



MPLAB® Harmony 3 之基础篇（17） -- Harmony 3 电机控制资源初探

Microchip Technology Inc.

MCU32 产品部

一、概述

Harmony 3 中的电机控制资源，主要包括周边库（Peripheral Library，以下简称 PLIB）和电机控制模块（motor control module）。

PLIB 是对 MCU 周边模块（例如 PWM 模块、ADC 模块等）的硬件抽象层，即 PLIB 为用户提供 MCU 周边模块的寄存器访问接口。PLIB 由 Harmony 3 的芯片支持包（Chip Support Package，以下简称 CSP）生成。PLIB 位于 Harmony 3 所有软件库的最底层，即抽象级别最低，与硬件最靠近。利用 PLIB 来操作 MCU 周边模块，可以得到最快的执行速度和最小的软件开销；因此非常适合电机控制应用。

除了寄存器访问接口软件库之外，PLIB 还含有大量的 MCU 周边模块应用例程，即 PLIB 应用例程（PLIB applications），和详细的帮助文档；它们可以帮助用户快速掌握 MCU 周边模块的基础知识和 PLIB 的使用方法。

电机控制模块是 Harmony 3 中名为 motor_control 的文件夹。电机控制模块由大量电机控制例程和相关帮助文档组成。这些电机控制例程针对不同类型的电机（例如 ACIM, BLDC, PMSM 等），使用不同的控制方法（例如 V/F 控制，六步方波控制，磁场定向控制，无传感器控制等），是电机控制应用开发的绝佳参考。配合相应的硬件平台（低压印板 MCLV2 或高压印板 MCHV3），用户可以直接使用以上例程来驱动电机，以快速掌握算法原理，加速产品开发进程。电机控制模块中的例程会持续增加和改进，以适应更多应用场景的需求。

值得指出的是，无论是 PLIB 还是电机控制例程，都可以在图形化界面 MHC 中配置并自动生成 C 代码。其详情可以参考“*MPLAB® Harmony 3 之基础篇（38）-- 利用 PMSM_FOC 加速电机控制应用开发*”。

本文将对 PLIB 和电机控制模块进行介绍，并以电机控制例程“基于降阶龙伯格观测器的无传感器磁场定向控制（pmsm_foc_rollo_sam_c21）”为例，探索其源代码、Harmony 3 配置、帮助文档等资料，并阐述其硬件平台搭建和程序烧写、调试等步骤。

（一） 基础知识

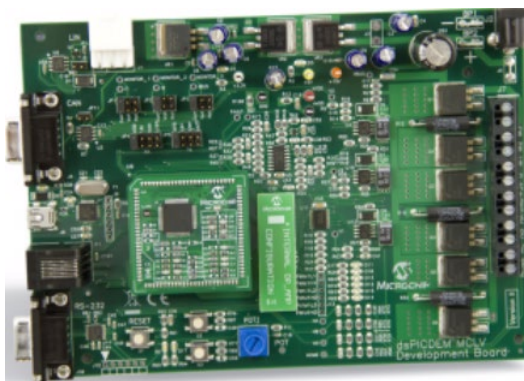
为了更好地理解本文档内容，建议具备以下知识：

1. MPLAB X IDE 的基本操作
2. 基础的嵌入式编程/调试经验
3. C 语言编程知识
4. SAMC21 微控制器的基础知识

（二） 所需工具

硬件：

1. [MCLV-2 低压电机控制印板](#)



2. [SAMC21 PIM \(plug-in-module\)](#)



3. [PMSM 电机 \(Hurst DMA0204024B101\)](#)



4. [MPLAB ICD 4 调试器](#)



5. [MPLAB ICD 4 转接套件](#)



软件：

1. MPLAB X IDE: v5.45 或更新版本
2. MPLAB XC32 编译器: v2.40 或更新版本
3. MPLAB Harmony 3 Launcher v3.6.0 或更新版本
4. MPLAB Harmony 3 framework
 - csp v3.8.3
 - dev_packs v3.8.0
 - mhc v3.6.5
 - motor_control v3.6.0



x2c v1.1.3

5. X2CScope 串口调试工具: v1.3.0 或更新版本

二、 周边库

（一） 概述：CSP 与 PLIB

对实时应用软件的强力支持是 Harmony 3 的重要特性；该特性是由 CSP 实现的。其实现流程为：

首先，用户使用 Harmony 3 配置器（MPLAB Harmony 3 Configurator，以下简称 MHC）对 MCU 周边模块进行配置。

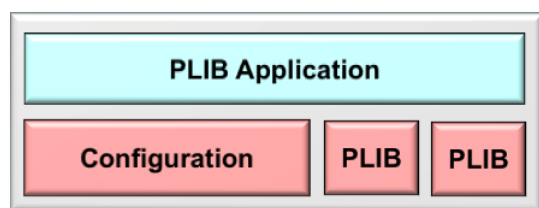
然后，CSP 根据以上 MHC 配置生成 PLIB；PLIB 由.c 文件和.h 文件组成，其中包含对 MCU 周边模块寄存器的访问接口。

最后，用户在应用软件中调用 PLIB 所提供的的接口，实现对 MCU 周边模块的操作。

以上流程的优点在于：

第一，PLIB 提供的接口函数，实现对 MCU 周边模块寄存器的直接操作；因此执行速度最快，软件开销最小，最利于实时软件的开发。

第二，应用软件可以直接调用 PLIB 接口，而不需要其他层次（例如驱动层、软件服务层、中间件层等），从而实现最高效的软件架构。我们将这类应用软件称为 PLIB Application。



< .1 PLIB >

(二) PLIB

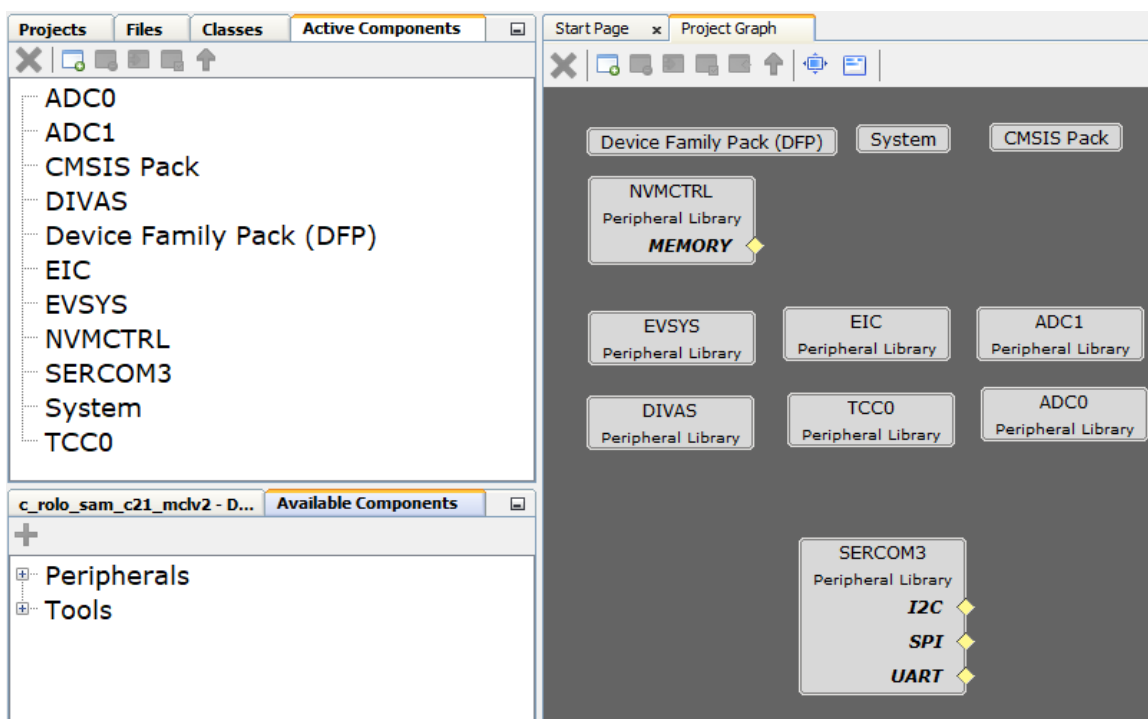
以下叙述利用 PLIB 开发应用软件的主要方面。

1. 使用 MHC 配置 MCU 周边

MHC 为用户提供简单易用的图形化界面，用于对软件工程的各个方面进行配置。若希望 CSP 生成 PLIB，那么应首先在 MHC 中对 MCU 周边模块（peripheral）进行配置。

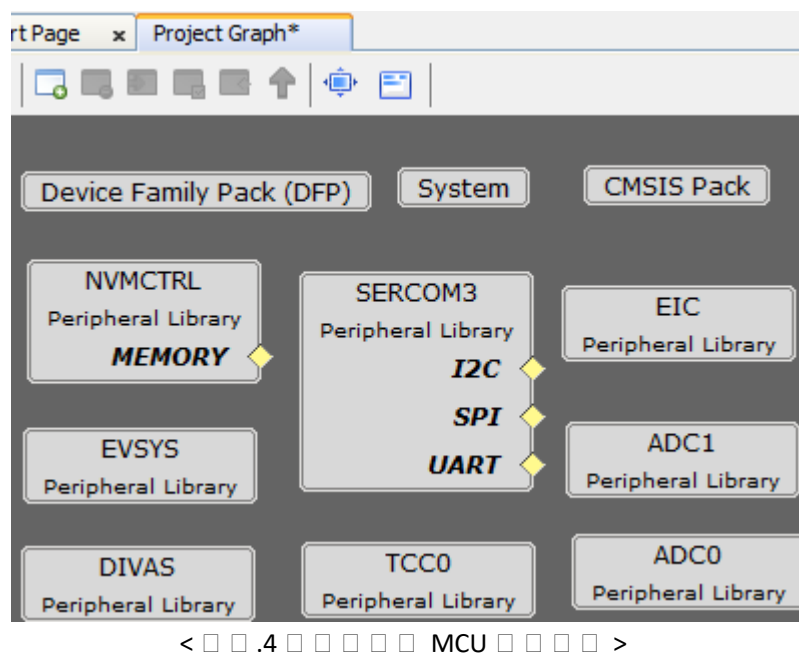
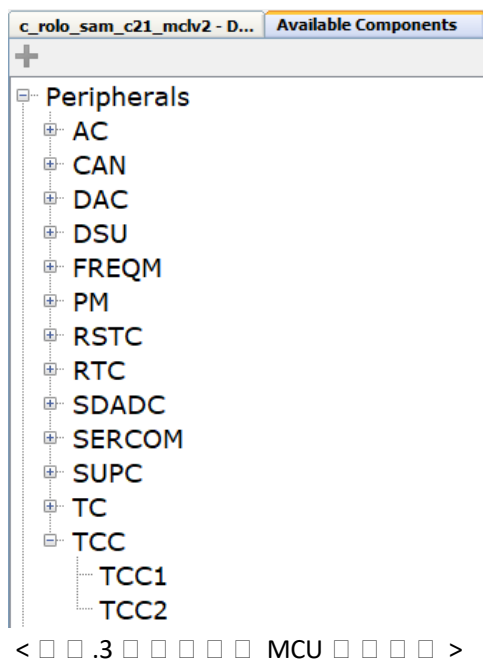
打开任一 Harmony 3 工程和 MHC。Available Components 标签展示所有可供选用组件的树状列表；若安装了 CSP，那么会列出 Peripherals 分支，也就是所有可供选用的 MCU 周边模块。

Active Components 标签展示所有已被选用组件的树状列表。Project Graph 标签展示所有已被选用组件的方块图。

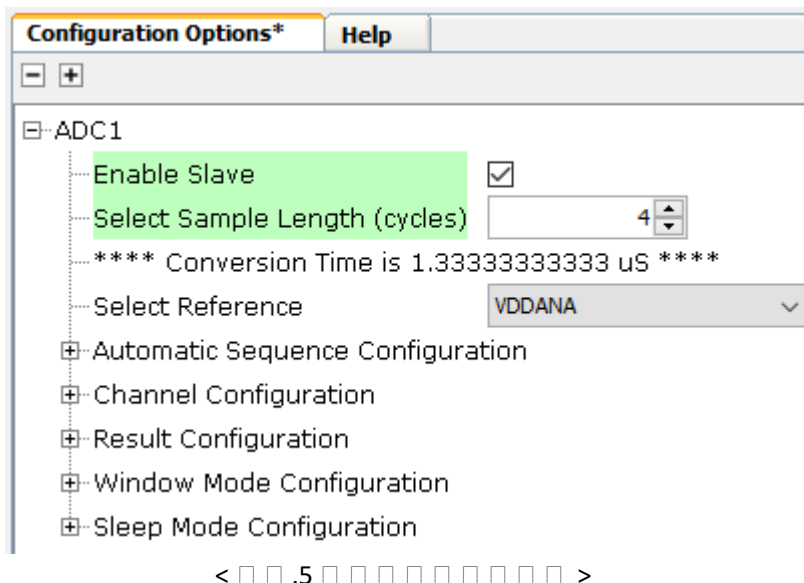


< □ □ .2 MHC □ □ >

在 Available Components 标签中展开 Peripheral 分支，把需要的周边模块拖拽到 Project Graph 标签中。相应周边模块的方块图就会出现在 Project Graph 标签中。



点击任一周边模块的方块图，在 **Configuration Options** 标签中会显示该周边模块的所有配置选项。按照应用需求，逐一进行配置即可。



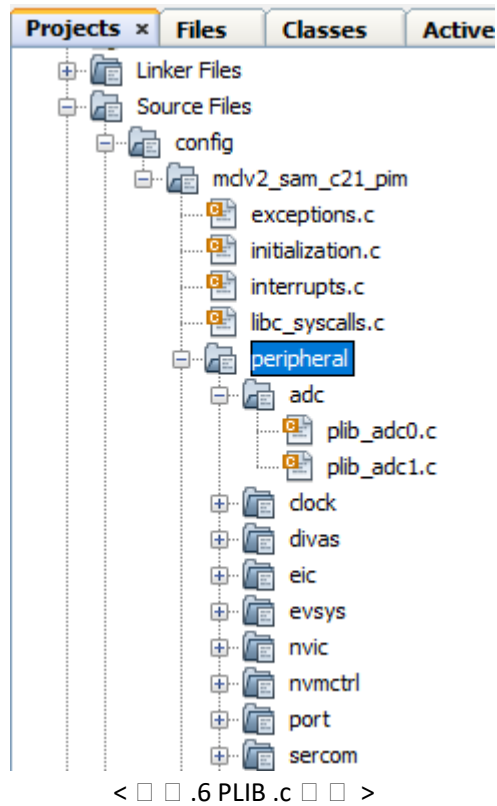
配置完成后，应及时保存 MHC 配置状态：

MHC → save state

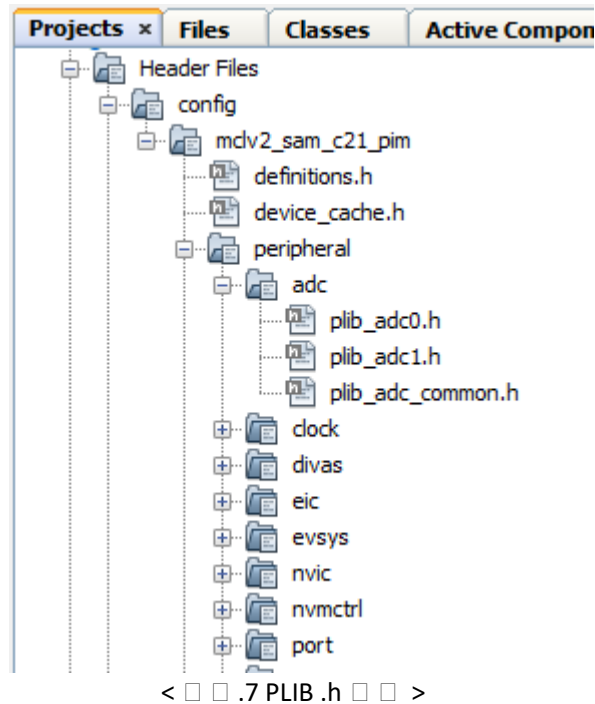
2. PLIB：文件与接口

当用户发出生成代码指令（**MHC → Generate Code**）后，CSP 会为所有被选用的周边组件生成 PLIB。每个周边组件都拥有一个 PLIB .c 文件和 PLIB .h 文件。

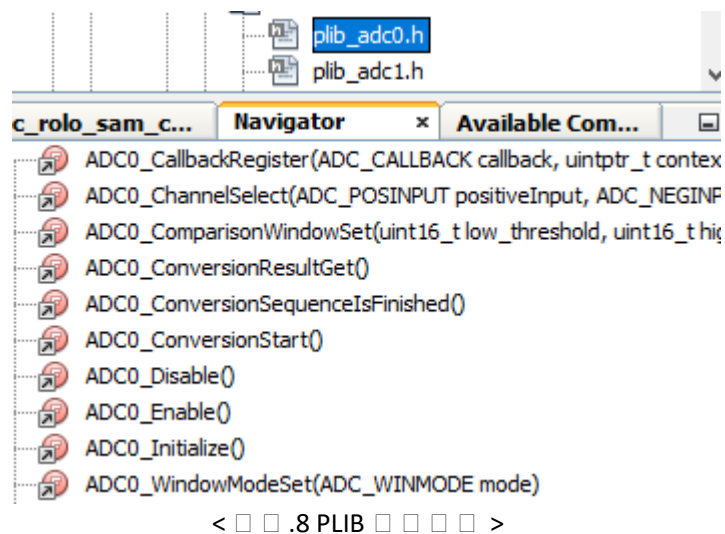
在 **Projects** 标签中，展开 **Source Files → config → （MHC 配置名称） → peripheral**，就可以看到 PLIB .c 文件。



在 Projects 标签中，展开 Header Files → config → （MHC 配置名称）→ peripheral，就可以看到 PLIB .h 文件。



点击任一 PLIB .h 文件或 PLIB .c 文件，Navigator 标签会列出其中包含的接口函数。这些接口函数都是可以被应用软件直接调用的。

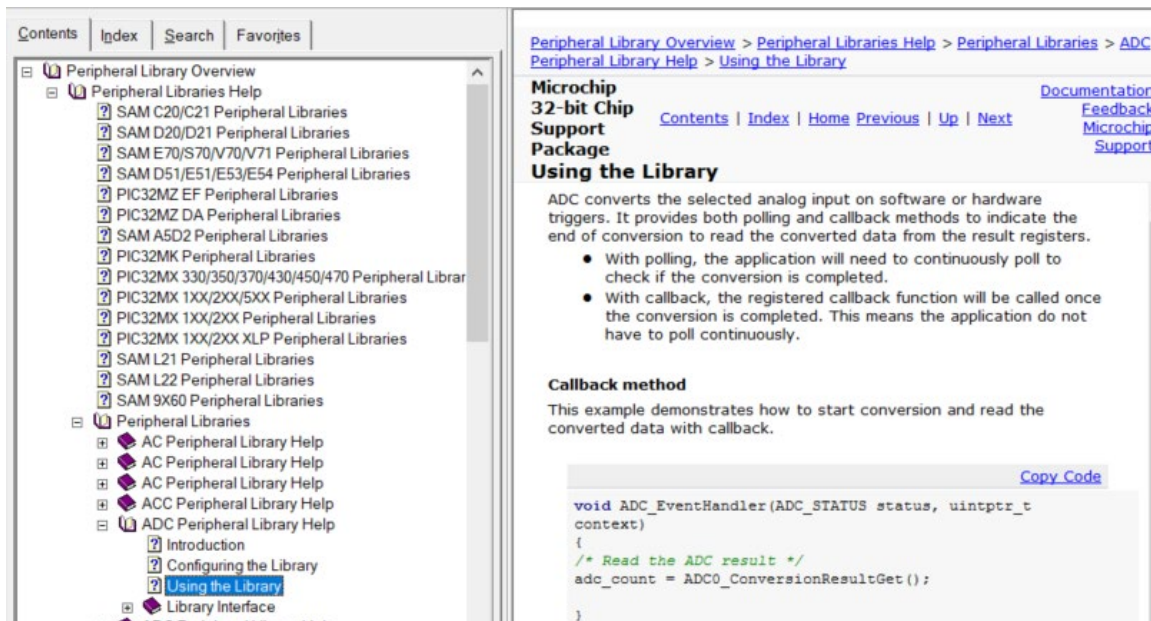


3. PLIB 帮助信息

PLIB 帮助信息位于 CSP 帮助文档之中，其路径是：..\csp\doc\

CSP 帮助文档含有两部分内容：第一部分 Peripheral Libraries Help 即为 PLIB 帮助信息。其中列出了 Harmony 3 所支持的所有 MCU 的所有周边模块的 PLIB 信息。这些信息包括：

简介、如何使用该周边模块的 PLIB、所有接口函数的介绍。



< .9 PLIB >

4. 超越 PLIB 接口：更自由地操作 MCU 周边

PLIB 所提供的的接口函数，可以支持周边模块的典型、常见应用。例如周边模块的初始化、使能、停止、中断回调函数注册等操作。但是由于对周边模块的可能操作是无限多的，所以 PLIB 接口不可能满足所有的操作需求。在这种情况下，用户需要直接访问周边模块寄存器。

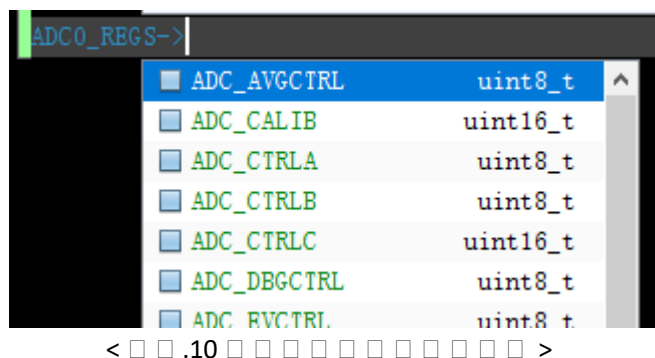
对此，Harmony 3 提供了简单易用的类型定义和实例申明，帮助用户快速地对周边模块寄存器的访问。具体来说，任一 Harmony 3 工程都含有对所有周边模块寄存器的结构体定义。该结构体实例的命名规则为：

周边模块名称_REGS

用户只需在源文件中输入周边模块结构体实例名称，就可以快速访问其所有寄存器。例如，对于 SAMC21 的 ADC0，只需要输入：

`ADC0_REGS->`

然后 MPLAB X IDE 会自动弹出所有 ADC0 寄存器的列表，供用户选择：

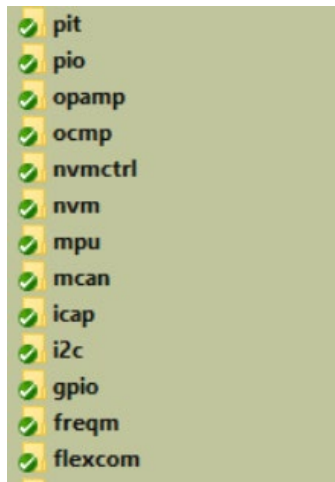


（三） PLIB 应用例程

1. PLIB 应用例程：源文件与硬件平台

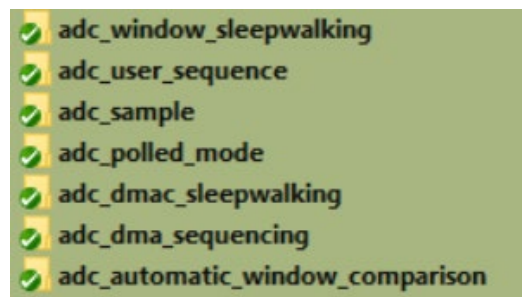
PLIB 不但提供接口函数，还为所有 MCU 周边模块提供至少一个 PLIB 应用例程，供用户参考。这些例程并不在 `csp` 文件夹中，而是位于 `csp_apps_[device_name]` 文件夹中。其中，`[device_name]` 指 MCU 的名称。

打开任一个 `csp_apps_[device_name]` 文件夹中的 `apps` 文件夹，其中列出了该 MCU 的周边模块：



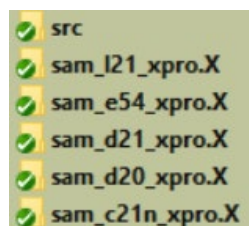
< .11 PLIB >

打开任一周边模块文件夹，其中含有至少一种应用：



< .12 PLIB >

打开任一应用文件夹，其中含有至少一个 MPLAB 工程（即 .X 文件夹）：



< .12 PLIB MPLAB >

这些 MPLAB 工程以硬件平台命名。例如 sam_c21n_xpro.X 表示该工程运行于 SAMC21 Xplained Pro 开发板。

工程源文件位于 src 文件夹中。

2. PLIB 应用例程帮助信息

PLIB 应用例程帮助信息位于 CSP 帮助文档之中，其路径是：

`csp_apps_[device_name]\docs\apps`。对每个 PLIB 应用例程，帮助信息包括：

- 适用的硬件平台
- 硬件平台搭建方法
- 例程运行、调试方法

需要指出的是，打开任一 PLIB 应用例程，将其设定为主工程（**Projects** 标签 → 在工程名处鼠标右键 → **Set as Main Project**）；并打开 MHC。这样就可以看到例程的 Harmony 3 配置情况。对用户来说，这也是重要的参考信息。

三、 电机控制模块

（一） 概述

电机控制模块是 Harmony 3 中名为 `motor_control` 的文件夹。电机控制模块由大量电机控制例程和相关帮助文档组成。每个电机控制例程都含有 Harmony 3 配置信息和电机控制源码。这些例程都运行在 Microchip 的电机演示平台（低压印板 MCLV2 或高压印板 MCHV3）之上。

（二） 电机控制应用例程

需要注意的是，电机控制例程并不在 `motor_control` 文件夹中，而是位于 `mc_apps_[device_name]` 文件夹中。其中，`[device_name]` 指 MCU 的名称。例如：`mc_apps_pic32mk` 包含了所有 PIC32MK 器件的电机控制例程。这些文件夹包括：

`mc_apps_pic32mk`: 含有 PIC32MKMCF 和 PIC32MKMCM 的所有（电机控制）例程。

`mc_apps_pic32cm_mc`: 含有 PIC32CMMC 的所有例程。

`mc_apps_sam_c2x`: 含有 SAMC21 的所有例程。

`mc_apps_sam_d5x_e5x`: 含有 SAME54 的所有例程。

`mc_apps_sam_e7x_s7x_v7x`: 含有 SAME70 的所有例程。

可以看出，在每个例程文件夹中，只有典型 MCU 的例程。对于同一家族中其它的 MCU，由于 CPU 架构和外设相同，可以参考典型 MCU。

对于电机控制例程，其命名规则为：

`□□□□_□□□□_MCU□□`，例如：

1. `acim_vhz_sam_c21`

对交流异步电机的开环变频（VF）控制，SAMC21。

2. bldc_bc_hall_sam_c21

对直流无刷电机基于 HALL 信号的变频控制，SAMC21。

3. pmsm_foc_encoder_pic32_mk

对永磁同步电机基于正交编码信号的变频控制，PIC32MK。

4. pmsm_foc_encoder_position_sam_e54

对永磁同步电机基于正交编码信号的位置控制，SAME54。

5. pmsm_foc_encoder_sam_e54

对永磁同步电机基于正交编码信号的变频控制，SAME54。

6. pmsm_foc_encoder_sam_e70

对永磁同步电机基于正交编码信号的变频控制，SAME70。

7. pmsm_foc_pll_estimator_pic32_mk

对永磁同步电机基于软件锁相环的无传感器变频控制，PIC32MK。

8. pmsm_foc_pll_estimator_sam_e54

对永磁同步电机基于软件锁相环的无传感器变频控制，SAME54。

9. pmsm_foc_pll_estimator_sam_e70

对永磁同步电机基于软件锁相环的无传感器变频控制，SAME70。

10. pmsm_foc_rol_1shunt

对永磁同步电机基于降阶龙伯格观测器的无传感器、单电阻采样变频控制，SAMC21。

11. pmsm_foc_rolo_fw_mtpa_sam_c21

对永磁同步电机基于降阶龙伯格观测器的无传感器变频控制，可选弱磁控制和最大转矩电流比控制，SAMC21。

12. pmsm_foc_rolo_sam_c21

对永磁同步电机基于降阶龙伯格观测器的无传感器变频控制，SAMC21。

13. pmsm_foc_rolo_wm_sam_c21

对永磁同步电机基于降阶龙伯格观测器的无传感器变频控制，可选顺风启动功能，SAMC21。

14. pmsm_foc_smo_sam_e70

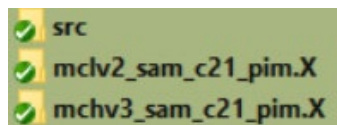
对永磁同步电机基于滑模观测器的无传感器变频控制，SAME70。

15. pmsm_pfc_foc_pll_estimator_sam_e70

对永磁同步电机基于软件锁相环的无传感器变频控制，含有电源侧功率因素校正，SAME70。

.....

打开任一电机控制例程文件夹，其中含有至少一个 MPLAB 工程（即 .X 文件夹）：



< .1 MPLAB >

这些 MPLAB 工程以硬件平台命名。例如 mclv2_sam_c21_pim.X 表示该工程运行于低压电机控制印板 MCLV2 和 SAMC21 motor control Plug In Module (PIM)。

工程源文件位于 src 文件夹中。

打开任一电机控制例程，将其设定为主工程；并打开 MHC。这样就可以看到例程的 Harmony 3 配置情况，例如 ADC，PWM 模块，中断等。对用户来说，这也是重要的参考信息。

（三） 电机控制帮助文档

电机控制帮助文档位于各个例程文件夹中，例如：
如：..\mc_apps_sam_c2x\docs\apps\acim_vhz_sam_c21\

对每个电机控制应用例程，帮助文档含有以下内容：

- 适用的硬件平台
- MHC 配置介绍
- 电机控制算法介绍
- 所需硬件列表及其搭建方法
- 例程配置、运行、调试方法

四、电机控制应用例程实例：基于降阶龙伯格观测器的无传感器磁场定向控制

（一）概述

以下以电机控制例程 `pmsm_foc_rollo_sam_c21` 为例，探索其中包括的资源。其它电机控制例程的资源，可以用同样的方法来挖掘。

（二）帮助信息

该例程的帮助文档位

于： `..\H3\mc_apps_sam_c2x\docs\apps\pmsm_foc_rollo_sam_c21\`

该章节内容是相应电机控制应用的使用指导手册，内容包括：

- 编译应用

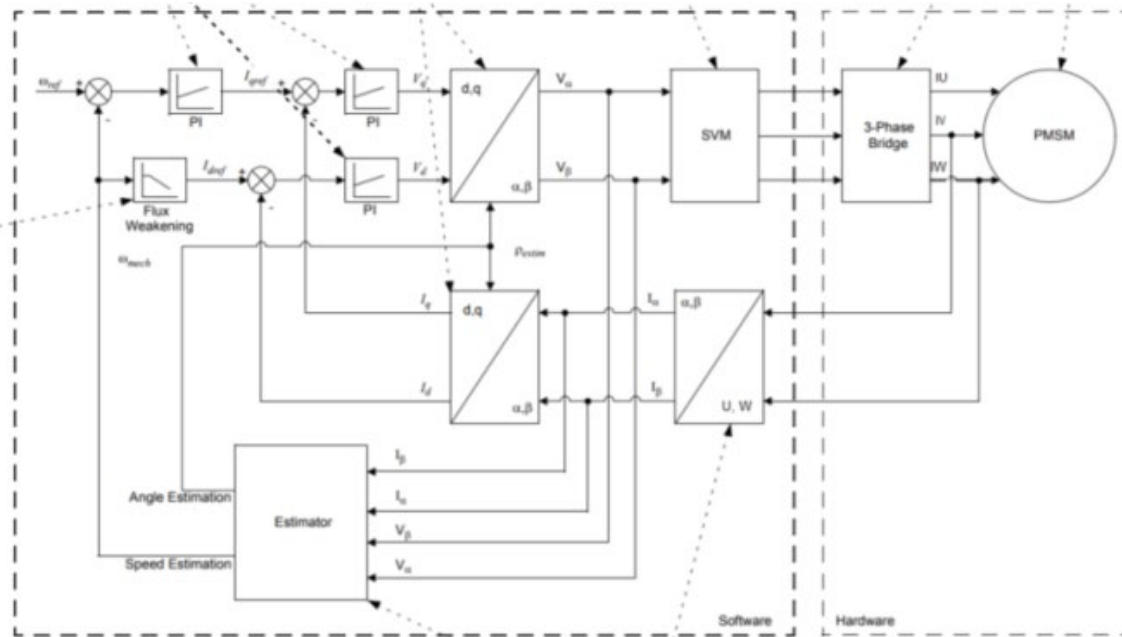
列出了工程所在路径和对应的硬件平台。

- MHC 配置

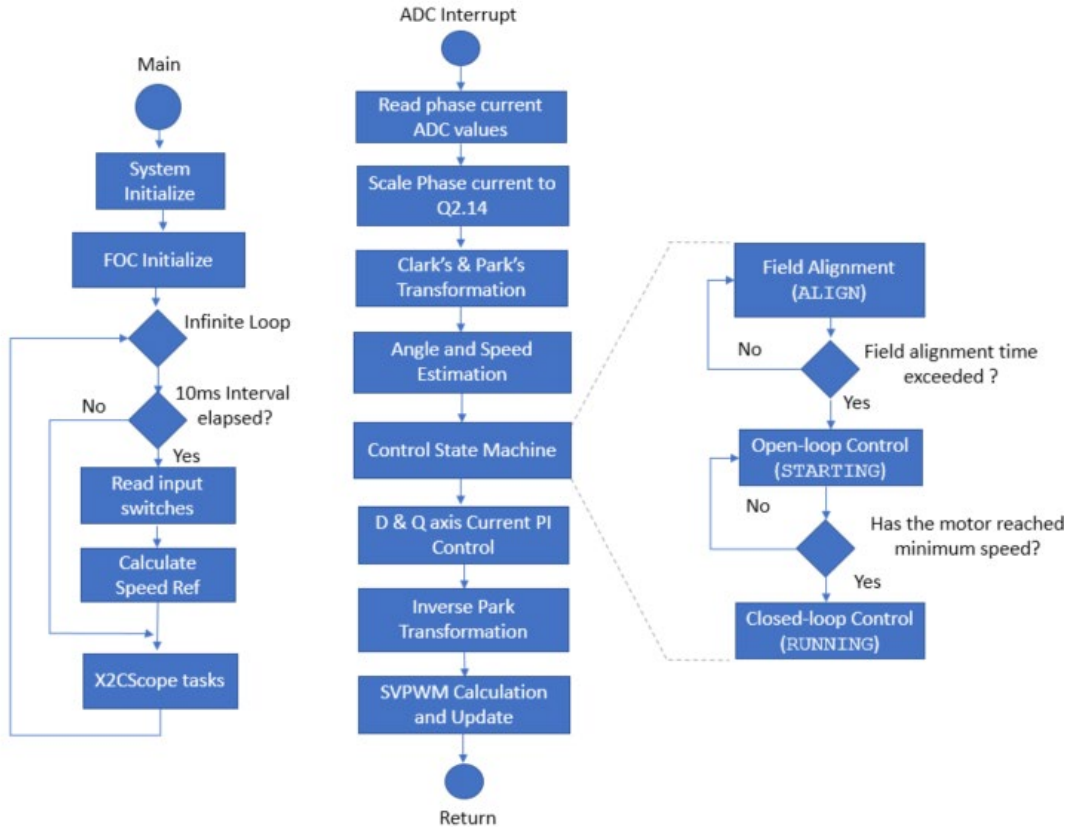
介绍了所使用 MCU 周边模块的配置情况。

- 控制算法

介绍了电机控制算法及其框图；软件架构及其流程图；软件配置方法、调试方法、优化方法。



< .1 >



< .2 >

Macro	Description	Units
MAX_FRE_HZ	Electrical Frequency at maximum motor speed	Hz
MIN_FRE_HZ	Electrical Frequency at minimum motor speed	Hz
POLAR_COUPLES	Number of Pole Pairs	-
R_STA	Motor per phase resistance	Ohm
L_SYN	Motor per phase inductance	H
MAX_CUR_AMP	Maximum motor current	A
START_CUR_AMP	Current reference during field alignment and open loop startup	A
ACC_RPM_S	Acceleration ramp rate	RPM/s
DEC_RPM_S	Deceleration ramp rate	RPM/s
STUP_ACCTIME_S	Open loop start up time	s
CUR_RISE_T	Current rise time during field alignment	s

< .3 >

● 硬件搭建

列出了该例程运行所需硬件及其官网链接；介绍了硬件搭建方法。

（三） MHC 配置

1. 使用 MPLAB X IDE 打开例程

File → Open Project... → 浏览至工程所在路径 → 选择 mclv2_sam_c21_pim.X 工程 → 点击 “Open Project” 按钮

在应用文件夹 pmsm_foc_rollo_sam_c21 中，有两个 MPLAB 工程：mclv2_sam_c21_pim.X 和 mchv3_sam_c21_pim.X。我们选择运行于低压电机开发板的工程 mclv2_sam_c21_pim.X。

2. 将例程设定为主工程（Main Project）

在 Projects 标签下鼠标右键单击工程 → set as Main Project

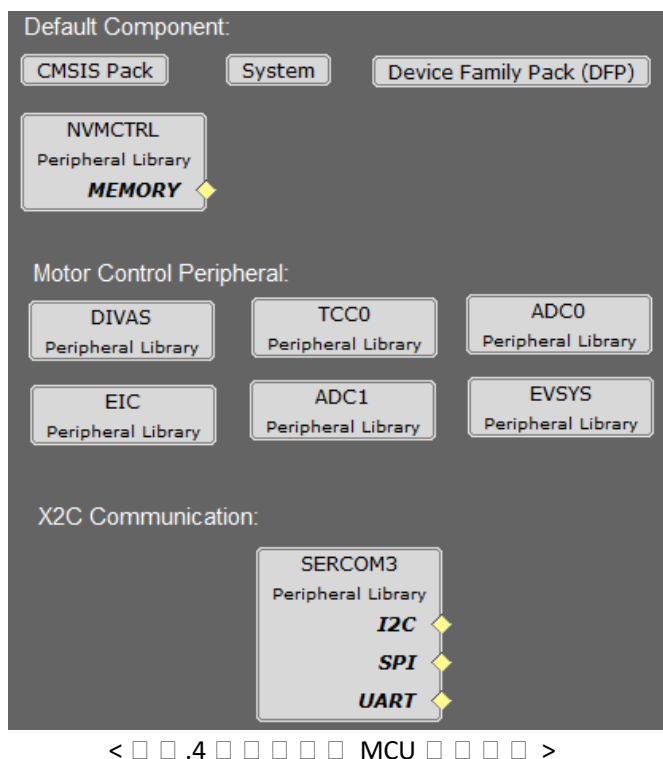
主工程的名称会以粗体字体显示。

3. 打开 MHC

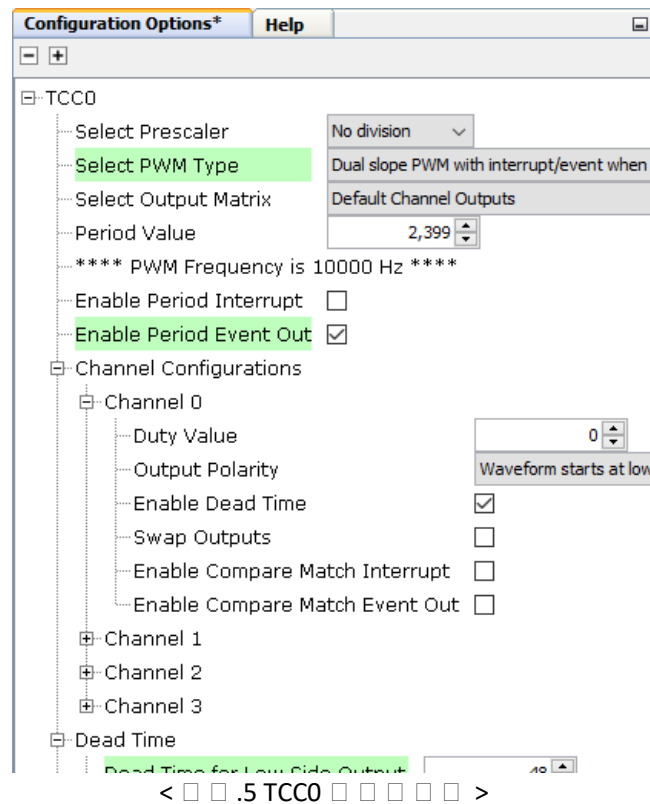
Tools → Embedded → MPLAB Harmony 3 configurator

MHC 被打开后，可以在 Project Graph 标签中观察已选用的组件。对于大部分电机控制应用来说，所有组件都是 MCU 周边模块。例程 mclv2_sam_c21_pim.X 也是如此。可以看到该例程使用的 MCU 周边模块有：

- ADC0, ADC1：用于模数转换
- TCC0：生成 PWM 驱动信号
- EIC：根据引脚电平生成中断事件
- EVSYS：用 PWM 事件触发 ADC 采样
- DIVAS：除法和根号的硬件加速器
- SERCOM3：X2CScope 所需的串口通讯



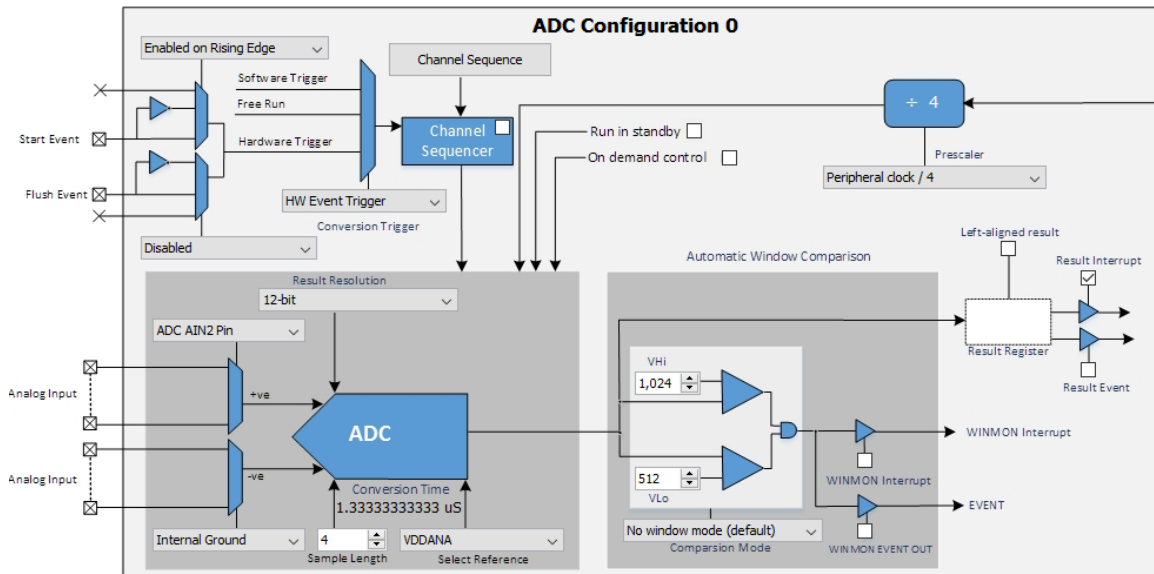
点击任一组件方框图，可以在 Configuration Options 标签中看到其配置情况。



除了 Configuration Options 标签中的树状配置选项外，MHC 还对一些常用的组件提供了额外的图形化配置界面。例如：

- ADC easy view

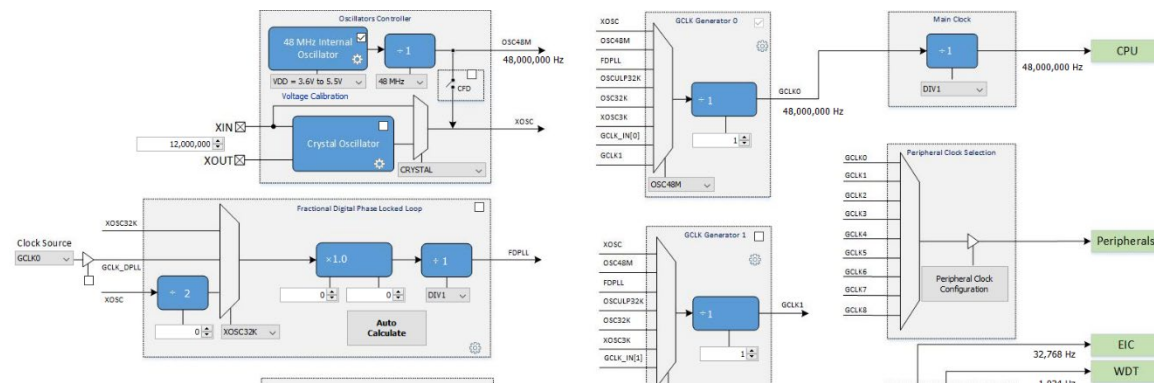
MHC → Tools → ADC configuration



< ☐ ☐ ☐ .6 ADC Easy View >

● Clock Easy View

MHC → Tools → Clock configuration

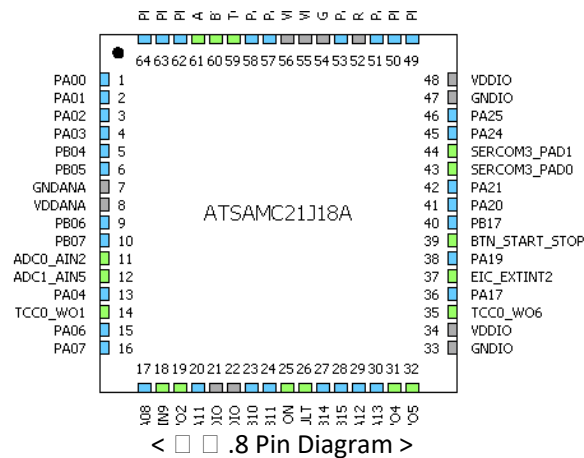


< ☐ ☐ ☐ .7 Clock Easy View >

● Pin Diagram, Pin Table, Pin Settings

MHC → Tools → Pin configuration

这三个图形化界面的功能是一样的，用户可以选择任何一种对引脚进行配置。



Package: QFN64

Module	Function	GNDANA	VDDANA	PB06	PB07	ADC0_AIN0	ADC1_AIN0	PA04	TCC0_WO6	PA06	PA07	PA08	ADC0_AIN1	TCC0_WO7	PA11	VDDIO	GNDIO	PB10	PB11	LED2_D+	LED1_O+	BR14
	AC_CMP3																					
ADC0	ADC0_AIN0																					
	ADC0_AIN1/VREFP																					
	ADC0_AIN10																					
	ADC0_AIN11																					
	ADC0_AIN2																					
	ADC0_AIN3																					
	ADC0_AIN4																					
	ADC0_AIN5																					
	ADC0_AIN6																					
	ADC0_AIN7																					
	ADC0_AIN8																					
	ADC0_AIN9																					

< ☐ ☐ .9 Pin Table >

Order: Pins ☐ Table View ☒ Easy View

Pin Number	Pin ID	Custom Name	Function	Mode	Direction	Latch	Pull Up	Pull Down
1	PA00		Available	Digital	High Imped...	Low	☐	☐
2	PA01		Available	Digital	High Imped...	Low	☐	☐
3	PA02		Available	Digital	High Imped...	Low	☐	☐
4	PA03		Available	Digital	High Imped...	Low	☐	☐
5	PB04		Available	Digital	High Imped...	Low	☐	☐
6	PB05		Available	Digital	High Imped...	Low	☐	☐
7	GNDANA			Digital	High Imped...	Low	☐	☐
8	VDDANA			Digital	High Imped...	Low	☐	☐
9	PB06		Available	Digital	High Imped...	Low	☐	☐

< ☐ ☐ .10 Pin Settings >

- EVENT Easy View

MHC → Tools → Event System configuration

Channel Configuration

Channel Number	Event Generator	Event Status	User Ready	Remove Channel
Channel 0	TCC0_OVF	●	●	Remove
Channel 1	EIC_EXTINT_2	○	○	Remove

Add Channel

Channel 1 Settings

Path Selection: ASYNCHRONOUS

Event Edge Selection: RISING_EDGE

Generic Clock On Demand: ☐

Run In Standby Sleep Mode: ☐

User Configuration

USER	Channel Number	Remove User
ADC0_START	Channel 0	Remove
TCC0_EV_0	Channel 1	Remove

Add User

< .11 EVENT Easy View >

（四） 源代码

1. 源文件

该例程的源文件由以下五个部分组成：

- config 目录

由 Harmony 3 根据 MHC 的配置而自动生成的源文件，都在 config 目录中。PLIB 源文件位于 config 目录下的 peripheral 子目录中。

- main_mclv2_sam_c21_pim.c 文件

最高层的应用软件函数位于该文件中；例如：主函数、ADC 中断服务函数（电机控制的实现位于该函数中）、过电流中断服务函数等。

- mc_app.c 文件

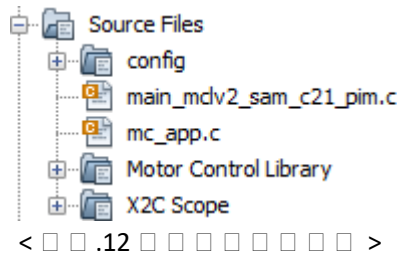
电机控制函数位于该文件中。电机控制函数被上述最高层应用软件函数调用。电机控制函数包括：motor_start(), motor_stop(), motorcontrol(), pwm_modulation()等。

- Motor Control Library 目录

电机控制库源文件（q14_generic_mcLib.c）和降阶龙伯格观测器库源文件（q14_rolo_mcLib.c）位于 Motor Control Library 目录中。这两个源文件中的函数位于软件架构的最底层，被上述 motor_start(), motor_stop(), motorcontrol(), pwm_modulation()等函数调用。

- X2C Scope 目录

与 X2CScope 通讯所需要的函数，位于该目录下的源文件中。



2. 头文件

该例程的头文件由以下五个部分组成：

- config 目录

由 Harmony 3 根据 MHC 的配置而自动生成的头文件，都在 config 目录中。PLIB 头文件位于 config 目录下的 peripheral 子目录中。

此外，对用户而言最重要的头文件 userparams.h 也位于 config 目录中。对例程几乎所有的应用配置（例如电机参数、控制增益、控制选项等）都是通过

userparams.h 文件的宏定义完成的。这些宏定义的具体含义，在该例程的帮助文档中有详细说明。

- mc_app.h 文件

此即为 mc_app.c 文件的头文件。

- Motor Control Library 目录

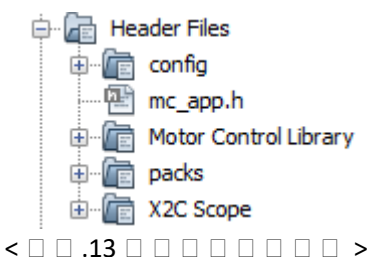
Motor Control Library 源文件的头文件位于该目录中。其中，q14_rollo_mcLib.h 文件中的部分宏定义可以调节降阶龙伯格观测器的性能。

- packs 目录

关于 MCU 硬件的头文件位于该目录中。这些文件包含 MCU 硬件寄存器的定义和 CMSIS 相关定义。这些定义依赖于 MCU 硬件，但不随 MHC 配置而变化。

- X2C Scope 目录

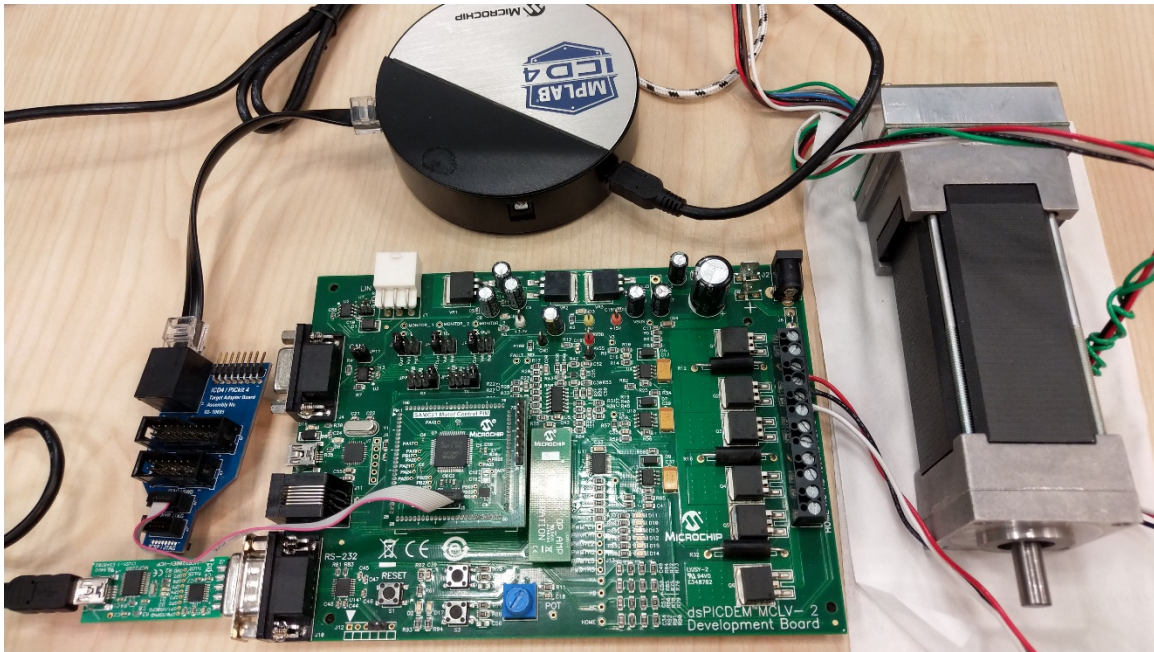
X2CScope 源文件的头文件位于该目录中。



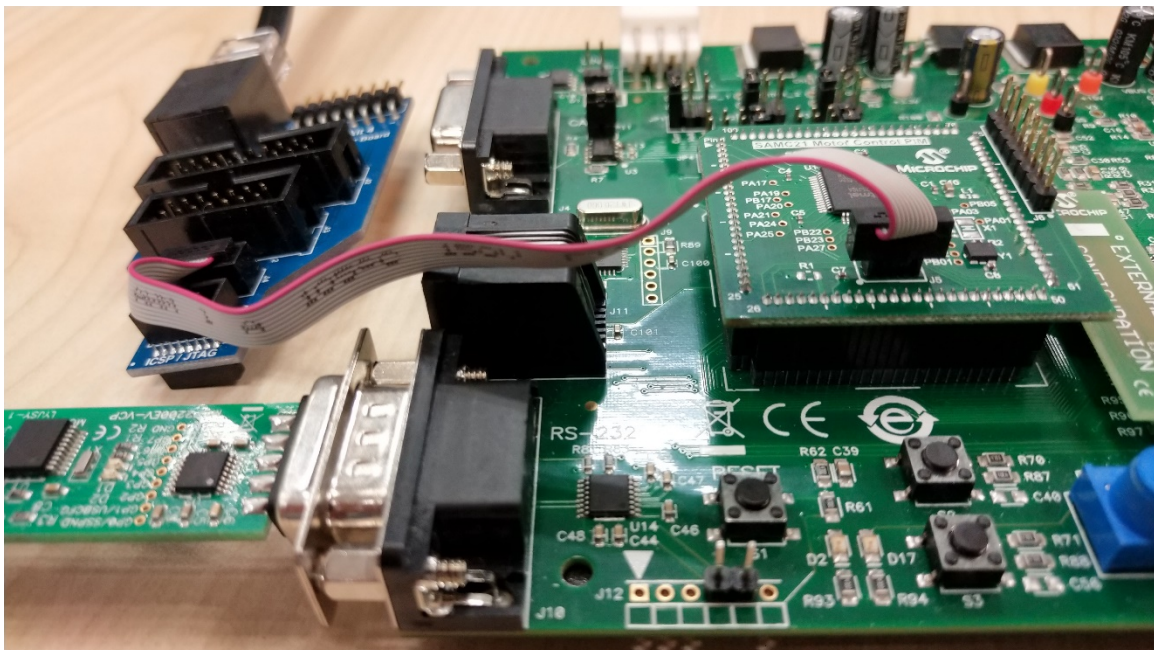
（五） 硬件安装

按照帮助文档中的指导进行安装、链接即可。

需要补充的是：对 SAMC21 PIM 的烧写，需要使用 MPLAB ICD4 调试器和 MPLAB ICD4 转接套件；X2CScope 的串口通讯，需要使用 RS232 转 USB 线缆。



< .14 ICD 4 RS232 USB >



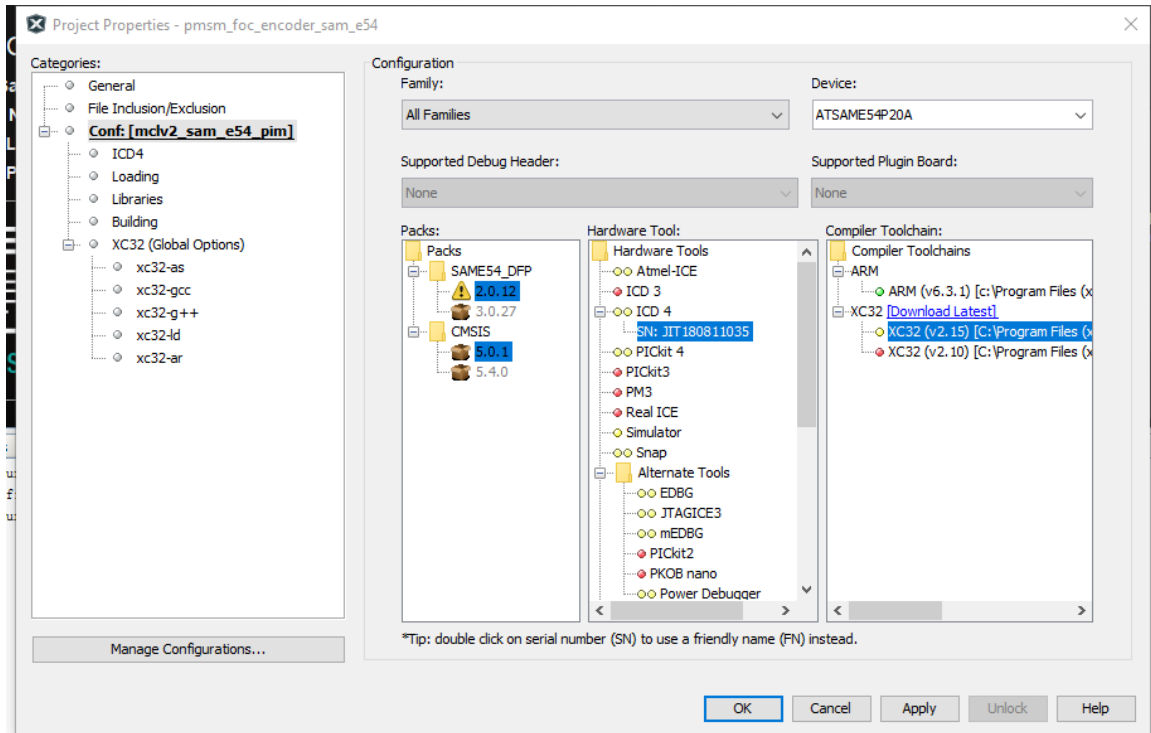
< .15 ICD 4 RS232 USB >

（六） 编译、烧写、运行与调试

1. 编译与烧写

首先，将 ICD4 调试器与电脑连接；并为 MCLV2 供电 DC24V。

然后，在 Projects 标签中右键单击工程名 → Properties → 在弹出的工程属性窗口中，选择 Hardware Tool 为 ICD 4；选择 Compiler Toolchain 为 XC32；点击“确认”按钮关闭窗口。



最后，点击 MPLAB X IDE 按钮栏中的下载按钮，以编译并烧写程序至目标 MCU。

2. 运行

在例程帮助文档中，对各个按钮的功能有详细说明。

首先，按下 S2 按钮，电机开始运转（顺时针）；可以观察到，LED 灯 D10 ~ D15 点亮，表示 PWM 信号正在输出。

然后，旋转蓝色电位器旋钮，观察电机转子转速的变化。

最后，再次按下 S2 按钮，电机停止运转。

在电机停止状态下，按下 S3 按钮，LED 等 D2 点亮，表示电机转向切换为逆时针。

3. 使用 X2CScope 调试

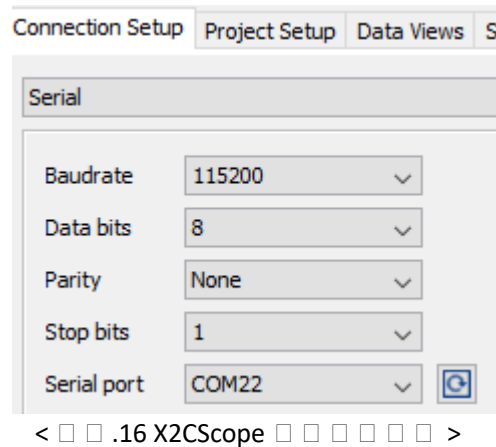
X2CScope 插件的安装方法，可参考 Harmony 3 电机控制帮助文档：

..\motor_control\doc\help_harmony_mc.pdf

首先，将 RS232 转 USB 线缆与电脑连接；并打开 X2CScope 插件：**Tools → Embedded → X2CScope**

然后，在 X2CScope Configuration 标签中进行设置。

- 1) 点击 Select Project 按钮，在弹出的下拉列表中，选择当前工程；
- 2) 设置 RS232 通讯参数，如下图所示；
- 3) 点击 Disconnected 按钮，启动通讯连接。连接成功后，按钮显示为：connected。



最后，使用 X2CScope 进行调试。

- 1) 选择 Data Views 标签，并点击 Open Scope View 按钮，以打开软件示波器；

- 2) 在软件示波器界面下方的通道列表中，单击任一空白通道 → 在弹出的窗口中，选择希望观察的全局变量名。例如选择 `curdqm.y` 和 `elespeed`，以观察 q 轴电流和电机转速值。
- 3) 点击 **SAMPLE** 按钮并运转电机，观察波形。

