

引言

本文档的目标读者是希望利用基于ST电机控制（MC）板自行设计的应用板驱动永磁同步电机（PMSM）的用户。为此，本文档回顾了硬件、固件以及相关电机控制软件工具。

对于新项目，用户可直接使用STM32 MC SDK v5.0（X-CUBE-MCSDK和X-CUBE-MCSDK-FUL）随附的电机控制PC软件工具。

下列文件可在www.st.com获取，可作为参考：

- AN2834：如何在STM32微控制器中获得最佳ADC精度
- UM2392：STM32电机控制SDK v5.0.0固件入门
- UM2380：STM32电机控制SDK v5.0工具



目录

1	概述	5
2	衍生设计	6
2.1	硬件设置	6
2.1.1	3相逆变器	7
2.1.2	电流检测	8
2.1.3	总线电压检测	10
2.1.4	安全机制	10
2.1.5	MCU	11
2.2	STM32 MC工作站与STM32CubeMX之间的交互	12
2.3	STM32 MC工作站	13
2.3.1	修改电机控制参数	13
2.3.2	使用另一种类的MCU	13
2.3.3	时钟树配置	13
2.3.4	处理中断	13
2.3.5	更改专用引脚分配	14
2.4	STM32CubeMX	14
2.4.1	用户工程配置	14
2.4.2	修改电机控制参数	14
2.4.3	增加新引脚或更改引脚分配	15
3	结论	16
4	版本历史	17

表格索引

表1.	缩略语列表	5
表2.	高级定时器使用	8
表3.	电流检测	9
表4.	文档版本历史	17
表5.	中文文档版本历史	17

图片索引

图1.	典型MC硬件设置.....	7
图2.	典型MC PWM和电流检测.....	7
图3.	典型MC母线电压检测.....	10
图4.	典型MC安全机制.....	11

1 概述

STM32MCSDKv5.0用于开发基于Arm^{®(a)}Cortex[®]-M处理器的STM3232位微控制器上运行的电机控制应用程序。

表 1给出了相关的缩略语，帮助您更好地理解本文档。

表1. 缩略语列表

缩略语	说明
API	应用编程接口
FOC	磁场向量控制
FW	固件
GUI	图形用户界面
HAL	硬件抽象层
HFI	高频注入
HW	硬件
ICS	隔离电流传感器
IDE	集成开发环境
LL	低电平
MC	电机控制
MC WB	电机控制工作台（STMicroelectronics软件工具）
MP	电机分析仪（STMicroelectronics软件工具）
MTPA	最大转矩电流
PFC	功率因数校正
PMSM	永磁同步电机
SDK	软件开发套件
SPL	标准外设库
SW	软件

arm

a. Arm是Arm Limited（或其子公司）在美国和/或其他地区的注册商标。

2 衍生设计

利用ST MC板设计新硬件板最简单的方法是执行以下步骤：

1. 选择相同的3相逆变器拓扑
 - a) 同一系列的STM32 MCU（例如STM32F303xx）
 - b) 相同的电流检测拓扑（例如电阻电流采样拓扑）
 - c) 相似的电机驱动器（例如TSPIN230作为三个半桥电机驱动器）
 - d) 相似的功率（例如X-NUCLEO-IHM11M1作为低电压/低电流）
2. 根据新硬件进行调整
 - a) 计算电流取样电阻
 - b) 计算电阻网络增益
 - c) 使用外部或内部运放元件
 - d) 使用外部或内部比较器
 - e) 计算输入比较器的保护阈值源
3. 修改STM32工作站工程（PC软件工具）
 - a) 找到所选ST示例
 - b) 更新所有硬件调整
4. 基于STM32CubeMX工程进行修改（PC软件工具）
 - c) 如有需要，可将MCU系列换为兼容系列
 - d) 完成应用配置

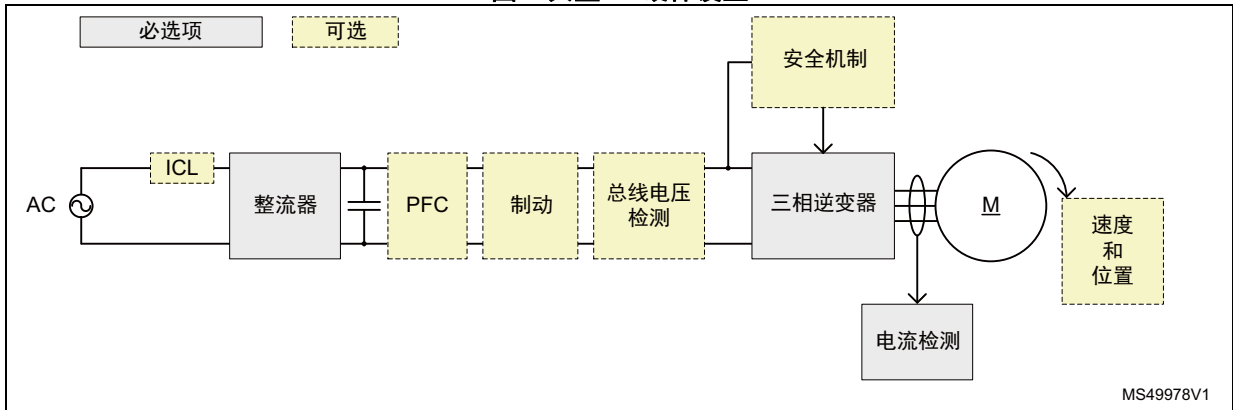
2.1 硬件设置

为提高效率，对三相电机的控制依赖于：

- 必选功能：
 - 执行固件的微控制器
 - 控制电机电压和电流的三相逆变器
 - 反馈调节的电流采集
- 可选功能（本文档仅介绍了部分功能）：
 - 可在电机启动过程中减小峰值电流的冲击电流限制器
 - 可降低能耗的功率因数校正（PFC）机制
 - 释放电机能量的制动机制
 - 监控输入电压的总线电压检测
 - 保护人员和硬件的安全机制
 - 从速度和位置传感器采集数据进行反馈调节

图 1 显示的典型硬件设置（在 ST 评估板上实现）用于控制三相 PMSM。

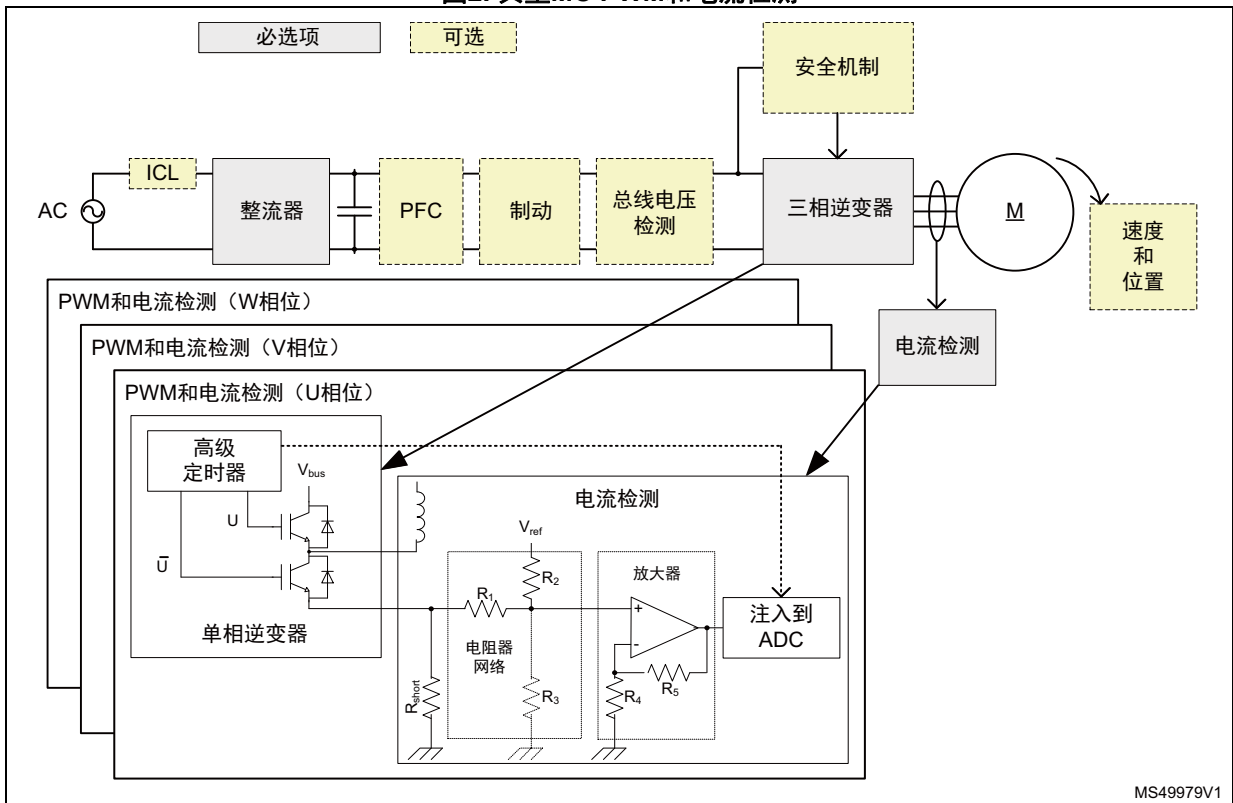
图1. 典型MC硬件设置



2.1.1 3相逆变器

电机控制子系统使用一个高级定时器，其PWM数字输出用于驱动三相逆变器（参见图 2）。

图2. 典型MC PWM和电流检测



在ST板上，功率级会实现高端和低端开关，以驱动三个相位。根据功率元件，对于每个电机相位，支持的PWM数字输出（或通道）为：

- 高/低端驱动
 - 硬件会激活所需PWM数字输出及其互补信号。
 - 用户需要使用STM32 MC工作站PC软件工具配置PWM开关死区时间，以免逆变器发生短路。
- 仅高端驱动
 - 硬件启用驱动器并激活所需PWM数字输出。
 - 用户需要确认所用硬件组件可管理PWM开关死区时间，以免逆变器发生短路。

从固件的角度来看，可通过STM32 MC工作站PC软件轻松配置驱动器桥。根据驱动器桥的硬件实现，用户可通过功率级区域中的专用相位驱动器块，配置驱动器桥死区时间值及其有效性。

根据实现的电流取样拓扑以及所用PWM通道，可能需要其它定时器通道来触发ADC的采样时间（参见表 2）。

表2. 高级定时器使用

支持MCU	拓扑		
	单电阻采样	三电阻采样	双ICS
STM32F030RC/R8 STM32F031C6 STM32F051R8/C8 STM32F072VB/RB STM32F1xx STM32F302VB/VC STM32F303VB/VC STM32F303ZE/VE/RE STM32F302R8 STM32F415ZG STM32F417IG STM32F407IG STM32F446ZE/RE	– 每相驱动的PWM – 3通道 – SVPWM有效触发器 – 1通道 – 用于ADC的触发器 – 2通道	– 每相驱动的PWM – 3通道 – 用于ADC的触发器 – 1通道	– 每相驱动的PWM – 3通道 – 用于ADC的触发器 – 1通道

2.1.2 电流检测

出于精度方面的考虑，电流测量是由高级定时器触发的（利用其内部功能）。

电机控制子系统需要使用ADC。根据所用ADC及电流测量拓扑，支持三种实现。

- 3取样电阻电流读取模式需要：
 - 在电阻网络 (R_1, R_2, R_3) 上测量得到有偏置的电压信号（实际是电机工作电流的数值），再通过电阻网络 (R_4, R_5) 放大后得到的数值。需要为每个相位实现该设置（共三次）。
 - 两个ADC，每个ADC拥有两个通道，同时测量两个使能相位在此时的电压（精度最高），也可以使用一个ADC的三个通道测量两个使能相位在两个不同时间的电压（精度较低）。
- 1取样电阻电流读取模式需要：
 - 在电阻网络 (R_1, R_2, R_3) 上测量得到有偏置的电压信号（实际上是电机工作电流的数值），再通过电阻网络 (R_4, R_5) 放大后得到的数值。该设置只需执行一次。
 - 如果一个（或两个）相位在采样时间有效，可使用一个单通道ADC测量该时间的电压（每周期两次）。
- 双ICS读取模式需要：
 - 如有需要，在电阻网络 (R_1, R_2, R_3) 上测量得到有偏置的电压信号（实际上是电机工作电流的数值），再通过电阻网络 (R_4, R_5) 放大后得到的数值。至少需要为三个相位中的两个相位实现该设置。
 - 两个单通道ADC可测量两个硬连接相位的电压（在相同的采样时间）。

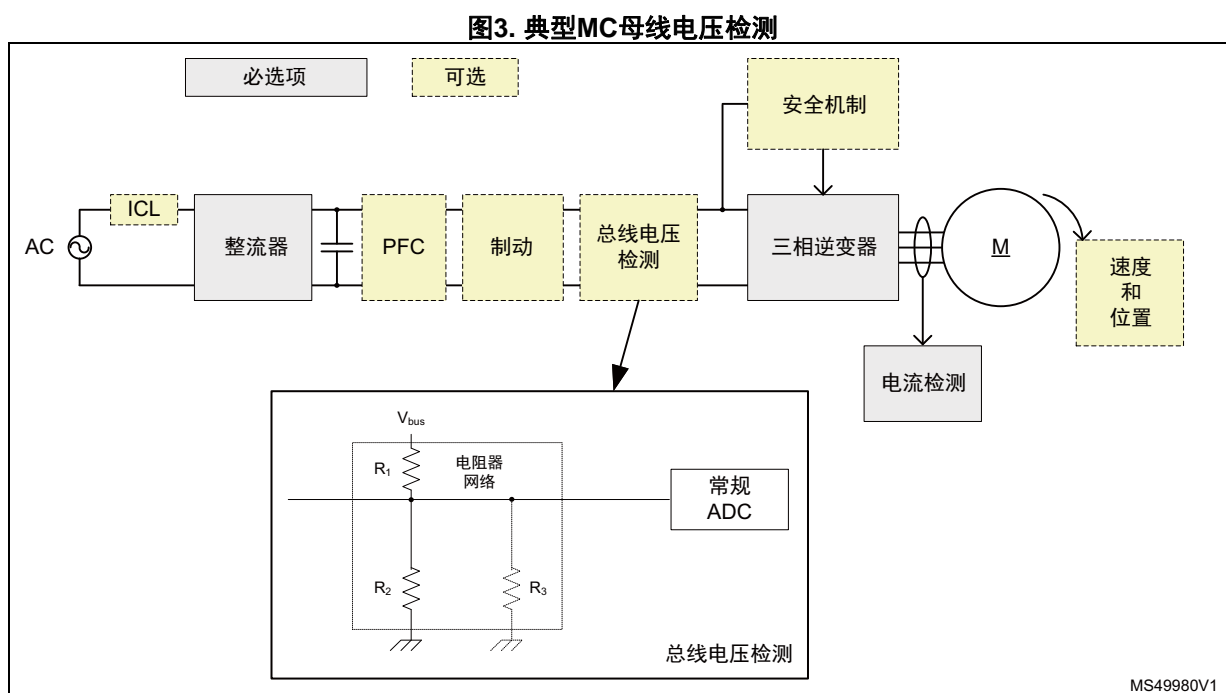
从固件的角度来看，可通过STM32 MC工作站PC软件轻松配置拓扑电流模式之间的切换。用户必须根据硬件实现使用功率级区域中的电流检测，对应的调整电阻器网络。

表3. 电流检测

支持MCU	拓扑		
	1检测电阻	3检测电阻	双ICS
STM32F030RC/R8 STM32F031C6 STM32F051R8/C8 STM32F072VB/RB	ADC (x1) - 1通道	ADC (x1) - 3通道	N/A
STM32F1xx		ADC (x2) - 每次同时使用两个通道	ADC (x2) - 各1通道
STM32F302VB/VC STM32F303VB/VC STM32F303ZE/VE/RE			
STM32F302R8		ADC (x1) - 3通道	N/A
STM32F415ZG STM32F417IG STM32F407IG STM32F446ZE/RE		ADC (x2) - 每次同时使用两个通道	ADC (x2) - 各1通道

2.1.3 总线电压检测

调整电阻网络 (R_1 、 R_2 和 R_3) 来实现总线直流电压的ADC输入电压范围 (参见图 3)。



从固件的角度来看，可通过STM32 MC工作站PC软件轻松调整电阻器值。用户根据硬件实现使用功率级区域中的总线电压检测配置电阻器网络。

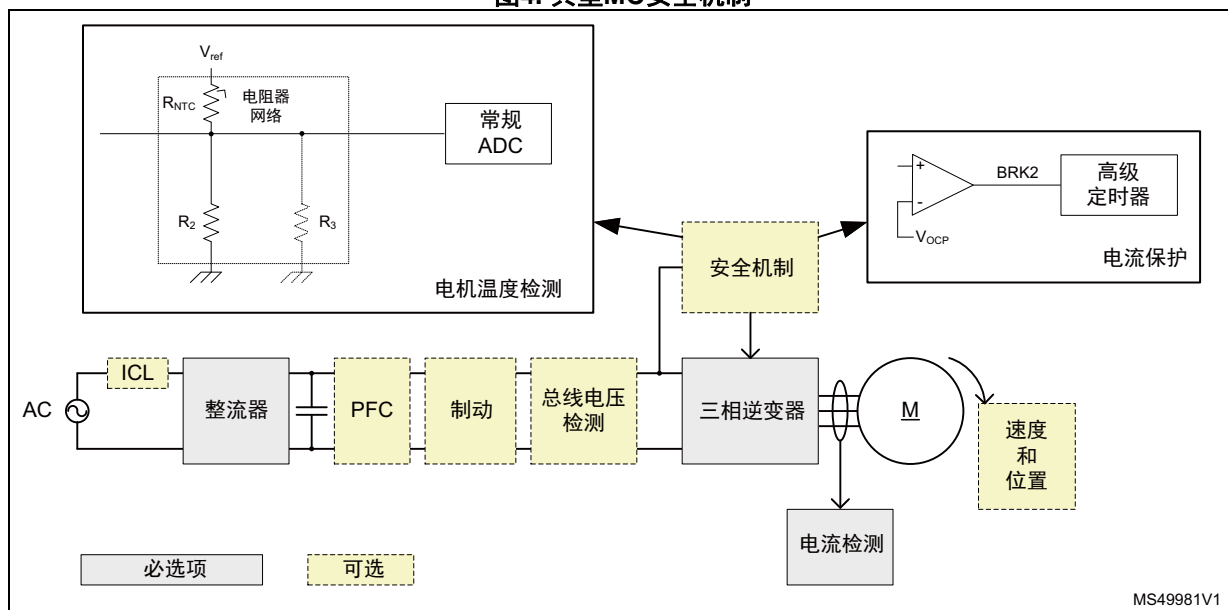
使能了总线电压检测功能，总线电压通过单通道ADC定期测量（仅限常规转换）。但由于MC固件的实时限制（检测有更高的优先级），定期转换可能会延迟。如果禁用此选项，MC固件始终会使用一个设定好的总线电压固定值（在STM32 MC工作站PC软件中定义）。

2.1.4 安全机制

通过硬件（利用其内部功能）实现一些安全机制（参见图 4）。支持的硬件安全机制包括：

- 过电压保护
可通过硬件执行，但由固件管理（利用总线电压检测采集功能）。
- 过电流保护
参考电压（MCU内部或外部）对应相应的电流限制值，作为最大上限的参考电流，随后与测得的电流进行比较。通过比较器后输出可触发高级定时器的Break或Break2输入，立即停止PWM生成。
- 电机温度检测
电阻器网络 (R_{NTC} 、 R_2 和 R_3) 用于得到有偏置的电压信号（对应功率驱动部分的温度情况）。一个单通道ADC会定期测量电压。

图4. 典型MC安全机制



从固件的角度来看，可通过STM32 MC工作站PC软件轻松设置过电流（或电机温度）保护阈值。用户根据硬件实现使用功率级区域中的过电流保护块（或温度检测）配置这些阈值。

2.1.5 MCU

微控制器用于执行MC固件，以驱动电机并采集信号。

如果设计源于ST示例板，用户仅可更换同系列MCU（例如由STM32F030RC更换为STM32F030K6）。

更换MCU时，用户需仔细检查所有相同外设的可用性（按照前几段中的描述），即：

- ADC及其可用通道
- 高级定时器
- 运算放大器
- 比较器
- 时钟频率。

更换微控制器之前，请参见第 2.3 节：STM32 MC工作站和第 2.4 节：STM32CubeMX。

2.2 STM32 MC工作站与STM32CubeMX之间的交互

STM32 MC工作站将通过用户提供的关于电机控制应用的信息生成*.ioc文件。STM32CubeMX随后会对该文件进行处理，生成可在由用户使用的的首选IDE中直接打开的软件工程。

STM32 MC工作站在*.ioc文件中存储两组数据：

1. 与为电机控制应用选择的MCU及所用外设（硬件IP）相关的配置信息
2. 纯电机控制参数及其数值。

利用第一组数据，STM32CubeMX可为MCU及其外设生成初始化代码。因此，电机控制软件子系统开始初始化时，电机控制应用程序需要使用的所有数据均已准备就绪，可随时使用。

第二组数据提供的信息供STM32CubeMX生成电机驾驶舱并选择生成项目中包含的正确电机控制源文件或库文件。生成的源文件中的一些数据可供固件访问。固件使用这些数据进行自身的初始化，也会在操作期间使用这些数据。

这两组数据并不独立。固件使用的值以及配置外设需要的参数可能有关联。因此，修改生成的源文件中的电机控制参数存在风险，应避免进行修改，影响MC固件和不相关的外设数据。

用户可通过STM32CubeMX对由STM32 MC工作站生成的*.ioc文件进行进一步修改。修改时，需要会通过STM32CubeMX再次生成软件工程。但应注意的是，因为STM32 MC工作站无法完全读回*.ioc文件，所以通过STM32CubeMX对*.ioc文件进行的更改可能会被覆盖。

这一问题可通过STM32 MC工作站的“更新”功能解决。此功能允许用户选择要完全重新生成*.ioc文件还是只更新纯电机控制参数（第二组数据）。对于第一种情况，通过STM32CubeMX对*.ioc文件进行的所有修改都会丢失。对于第二种情况，通过STM32CubeMX进行的修改保持不变，只有*.ioc文件中涉及第二组数据的部分（纯电机控制参数）会被新参数值取代。有关“更新”功能的详细信息，请参见供参考的用户手册。

STM32 MC工作站与STM32CubeMX之间的交互对电机控制应用程序开发有重要影响。以下章节针对如何最大限度地利用这些交互以及如何顺利完成开发流程提供了建议。

2.3 STM32 MC工作站

2.3.1 修改电机控制参数

STM32 MC工作站用于配置硬件外设设置及其参数，并用于通过STM32CubeMX生成电机控制项目。

请注意，电机控制参数主要通过STM32 MC工作站中的“驱动管理”部分配置。

修改电机控制参数的正确方法是：使用STM32 MC工作站进行修改、然后使用“更新”功能重新生成项目。

2.3.2 使用另一种类的MCU

STM32 MC工作站支持STM32 MCU的子集，主要是STM32 MC SDK v5.0支持的Nucleo板和评估板上使用的MCU种类。

用户可利用STM32CubeMX的导入功能更改在其电机控制应用程序中使用的MCU。导入功能允许用户将已有的*.ioc文件导入已经选择了该MCU类型的新STM32CubeMX工程中。此功能受一些限制条件的约束（更多相关信息，请参见www.st.com上提供的UM1718“用于STM32配置和初始化C代码生成的STM32CubeMX”）。

在*.ioc文件导入期间，可能会有STM32CubeMX不确定如何将一些功能与新MCU的功能相匹配（例如命名不匹配，或为扩展功能）的情况下，显示一些警告或错误消息。借助这些有用的消息，可方便的将新MCU调整和配置为硬件实现。

另外要注意的是，使用此功能意味着会创建新的*.ioc文件，新建文件与STM32 MC工作站生成的文件没有任何关联。不能使用STM32 MC工作站直接更新这一新建的*.ioc文件。

2.3.3 时钟树配置

时钟配置是影响电机控制软件子系统性能的敏感因素。STM32 MC工作站会从电机控制的角度将时钟配置设为最佳值，一定不要通过STM32CubeMX更改该值。

这一点特别适用于内核时钟，但同样适用于ADC时钟以及电机控制软件子系统使用的定时器。

2.3.4 处理中断

出于性能方面的考虑，STM32 MC FoC固件会生成其所用中断的处理程序。因此，STM32 MC工作站会阻止STM32CubeMX再自己生成这些处理程序。

此外，STM32 MC工作站还会选择这些中断进行初始化序列排序。要求的中断初始化顺序本身并不重要，此功能可确保这些电机控制软件子系统中断的初始化将在由STM32CubeMX生成的初始化序列中最后执行。

在最后阶段，STM32 MC工作站会配置NVIC外设的优先级组功能以及电机控制子系统所用中断的优先级和子优先级。*.ioc文件中的这三项必须保持不变。不得通过STM32CubeMX进行更改。更多关于处理电机控制系统中的中断优先级的详细信息，请参见UM2392。

2.3.5 更改专用引脚分配

STM32 MC工作站生成的初始配置可用于电机控制应用程序使用的各种输入和输出引脚。用户可随时使用STM32 MC工作站选择引脚分配。但如果有任何进一步需求，用户可通过STM32CubeMX更改引脚分配。

一些引脚的名称以M1_或M2_开头，分别表示与电机1或电机2相关的引脚，M1M2_或M2M1_表示这两个电机共用的引脚。这些名称供电机驾驶舱代码内部使用，用于初始化电机控制子系统。举例来说，电机控制引脚名称M1_PWM_VH代表电机1的V相PWM输出。

要更改引脚分配，用户需要为要取代的功能选择合适的替代引脚，将这一新引脚相应地配置为被取代的功能，然后将之前引脚的名称准确转给新引脚。

进行引脚更改后，必须使用“更新”功能保存通过STM32 MC工作站进行的进一步修改，以在*.ioc文件中保存新分配。

2.4 STM32CubeMX

STM32CubeMX可用于编辑和修改所选MCU中的硬件外设配置，使其适应终端用户应用程序。

但用户需要确认新外设的配置不会更改之前通过STM32 MC工作站为电机控制外设设置的时钟树参数。

2.4.1 用户工程配置

除了硬件外设配置外，STM32CubeMX还允许用户配置软件工程的生成方式。但不建议更改生成的*.ioc文件中通过STM32 MC工作站选择的工程设置。

2.4.2 修改电机控制参数

更改电机控制应用已用外设的配置比较复杂，如果有必要更改，操作时需多加留意。下文列出的两种情况应区别对待：

- 更改由STM32 MC工作站设置的参数值。此操作可能导致应用程序故障，原因与[第 2.2 节：STM32 MC工作站与STM32CubeMX之间的交互](#)中强调的原因相同。
- 使用电机控制外设的空闲通道。如果不影响其余外设，特别是其常用参数，此操作没有问题。例如，只要触发源、从模式和自动重载寄存器保持不操作，便可使用用于电机控制的定时器的附加通道。但使用ADC外设的空闲通道时必须多加留意。应用程序可预订这些通道进行规则转换（不适用于注入式转换），以满足其自身需求。但此时应使用API函数（参见UM2392）。

这两种情况下，一旦更改了外设配置，如果随后使用STM32 MC工作站对项目进行了进一步修改，则需要使用其“更新”功能保存相关修改，将引脚配置保存在*.ioc文件中。

STM32CubeMX提供的一些功能不能用于STM32MCSDKv5.0。请参见随软件包提供的版本说明，获取相关限制的完整列表。

2.4.3 增加新引脚或更改引脚分配

配置电机控制应用程序未使用的外设通常不是问题，可随意操作。

但需要注意的是，在STM32MC工作站之外执行的电机控制专用引脚更改将在重新打开工作站和上传ioc文件时被覆盖。更改引脚分配的首选方法是通过STM32 MC工作站进行。

3 结论

总的来说，任何派生的终端用户应用程序都需要处理以下任务：

- 电机控制引脚分配
 - 引脚通过STM32 MC工作站完成
 - 外设参数通过STM32 MC工作站配置
- 总线电压检测
 - 与ADC输入范围的相容性
 - 最大限度地利用整个ADC范围
- 安全机制
 - 温度检测与ADC输入范围的相容性
 - 温度检测，从而最大限度地利用整个ADC范围
 - 通过设置过压保护触发上限电压值
 - 通过设置过流保护触发电流上限值
- 3相逆变器：
 - 通过STM32 MC工作站设置功率驱动器死区时间
 - 通过STM32 MC工作站设置功率驱动器极性
 - PWM数字输出包含互补信号或已使能信号
- 电流检测：
 - 通过STM32 MC工作站设置T-rise和T-noise参数
 - 信号极性不会对负的波形和正的波形产生钳位
 - 调试放大器输出，以最大限度地利用整个ADC范围
- 终端用户应用程序（使用STM32CubeMX）：
 - 附加引脚分配
 - 仅可使用ADC规则转换通道，不可使用注入式通道
 - 提供的MC固件配置不会更改时钟的配置
 - 使用增加的其它中断处理和优先级不会预先清空MC中断处理和优先级
 - 如有需要，可在更改MCU选择之前导入STM32CubeMX文件（通过STM32 MC工作站生成）。

4 版本历史

表4. 文档版本历史

日期	版本	变更
2018年6月4日	1	初始版本。

表5. 中文文档版本历史

日期	版本	变更
2018年12月16日	1	中文初始版本。

重要通知 - 请仔细阅读

意法半导体公司及其子公司 (“ST”) 保留随时对 ST 产品和 / 或本文档进行变更、更正、增强、修改和改进的权利，恕不另行通知。买方在订货之前应获取关于 ST 产品的最新信息。ST 产品的销售依照订单确认时的相关 ST 销售条款。

买方自行负责对 ST 产品的选择和使用，ST 概不承担与应用协助或买方产品设计相关的任何责任。

ST 不对任何知识产权进行任何明示或默示的授权或许可。

转售的 ST 产品如有不同于此处提供的信息的规定，将导致 ST 针对该产品授予的任何保证失效。

ST 和 ST 徽标是 ST 的商标。所有其他产品或服务名称均为其各自所有者的财产。

本文档中的信息取代本文档所有早期版本中提供的信息。本文档的中文版本为英文版本的翻译件，仅供参考之用；若中文版本与英文版本有任何冲突或不一致，则以英文版本为准。

© 2018 STMicroelectronics - 保留所有权利