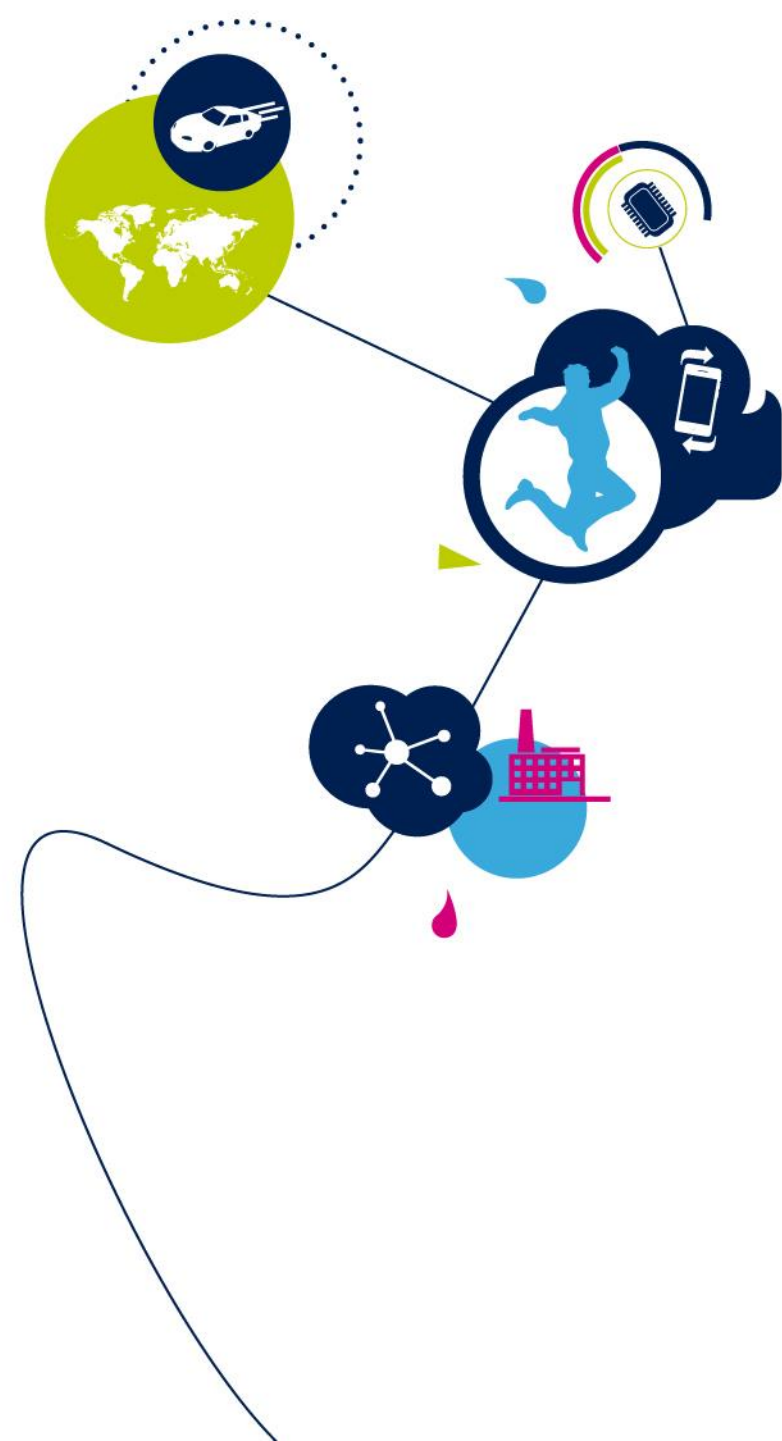


ST 三相 BLDC 电机控制方案 技术研讨会

2019年9月



中国工业 & 电机研发中心

2



- 客户设计
- 硬件参考设计, 应用控制板
- ST电机库中的软件模块设计



- 产品
- 产品规格定义
- 新产品蓝图定义
- 产品中的验证
- 目标: 家用的具体产品



- 系统方案
- 核心技术
- 核心专利算法。平台的开发
- 部门间的信息共享传递



- 技术支持
- ST工具展示与培训
- ST关键器件的选型 (与TM一起)
- 原理图支持
- Layout 审查
- 调试 (与FAE一起)
- 性能提升



- 咨询
- 全面的电机控制专家
- 合作新算法
- 客户专利算法导入ST电机库

ST 电机控制生态系统

三相电机 PMSM FOC SDK

3

技术支持(全球层面)

MCUs for
Motor Control (8-32 bit)



IPM, Power transistors, AC
switches, Motor Driver ICs



ST MC Workbench
STM32 Cube Mx



PC SW GUI
Full customization
and real time
communication

电机
控制
生态系统

HW Boards



FW library

wide range of features &
algorithms (FOC – 6step)



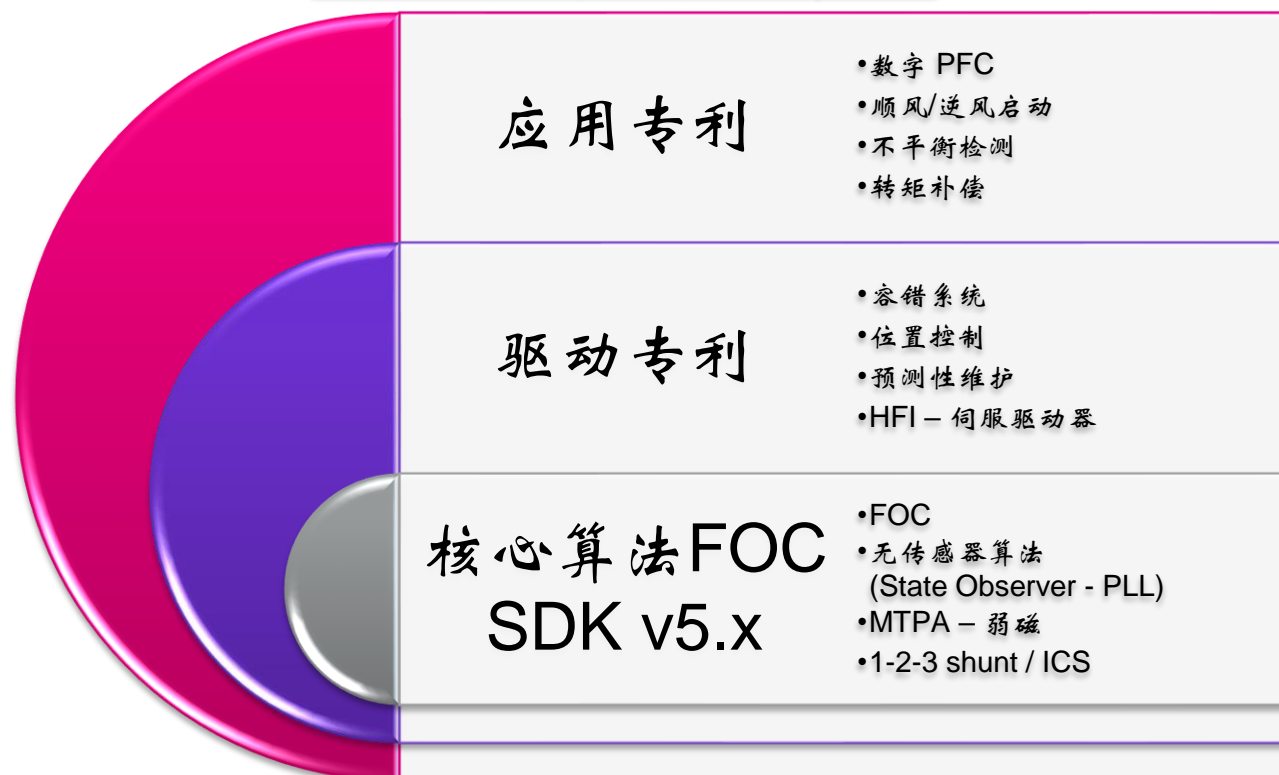
Software
Development
Kit (SDK)

核心技术

- 功率器件
- 控制器件
- STSPIN 驱动
- 架构的灵活性
- 核心算法



综合集成方案—平台的方式



电机控制

工业应用

5

<https://www.st.com/zh/applications/industrial.html>

家用专业电器



电动工具



工厂自动化



电机控制



工业驱动

ST life.augmented

产品 应用 工具与软件 关于ST

工业
汽车
个人电子产品
通信设备、计算机和外围设备
物联网应用

浏览 Industrial →

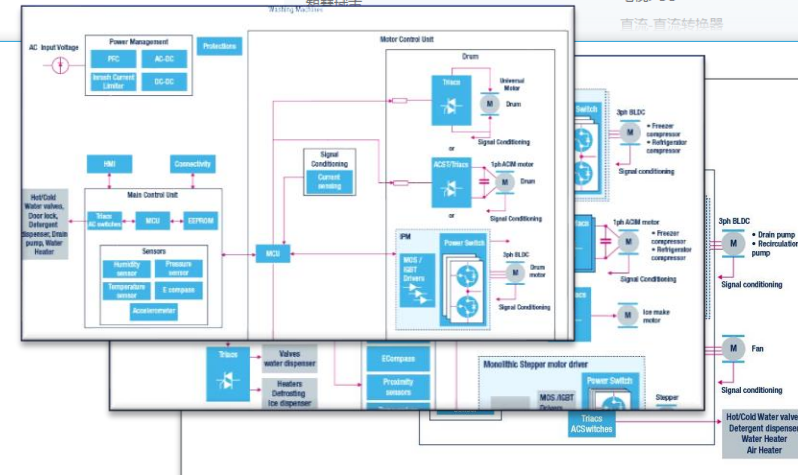
- LED照明和控制
 - HID和荧光灯
 - LED显示和标牌
 - LED照明系统
 - 照明控制
- 医疗保健
 - 医学影像
 - 治疗设备
 - 诊断设备
- 家居、建筑和城市自动化
 - 建筑安全和保障

电机控制

- PMSM/BLDC电机
- 开关磁阻电机
- 感应电动机
- 有刷电机
- 步进电机

电源和转换器

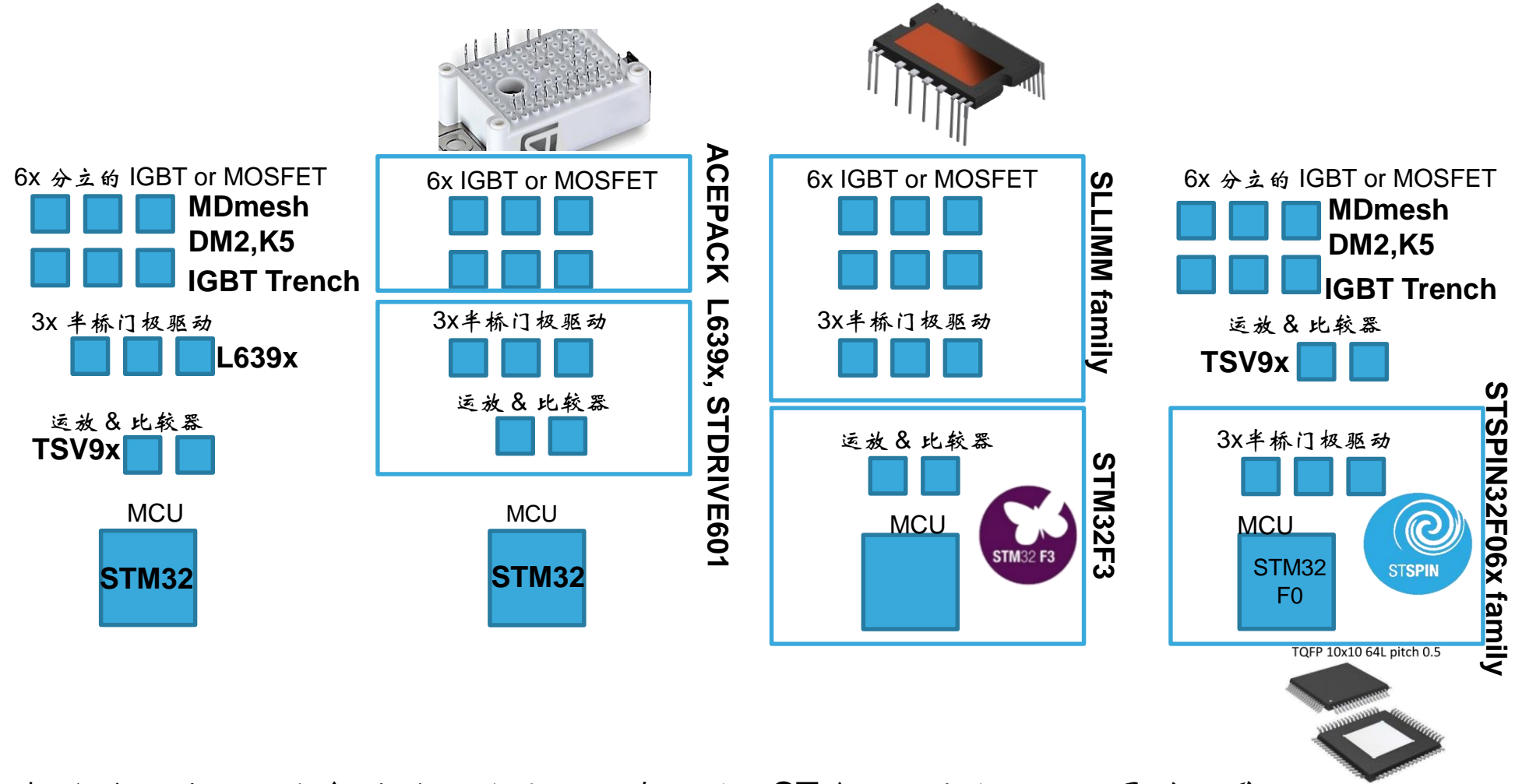
- 交流 - 直流转换器
- 工业电源
- 数字电源
- 智能充电器和适配器
- 服务器和电信电源
- 电视PSU



高压电机控制方案架构

ST 满足各种不同需求*:

6

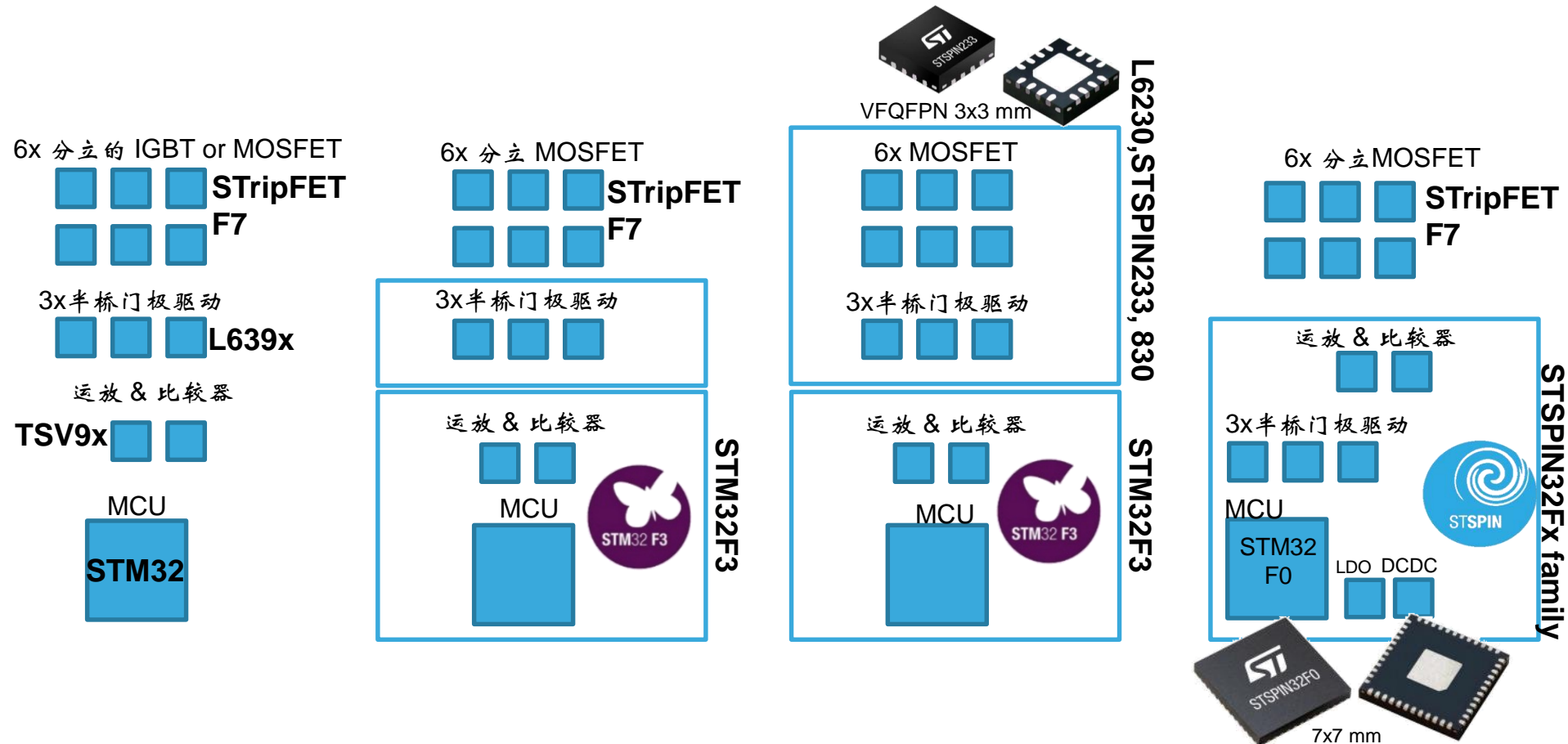


* 这些模块不能全部精确地反映可能使用到的ST产品和架构。目的是为了举例证明ST产品可以涵盖不同架构和应用。

低压电机控制方案架构

ST 满足各种不同需求*:

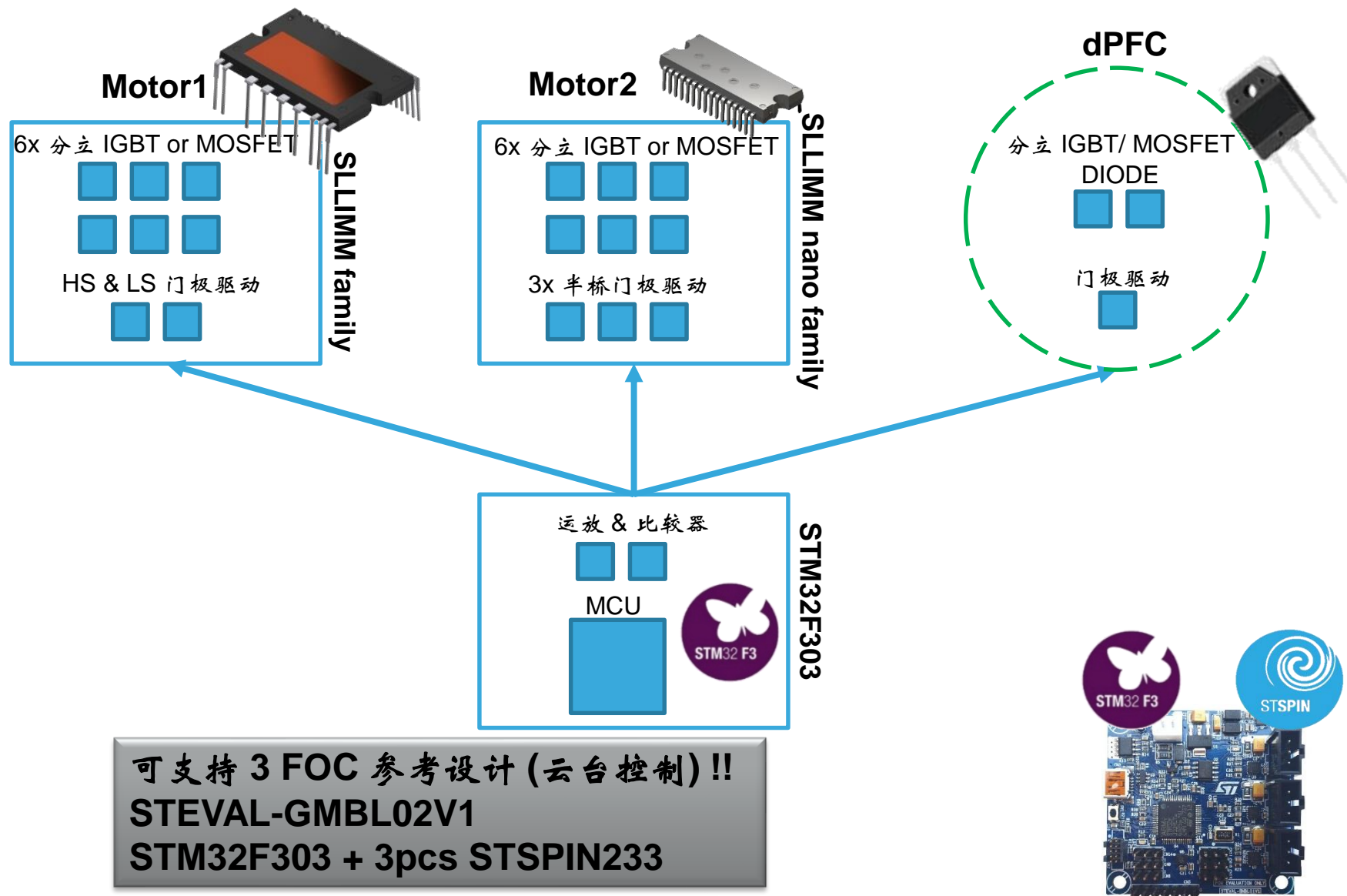
7



* 这些模块不能全部精确地反映可能使用到的ST产品和架构。目的是为了举例证明ST产品可以涵盖不同架构和应用

双电机控制&数字PFC 方案架构

8





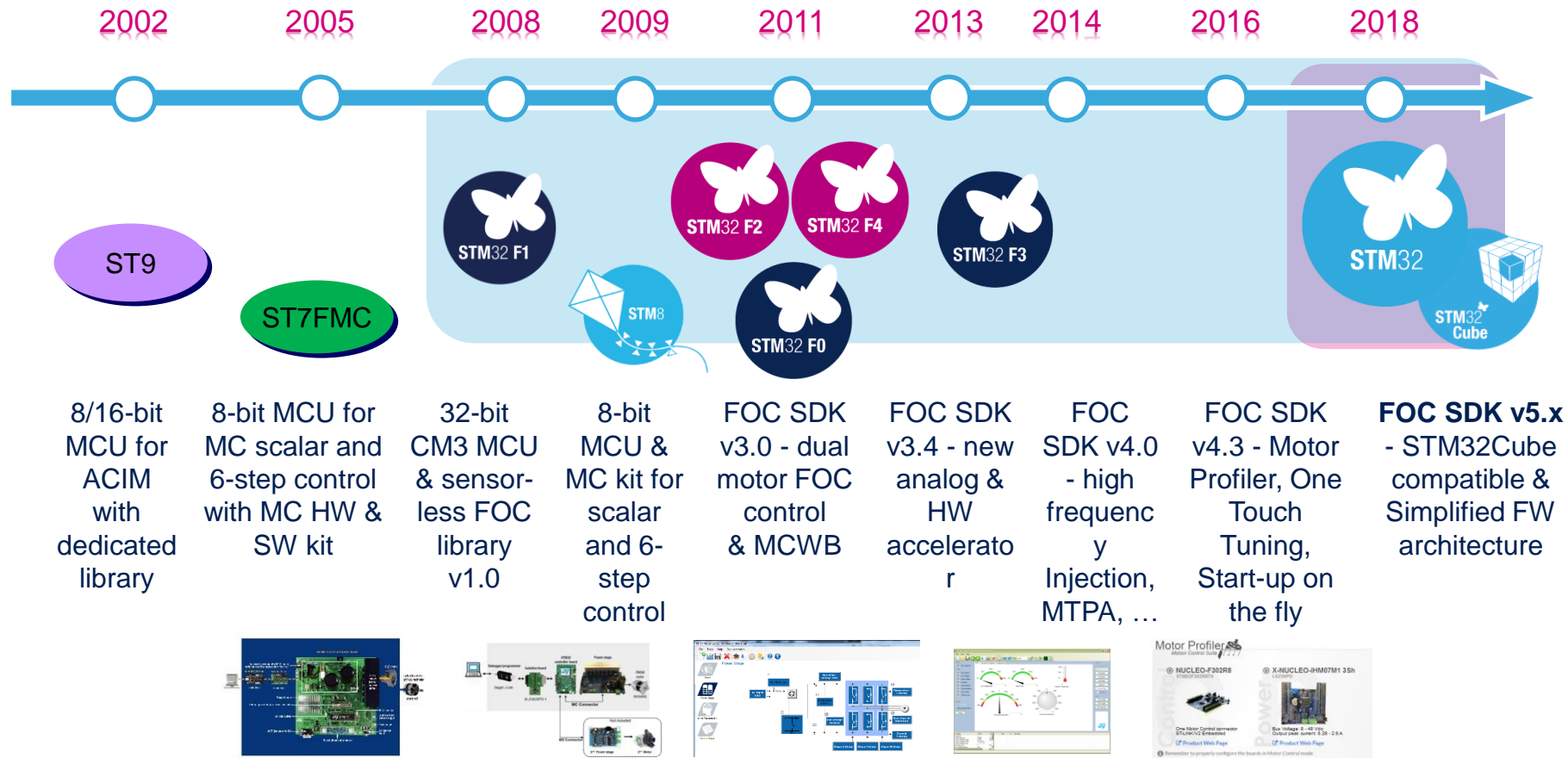
STM32 电机控制 SDK

电机控制软件开发套件

十七年三相电机控制

FOC MCSDK

10

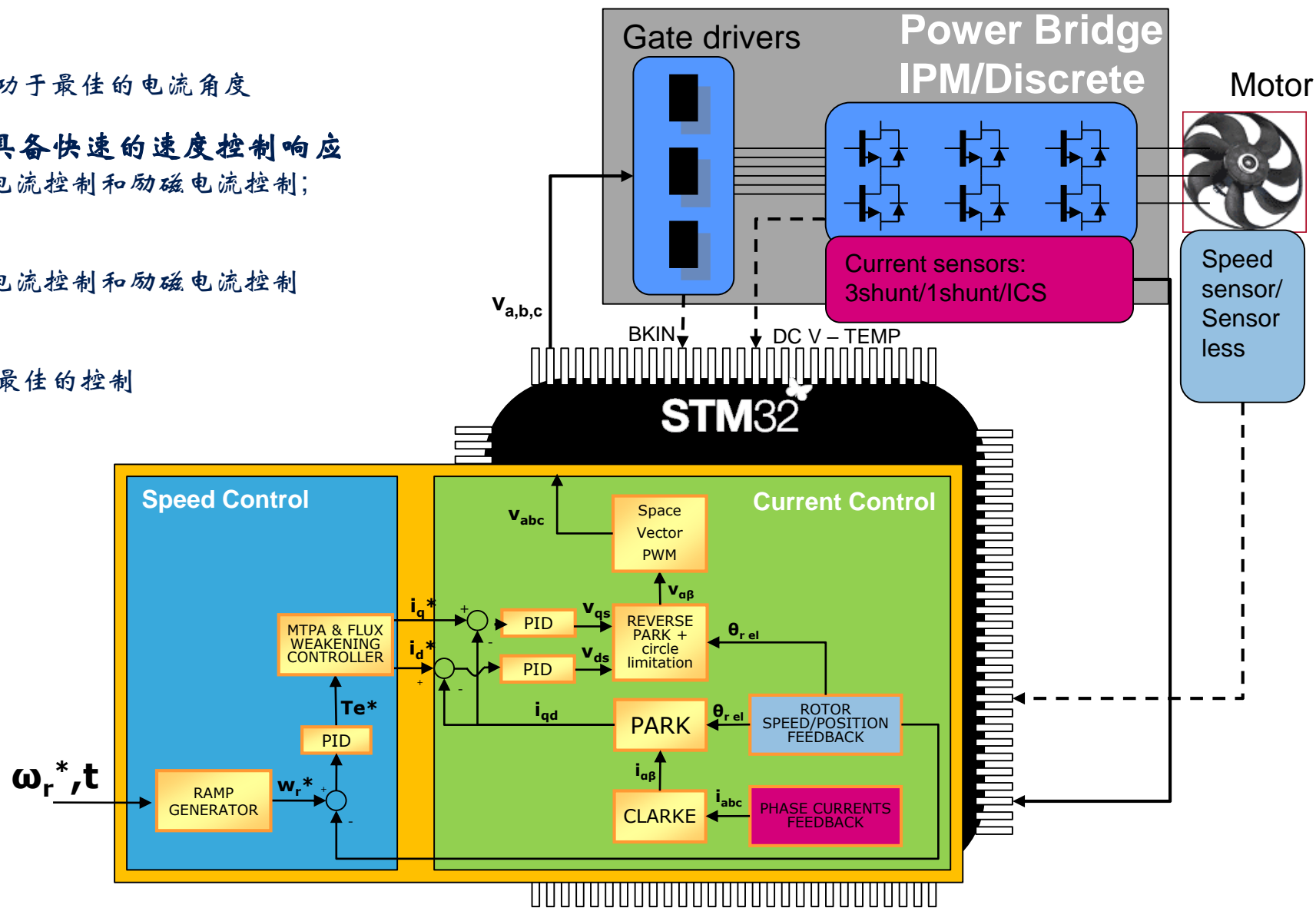


PMSM FOC — 框图

11

FOC的优势:

- **最好的能效**
甚至是过渡工况,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 架构&软件模块

12

• 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

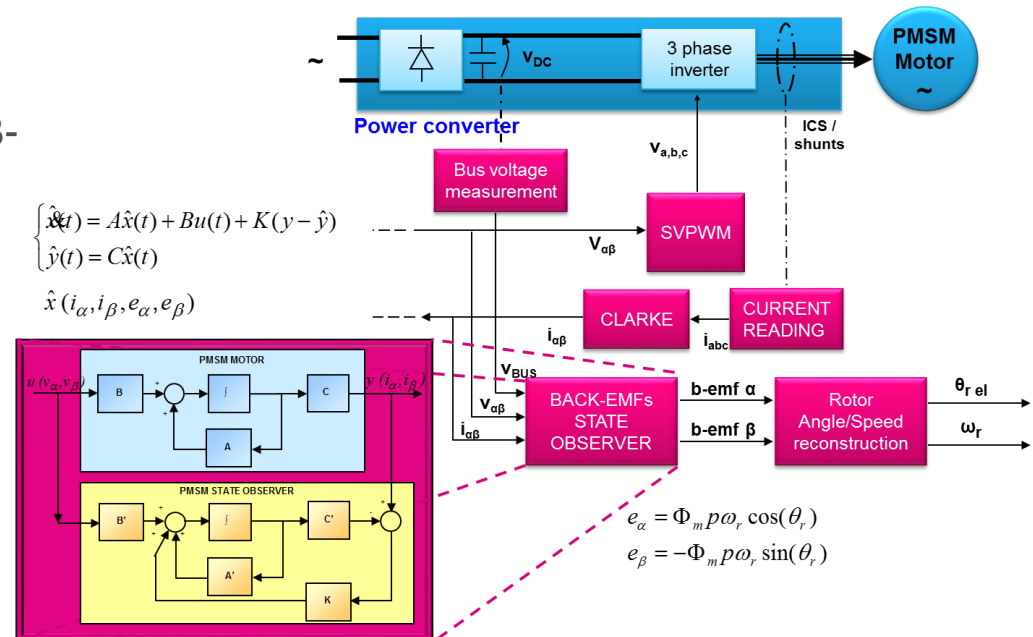
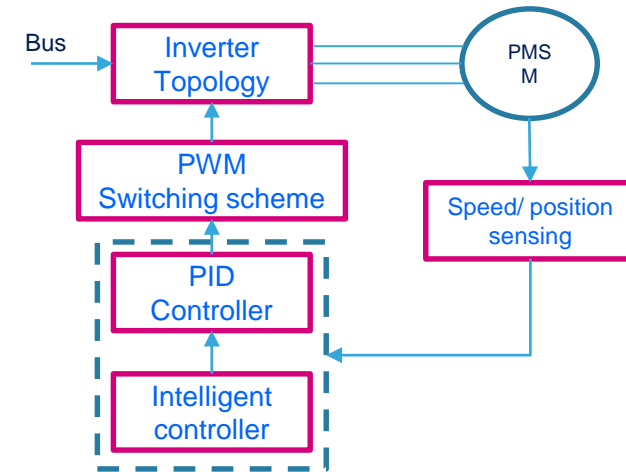
- 便宜的传感器，通常应用在低速大扭矩的场合

• 无传感器

• 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



电流采样 架构&软件模块

13

• 单电阻采样

- 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 电阻采样

- 电流采样比较精确
- 最佳的成本/性能组合

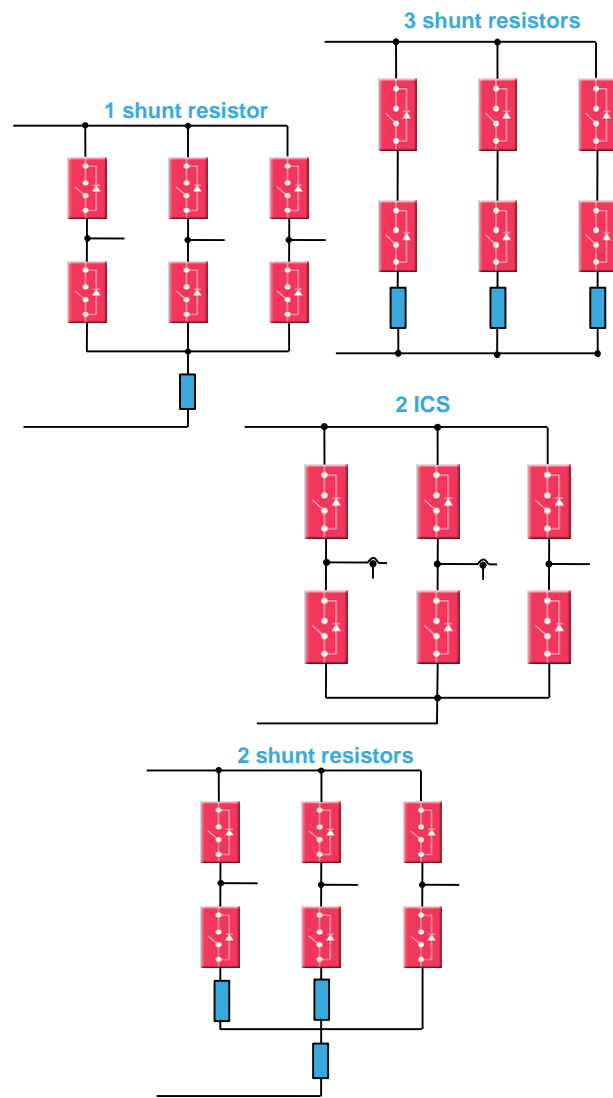
• 2隔离电流传感器(ICS)

- 不需要损耗电流的采样方式 当电流比较大时（几十安培）采用的方式
- 昂贵

• 2 + 1 电阻采样

- 电流采样准确性: 高
- 最优的折中: 成本/性能

电机库支持任意的电流采样组合(2 种电机X 4种电流采样X 3种速度采样类型)



支持的 MCU 系列

until X-CUBE-MCSDK 5.4.1

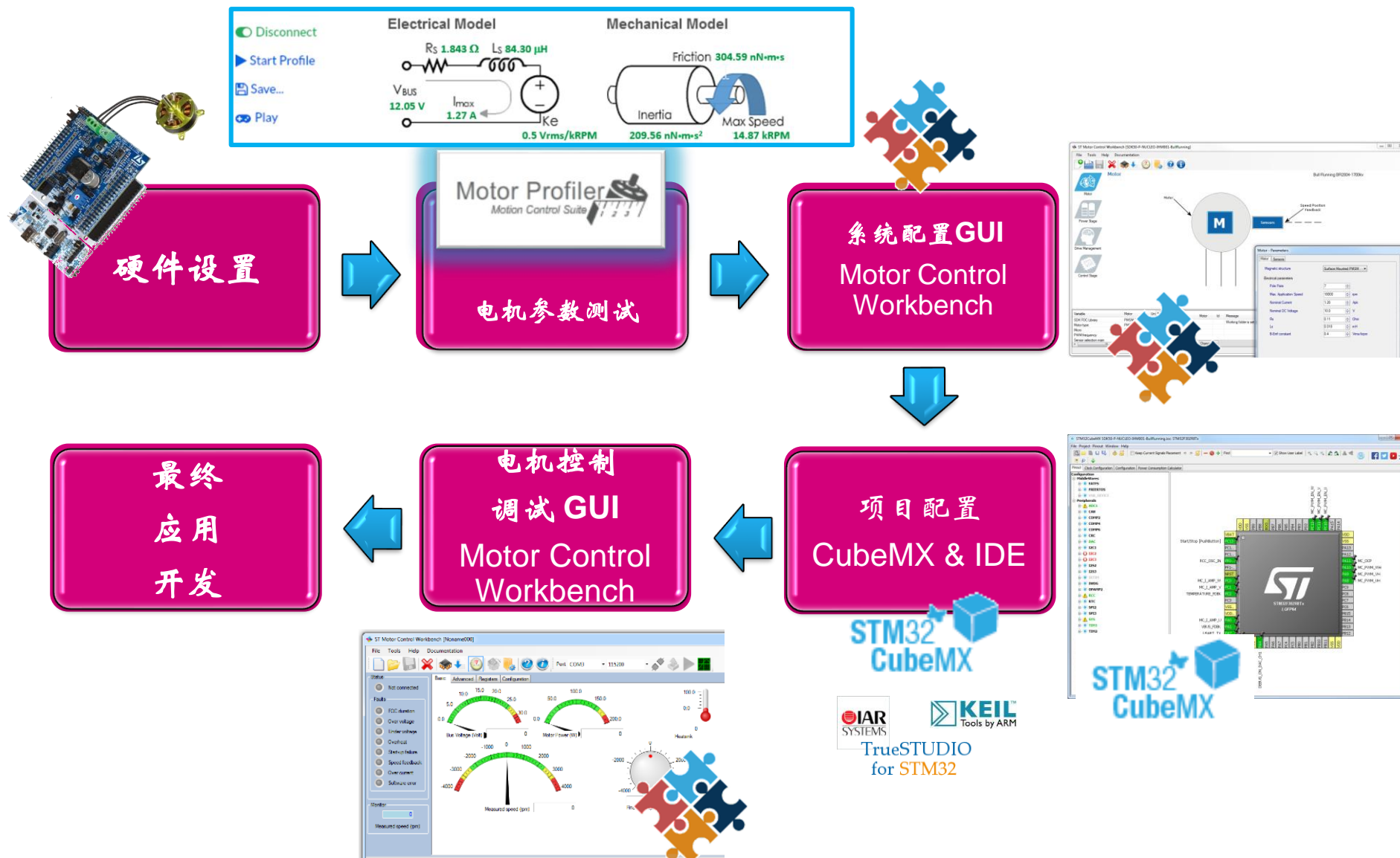
14

STM32 系列	F0	F1	F3	F4	F7	L4	G0	G4
• 1 电阻采样	✓	✓	✓	✓	✓/✗	✓	✓/✗	✓
• 3 电阻采样	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
• 霍尔传感器	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
• 隔离电流传感器	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓
• 弱磁	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
• 最大转矩每安培	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
• 无传感器 (PLL / CORDIC)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
• 前馈	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
• 单 FOC	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
• 双 FOC	✗	✓/✗	✓	✓	✓/✗	✗	✗	✓/✗

✓/✗: MCU supports but SDK does not support so far.

MCSDK 工作流程

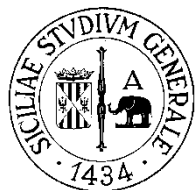
15





驱动 IPs



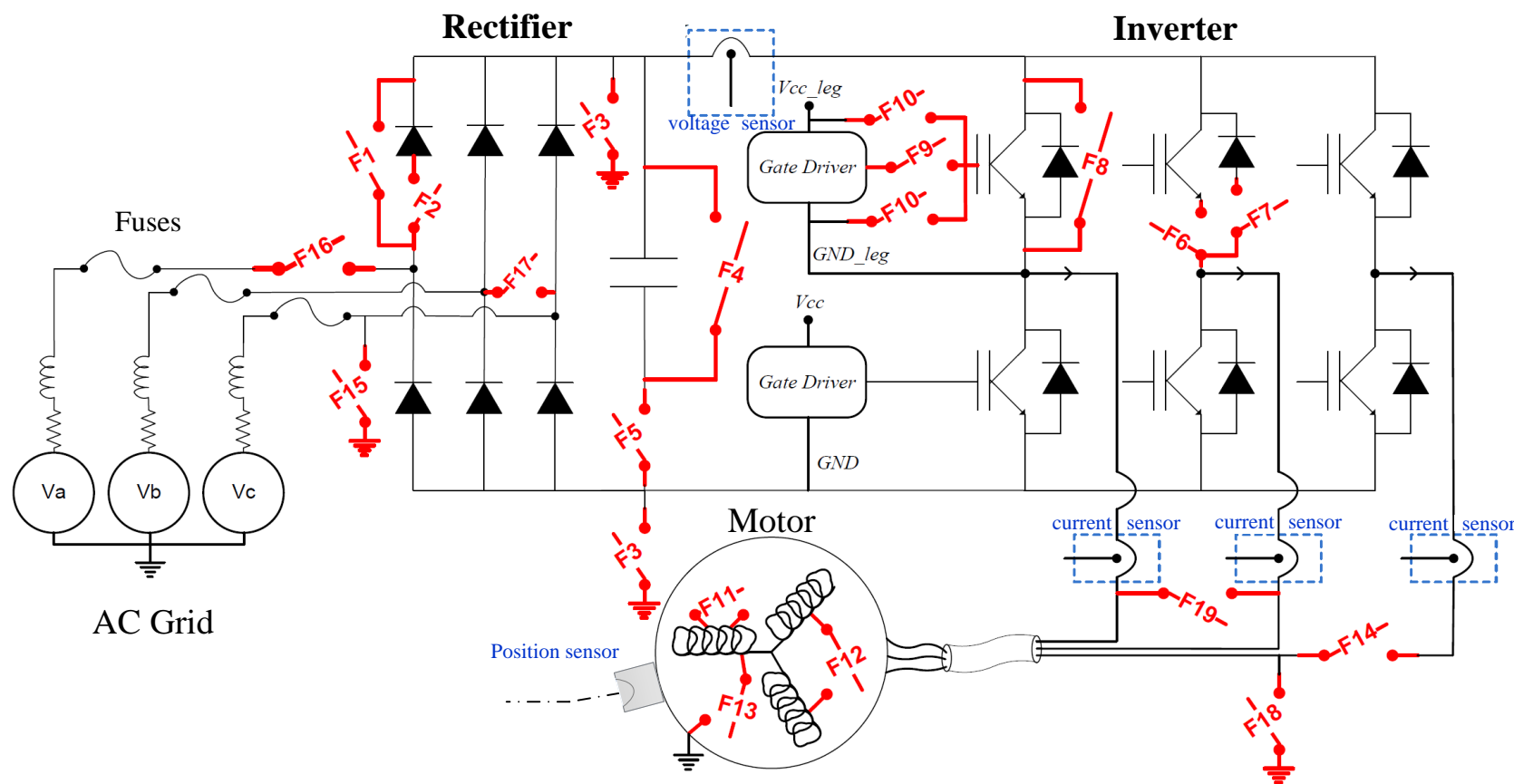


*G. Scelba, G. Scarcella,
M. Cacciato
University of Catania, Italy*



*G. De Donato, F. Giulii Capponi,
F. Caricchi
Sapienza University of Rome, Italy*

- **容错电气驱动**
 - 对位置传感器故障的容错策略
 - 对电流传感器故障的容错策略
 - 对驱动功率部分故障的容错策略
- **容错多相电机驱动**
- **通过无感检测策略来提高可靠性 (自我检测技巧)**



- 控制单元和测试系统的故障电流传感器
- 速度传感器
- 电压传感器

- 影响整流桥和DC电容的故障。
- 影响逆变功率器件和驱动故障

- 电机故障 (绕线, 轴承)
- 接线口故障 (AC, DC)

一些电气驱动原件的失效率 and 平均失效前时间 (MTTF)

Components	Failure Rate λ (h^{-1})	Failure in Time FIT ($10^{-9}h$)	MTTF (h)
Position Sensors	11.2×10^{-7}	1120	892857
Current Sensors	2×10^{-7}	200	5000000
IGBT+Gate Drive	2×10^{-7}	200	5000000
Capacitors	2.5×10^{-7}	250	4000000
Windings	3.2×10^{-6}	320	277778
Bearings	6.4×10^{-6}	640	156250

- 在标准的三相逆变器系统中, 一个元器件的失效会危害整个驱动器的功能性. 这是一个串联的可靠性结构, 系统的可靠性数值等同于所有单个元件可靠性数值的乘积

$$R_s(t) = R_1(t) \cdot R_1(t) \cdot \dots \cdot R_n(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$$

假设失效率常数为(浴盆曲线中点): $R_i(t) = e^{-(\lambda_i t)}$

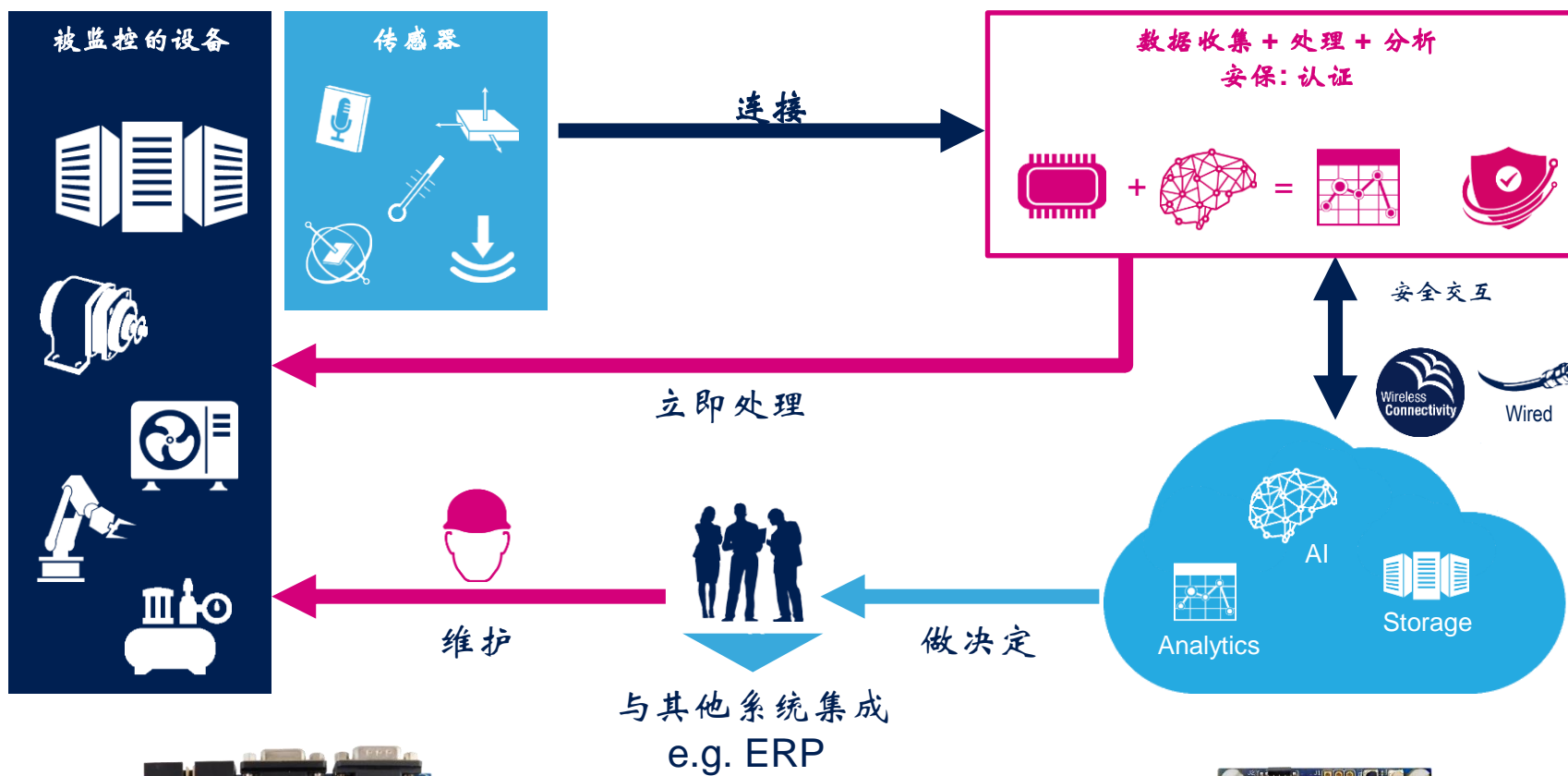
$$MTTF_s = \frac{1}{\lambda_s} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$$

一个系统的可靠性是低于它其中最差的元件的可靠性的

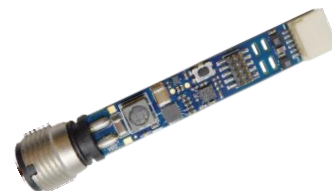
容错驱动是一个能保证在故障事件中能“正确运行”的电机驱动系统。

容错驱动的通用过程：

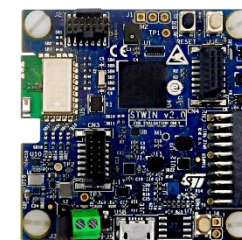
- 检测和定义故障；
- 隔离故障；
- 重新配置驱动，使用保留的元器件或者重新配置工作中的元器件工序；
- 重新恢复故障前的运行条件。



STVAL-IDP004V1



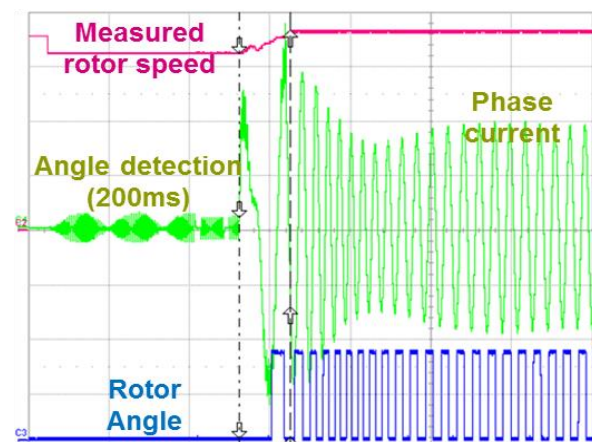
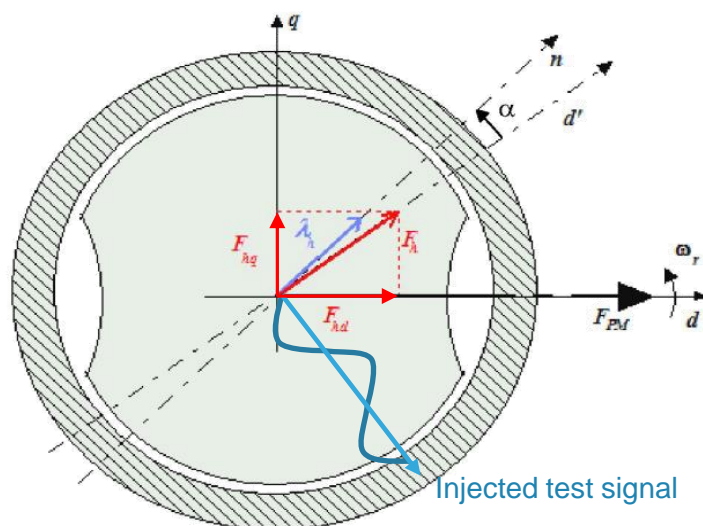
STVAL-BFA001V1B



STWIN - 即将发布!!!!

高频注入无传感器算法

- ST 专利算法“HFI”，可以通过连续扫描I-PMSM电机的磁场的凸极特性，在低速和零速时发挥出全部力矩。
- 在d-q坐标系一个假定的位置，沿着假定的d'轴注入一个高频 (200Hz-1kHz) 正弦测试信号 (电压或电流)



- 产生力 F_h ; 由于转子的凸极特性, d轴方向上的磁阻 \mathcal{R}_d 大于 q轴方向上的磁阻 \mathcal{R}_q , 可以得到 F_{hd} (在实际d轴上的分量) 大于 F_{hq} (在实际q轴上的分量)
 - 产生的结果是, 所产生的磁场 λ_h 方向和 F_h 的方向之间出现一个相位移角 α , 和一个小的分量 (λ_h 在 q' 轴上) \rightarrow **磁偏差**
- (12) United States Patent
(10) Patent No.: US 9,325,263 B1

(12) **United States Patent**
Costanzo et al.

(10) **Patent No.:** US 9,325,263 B1
(45) **Date of Patent:** Apr. 26, 2016

(54) **SENSORLESS ROTOR ANGLE DETECTION**

SPEEDAM 2008, International Symposium on Power Electronics,



应用 IPs

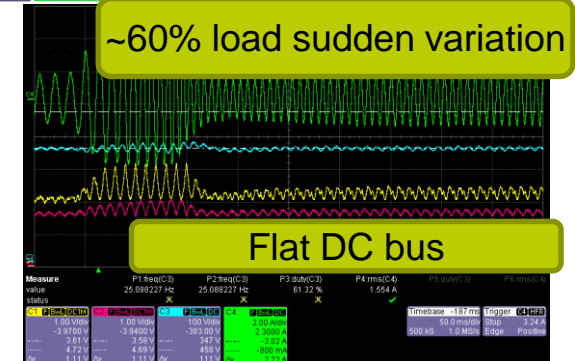
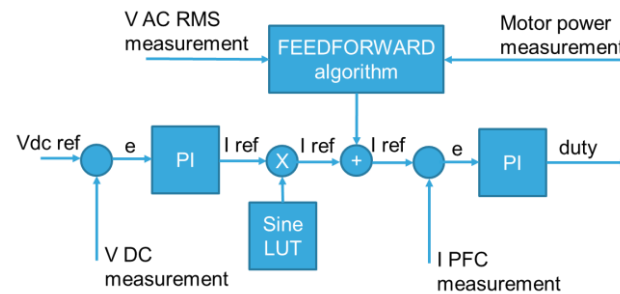
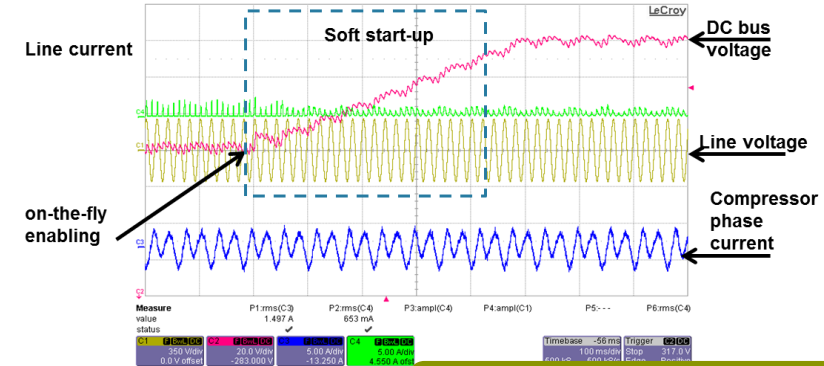


数字 PFC CCM boost

(空调 - 洗衣机 - 冰箱等)

24

- 按需开通 PFC,
减少低负载时PFC损耗
- 负载前馈,
减少 DC电压的震荡
最好的电流调节
- 杰出的 PF, THD, @ 40kHz
Ton/Toff 延迟补偿
350uF/10A 电感

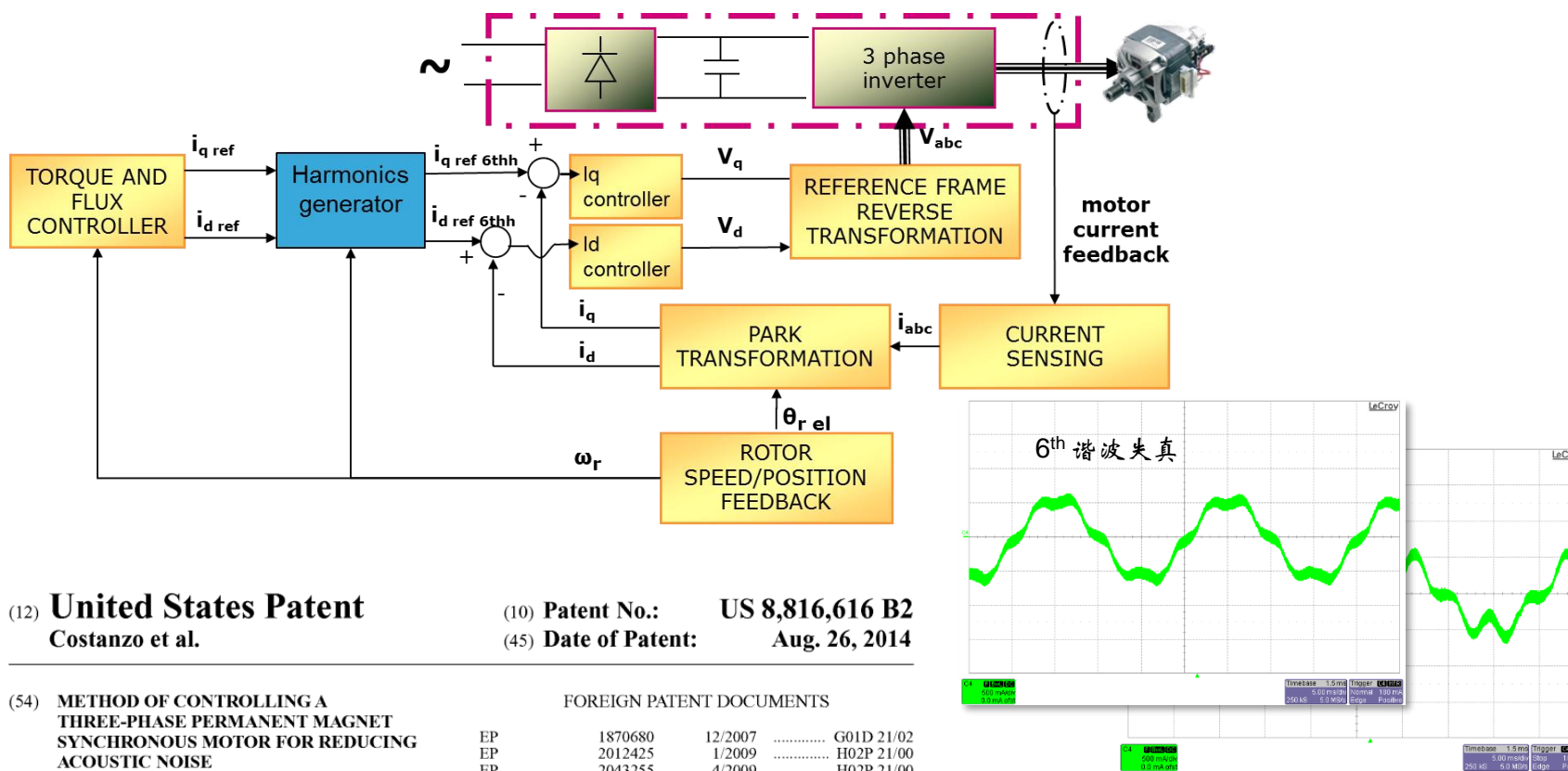


Vin	Vout	INPUT POWER(W)	PF	THD(%A THD)
AC 220V	DC 340V	200	0.943	29.6
		320	0.976	18.3
		400	0.983	15
		500	0.987	11.3
		600	0.991	8.9
		690	0.993	7.1
		800	0.994	4.3
		900	0.996	3.3
		1000	0.996	2.47
		1350	0.999	0.64
		1500	0.999	0.5

噪声减少 (风机 / 泵 / 压缩机 等)

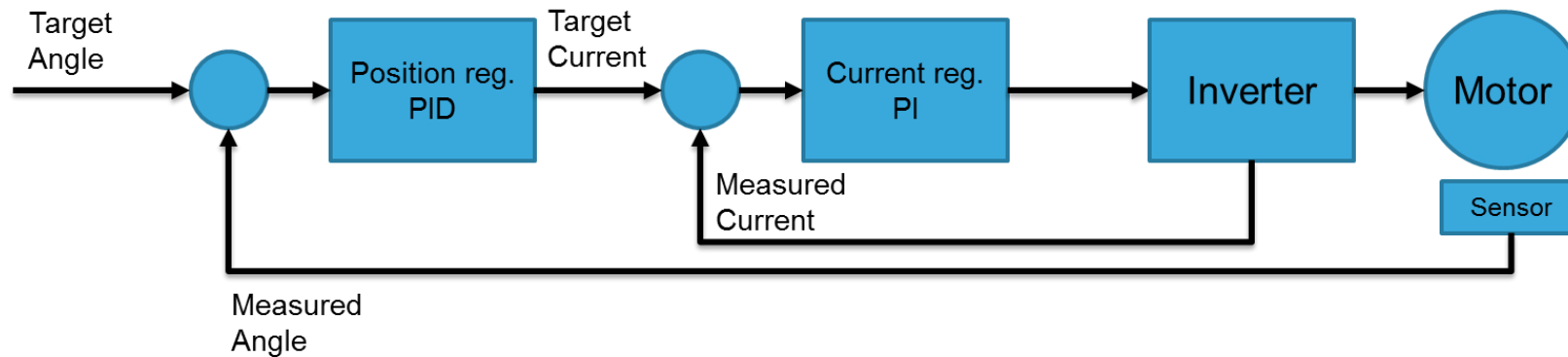
25

- 为了减少噪声，可以注入五次和七次谐波参考量到电机相电流中来抵消六次谐波转矩波动
- 根据如下框图 (ST 专利)，在PARK变换参考系中，足以产生一个基于电机电气频率的六次谐波



(云台/摄像头/机器人/传送带 或其他)

- 执行方法是“两个调节器”的过程
- 位置调节器采用PID控制 (比例, 积分 和 微分作用) 1kHz的执行频率
- 电流调节器采用PI控制 (比例和积分作用) 20kHz的执行频率
- 当传感器提供精确的位置信息, 控制器可进行很好的位置控制
- 不需要其他的精确速度测量



位置控制- 轨迹控制

27

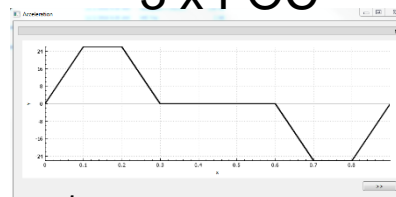
- 为了完成一次平滑的移动，需要从位置指令中计算规划出轨迹(一系列目标位置的组合)
- 通过常数拉动过程原理来进行轨迹计算。

定位指令

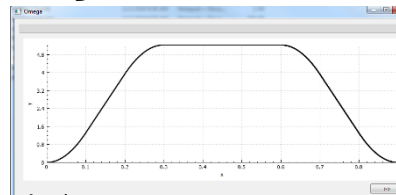
- 目标角度
- 间隔时间

轨迹计算

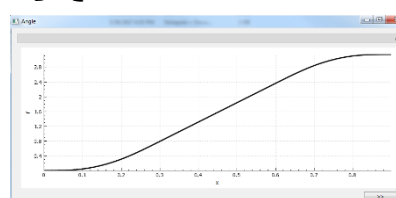
3 x FOC



加速



速度



角度



电机位置传感器

- 光电编码器
- 磁性编码器
- 旋转变压器

位置控制

力矩指令

即时目标角度



矢量和标量控制软件感应电机

软件概述

28

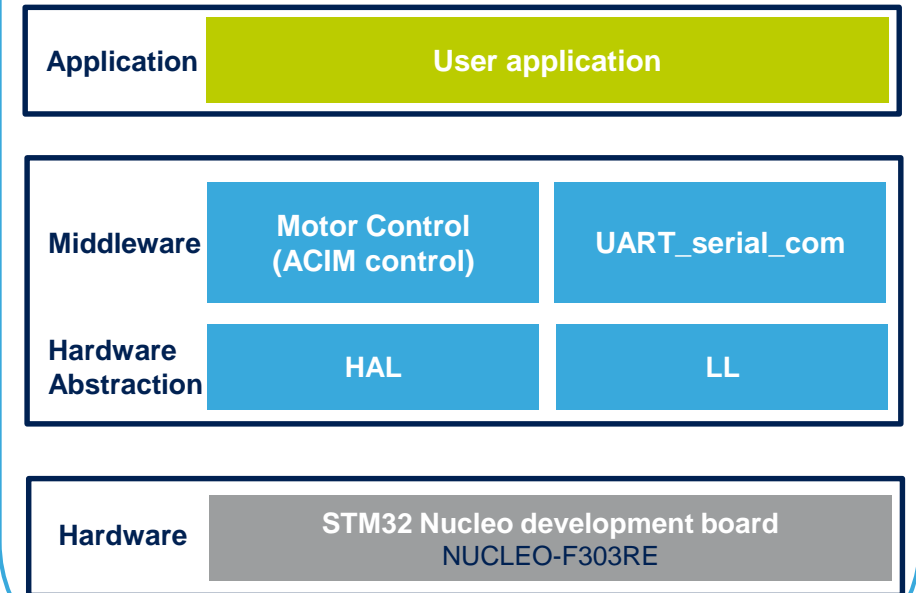
ACIM SDK 描述

- **ACIM SDK** 是一个基于交流感应电机开发应用的软件库. 这个库包含了一个驱动高压感应电机的应用实例, 基于 NUCLEO-F303RE 和 STEVAL-IPM10B 的硬件评估平台 (连接部分使用 X-NUCLEO-IHM09M1 扩展板)
- 基于 **x-cube-mcsdk** 但不是其中的一部分

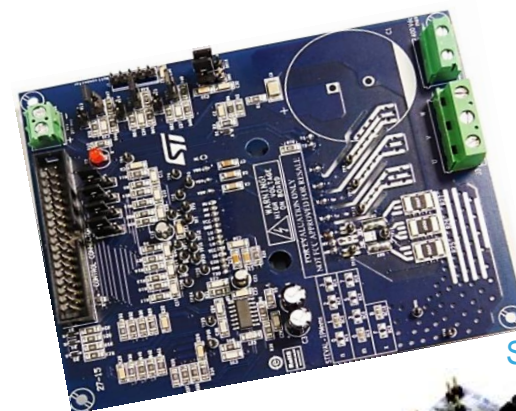
主要特征

- 基于STM32 F3的感应电机方案
- 高性能的矢量控制驱动方式
 - 带速度传感器的FOC控制 (I-FOC)
 - 自检测的FOC控制 (LSO-FOC)
- 高性价比的标量控制驱动方式
 - 开环 V/f 控制
 - 闭环 V/f 控制
- 使用ST 电机控制 Workbench 工具生成由应用调配的API 函数来与电机驱动底层进行交互
- 提供图形化的软件配置器来配置感应电机的专用参数(**ACIM GUI**)

整体系统架构



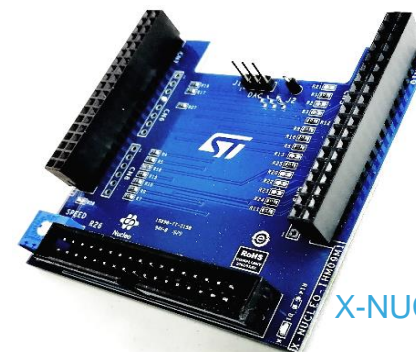
- 1x 高压3相电机驱动板
(**STEVAL-IPM10B**)
- 1x STM32 Nucleo 开发板
(**NUCLEO-F303RE**)
- 1x 电机控制连接扩展板
(**X-NUCLEO-IHM09M1**)
- 1x DC 电源(最大 400 Vdc)
- 1x DC 电源(最大 15 Vdc)
- 1x USB type A 到 mini-B USB 线
- 1x 3相 1KW的 ACIM



STEVAL-IPM10B



NUCLEO-F303RE



X-NUCLEO-IHM09M1



life.augmented