示灯。可通过 MikroElektronika mikroBUS™ 接口插座获得完整的附件板。

图 5-1. Curiosity HPC 开发板



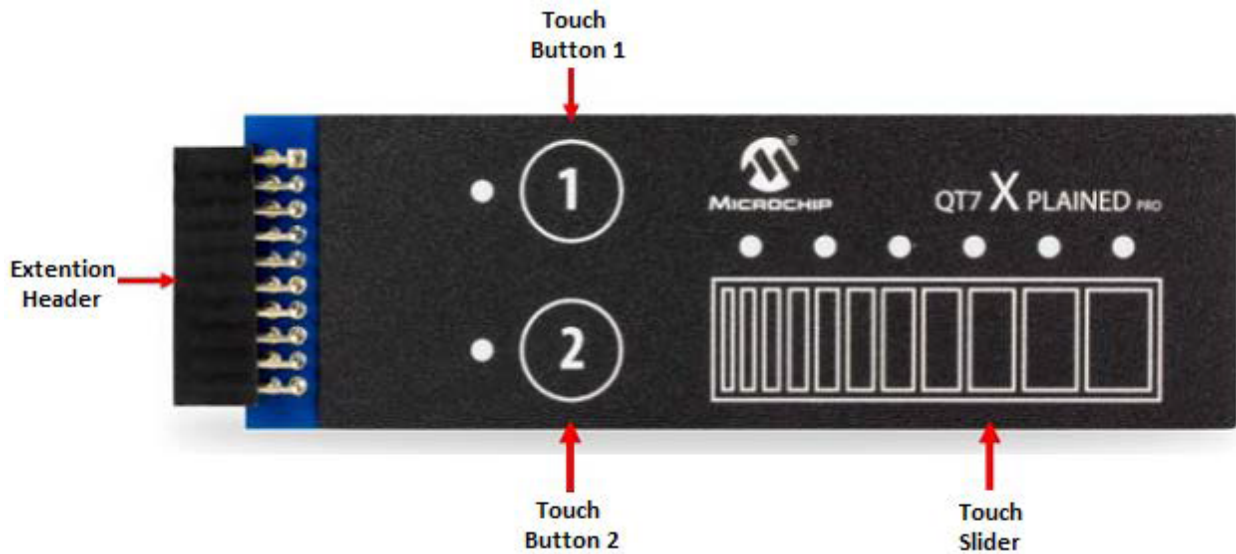
5.2 QT7 Xplained Pro

QT7 Xplained Pro 扩展板设计用于探究触摸功能。

特性：

- 两个自电容触摸按键/按钮
- 一个自电容触摸滑动条
- 八个 LED：
 - 每个按键一个 LED
 - 滑动条共六个 LED

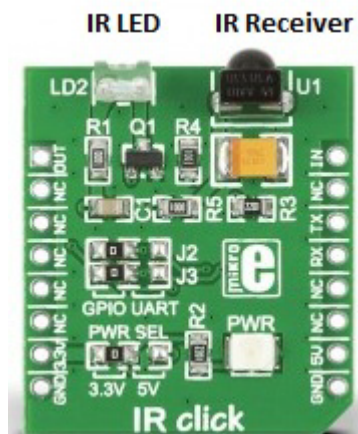
图 5-2. QT7 Xplained Pro 扩展板



5.3 IR Click

IR click 是一款小巧而简单易行的解决方案，可用于在设计中添加红外遥控功能。它有一个 TSOP38338 红外接收器模块和一个 QEE113 红外发光二极管。对于 RCMM、NEC、RC5、RC6、r-step 和 XMP 代码，建议使用 38 kHz 接收器载波频率。IR click 通过 mikroBUS UART（TX 和 RX）或 AN 和 PWM 线与目标单片机通信。可使用跳线 J2 和 J3 在这两种方式之间选择。本应用中使用了 AN 和 PWM 信号。可使用 J1 0Ω SMD 跳线选择 3.3V 电源或 5V 电源。默认选择的是 3.3V 选项。

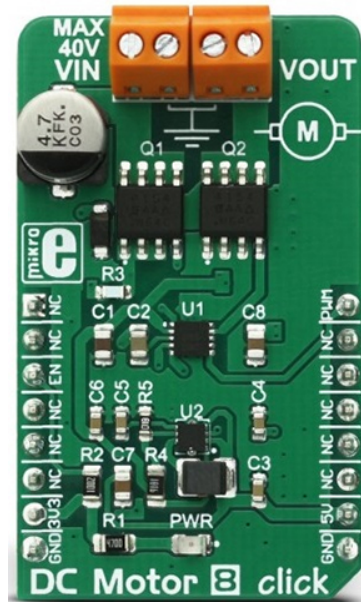
图 5-3. IR Click



5.4 DC Motor 8 Click

DC Motor 8 Click 是一款直流电机驱动器，可以驱动简单的有刷直流电机，为其提供大量电流和最高 40V 的电压。DC Motor 8 click 依赖于具有自适应死区和直通保护的 85V 半桥 MOSFET 驱动器 MIC4605。该 IC 使用其 PWM 引脚上的输入来调节输出 MOSFET 的开关状态。用于为直流电机提供最高 40V 电源电压的 VIN 电源端子与驱动器电路完全隔离。但是，为了正常运行，驱动器必须提供足够的电压来激活 MOSFET。为此，DC Motor 8 click 采用了一个升压转换器，该转换器由 Microchip 的 2 MHz 升压稳压器 MIC2606 组成。升压稳压器电路可将 mikroBUS 的 5V 电压升高至 12V，这有助于达到理想的 MOSFET 开关条件，并使通过 MOSFET 的电阻（RDSon）保持在最佳电平。当需要功能强大且可靠的直流电机驱动器时（例如各种电池供电的手持工具和风扇等），可以使用该直流电机驱动器。

图 5-4. DC Motor 8 Click



5.5 直流电机

演示中使用了带动玩具车机器人塑料轮胎的小型直流齿轮电机。直流电机的规格为：

- 电压：DC 3V-6V
- 电流：100 mA-120 mA
- RPM（带轮胎）：100-240
- 轮胎直径：65 mm
- 车速（米/分钟）：20-48
- 电机尺寸：70 mm X 22 mm X 18 mm

图 5-5. 带动玩具车轮胎的直流电机



6. 固件概述

6.1 软件工具

整个应用固件开发过程中使用 MPLAB 集成开发环境（Integrated Development Environment, IDE）、编译器和图形代码生成器工具，以提供轻松无忧的用户体验。以下是本演示应用所使用的工具：

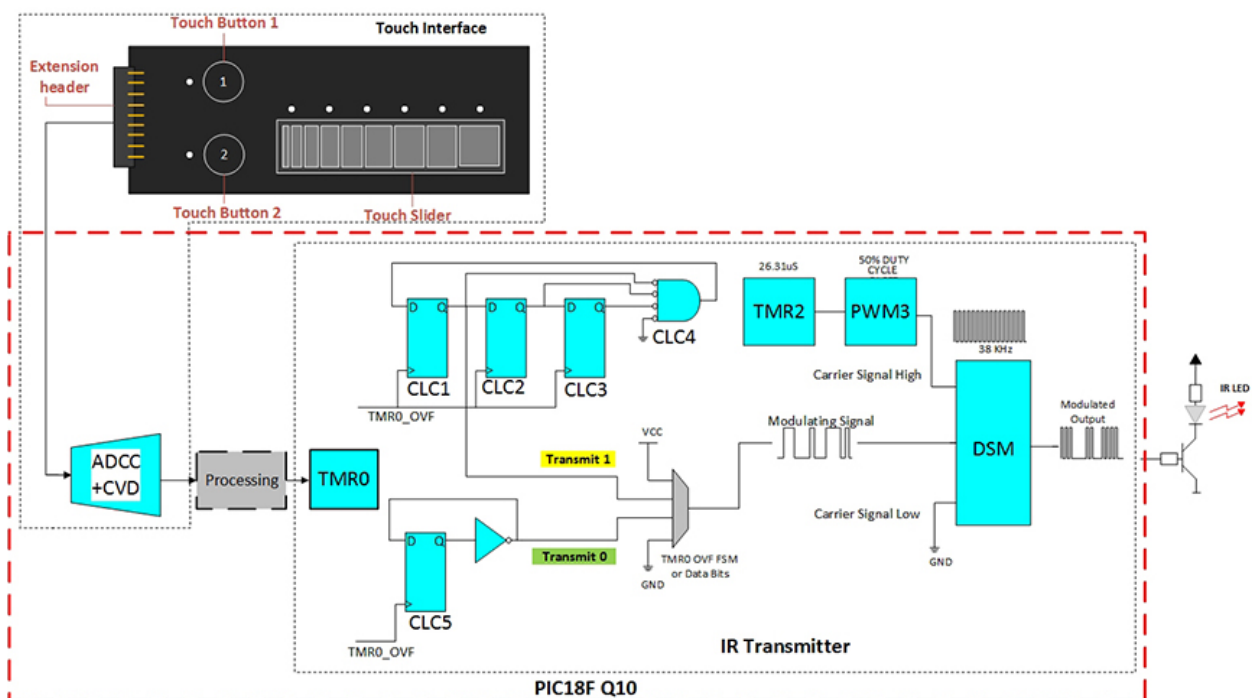
- MPLAB X IDE V5.20
- XC8 编译器 V2.05
- MPLAB 代码配置器（MCC）V3.75
- 适用于 MCC 的 mTouch 电容触摸传感库模块

注：为了运行演示，安装的工具应为相同版本或更高版本。本示例未使用以前的版本进行测试。

6.2 触摸界面和红外发射器

本应用将智能模拟功能与独立于内核的外设（CIP）结合使用来构建触摸界面和红外发射器。为实现触摸界面，ADC² 与硬件 CVD 一起使用。红外发射器使用 NEC 红外传输协议，并通过 CIP（例如 CLC、PWM 和 DSM）以及 Timer0 来实现，如下图所示。应用使用 MCC 来配置不同的 CIP 并将它们互连来生成调制信号。调制后的信号馈入 IR click 的红外 LED 来发送命令。

图 6-1. 触摸界面和红外发射器框图



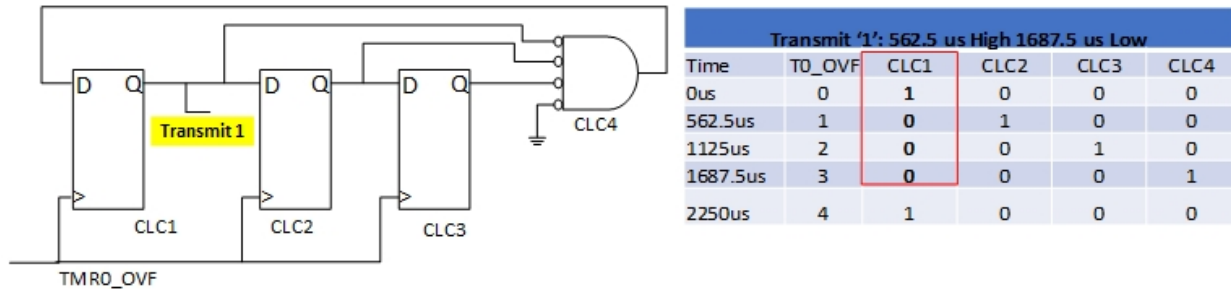
6.2.1 触摸界面

在应用程序固件中，可利用适合 MCC 的 mTouch 电容触摸传感库模块实现触摸界面，从而快速轻松地生成电容触摸按钮、接近传感器和滑动条/滚轮解决方案的 C 代码。对于每个按钮触摸或滑动条位置改变事件，可从查找表中获取相应的 8 位命令。然后，为该事件准备将通过红外接口发送的 32 位数据，该数据由红外接收器的地址、地址的逻辑取反结果、8 位命令和命令的取反结果组成。

6.2.2 红外发射器

DSM 外设用于生成由红外发射器发送的开关键控 (On-Off Keying, OOK) 调制信号。应用程序根据是否发送启动序列或者要发送的数据位是逻辑 1、逻辑 0 还是结束序列来决定将哪个信号连接到 DSM 的调制信号。数据位发送过程中, Timer 0 每 562.5 μs 产生一次溢出事件。如果要发送的数据位是逻辑 1, 则按照 NEC 协议使用 CLC1、CLC2、CLC3 和 CLC4 外设生成 562.5 μs 高电平脉冲, 后跟 1.6875 ms 低电平脉冲, 如下图所示。

图 6-2. 发送 1 时的 CLC 配置



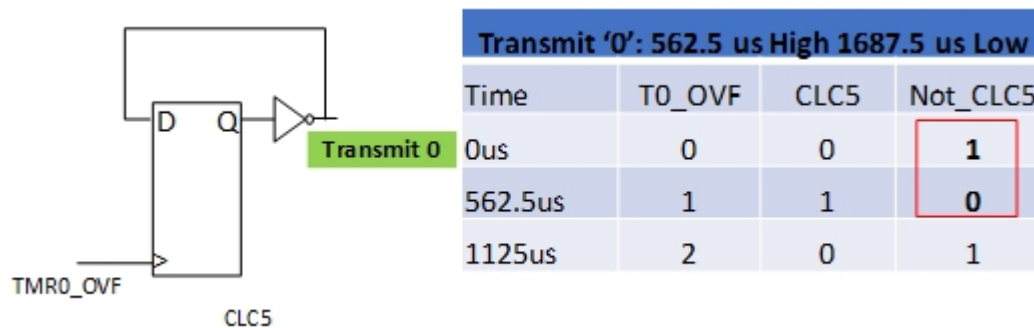
发送逻辑 1:

- CLC1、CLC2 和 CLC3 配置为 D 触发器。
- CLC4 配置为具有四个输入的“与”门。
- Timer 0 溢出事件配置为三个 D 触发器的时钟。
- 最初时, CLC1 的输出置 1。
- 在 Timer 0 下一次溢出时, CLC1 D 触发器的输出变为低电平, CLC2 输出变为高电平。
- 在 Timer 0 下一次溢出时, CLC1 和 CLC2 D 触发器的输出变为低电平, CLC3 输出变为高电平。
- 在 Timer 0 下一次溢出时, CLC1、CLC2 和 CLC3 D 触发器的输出变为低电平, CLC4 输出变为高电平。从上图的表格中可以看出, CLC1 的输出为 1,0,0,0, 即 562.5 μs 高电平脉冲和 1.6875 ms 低电平脉冲。
- CLC1 的输出连接到 DSM 调制信号以发送逻辑 1 数据位。

发送逻辑 0:

如果要发送的数据位是逻辑 0, 则按照 NEC 协议使用 CLC5 生成 562.5 μs 高电平脉冲, 后跟 562.5 μs 低电平脉冲, 如下图所示。

图 6-3. 发送 0 时的 CLC 配置



- CLC5 配置为 D 触发器, 且 CLC5 的输出反相。
- Timer 0 溢出事件配置为 D 触发器的时钟。
- 最初时, CLC5 D 触发器的输出为低电平, CLC5 的反相输出为高电平。
- 在 Timer 0 下一次溢出时, CLC5 D 触发器的输出变为高电平, CLC5 的反相输出变为低电平。
- 从上图的表格中可以看出, CLC5 的反相输出为 1,0, 即 562.5 μs 高电平脉冲和 562.5 μs 低电平脉冲。
- CLC5 的反相输出连接到 DSM 调制信号以发送逻辑 0 数据位。

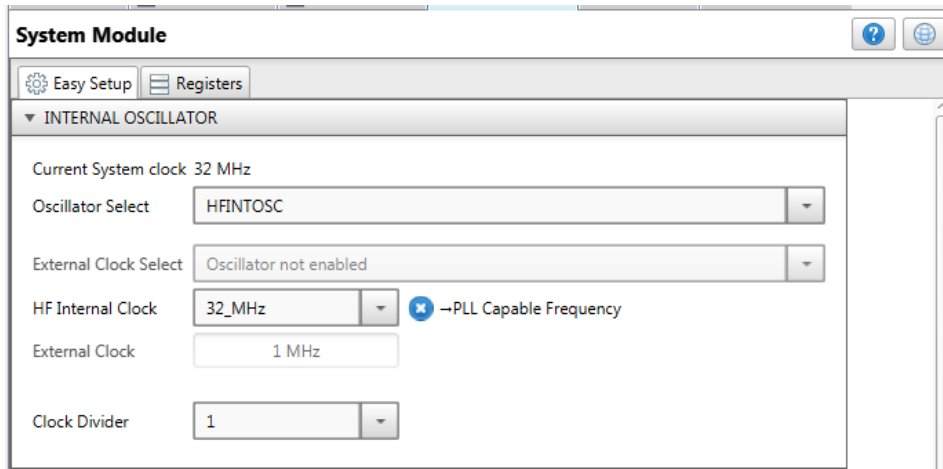
在每个数据位发送结束时, 检查要发送的下一个数据位。根据要发送的下一个位是逻辑 1 还是逻辑 0 来使能 CLC1-4 组合或 CLC5 并将其连接到 DSM 调制信号。

调制：

PWM3 外设与 Timer 2 一起用于生成 38 kHz 的载波信号。每当调制信号为高电平时，DSM 载波高电平信号所连接的 PWM3 模块的 38 kHz 输出便会连接到 DSM 输出。每当调制信号为低电平时，DSM 的输出便为载波低电平信号（即 PWM4 输出，配置为 0% 占空比以提供与地等效的信号）。调制后的信号（即 DSM 的输出）馈入 IR click 的红外 LED 来发送命令。

6.2.3 使用 MCC 完成 MCU 时钟和外设配置

在用于触摸界面和红外发射器的演示固件中，高频内部振荡器（HFINTOSC）用于生成 32 MHz 系统时钟。使用系统模块按下图所示配置系统时钟。

图 6-4. 系统时钟配置

使用 MCC 按图 6-5、图 6-6 和图 6-7 所示配置触摸传感器和触摸参数。

图 6-5. mTouch 硬件传感器配置

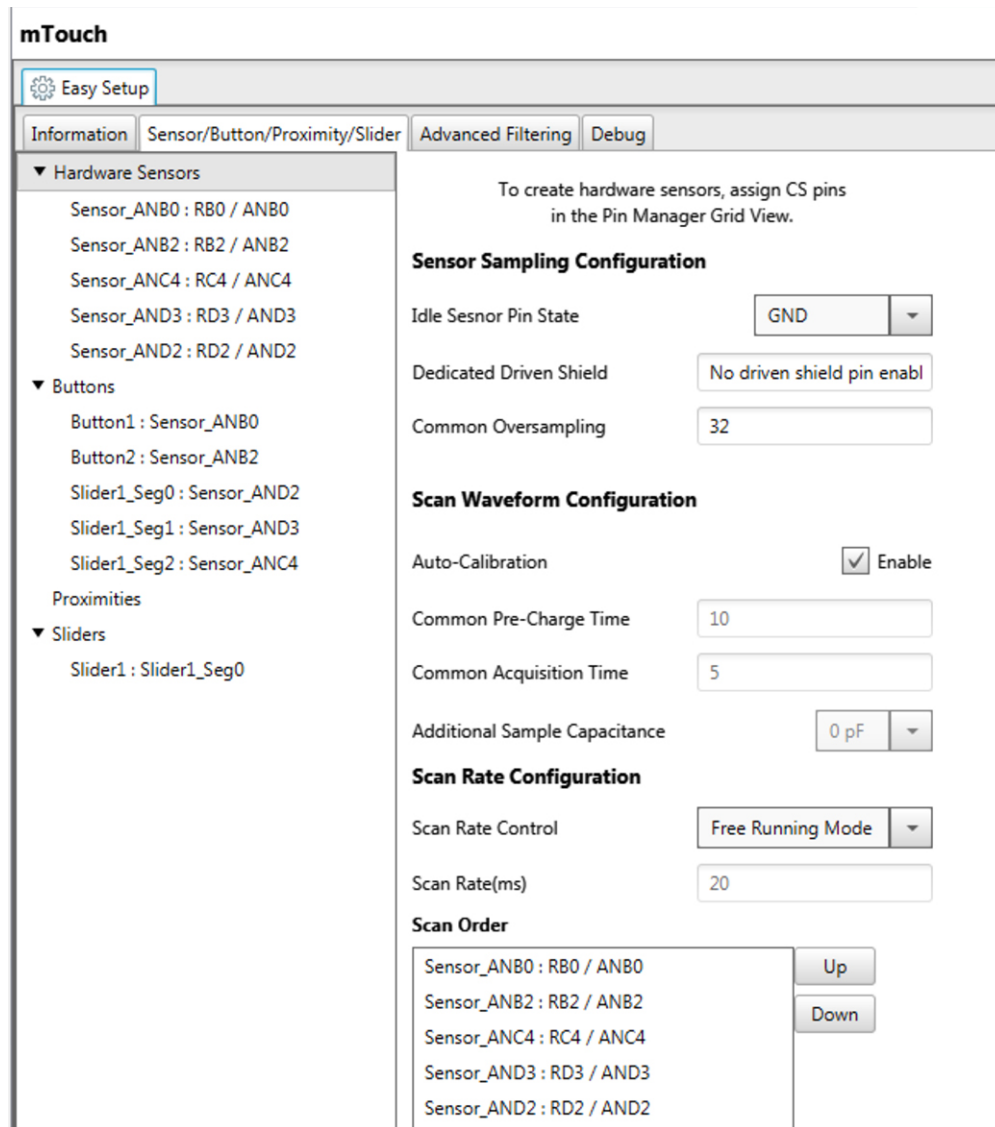


图 6-6. mTouch 按钮配置

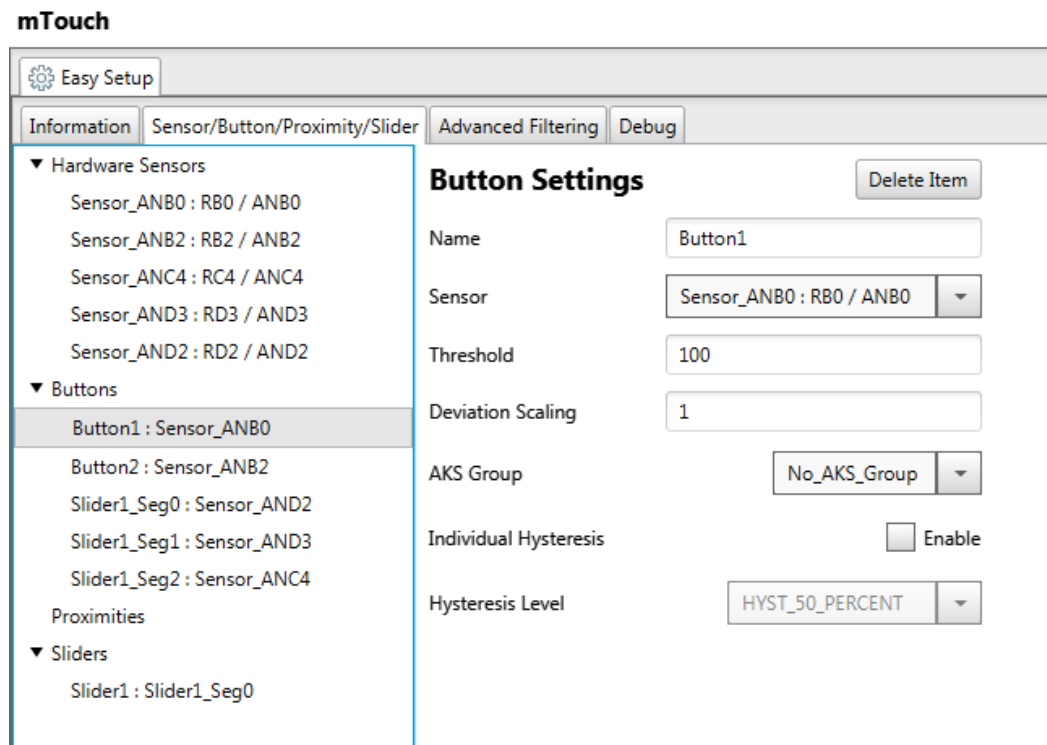
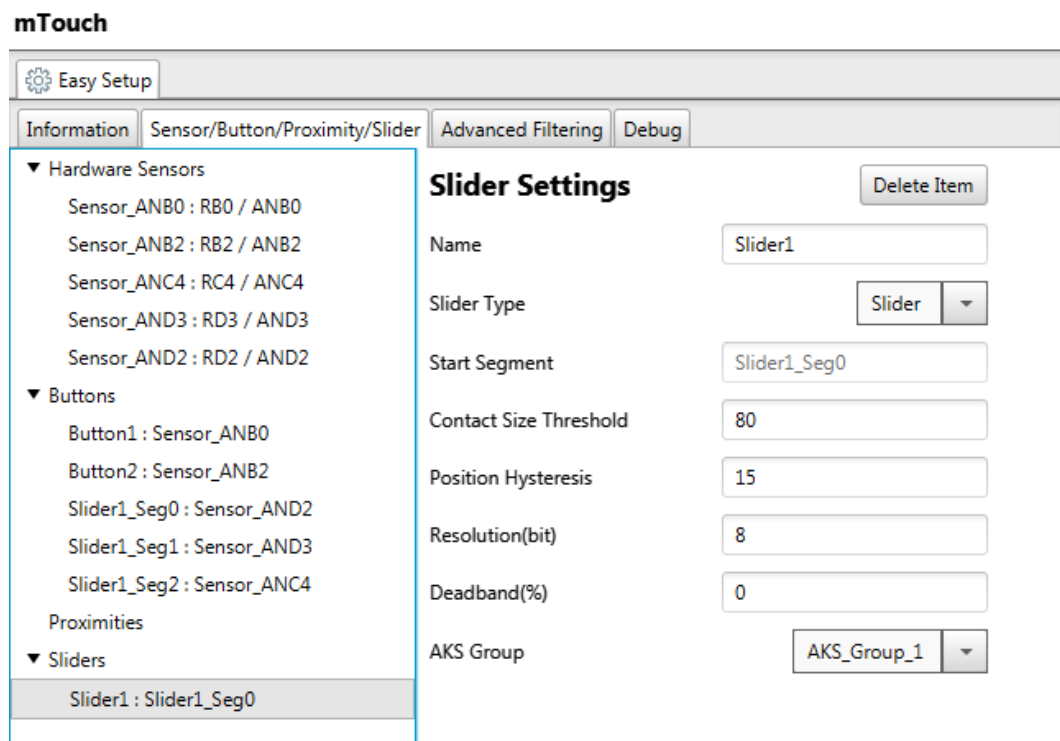


图 6-7. mTouch 滑动条配置



可使用 MCC 配置 PIC18 Q10 MCU 的以下外设。PWM3 外设与 Timer 2 一起用于生成 38 kHz 的载波信号。下图给出了 Timer 2 的配置。

图 6-8. Timer 2 配置

TMR2

⚙ Easy Setup
☰ Registers

Enable Timer

Control Mode Roll over pulse ▾

Ext Reset Source T2CKIPPS pin ▾

Start/Reset Option Software control ▾

Timer Clock

Clock Source FOSC/4 ▾

Enable Clock Sync

Clock Frequency 32.768 kHz

Polarity Rising Edge ▾

Prescaler 1:1 ▾

Postscaler 1:1 ▾

Enable Prescaler O/P Sync

Timer Period

Timer Period

125 ns ≤

26.16 us

≤ 32 us

Actual Period 26.125 us (Period calculated via PR Register value)

Software Settings

Enable Timer Interrupt

下图给出了 PWM3 和 PWM4 的配置。PWM4 连接到 DSM 的载波低电平信号以产生低电平输出。PWM4 占空比设置为 0%。

图 6-9. PWM3 和 PWM4 的配置

Parameter	PWM3	PWM4
Enable PWM	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Select a Timer	Timer2	Timer2
Duty Cycle	50 %	0.0 %
PWMDC Value	417	0
PWM Polarity	active_hi	active_hi
PWM Period	26.125 us	26.125 us
PWM Frequency	38.27751 kHz	38.27751 kHz
PWM Resolution	9 Bits	9 Bits

CLC1、CLC2、CLC3 和 CLC4 一起配置为发送逻辑 1 位。CLC5 配置为发送逻辑 0 位。图 6-10、图 6-11、图 6-12、图 6-13 和图 6-14 给出了 CLC 的配置。

图 6-10. CLC1 配置

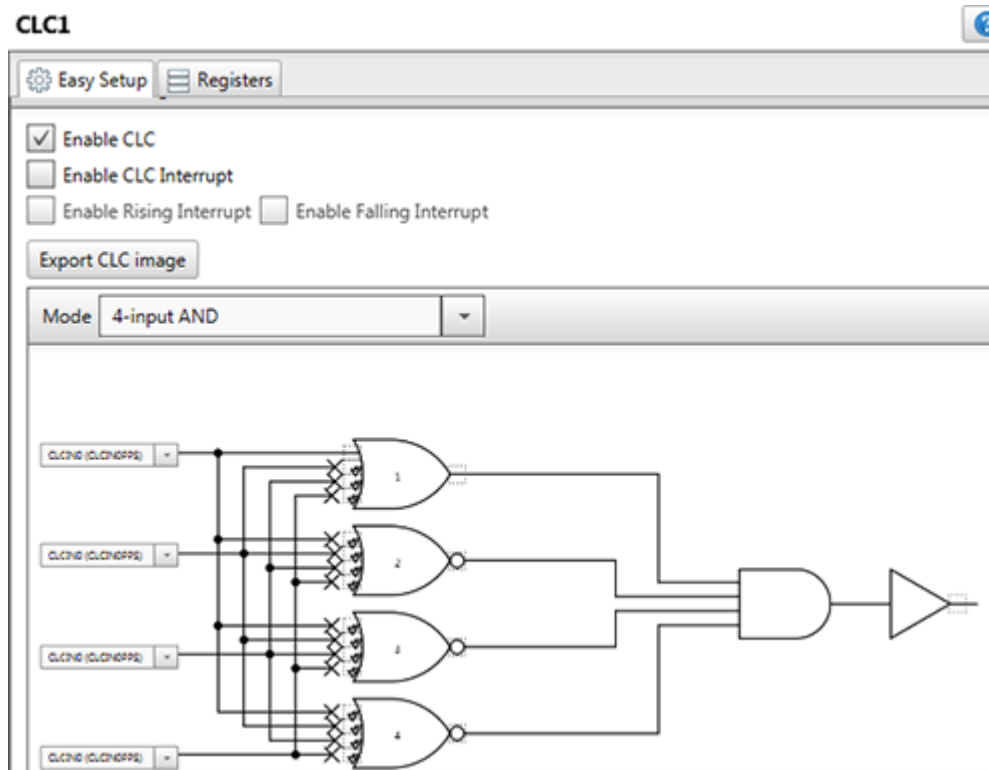


图 6-11. CLC2 配置

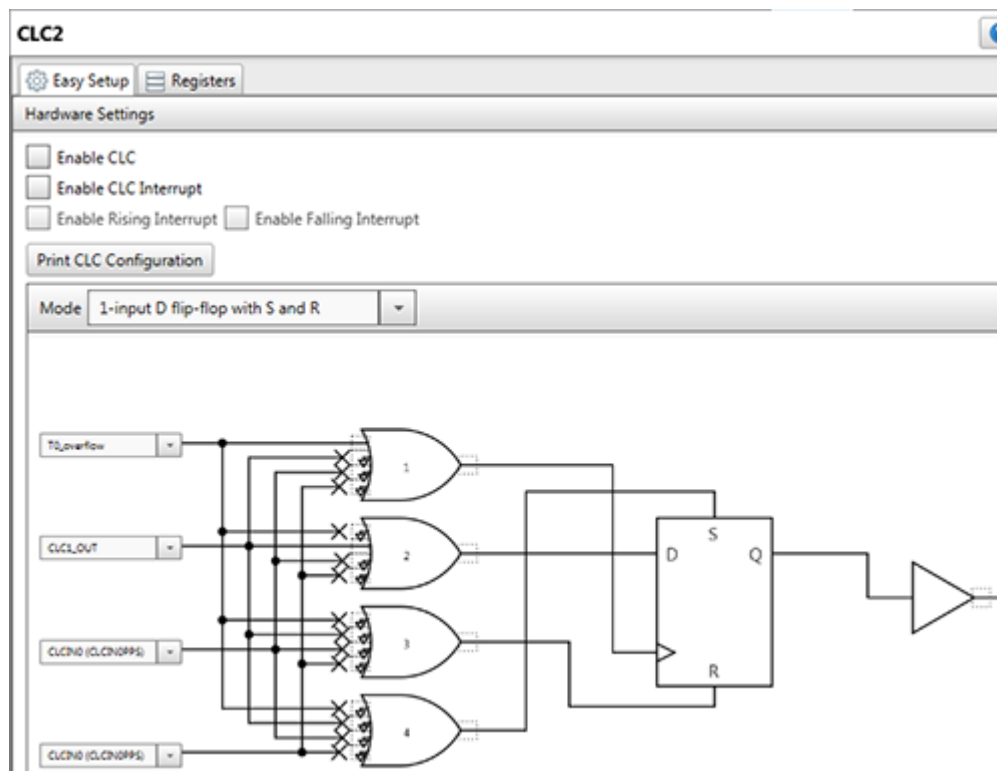


图 6-12. CLC3 配置

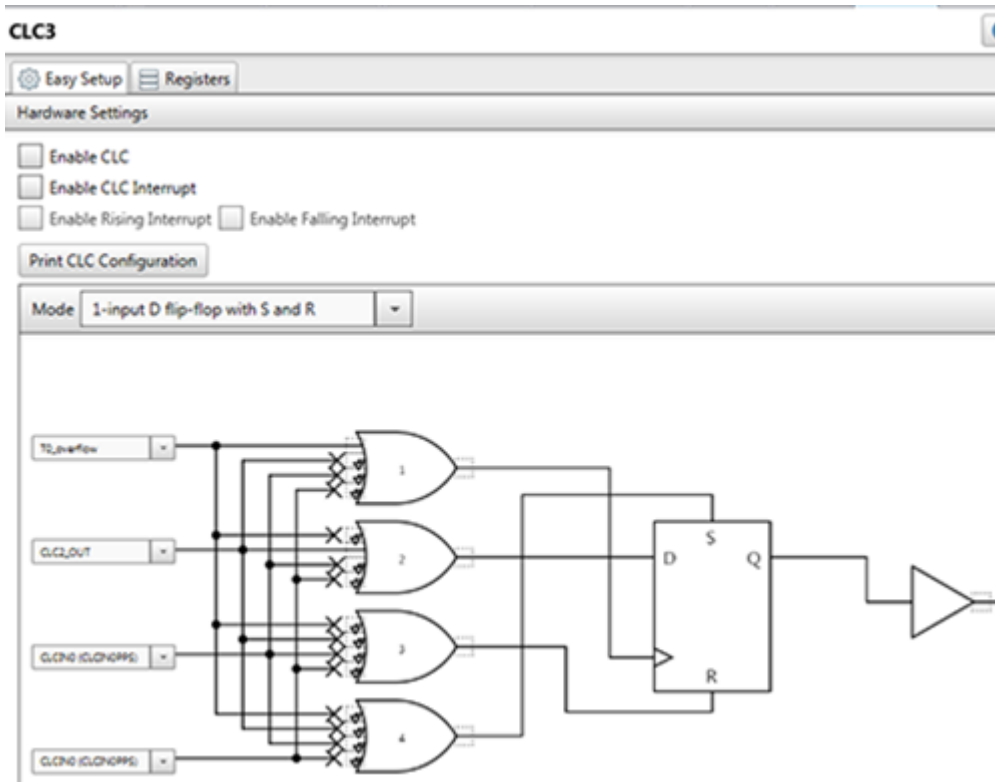


图 6-13. CLC4 配置

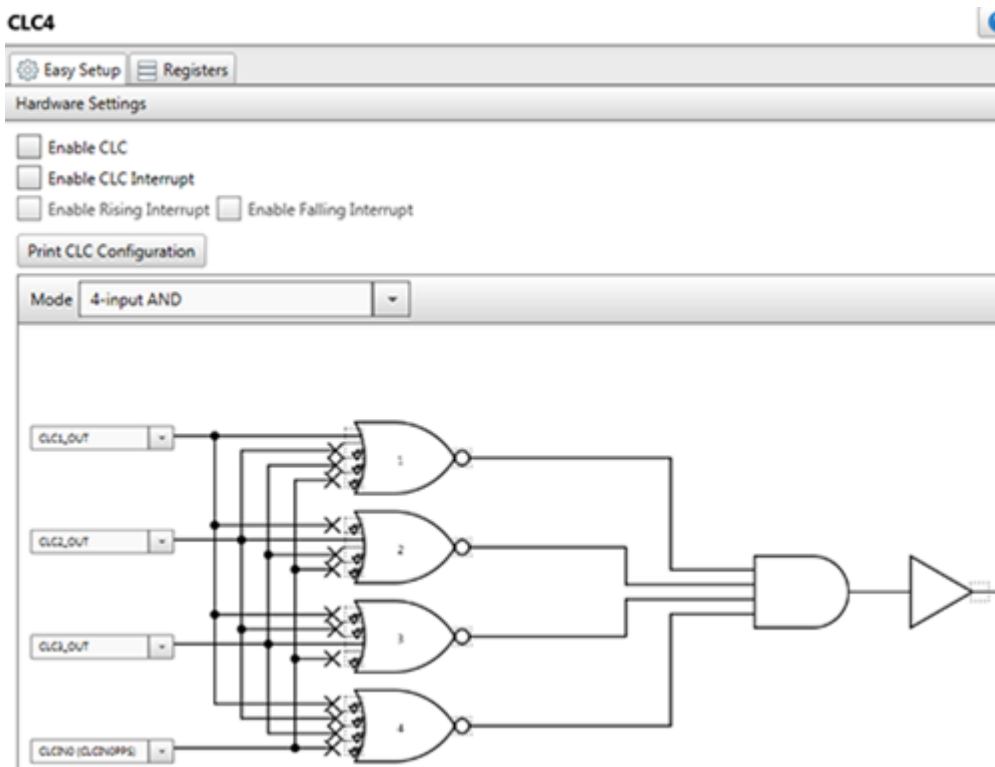
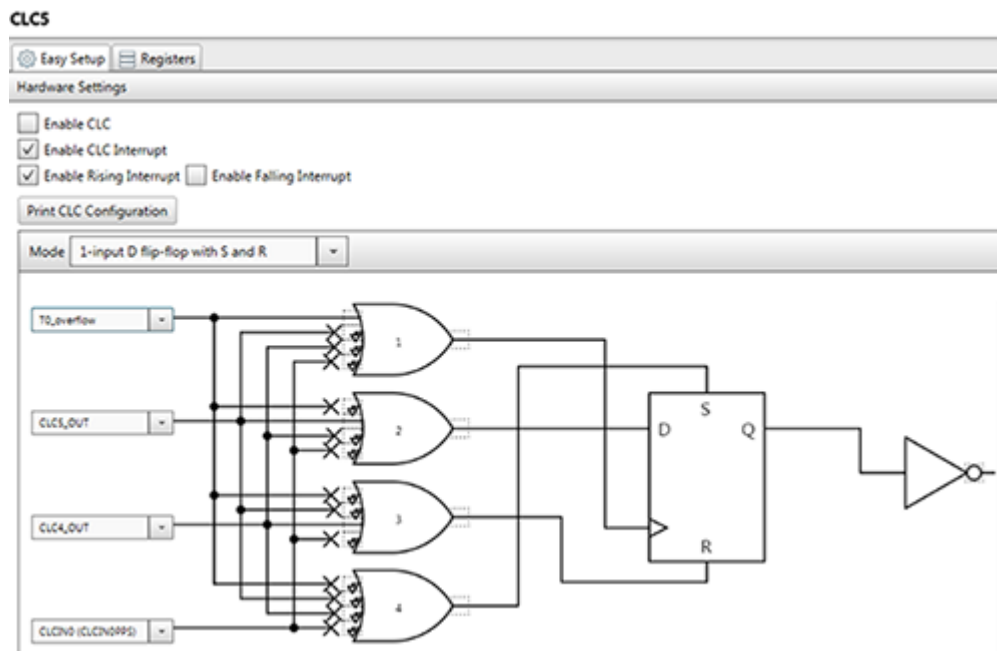
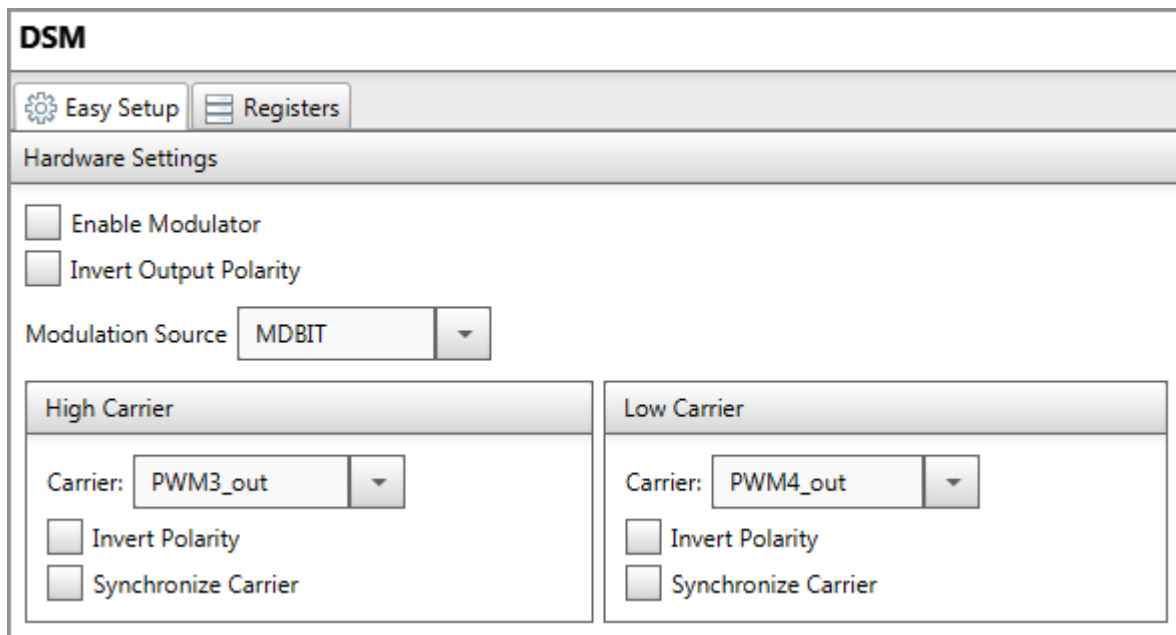


图 6-14. CLC5 配置



PWM3 模块生成 38 kHz 载波信号。DSM 模块将来自 PWM3 模块的 38 kHz 载波信号作为输入之一，并生成调制波形。调制后的波形需要馈入红外 LED 进行发送。下图给出了 DSM 的配置。

图 6-15. DSM 配置



6.2.4 固件操作

发送一条命令需要执行以下步骤：

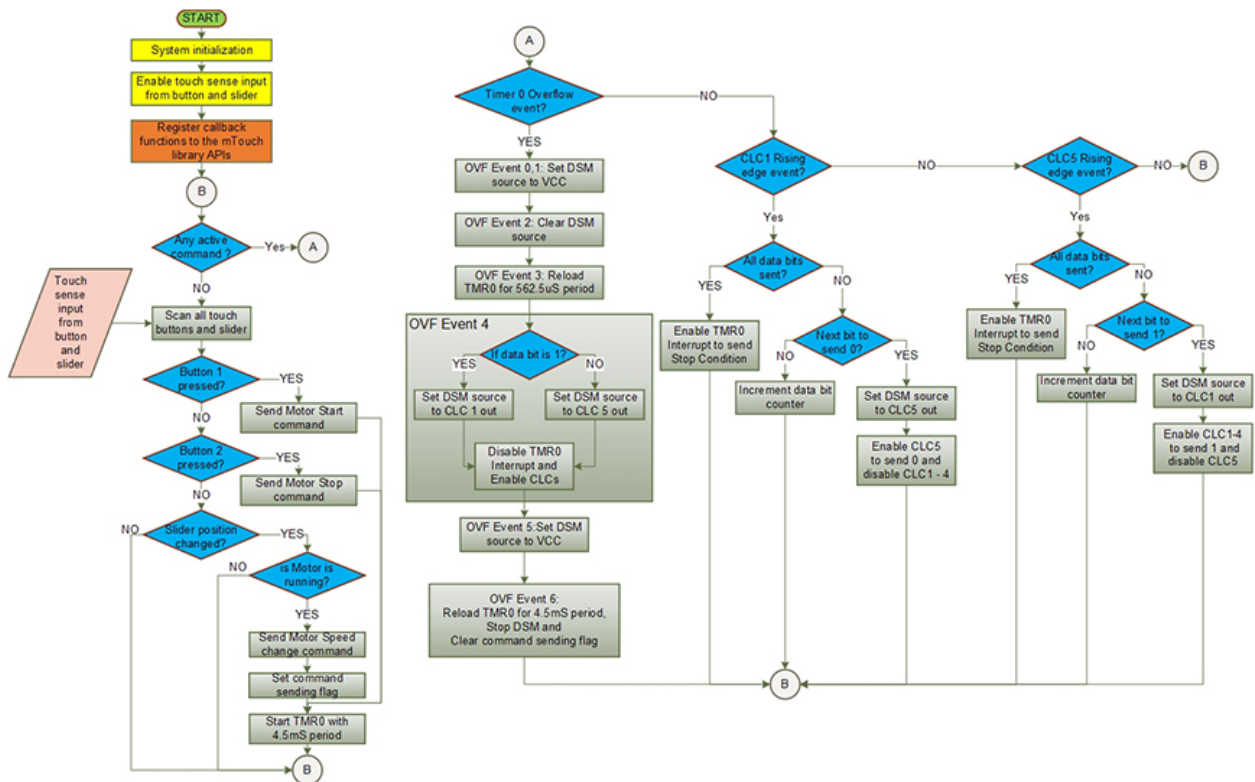
1. 通过按钮触摸事件或滑动条位置更改事件生成命令：

- 在 QT7 Xtension Pro 板上发生按钮触摸或滑动条位置更改事件之后，生成要发送的一个字节命令。
- 反转命令字节中的位顺序，以便按照 NEC 协议先发送 LSB。
- 获取接收器的地址，反转位顺序以便先发送 LSB。

-
- 生成要发送的 32 位数据值（地址、地址的逻辑取反结果、命令和命令的取反结果）。
- 2.发送命令：
- 启动 Timer 0，每 4.5 ms 溢出一次。
- 3.发送启动条件：
- 产生第一个溢出中断时，设置 DSM 调制信号，以使来自 PWM3 外设的 38 kHz 脉冲突发连接到 TX 引脚上的输出，从而实现 9 ms 的启动序列。Timer 0 连续两次产生溢出中断，因此 38 kHz 脉冲突发的发送时间为 9 ms。
 - 将 DSM 调制信号设置为低电平，然后再等待一个 Timer 0 溢出中断，以使 TX 引脚接地 4.5 ms，从而完成启动脉冲。
- 4.发送 32 位数据（红外接收器地址、地址的逻辑取反结果、命令和命令的取反结果）：
- 启动脉冲后，更改定时器周期值，以 562.5 μ s 周期发送 32 位数据。将 Timer 0 预分频比更改为 1:32，以使 Timer 0 的溢出脉冲为 4 μ s。这样可确保在初始化 CLC 时作为时钟连接到 CLC 的 Timer 0 溢出信号处于低电平状态，并确保 CLC 正常运行。
 - 禁止 TMR0 中断。其他中断在 CLC ISR 中处理。
- 5.使用 CLC 发送逻辑 1 或逻辑 0 位：
- CLC1、CLC2、CLC3 和 CLC4 配置为发送逻辑 1。
 - CLC5 配置为发送逻辑 0。
 - 从 32 位数据值中提取第一位并相应地发送逻辑 1 或逻辑 0。
 - 发送逻辑 1/0 后，将立即产生 CLC 中断（逻辑 1 对应 CLC1 中断，逻辑 0 对应 CLC5 中断）。
 - 检查是否已发送全部 32 位。
 - 如果未发送全部位，请检查下一个要发送的位是否为逻辑 1/0。
 - 情形 1：如果之前发送了逻辑 0 且下一个位为 0，则无需执行任何操作；使状态机再发送一个逻辑 0 位。
 - 情形 2：如果之前发送了逻辑 0 且下一个位为 1，则禁止 CLC 可发送逻辑 0，使能 CLC 可发送逻辑 1。
 - 情形 3：如果之前发送了逻辑 1 且下一个位为 1，则无需执行任何操作；使状态机再发送一个逻辑 1 位。
 - 情形 4：如果之前发送了逻辑 1 且下一个位为 0，则禁止 CLC 可发送逻辑 1，使能 CLC 可发送逻辑 0。
- 6.发送结束条件：
- 如果已发送全部 32 位，则允许 Timer 0 中断，并将 DSM 调制信号设置为高电平以发送停止位。
- 7.重新初始化以发送下一条命令：
- 重新初始化定时器，每 4.5 ms 产生一次溢出中断，并等待下一条命令的发送。

6.2.5 触摸界面和红外发射器的应用程序流程图

图 6-16. 触摸界面和红外发射器的应用程序流程图



6.2.6 程序存储器和数据存储器的要求

下表列出了各种编译器优化级别下应用程序固件对程序存储器和数据存储器的要求。

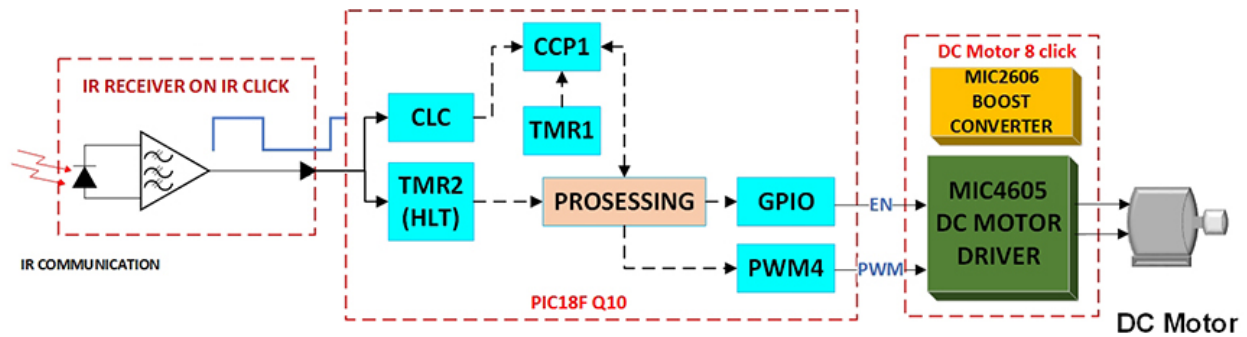
表 6-1. 触摸界面和红外发射器应用程序对存储器的要求

序号	优化级别	程序存储器 (字节)	数据存储器 (字节)
1	O0	11927	353
2	O1	11927	353
3	O2	11495	349
4	O3	10358	337
5	S	9206	337

6.3 红外接收器和直流电机控制

本应用将多个 CIP 结合使用来构建符合 NEC 红外协议的红外接收器，并控制小型直流电机。红外接收器使用捕捉比较外设 (Capture Compare Peripheral, CCP) 以及 Timer1、CLC 和 Timer2 (HLT) 来实现，如下图所示。直流电机控制信号提供给 DC Motor 8 click 板上的直流电机驱动器。本应用使用 MCC 来配置不同的 CIP 并将它们互连，以根据通过红外接口接收的命令来控制直流电机。

图 6-17. 红外接收器和直流电机控制框图



6.3.1 红外接收器

IR click 板上的红外光电二极管对接收到的红外数据进行解调，并去除 38 kHz 的载波信号。解调后的数据连接到单片机端口引脚。每当在端口引脚上检测到第一个下降沿时，处于单稳态模式的 HLT（Timer 2）便将自动启动。在产生定时器溢出中断几毫秒后，确认数据线是否仍然为低电平，以及检测到的下降沿是否由电气噪声引起。CCP 用于捕捉输入数据帧的时序。CCP 可与单片机的端口 B 或端口 C 一起使用，而来自 IR click 的解调数据连接到端口引脚 RA1。因此，CLC 用作缓冲器或互连元件，以在内部将端口引脚 RA1 连接到端口引脚 RC0。RC0 用作 CCP 的输入。CCP 外设和 Timer 1 一起用于检测启动/结束序列以及逻辑 1 和逻辑 0 数据位。使用 CCP 捕捉全部 32 个数据位的长度，并将其存储在数据缓冲区中。该命令从接收到的 32 位数据中解码。

6.3.2 直流电机控制

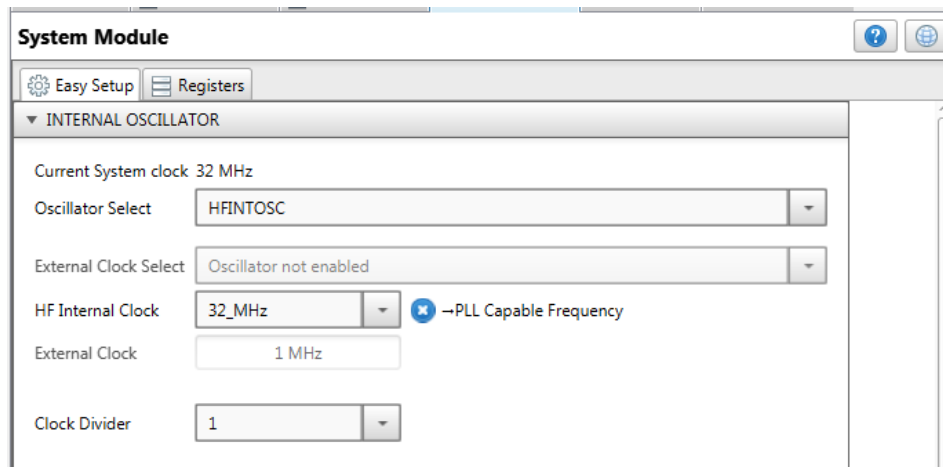
解码红外接收器接收到的命令后，将执行相应的控制操作。通过连接到 DC Motor 8 click 板的 EN 信号控制直流电机的启动和停止状态。通过改变 PWM 外设的占空比控制直流电机的速度。PWM 输出还连接到 DC Motor 8 click 板。DC Motor 8 click 板包括 MIC4605 半桥直流电机驱动器。[固件操作](#)一节介绍了各种命令和相应的控制操作。

本应用使用 MCC 来配置不同的 CIP 并将它们互连，以根据通过红外接口接收的命令来控制直流电机。

6.3.3 使用 MCC 完成 MCU 时钟和外设配置

在用于红外接收器和直流电机控制的演示固件中，高频内部振荡器（HFINTOSC）用于生成 32 MHz 时钟。

图 6-18. 系统时钟配置



可使用 MCC 配置 PIC18 Q10 MCU 的以下外设。如下图所示，Timer 2 用于单稳态配置，以检测端口引脚 RA1 上的有效下降沿。

图 6-19. Timer 2 配置

TMR2

⚙ Easy Setup
☰ Registers

Enable Timer

Control Mode Roll over pulse ▾

Ext Reset Source T2CKIPPS pin ▾

Start/Reset Option Software control ▾

Timer Clock

Clock Source FOSC/4 ▾
 Enable Clock Sync

Clock Frequency 32.768 kHz

Polarity Rising Edge ▾

Prescaler 1:1 ▾
 Enable Prescaler O/P Sync

Postscaler 1:1 ▾

Timer Period

Timer Period 125 ns ≤ 26.16 us ≤ 32 us

Actual Period 26.125 us (Period calculated via PR Register value)

Software Settings

Enable Timer Interrupt

CCP1 和 Timer 1 一起用于捕捉红外接收器接收的命令。

图 6-20. Timer 1 配置

TMR1 ? 🌐

Easy Setup Registers

Hardware Settings

Enable Timer

Timer Clock	Timer Period
Clock Source: FOSC/4	Timer Period: 250 ns ≤ 2 ms ≤ 16.384 ms
External Frequency: 32.768 kHz	Period count: 0x0 ≤ 0xE0C0 ≤ 0xFFFF
Prescaler: 1:2	Calculated Period: 2 ms
<input checked="" type="checkbox"/> Enable Synchronization	<input type="checkbox"/> Enable 16-bit read

Enable Gate

Enable Gate Toggle Gate Signal Source: T1G_pin

Enable Gate Single-Pulse mode Gate Polarity: low

Enable Timer Interrupt

Enable Timer Gate Interrupt

Software Settings

Callback Function Rate: 0 x Time Period = 0.0 ns

图 6-21. CCP1 配置

CCP1 ? 🌐

Easy Setup Registers

Hardware Settings

Enable CCP

CCP Mode: Capture

Select Timer: Timer 1 Please refer to the assigned timer for captured values.

Input Signal: CCP1 pin

Capture Mode: Falling edge

Enable CCP Interrupt

改变使用 Timer 4 和 PWM3 外设生成的占空比可控制直流电机的速度。

图 6-22. Timer 4 配置

TMR4 ? ◀

⚙ Easy Setup
☰ Registers

Enable Timer

Control Mode Roll over pulse ▼

Ext Reset Source T4CKIPPS pin ▼

Start/Reset Option Software control ▼

Timer Clock

Clock Source FOSC/4 ▼ Enable Clock Sync

Clock Frequency 32.768 kHz

Polarity Rising Edge ▼

Prescaler 1:1 ▼ Enable Prescaler O/P Sync

Postscaler 1:1 ▼

Timer Period

Timer Period 125 ns ≤ 25 us ≤ 32 us

Actual Period 25 us (Period calculated via PR Register value)

Software Settings

Enable Timer Interrupt

图 6-23. PWM3 配置

PWM3

Easy Setup Registers

Hardware Settings

Enable PWM

Select a Timer: Timer4

Duty Cycle

Duty Cycle 0.0 %

PWMDC Value 0

PWM Parameters

PWM Polarity active_hi

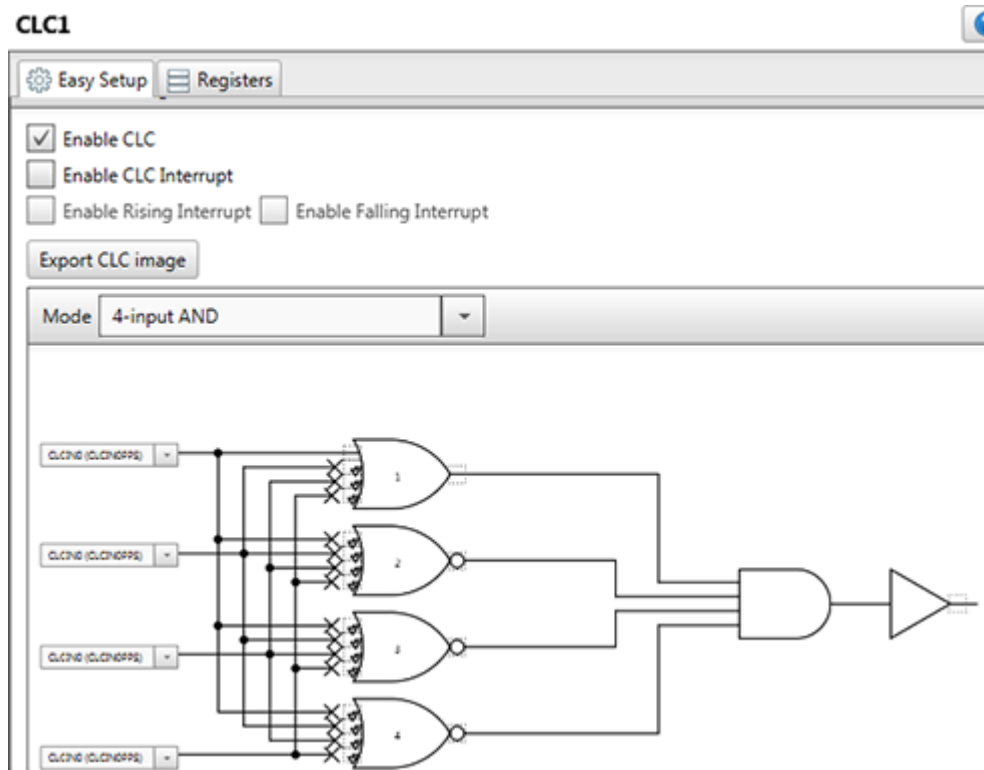
PWM Period 25 us

PWM Frequency 40 kHz

PWM Resolution 9 Bits

来自 IR click 板的红外接收数据连接到单片机的 RA1 引脚。CCP 用于捕捉接收到的数据。仅端口 B 或 C 可用作 CCP 的输入。因此，RC0 配置为 CCP 捕捉输入引脚。CLC 可用作将端口引脚 RA1 内部连接到端口引脚 RC0 的缓冲器。下图给出了作为互连元件时的 CLC1 配置。

图 6-24. CLC1 配置



6.3.4 固件操作

红外接收数据可通过 MCU 的 RA1 引脚获取，该引脚连接到 IR click 的 AN 引脚。默认情况下，该引脚的状态为逻辑高电平。每当接收到数据时，引脚状态就会变为逻辑低电平。

红外帧检测：

- 在单稳态模式下使用时，Timer 2（HLT）可以在发生外部事件时启动。定时器配置为在 RA1 上出现下降沿时自动启动。
- 定时器周期设置为 2 ms。使用 Timer 2 检查报告的下降沿是由于红外帧起始引起的正常变化，还是由于电噪声引起的瞬时变化。
- 2 ms 后，如果发生 Timer 2 溢出事件，请检查 RA1 状态是否仍为逻辑低电平。如果 RA1 为逻辑低电平，则仅将检测到下降沿标志置 1，并复位定时器的 ON 位。
- 如果检测到下降沿标志置 1，则将启动 Timer 1，使能 CCP1 模块，并捕捉中断以检测启动条件和接收红外命令。现在禁止定时器溢出中断，因为与红外帧其余部分中的下降沿相关的所有中断均由 CCP1 处理。

红外帧中的启动序列检测：

- 发生 CCP1 捕捉事件后，检查是否接收到正确长度的（13.5 ms +/- 位错误）启动序列。如果捕捉的长度正确，则从红外帧中捕捉 32 位数据。

使用 CCP 接收 32 位数据：

- 每次发生 CCP1 捕捉事件后，检查所接收位（即逻辑 1 或逻辑 0）的长度是否正确。将与 32 个数据位中的每几个位对应的捕捉值存储在缓冲区变量中。在头文件 application.h 中定义与启动条件以及逻辑 1 和逻辑 0 数据位对应的定时器计数和捕捉计数。
- 在接收数据时，只要捕捉的值超出范围，红外事务就会中止，并且寄存器和变量会重新初始化以接收下一条命令。
- 如果正确接收了所有位/边沿，则会停止并禁止 Timer 1，禁止 CCP 模块，并使能处于单稳态模式的 Timer 2（HLT）以检测下一个红外帧。

解码命令：

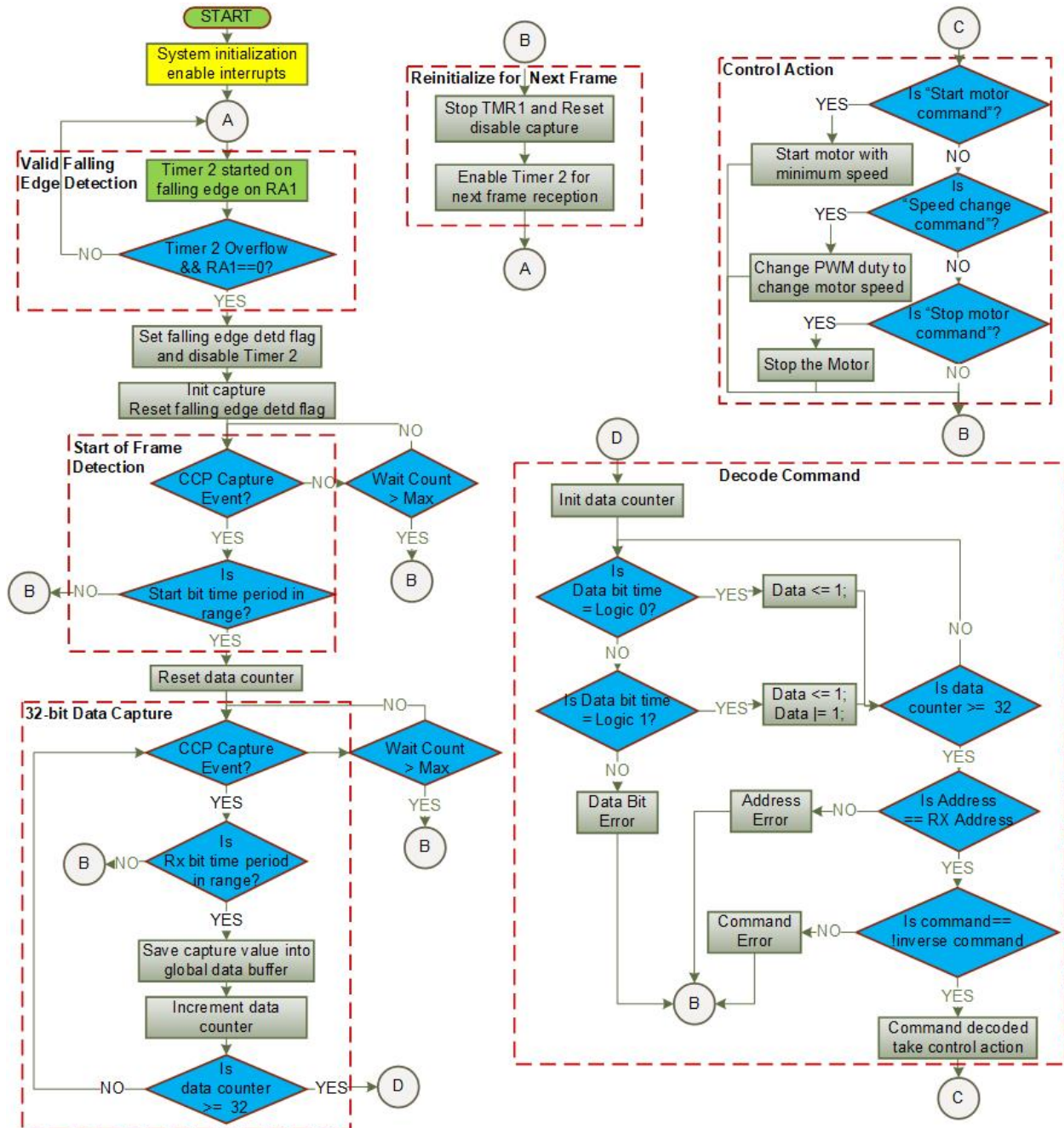
-
- 从红外帧捕捉 32 位数据位后，将从接收到的数据中解码/提取命令。
 - 检查捕捉缓冲区的内容，以获取正确的红外接收器地址、地址的逻辑取反结果、命令字节以及命令的取反结果。
 - 如果接收到的红外接收器地址与地址的逻辑取反结果、命令与命令的取反结果匹配，则命令会通过反转接收到的命令字节中的位顺序来形成。与 NEC 红外协议一样，LSb 是要发送和接收的第一位。
 - 对收到的命令执行相应的控制操作。

命令和控制操作：

- 命令 1：以最小速度（37.5% PWM 占空比）启动电机。
- 命令 2：停止电机。
- 命令 81：速度更改命令。按照 0% PWM 占空比更改电机速度。
- 命令 82：速度更改命令。按照 37.5% PWM 占空比更改电机速度。
- 命令 83：速度更改命令。按照 45% PWM 占空比更改电机速度。
- 命令 84：速度更改命令。按照 52.5% PWM 占空比更改电机速度。
- 命令 85：速度更改命令。按照 60% PWM 占空比更改电机速度。
- 命令 86：速度更改命令。按照 67.5% PWM 占空比更改电机速度。
- 命令 87：速度更改命令。按照 75% PWM 占空比更改电机速度。

6.3.5 应用程序流程

图 6-25. 红外接收和直流电机控制的应用程序流程图



6.3.6 程序存储器和数据存储器的要求

下表列出了各种编译器优化级别下应用程序固件对程序存储器和数据存储器的要求。

表 6-2. 红外接收器和直流电机控制应用程序对存储器的要求

序号	优化级别	程序存储器（字节）	数据存储器（字节）
1	O0	1718	106
2	O1	1718	106
3	O2	1662	104
4	O3	1422	101
5	S	1422	101

7. 演示操作

7.1 触摸界面和红外发射器的演示设置

- 将 IR click 板连接到 Curiosity HPC 板的 mikroBUS 插槽 2。
- 使用定制线束将 QT7 Xplained Pro 扩展板连接到 Curiosity HPC 板上的跳线 J11。Curiosity HPC 板和 QT7 Xplained Pro 扩展板之间所需的引脚连接如下所示：

表 7-1. QT7 Pro 扩展板和 Curiosity HPC 开发板之间的连接

序号	QT7 扩展板插座 1 的引脚编号	QT7 扩展板插座 1 上引脚的信号名称	Curiosity HPC 开发板的插座 J11	信号说明	输入/输出 ⁽¹⁾
1	2	GND	GND	地	电源
2	4	Y-LINE-1	RB0	Y 线路 1: 连接到按钮 1	输入
3	5	LED0	RC6	滑动条的触摸状态 LED	输出
4	6	LED6	RB1	按钮 1 的触摸状态 LED	输出
5	7	Y-LINE-2	RC4	Y 线 2: 连接到滑动条	输入
6	8	Y-LINE-3	RD3	Y 线 3: 连接到滑动条	输入
7	9	Y-LINE-4	RD2	Y 线 4: 连接到滑动条	输入
8	10	Y-LINE-0	RB2	Y 线 4: 连接到按钮 2	输入
9	11	LED7	RB3	按钮 2 的触摸状态 LED	输出
10	12	LED1	RC7	滑动条的触摸状态 LED	输出
11	15	LED2	RD4	滑动条的触摸状态 LED	输出
12	16	LED 3	RD5	滑动条的触摸状态 LED	输出
13	17	LED 4	RD6	滑动条的触摸状态 LED	输出
14	18	LED 5	RD7	滑动条的触摸状态 LED	输出
15	19	GND	GND	地	电源
16	20	V _{CC}	TV _{DD}	目标电源电压	电源

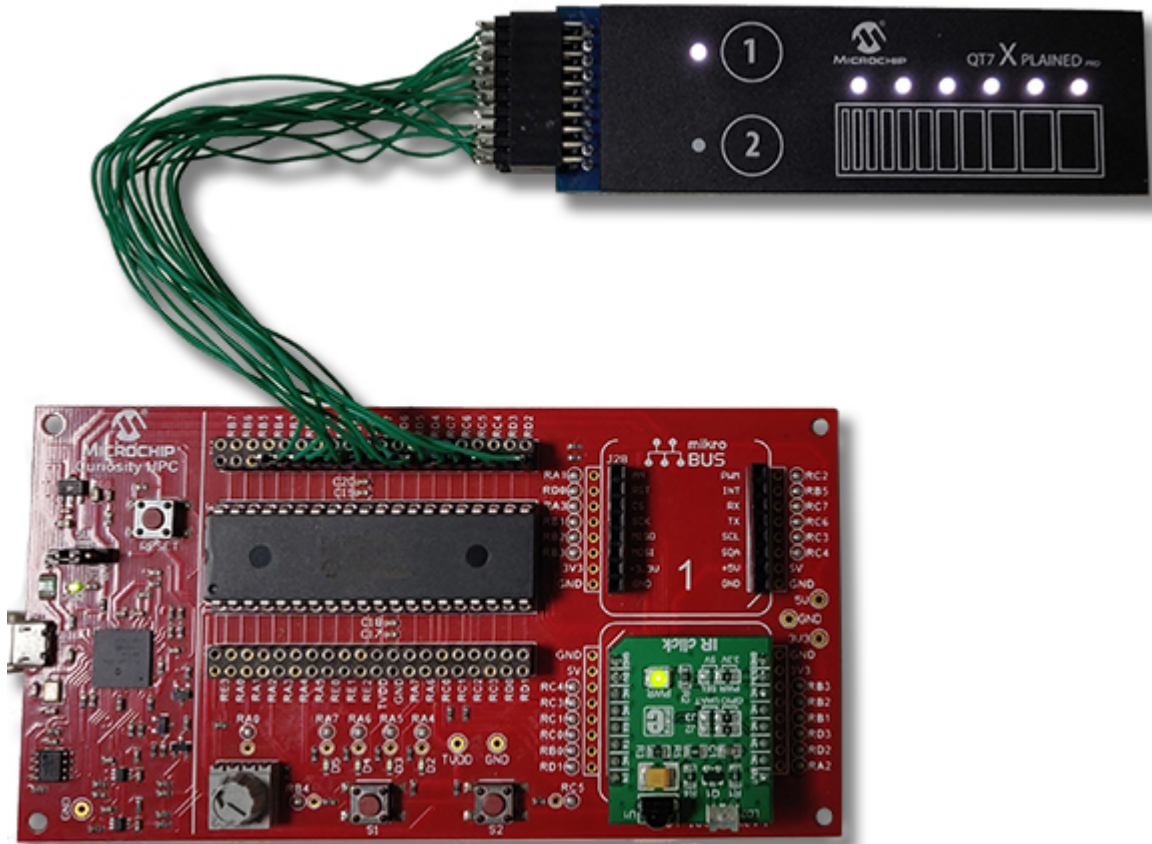
注：(1)信号的输入/输出方向是相对于 MCU 的。

- 下表列出了应用中使用其他端口引脚。

表 7-2. 端口引脚映射

序号	MCU 端口引脚编号	信号说明	输入/输出
2	RD1	DSM 输出, 通过 PWM 引脚连接到 IR_CLICK 上的 IR LED	输出
3	RA4	Curiosity HPC 上的 LED_D2	输出
4	RA5	Curiosity HPC 上的 LED_D3	输出
5	RA6	Curiosity HPC 上的 LED_D4	输出
6	RA7	Curiosity HPC 上的 LED_D5	输出

图 7-1. 触摸界面和红外发射器的演示设置



- 按上图所示连接硬件后，使用 micro-USB 线缆为电路板供电。编译演示固件并将生成的 hex 文件装入 PIC18 Q10 MCU。
- 当直流电机停转时，按钮 1 用于发送启动直流电机所需的红外命令。按钮 1 的 LED 指示灯将点亮，按钮 2 的 LED 指示灯将熄灭。
- 当直流电机运行时，按钮 2 用于发送停止直流电机所需的红外命令。按钮 2 的 LED 指示灯将点亮，按钮 1 的 LED 指示灯将熄灭。
- 如果电机处于运行状态，滑动条用于发送更改（增大/减小）电机速度所需的命令。

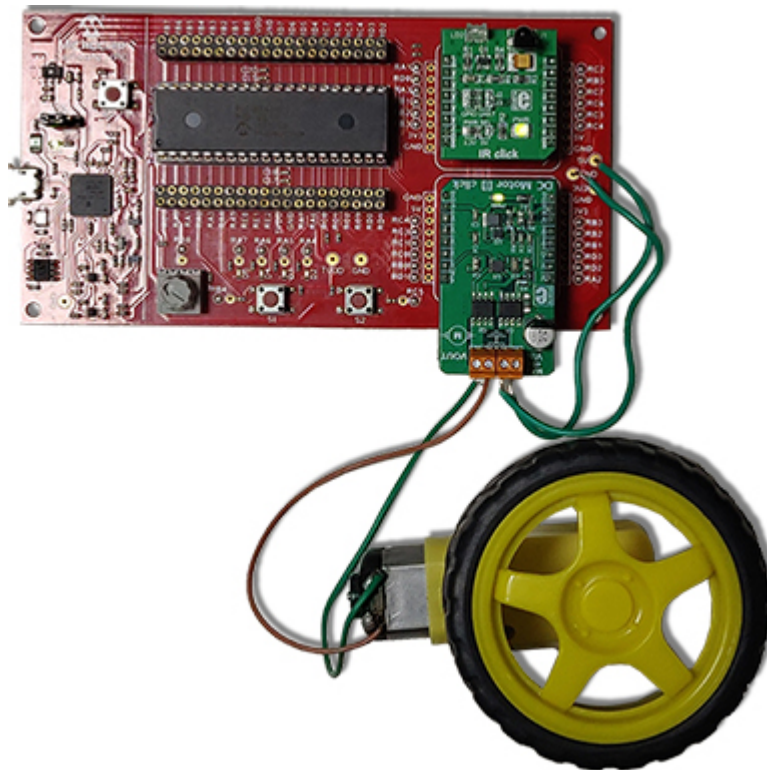
7.2 红外接收器和直流电机控制的演示设置

- 将 IR click 板连接到 Curiosity HPC 板的 mikroBUS 插槽 1。
- 将 DC Motor 8 click 板连接到 Curiosity HPC 板的 mikroBUS 插槽 2。
- 将直流电机连接到 DC Motor 8 click 板上的 V_{OUT} 端子。
- 将 DC Motor 8 click 板上的 V_{IN} 电机电源连接到 Curiosity HPC 板上的 5V 电压。
- 将 DC Motor 8 click 板上的 PGND 连接到 Curiosity HPC 板上的 GND。
- 下表列出了应用中使用的 MCU 端口引脚。

表 7-3. MCU 端口引脚映射

序号	MCU 端口引脚编号	信号名称	信号说明	输入/输出
1	RA1	IR_RX	红外接收信号	输入
2	RC0	CCP1	捕捉输入	输入
3	RD3	EN	使能 MIC4605 驱动器的输入。使能引脚为逻辑高电平时，将正常工作；使能引脚应用逻辑低电平时，MIC4605 器件将进入关断模式。	输出
4	RD1	PWM3	用于控制电机速度的 PWM	输出
5	RA4	LED_D2	Curiosity HPC 上的 LED_D2	输出
6	RA5	LED_D3	Curiosity HPC 上的 LED_D3	输出
7	RA6	LED_D4	Curiosity HPC 上的 LED_D4	输出
8	RA7	LED_D5	Curiosity HPC 上的 LED_D5	输出

图 7-2. 直流电机控制和红外接收器的演示设置



- 完成上述硬件连接后，使用 micro-USB 线缆为电路板供电。编译演示固件并将生成的 hex 文件装入 PIC18 Q10 MCU。
- 根据通过红外通信从触摸界面和红外发射器板上接收到的命令，执行控制操作。
- 使用红外发射器板上的按钮 1 可启动电机。使用按钮 2 可停止电机，使用滑动条可更改电机的速度。

8. 支持的应用用例

本应用的目标是简单的实时控制应用。支持的应用用例包括：

- 家电：使用红外遥控器控制家电是家庭自动化的基础。可利用这种方法控制房屋内外的各种家电，例如排气扇、吊扇、台式风扇、咖啡机、打印机、扬声器、电视或空调。

图 8-1. 红外控制家电



- 玩具：使用红外遥控器进行控制的各种儿童玩具，例如汽车、卡车、直升机或机器人。

图 8-2. 遥控玩具车



9. 结论

本应用笔记概述了如何通过采用硬件电容分压器（CVD）技术的 Microchip ADC² 以及适合 MCC 的 mTouch 电容触摸传感库模块实现电容触摸传感。

本文档还概述了遵循 NEC 协议的红外通信。红外发射器和触摸界面通过 PIC18 Q10 单片机的 ADC²（带硬件 CVD）、CLC、PWM 和 DSM 外设实现。红外接收器和直流电机控制通过 PIC18 Q10 单片机的 CCP 和 PWM 外设实现。

本应用笔记旨在重点介绍 PIC18 Q10 MCU 中用于实时控制应用的重要功能。PIC18 Q10 系列 MCU 具有强大的独立于内核的外设以及其他数字和高级模拟外设。因此，使用这些 MCU 开发应用可降低系统的设计成本并提高系统的节能水平、可靠性和确定性。这些 MCU 可用于各种兼具低功耗、高可靠性和高确定性的通用实时控制应用，例如各种家电的遥控、儿童遥控玩具以及许多其他应用。

10. 参考资料

- mTouch® Capacitive Sensing Library Module for MPLAB® X Code Configurator User's Guide: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001852A.pdf>
- AN1478: mTouch®触摸传感解决方案采集方法电容分压器
- NEC 红外协议: <https://techdocs.altium.com/display/FPGA/NEC+Infrared+Transmission+Protocol>
- IR Click: <https://www.mikroe.com/ir-click>
- DC Motor 8 Click: <https://www.mikroe.com/dc-motor-8-click>

11. 附录

11.1 红外通信在实时控制应用中的优势和挑战

数据通信中使用红外通信来监视和控制短距离（例如 10-30 米）的应用。下面列出了红外通信的几个优点：

- 成本低于其他技术。
- 在 115 kbps 的中等带宽范围内工作。
- 在短距离内表现良好。

下面列出了红外通信的几个缺点：

- 红外频率受硬质物体的影响，例如墙壁、门、烟、灰尘、雾或阳光。因此，它无法穿过墙壁或门。发射器和接收器之间没有遮挡物才能实现通信。
- 它一次只能控制一台设备。
- 它的有效距离只有几米。随着距离的增加，其性能逐渐下降。
- 高功率的红外线会伤害眼睛。
- 与有线传输相比，它支持低数据速率的传输。

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、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 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。

© 2019, Microchip Technology Incorporated 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-5965-1

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
公司总部 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: http://www.microchip.com/support 网址: www.microchip.com	澳大利亚 - 悉尼 电话: 61-2-9868-6733 中国 - 北京 电话: 86-10-8569-7000 中国 - 成都 电话: 86-28-8665-5511 中国 - 重庆 电话: 86-23-8980-9588 中国 - 东莞 电话: 86-769-8702-9880 中国 - 广州 电话: 86-20-8755-8029 中国 - 杭州 电话: 86-571-8792-8115 中国 - 香港特别行政区 电话: 852-2943-5100 中国 - 南京 电话: 86-25-8473-2460 中国 - 青岛 电话: 86-532-8502-7355 中国 - 上海 电话: 86-21-3326-8000 中国 - 沈阳 电话: 86-24-2334-2829 中国 - 深圳 电话: 86-755-8864-2200 中国 - 苏州 电话: 86-186-6233-1526 中国 - 武汉 电话: 86-27-5980-5300 中国 - 西安 电话: 86-29-8833-7252 中国 - 厦门 电话: 86-592-2388138 中国 - 珠海 电话: 86-756-3210040	印度 - 班加罗尔 电话: 91-80-3090-4444 印度 - 新德里 电话: 91-11-4160-8631 印度 - 浦那 电话: 91-20-4121-0141 日本 - 大阪 电话: 81-6-6152-7160 日本 - 东京 电话: 81-3-6880-3770 韩国 - 大邱 电话: 82-53-744-4301 韩国 - 首尔 电话: 82-2-554-7200 马来西亚 - 吉隆坡 电话: 60-3-7651-7906 马来西亚 - 槟榔屿 电话: 60-4-227-8870 菲律宾 - 马尼拉 电话: 63-2-634-9065 新加坡 电话: 65-6334-8870 台湾地区 - 新竹 电话: 886-3-577-8366 台湾地区 - 高雄 电话: 886-7-213-7830 台湾地区 - 台北 电话: 886-2-2508-8600 泰国 - 曼谷 电话: 66-2-694-1351 越南 - 胡志明市 电话: 84-28-5448-2100	奥地利 - 韦尔斯 电话: 43-7242-2244-39 传真: 43-7242-2244-393 丹麦 - 哥本哈根 电话: 45-4450-2828 传真: 45-4485-2829 芬兰 - 埃斯波 电话: 358-9-4520-820 法国 - 巴黎 电话: 33-1-69-53-63-20 传真: 33-1-69-30-90-79 德国 - 加兴 电话: 49-8931-9700 德国 - 哈恩 电话: 49-2129-3766400 德国 - 海尔布隆 电话: 49-7131-72400 德国 - 卡尔斯鲁厄 电话: 49-721-625370 德国 - 慕尼黑 电话: 49-89-627-144-0 传真: 49-89-627-144-44 德国 - 罗森海姆 电话: 49-8031-354-560 以色列 - 若那那市 电话: 972-9-744-7705 意大利 - 米兰 电话: 39-0331-742611 传真: 39-0331-466781 意大利 - 帕多瓦 电话: 39-049-7625286 荷兰 - 德卢内市 电话: 31-416-690399 传真: 31-416-690340 挪威 - 特隆赫姆 电话: 47-72884388 波兰 - 华沙 电话: 48-22-3325737 罗马尼亚 - 布加勒斯特 电话: 40-21-407-87-50 西班牙 - 马德里 电话: 34-91-708-08-90 传真: 34-91-708-08-91 瑞典 - 哥德堡 电话: 46-31-704-60-40 瑞典 - 斯德哥尔摩 电话: 46-8-5090-4654 英国 - 沃金厄姆 电话: 44-118-921-5800 传真: 44-118-921-5820
亚特兰大 德卢斯, 佐治亚州 电话: 678-957-9614 传真: 678-957-1455 奥斯汀, 德克萨斯州 电话: 512-257-3370 波士顿 韦斯特伯鲁, 马萨诸塞州 电话: 774-760-0087 传真: 774-760-0088 芝加哥 艾塔斯卡, 伊利诺伊州 电话: 630-285-0071 传真: 630-285-0075 达拉斯 阿迪森, 德克萨斯州 电话: 972-818-7423 传真: 972-818-2924 底特律 诺维, 密歇根州 电话: 248-848-4000 休斯顿, 德克萨斯州 电话: 281-894-5983 印第安纳波利斯 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 洛杉矶 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 罗利, 北卡罗来纳州 电话: 919-844-7510 纽约, 纽约州 电话: 631-435-6000 圣何塞, 加利福尼亚州 电话: 408-735-9110 电话: 408-436-4270 加拿大 - 多伦多 电话: 905-695-1980 传真: 905-695-2078			