

本次直播以 ST MC SDK 5.x 为基础，让我们首先回顾一下 ST 完整的电机控制生态系统，见下图。

ST 以一套完整的生态系统方式向用户提供电动机控制方案



SDK(Software Development Kit)包括 ST MC Workbench 和固件库两部分。

本次实战问答只讨论同步电机，不对步进电机做特别的讨论，希望有助于大家进行电机开发或者是电机应用。

Q1: STM32 关于 FOC 控制或者在永磁同步电机上有哪些可用的库和工具，有没有关于弱磁 MTPV 等算法的文档或者学习工具，或者是开发套件？

A1: 今年 ST 推出 FOC SDK 5.2 版本, 可以在 ST 官网上直接下载这个库。关于算法, 可以参考培训文档 (www.stmcu.com.cn “设计资源” 中查找), 原理可以看 UM1052 上描述。

请大家充分利用 stmcu.com.cn, 可以自助解决 MCU 及相关应用难点, 上面的资源包括培训课件, 实战经验等。

Q2: 在电机控制中, F407 系列 MCU 有没有方法可以在线修改参数? 不用每次都编译, 不然调 PI 很麻烦。

A2: 在线修改可以使用 RAM 方式修改, 如果您用的是自己程序, 可以考虑仿真器或串口方式修改定义好的变量数据, 当调试好参数后回写到 Flash 中固化参数; 如果使用 Workbench, 可以在 workbench 调试界面上上修改相应参数, 同样这个是修改 RAM, 调试好后再回写入 Flash 中。这样就不需要每次都进行编译, 浪费很多时间在编译上面。

Q3: 伺服电机的分类, 以及有主流的控制方法及使用方法?

A3: 伺服电机大体可分为直流伺服电机和交流伺服电机。控制方法如果采用矢量控制, 当前主要有 DTC 控制和 FOC 控制。

Q4: 自主搭建电机驱动, 软硬件如何设置? F030 系列如何做 FOC?

A4: 实际上您自主搭建的电机驱动的硬件, 可以与 MCSDK workbench 匹配使用, 注意参数配置。Workbench 就是为大家提供配置的便利, 包括板子参数、电机参数、控制策略等等, 都可以做直接配置。F030 是支持 FOC 的。

Q5: 电机的参数 (电感, 电阻) 对位置估算的结果影响多大? 为什么我用错误的电感和电阻值电机也能转, 而且位置输出没发现异常?

A5: 电机的参数对位置估算的结果是有影响的, 即会影响无传感观测器参数, 也会影响电流环 PID 的设定, 还很可能影响电流稳定度等; 当然在观测技术是上有一定阈值调整。有些参数稍微调整也可以运行, 但是最好能够使用正确的电感电阻值。

Q6: 永磁同步和 BLDC 应用领域的区别? BLDC 如何正确的检测换向点? BLDC 与 PMSM 的转矩脉动产生的原因分别是什么? 如何减小这一现象对精度和稳定性的影响呢? 如何计算 BLDC 与 PMSM 的效率差别呢?

A6: 永磁同步和 BLDC 可以看成是同一种电机, 只是叫法不同而已。如果 BLDC 矢量控制无过零点检测, 六步方波控制方法需要检测过零点。如果是 FOC, 可以利用观测器的方式来观测出你现在的的一个转阻位置。

这两个电机实际相同, 只是电机工艺做法差异所导致的, 转矩脉动和控制方法有关。

Q7: 开环运行到闭环运行需要哪些步骤, 有哪些注意事项?

A7: 大致步骤是定位, 开环, 闭环; 需要注意设定开环速度以及驱动电流, 还有设定最小切入速度, 一般在额定速度的 10% 以上。

Q8: 这个电机库支持高频注入算法吗? 效果如何?

A8: 目前 FOC 5.0 不支持高频注入算法, 以前的 4.3 版本是支持的。后续这个算法会加进来。

Q9: 如何使用开源或免费的编译器进行相关设计? 有无相关例程?

A9: 参考今年 8 月的培训文档, 可以在 www.stmcu.com.cn 上下载。参考例程在 Cube 库和标准库里都有。

Q10: 凸极 BLDC 想要从任意位置平稳启动无反转, 有什么好的策略可以使用? 高频注入利用凸极性, 对于隐极 BLDC, 有没有好的评估转子位置的方案, 希望启动无抖动无反转噪音低。

A10: 这个问题涉及当前最热门且研究最多的无传感的部分。无传感策略, ST 有两种方式: 一是观测器的方式, 由开环转闭环, 启动时会有一些抖动, 或者是一些反转, 因为要做一次定位; 如果无反转, 是在静止的时候, 抓到转子的位置, 采用无传感方式, ST 采用高频注入加观测器方式来实现。

高频注入, 目前市场有非常多开发好的算法可以实现。各有特长, 好的算法要靠时间或者是精力来实现, 基本可以实现无抖动, 无反转。

Q11: 5.0 的库相对于之前的库新增哪些特性? 二次开发需要考虑哪些设想?

A11: 5.0 库是针对前一代有结构上的变化, ST 的开发力度历来是非常大的, 如果客户二次开发, 可以在它的库基础上, 非常便利地实现自己的一些想法, 可以进行一些库的修改代码。也可以直接用接口代码, 调用 API 的方式, 针对简单应用足够了。

Q12: BLDC 最低电压能做到几伏, 低电压的转速可以做的很高吗? BLDC 用在吸尘器上是要做恒功率还是其他?

A12: BLDC 有些可以低到 5V, 当然最低电压需要和电机厂商联系, 转速部分与电机本体相关; 恒转速和恒功率都可以实现。

Q13: 请问交轴直轴怎么理解, 同样是电流产生的力矩和磁通怎么实现分别控制的? 被控量只有一个电流, 是怎么实现力矩, 磁通解耦合控制的?

A13: 直轴可理解为永磁体磁场方向。交轴垂直于永磁体磁场方向的轴, 即垂直于直轴, 它是一个动轴。直轴电流是用于叠合磁场, 交轴电流相当于一个旋转量, 当旋转量持续为 90 度时, 这时候力是最大的。电流解耦合后有两个量, i_d , i_q , 分别控制这两个量。

Q14: ST 是否有方波切正弦的启动方案, 可直接重载启动?

A14: 已有客户在 ST 的电机库上实现。方波切正弦, 切起来应该问题不是很大, 这是一个通用方式。

Q15: 在 FOC 控制方面, STM32 有哪些库与工具让初学者快速入门, STM32 对于浮点运算怎么处理的?

A15: F0、F1 产品系列, 即 M0、M3 核上面没有这种浮点处理单元。F3、F4 这类高端 MCU 的平台上, 有浮点算法。所以可以直接在 F3、F4 等高端 MCU 上直接使用浮点运算。在电机库里你会发现, 除高频注入以外的基础控制算法, 都是以定点的方式实现。所以可以兼容从 F0 到 F7、H7 等产品系列。

在 stm32.com.cn 官网上有一些工具和快速入门培训文档, 便于初学者学习。

Q16: 电机电流如何判定是否堵转?

A16: 最直接的方法就是电机没有速度了, 或者低速震荡、并且电流很大的情况下, 就判断为堵转。在 ST 的 FOC 电机库里, 有两种方式来提供这个判断: 一是所谓的速度 (时速), 没有任何速度的时候, 就判断为堵转; 二是在无传感方面, 如果正弦震荡, 可检查是否有反电动势, 不转的时候, 反电动势就没有了, 这样可以从另外一个角度检测堵转。

Q17: 加位置环应该怎么来添加? 项目开发需要三个环同时工作, 位置环电流环和速度环, 有编码器, 定位刚性能保证吗?

A17: 通常在做过程震荡, 一般是两个环路比较好控制, 比如说的力矩环+速度环, 或者力矩环+位置环, 这种方式比较好。如果三环在一起, 会有很多变量是纠结在一起, 不方便开发。

Q18: 相对于传统 DSP、FPGA 等手段, STM32 在控制电机方面的优势是什么?

A18: 从字面上理解, 传统的 DSP 就是数字信号处理, FPGA 是现场可编程门阵列。FPGA 非常好, 基本可实现所有的数字控制, 但其开发有一定门槛, 在电路设计不够好时, 可能会存在一些风险。应该说, 有些 SOC 是在 FPGA 的仿真验证之后, 才重新设计实现的。传统 DSP 的设计初衷是为了数字运算, 具有较快的数字运算或数据处理性能。当然, 现在 DSP 和 MCU 实际上有些相近, 没有特别分明的界限, 它既可做数据处理也可实现一些控制功能。但性价比是客户考量点, 有赖于客户的评估。当前 ST 的部分芯片性能已经非常高了, 比如低端伺服已经不用 FPGA, 换成高性能 ST 芯片; 随着芯片工艺提高, 干扰性对客户硬件处理要求也提高。

Q19: BLDC 启动过程怎么调节?

A19: 无传感的是开环启动, 定位后 V/F 启动, 电流闭环, 速度开环整个一个过程。

Q20: 弱磁原理是什么?

A20: 简单说就是 I_d 需要被控制, 通常情况是 I_d 等于 0 的控制。现在要作为一个 I_d 控制, 进行一些弱磁的配比, 可根据电压方程来做。请访问官网 stm32.com.cn 上的培训文档, 有各种公式可以算出来, 较为详细。

Q21: STM32 应用于电机控制器，除了开发流程更快一些之外，还有其他的优势吗？成本？维护？二次开发？

A21: STM32 芯片性价比非常高，资源非常丰富，产品的生态系统非常强大。用户可以在很多途径上得到 ST 的特别多的生态系统支持，不仅仅是芯片文档，还有多种路径的技术支持帮助用户解决问题。STM32 生态系统非常到位，这一点是众所周知的。

Q22: 有霍尔无刷电机换相时脉动，导致噪音，如何有效去除？STM32 单片机 6 路 PWM 和 IR2136 连接，中间需要加小电阻吗？

A22: 如果 MCU 直接接驱动桥，需要加一个小电阻，一是防止干扰，二来保护芯片。如果采用方波控制，即有传感的方式，需要进行电流补偿；如果是 FOC，需要做电角度修正，因为 FOC 在霍尔信号这个边缘要做一次同步，同步的准确度与否或者是这个突然同步的过程中会产生脉动，这是要做一定的补偿的。

Q23: 我发现很多书上关于电磁转矩的解释不合理，能基于原理实际分析一下电磁转矩产生的原理吗？

A23: 实际就是内外磁场（定子、转子）的叉乘带来电磁转矩。当两路的磁场方向不一样时，之间的有一定夹角，就会产生一个转矩。

Q24: 请讲解弱磁控制、前馈控制的代码函数讲解和应用，不同内核芯片的代码移植？

A24: 电机算法实际上独立于芯片而存在的, 如果你熟悉一种算法, 可以用到很多的 MCU 或者芯片上去。弱磁控制实际上根据电压方程来做的; 前馈控制是两轴之间, 电可转磁, 磁可以转电, 两者之间的耦合性带来了前馈控制。

Q25: 如何解决电机对电路的干扰问题?

A25: 电机的硬件电路设计有讲究; 转速快速的话可以考虑加入 PID 中的微分量, 同时注意反充电保护。电机控制实际上是软硬件的结合。

《电机控制实战问答合辑 | 连载一》

--- END ---