



# STM32 马达控制软件介绍 及开发套件的使用

2009年STM32 全国研讨会

北京、深圳、上海、台北、  
青岛、重庆、南京、哈尔滨、  
武汉、福州、西安



- ◆ STM32面向马达控制的特性
- ◆ STM32马达控制软件库的介绍
  - FOC简介
  - 软件库特点
  - 软件库结构
  - 软件库性能
- ◆ 马达控制套件的使用
  - 套件特点
  - 套件功能
- ◆ 怎样基于STM32马达控制套件及软件库实现PMSM马达的无传感器模式控制
  - 使用户能在很短时间内就能运转自己的马达

# STM32面向马达控制的特性



## ◆ 功能强劲的内核 — ARM Cortex-M3

- 1.25DMIPS/MHz, 哈弗结构, 与ARM7相比性能提高30%
- 单周期乘法、硬件除法及乘累加指令
- 代码密度
  - Thumb-2指令集, 与ARM7相比代码密度提高30%
- NVIC: 快速的中断响应

## ◆ 面向马达控制的丰富的外设

### 16位高级定时器

- 6通道三相互补PWM的产生, 带硬件死区, 每个通道的极性独立设定
- 时钟为72MHz(13.9ns精度)
- 紧急故障输入端口, 可异步地关断PWM的输出
- 可触发ADC的事件

### 16位通用定时器

- 霍尔、编码器硬件接口

### ADC

- 双ADC或三ADC模块
- 12 BIT精度, 1MSps, 每个通道的采样时间可单独编程
- 可由外部或定时器事件触发
- DMA
- 通道分组: 注入转换组及常规转换组
- SCAN模式
- 多样化的双ADC模式

# 软件库——FOC简介

- ◆ FOC(Field Oriented Control), 采用数学方法实现三相马达的力矩和励磁的解耦控制
- ◆ 定子电流被分解成:
  - 励磁电流 $I_d$ : 产生励磁
  - 交轴电流 $I_q$ : 控制电磁力矩, 类似于DC马达的电枢电流
- ◆ FOC算法优点:
  - 当负载变化时, 速度响应快速而精确
  - 马达的瞬时效率得到优化
  - 能实现位置控制(通过瞬时力矩控制)



# 软件库 —— 特点(1)



## ◆ 针对无刷马达控制的方案 – 有传感器/无传感器方案的实现

- 交流感应马达(带速度反馈)
- **PMSM**马达(无传感器方案的实现)

## ◆ 特点

- **GUI**用户界面：产生软件库的头文件
- 用户调试界面(通过**LCD**及**JOYSTICK**)：可实时地调试**PID**及观测器参数
- **DAC**功能：可实时地跟踪某些重要的变量
- 以循序渐进的方式指导用户如何使用软件库来开发自己的项目
- 详尽的用户手册
- 免费的软件源代码

# 软件库——特点(2)

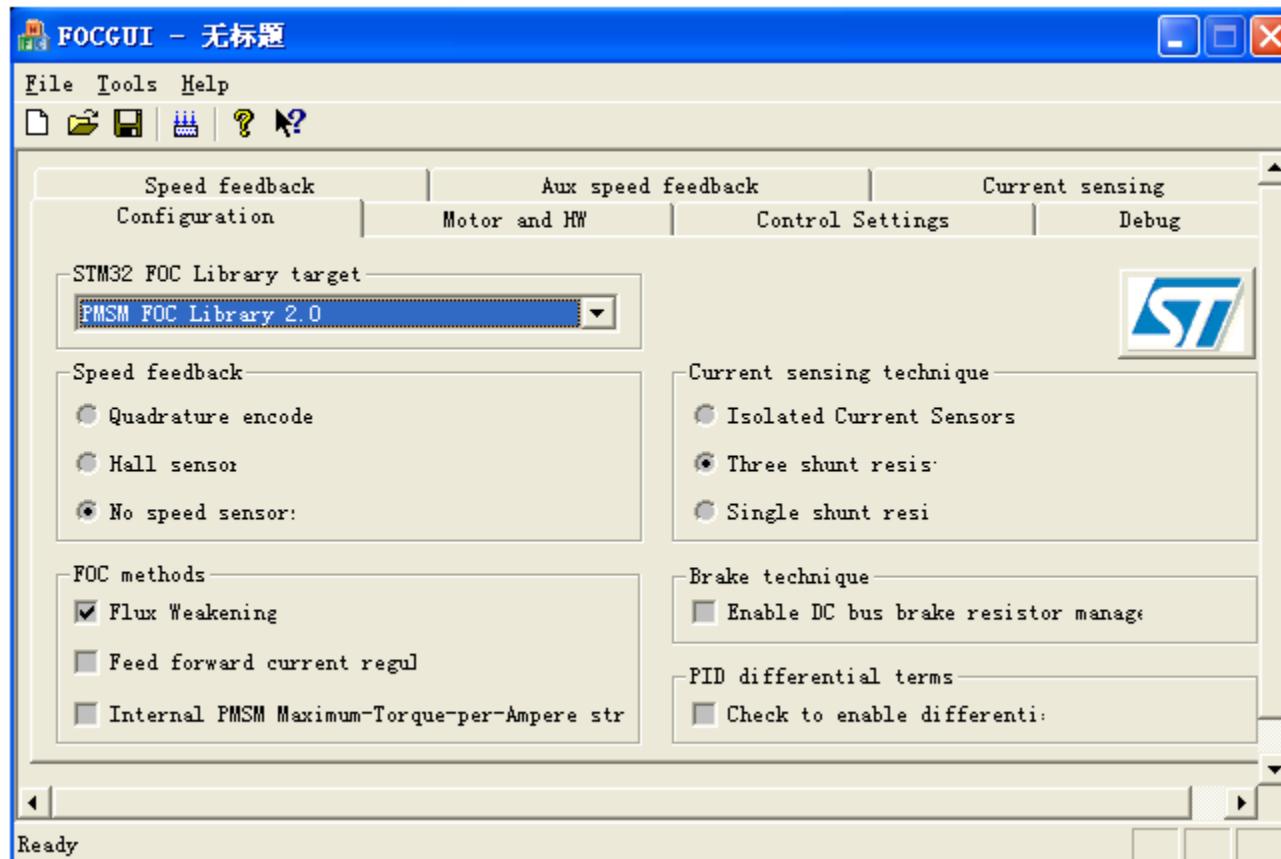
## ◆ 特点(续)

### ➤ 优化的**PMSM**马达控制

- 不同的转子位置反馈方法的实现
  - **Sensor**模式: **HALL(120度/60度)/ ENCODER**
  - **Sensorless**模式: **Luenberger**观测器及**PLL**算法
- 马达相电流采样:
  - 三电阻法
  - 单电阻法: 改善硬件成本
  - 电流传感器法
- **MTPA** – **I-PMSM**马达的优化控制
- 改进的弱磁控制算法: 无须知道马达的精确参数
- 电流前馈: 可实现对**DC BUS**纹波的补偿

# 软件库 —— 特点(3): GUI界面

- ◆ 通过直观的界面配置软件库
- ◆ 输入马达及控制参数，可直接生成软件库的头文件



# 软件库——特点(4): 实时调试界面

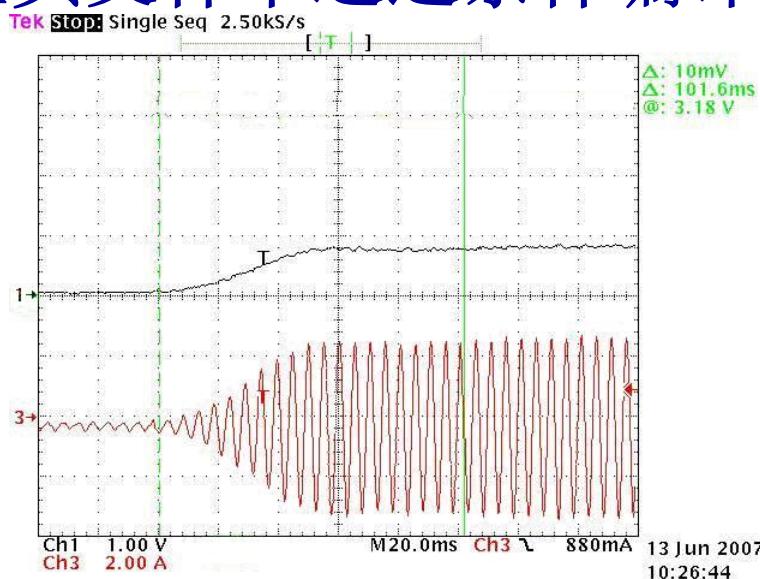


- ◆ 可实时地调节力矩环，励磁环及速度环**PID**的参数
- ◆ 可实时地调节观测器的增益参数(无传感器模式下)
- ◆ 可实时地改变目标速度(速度控制模式下)或目标力矩及励磁(力矩控制模式下)
- ◆ 进入弱磁控制区的上限电压值的选择
- ◆ **DC BUS**电压及功率板温度监控
- ◆ **DAC**输出变量的选择

STM32 Motor Control  
PMSM FOC ver 1.0  
Sensorless Demo  
**Speed control mode**  
Target Measured  
02500 (rpm) 00000  
↔ Move ↑ ↓ Change

# 软件库——特点(5): DAC功能

- ◆ 通过**TIM3**的两个**PWM**通道实现
- ◆ 可通过**LCD**菜单实时地检测两个软件变量
  - 软件脱机运行，避免使用仿真器运行时引起的驱动电路烧坏
  - 可实时检测马达相电流，速度，转子位置等
- ◆ 可在头文件中通过条件编译行禁止

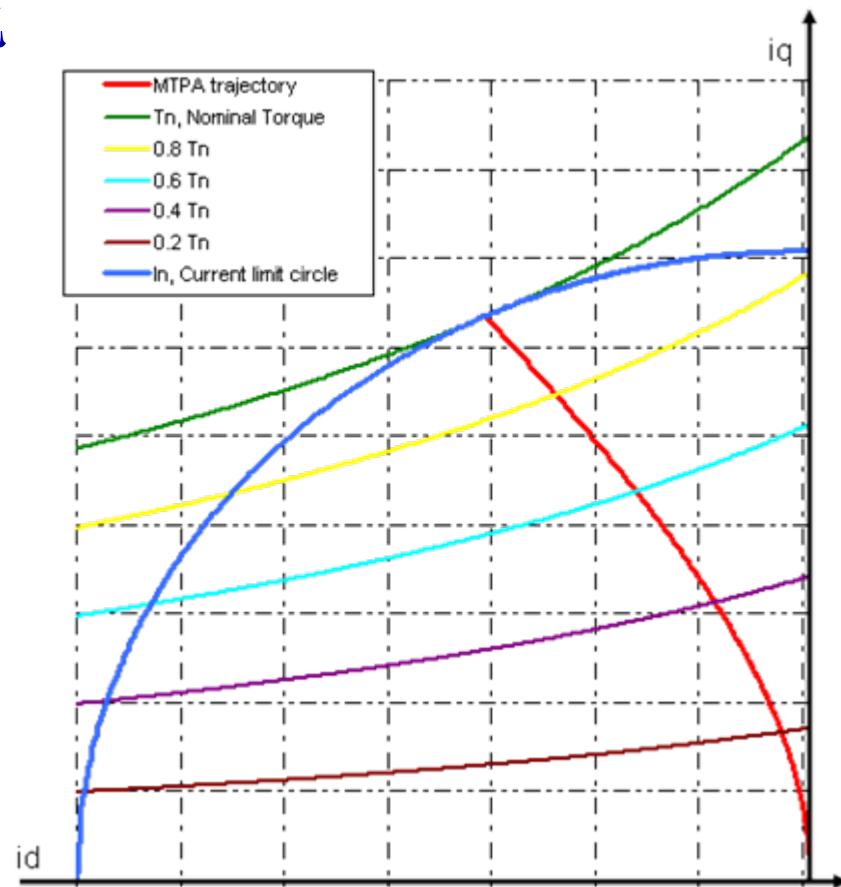
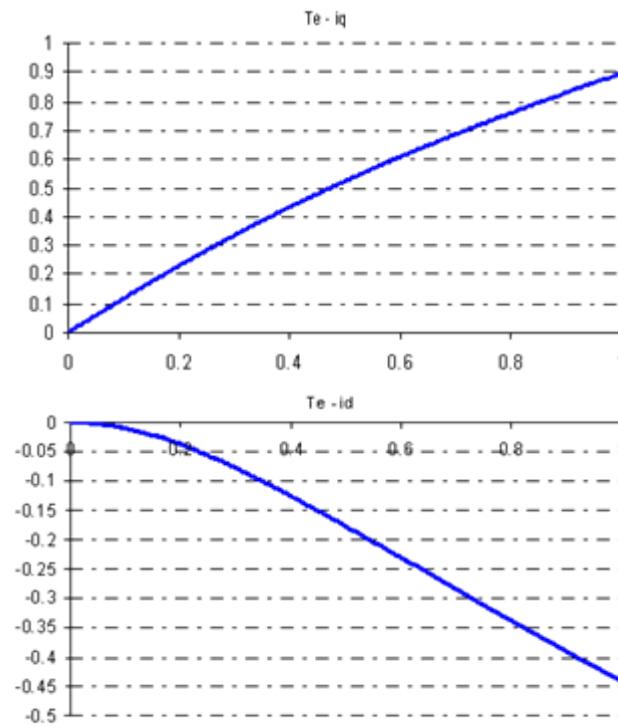


STM32 Motor Control  
PMSM FOC ver 1.0  
Singal on PB0  
**Iqref**  
Singal on PB1  
**Ia**  
↔ Move ↑ ↓ Change

# 软件库——特点(6): MTPA

## ◆ MTPA—I-PMSM(永磁体内嵌式马达: $L_d < L_q$ )的优化控制

- 控制‘力矩/电流比’最大化
- 提高效率



# 软件库——特点(7): 循序渐进的开发

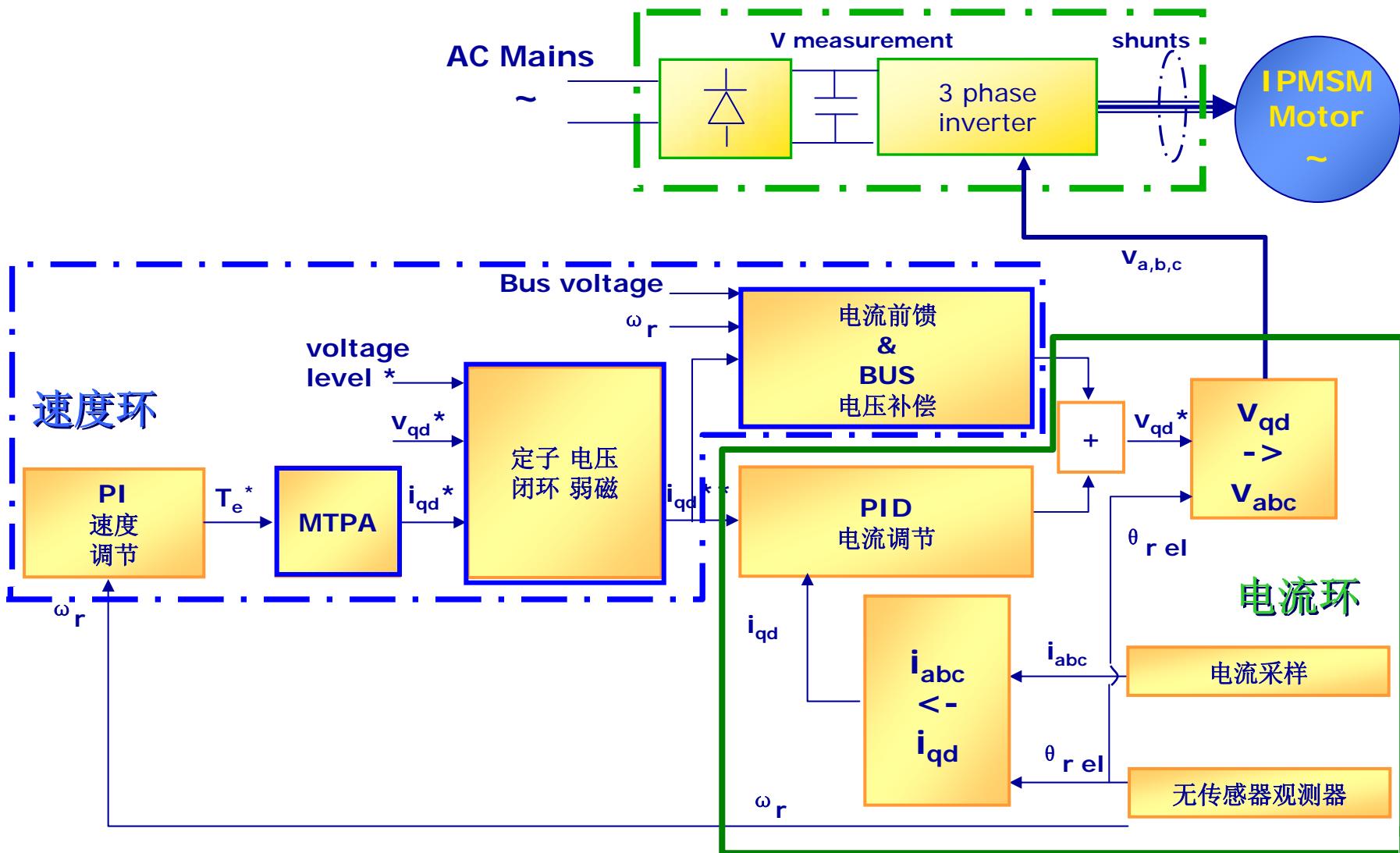


- ◆ 通过头文件STM32F10X\_MCconf.h实现
- ◆ 一步一步地指导用户进行项目的开发
- ◆ 通过条件编译避免包含不需要的代码

```
***** Current sensing by ICS (Isolated current sensors) *****/
#define ICS_SENSORS
***** Current sensing by Three Shunt resistors *****/
#define THREE_SHUNT
***** Position sensing by Incremental encoder *****/
#define ENCODER
***** Speed sensing by Hall sensors *****/
#define HALL_SENSORS
***** No speed sensors *****/
#define NO_SPEED_SENSORS
#define VIEW_HALL_FEEDBACK
#define VIEW_ENCODER_FEEDBACK
***** PI + Differential term for Id & Iq regulation *****/
#define Id_Iq_DIFFERENTIAL_TERM_ENABLED
***** PI + Differential term for speed regulation *****/
#define SPEED_DIFFERENTIAL_TERM_ENABLED
***** PIDs Parameter regulation software *****/
#define FLUX_TORQUE_PIDS_TUNING
#define OBSERVER_GAIN_TUNING
#define DAC_FUNCTIONALITY

#define IPMSM_MTPA
#define FLUX_WEAKENING
#define FEED_FORWARD_CURRENT_REGULATION
```

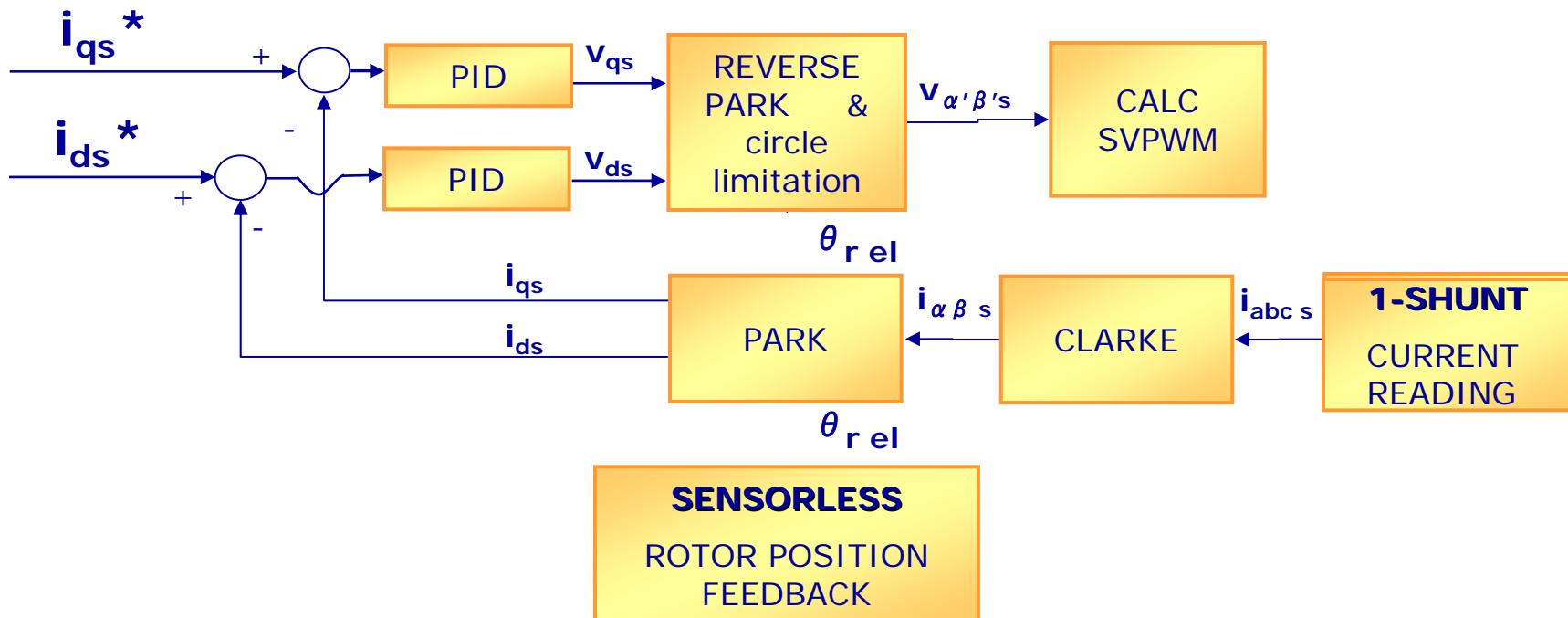
# 软件库——FOC软件框图



# 软件库性能——FOC算法执行时间



- ◆ 基于Cortex™-M3强劲的计算能力，sensorless模式下FOC控制环的执行时间如下(与第三方编译器有关)
  - 三电阻电流采样方式：从**20.2μs** 到 21.6μs
  - 单电阻电流采样方式：从**23.9μs** 到 26μs



**CPU load @ 10kHz sampling time ≈ 25%**

# 软件库性能——代码长度

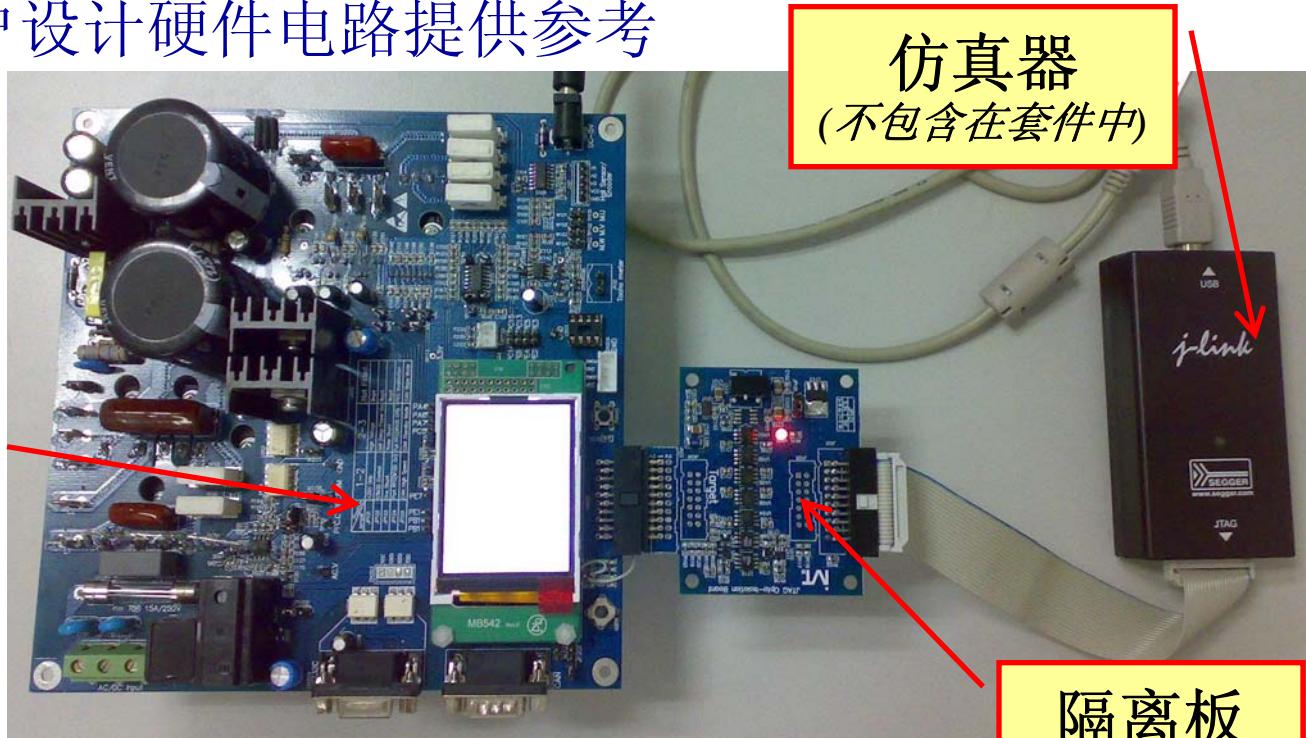
- ◆ 由于Thumb2指令集具有较好的代码密度， PMSM FOC 软件库的总的代码长度(**sensorless** 模式，三电阻电流采样)为： 23.3kB 到 24.7kB(与第三方的编译器有关)
- ◆ 排除LCD及Joystick管理代码， 纯的马达驱动的代码长度为：

**12.5Kb**

(矢量控制模块的优化选项为**速度优化**)

# 马达控制套件(1)——特点

- ◆ 高压驱动板 + 低压控制板整合成一块主板，价格远低于第一代套件
- ◆ 更高的功率容量(与第一代套件相比)
- ◆ 直观的硬件平台，使用户无需设计硬件即可进行马达驱动性能的评估。
- ◆ 给用户设计硬件电路提供参考



# 马达控制套件(2): 功能

## ◆ 兼容STM32 FOC 软件库

- 软件库可以直接在该套件上运行
- 通过跳线设置，可满足软件的各种编译模式
  - 单电阻和三电阻电流取样选择功能
  - 编码器/ HALL输入检测功能，Sensorless模式

## ◆ 满足大功率应用要求，如变频空调压缩机及工业大功率电机驱动的开发调试

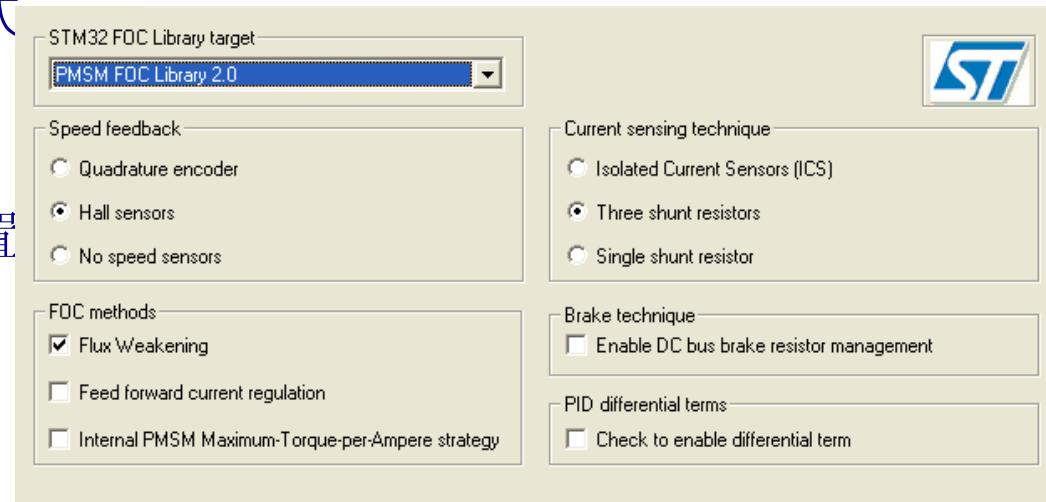
- 20A/30A IGBT 三相半桥驱动模块
- 主动PFC控制功能
  - 兼容部分PFC、全部PFC硬件拓扑结构，包括：
    - AC输入电压波形检出（正弦波）
    - 电感电流波形检出（正弦波）
    - DC BUS 电压检出
  - PFC硬件保护电路：IGBT过流硬件自关断，IGBT过流保护信号输出
  - 可提升DC BUS 电压，抑制输入电流谐波

# 马达控制套件的使用(3): 功能

- ◆ 一块控制板集成了EVB及功率驱动的所有功能，摒弃了原开发套件(EVB + Power Stage)的模式，且驱动功率更高
- ◆ JTAG仿真隔离板
- ◆ 能耗刹车控制电路
- ◆ LCD及Joystick用户界面：可结合FOC软件库调试马达
- ◆ RS232通信接口(光耦隔离)
- ◆ CAN通信接口
- ◆ 上电延时功能：抑制上电浪涌电流
- ◆ 可驱动低压马达(12V/24V)及高压马达(交流220V)

## ◆ 使用GUI产生软件库参数头文件

- 使马达运行在纯传感器模式
  - HALL或ENCODER
- 选择马达电流采样方式
- 马达电流采样电路参数设置
  - Shunt: 0.015欧
  - 放大倍数: 3.9
- 输入马达参数
- 使能电流环调节
- 使用GUI产生参数头文件，替代软件库中的原文件，编译软件库，通过JTAG仿真器把程序烧入MCU



- ◆ 在套件上运行，此时马达短时间地正反转，运行在速度开环模式下，用DAC功能监测阶跃响应，实时调节电流PID参数；
- ◆ 把电流PID参数结果写入软件，禁止电流环调节，使马达运行在速度闭环模式下，调节速度PID参数

- ◆ 使马达运行在纯传感器模式，且使能观测器：
  - 选择**OBSERVER\_GAIN\_TUNING**: 电流和速度环仍使用由传感器反馈的转子位置角信号，但此时观测器同时运行；
  - 使用**DAC**功能实时地调节观测器及**PLL**增益参数（**K1, K2, F1, F2, PLL\_KP\_GAIN, PLL\_KI\_GAIN**）：观测器增益参数对反电动势观测起作用，而**PLL**增益参数（一般其缺省值就满足要求了）对位置角重构起作用；
  - 一旦这6个参数确定，把它们写入头文件  
**MC\_State\_Observer\_param.h**

- ◆ 使马达运行在无传感器模式，但仍使能传感器反馈处理：
  - 选择NO\_SPEED\_SENSORS及VIEW\_HALL\_FEEDBACK或VIEW\_ENCODER\_FEEDBACK之一，电流和速度环使用由观测器反馈的转子位置角信号。传感器反馈的信号仍处理，使其可与观测器反馈的位置角信号进行比较；
  - 填写**MC\_State\_Observer\_param.h**中剩余的参数，且第一次设置统计参数；
  - 注意：如要达到较高的速度精度，可能需要针对不同的速度值设置不同的速度PID参数，且需要进一步实时地调节观测器，PLL及速度PID参数。

## ◆ 马达运行在无传感器模式:

- 注释掉VIEW\_HALL\_FEEDBACK 或  
VIEW\_ENCODER\_FEEDBACK;
- 注释掉OBSERVER\_GAIN\_TUNING;
- 如果DAC功能不再需要，注释掉DAC\_FUNCTIONALITY  
以减小代码长度



谢谢

2009年**ST MCU巡回演讲**