雅特力

AT32电机库示范讲解
- BLDC 无感控制

2.6 (四) 13:30-15:30 在线培训

主讲：电机应用软件资深工程师 林明赞 博士

雅特力 | AT32 MCU电机库应用培训

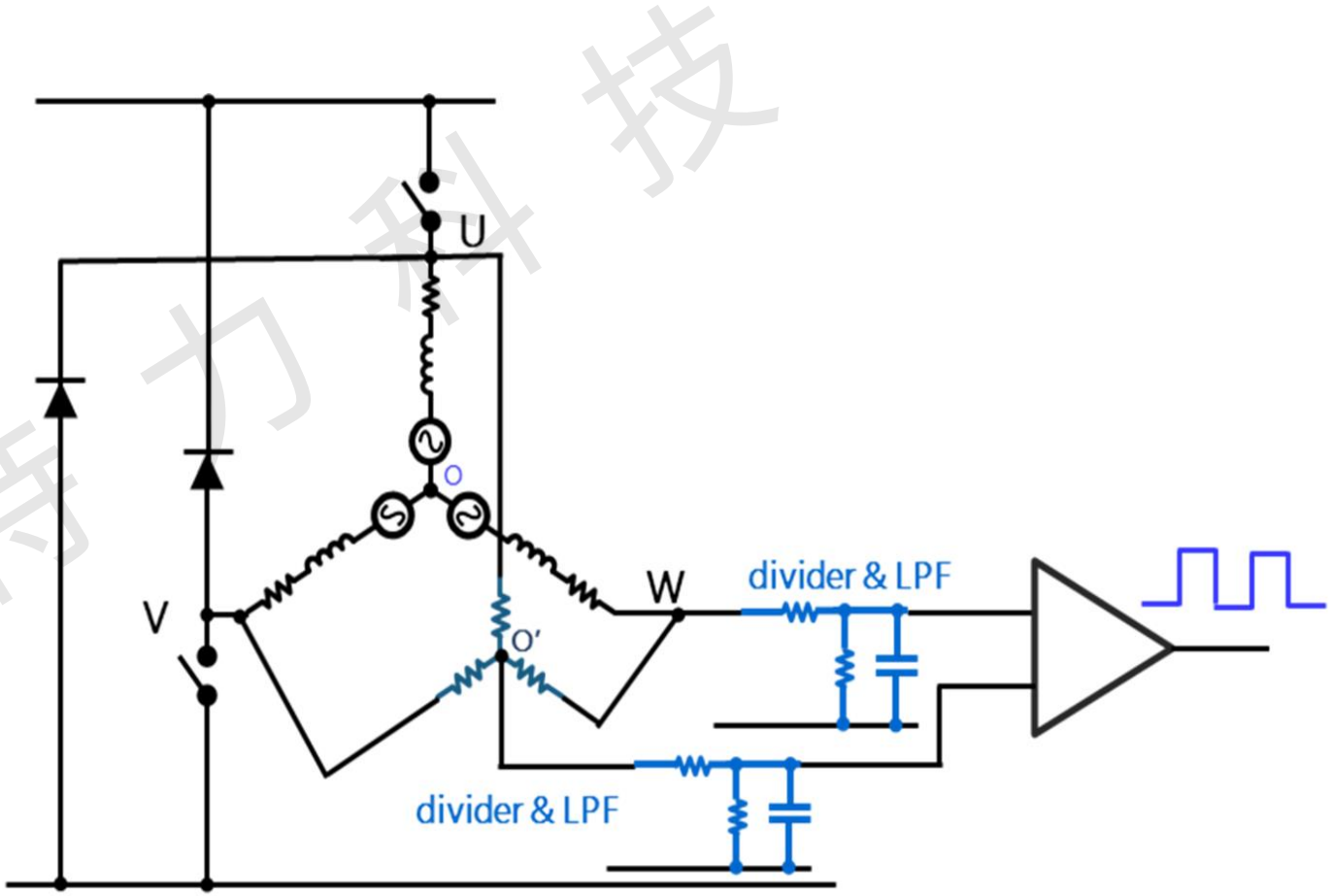
2025.02.06 活动议程

时间	主题	讲师
13:30 -14:30	BLDC无感控制原理与无感电机库架构解说	电机应用软件 资深工程师 林明赞 博士
中场休息		
14:40 -15:30	AT32 电机库BLDC无感控制快速上手操作解说	电机应用软件 资深工程师 林明赞 博士

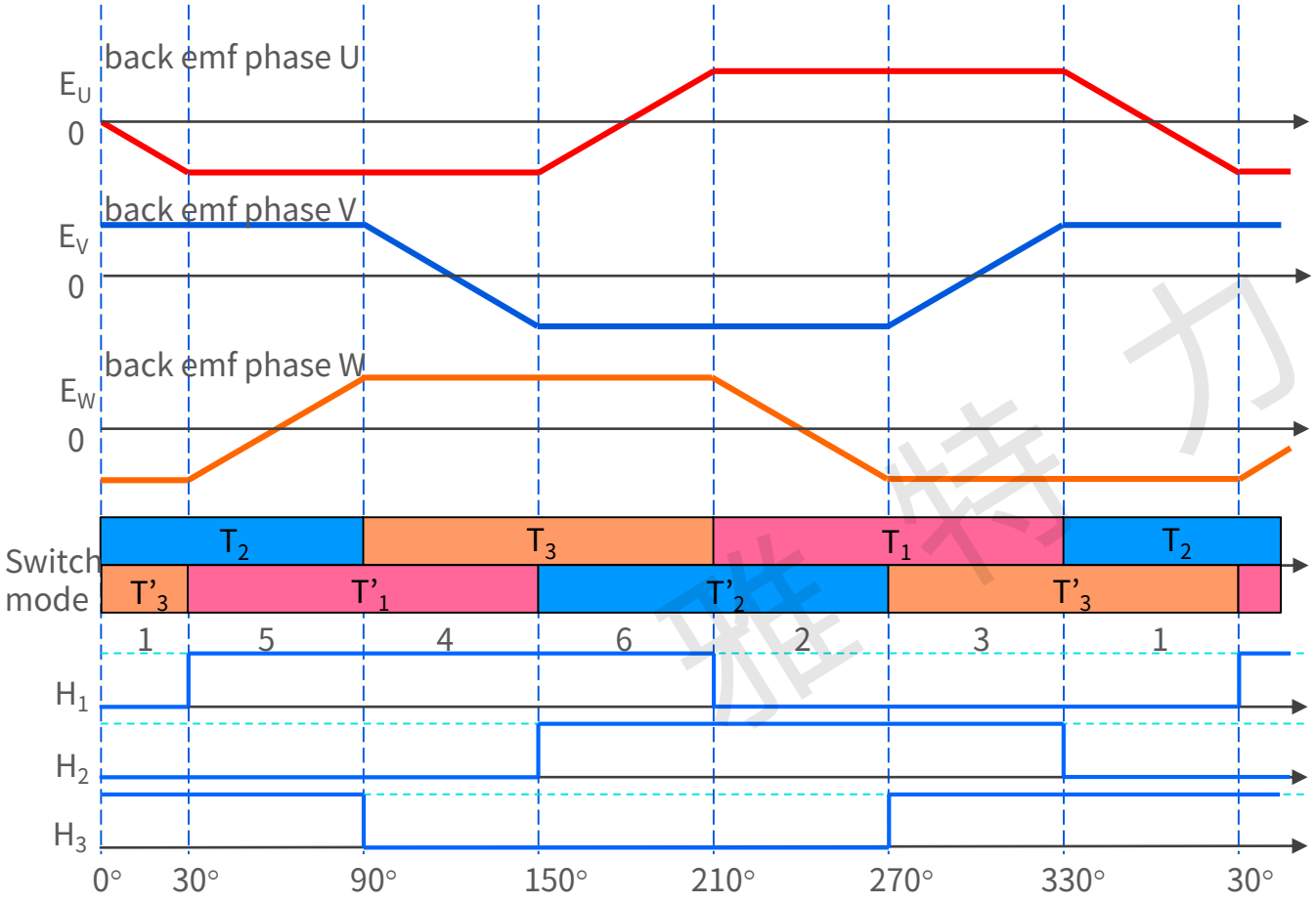
直流无刷电机
无感控制原理

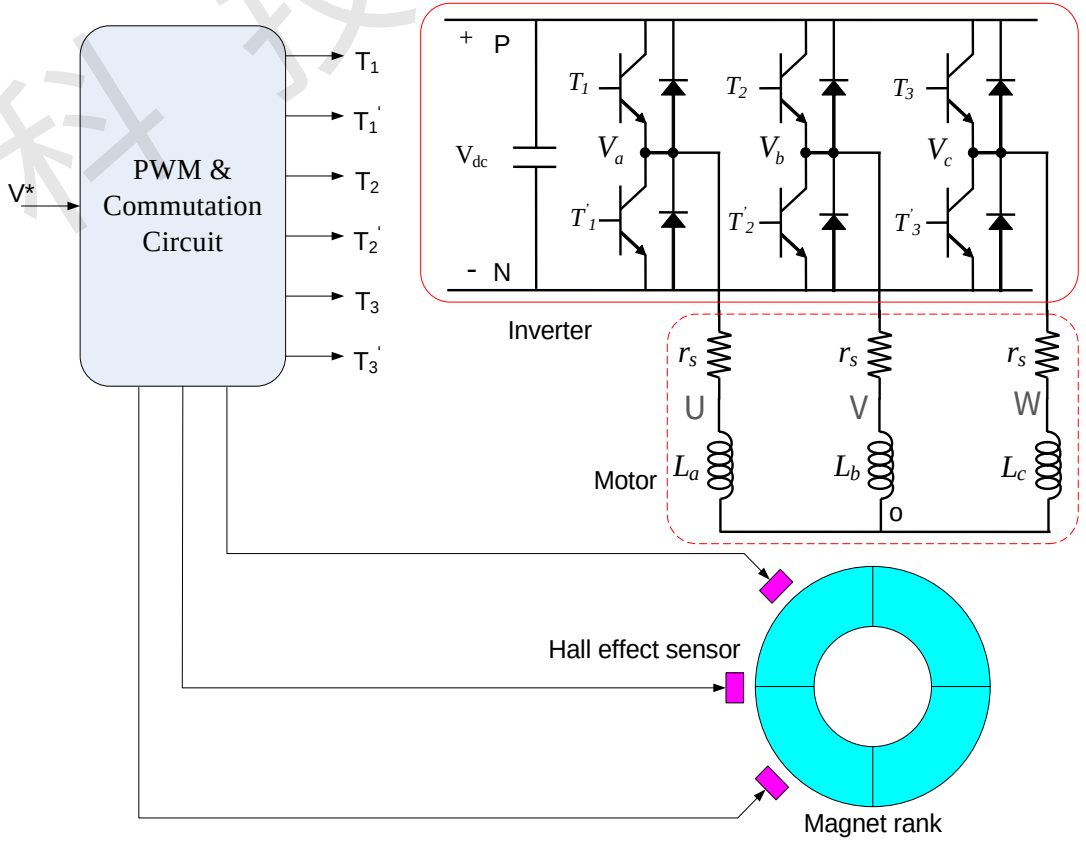
直流无刷电机无感控制

- 优点
  - 降低成本与简化接线
  - 提高可靠度
  - 适用于噪声干扰环境
- 缺点
  - 低速控制困难
  - 启动较困难
  - 换相误差较大



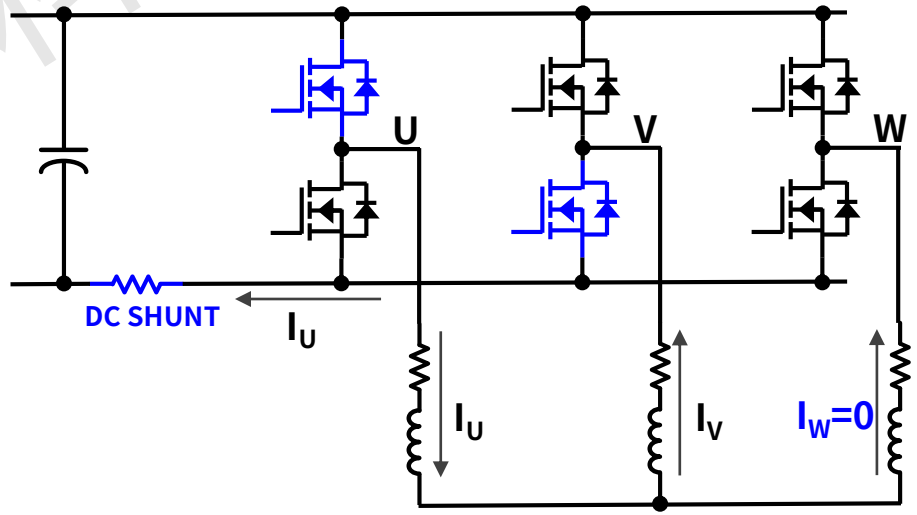
直流无刷电机120°导通换相 (6-Step)





直流无刷电机端电压

- 当开路相电流为零时可以量测到该相反电势



三相全桥驱动电路

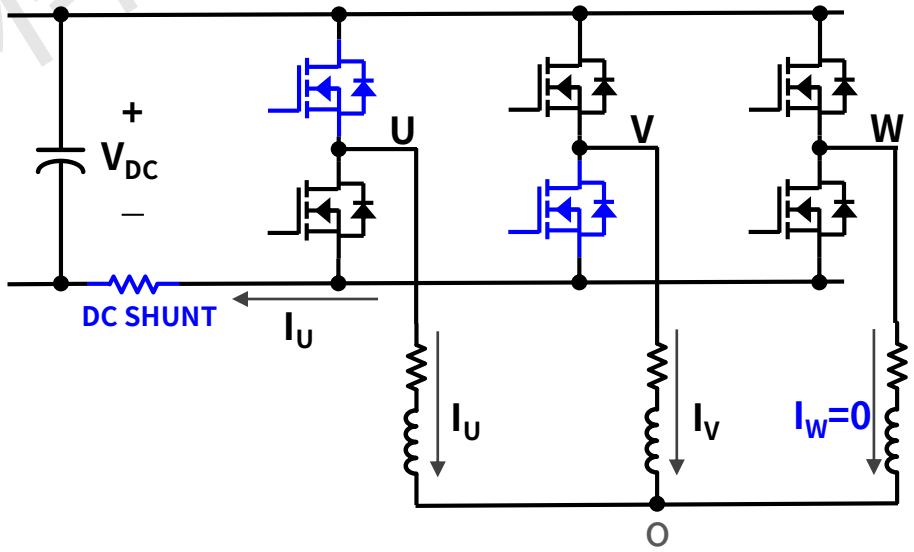
直流无刷电机120°驱动电气方程式

- 无刷电机三相电气方程式

$$V_{DC} = R\,I_U + L\,I_U/dt + e_U + V_o$$
$$0 = R\,I_V + L\,I_V/dt + e_V + V_o$$
$$V_W = e_W + V_o$$

- 因 $I_U = -I_V$ ，

$$V_{DC} = e_U + e_V + 2V_o$$
$$V_o = (e_W + V_{DC})/2$$
$$V_W = e_W + V_o$$



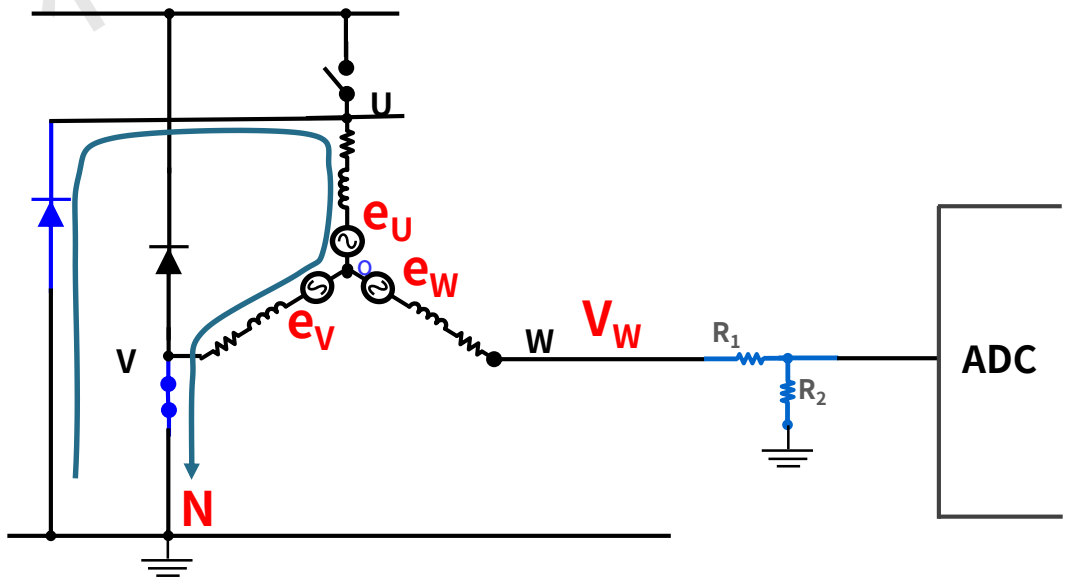
三相全桥驱动电路

ADC取样：在PWM OFF时侦测反电势

- 在低速时PWM占空比较小，故可选择在PWM OFF时侦测反电势

PWM OFF 时的等效方程式

$$0 = e_U + e_V + 2V_o$$
$$V_o = -(e_U + e_V)/2$$
$$V_o = (e_W)/2$$
$$V_W = e_W + V_o = 1.5\, e_W$$

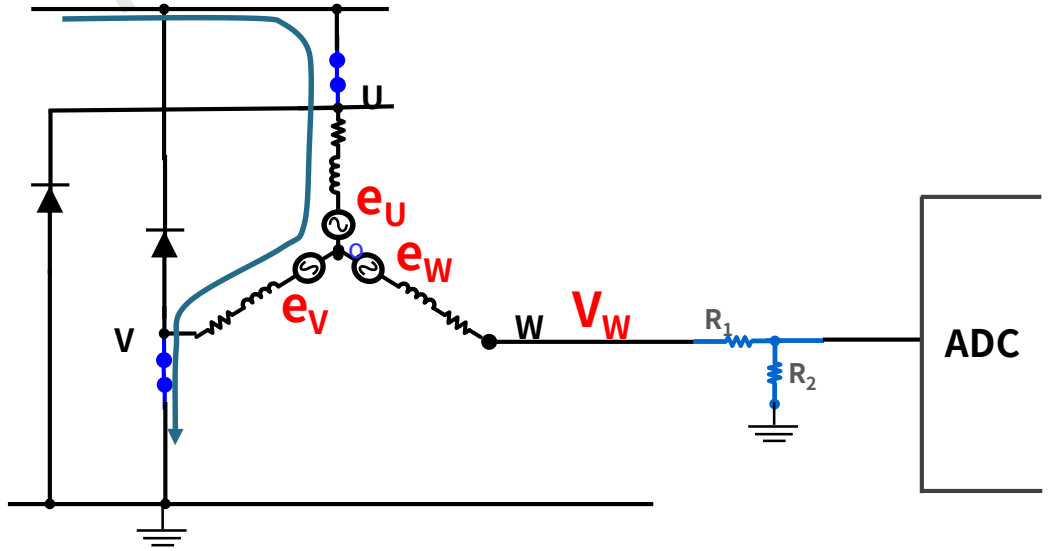


ADC取样：在PWM ON时侦测反电势

- 在高速时PWM占空比较大，故可选择在PWM ON时侦测反电势

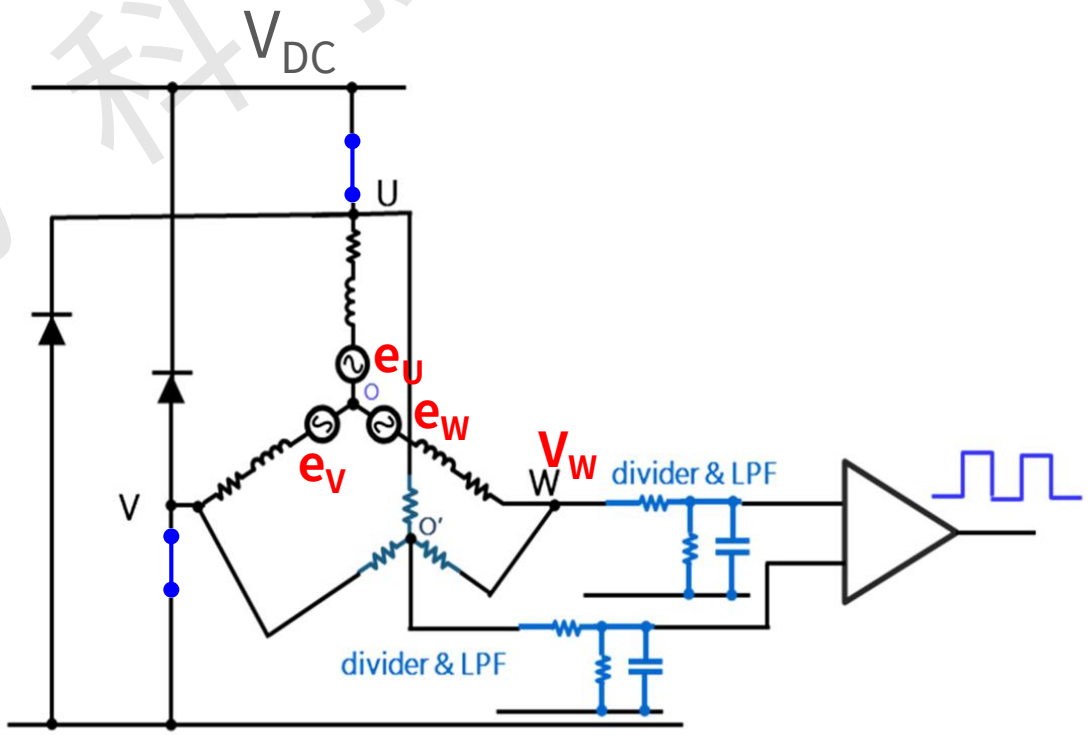
PWM ON 时的等效方程式

$$V_{DC} = e_U + e_V + 2V_o$$
$$V_o = -(e_U + e_V)/2 + V_{DC}/2$$
$$V_o = (e_W)/2 + V_{DC}/2$$
$$V_W = e_W + V_o = 1.5\, e_W + V_{DC}/2$$



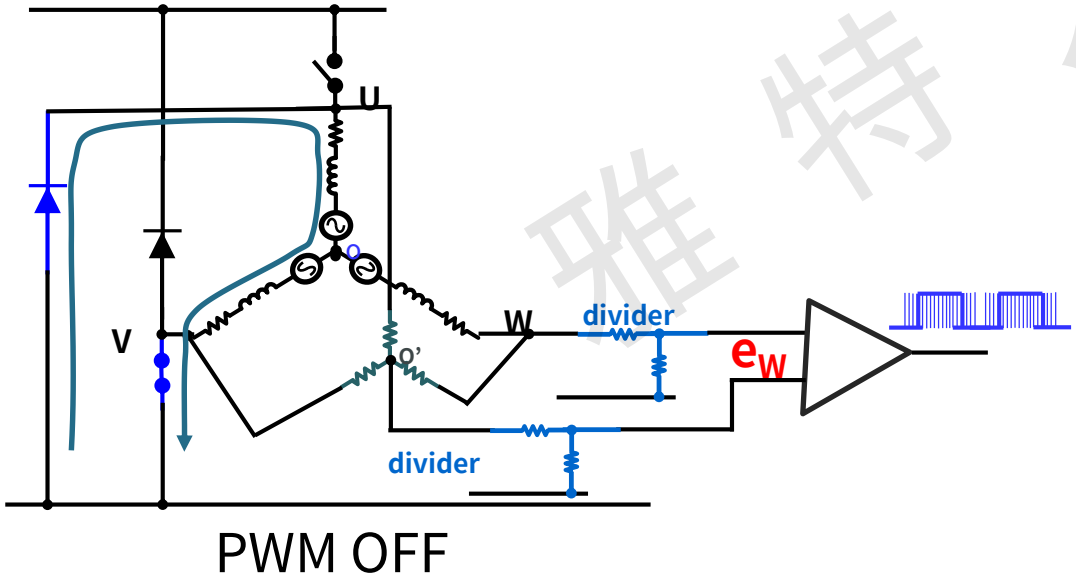
虚拟中性点比较法

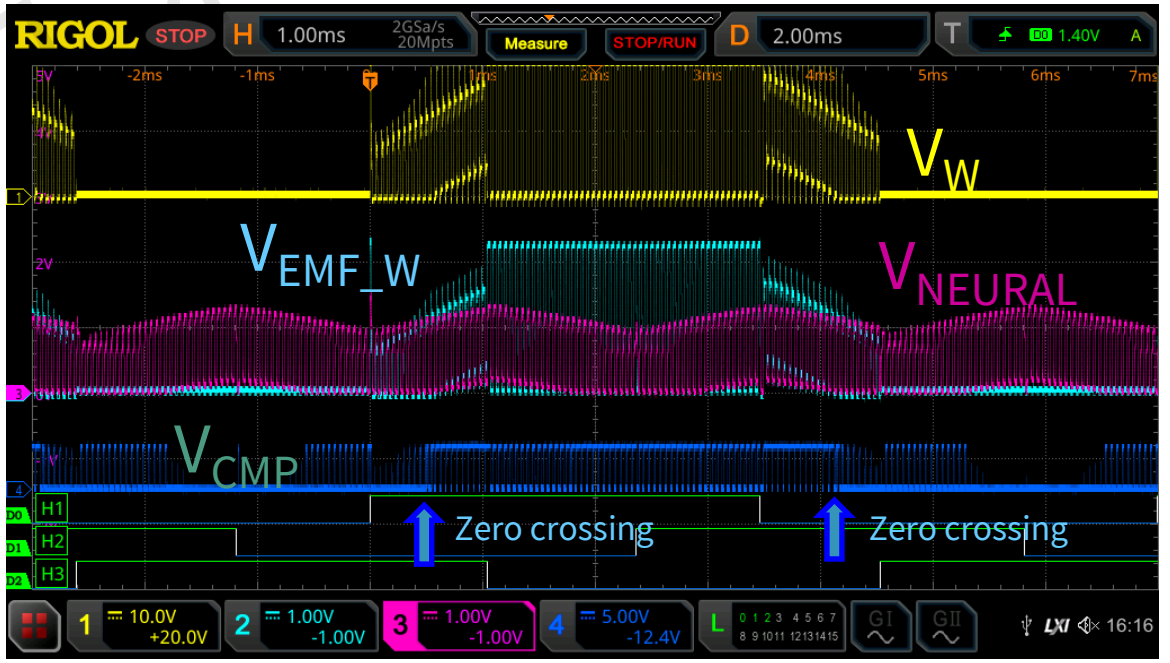
- 虚拟中性点方程式
  - $V_{o'} - V_{DC} + V_{o'} + V_{o'} - V_W = 0$
  - $3V_{o'} = V_{DC} + V_W$
  - $3V_{o'} = e_U + e_V + 2V_O + e_W + V_O$
  - $3V_{o'} = 3V_O$
- 开路相与虚拟中性点比较
  - $V_W = V_O + e_W$
  - $V_{o'} = V_O$
  - $V_W - V_{o'} = e_W$



无电容滤波的比较器侦测方法

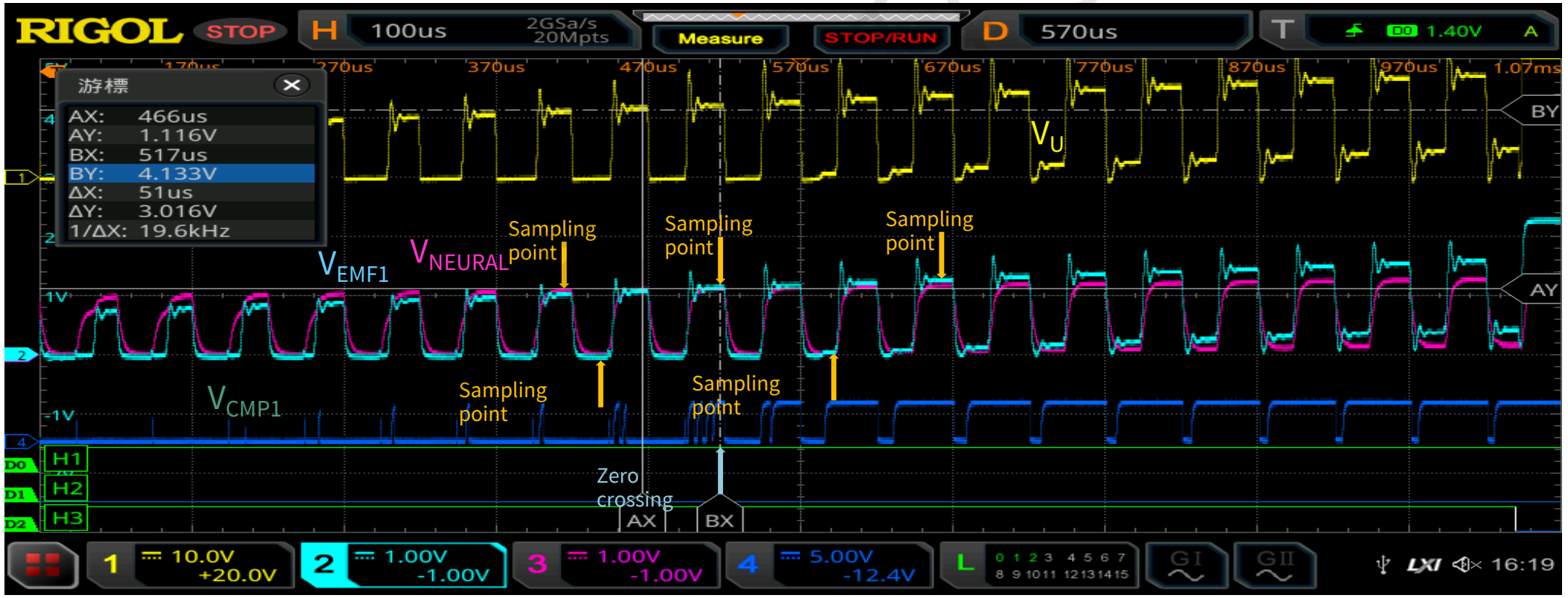
- 因电机线圈与感测电路阻抗差异，浮接相与虚拟中性点间的电压无法同相位
- 比较器输入信号经RC滤波后，输出可得方波换相讯号，但高转速时换相时信号会有相位延迟
- 此时比较器输出带有PWM切换噪声
- 须适当选择取样时机，避开切换噪声





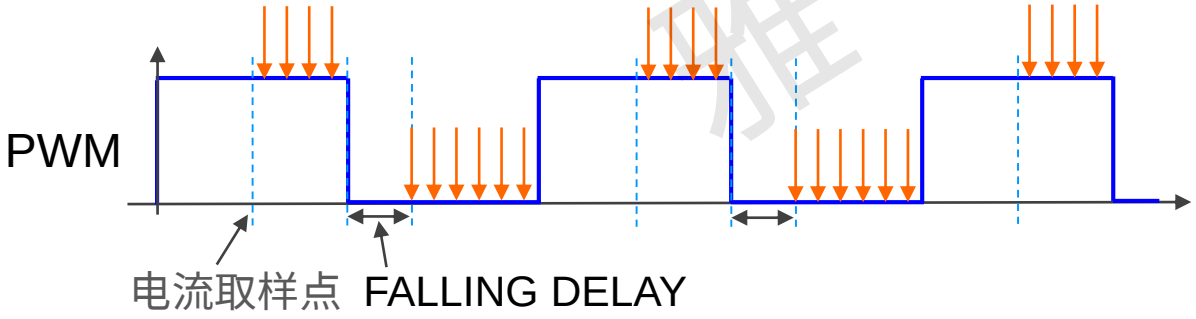
比较器侦测时机

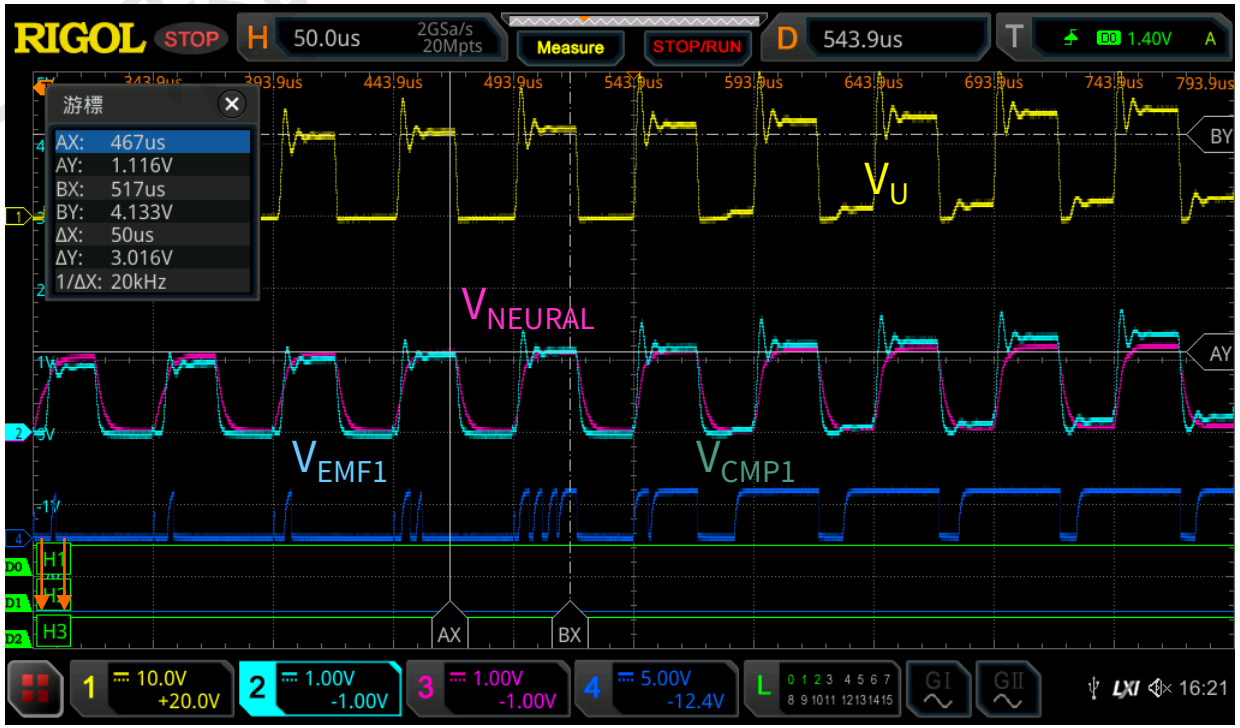
- PWM 占空比较小时，令取样点接近于 PWM (PWM OFF)周期结束点
- PWM 占空比较大时，令取样点接近于 PWM ON结束点



连续读取比较器输出

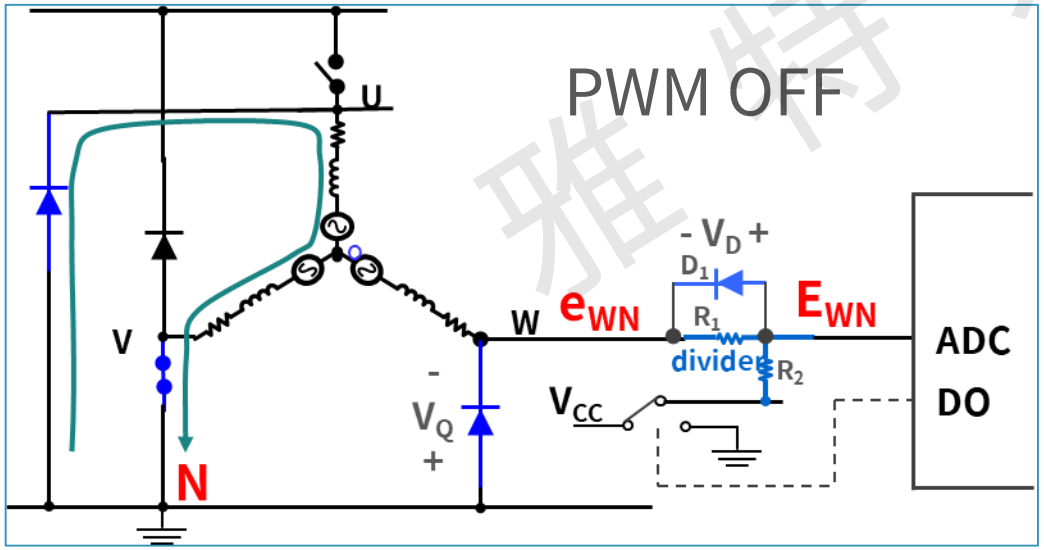
- 针对换相频率较高的高转速电机，可选择连续读取比较器输出
- 读取时机
  - PWM ON : 电流取样后
  - PWM OFF： PWM OFF后经一段时间延迟
  - 连续读取间隔时间可设定

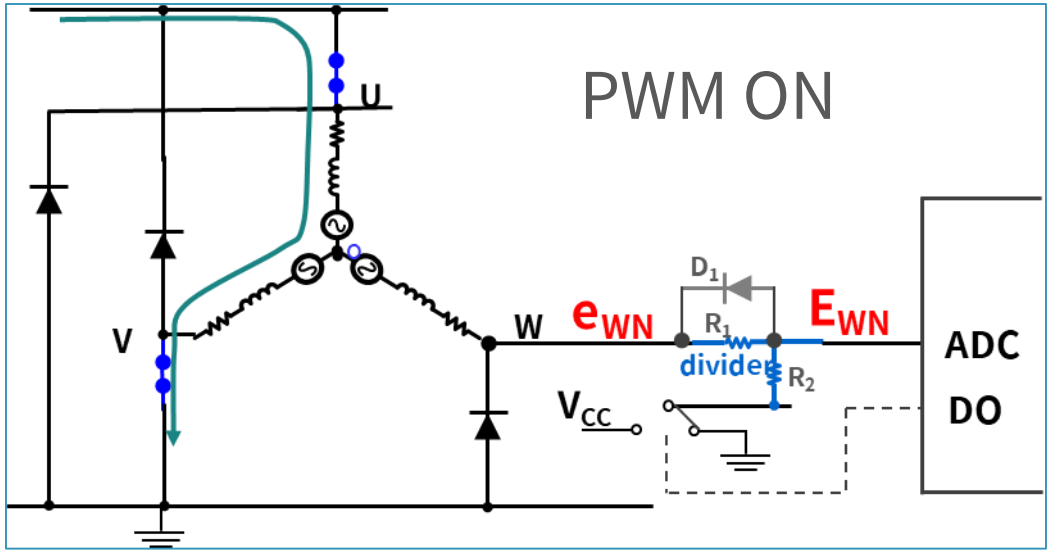




专利技术 – BLDC 无感ADC取样低速控制

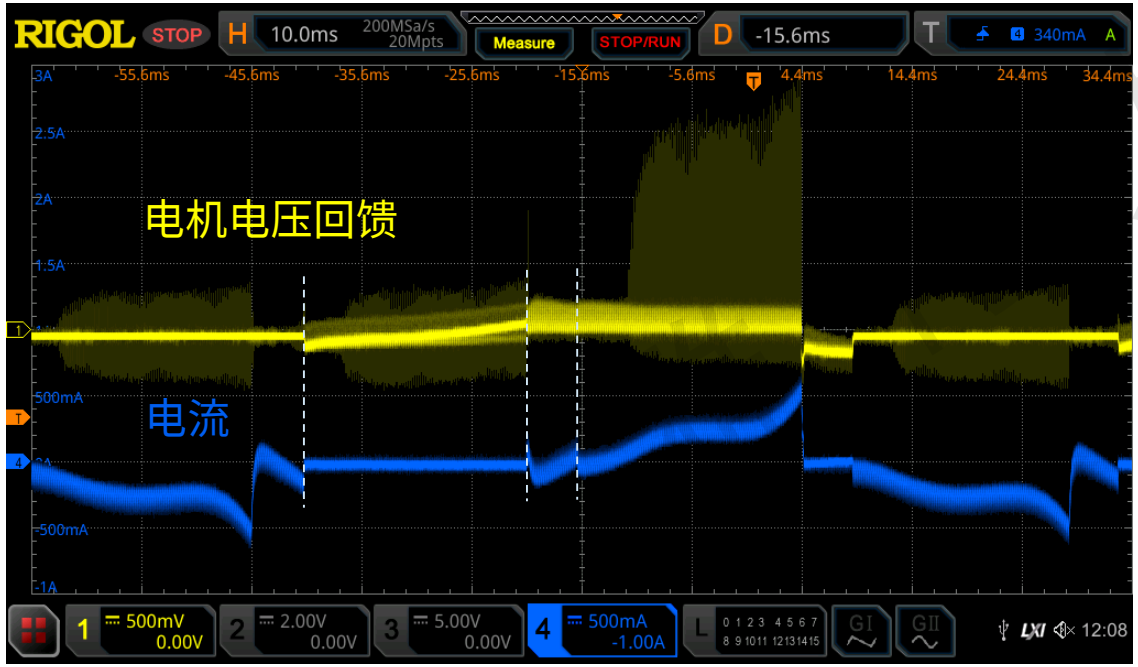
- 一般电机反电势须经分压后，才能由ADC采样侦测过零点
- ADC无法侦测负电压、低速时反电势小，零交越点侦测不准确
- **专利电路设计** - 于分压电阻R_1并联二极管D_1，R_2经开关连接V_{CC}电源或接地
  - PWM OFF时， R_2经开关接V_{CC}，二极管旁路R_1提高感测电压信号与位准
  - PWM ON时， R_2经开关接地，二极管截止，电路恢复为传统分压感测电路





专利技术 – BLDC 无感ADC取样低速控制

- 传统感测电路因输出的反电势电压小，零交越点侦测不准确，换相不稳定
- 专利电路可提升零交越点电压位准且不衰减反电势信号，换相准确稳定



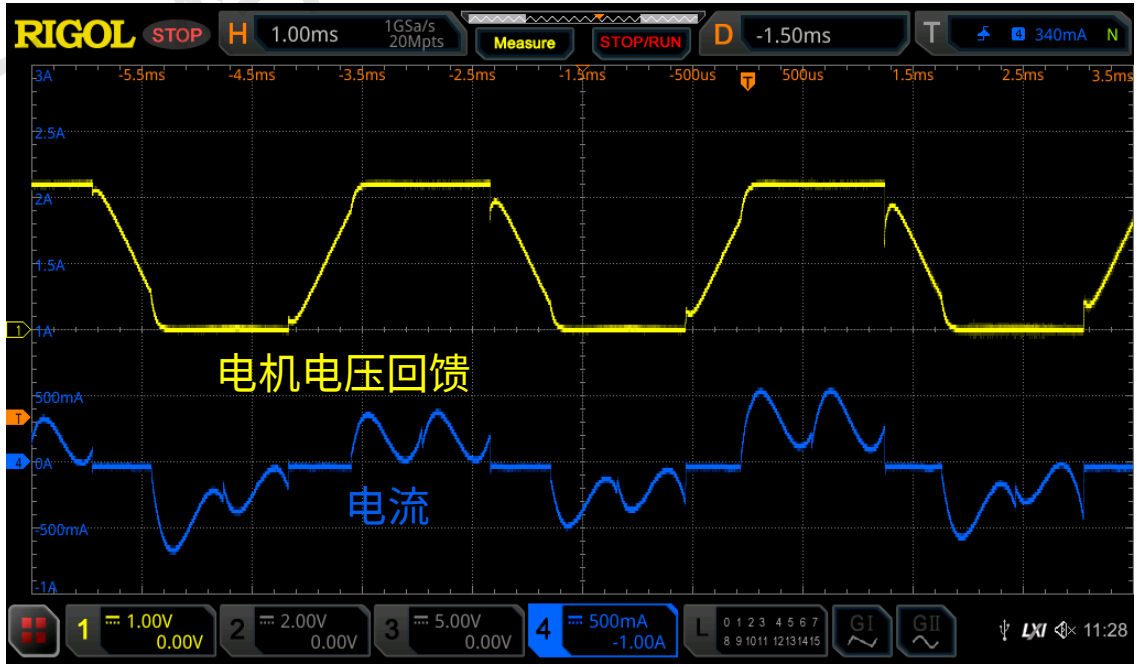
传统感测电路在 200 rpm下无感控制响应

专利感测电路在 200 rpm下无感控制响应

专利技术 – BLDC 无感ADC取样低速控制

- 专利电路可根据PWM占空比状态，决定分压电路连接VCC电压或者接地
- 可适用宽范围的高低速无刷电机转速控制

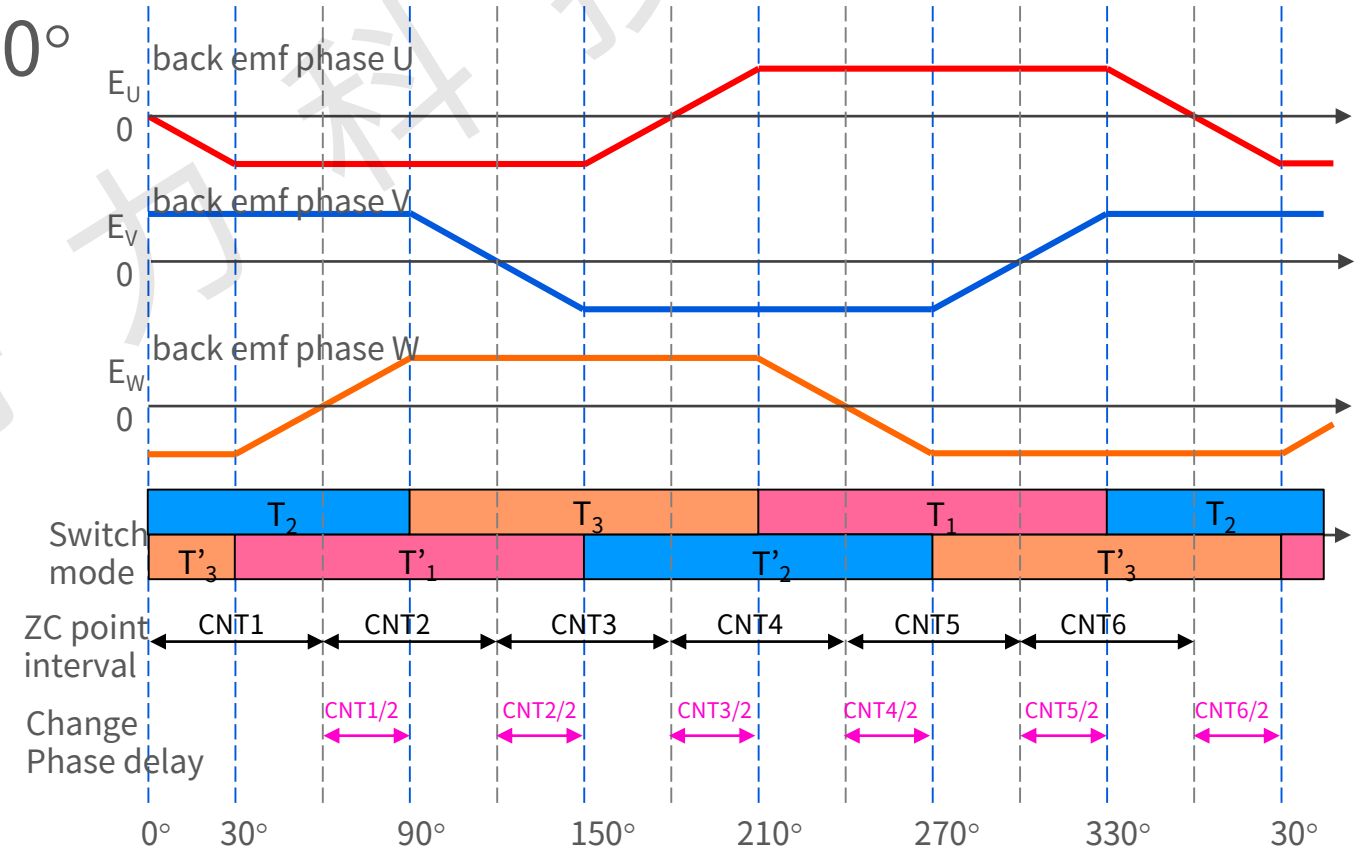
专利感测电路在 80 rpm下无感控制响应



专利感测电路在 4,200 rpm下无感控制响应

反电势零交越点后30°换相

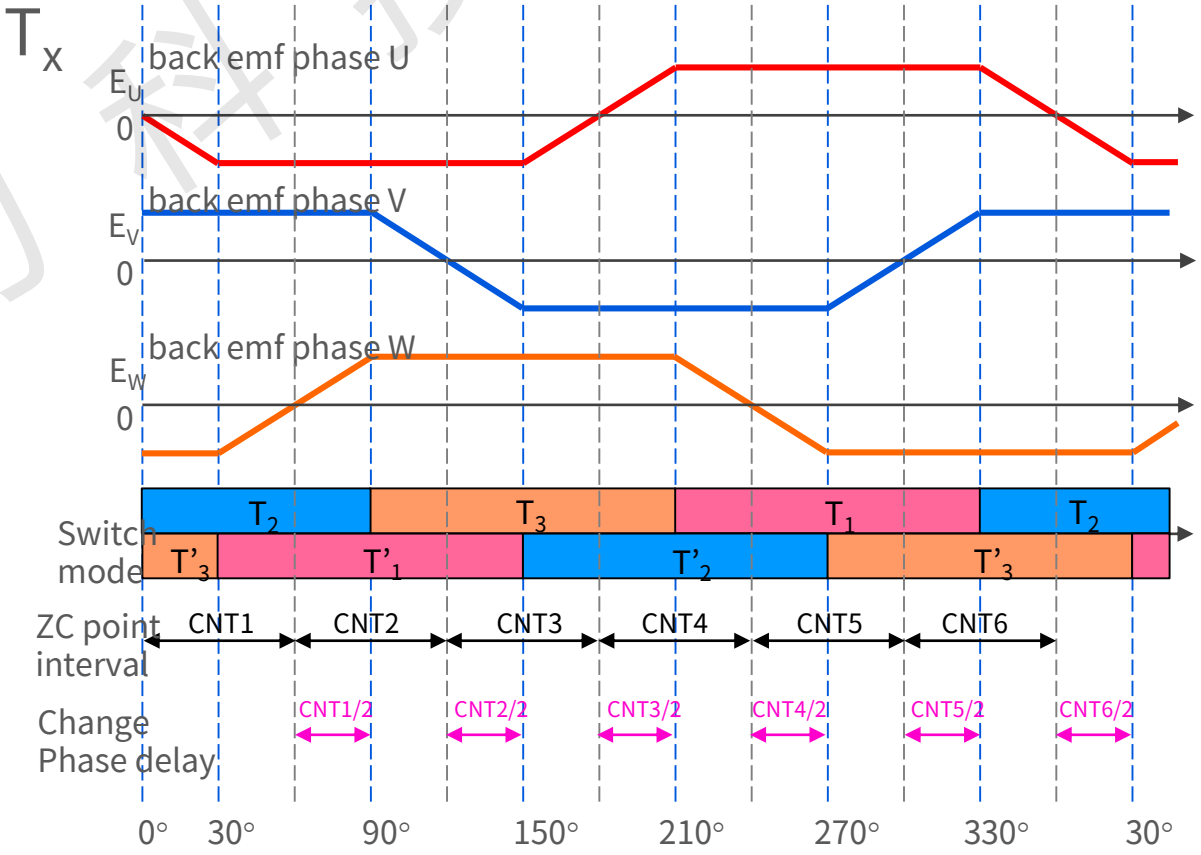
- 因换相点与反电势零交越点相差30°
- 各相反电势零交越点相差60°
- 故可利用定时器延迟最近一次零交越点间隔时间的一半后，进行换相



转轴速度估测

- 根据最低转速的霍尔波宽决定补获定时器的计数频率周期T_{TMR}
- 记录每个零交越点间的时间计数值 CNT_X
- 将6次计数值以移动平均计算均值
  $CNT_{AVG} = AVERAGE(CNT_1 \sim CNT_6)$
- 计算转速

$$SPEED = \frac{MIN\_SPD\_CNT/2}{CNT_{AVG}}$$

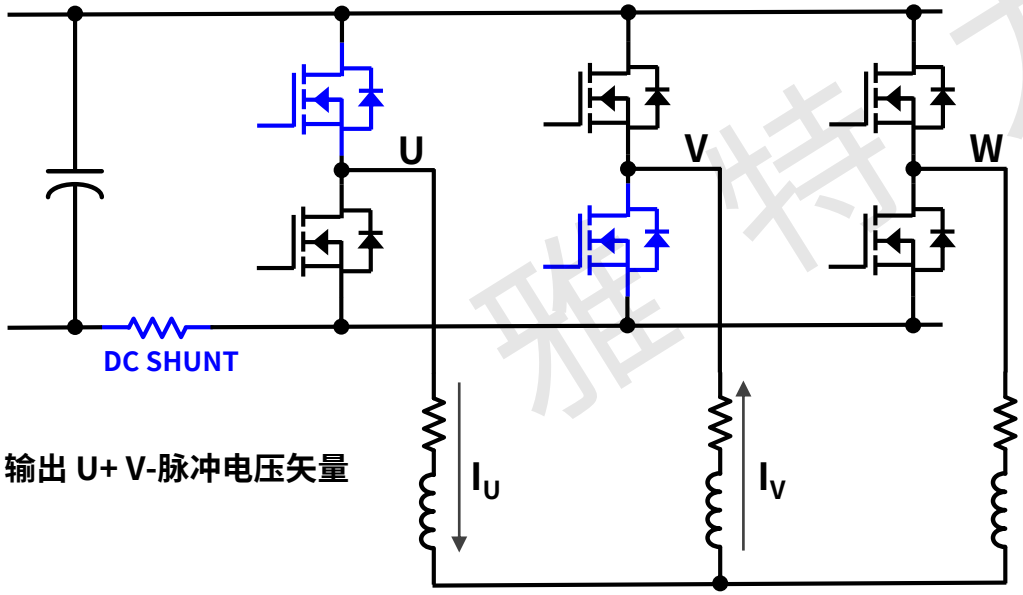


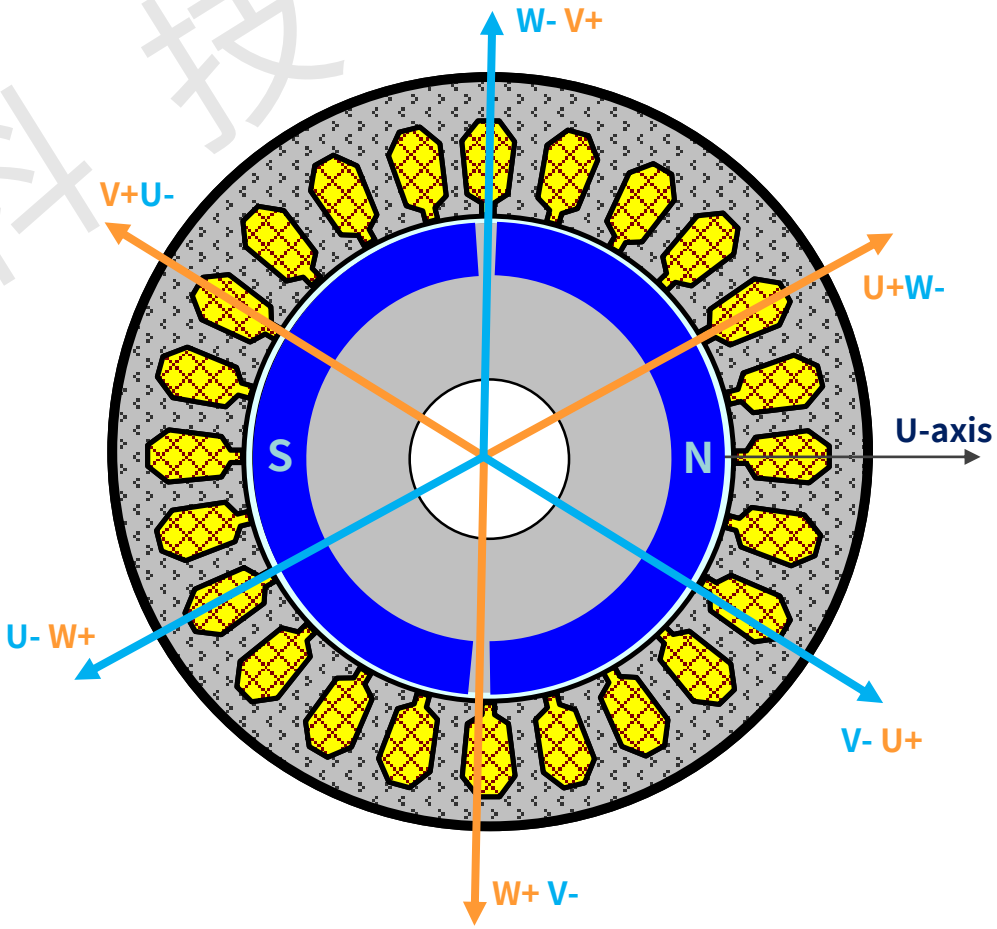
无感控制由静止状态启动方式

- 开环启动(强制换相)
  - 依照固定的六步换相顺序，逐步增加换相频率，推动转子加速
  - 当电机转速足够高、反电动势信号可用时，切换为反电动势换相控制
- 转子对齐启动
  - 在特定线圈组施加直流电流，使转子朝向特定角度对齐
  - 于该角度以大电流启动，使电机转速够快而得以侦测反电势
- 转子初始角度侦测
  - 利用转子磁极在不同位置时，测量各矢量对应的电流变化来估算初始位置
  - 于该角度以大电流启动，使电机转速够快而得以侦测反电势

转子初始位置侦测

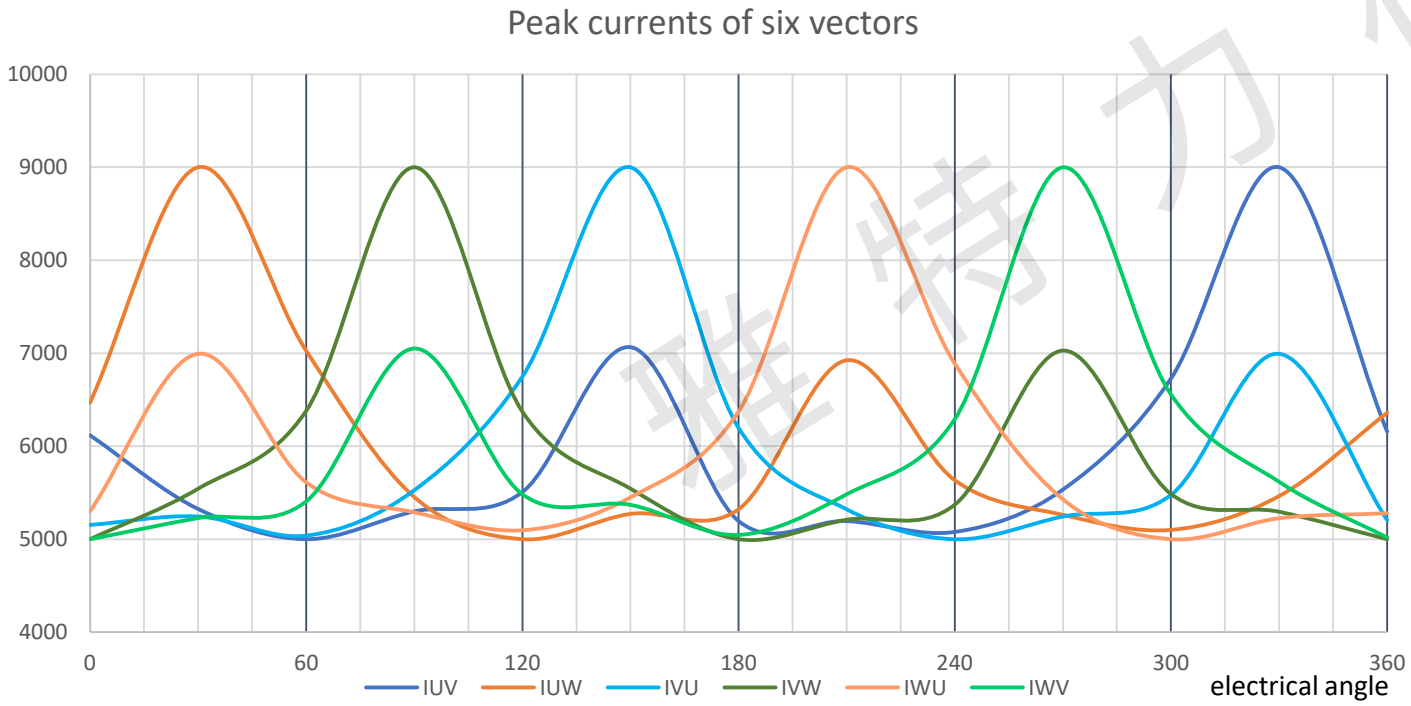
- 依次输入6个两相脉冲电压矢量
- 根据对应的6个电流峰值估算转子位置

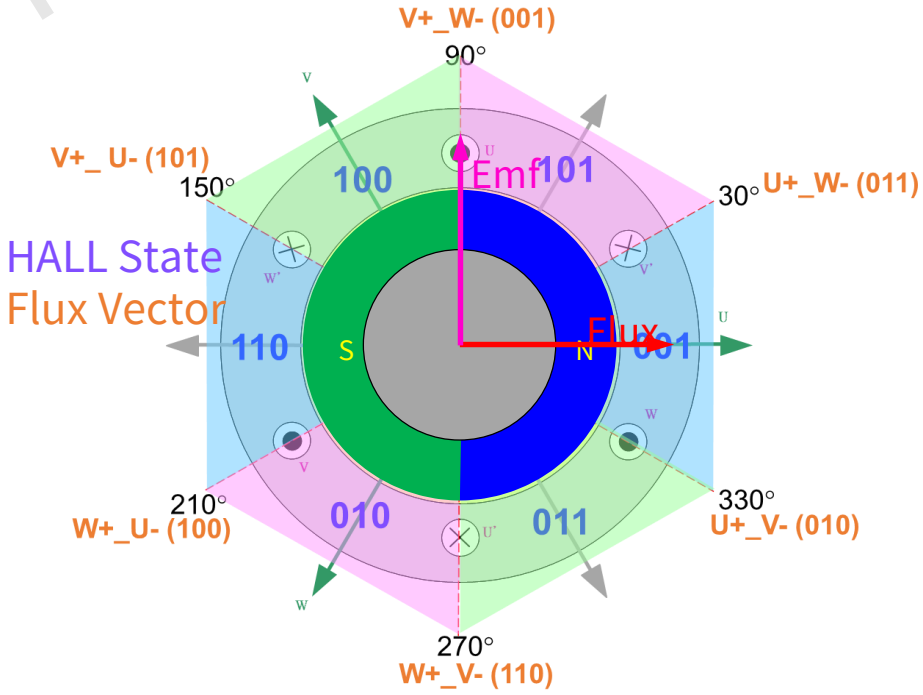




转子初始位置侦测

- 依次输入6个两相脉冲电压矢量
- 根据对应的6个电流峰值与邻相电流估算转子位置

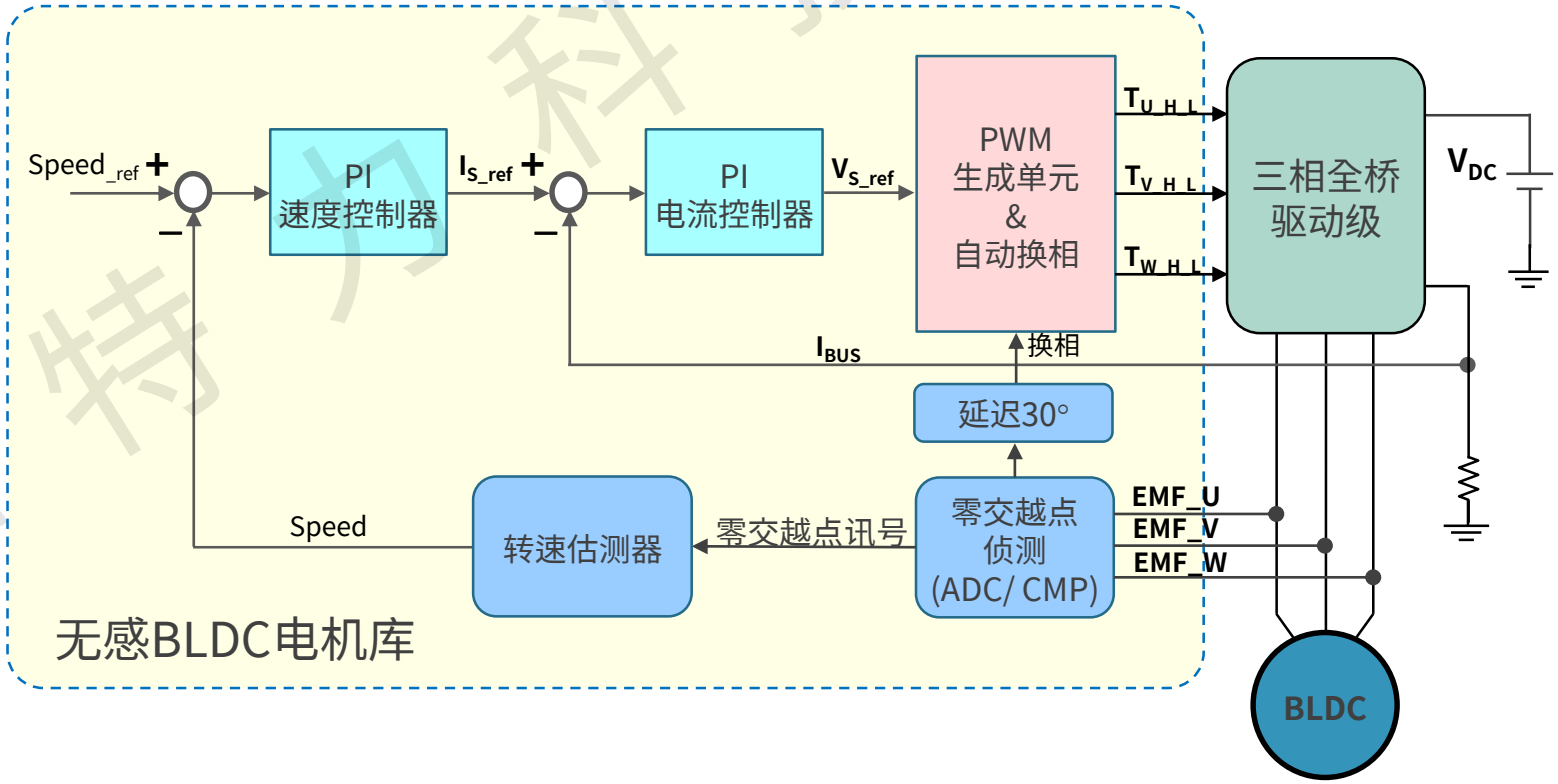




BLDC无感电机库架构解说

无感 BLDC电机库

- 驱动方法
  - 120°方波控制
- 相电流检测方法
  - 单电阻电流检测
- 初始转子位置估测方法
  - 两相电压矢量转子初始角度估测
- 换相时机估测方法
  - 比较器侦测反电势零交越点
  - ADC回授感测反电势零交越点
- 可实现无传感器控制方法
  - 120°方波电压控制
  - 转矩控制 (120°方波电流控制)
  - 转速控制
  - 回生刹车

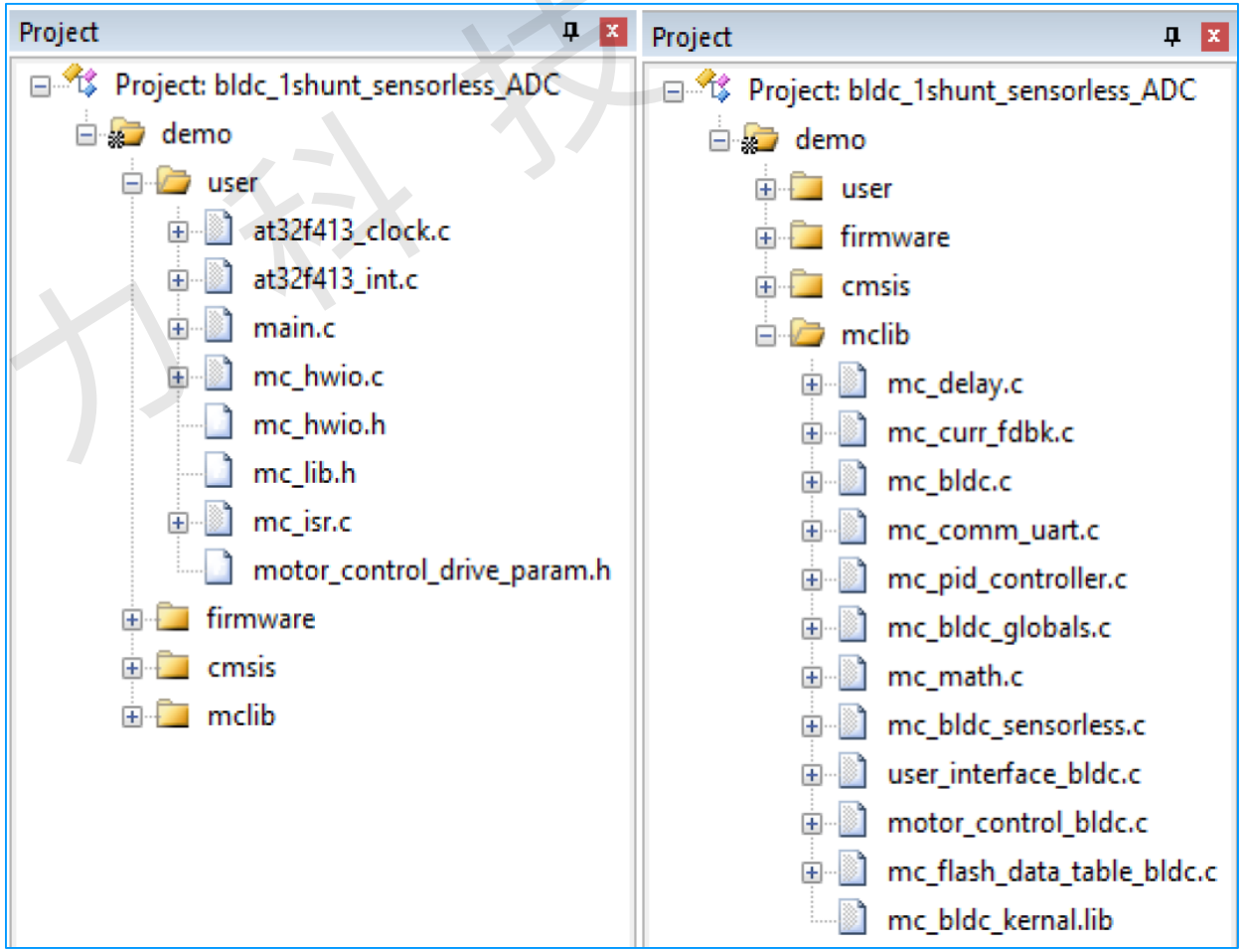


BLDC电机库控制技术与应用方案

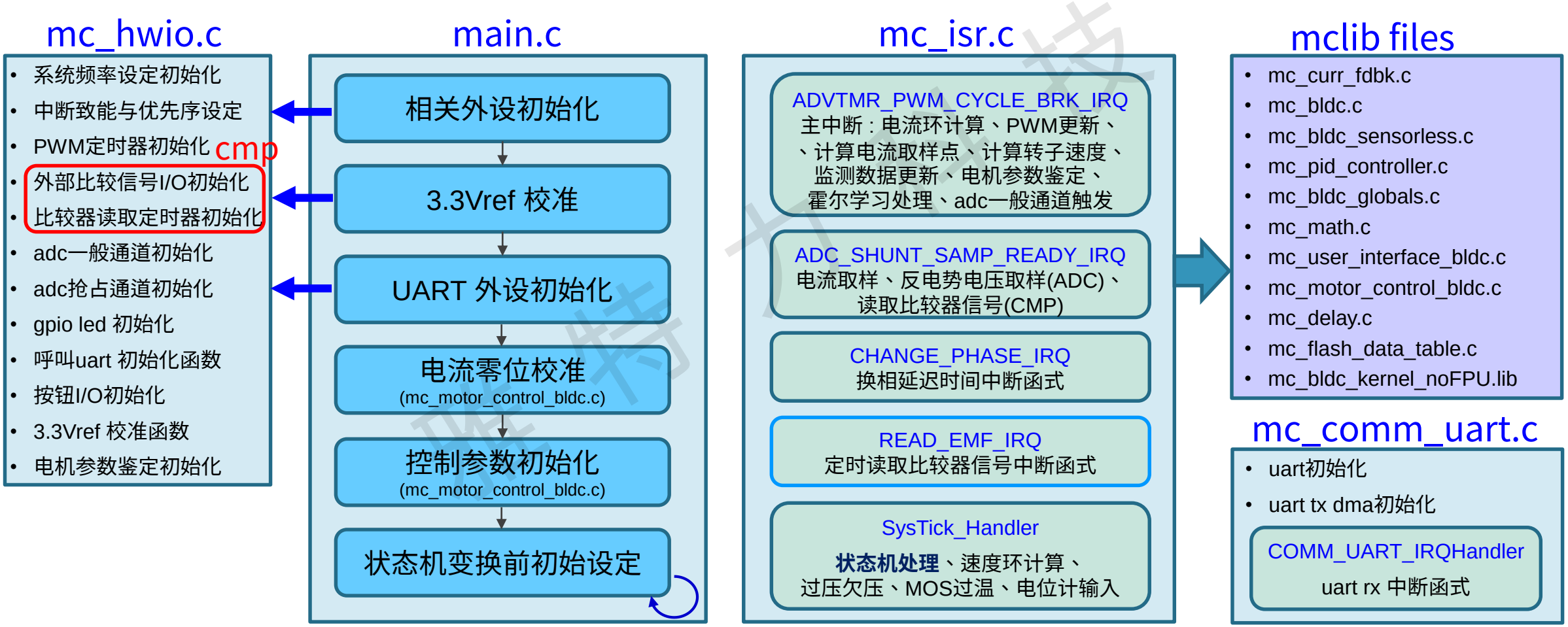
应用产品		高速风机	低速风机	电动工具	链锯	滑板车 电动自行车	电摩	扫地机
两相驱动	120°导通法	●	●	●	●	●	●	●
	提前激磁弱磁控制			●		●	●	●
控制回路	转矩控制	●	●	●	●	●	●	●
	速度控制	●	●	●	●			●
电流感测	单电阻电流感测	●	●	●	●	●	●	●
有传感器	霍尔传感器	●	●	●	●	●	●	●
无传感器	转子初始角度侦测	●	●	●	●	●	●	●
	反电势零交越点信号回授	●	●	●	●	●	●	●
	反电势回授侦测零交越点	●	●	●	●	●	●	●

无感控制专案工程结构

- user 文件夹
  - 主程序、外设规划程序以及参数定义头文件
- firmware 文件夹
  - MCU 外设驱动程序
- cmsis文件夹
  - CMSIS DSP函数程序
- mclib 文件夹
  - 为电机库程序包含PI控制函数、无感电机库函数、全局变量设定与通讯函数等等

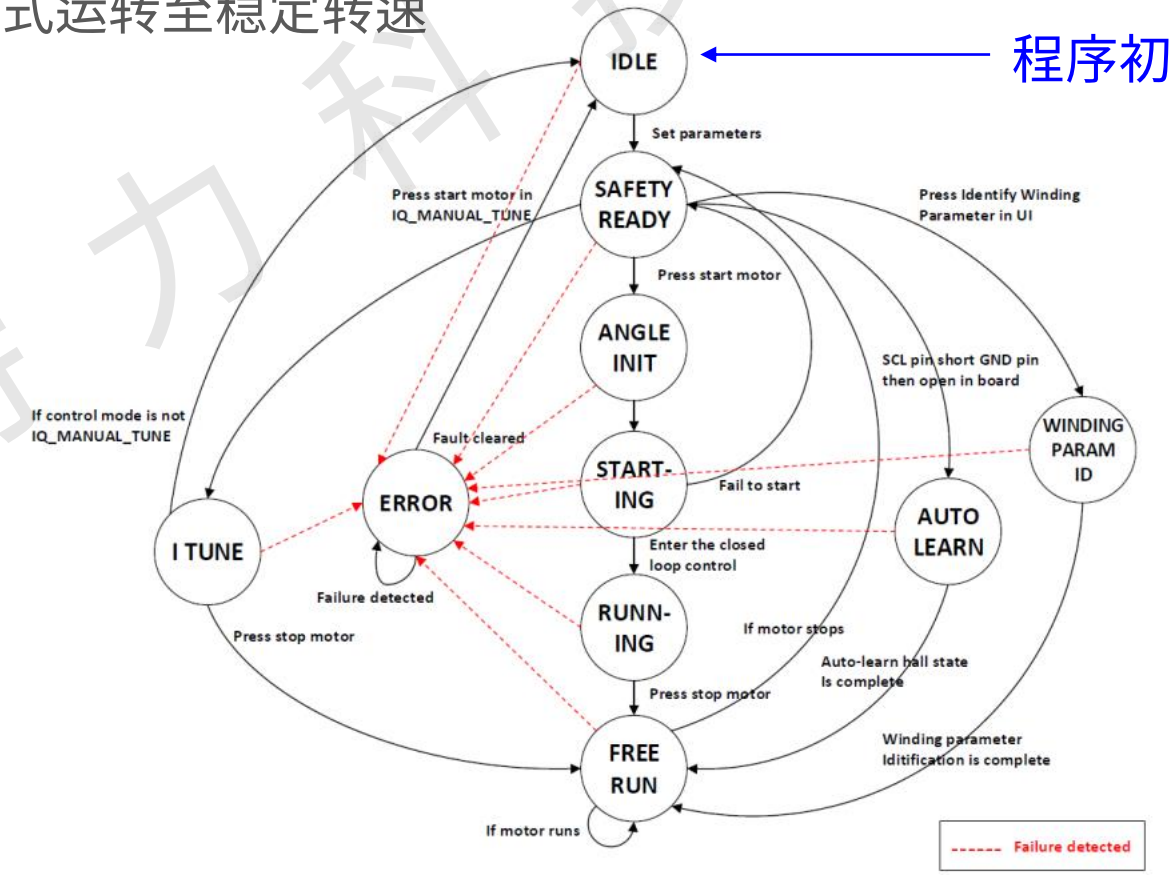


BLDC无感控制程序流程图

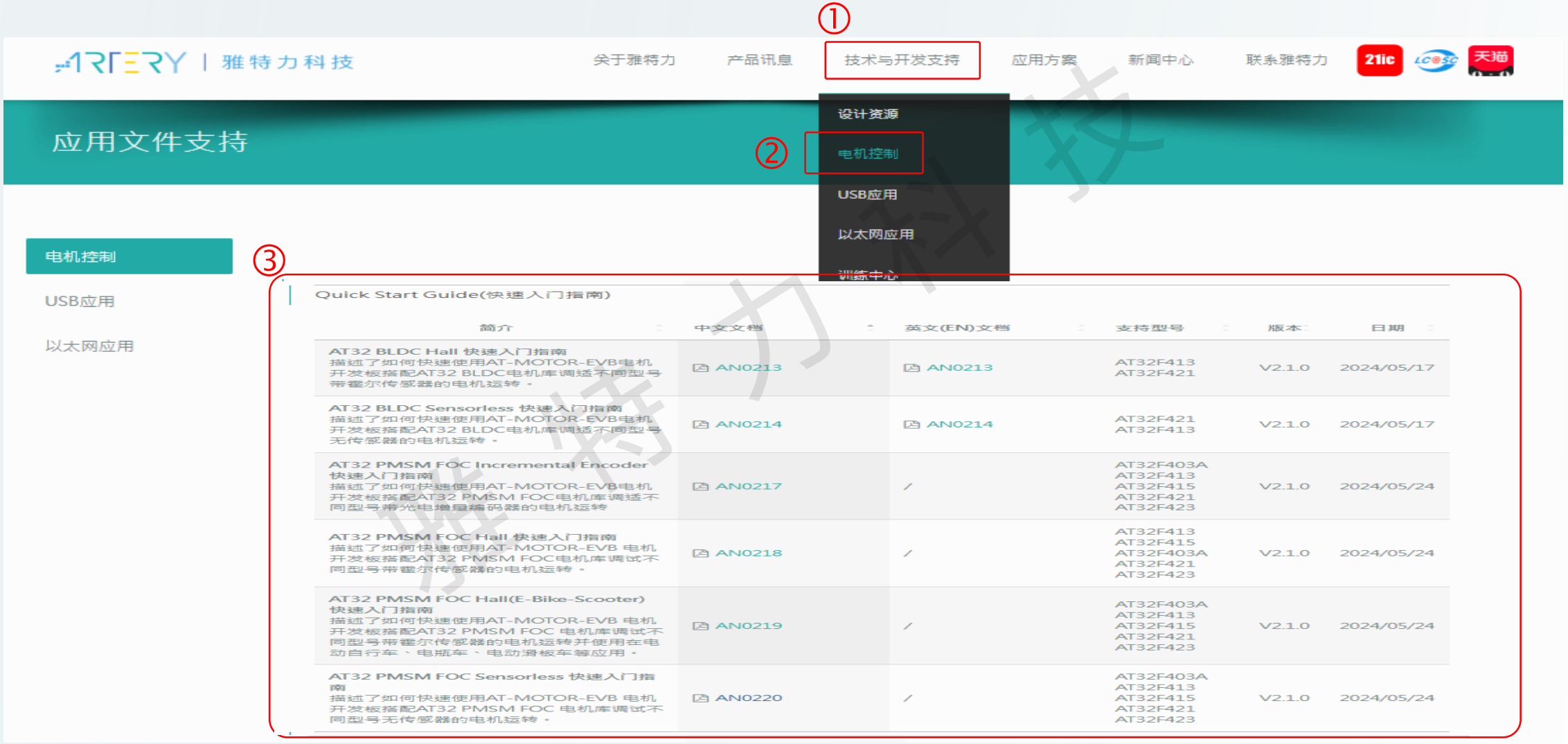


程序状态机流程图

- ANGLE_INIT：由静止状态启动(可使用三种不同启动方法)
- STARTING：可采定电压或定电流方式运转至稳定转速
- RUNNING：进入速度闭环
- 用户可于UI界面实时调整参数
- 或用外部电位计改变命令

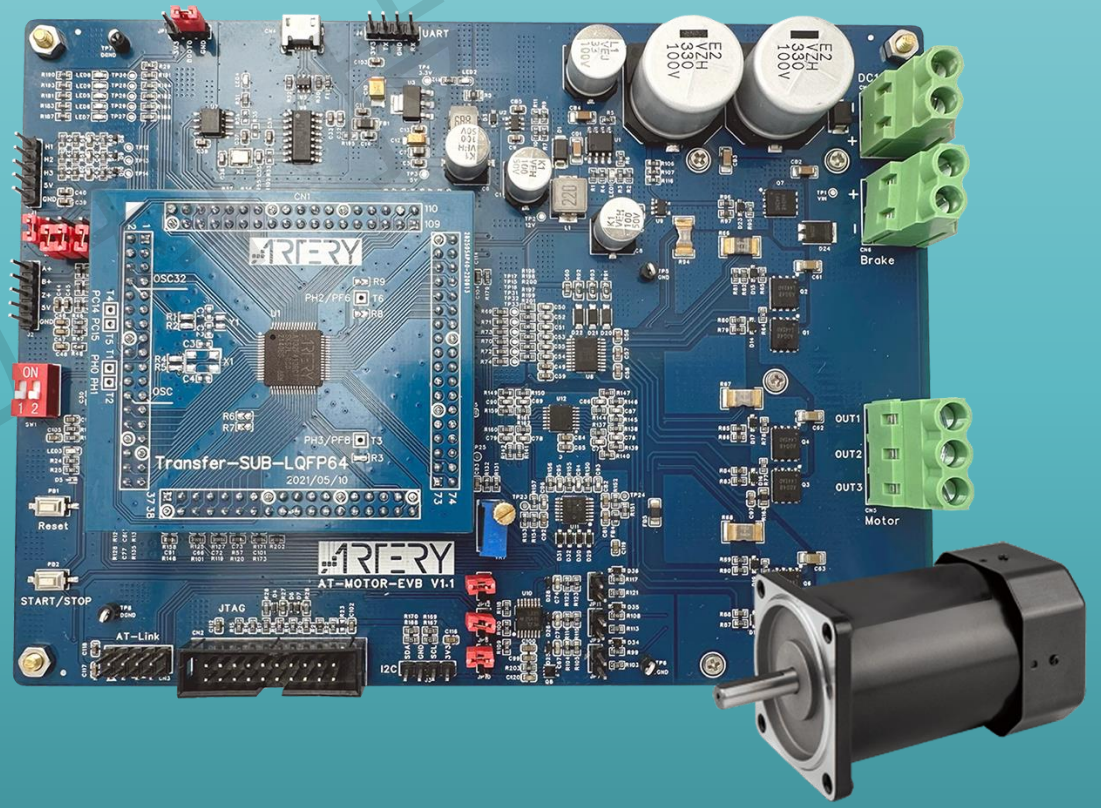


电机库下载



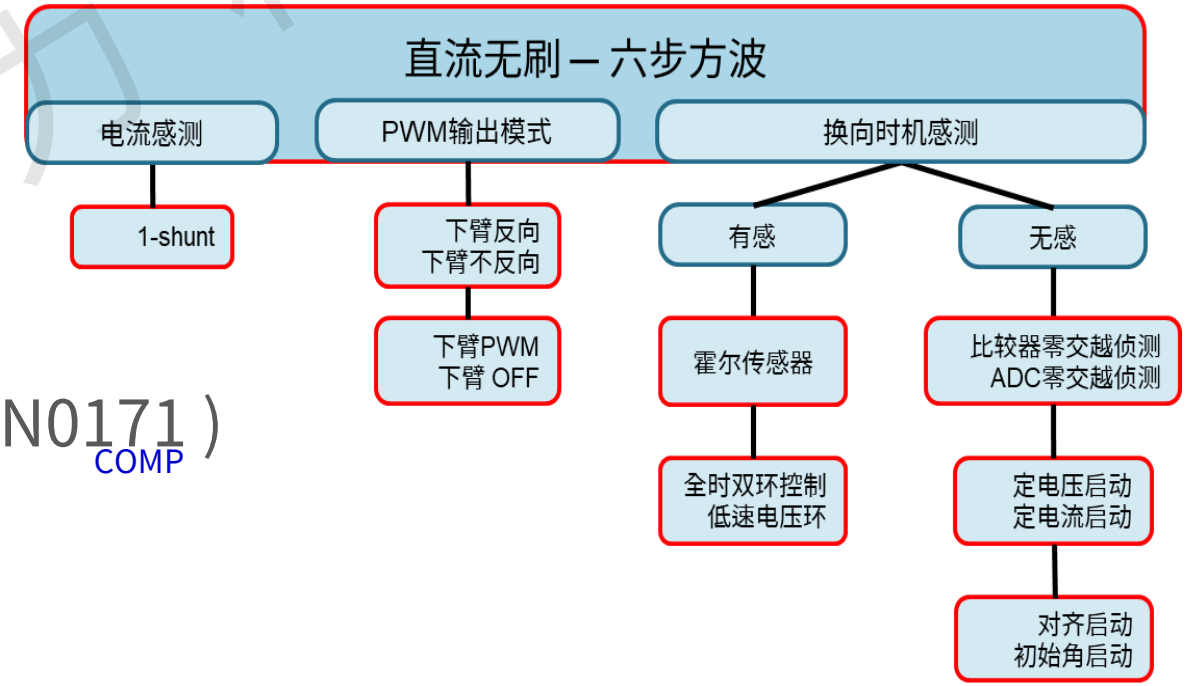
网址：https://www.arterytek.com/cn/support/motor_control.jsp?index=0

AT32 电机库
BLDC 快速上手
操作讲解



BLDC电机控制函式库支持

- 支援BLDC 6-step控制
- 提供AT32F421、AT32F413、AT32F415 、AT32F425、AT32L021应用范例
- 支持免费AT32IDE编译环境
- 只须设定mc_hwio_v2(v1).h 和 motor_control_drive_param.h头文件
- 宏定变量的说明可参阅 AT32 电机库使用指南(AN0064)
- 无感专案的说明可参阅(AN0170, AN0171)
- BLDC 无感快速入门指南(AN0214)



ADC COMP

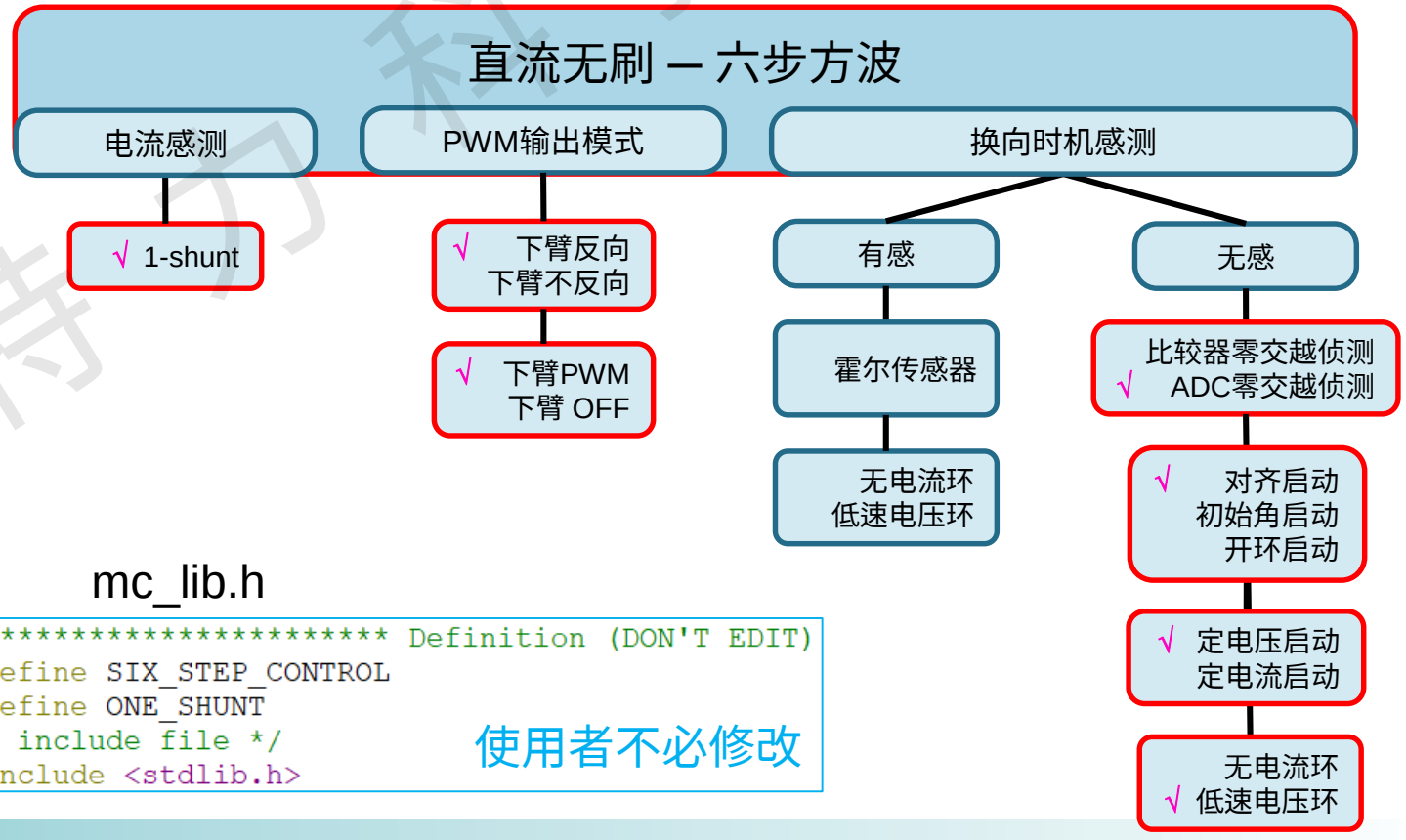
参数头文件 – 电机控制形式 (六步方波)

motor_control_drive_param.h

控制型式

```
/* internal clock or external crytal */
//#define INTERNAL_CLOCK_SOURCE

/* choose MOTOR_EVB_BOARD version */
#define AT_MOTOR_EVB_V2
//#define AT_MOTOR_EVB_V1

/* mosfet low side complement(high side
#define COMPLEMENT
/* gate driver low side inverting logic
#define GATE_DRIVER_LOW_SIDE_INVERT

/* EMF conpensate function */
//#define EMF_COMPENSATE

/* choose sensor */
//#define HALL_SENSORS
#define SENSORLESS
#define BLDC_SENSORLESS_ADC
//#define BLDC_SENSORLESS_COMP

/* choose remove current-loop-control or
//#define WITHOUT_CURRENT_CTRL

/* choose low speed control or not */
#define LOW_SPEED_VOLT_CTRL

#if defined SENSORLESS
/* choose const current/voltage start-up
//#define CONST_CURRENT_START
#define CONST_VOLTAGE_START

/* choose how to start up */
//#define INIT_ANGLE_STARTUP
#define ALIGN_AND_GO_STARTUP
//#define OPENLOOP_STARTUP
```

- **选择宏定义宣告项目，完成电机控制形式设定**



mc_lib.h

```
/********************** Definition (DON'T EDIT)
#define SIX_STEP_CONTROL
#define ONE_SHUNT
/* include file */
#include <stdlib.h>
```

使用者不必修改

参数头文件 – 电机参数

motor_control_drive_param.h

电机参数 (Motor-related parameter)

```
/********************************* Motor-related parameter **************
/* Motor parameters  */
#define RS_LL                       (1.89)          /* Stator resistanc
#define LS_LL                       (0.002387)      /* Stator inductanc
#define POLE_PAIRS                  (8/2)
#define KE                          (0.003437f)     /* Back EMF constar
#define NOMINAL_CURRENT             (1.7)

/* angle detect duty */
#define ANGLE_INIT_DETECT_DUTY      ((int16_t)(0.15*ANGLE_INIT_PERIOD))
#define ANGLE_INIT_I_DIFF           ((int16_t) 500)

/* hall learn table */
#if defined (SENSORLESS)
#define HALL_LEARN_DIR              (0)         /* Polarity, 0 or 1 */
#define HALL_LEARN_0_STATE          (2)         /* BH-CL */
#define HALL_LEARN_1_STATE          (3)         /* BH-AL */
#define HALL_LEARN_2_STATE          (1)         /* CH-AL */
#define HALL_LEARN_3_STATE          (5)         /* CH-BL */
#define HALL_LEARN_4_STATE          (4)         /* AH-BL */
#define HALL_LEARN_5_STATE          (6)         /* AH-CL */
#else
#define HALL_LEARN_DIR              (0)         /* Polarity, 0 or 1 */
#define HALL_LEARN_0_STATE          (1)         /* BH-CL */
#define HALL_LEARN_1_STATE          (5)         /* BH-AL */
#define HALL_LEARN_2_STATE          (4)         /* CH-AL */
#define HALL_LEARN_3_STATE          (6)         /* CH-BL */
#define HALL_LEARN_4_STATE          (2)         /* AH-BL */
#define HALL_LEARN_5_STATE          (3)         /* AH-CL */
#endif
```

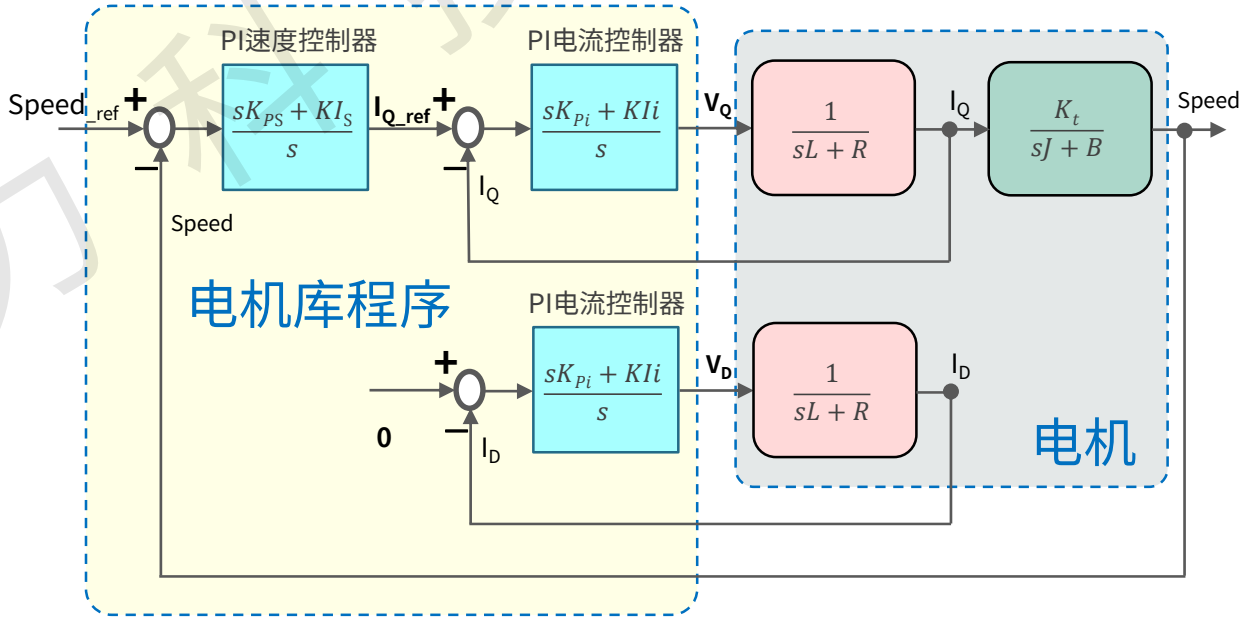
- POLE_PAIRS：电机极对数
- RS_LL：绕组线对线电阻值
- LS_LL ：绕组线对线电感值
- NOMINAL_CURRENT：额定电流
- HALL_LEARN_DIR：霍尔自学习转向
- HALL_LEARN_X_STATE：霍尔状态对应的矢量

参数头文件 – 控制环相关参数

motor_control_drive_param.h

控制参数 (Control-related parameter)

```
#define PWM_FREQ                    (15000)     /*!< Hz */
#define MOTOR_CONTROL_MODE          (motor_control_mode)(SPEED_CTRL)
#define CTRL_SOURCE                 (ctrl_source_type)(CTRL_SOURCE_SOFTWARE)
#define UI_UART_BAUDRATE_           (1500000UL) /*!< bit/s */
/* I-SAMPLE PARAMETER */
#define I_SAMP_MIN_TIME             (180)       /*!< nsec */
#define I_SAMP_DELAY                (1000)      /*!< nsec */
/* SPEED */
#define SPEED_FILTER_TIMES          (6)
#define SPD_LP_BANDWIDTH            (300.0f)    /* 2*pi*freq *
#define PWM_IN_FILTER_TIMES         (5)
#define SPD_CMD_FILTER_TIMES        (5)
/* SPEED PARAMETER */
#define MIN_SPEED_RPM               (10)
#define MAX_SPEED_RPM               (7200)      /*!< rpm */
#define MAX_CCW_SPEED_RPM           (7200)      /*!< rpm */
#define ACC_SPD_SLOPE               (5)         /*!< rpm/ms */
#define DEC_SPD_SLOPE               (5)
/* pi parameter */
#define PID_IS_KP_DEFUALT           6000
#define PID_IS_KI_DEFUALT           11300
#define PID_IS_KP_DIV               1024
#define PID_IS_KP_DIV_LOG           LOG2(PID_IS_KP_DIV)
#define PID_IS_KI_DIV               32768
#define PID_IS_KI_DIV_LOG           LOG2(PID_IS_KI_DIV)
```



IS_Kp = PID_IS_KP_DEFUALT / PID_IS_KP_DIV

IS_Ki = PID_IS_KI_DEFUALT / PID_IS_KI_DIV

外设定义头文件 – 外设参数定义

外设定义参数 (mc_hwio.h)

```
/* adc reading pin definition */
#define ADC_CONVERTER                   ADC1
#define ADC_CONVERTER_CRM_CLK           CRM_ADC1_PERIPH_CLOCK
#define ADC_CONVERTER_CRM_CLK_DIV       CRM_ADC_DIV_8
#define ADC_SHUNT_SAMP_READY_IRQ        ADC1_2_IRQHandler
#define ADC_SHUNT_SAMP_READY_IRQn       ADC1_2_IRQn
#define ADC_ORDINARY_CH_LEN             6

/* dma1 ch1 for adc ordinary conversion */
#define ADC_ORDINARY_DMA_CRM_CLK        CRM_DMA1_PERIPH_CLOCK
#define ADC_ORDINARY_DMA_CHANNEL        DMA1_CHANNEL1
#define ADC_ORDINARY_DMA                DMA1
#define ADC_ORDINARY_DMA_FLEX           DMA_FLEXIBLE_ADC1
#define ADC_ORDINARY_DMA_FLEX_CH        FLEX_CHANNEL1

#define CURR_PHASE_A_ADC_CH             ADC_CHANNEL_0
#define CURR_PHASE_A_ADC_GPIO_CRM_CLK   CRM_GPIOA_PERIPH_CLOCK
#define CURR_PHASE_A_ADC_PORT           GPIOA
#define CURR_PHASE_A_ADC_GPIO_PIN       GPIO_PINS_0

#define CURR_PHASE_B_ADC_CH             ADC_CHANNEL_1
#define CURR_PHASE_B_ADC_GPIO_CRM_CLK   CRM_GPIOA_PERIPH_CLOCK
#define CURR_PHASE_B_ADC_PORT           GPIOA
#define CURR_PHASE_B_ADC_GPIO_PIN       GPIO_PINS_1

#define CURR_PHASE_C_ADC_CH             ADC_CHANNEL_2
#define CURR_PHASE_C_ADC_GPIO_CRM_CLK   CRM_GPIOA_PERIPH_CLOCK
#define CURR_PHASE_C_ADC_PORT           GPIOA
#define CURR_PHASE_C_ADC_GPIO_PIN       GPIO_PINS_2
```

控制器MCU pin map

Peripheral function	AT32F421C8T6		AT32F413RCT7	
VBAT	1	VBAT	1	VBAT
STATUS_LED1	2	PC13	2	PC13
STATUS_LED2	3	PC14	3	PC14
STATUS_LED3	4	PC15	4	PC15
ENCODER_A+			18	TMR5_CH1(PF4)
ENCODER_B+			19	TMR5_CH2(PF5)
MODE_SW1	35	PF6	47	PF6
MODE_SW2	36	PF7	48	PF7
OSC_IN	5	OSC_IN	5	OSC_IN
OSC_OUT	6	OSC_OUT	6	OSC_OUT
RESET	7	NRST	7	NRST
SPEED_VR(F413)			8	ADC12_IN10(PC0)
			9	ADC12_IN11(PC1)
			10	ADC12_IN12(PC2)
			11	ADC12_IN13(PC3)
VSSA	8	VSSA	12	VSSA
VDDA	9	VDDA	13	VDDA
CURR_FDBK1	10	ADC_IN0(PA0)	14	ADC_IN0(PA0)
CURR_FDBK2	11	ADC_IN1(PA1)	15	ADC_IN1(PA1)
CURR_FDBK3	12	ADC_IN2(PA2)	16	ADC_IN2(PA2)
IBUS_FDBK	13	ADC_IN3(PA3)	17	ADC_IN3(PA3)
BEMF1_LF	14	ADC_IN4(PA4)	20	ADC_IN4(PA4)
BEMF2_LF	15	ADC_IN5(PA5)	21	ADC_IN5(PA5)
BEMF3_LF	16	ADC_IN6(PA6)	22	ADC_IN6(PA6)
VBUS	17	ADC_IN7(PA7)	23	ADC_IN7(PA7)
ENCODER_Z+			24	PC4
			25	ADC_IN15(PC5)

UI程序与电机控制调校

定义头档相关参数

I/O mapping

Board param.

Motor param.

Control param.

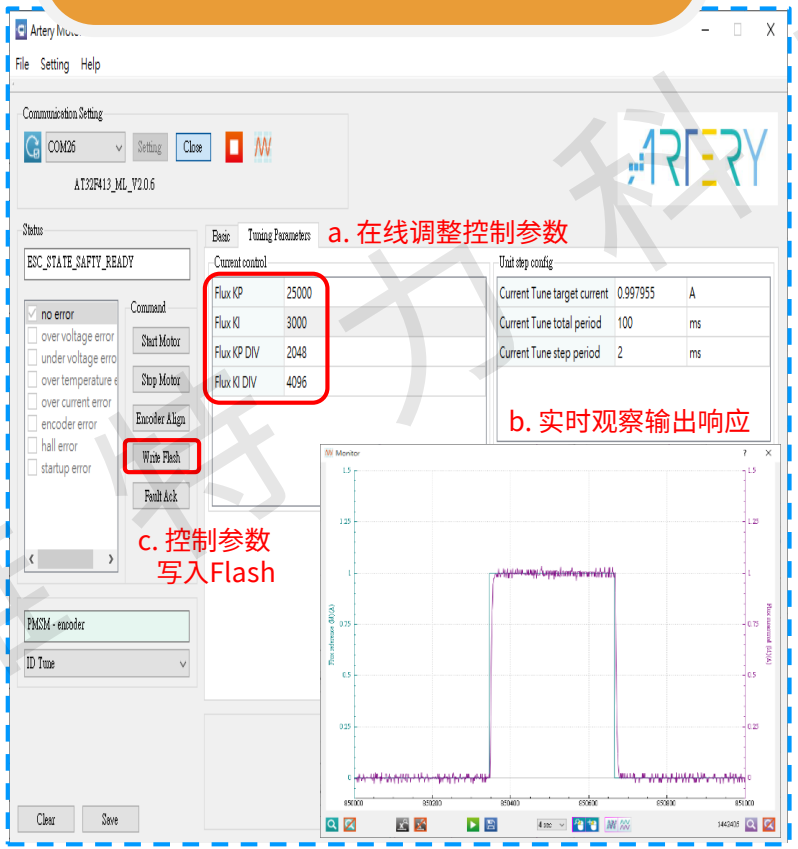
Drive mode

- FOC_CONTROL
- ONE_SHUNT
- SENSORLESS

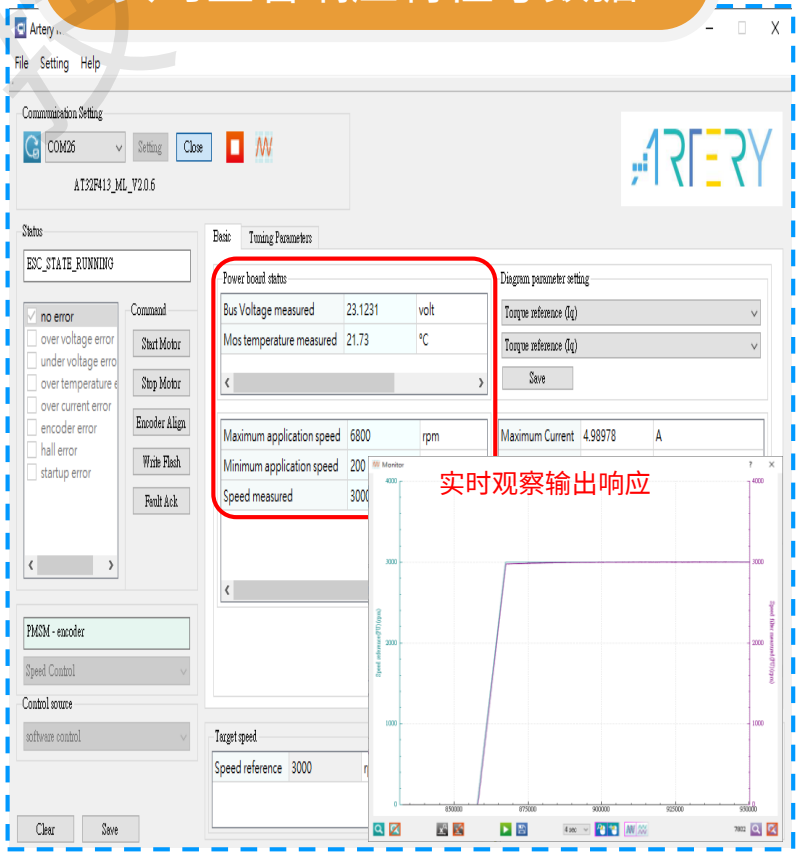
电机控制程序

Motor control project

UI程序调校PID控制参数

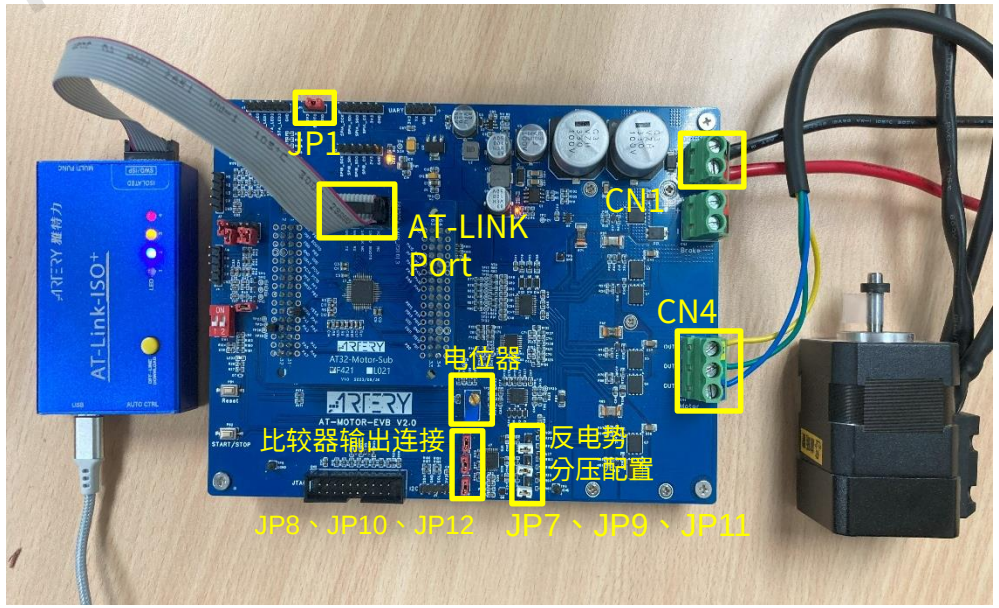


实时监看响应特性与数据



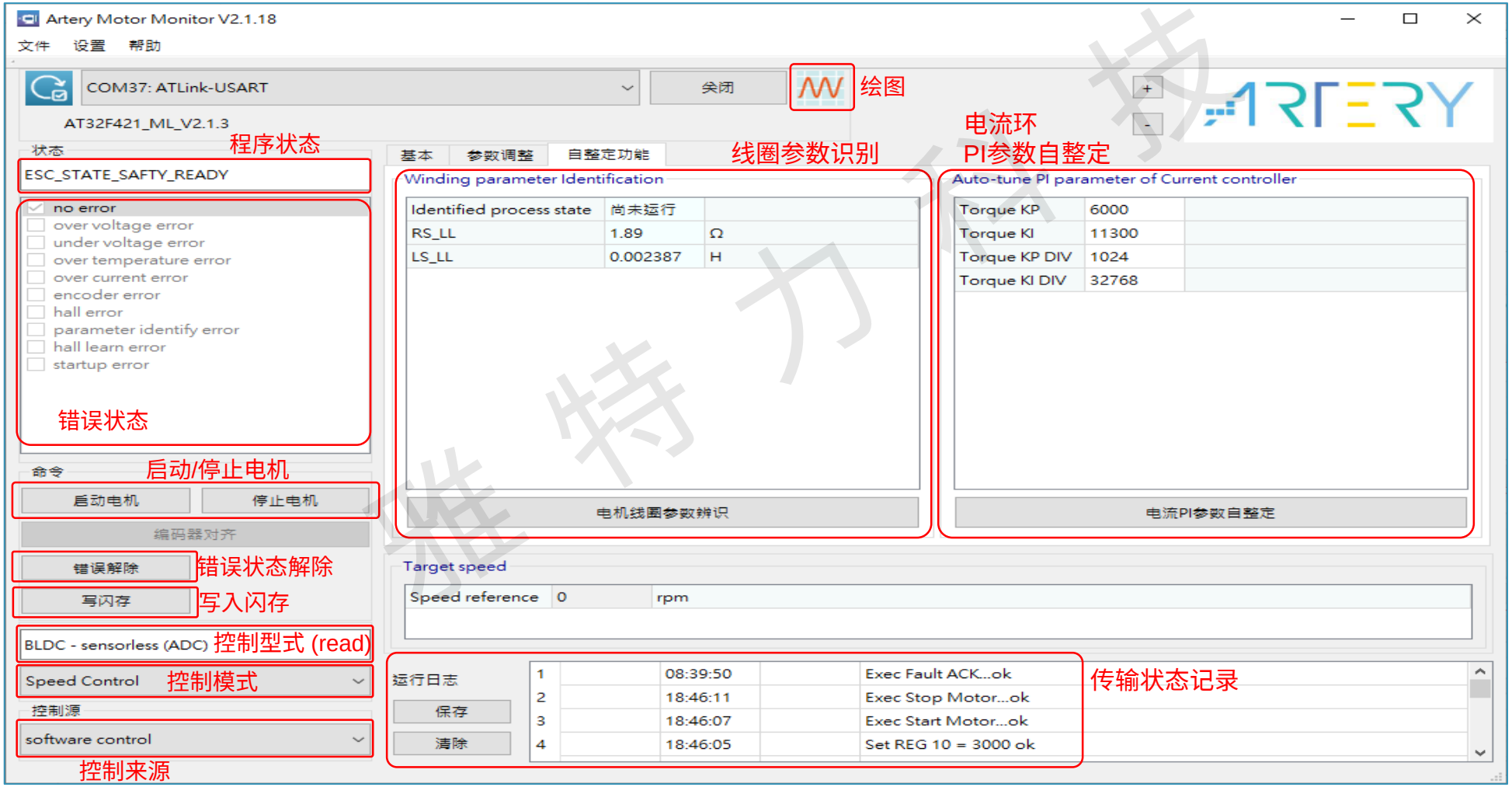
控制器接线

- 检查JP1 Boot0是否接地(GND)
- 根据母线电压选择是否短接JP7、JP9、JP11 (V_{BUS} > 34V)
- 于比较器模式须将JP8、JP10、JP12短接，将比较器信号连接至MCU 接脚
- 将AT-LINK连接到小板
- 连接电机线到CN4 (依线色)
- 连接电源供应器电源接线到CN1 (依标示)
- 设定电源供应器电压24V / 3A
- 开启电源供应器输出
- PC端执行上位机程序后建立联机
  (ArteryMotorMonitor.exe)

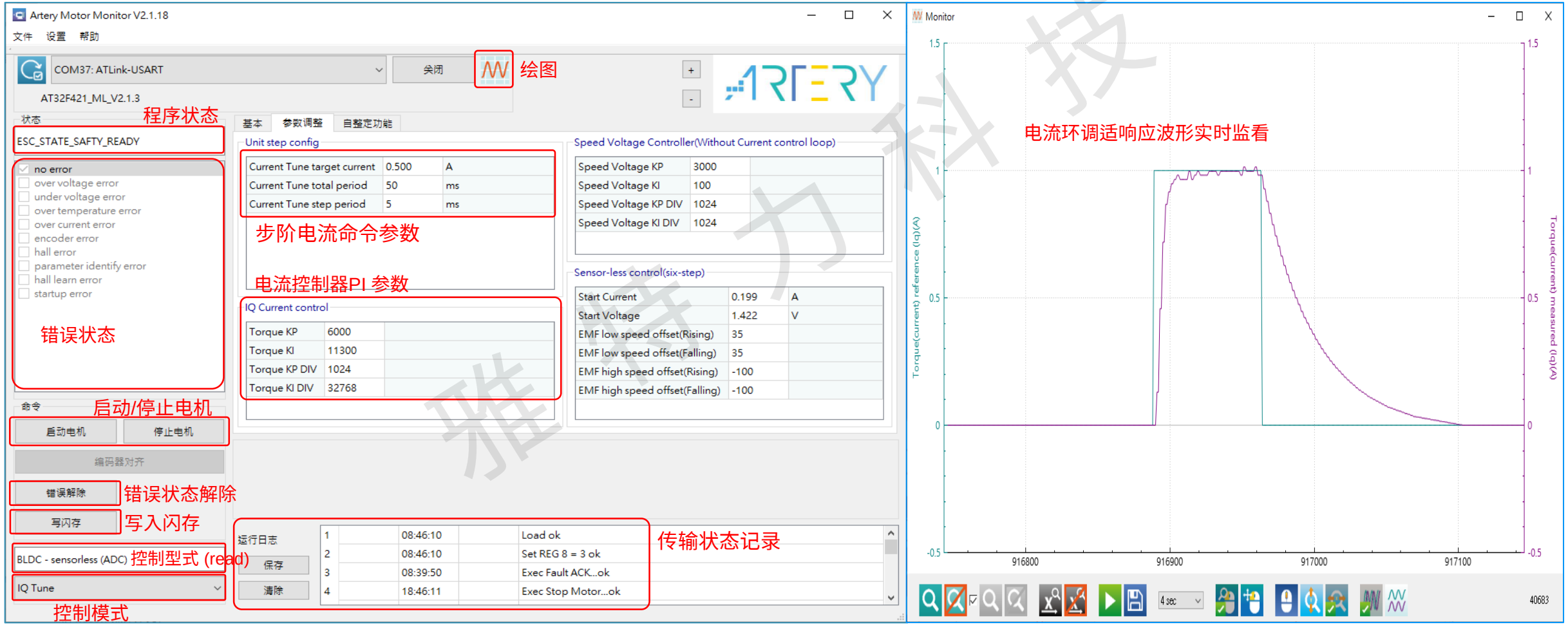


电机与开发板接线图

监控界面软件运行操作 –自整定功能

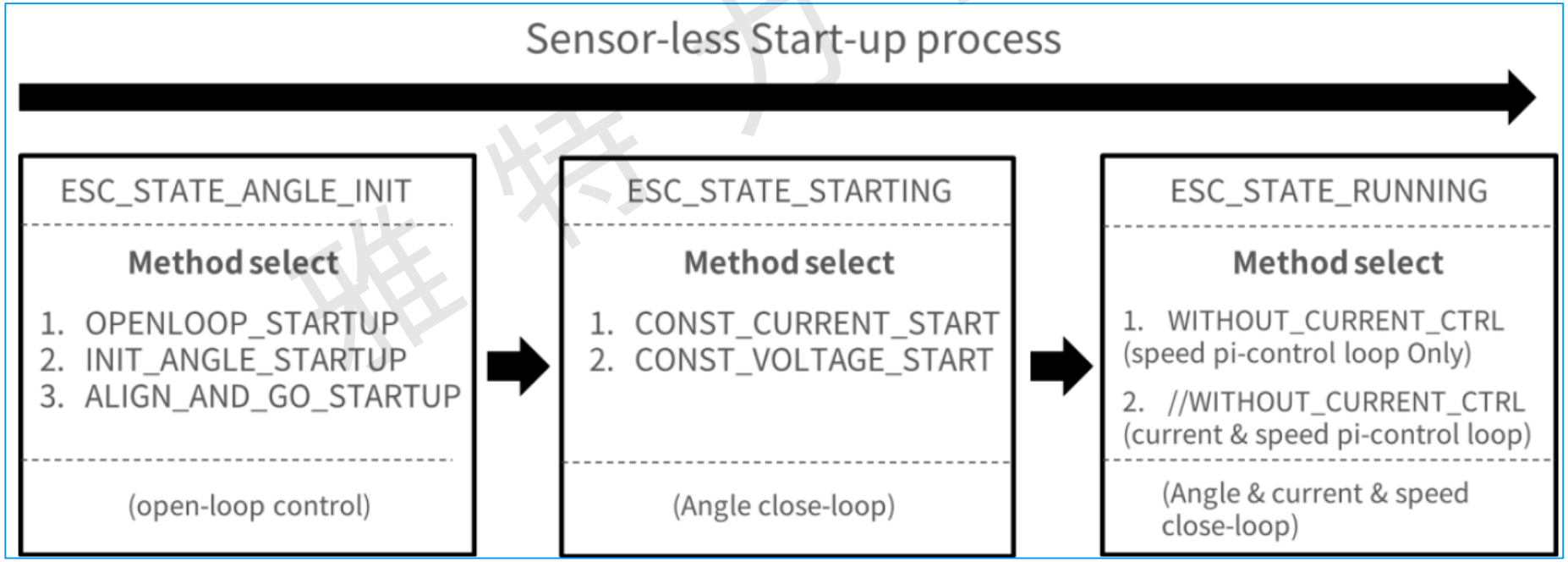


监控界面软件运行操作 – 电流环参数实时调整



直流无刷电机无感启动流程

- ANGLE_INIT：选择开环、初始角侦测或对齐转子方式启动
- STARTING：角度闭环，可选定电压或定电流方式运转进入速度闭环
- RUNNING：进入速度闭环，可选择是否使用电流环



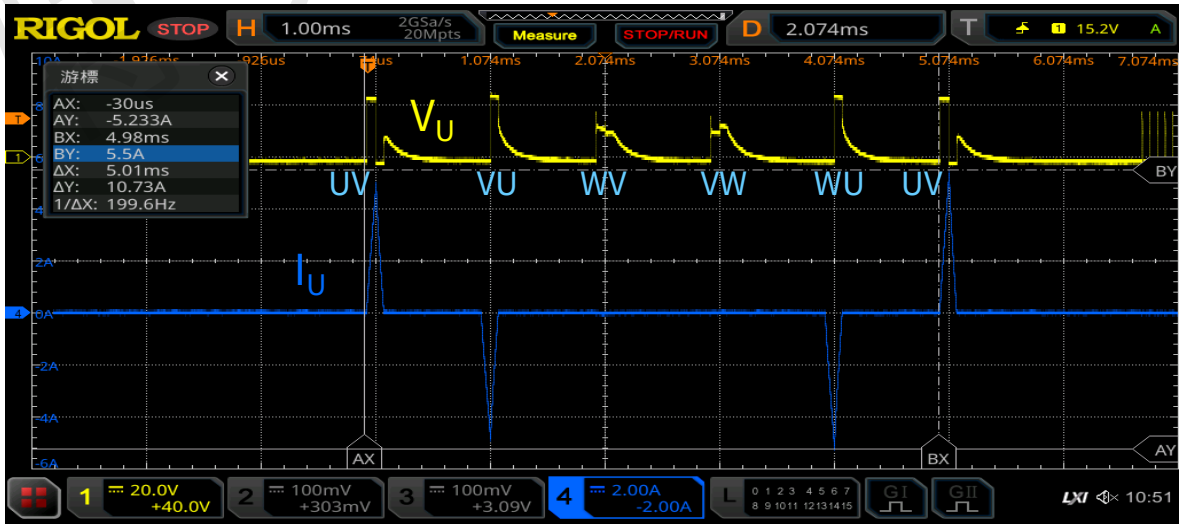
启动参数介绍

- 对齐启动 (ALIGN_AND_GO_STARTUP)

```
/* lock start-up */
#define LOCK_VOLT                    (2.5)      /*!< V */      转子对齐时间
#define LOCK_PERIOD                  (500)      /*!< msec */   转子对齐时间
```

- 初始角度侦测(INIT_ANGLE_STARTUP)

```
/* angle detect duty */                                        (0xFFFF)
#define ANGLE_INIT_DETECT_DUTY       ((int16_t)(0.15*ANGLE_INIT_PERIOD))
#define ANGLE_INIT_I_DIFF            ((int16_t) 500)
```



STARTING_STATE 角度闭环参数设定

- 启动过程控制模式

```
#define START_CURRENT                (0.6)        /*!< A */
#define START_VOLTAGE                (1.5)        /*!< V */
```

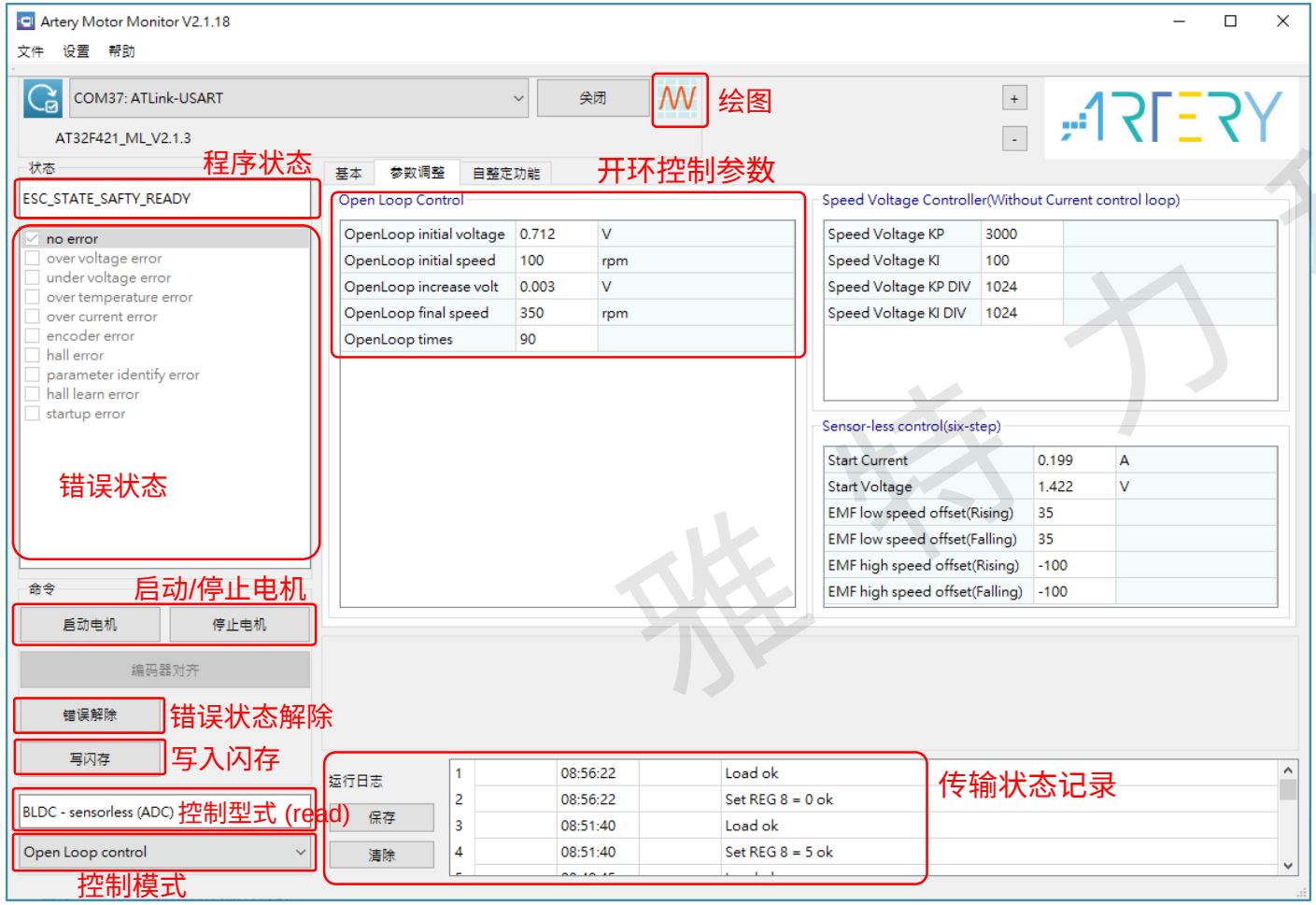
- 进入RUNNING前换相次数

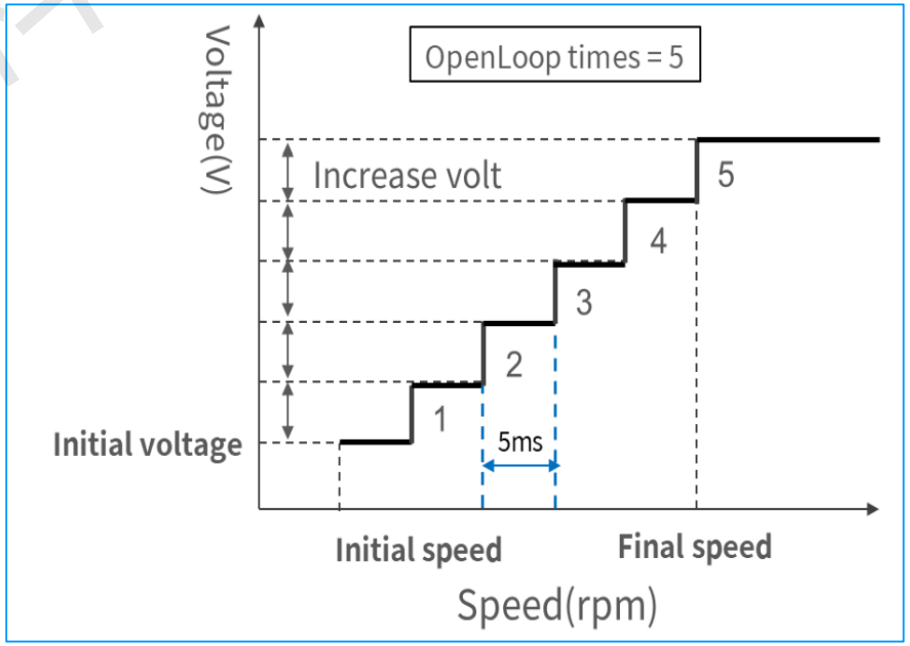
```
#define SENSE_HALL_TIMES             (8)
#define REBOOT_PERIOD_MS             (1000)       /*!< msec */ 判定启动失败延迟时间
```

定电压启动模式

定电流启动模式

监控界面软件运行操作 – 开环控制





开环控制参数示意图

ADC零交越点侦测参数

- EMF low speed offset (rising, falling) : PWM OFF 取样
- EMF high speed offset (rising, falling) : PWM ON 取样
- 取样点切换磁滞设定

```
#define EMF_CHANGE_PERCENT_H    (55) /*!< pwm duty(%) */
#define EMF_CHANGE_PERCENT_L    (35) /*!< pwm duty(%) */
```

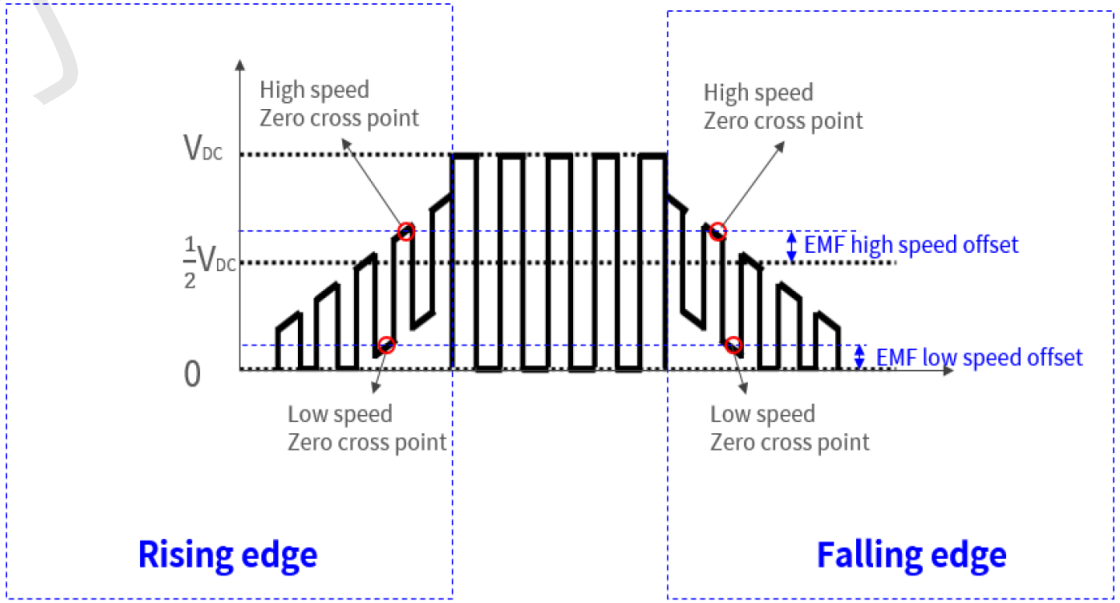
- 低速电压控制磁滞切换设定

```
#define HYSTERESIS_LOW_SPEED  (800)  /*!< rpm */
#define HYSTERESIS_HIGH_SPEED (1000) /*!< rpm */
```

Sensor-less control(six-step)

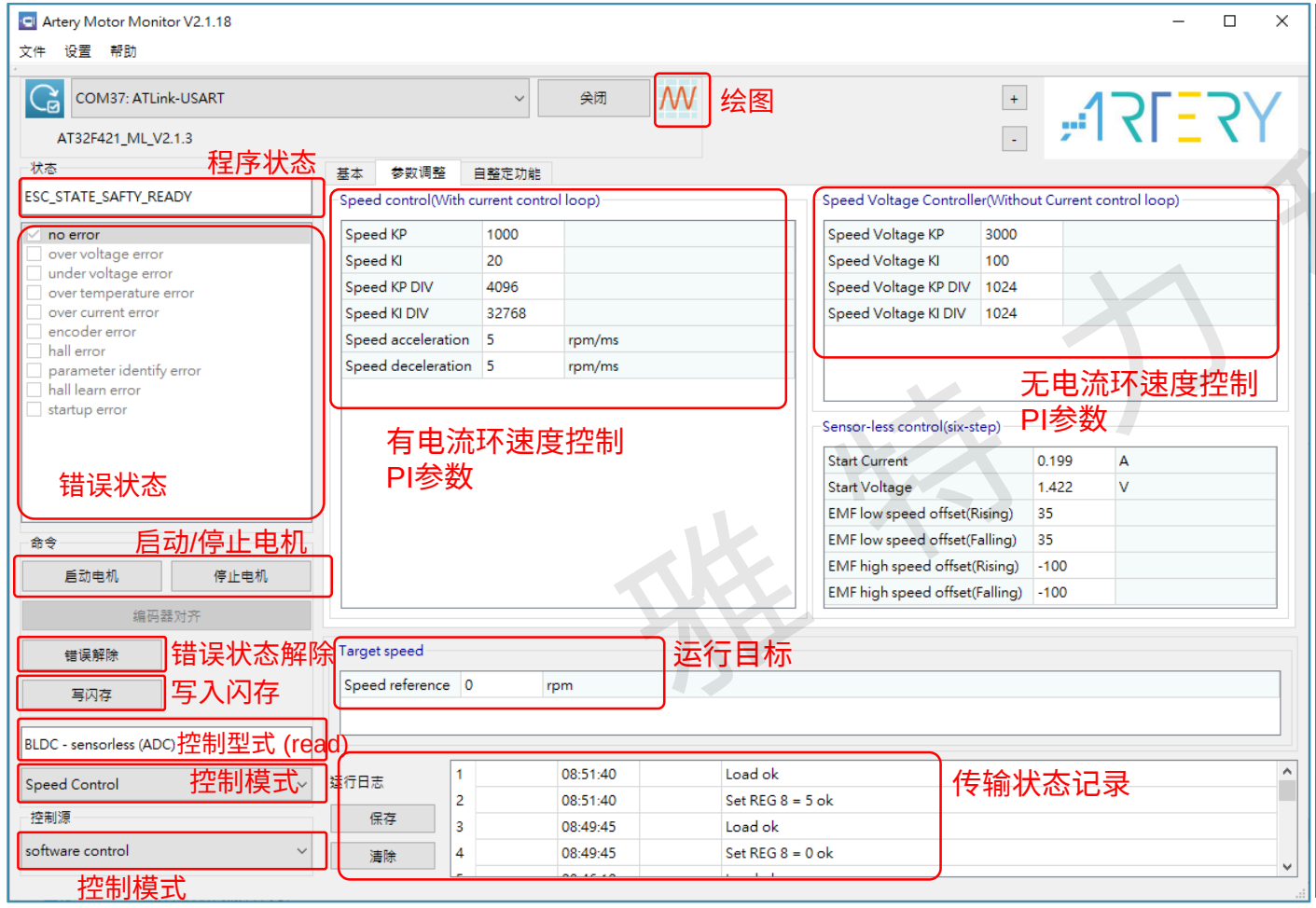
Start Current	0.599	A
Start Voltage	1.429	V
EMF low speed offset(Rising)	35	
EMF low speed offset(Falling)	35	
EMF high speed offset(Rising)	-100	
EMF high speed offset(Falling)	-100	

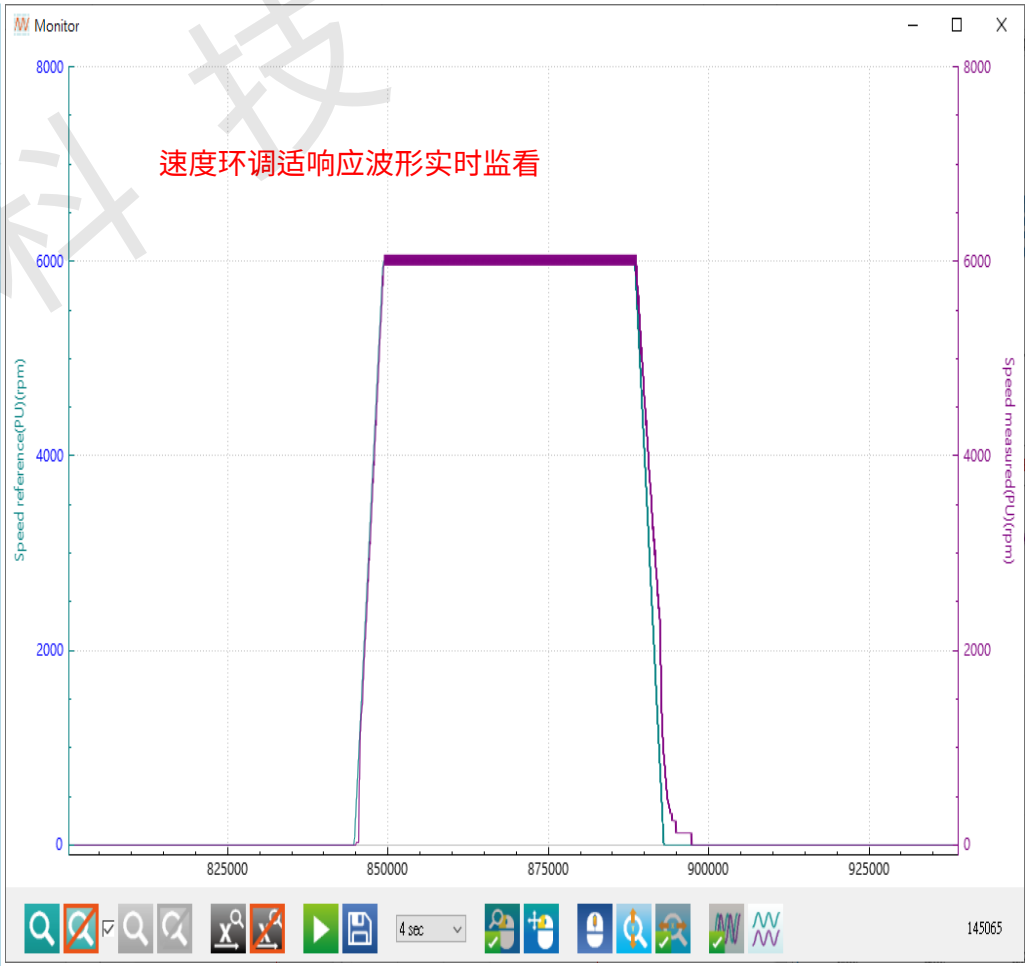
六步方波反电势调试参数界面



六步方波反电势调试参数示意图

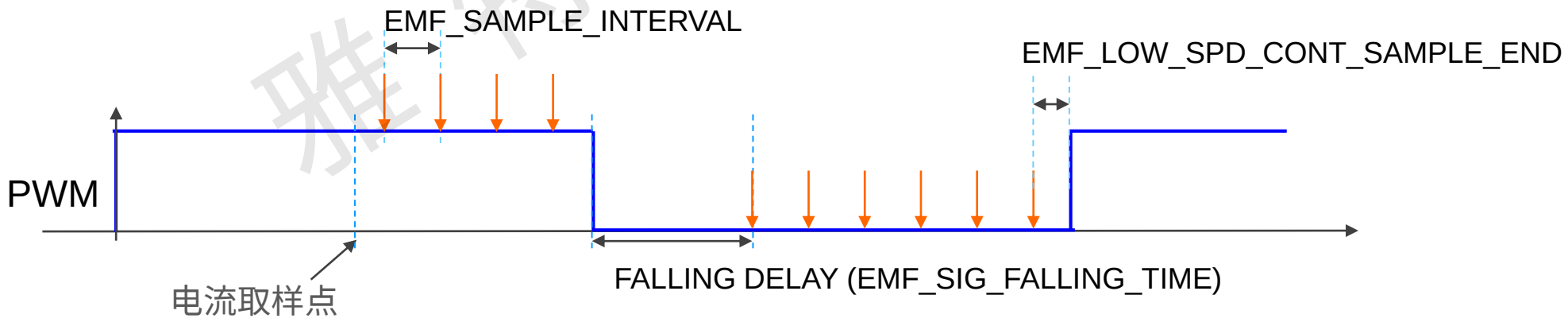
监控界面软件运行操作 – 速度环参数实时调整





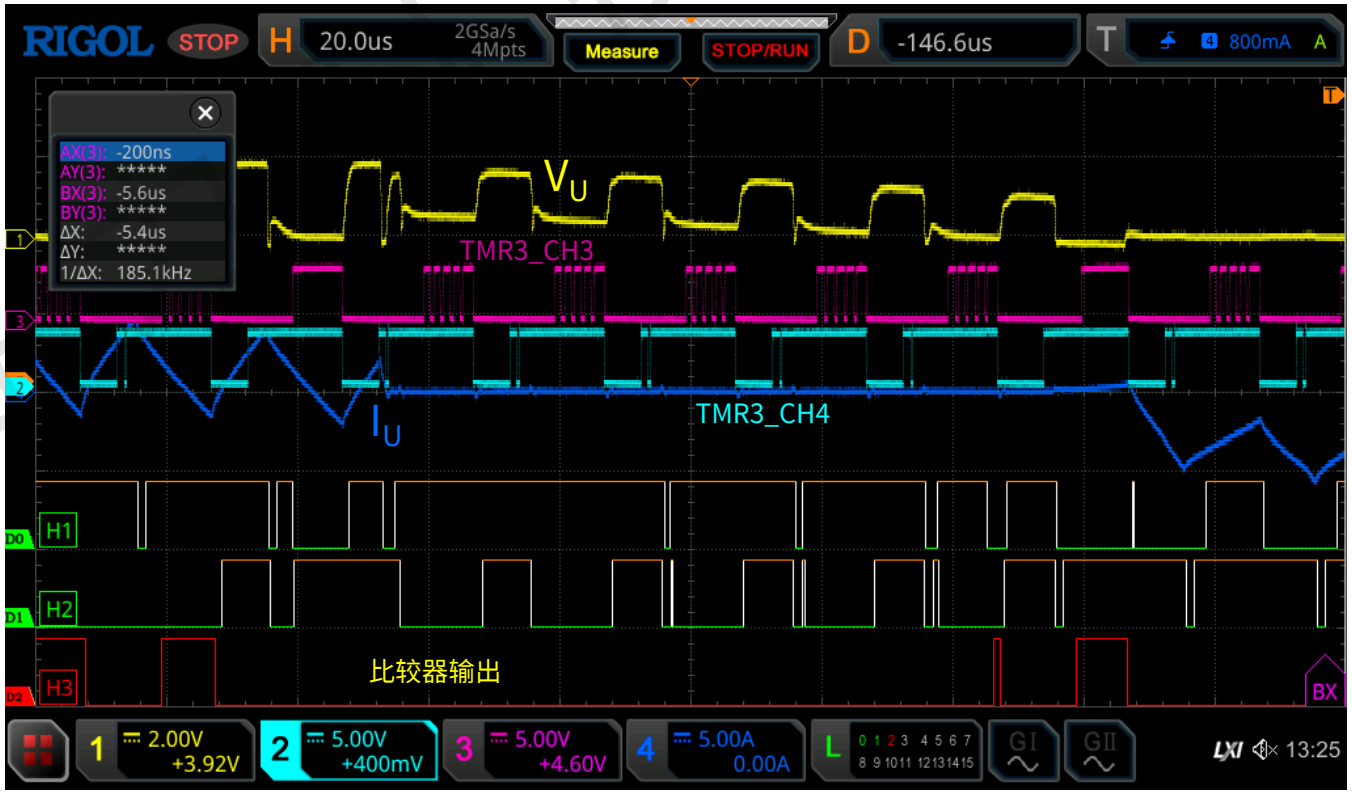
比较器连续读取模式参数设定

```
#ifdef EMF_CONTINOUS_SAMPLE
#define EMF_SAMPLE_INTERVAL             (0.05 * PWM_PERIOD)  /*!< 5% pwm duty*/
#define SENSE_GPIN_DELAY                (100)       /*!< the delay from ovf of emf timer to sense
#define EMF_LOW_SPD_CONT_SAMPLE_END     (PWM_PERIOD - EMF_SAMPLE_INTERVAL - SENSE_GPIN_DELAY)
#define EMF_AVOID_NOISE_TIMES           (5)
#else
#define EMF_AVOID_NOISE_TIMES           (1)
#endif
#define EMF_SIG_FALLING_TIME      (21.5)          /*!< usec */
```



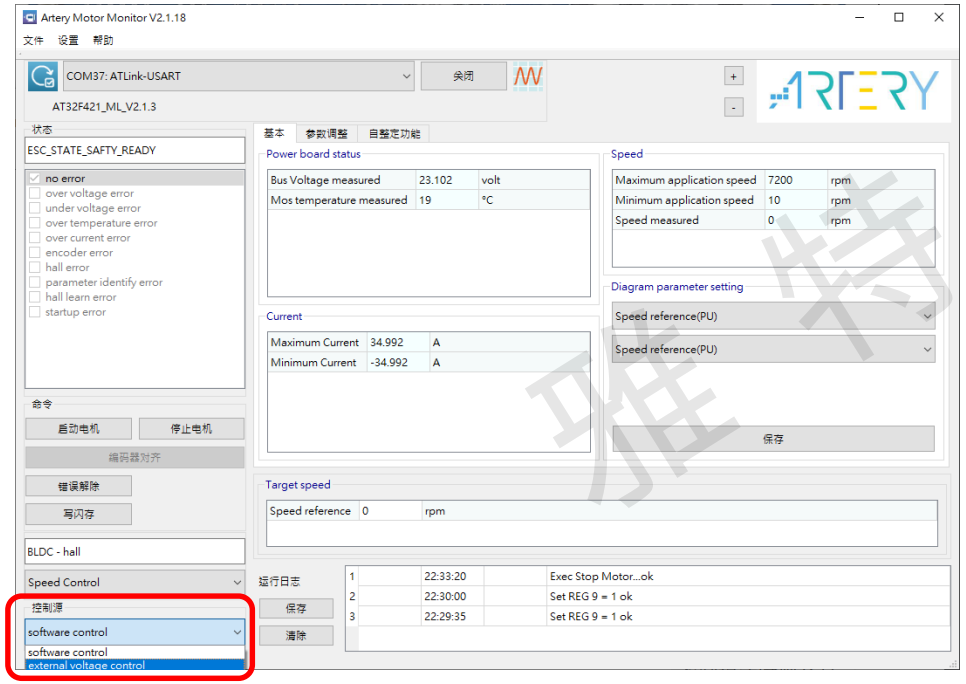
比较器连续读取实测图

- 使用定时器根据占空比决定连续取样时机
- 本例中使用TMR3为定时器
- TMR3_CH3触发PWM OFF区间连续读取
- TMR3_CH4触发PWM ON区间连续读取



外部命令控制

- 在控制源选择外部电压控制，SW1-1可设定转向
- 或在motor_control_drive_param.h头文件中定义’CTRL_SOURCE’



外部控制源

提问时间

10分钟

Q&A

联系我们

重庆办公室

重庆市九龙坡区科城路60号康田西锦荟1栋10F
+86-23-6868 8899

苏州办公室

苏州市工业园区通园路699号港华大厦1501
+86-0512-6835 6375

上海办公室

上海市长宁区仙霞路317号B栋512室
+86-0512-6835 6375

深圳办公室

深圳市福田区天安数码城创新科技广场二期西座603室
+86-0755-8390 0669 分机62568

台湾办公室

新竹市金山八街1号五楼
+886-3-577 8788

中文官网　微信公众号　English Website　Linkedin

销售咨询　sales_artery@arterytek.com
技术服务　support_artery@arterytek.com

Thank you!