沁恒

基于RISC-V内核MCU无刷电机应用

王大伟　电机应用主任工程师

沁恒微电子 | RISC-V 研究院

沁恒

内容

01 沁恒微电子简介

02 CH32系列全栈MCU概述

03 CH32系列MCU无刷电机应用方案和案例

04 CH32系列MCU电机应用选型



沁恒微电子简介

WCH 沁恒

沁恒微电子简介

品牌	WCH，全称WinChipHead	定位	专业，易用
创建	2004年	技术	专注于连接技术和MCU内核研究，坚持全栈IP自主研发模式
主营	全栈MCU芯片和通讯接口芯片	领域	计算机周边、手机周边、工业控制、物联网等

“感知+控制+连接+云聚”

- **致力于为客户提供万物互联、上下互通的芯片及解决方案；**

  ADC/PGA等模拟检测、 HID人机交互;

  MCU智能控制及驱动算法;

  Ethernet/Bluetooth-LE等网络通信;

  UART/USB/USB PD/PCIE/CAN/SerDes等接口通讯;

沁恒微电子简介

发展历程

2004 RISC(8bit)

自研8位单周期RISC内核，并集成专用的接口模块， ASM编程，用于大批量应用的USB和PD接口控制。MCU成品有CH52X、CH53X等，均已历经十多年可靠运行。

2012 E8051

自研增强版8051内核，创新的将DMA引入51，适用于非复杂任务、多接口及模拟高性价比应用。 MCU成品有CH55X和CH54X等，KK级批量应用无一例指令兼容性问题

2012 ARM等32bit

陆续引入ARM等32位内核，加入了网络、USB2.0等高速接口，并设计了高速DMA仲裁机制。 后期又推出CH32F103等通用MCU芯片，适用于软件兼容、硬件引脚兼容、接口更专业的成熟生态应用。

2017 RISC-V

研究RISC-V开源指令集MCU架构，对快速中断响应、 高带宽数据DMA进行优化。形成了侧重于低功耗、高性能多个版本RISC-V架构微处理器。

2019年推出基于青稞V3A微处理器的CH32V103单片机、内嵌BLE低功耗蓝牙的CH57X系列;

后续陆续推出128位数据宽度和双层DMA架构高吞吐量CH56X系列MCU，以及精简型青稞V2A、增强型青稞V4A/V4B、 浮点型青稞V4F 等内核产品。

RISC-V研究成果

沁恒在MCU内核方面深耕多年，从自研RISC(8bit)、自研E8051、外购Cortex-M0/3内核，再根据高速产品的中断响应、调试接口IO占用和速率等需求自研RISC-V内核，在RISC-V内核方面取得多项领先技术并商用化。

- 同期首创2线调试接口，较同期JTAG节约IO资源，并大幅提升数据交换速度
- 创新性提出HPE、VTF中断技术，大幅降低中断响应时间
- 创新性扩展字节和半字压缩指令，减少代码空间
- 创新性支持WFE睡眠唤醒指令，降低功耗同时减少唤醒时间

沁恒

02

CH32系列全栈MCU概述

CH32系列全栈MCU概述

产 品 架 构

MCU

32位通用RISC-V系列
32位通用Cortex-M系列
32位高性能高速接口系列
32位低功耗蓝牙系列
E8051 USB系列
8位RISC汇编系列

USB

USB转串口类
USB键鼠类
USB转其他接口类
控制类
延长类
PD类
USB HUB集线器类

低功耗蓝牙

32位RISC-V低功耗系列
32位Cortex-M0低功耗系列
低功耗蓝牙转换芯片

以太网

以太网接口控制类
以太网转接类

PCI/PCIE

转接类
控制类

单片机外围

显示驱动及键盘扫描
模拟开关
串口扩展
I/O扩展
FIFIO及双口RAM
静电防护

CH32系列全栈MCU概述

MCU产品架构

- WCH全系MCU包括8位RISC极简汇编、E8051、32位低功耗蓝牙；32位高速接口、32位通用5大系列
- 适用于电机控制的有CH32V和CH32F两大通用系列；
- CH32V系列采用RISC-V内核，CH32F采用Cortex-M3内核；

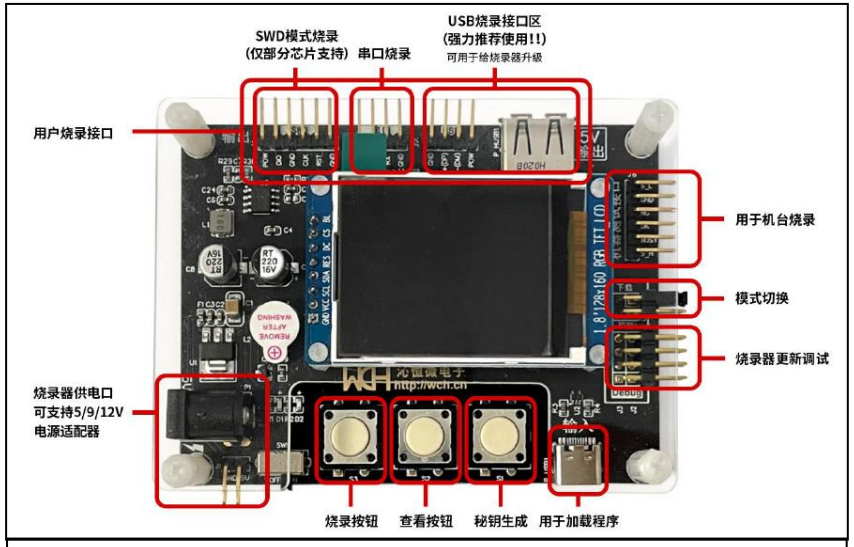
型号	FLASH/RAM	主频	ADC	高级定时器	运放	FPU	BLE
CH32V103	64K/20K	80M	1	1	无	无	无
CH32F103	64K/20K	72M	1	1	无	无	无
CH32V203	64K/20K	144M	2	1	2	无	无
CH32F203	256K/64K	144M	2	4	4	无	无
CH32V208	128K/64K	144M	1	1	2	无	有
CH32F208	128K/64K	144M	1	1	2	无	无
CH32V303	256K/64K	144M	2	4	4	有	无
CH32V307	256K/64K	144M	2	4	4	有	无

配套生态

- 提供调试工具和量产工具---方便用户开发到量产
- 免费提供自主开发的IDE(MounRiver Studio)， 面向RISC-V MCU，综合开发、调试、烧录等功能；
- 提供丰富的开发套件---数据手册、开发板、固件包(SDK)



仿真调试器



脱机烧录器

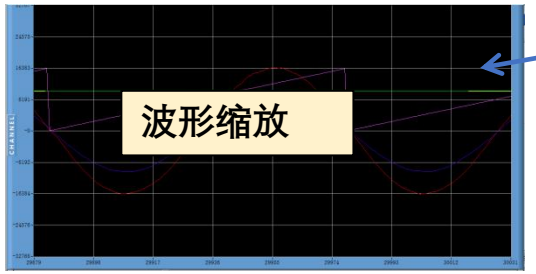


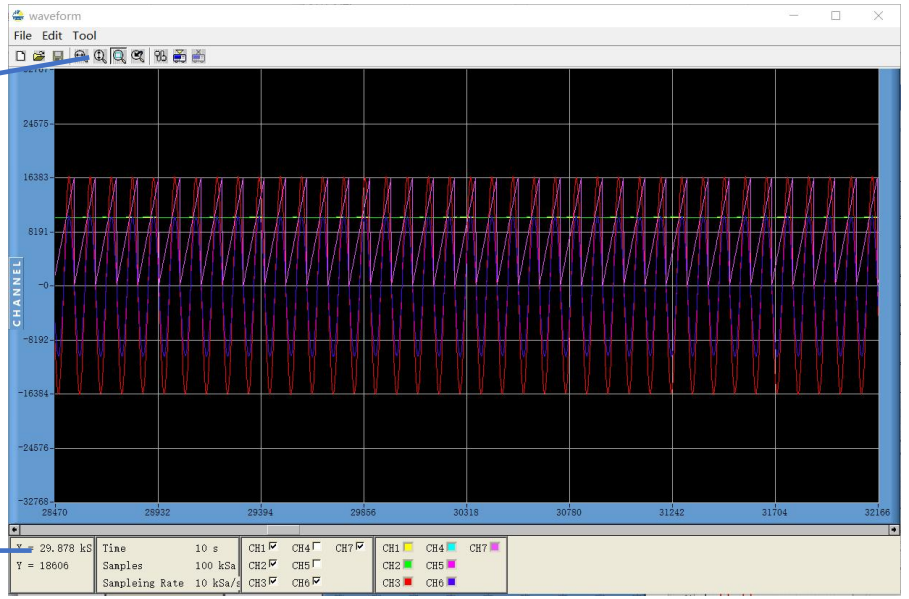
程序烧录软件

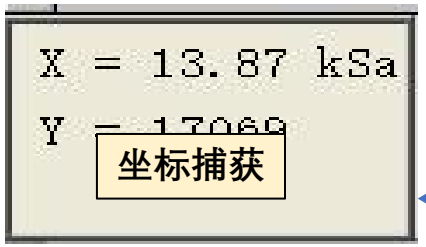
配套生态

- **自主开发虚拟示波器软件**

✓ 能够实时展示当前电机各种运行变量，加快开发、故障诊断、问题分析过程；
✓ 数据传输速率8Mbit/s，支持8通道16位数据50K传输速率；
✓ 每通道支持2Mbyte数据存储深度；
✓ 支持波形导出、导入和缩放等功能，具有坐标捕获能力，方便读取数据；
✓ 数据可单独保存，便于采用其他软件进一步分析；
✓ 如果后续有更高数据吞吐速率的需求，可方便扩展到沁恒快速USB接口，传输速率可达480Mbit/s；

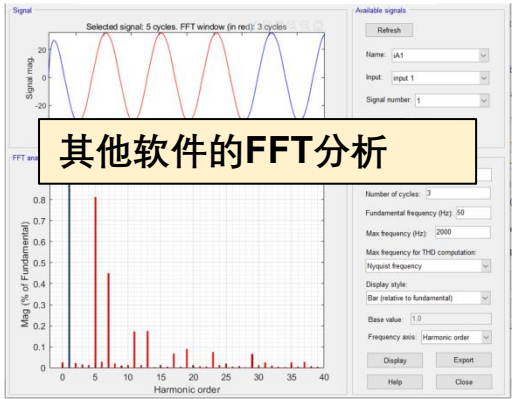












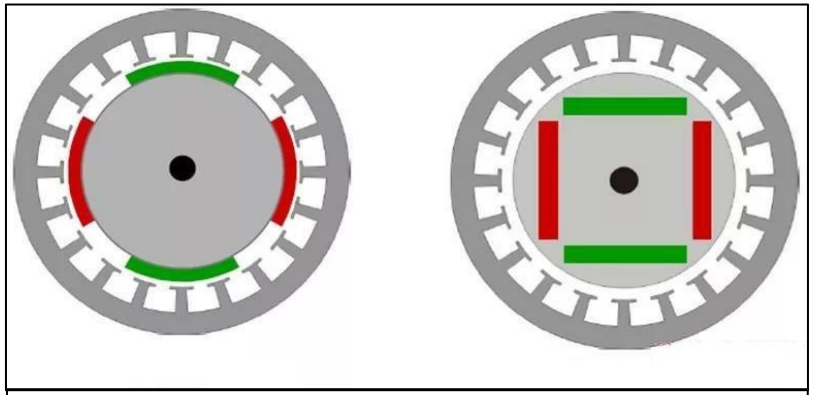


CH32系列MCU无刷电机应用方案和案例

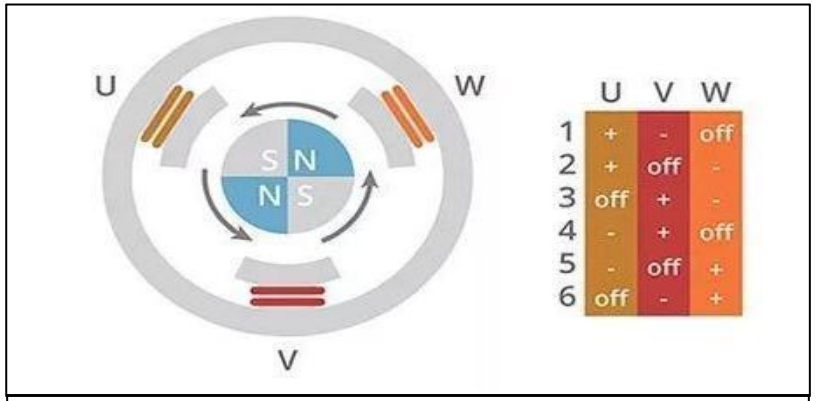
CH32系列MCU电机应用方案和案例

CH32 MCU适配电机

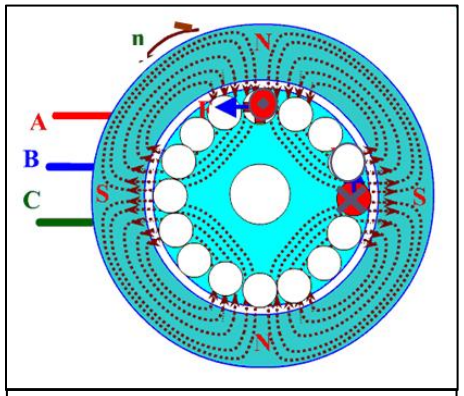
沁恒RISC-V和Cortex-M3内核MCU属于工业级32位通用MCU，支持硬件压栈和硬件除法器，集成多个高级和通用定时器，内置多路高速双ADC和模拟运放，适用于各种电机的速度和位置控制。



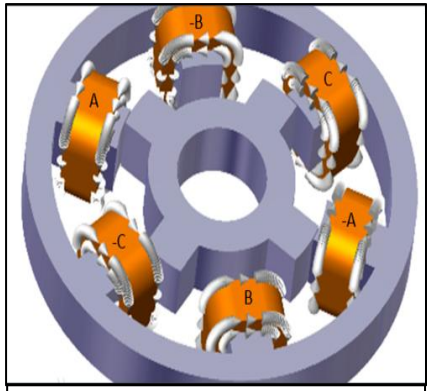
PMSM



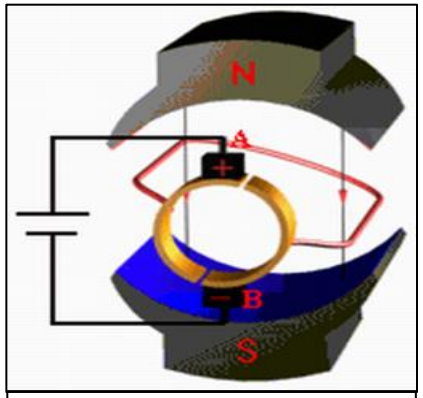
BLDC



IM



SRM



DC

电机应用方案——PMSM

- **FOC**

无感

- 全阶状态观测器
- 滑膜观测器
- 高频注入观测器
- 旋转反电势观测器

有感

- HALL
- 增量编码器
- 绝对编码器

全阶状态观测

$$\frac{d\hat{i}_\alpha}{dt}=-\frac{R_s}{L_s}\hat{i}_\alpha-\hat{\omega}_e\frac{(L_d-L_q)}{L_d}\hat{i}_\beta+\frac{u_\alpha}{L_s}-\frac{\hat{e}_\alpha}{L_s}+K_1\bar{i}_\alpha$$

$$\frac{d\hat{i}_\beta}{dt}=-\frac{R_s}{L_s}\hat{i}_\beta+\hat{\omega}_e\frac{(L_d-L_q)}{L_d}\hat{i}_\alpha+\frac{u_\beta}{L_s}-\frac{\hat{e}_\beta}{L_s}+K_1\bar{i}_\beta$$

$$\frac{d\hat{E}_\alpha}{dt}=-\omega_e\hat{e}_\beta+K_2\bar{i}_\alpha$$

$$\frac{d\hat{E}_\beta}{dt}=\omega_e\hat{e}_\alpha+K_2\bar{i}_\beta$$

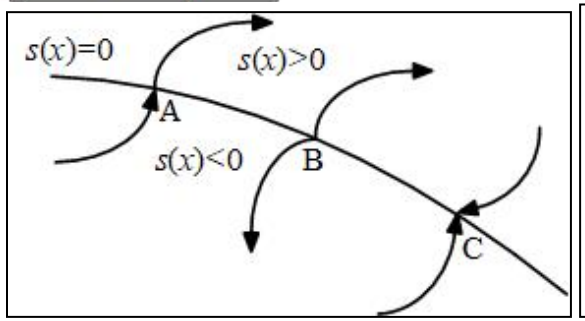
滑模观测

$$\frac{d\bar{i}_\alpha}{dt}=-\frac{R_s}{L_s}\bar{i}_\alpha+\frac{e_\alpha}{L_s}-\frac{K_s}{L_s}sign(\bar{i}_\alpha)$$

$$\frac{d\bar{i}_\beta}{dt}=-\frac{R_s}{L_s}\bar{i}_\beta+\frac{e_\alpha}{L_s}-\frac{K_s}{L_s}sign(\bar{i}_\beta)$$

$$\hat{e}_{\alpha1}=K_s sign(\bar{i}_\alpha)$$

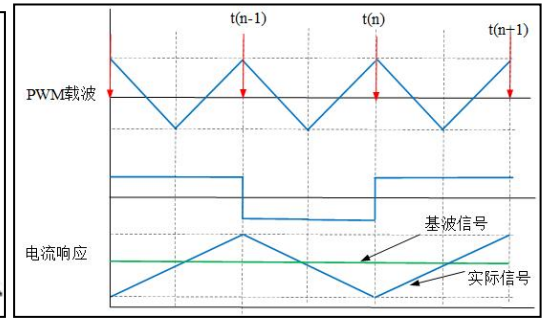
$$\hat{e}_{\beta1}=K_s sign(\bar{i}_\beta)$$



高频注入观测

$$\frac{d\hat{i}_{qh}}{dt}=\frac{\hat{u}_{dh}}{(L^2-\Delta L^2)}(-\Delta L)\sin(2\Delta\theta_e)$$

$$\Delta\theta_e=\frac{\frac{d\hat{i}_{qh}}{dt}(L^2-\Delta L^2)}{2\hat{u}_{dh}(-\Delta L)}$$

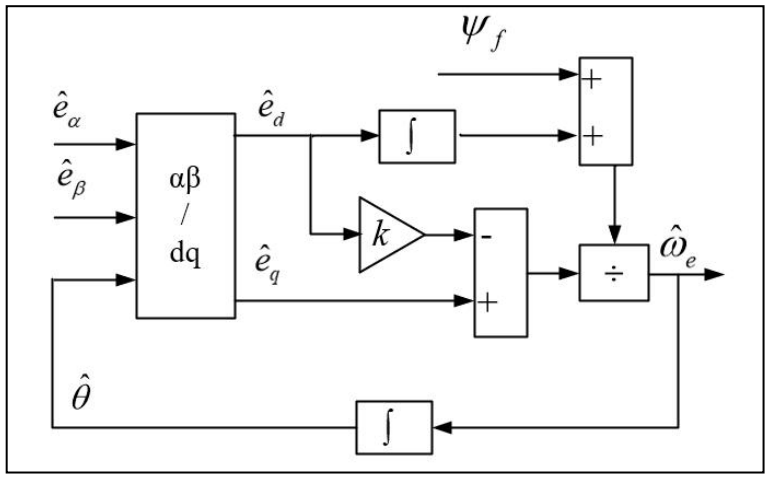


电机应用方案——PMSM

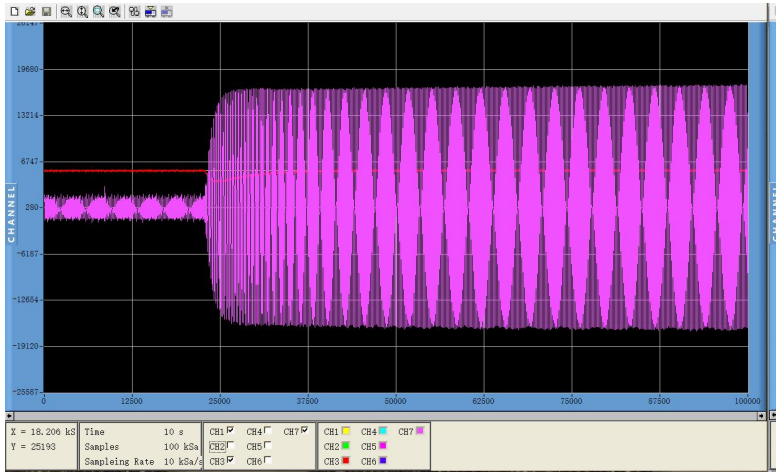
- **FOC**

旋转反电势观测方案

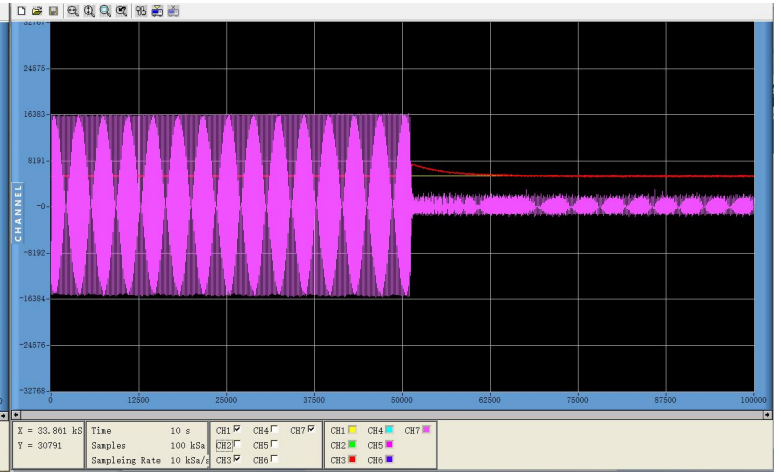
- ✓ 将Ed控制为0，则Eq中将全是磁链和同步速的因子；
- ✓ 只有一个参数需要调整，设计简单；
- ✓ 将观测器调整到临界阻尼状态，可满足大部分的应用需求；
- ✓ 0-100%负载冲击转速跌落为10%，恢复时间为0.8s，100%-0突减负载，转速抬升15%，恢复时间0.5s



观测器框图



额定负载突加测试



额定负载突减测试

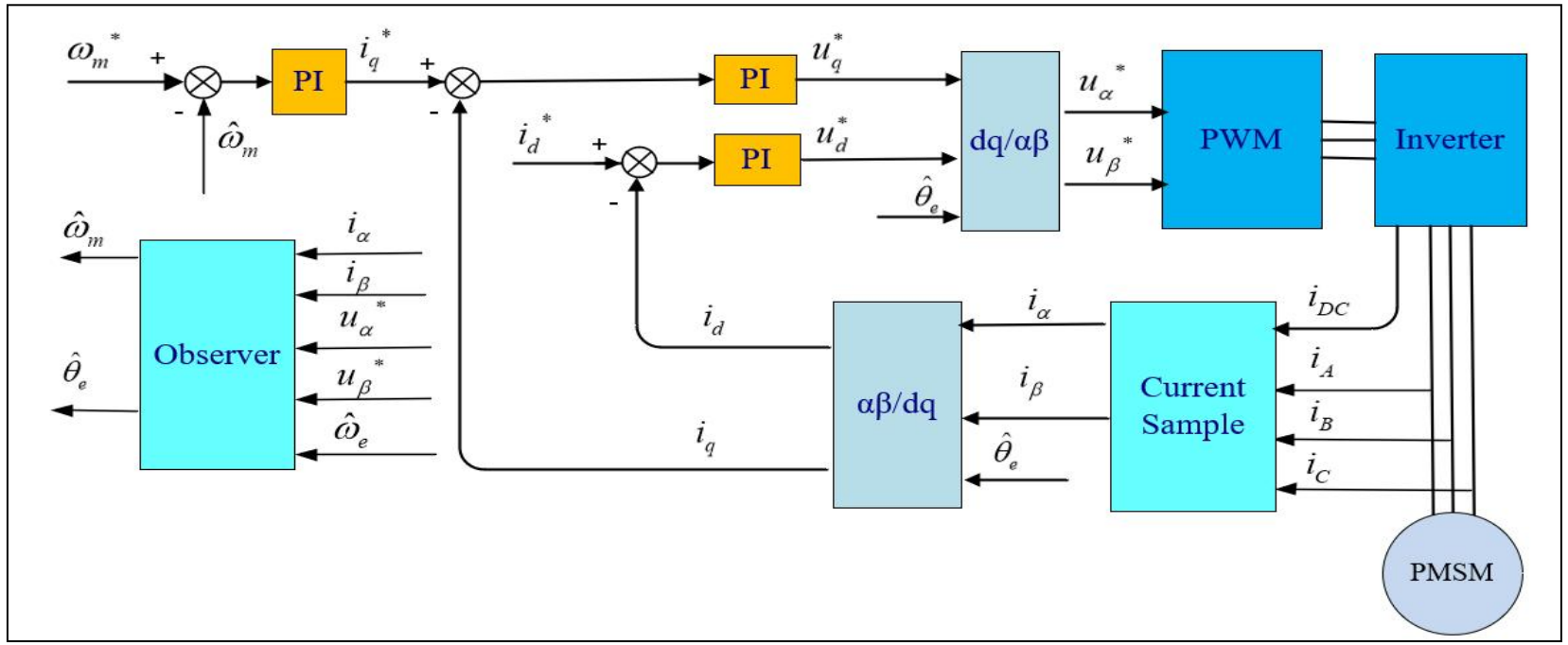
电机应用方案——PMSM

- **应用功能**

顺逆风启动
MPTA
弱磁
自适应减速
S曲线加减速
转速前馈
转矩前馈
跳频

- **安全防护**

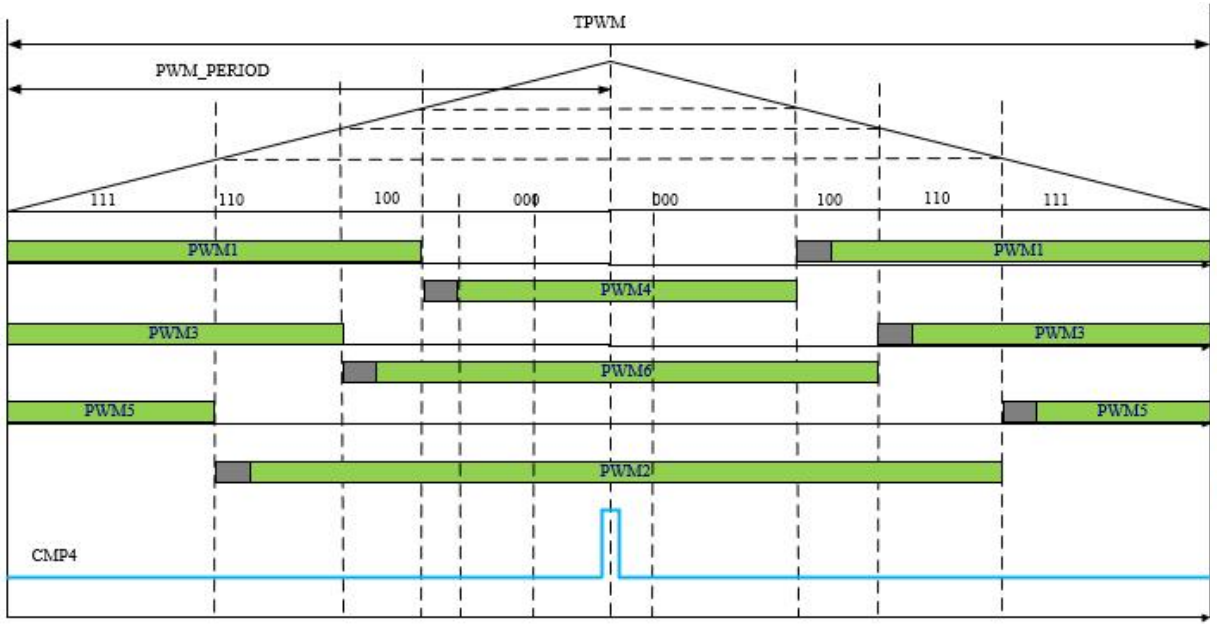
堵转
过压
欠压
过流
过温
缺相
超速
欠速



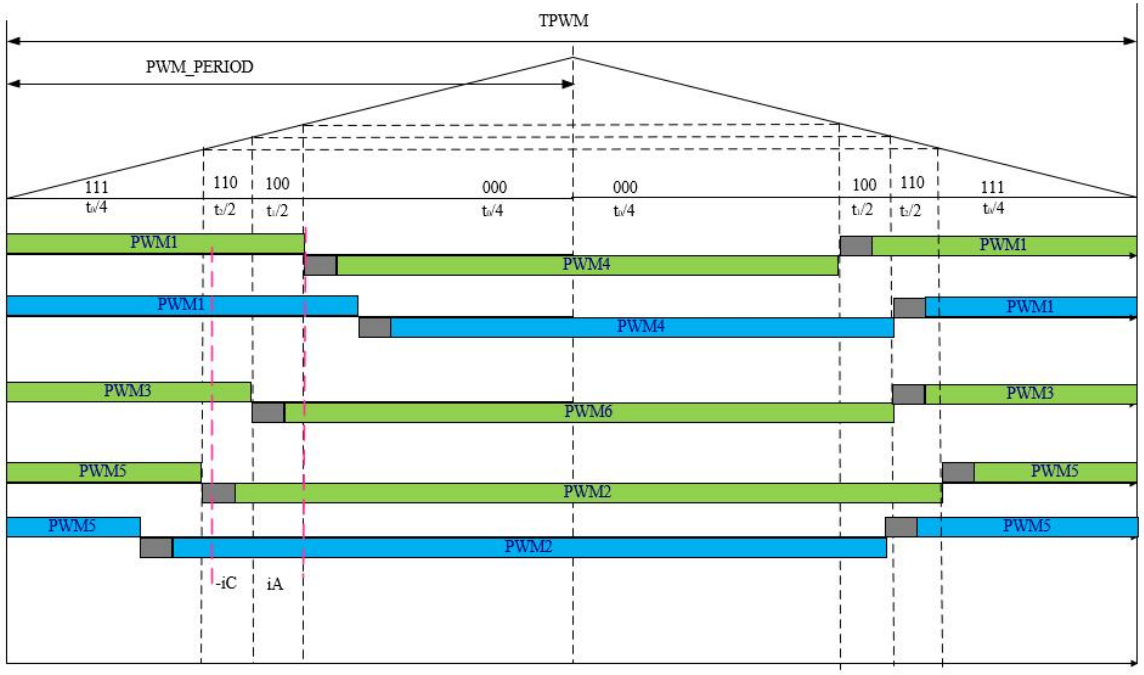
电机应用方案——PMSM

电流采样方案

- 支持三电阻，双电阻，单电阻采样
- 支持双电机运行



三电阻、双电阻采样

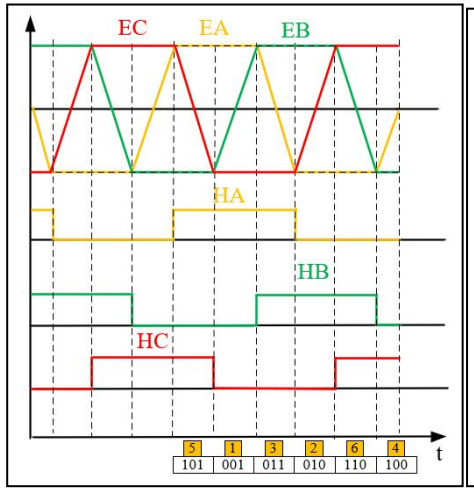


单电阻采样

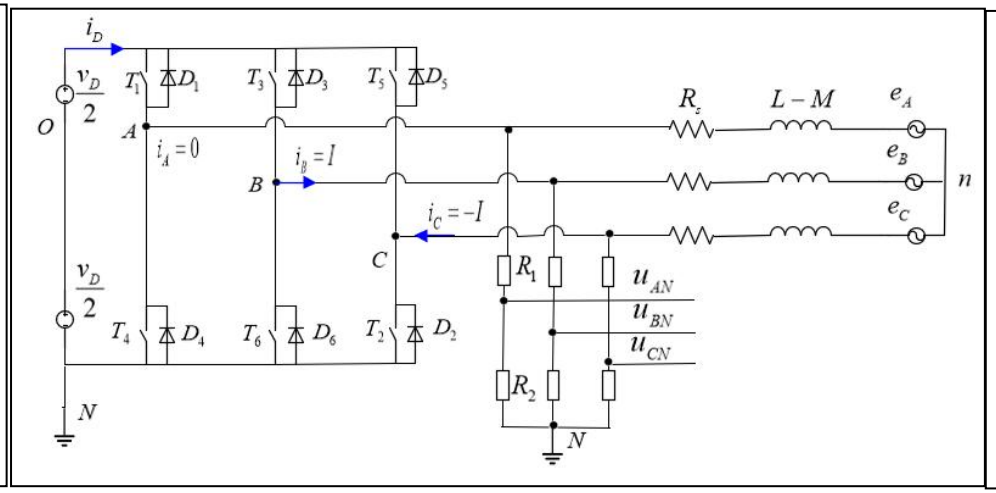
CH32系列MCU电机应用方案和案例

电机应用方案——BLDC

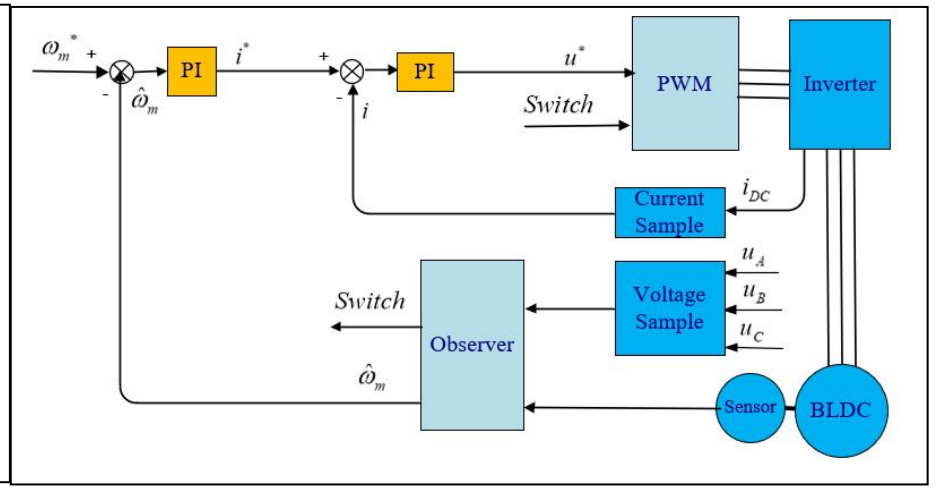
- **控制方案**
  - 方波+两相导通
    - HALL
    - Encoder
    - 无感
- **应用功能**
  - 顺逆风启动
  - 转矩前馈
  - 自适应减速
  - 跳频
  - S曲线加减速
  - 转速前馈
- **安全防护**
  - 堵转
  - 过压
  - 欠压
  - 过流
  - 过温
  - 缺相
  - 超速
  - 欠速



HALL有感方案



反电势过零检测无感方案



双闭环控制案

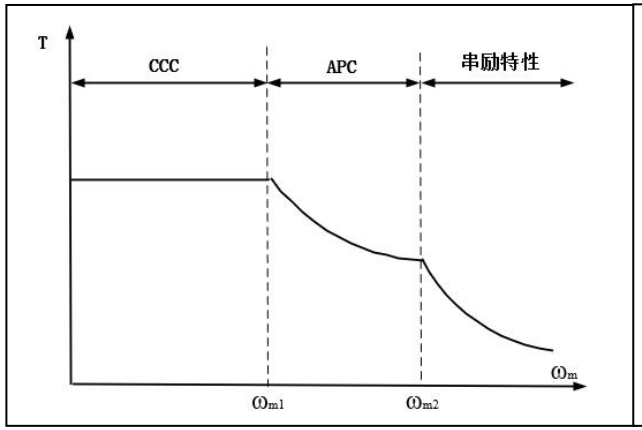
CH32系列MCU电机应用方案和案例

电机应用方案——SRM

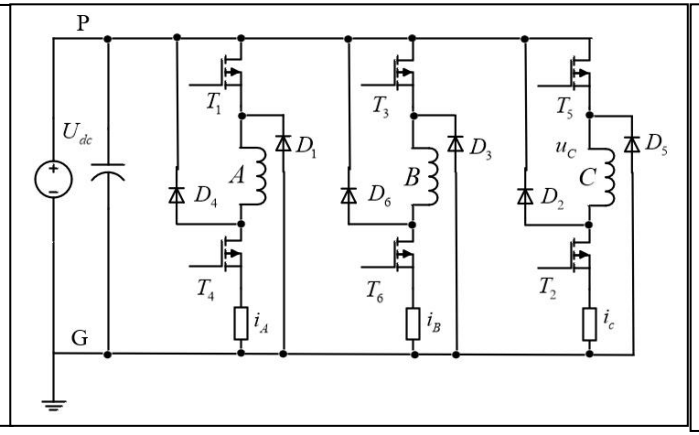
- **控制方案**
  - HALL
  - CCC+APC
  - 两步降噪

- **应用功能**
  - 顺逆风启动
  - 转矩前馈
  - 自适应减速
  - 跳频
  - S曲线加减速
  - 转速前馈

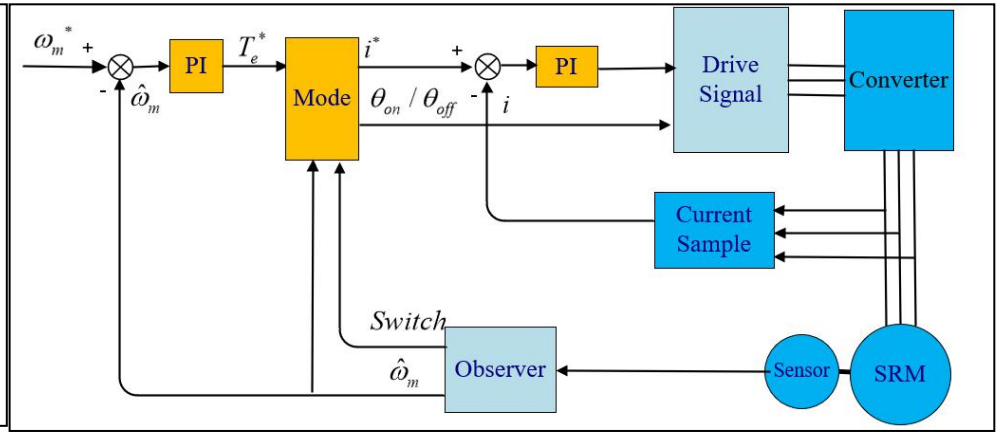
- **安全防护**
  - 堵转
  - 过压
  - 欠压
  - 过流
  - 过温
  - 超速
  - 欠速



机械特性



典型3相 6/4结构拓扑



双闭环控制案

电机应用方案——数学运算库和标幺单位系

- **自主开发数学运算库**

  支持32位浮点运算;

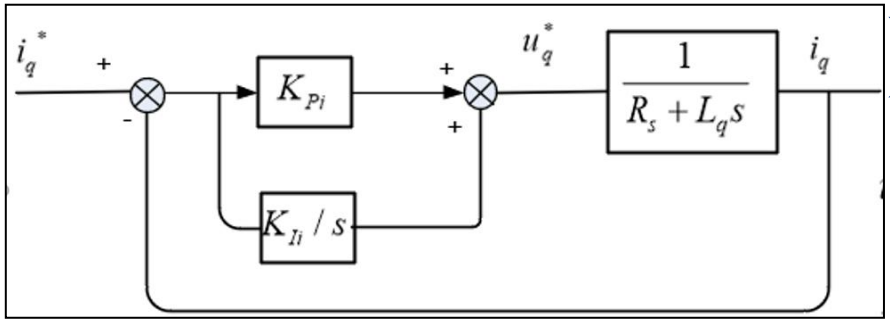
  定标精度和范围可灵活配置;

- **电机控制框架采用标幺单位系**

  核心算法数据以电机额定参数作为标准进行归一化;

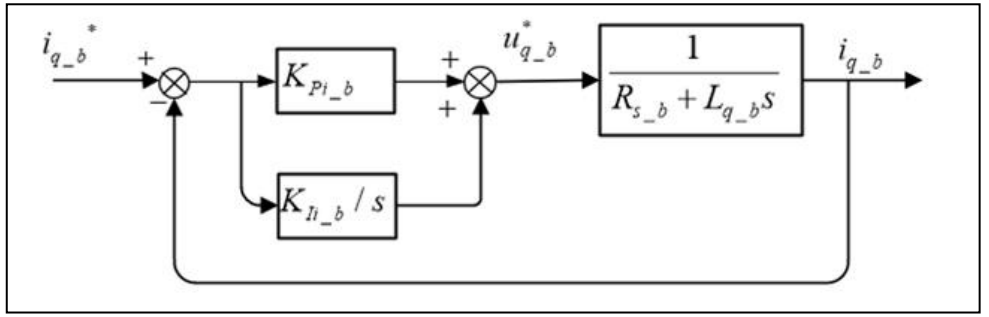
  核心运算部分不用考虑溢出问题;

  观测器、控制器参数意义更加直观明确，便于观察分析;



$$K_{Pi_b} = K_{Pi} \frac{I_{base}}{U_{base}}$$

$$K_{Ii_b} = K_{Ii} \frac{I_{base}}{U_{base}}$$



电机应用方案——单MCU多电机应用方案

- **优点**

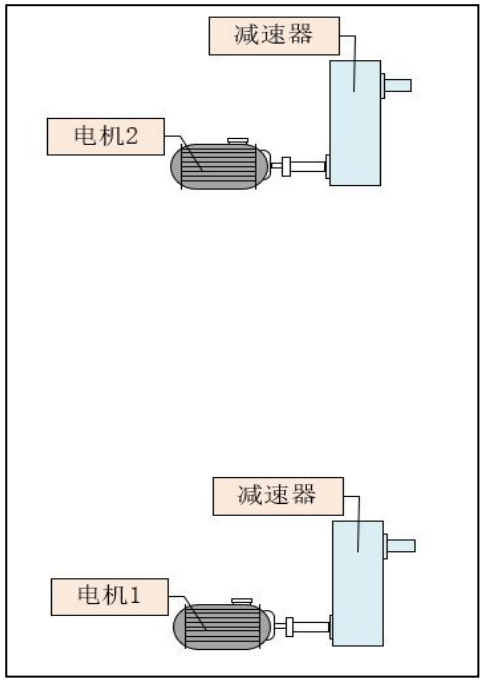
  - ✓ 降低MCU外部辅助器件和成本
  - ✓ 降低总体安装体积
  - ✓ 降低程序版本维护量
  - ✓ 无需额外辅助设备协调各个驱动机构的动作
  - ✓ 各执行机构之间无需信息交互，无信息传输的延迟

- **缺点**

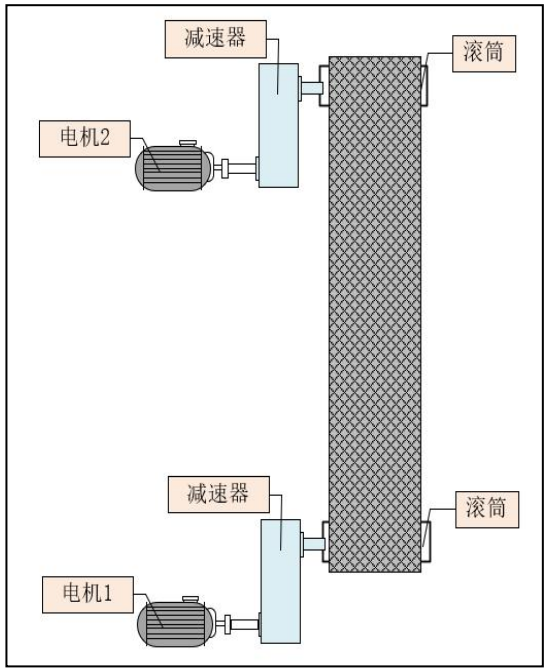
  - ✓ 容错能力降低

电机应用方案——单MCU多电机应用方案

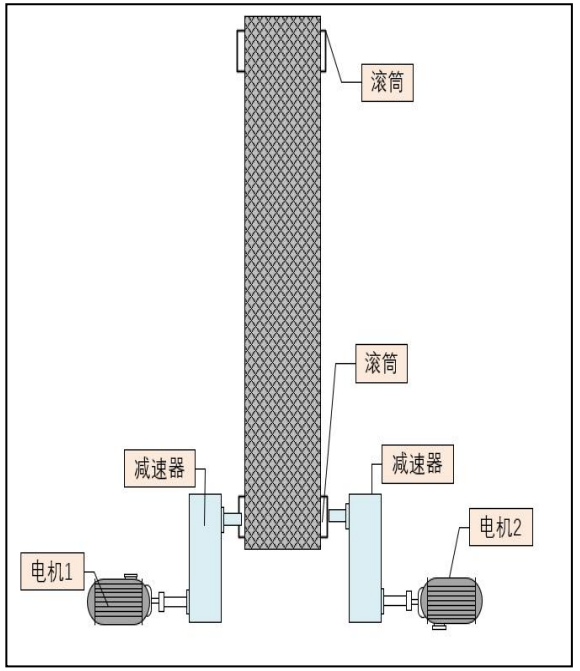
- 多电机应用耦合方式



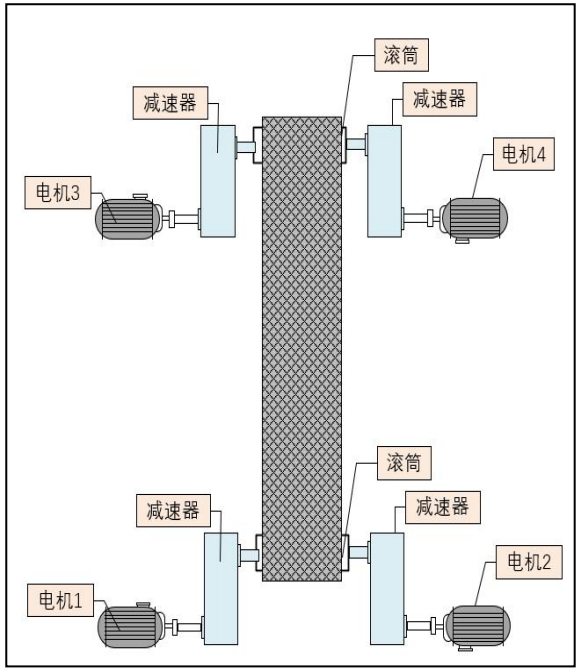
独立方式



柔性耦合方式



刚性耦合方式



混合耦合形式

电机应用方案——单MCU多电机应用方案

✓ **独立方式控制方案**

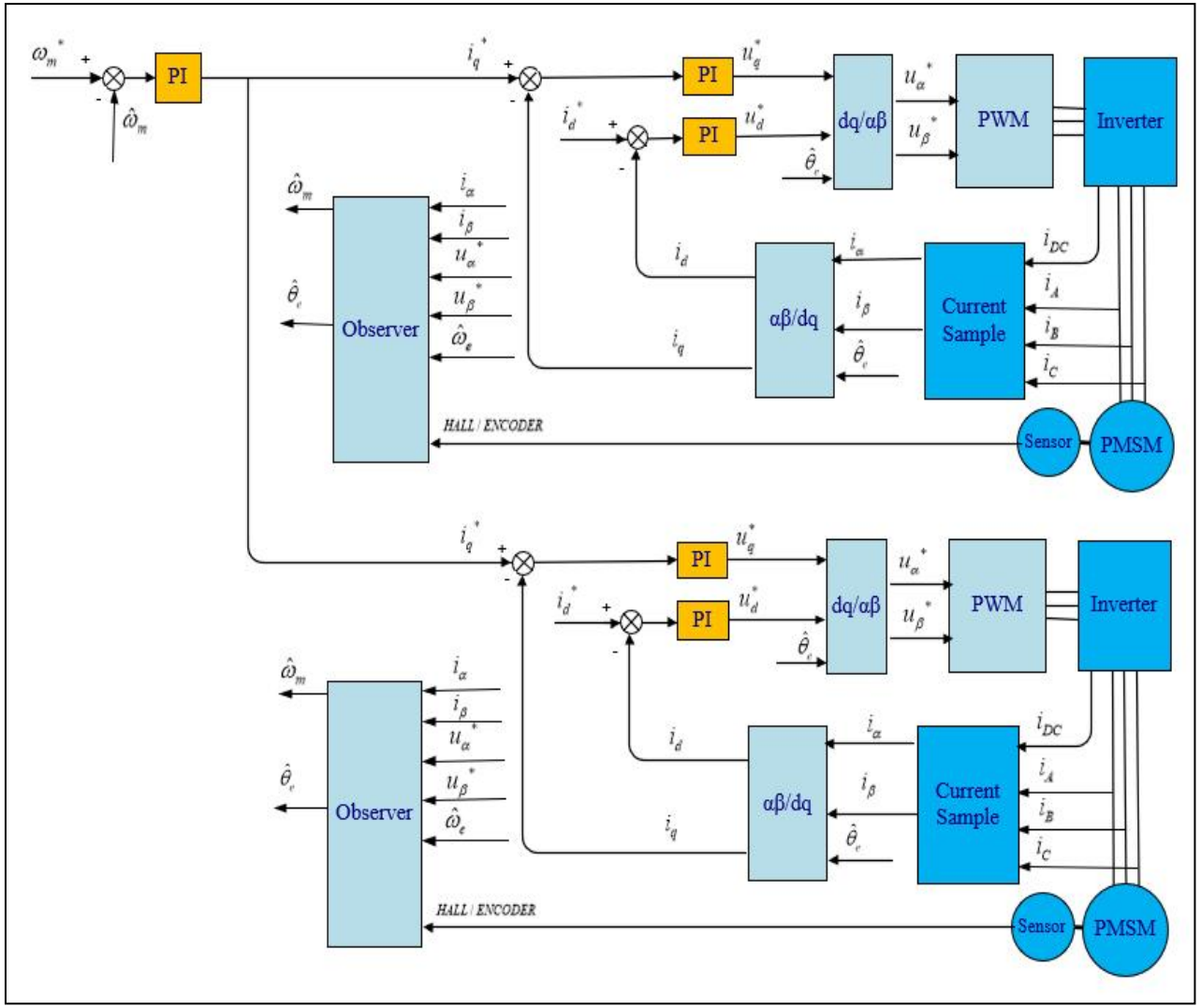
两台电机独立工作，不存在机械交叉耦合；

在保证高级定时器数量、ADC采样时间、计算时间满足需求的情况下，和单台控制没有大的区别；

✓ **机械耦合(刚性或柔性)方案**

采用转矩跟随控制，同时增加转速和母线电压的保护措施，防止飞车和能量回馈发生；

一般用于功率提升和冗余控制；



电机应用方案——完备测试环境

实时波形分析



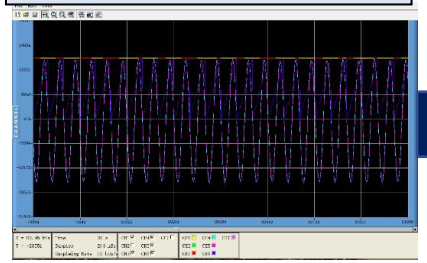
功率、谐波分析



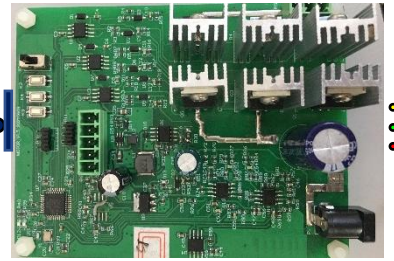
信号采集



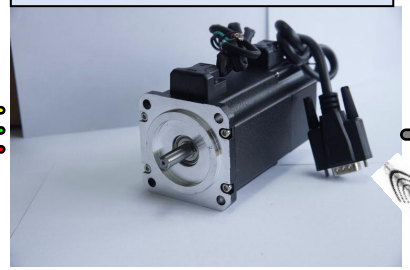
特性分析



驱动



电机





负载设备



热测试



转速粗侧



噪音测试

CH32 MCU 应用领域

沁恒通用MCU以其优异的性能和多元化的产品布局，已广泛应用于工业、家用电器、电动工具、消费电子、等领域。



工业



家电



电动工具



消费电子

应用案例——PMSM

- 风机水泵类应用案例
  - 参数

电机参数	
额定电压	24V
额定电流	1.1A
额定转速	1500rpm
极对数	4





CH32系列MCU电机应用方案和案例

应用案例——PMSM

- 风机水泵类应用案例——HALL有感FOC方案

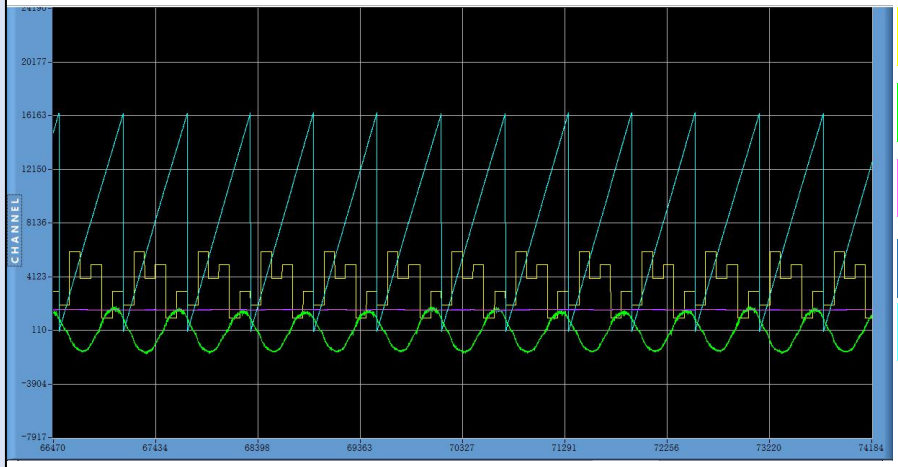
MCU

- ✓ CH32V103C8T6
- ✓ RISC-V青稞V3A处理器
- ✓ 主频72MHz
- ✓ 64k FLASH， 20k SRAM
- ✓ 高级定时器*1
- ✓ 通用定时器*3
- ✓ ADC*1
- ✓ GPIO-37
- ✓ USB2.0 FS
- ✓ USART, USB, I2C, CAN, SPI

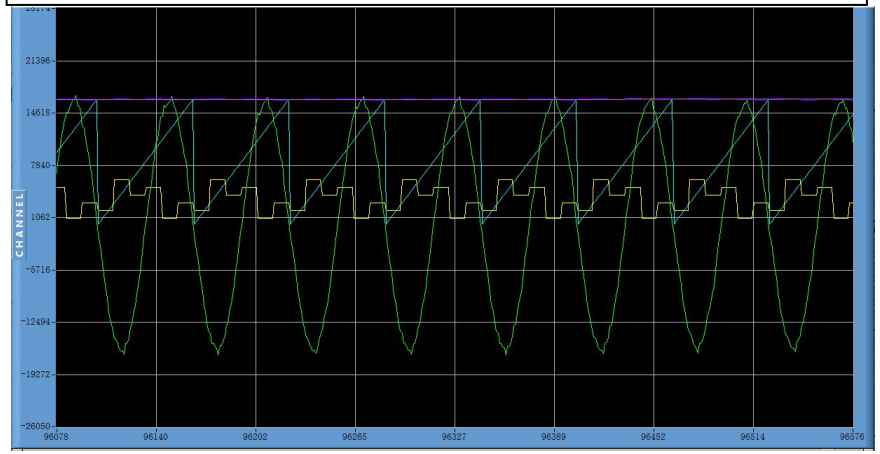
方案特点

- ✓ 双电阻采样
- ✓ 调速比30:1
- ✓ 稳态精度0.3%
- ✓ 动态波动范围0.8%
- ✓ 支持顺风、逆风启动
- ✓ 支持堵转再重启
- ✓ 运行平稳，静音、正反转平稳切换

50rpm



1500rpm



CH32系列MCU电机应用方案和案例

应用案例——PMSM

- 风机水泵类应用——无感FOC方案

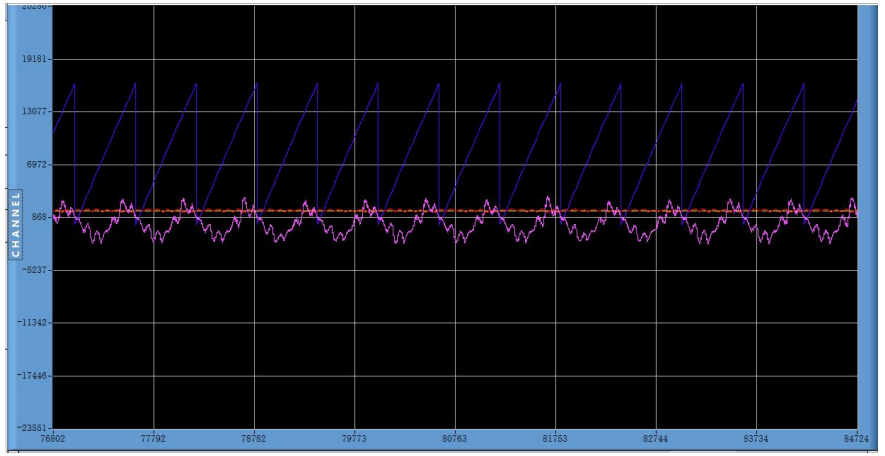
MCU

- ✓ CH32V203C8T6
- ✓ RISC-V青稞V4B微处理器
- ✓ 主频144MHz
- ✓ 64k FLASH
- ✓ 20k SRAM
- ✓ 高级定时器*1
- ✓ 通用定时器*3
- ✓ 12Bits ADC*2
- ✓ 内置OPA*2
- ✓ GPIO-37
- ✓ USB2.0 FS
- ✓ USART, USB, I2C, CAN, SPI

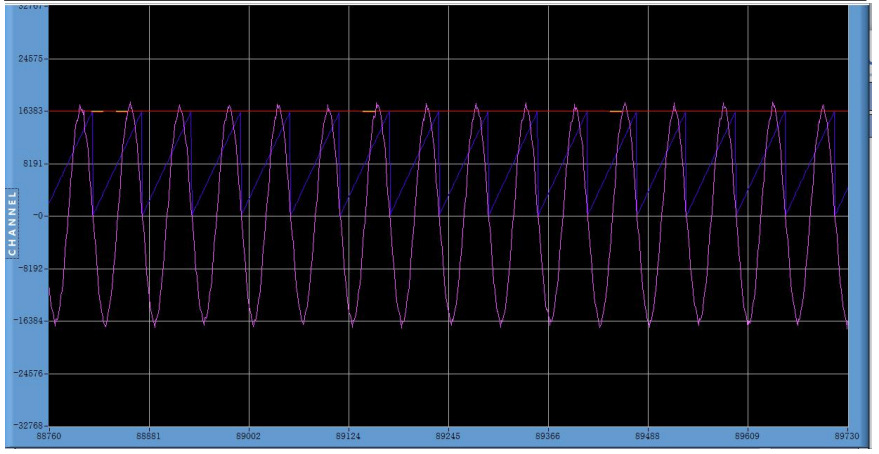
方案特点

- ✓ 旋转反电势观测+高频注入无感FOC
- ✓ 双电阻采样
- ✓ 调速比30:1
- ✓ 稳态精度0.3%
- ✓ 动态波动范围0.8%
- ✓ 支持顺逆风启动
- ✓ 支持堵转再重启
- ✓ 运行平稳，静音、正反转平稳切换

50rpm



1500rpm



转速给定

反馈转速

相电流

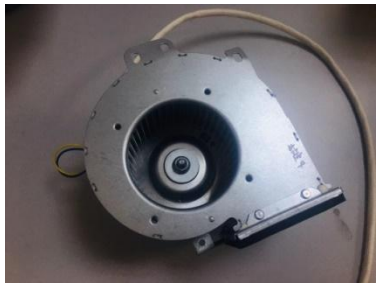
观测角度

应用案例——PMSM

- 双电机应用案例——无感、单电阻、FOC方案

电机类型	40V/60W，4对极，6000rpm
电流采样	单电阻
转速范围	600rpm-7500rpm
加速时间	3s
波动范围	1%
稳态精度	1%
功能要求	顺风启动、逆风启动







CH32系列MCU电机应用方案和案例

应用案例——PMSM

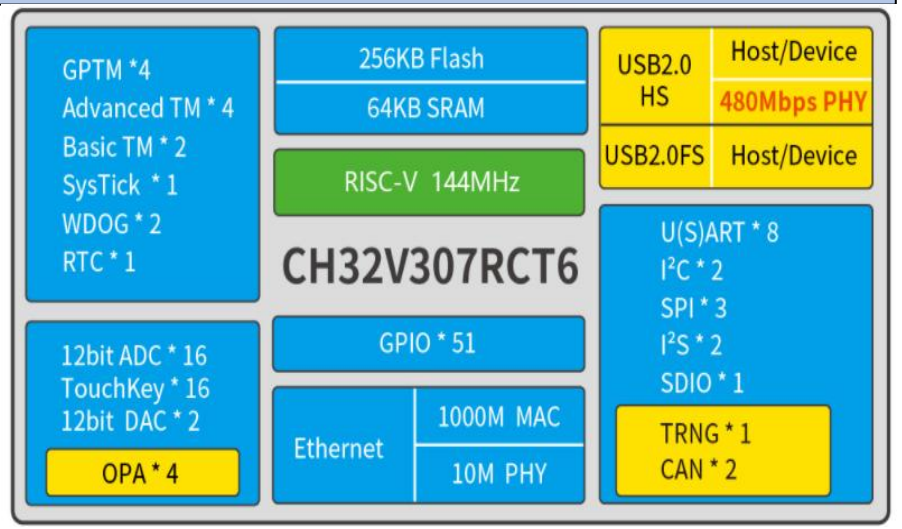
- 双电机应用案例——无感、单电阻、FOC方案

MCU

- ✓ CH32V307
- ✓ RISC-V青稞V4F微处理器
- ✓ 主频144MHz
- ✓ 256k FLASH
- ✓ 64k SRAM
- ✓ 高级定时器*4
- ✓ 通用定时器*4
- ✓ 12Bits ADC*2
- ✓ 内置OPA*4
- ✓ GPIO-80
- ✓ USB2.0 FS
- ✓ USART, USB, I2C, CAN, SPI

控制方案

- ✓ 无感FOC方案
- ✓ 全阶状态观测器
- ✓ 双高级定时器进行SVPWM控制
- ✓ 双通用定时器、8通道DAM控制PWM移相、电流环以及ADC的触发
- ✓ 1个通用定时器进行转速环处理
- ✓ 双ADC中断独立控制采样
- ✓ 采用特殊的PWM移相方案，规避两个电机采样之间的串扰



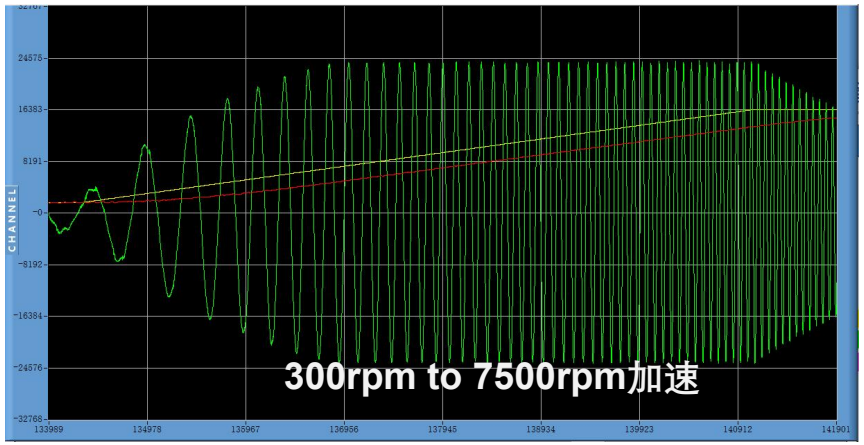


应用案例——PMSM

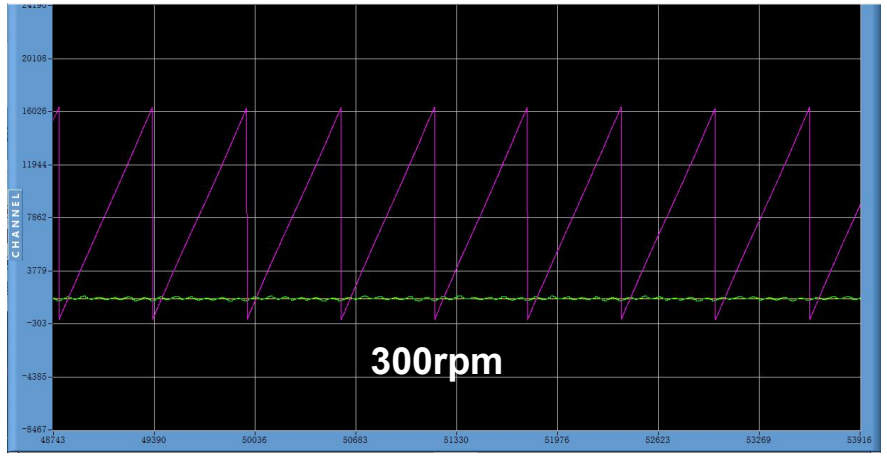
- 双电机应用案例——无感、单电阻、FOC方案

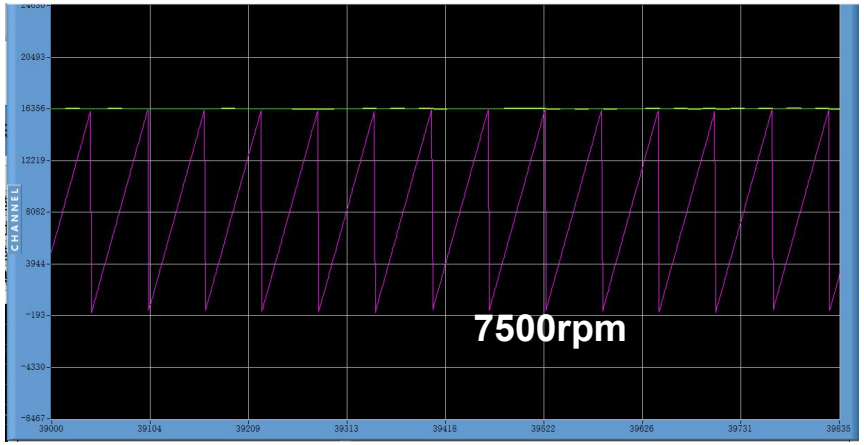
单机运行

转速范围	300rpm-7500rpm
加速时间	2.5s
波动范围	0.7%
稳态精度	0.3%
启动	静止、顺风、逆风都能顺利启动



转速给定
观测转速
A相电流





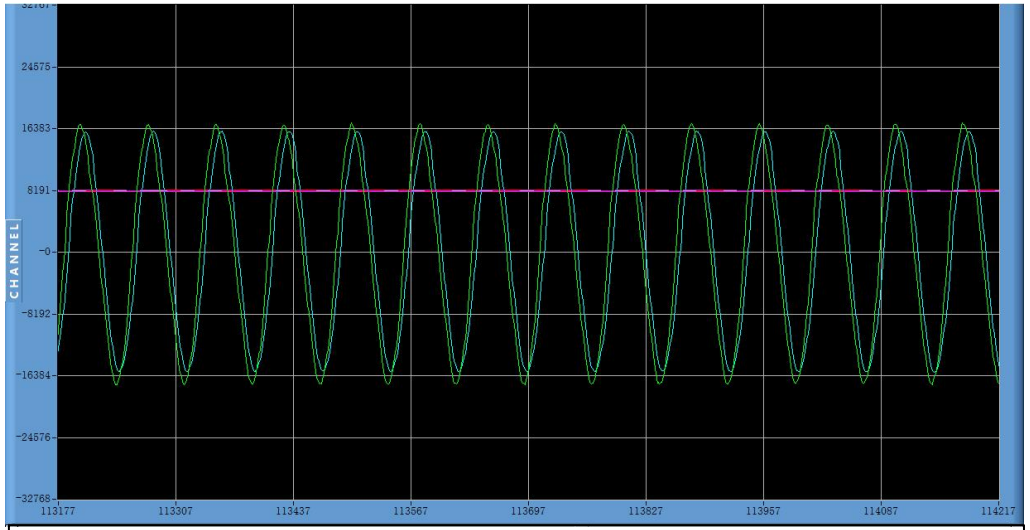
转速给定
观测转速
观测角度

应用案例——PMSM

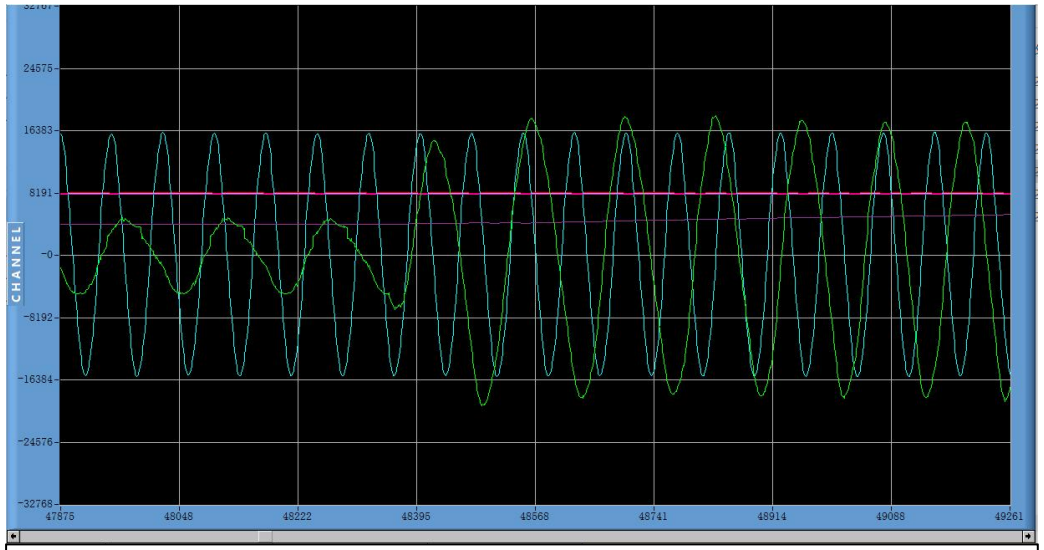
- 双电机应用案例——无感、单电阻、FOC方案

双机运行

- ✓ 双电机启动和运行完全独立；
- ✓ 双电机额定负载运行稳定，彼此没有串扰；
- ✓ 双电机负载突变，彼此没有串扰；



双电机额定负载稳态



双电机1台额定负载，1台50%负载阶跃

M1转速给定 | M1观测转速 | M1相电流 | M2转速给定 | M2观测转速 | M2相电流

CH32系列MCU电机应用方案和案例

应用案例——BLDC

● 电钻应用案例

电机参数	
额定电压	18V
额定电流	25A
额定功率	400W
额定转速	20000rpm
极对数	2

方案特点

- ✓ HALL有感方波控制;
- ✓ 稳态精度1%
- ✓ 动态波动范围1%
- ✓ 此方案可适用于电钻、电吹风、吸尘器等BLDC控制

MCU

- ✓ CH32V103C8T6
- ✓ RISC-V青稞V3A处理器
- ✓ 主频72MHz
- ✓ 64k FLASH， 20k SRAM
- ✓ 高级定时器*1
- ✓ 通用定时器*3
- ✓ ADC*1
- ✓ GPIO-37
- ✓ USB2.0 FS
- ✓ USART, USB, I2C, CAN, SPI





CH32系列MCU电机应用方案和案例

应用案例——SRM

● 料理机应用案例

电机参数	
额定电压	310V
额定功率	800W(峰值1000W)
额定转速	50000rpm
结构	三相 6/4



方案特点

- ✓ HALL有感方案
- ✓ 电流斩波控制+角度控制+两步法降噪
- ✓ 稳态精度1%
- ✓ 动态波动范围1%
- ✓ 此方案亦适用于破壁机、厨房家电等使用SRM的应用



MCU

- ✓ CH32V303
- ✓ RISC-V青稞V4F微处理器
- ✓ 主频144MHz
- ✓ 256k FLASH
- ✓ 64k SRAM
- ✓ 高级定时器*1
- ✓ 通用定时器*3
- ✓ 12Bits ADC*2
- ✓ 内置OPA*4
- ✓ GPIO-37
- ✓ USB2.0 FS
- ✓ USART, USB, I2C, CAN, SPI

CH32系列MCU电机应用方案和案例

应用案例——SRM

● 电动摩托车

电机参数	
额定电压	60-72V
额定功率	800-5000W
额定转速	4500rpm
结构	三相 6/4

方案特点

- ✓ HALL有感方案
- ✓ 电流斩波控制+角度控制+两步法降噪
- ✓ 稳态精度1%
- ✓ 动态波动范围1%



MCU

- ✓ CH32V303
- ✓ RISC-V青稞V4F微处理器
- ✓ 主频144MHz
- ✓ 256k FLASH
- ✓ 64k SRAM
- ✓ 高级定时器*1
- ✓ 通用定时器*3
- ✓ 12Bits ADC*2
- ✓ 内置OPA*4
- ✓ GPIO-37
- ✓ USB2.0 FS
- ✓ USART, USB, I2C, CAN, SPI

沁恒

04

CH32系列MCU电机应用选型

CH32系列MCU电机应用选型

	CH32V10xx	CH32V20xx		CH32V30xx
电机应用MCU系列	主频：80MHz FLASH：32 ~ 64K ADC:1/10 高级定时器：1 通用定时器：2 VDD:3.3V/5V	主频：144MHz FLASH：32 ~ 128K ADC:1 ~ 2/8 ~ 16 高级定时器：1 通用定时器：2 ~ 4 内置运放：1 ~ 2 VDD:2.5V/3.3V	CH32V203F8P6/G8P6 FLASH：64K ADC:2/9 高级定时器：1 通用定时器：4 内置运放：2 UARTt*1 USB*1 封装：TSSOP20/QSOP28	主频：144MHz FLASH：128 ~ 256K ADC:2/10 ~ 16 DAC:2 高级定时器：4 通用定时器：4 内置运放：4 VDD:2.5V/3.3V FPU
电机控制方案推荐选型	DC-斩波控制			
	PMSM-有感/无感FOC	PMSM-无感FOC(运算频率>20KHz)		PMSM-辅助功能复杂的FOC PMSM-有感/无感FOC/双电机
	BLDC-有感/无感方波 BLDC-有感/无感FOC	BLDC-无感FOC控制(运算频率>20KHz)		BLDC-辅助功能复杂的FOC BLDC-双电机
	SRM-有感/无感(运放外置)	SRM-无感(运算频率>20KHz)		SRM-有感/无感控制(运放内置) SRM-双电机应用
	IM-VF/有感/无感FOC	IM-无感FOC(运算频率>20KHz)		IM-双电机

沁恒

THANKS

感谢!