

ST三相电机控制解决方案及其应用

Frank Cai

Application Engineer

Motion Control Systems Engineering Center

GC&SA Region | IPD - Strategic Program and Business Development



ST Motion Control Ecosystem
Easy Plug and Spin

- **STM32 电机控制软件开发工具包V4.2总览**
 - Firmware-固件库
 - Motor profiler-电机分析器
 - Workbench-PC GUI工具
- 应用实例
 - 云台
 - 3D打印机
 - 电动自行车
 - 空调/冰箱
- 工具
 - 电机控制工具箱
 - X-NUCLEO扩展板
 - SLLIMM Cards

ST 电机控制生态系统

三相PMSM控制软件开发工具

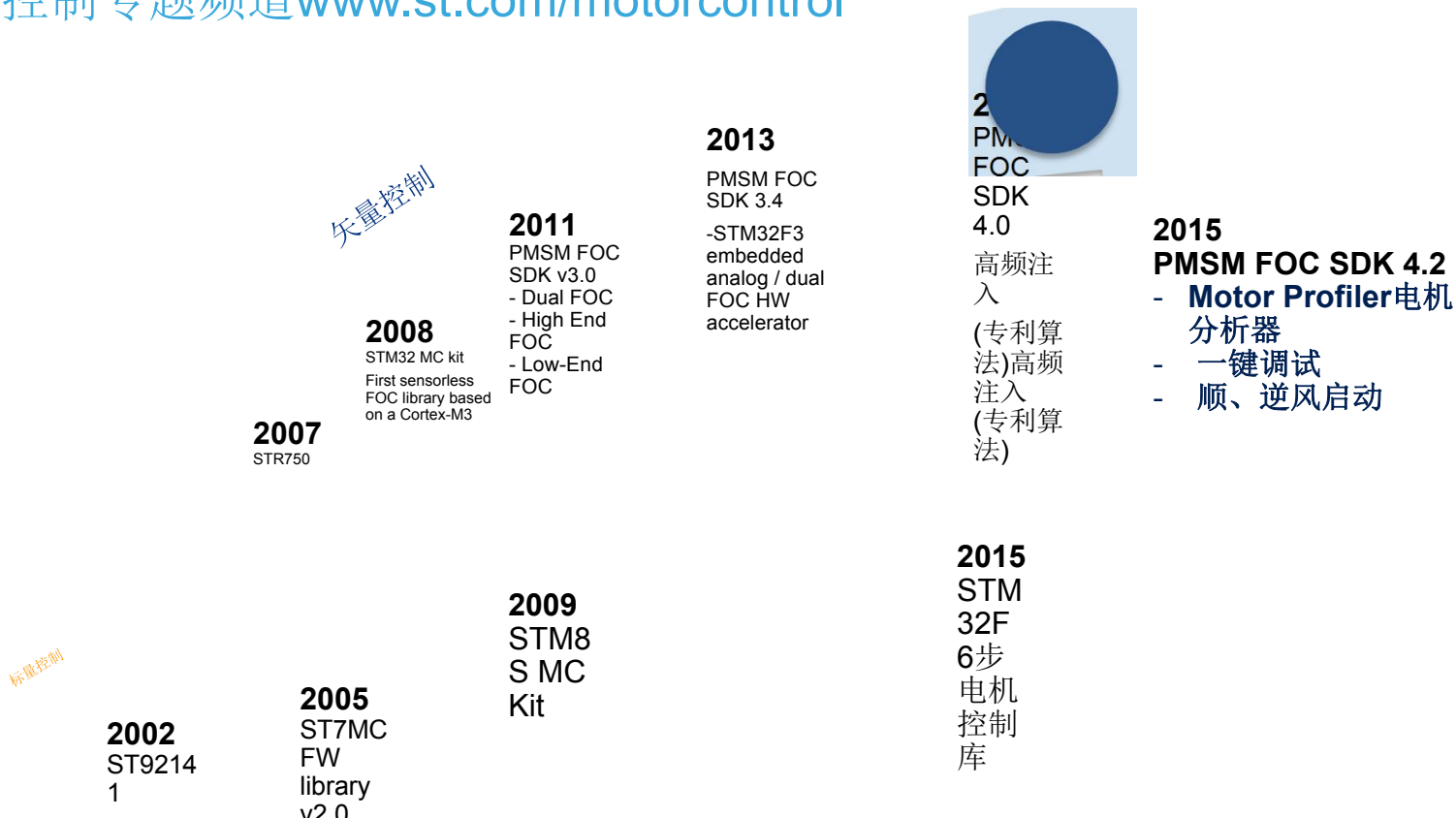
即插即用的ST电机控制解决方案



超过13年三相电机控制研发经验

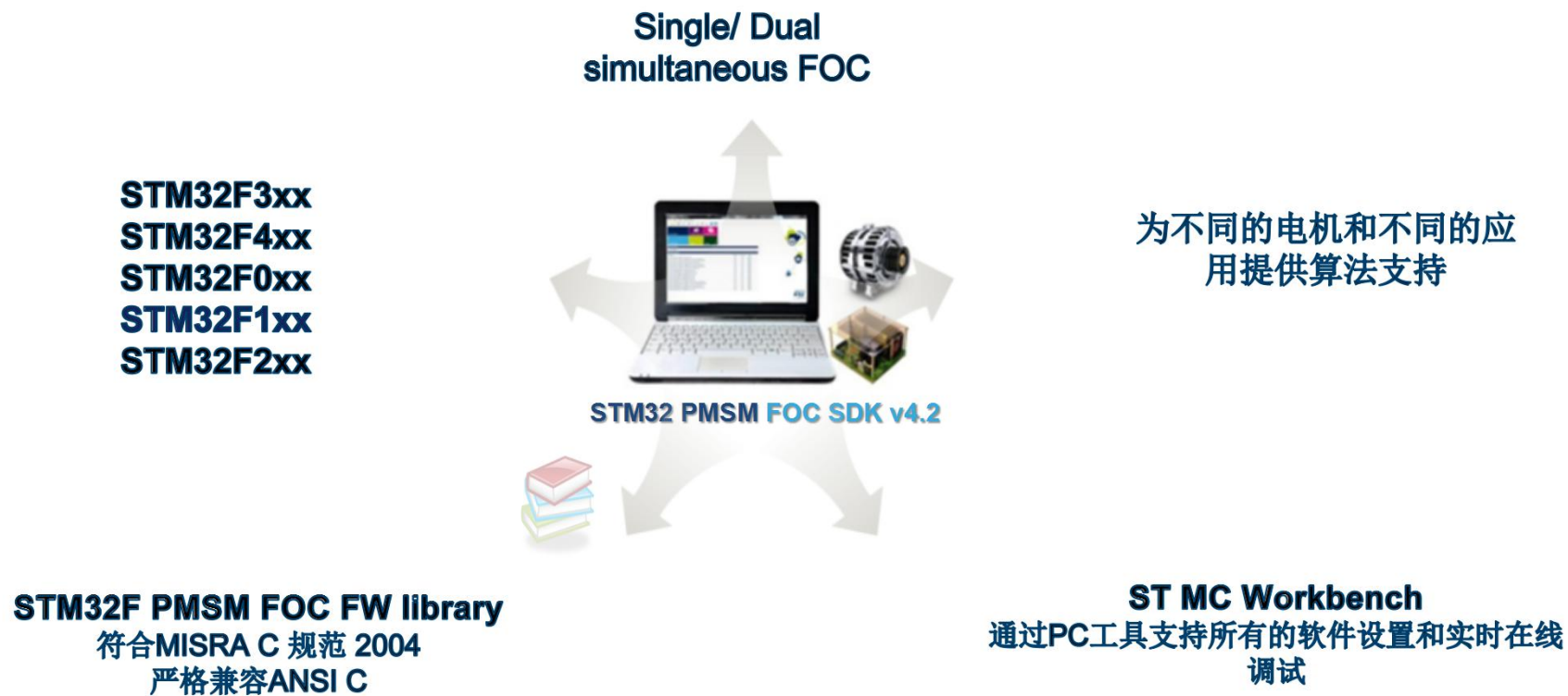
ST自2002年起专注三相电机控制领域

- ACIM和PMSM电机标量控制
- ACIM和PMSM电机矢量控制
- 电机控制开发板
- 公司网站开设电机控制专题频道www.st.com/motorcontrol

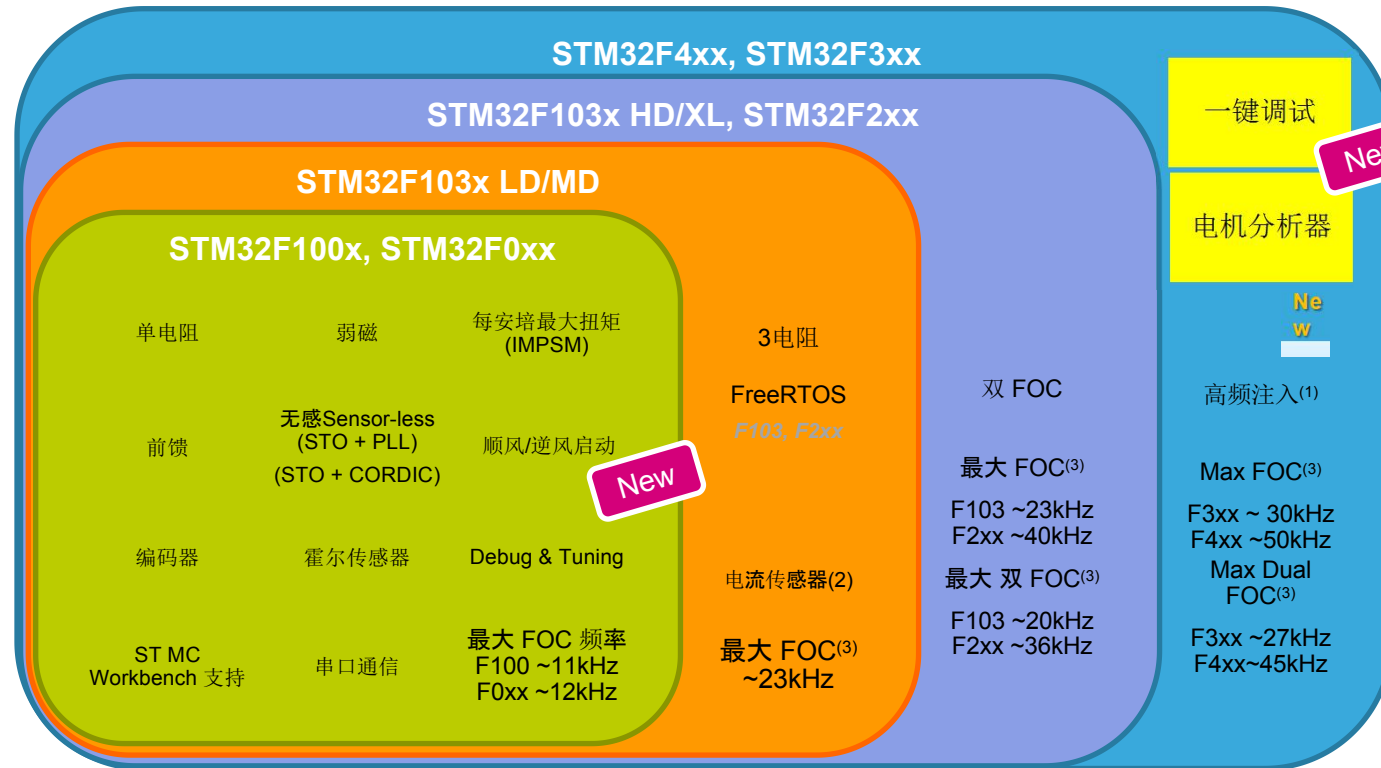


STM32 PMSM FOC SDK v4.2

STSW-STM32100 – 包括电机控制库和可视化PC配置调试工具, 在使用矢量控制驱动单或双3相永磁同步电机应用中, 让用户快速评估ST的产品, 可以使用系列MCU:STM32F3xx, STM32F4xx, STM32F0xx, STM32F1xx, STM32F2xx



ST MC FOC SDK v4.2



数字PFC

按需提供插件

- (1) High Frequency Injection
- (2) Current sensor
- (3) Max FOC estimated in sensor-less mode

不同的STM32 FOC的性能列表

STM32F		Single motor			Dual motor			
@20kHz PWM / 10kHz FOC								
STM32F	Configuration	Code size (Kb)	RAM usage (Kb)	CPU load (%)	Configuration	Code size (Kb)	RAM usage (Kb)	CPU load (%)
STM32F100	1shunt/ sensorless	17.8	2.6	58.0	NA	NA	NA	NA
STM32F05x	1shunt/ sensorless	16.7	2.7	45.2	NA	NA	NA	NA
STM32F103x	3shunt/ sensorless	16.2	2.5	21.3	Motor 1&2 3 shunt/ sensorless	17.5	3.9	49.4
STM32F2x	3shunt/ sensorless	15.5	2.6	13.9	Motor 1&2 3 shunt/ sensorless	17.5	3.9	29.0
STM32F30x	3shunt/ sensorless	16.7	2.7	15.2 (*)	Motor 1&2 3 shunt/ sensorless	18.8	4.0	33.3
STM32F4x	3shunt/ sensorless	15.5	2.6	11.1	Motor 1&2 3 shunt/ sensorless	17.5	3.9	23.5

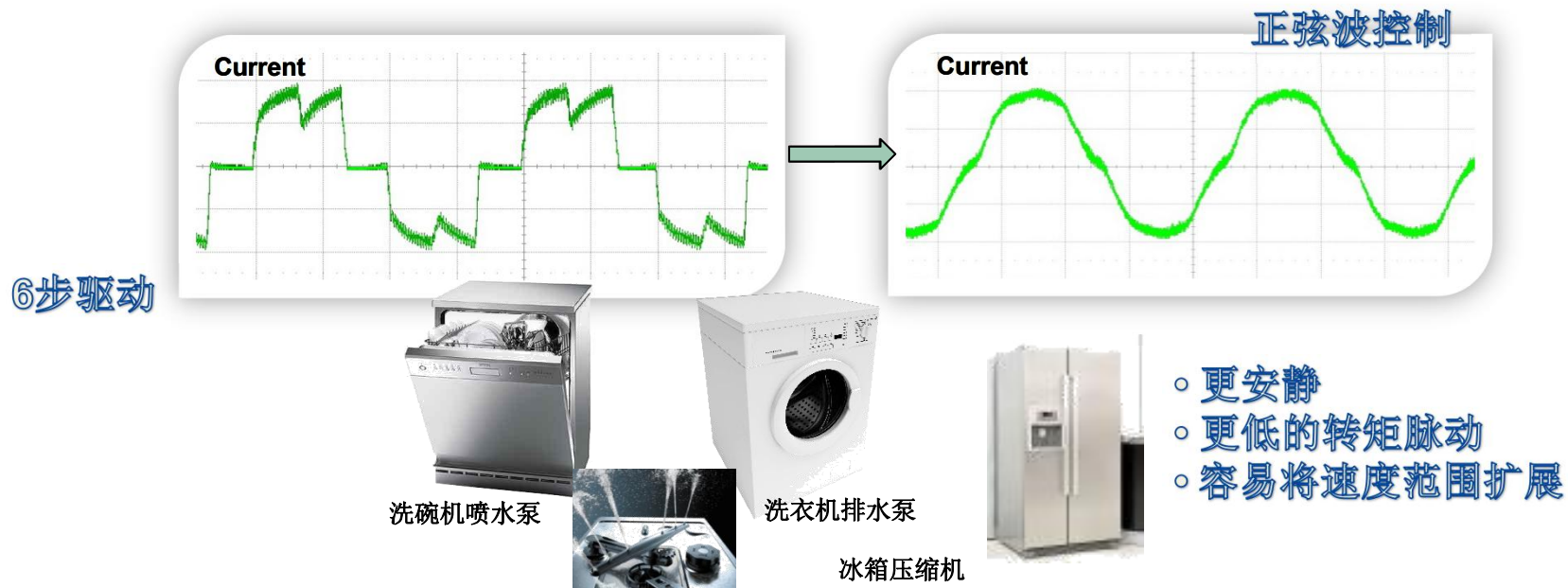
(*) +8% 如果使用高频注入HFI

FOC 单电机低成本应用

目标应用:

- 适合如下应用场合:
 - 对控制的动态性能要求不高
 - 对噪音有要求(对比6步驱动)
 - 对速度控制范围要求比较宽
- 尤其适合如水泵,风机和压缩机

STM32F100x
STM32F0xx



FOC 高性能的单/双电机应用

目标应用:

- 从家电到机器人等广泛的应用场合:
 - 需要精确和快速的速度及扭矩控制(如: 扭矩负载的突变或速度的扰动等)
 - CPU负载要低,以便留给其他应用

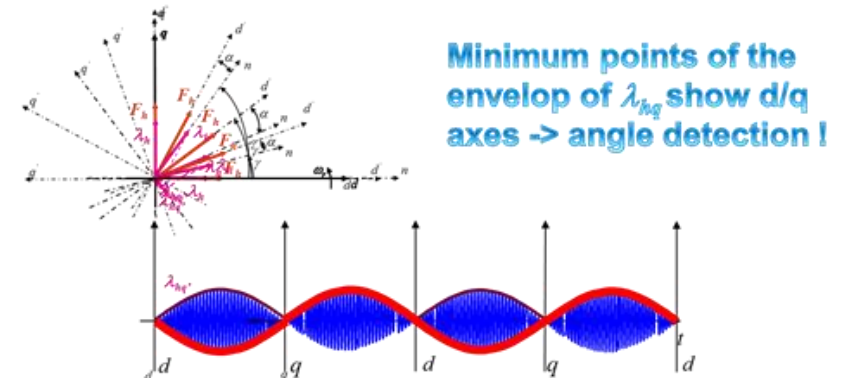


- 最节能的方式, 归功于最佳的电流角度.
- 对于负载的变化具备快速的速度控制响应, 归功于直接的转矩电流控制和励磁电流控制;
- 精准的位置控制, 归功于直接的转矩电流控制和励磁电流控制;
- 噪音的减少归功于正弦波驱动/最佳的控制

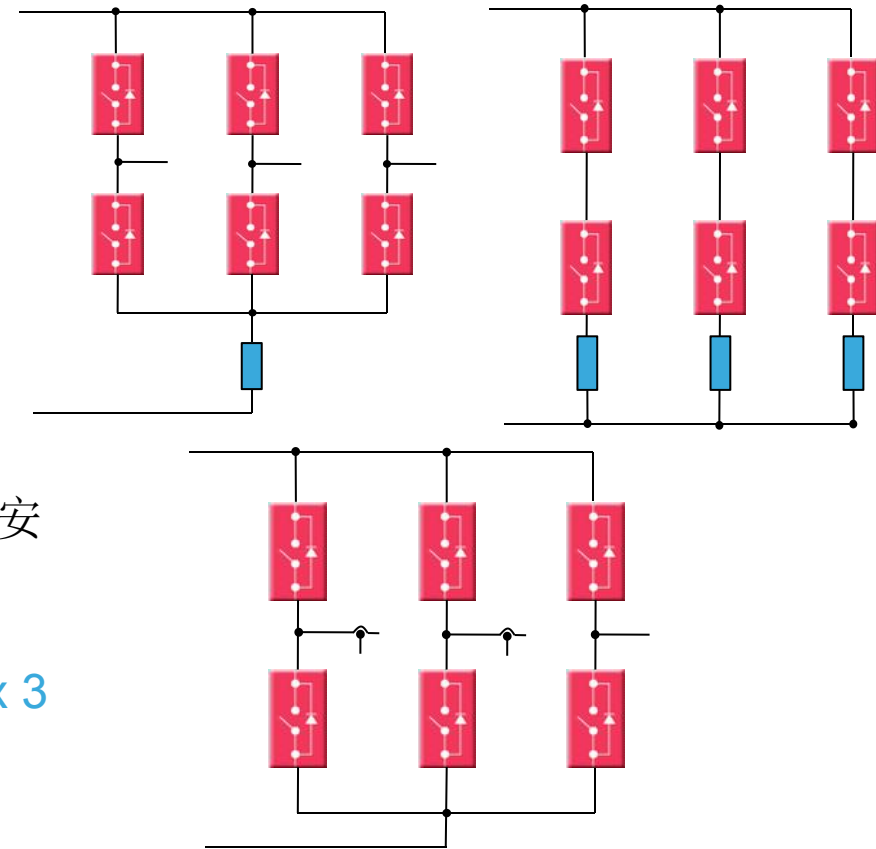
- 速度/位置反馈是必要的
- 支持的速度/位置传感器:
 - 正交编码器
 - 器件昂贵，通常应用在工业领域，如机器人等
 - 霍尔传感器
 - 便宜的传感器，通常应用在低速大扭矩的场合
 - 无传感器
 - 高频注入(ST专利):
 - 内嵌式永磁同步电机(IPMSM, $L_d < L_q$)
 - 精确的转子角度探测; 它给矢量控制带来优势: 在低速甚至是0速时.
 - 仅STM32F3 和 STM32F4 支持
 - 状态观测器 + 锁相环
 - 使用电气工程量 (主要是电流反馈) 估计转子位置
 - 应用于很多场合, 但不适合0速满扭矩和低速运行(< 3-5%额定转速)
 - 状态观测器 + 坐标旋转数字计算



高频注入



- 电流反馈是必要的
- 3 种电流采样硬件拓扑架构:
 - 单电阻:
 - ST 专利算法
 - 只需要一个采样电阻和运放成本最低
 - 电流采样算法可能导致扭矩控制精确度不高
 - 3电阻:
 - 电流采样比较精确
 - 最佳的成本 / 性能组合
 - 2隔离电流传感器(ICS)
 - 不需要损耗电流的采样方式 当电流比较大时（几十安培或更大）采用的方式
 - 昂贵
- 电机库支持任意的电流采样组合(2 电机x 3种电流采样x 3 种速度采样类型)

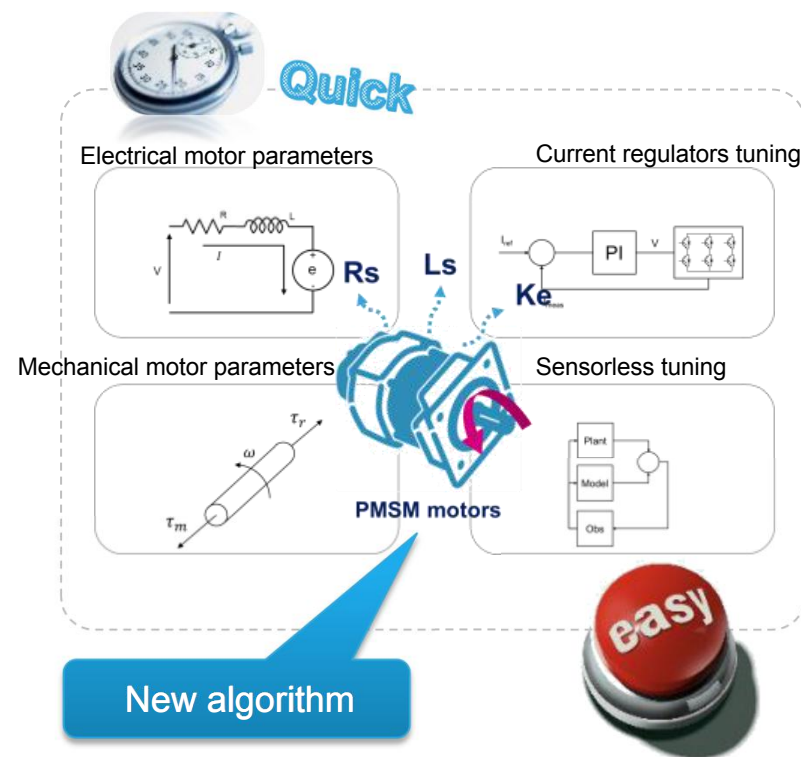


Motor Profiler (电机分析器)

13

自动测量永磁同步电机的机电参数的新算法

- 测量永磁同步电机的电子参数: R_s , L_s , K_e
- 测量永磁同步电机的机械参数: J , F
- 转动中配置电流、速度调节参数和**Sensorless** 算法参数
- 数秒内运行任意电机
- 不需要增加额外的硬件和设备

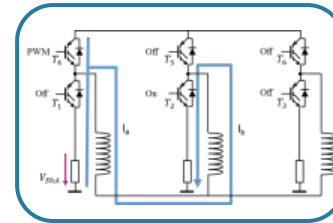


Motor Profiler (电机分析器) + One Touch Tuning (一键调试)

60秒内即插即转电机

Motor stopped

- Rs 测量
- Ls 测量
- 电流环参数设置

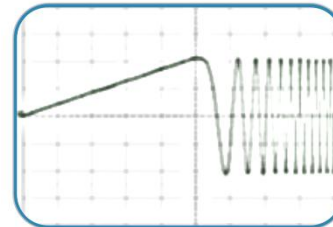


10 sec



Open loop

- Ke 测量
- 状态观测器参数设置
- 切换到闭环

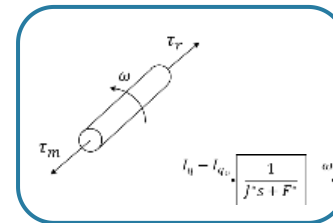


5 sec



Closed loop

- 摩擦系数测量
- 转动惯量测量
- 速度环参数设置

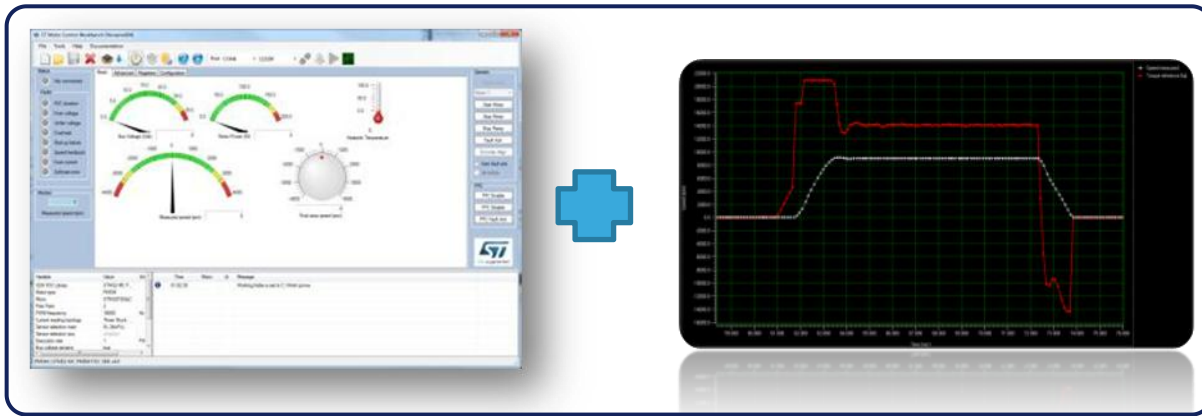


45 sec

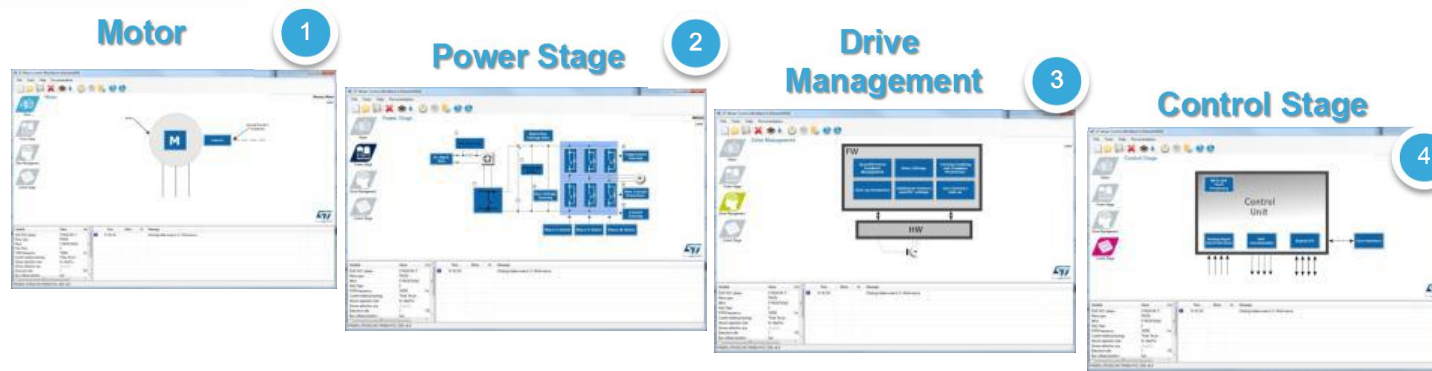


ST MC Workbench

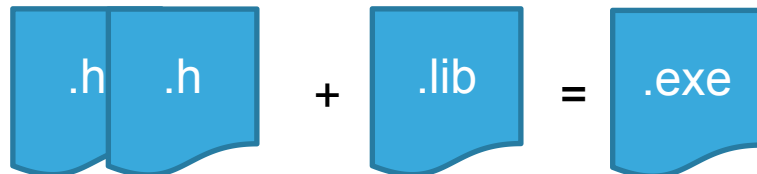
PC GUI for MC FW v4.2



- 使用workbench 和硬件建立实时通讯，向电机发送启动、停止及改变速度等命令.
- 通过高级调试功能进行排错或调试电机控制变量（如PI参数）.
- 绘出重要电机控制变量 (虚拟示波器)像目标转速或测量到的实际转速.



4步完成配置电机库参数



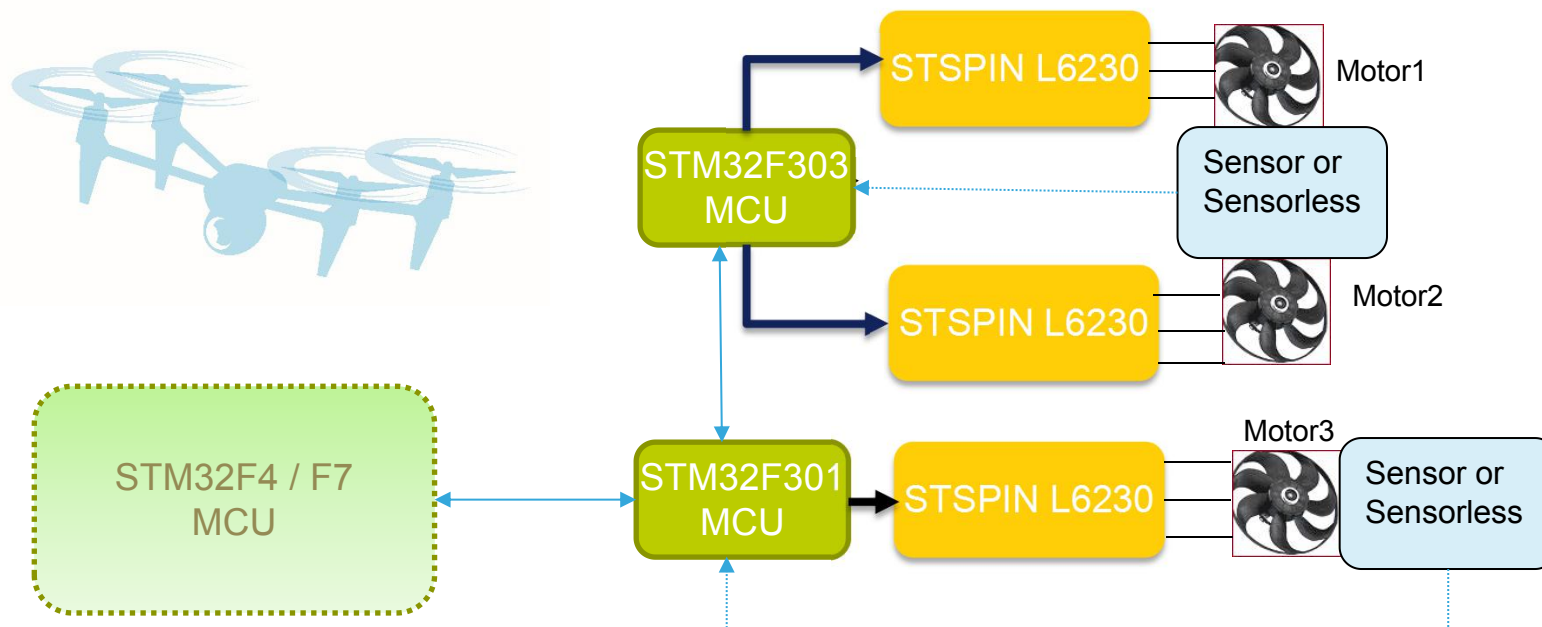
产生头文件、编译、下载



运行电机

云台控制（3轴）方案

用于无人机或手持设备

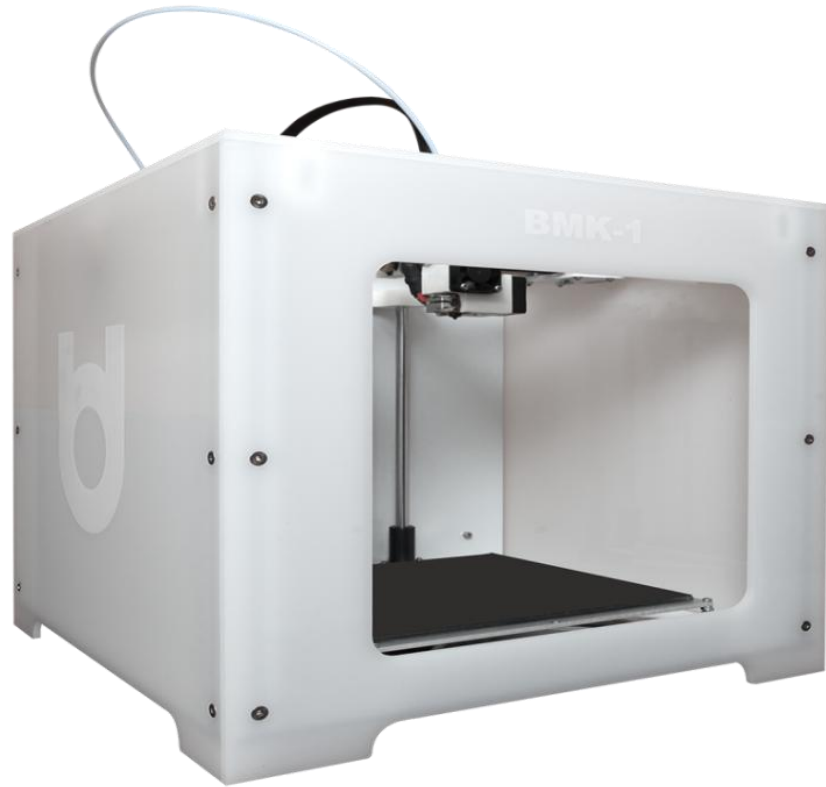


- 高集成、高性能、高效率，引领运动控制
- 支持Sensor 或 sensor-less
- 矢量控制算法：低噪音、在快速移动和稳定性之间找到平衡

主要特性

- STM32F3系列Cortex™-M4内核，浮点运算，最高72兆主频
- L6230电机驱动器：集成驱动、功率管、过流保护
- L6230智能驱动上下桥互补输出，减少连接MCU的PIN数、缩小PCB尺寸

STEVAL-3DP001V1: FDM型3D打印机应用中ST的最新技术



电机驱动

挤压机和
加热床

开源固件

全套接口选项

步进电机控制:

- 先进的电流控制--低噪声和高精度
- 集成电流检测--可不需要采样电阻
- 全套保护和高级诊断--增强了可靠性

得益于“ST Marlin”固件，支持直接打印:

- 使代码适合不同的机械结构--所有特性都可通过.h文件中的定义轻松配置
- STM32Cube软件库--可在不同的STM32器件移植，包括一套中间件
- 基于最著名的开源固件--Marlin固件由广泛、活跃的制造者社区支持

挤压机 (STL8N10F7) :

- STripFET™ VII MOSFET, 17 mΩ Rds(ON)
- 小型化的3x3 mm PowerFLAT™ 封装
- 负载8 A时, Pd = 1 W!

加热床或热室 (STL220N3LLH7)

- STripFET™ VII MOSFET, <1 mΩ Rds(ON)
- 5x6 mm PowerFLAT™ 封装
- 负载20 A时, Pd = 0.4 W!

SPWF01SA WiFi模块

- 集成的TCP/IP协议栈
- 小型封装
- 嵌入式天线

USB连接支持不同的模式

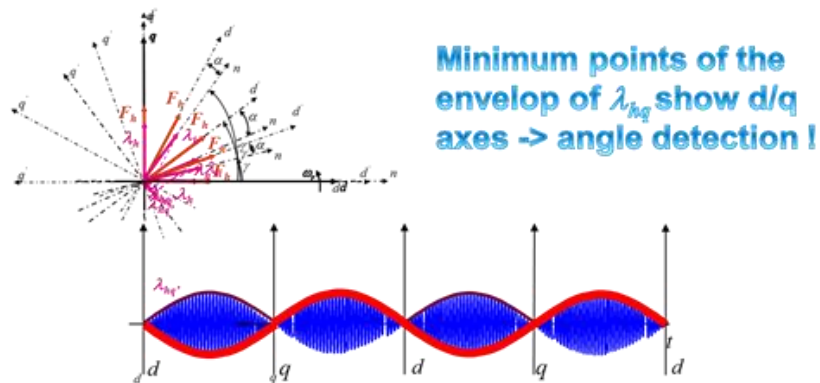
- 电子狗
- 虚拟COM
- 大容量存储

硬件配置

STM32F30x + L6388 + STH15810

矢量控制

Sensor-less: HFI(高频注入)
Sensor: HALL or ENCODER



高频注入运行在零及低转速

- 更高的效能、更快的响应速度
- 提速快、续航久、骑乘更舒适


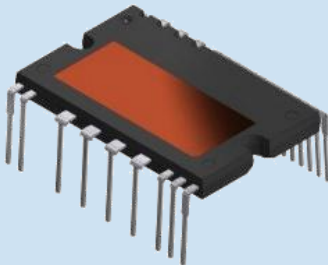



主要特性

- F3内建运放和比较器，减少PCB尺寸及提高保护响应性能
- 高频注入算法：
 1. 得到零速及低速的位置信息，比霍尔信号更精确
 2. 高频注入算法取代传感器，降低产品成本、提高产品寿命
- STH15810：
 1. 低导通内阻、开关速度快
 2. 抗雪崩能力强、高工作结温 (175°)

ST第二代空调参考设计

- 1.5匹家用空调室外机整体解决方案
- 包括：
 - 压缩机和风扇电机控制
 - 数字PFC
- 所有芯片均基于意法半导体的最新技术：



STM32F303	第二代SLLIMM™	IGBT TFS V, HB 600-650V	A/C系列二极管 AC开关	VIPER26
 245 CoreMark* 72 MHz 90 DMIPS*				

ST第二代空调参考设计

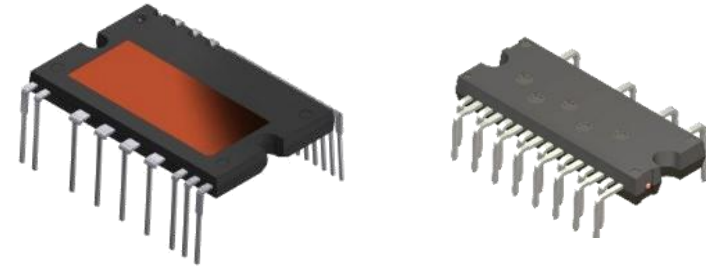
微控制器64引脚和 + 2个智能功率模块的功能

功能	数字I/O	模拟I/O	小计
压缩机	6	9	15
风扇	7	1	8
PFC和ICL限流器	4	6	10
USART收发器	2		2
SWD调试	2		2
I2C EEPROM	2		2
基于步进电机的阀门控制	4		4
其他模拟功能		6	6
其他数字功能	4		4
MCU功能			11
总计			64

微控制器实现的过流保护和温度检测

智能功率模块实现的过流保护和过热保护

微控制器实现的过流保护和过压保护



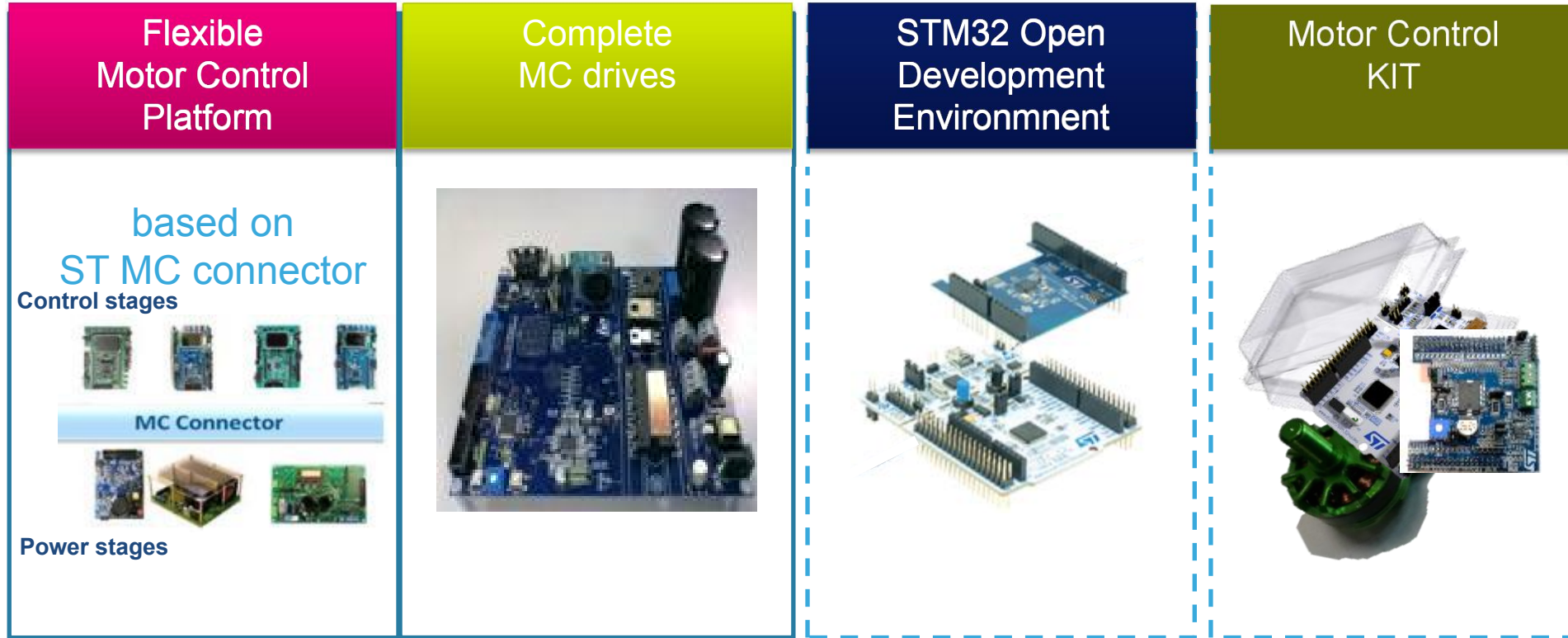
Vdd, Vss, Boot, Vdda, Vssa, NRST



- 三个不同的250W冰箱整体解决方案
- 所有芯片均基于ST的最新技术

高性能	性能均衡	最低成本
STM32F301C6 STGIPQ5C60T-HL VIPER16 + L78L33AC 3 个Shunt电阻 TSV912	STM32F030K6 STGIPQ5C60T-HL VIPER16 + L78L33AC 1个Shunt电阻	STM32F030K6 2x L6388 (或2xL6398) 1x L6390 6x STGB6NC60HD (或STGD5H60DF) VIPER16 + L78L33AC 1个Shunt电阻

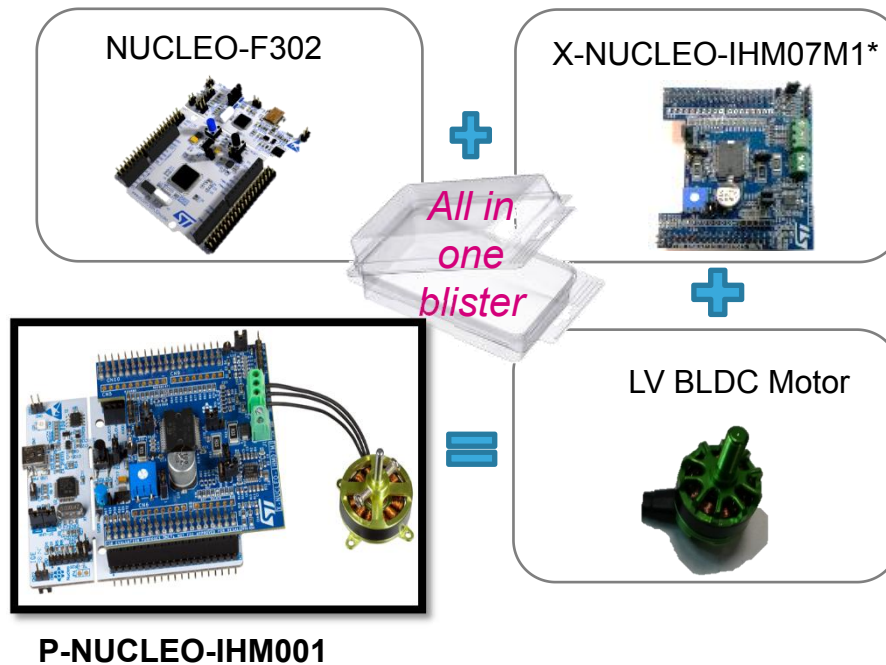
根据不同的需求，4条途径



MC SDK
(FW library, GUI, collateral materials)

New Motor Control Nucleo Pack (P-NUCLEO-IHM001)

低压电机控制套件 (PMSM/BLDC)



**Expansion Nucleo Board with STSPIN L6230*

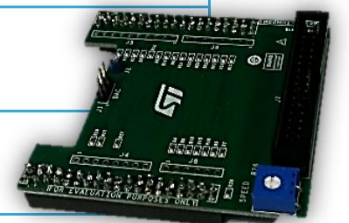
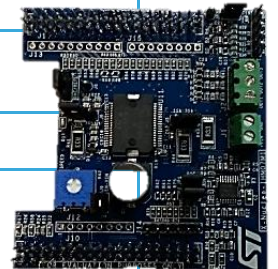
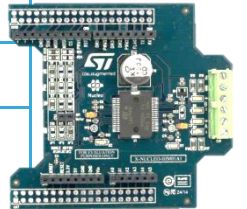
- 快速&安全的原型设计
- 低成本 (每个人都买得起)

Main features

- 3相电机控制应用 (up to 50V, 1.4 A)
- 6步调制 – 兼容STM32CubeMx
- 矢量控制 – ST PMSM FOC SDK (STSW-STM32100)

STM32 Nucleo Expansion Boards @电机控制

P/N	Description	Availability	Remark
Published and Unpublished			
X-Nucleo-IHM01A1	Motor Control Easy Spin	量产	L6474, Stepper motor driver
X-Nucleo-IHM02A1	Motor Control Power Stepper	量产	L6470, Stepper motor driver
X-Nucleo-IHM03A1	Motor Control Power Stepper	量产	PowerStep01 stepper motor driver
X-Nucleo-IHM04A1	Motor Control Brush DC	量产	L6206, Stepper motor driver
X-Nucleo-IHM05A1	Motor Control Power Spin	量产	L6208, Stepper motor driver
X-Nucleo-IHM06A1	Motor Control Power Stepper	研发中	STSPIN220
X-Nucleo-IHM07M1	Motor Control Power expansion board	量产	L6230 MC KIT
X-Nucleo-IHM08M1	Low voltage Power mosfet expansion board	量产	LV MOSFET
X-Nucleo-IHM09M1	Motor Control Connector	量产	Interface for STEVAL
X-Nucleo-IHM10A1	Motor Control Board	研发中	VPSH501
X-Nucleo-IHM11A1	Battery Stepper Motor Control Board	研发中	STSPIN230
X-Nucleo-IHM012A1	Battery Stepper Motor Control Board	研发中	STSPIN240
X-Nucleo-IHM013A1	Battery Stepper Motor Control Board	研发中	STSPIN250

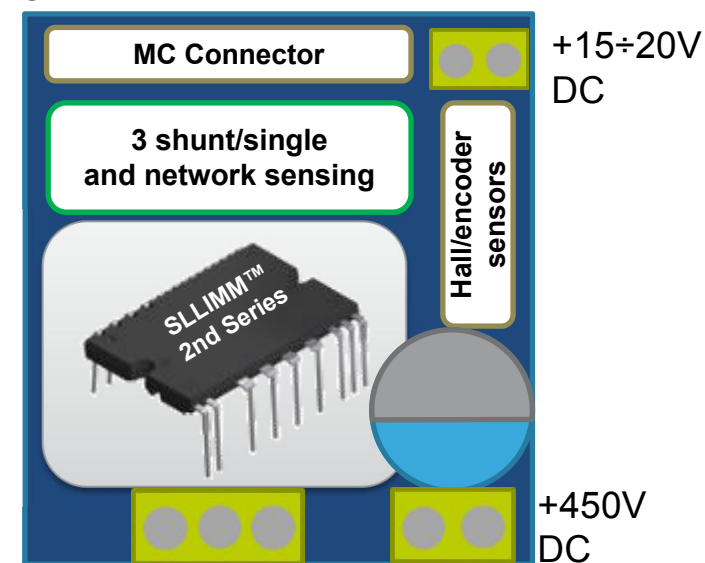


SLLIMM™ “Cards” Power Boards

- STEVAL-IPMnmx 是系列通用的、经过完整测试的基于包含三相逆变桥的SLLIMM™ 2nd 二代 IPM的评估板。
- 主要特点是尺寸小, 最小化的BOM和高效. 它包含接口电路 (BUS and Vcc接口), 自举电容, 缓冲电容, 短路保护, 故障事件电路, 温度监控, 单/三采样电阻以及输入信号滤波器。
- 支持两种电流采样结构: 选择使用三个板载专用运放或MCU内部运放。
- 支持Hall/Encoder.



STEVAL-IPMnmx



更多信息关于 **STM32 PMSM FOC SDK v4.2**, 请访问:

<http://www.st.com/stm32>

下载:

STM32 PMSM FOC SDK v4.2:

- **UM1052:** STM32F PMSM single/dual FOC SDK v4.2
- **UM1053:** Advanced developer guide for STM32F PMSM single/dual FOC library
- **UM1080:** Quick start guide for STM32F PMSM single/dual FOC SDK v4.2
- **UM1945:** STM32 Nucleo Pack FOC and 6-step motor control platform for 3-phase low voltage motor
- **UM1949:** Getting started with STM32 Nucleo Pack
- **RN0085:** STM32 PMSM single/dual FOC SDK Release note v4.2
- **DT0012 :** Dual PMSM motor drive using STM32F303CB/CC peripherals in “time-sharing”
- **DT0026 :** Field oriented control of PMSM motor exploiting SLLIMM™ nano and STM32F302x/303x



电机控制论坛



电机控制方案评估板

www.st.com

Motion
control



谢谢!

