

必易微无感 FOC SDK 开发使用说明手册

基于必易微 KP88676x 高压硬件开发平台

1 概述

本文是必易微无感 FOC SDK 开发使用说明文档，将结合必易微 KP88676x 芯片硬件开发平台，从硬件、软件两个方面介绍如何实现三相 BLDC 电机的无感 FOC 控制。

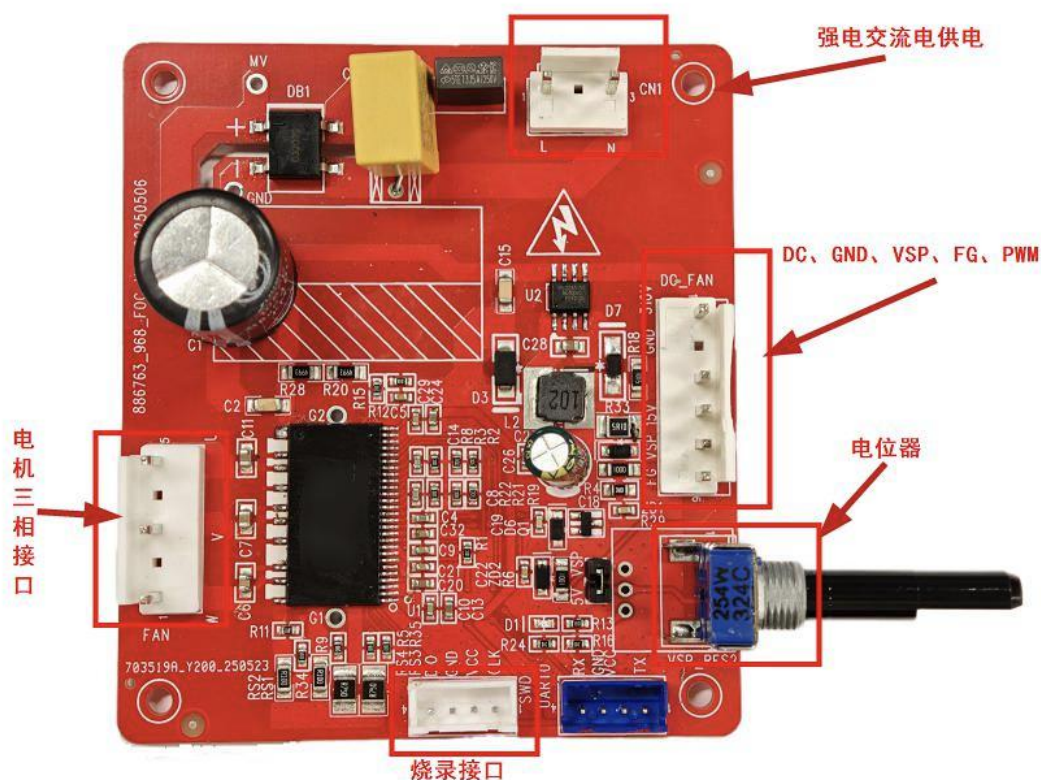


图 1. 必易微 KP88676x 电机控制硬件开发平台

2 硬件原理与参数配置

2.1 硬件原理

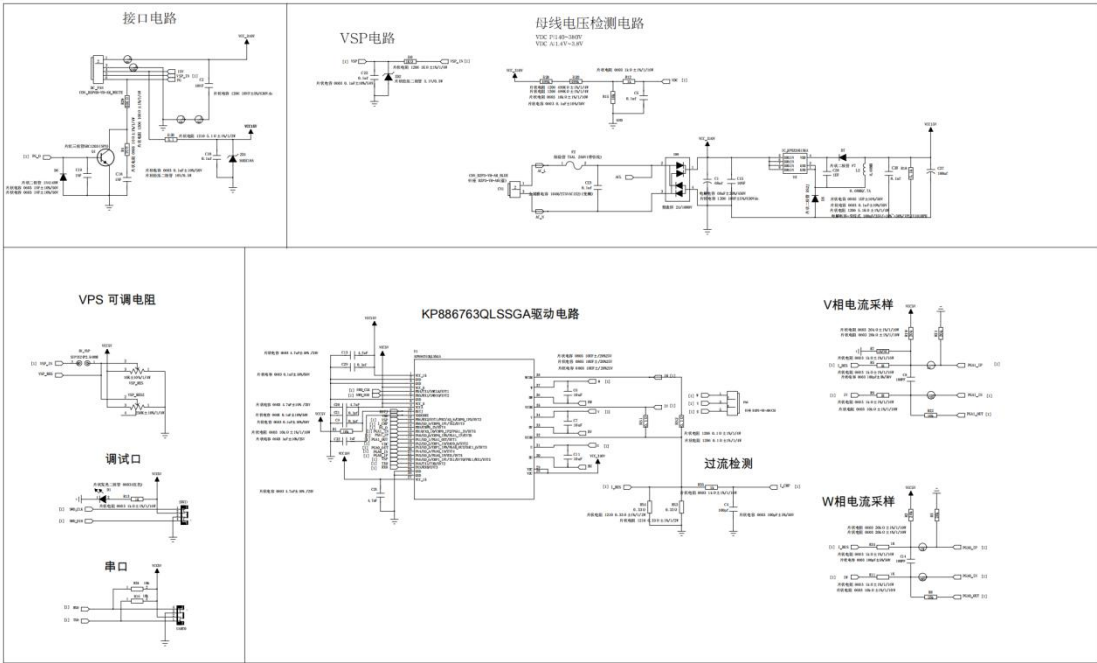


图 2. 必易微 KP88676x 电机控制硬件开发平台原理图

使用方式

工作电压最高为 600V，该开发平台作为功能演示，已经过出厂验证。软件部分请参考“4 电机调试部分”具体内容。

!!!注意事项!!!

客户实际项目开发时，需根据具体电机电压和电流大小合理配置母线电压比、运放放大倍数、采样电阻。

片状电容 0805 10uF ±20%25V
片状电容 0805 10uF ±20%25V
片状电容 0805 10uF ±20%25V

WCOM 38
W 37
BW 36
VCOM 35
V 34
BV 33
UCOM 32
U 31
BU 30
VDC 29
VDC 28

W [1]
V [1]
U [1]

C6 10uF
C7 10uF
C11 10uF

VCC_310V

RS1 0.1Ω
RS2 0.1Ω
RS3 0.33Ω
RS4 0.33Ω

R35 1kΩ

C4 100pF

针座 R3P5-VH-AM (CS)

片状电阻 1206 0.1Ω ±1%/1/4W
片状电阻 1206 0.1Ω ±1%/1/4W

片状电阻 1210 0.33Ω ±1%/1/2W
片状电阻 1210 0.33Ω ±1%/1/2W

片状电阻 0603 1kΩ ±1%/1/16W

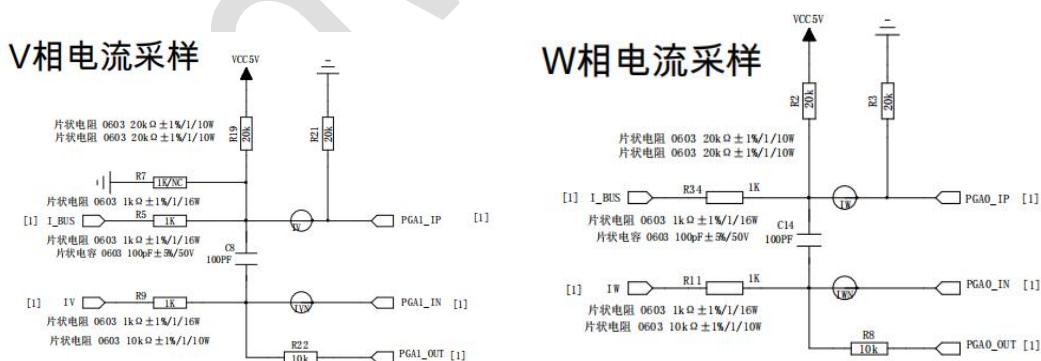
片状电容 0603 100pF ±5%/50V

过流检测

[1] I_BUS
[1] I_CMP

!!!注意事项!!!

2.1.2 运放部分



!!!注意事项!!!

1. C8、C14 精度要求 10%。
2. 采样电阻精度 1%。
3. 放大倍数 = $(R22+300)/(R9)$ ，该 DemoBoard 默认放大倍数为 10.3 倍。
4. 最大采样电流 = $(V_{cc} - V_{offset}) / \text{放大倍数} / \text{采样电阻}$ ，其中 V_{cc} 为 MCU 工作电压，

Voffset 为电流采样电路静态偏置电压。

2.1.3 母线电压采样

母线电压检测电路

VDC P:140~380V
VDC A:1.4V~3.8V

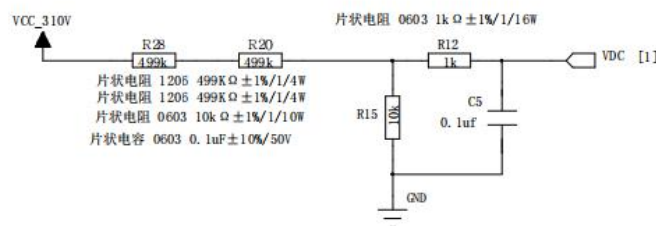


图 5. 母线电压采样电路

!!!注意事项!!!

- 1.R28、R20、R15 电阻精度要求 1%。
- 2.最大采样电压= $V_{cc} * (R28+R20+R15)/(R15)$ 。

2.1.4 KP88676x 主控 IC

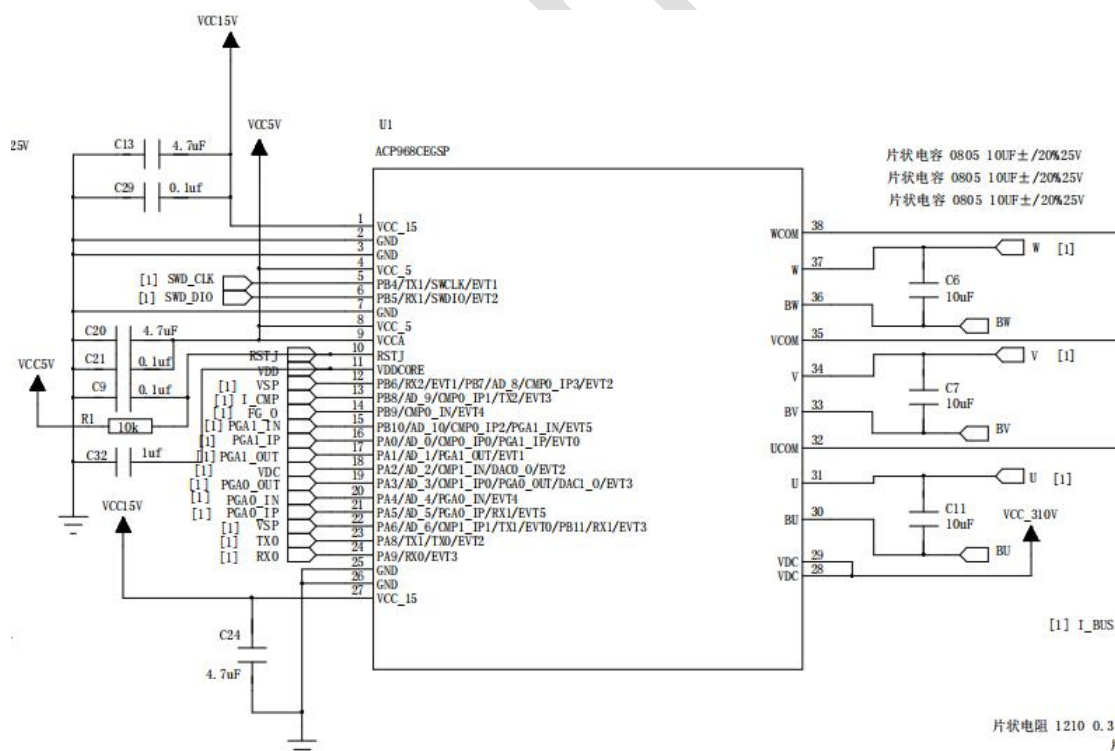


图 6. KP88676x 主控 IC 电路

!!!注意事项!!!

1. KP88676x 内置 6N GateDriver 其输入与内核 MCU 中的 TM8 PWM 输出引脚相连接。

2. KP88676x 各个外设引脚功能，可以参考对应的数据手册以及应用开发手册。

3 软件说明

3.1 SDK 文件结构介绍

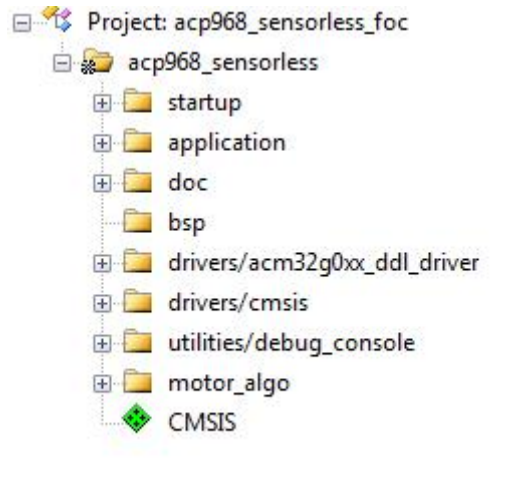


图 7. KEIL 文件目录

startup：放置启动文件。

application：放置应用开发文件以及外设配置文件。

drivers/acm32g0xx_ddl_driver：外设驱动文件。

doc：放置工程介绍文件。

drivers/cmsis：cmsis 系统文件。

utilities/debug_console：串口打印功能。

motor_algo：放置无感 FOC 算法库和 FOC 控制文件。

3.1.1 主要程序文件介绍

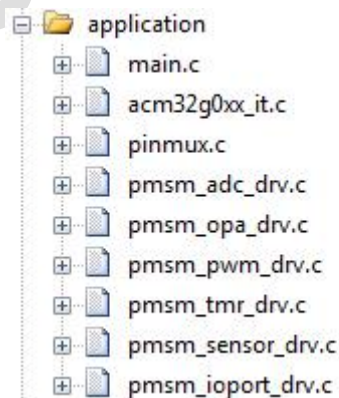


图 8. application 文件目录

main.c：进行一些初始化函数调用，VSP 和 DC 母线电压的滤波计算；FG 输出，速度环输入计算。

acm32g0xx_it.c：外设中断函数放置在里面。

pinmux.c：IO 口初始化函数。

pmsm_adc_drv.c：ADC 配置文件。

pmsm_opa_drv.c：PGA 以及 ACMP 配置文件。

pmsm_pwm_drv.c：高级定时器、PWM 互补输出配置文件。

pmsm_tmr_drv.c：通用定时器配置文件。



图 9. motor_algo 文件目录

motor_control_focproc.c：状态机、无感 FOC 电机控制功能实现。

motor_control_parameter.c：电机控制参数初始化。

protection.c：电机控制保护代码。

focctrl_lib.lib：无感 FOC 电机控制算法库。

3.2 程序运行流程

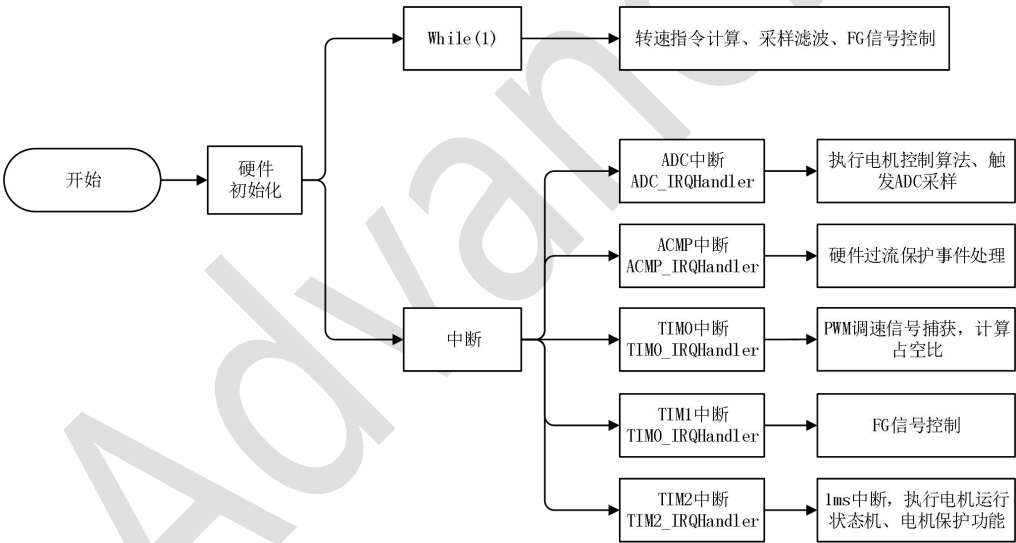


图 10. 程序整体框架图

程序整体包括两大部分：主循环与中断。其中中断优先级如表 1 所示。

中断	中断优先级（数字越小优先级越高）
ACMP_IRQHandler	0
ADC_IRQHandler	2
TIM2_IRQHandler	3
TIM1_IRQHandler	1
TIM0_IRQHandler	3

表 1. 外设中断优先级

3.2.1 main 函数

main 函数中，完成芯片时钟、外设初始化后，进入主循环 while(1)，执行对实时性要求不高的任务，包括 ADC 采样滤波、VSP 调速信号处理、PWM 调速信号处理、看门狗喂狗等。

用户可以在 main 函数里面增加自己的应用程序，例如，Calculate_Speed_Vsp(void) 就是实现控制电机运行的函数，函数中判断 Vsp 采样信号 vspFiltVal>VSP_STARTUP 为真时，MotorInfo.start 赋值为 1 即可启动电机运行程序。用户可以根据自身项目需求增加程序来实现功能。当有高频任务而且执行时间不长的程序，可以放在定时中断里面。

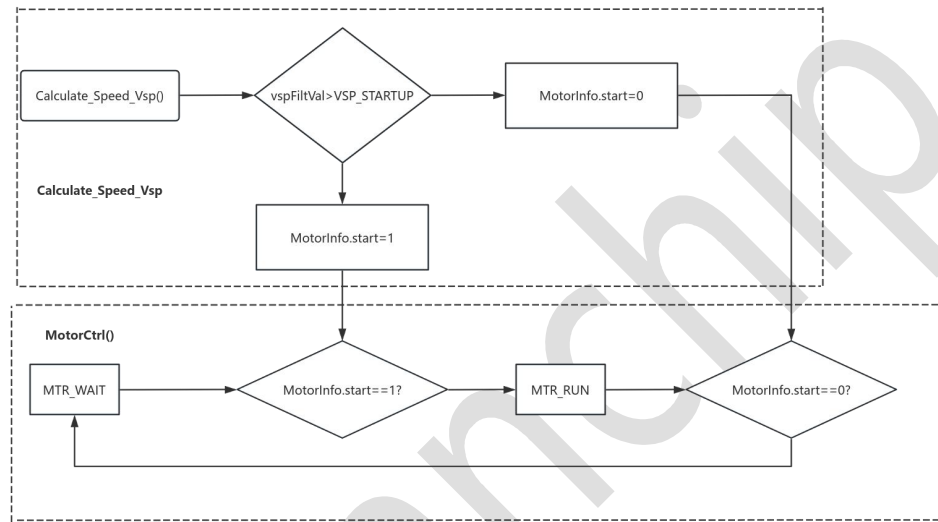


图 11. 电机开启/关闭逻辑

3.2.2 ADC_IRQHandler 函数

ADC 中断为 16KHz，每次进入中断后先读取相电流采样结果，然后执行 FOC 程序流程，最后触发母线电压、VSP 采样。

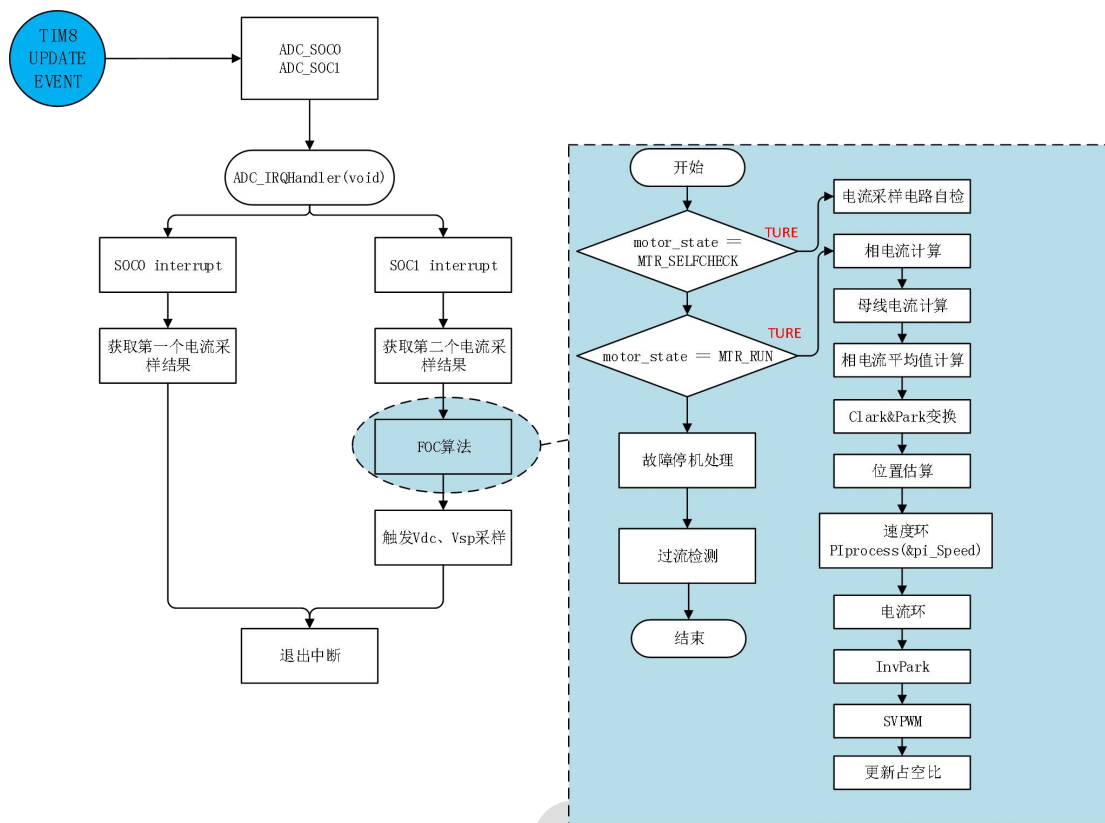


图 12. ADC 中断 ADC_IRQHandler 内部逻辑

FOC 程序流程 *FOC_CtrlProcess(phaseW_Curr, phaseV_Curr)* 主要包含如下部分：

IbusCalc：母线功率计算。

phase_lost_filters：相电流平均值计算。

Clarktransform：CLARK 运算。

DDL_HAU_SinCosOperation：三角函数转换。

Parktransform：PARK 运算。

FluxEstimate_process：电机位置估算。

PIprocess：PI 运算。

Voltage_circle_limit：电压限幅。

Invparktransform：反 PARK 运算。

SvpwmCalculate：SVPWM 运算。

PWMDutyCycleSet：输出占空比更新。

3.2.3 ACMP_IRQHandler 函数

ACMP 比较器中断函数。硬件过流时进入 *hardwareCurrFault* 置 1，PWM 自动停止输出。如图 13 所示，黄色线是一路 PWM 输出，绿色线是过流信号。过流信号发生到 PWM 输出全低的时间为 820ns 左右。



图 13. 硬件过流输出

3.2.4 TIM0_IRQHandler 函数

TIM0 中断用于捕获 PWM 调速信号，计算占空比，实现调速功能。

3.2.5 TIM1_IRQHandler 函数

TIM1 中断用于 FG 输出的信号计算，在需要反馈转速信息的应用场合才会使能此中断。

3.2.6 TIM2 中断 TIM2_IRQHandler

此中断主要执行电机运行状态机 *MotorCtrl* 以及保护功能 *mt_protection_process*。

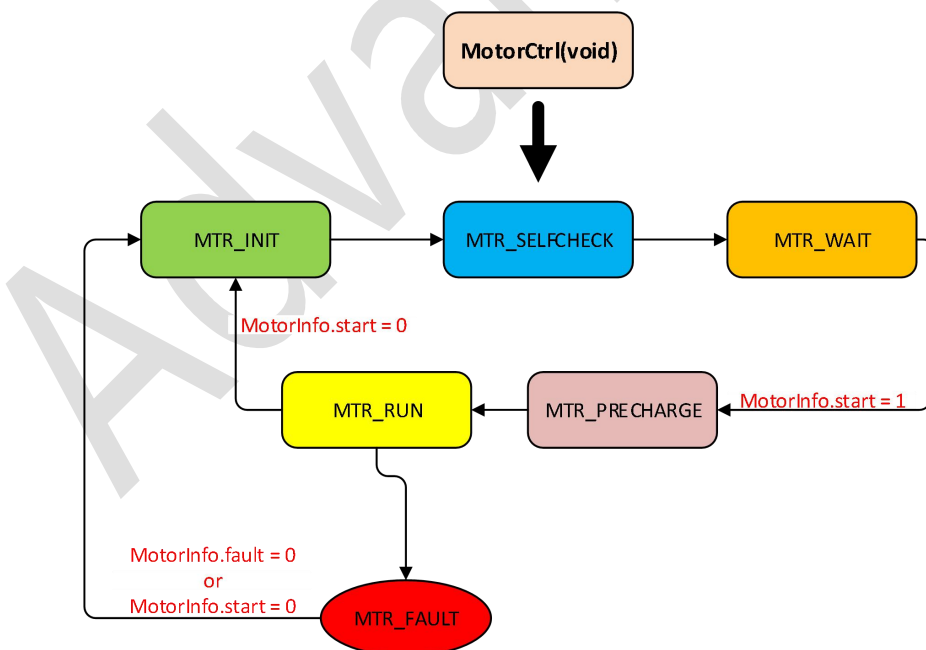


图 14. 电机运行状态机逻辑

电机运行状态机逻辑，如图 14 所示：

MTR_INIT：电机运行相关参数初始化，完成之后进入下一个状态：MTR_SELFCHECK。

MTR_SELFCHECK：采样电路自检，自检通过进入下一个状态：MTR_WAIT。

MTR_WAIT：等待运行指令，等待开机指令（MotorInfo.start=1）进入下一个状态：MTR_PRECHARGE。

MTR_PRECHARGE：自举电容充电，完成后进入下一个状态：MTR_RUN。

MTR_RUN：运行电机，电机正常运行时处于该状态。

MTR_FAULT：电机运行出现故障进入该状态，等待故障清零或关机指令（MotorInfo.start=1）后从该状态跳转至 MTR_INIT 状态。

电机保护功能包括缺相、堵转、过流、过欠压等。

4 电机调试部分

电机配置文件需要选择 *motor_control_parameter.c*。文件鼠标选中 “*motor_control_configparms.h*”，选择 Open document “*motor_control_configparms.h*”。在“*motor_control_configparms.h*”进行电机的参数和硬件参数的配置。

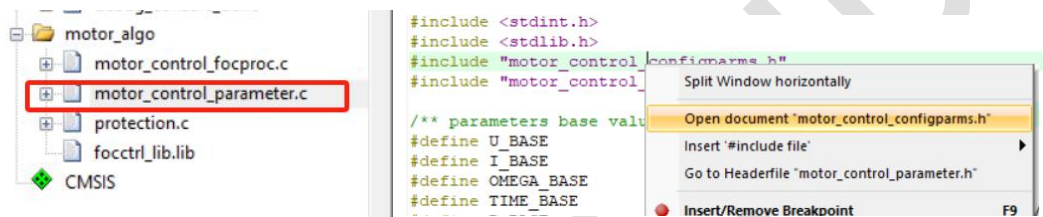


图 15. motor_control_configparms. h

4.1 电机参数测量

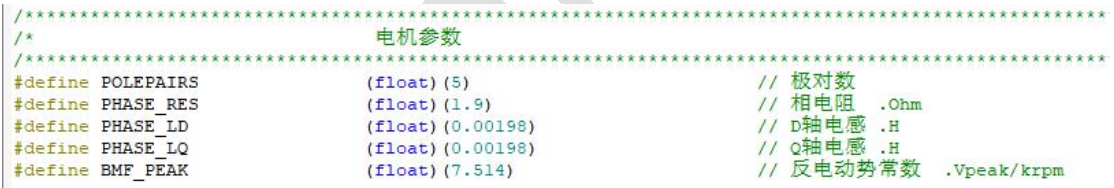


图 16. 电机参数

4.1.1 相电阻测量

测量工具：万用表

测量方法：使用万用表欧姆档，测量电机 UVW 三相线中两两之间的电阻阻值 R_{uv} 、 R_{uw} 、 R_{vw} 。电机的相电阻按以下公式计算：

$$R_s = \frac{R_{uv} + R_{uw} + R_{vw}}{6}$$

4.1.2 DQ 轴电感

测量工具：数字电桥或电感表

测量方法：数字电桥调到电感测量模式，测量频率设置为 1kHz，测量电机三相线中 UVW 三相线中两两之间的电感 L_{uv} 、 L_{uw} 、 L_{vw} 。

对于表贴式永磁同步电机的 dq 轴电感可按如下公式计算：

$$L_q = L_d = \frac{L_{uv} + L_{uw} + L_{vw}}{6}$$

对于内嵌式永磁同步电机的 dq 轴电感，可按如下公式计算：

$$L_d = \frac{\min(L_{uv}, L_{uw}, L_{vw})}{2}$$

$$L_q = \frac{\max(L_{uv}, L_{uw}, L_{vw})}{2}$$

4.1.3 电机极对数 N_p 测量

方法一：使用示波器，用电压探头接到电机三相中的其中两相，手动转动电机一圈，观察转动电机时示波器出现的正弦电压波峰（或波谷）数量。波峰（或波谷）数量即为电机的 N_p 极对数。

方法二：使用直流电源，设置好电压和限流，把直流电源的正负端接到电机三相中的其中两相。打开电源，手动转动电机一圈，转动过程中出现顿挫感次数，即为极对数 N_p 。

4.1.4 反电动势常数测量

测量工具：示波器、电压探头

测量方法：电压探头的两头分别接到电机三相中的其中两相。手动转动电机，为了测量更精确应在保持转速平稳的情况下尽可能把电机转动得快一些，然后用示波器测出转动电机时两相之间的电压波形，用示波器测量电压波形的峰峰值 V_{pp} 和频率 f_e ，反电动势常数 K_e 按如下公式计算：

$$K_e = \frac{25 * V_{pp} * N_p}{3 * f_e} (V/Krpm)$$

举例：一个 $N_p=5$ 的电机的两相间反电动势波形如下图，可以看到 $V_{pp}=1.5V$ ， $f_e=7.143$ ，那么电机的反电动势常数为 $8.75 V/Krpm$ 。

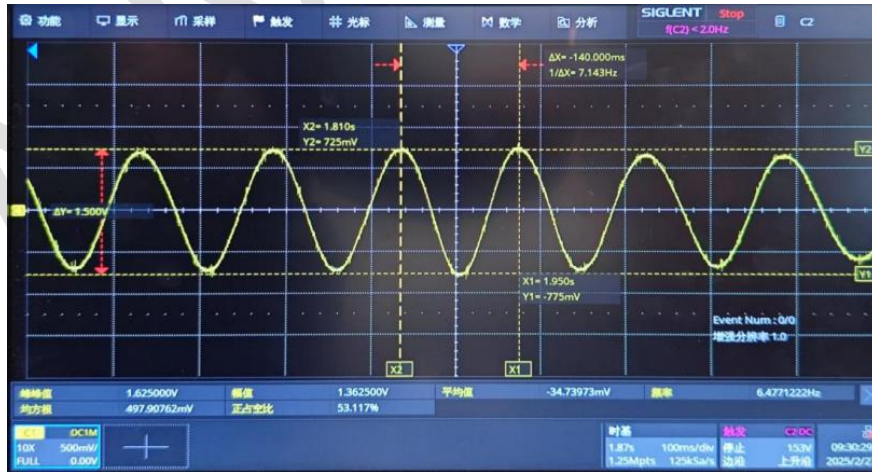


图 17. k_e 参数测量

4.2 硬件电路参数设置

```
18
19 #define ADC_VOL_REF          (float) (4.9)           //MCU工作电压
20 #define VDD_VOL              (float) (1.5)           //MCU内核电压1.5 V
21
22 //电流采样电路参数
23 #define CUR_SAMPLE_RSHUNT    (float) (100)           //采样电阻      单位: mΩ
24 #define CUR_SAMPLE_R1       (float) (1.0)           //采样电路电阻1 单位: kΩ
25 #define CUR_SAMPLE_R2       (float) (10.0)          //采样电路电阻2 单位: kΩ
26 //Vbus采样电路参数
27 #define VBUS_SAMPLE_RES1     (float) (10.0)          //VBUS采样VCC到分压点之间电阻 单位: kΩ
28 #define VBUS_SAMPLE_RES2     (float) (1.0)           //VBUS采样分压点GND到之间电阻 单位: kΩ
29 //硬件过流保护参数
30 #define ITRIP                 (float) (2.2)           //硬件过流保护值 单位: 安培 .A
31 #define PROT_RSHUNT          (float) (0.33)          //保护电阻阻值   单位: 欧 .Ω
32
```

图 18. 硬件参数

```
91 //***** 电气参数 *****//
92 /*
93 //***** 电气参数 *****//
94 #define UMAX          (float) (24.0)           // 母线电压值
95 #define IPEAK         (float) (1000*(ADC_VOL_REF - CUR_SAMPLE_OFFSET)/(CUR_SAMPLE_GAIN1*CUR_SAMPLE_RSHUNT)) // 硬件最大采样电流
96 #define FREQ_BASE     (float) (250.0)         // 频率基准, 大于电机最高转速对应的电频率
97 #define SPEED_BASE    (int16_t) (60.0*FREQ_BASE/POLEPAIRS) // 转速基准
98
99 #define PWR_CORRECT_COEFF Q15(0.97) //功率校准系数
100
101 #define POWER_NORM(value) (int16_t) ((value/(UMAX*IPEAK*1.1547))*(32768U))
102 #define CURRENT_NORM(current) (int16_t) ((current/(IPEAK*2))*(32768U))
103 #define SPEED_COEFF_Q24 (int16_t) ((1.0/SPEED_BASE)*(16777216UL))
104
```

图 19. 电气参数

根据硬件以及电机参数，需设定电压(UMAX)、电流(IPEAK)、频率(FREQ_BASE) 等三个参数的基准，算法中其他参数都是以这三个参数作为基准来进行换算。

UMAX：设定为电机额定电压，如 DC 24V 电机，需设置为 24；DC310V 电机，需设置为 310。

IPEAK：该值应设定为硬件电流采样电路能采到的最大电流。

FREQ_BASE：该值应设定要大于电机运行最高转速对应的电频率，比如一个 5 对极电机最高运行转速为 1000rpm，其对应的电频率为 83.333Hz，那么 FREQ_BASE 设置应大于 83.333。

4.3 电机启动运行参数

对于不同负载或不同应用场景的电机，对启动以及性能的要求可能不同。需要根据实际情况设置电机相关的运行参数，主要包括电机启动电流、电机运行的最高以及最低转速、电机加减速速率等。

4.3.1 启动参数

① 启动电流 STARTUP_CUR：启动电流影响电机启动阶段的带载能力，启动电流越大带载能力越强，但同时启动电流越大启动时电机的震动会越大，尤其在电机空载时震动比较明显。因此，需要根据实际负载情况调整启动电流大小，既要保证启动的可靠性，又要避免过大的启动震动影响到用户的使用体验。

② 启动阶段观测器参数 STARTUP_BOS_GAIN1，STARTUP_BOS_GAIN2，STARTUP_RES_COEFF：如果调试过程中遇到启动失败的情况，需要调整启动观测器参数，调整的原则是，先调 STARTUP_RES_COEFF，调整范围在 0—2 之间(一般情况下调整范围在 0.5 - 1.5 之间)，如果调整 STARTUP_RES_COEFF 无效，则调整 STARTUP_BOS_GAIN1，再无效最后再调整 STARTUP_BOS_GAIN2。

```

5 //启动参数
6 #define STARTUP_CUR CURRENT_NORM(0.80) // [0, IPEAK]. 安培 启动电流, 过小可能启动失败, 过大容易造成启动过程抖动
7 #define STARTUP_OBS_GAIN1 (float) (1.8) // [0, 8]
8 #define STARTUP_OBS_GAIN2 (float) (0.18) // [0, 1]
9 #define STARTUP_RES_COEFF (float) (1.15) // [0, 2]
10
11 #define SPEED_PARA_SWITCH (MINSPEEDINRPM) // 启动参数切换正常运行参数的转点
12
13

```

图 20. 启动参数

4.3.2 运行参数

① 最大运行转速 NOMINALSPEEDINRPM：电机最大运行转速（rpm），该参数会限制电机所能运行的最高转速，可按电机额定转速设定。

② 最低运行转速 MINSPEEDINRPM：电机最低运行转速（rpm），该参数会限制电机运行的最低转速。

③ 加减速速率 SPEED_ACC_RAMP：电机加减速速度，越大将减速越快。

④ 补偿角 LEADIND_ANGLE：一般设置为 0，该值可以进一步优化电机运行时的效率，根据实际情况调整。

```

134 //运行参数
135 #define NOMINALSPEEDINRPM 2000 // 电机最大运行转速 .rpm
136 #define MINSPEEDINRPM 200 // 电机最小运行转速 .rpm
137 #define SPEED_ACC_RAMP 5 // 电机升降速加速度, 越大加速越快
138 #define SPEED_ERR_LIMIT 300 // 目标转速预实际转速误差限幅
139
140 #define POWER_LIMIT_EN 1 // 功率限制使能
141 #define MAX_POWER_LIMIT POWER_NORM(18.0) // 最大功率限制 (限制最大输入功率, 单位: W)
142
143 #define ANGLE_COMP_EN 0 // 补偿角使能
144 #define LEADIND_ANGLE (-0) // 补偿角
145

```

图 21. 运行参数

4.3.3 环路调试

```

/* ***** 电流环参数 ***** */
/* ***** 电流环参数 ***** */
#define CURLOOP_BW_HZ (float) (500.0) // [100, 1000]. Hz 电流环带宽
#define CURLOOP_OUTMAX (int16_t) (32440) // 电流环输出限幅

```

图 22. 电流环参数

电流环调试：用 jscope 看 I_d 、 I_q 反馈电流， I_d 、 I_q 反馈电流出现高频震荡的时候，改小带宽；出现低频震荡的时候增大带宽；输出限制一般不动。

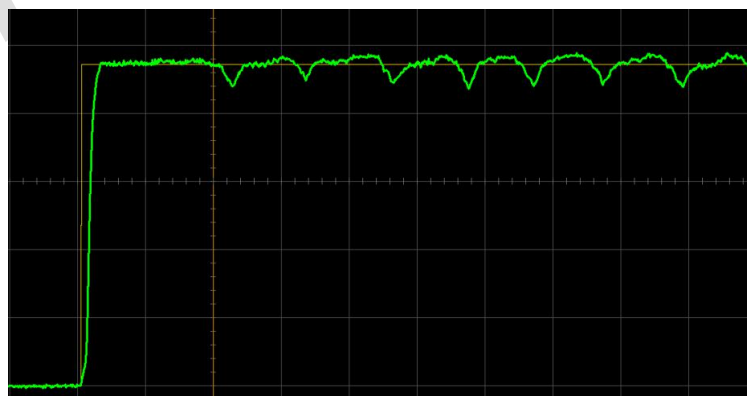


图 23. 低频震荡



图 24. 高频震荡



图 25. 正常曲线

```

/*****
/*          转速环参数
/*****
#define SPDLOOP_BW_HZ      (float) (15.0)    // [5 , 50].Hz      转速环带宽
#define SPDLOOP_KP         (float) (0.6)     // [0 , 8]           转速环 Kp
#define SPDLOOP_KI         (float) (0.02)    // [0 , 1]           转速环 Ki
#define SPDLOOP_OUTMAX     (float) (1.6)     // [0, IPEAK].安培   转速环输出限幅, 即电流限幅

```

图 26. 转速环参数

速度环调试：用 jscope 看速度反馈，速度反馈出现高频震荡的时候，改小带宽；出现低频震荡的时候增大带宽；SPDLOOP_OUTMAX 为速度环输出最大电流。

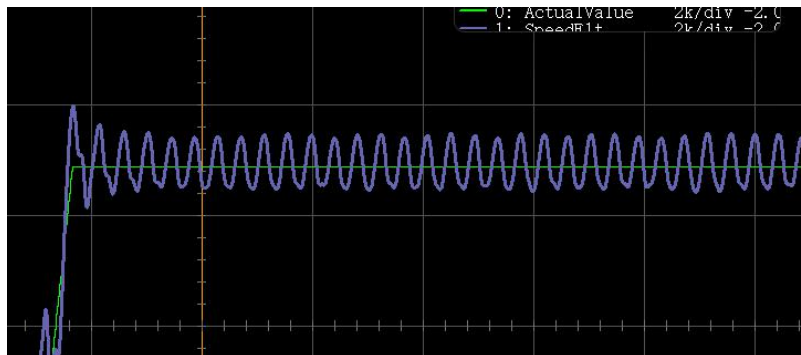


图 27. 高频震荡

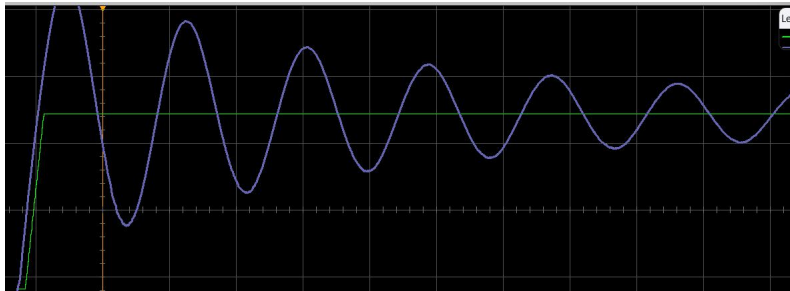


图 28. 低频震荡

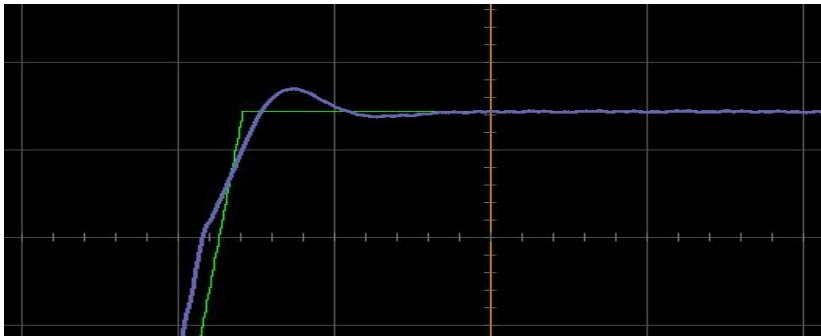


图 29. 正常曲线

4.4 保护功能

软件中包含缺相、堵转、过欠压、过流等保护功能。

4.4.1 缺相保护

当电机三相线中某一相与控制器断开连接，系统报缺相保护，并停止电机运行。

验证方法：将电机相线中某一相断开与控制器的连接，观察电机是否会停机，同时可通过软件中的 MotorInfo.fault 是否等于 1 判断是否触发了缺相保护。

```
//缺相保护参数
#define PHASELOSS_PROTE_EN      1           // 堵转保护使能
#define PHASE_LOSS_ERROR_LIMIT  500        // 缺相保护触发时间 1ms计数步长,1000-->1s
#define PHASELOSS_RST_TIMER     5000       // 缺相保护自动恢复时间 1ms计数步长,6000-->6s
#define PHASELOSS_RST_CNT       3          // 缺相保护恢复次数,超过该次数后不会自动恢复
```

图 30. 保护参数

4.4.2 堵转保护

当电机受到外力或其他原因无法按指令转速正常转动时，会触发堵转保护。

验证方法：将电机转轴堵住时无法旋转，观察电机是否会停机，同时可通过软件中的 MotorInfo.fault 是否等于 2 判断是否触发了堵转保护。


```

//堵转保护参数
#define STALL_PROTE_EN 1 // 堵转保护使能
#define STALL_CUR_MAX (CURRENT_NORM(1.2)) // 堵转电流阈值1
#define STALL_SPD_LOW 600 // 堵转转速阈值1
#define STALL_ERROR_CNT_LIMIT 1000 // 堵转保护触发时间 1ms计数步长,1000-->1s
#define STALL_RST_TIMER 2000 // 缺相保护自动恢复时间 1ms计数步长,2000-->2s
#define STALL_RST_CNT 4 // 堵转保护恢复次数,超过该次数后不会自动恢复

```

图 31. 堵转保护参数

4.4.3 过欠压保护

过欠压保护需要根据实际采样电路参数设置好电压采样系数，这是电压保护是否准确的前提。电压采样系数根据采样电路的分压电阻来设置，包括 VBUS_SAMPLE_RES1、VBUS_SAMPLE_RES2、和 ADC_VOL_REF 等。

```

// 母线电压保护参数
#define VBUS_PROTE_EN 1 // 电压保护使能
#define VBUS_OVER 28 // 过压保护阈值 (V)
#define VBUS_LOW 18 // 欠压保护阈值 (V)
#define VBUS_RST_OVER 26 // 过压保护恢复阈值 (V)
#define VBUS_RST_LOW 22 // 欠压保护恢复阈值 (V)

```

图 32. 母线电压保护

4.4.3 过流保护

过流保护包括软件过流检测及硬件过流检测。软件过流保护需要设置保护值 MAX_PHASE_CUNRRENT，通过电流采样获取电流值来和保护值作比较进行保护。该保护值根据实际负载情况设置。

```

// 软件过流保护参数
#define MAX_PHASE_CUNRRENT (CURRENT_NORM(2.0)) // [0,IPEAK].安培 过流保护阈值,该值应大于'SPDLOOP_OUTMAX'
#define OVERCUR_RST_TIME 5000 // 软件过流保护自动恢复时间 1ms计数步长,5000-->5s

```

图 33. 软件过流保护参数

硬件过流保护使用芯片内部比较器实现保护。

```

// 硬件过流保护参数
#define HWOC_RST_CNT 5 // 硬件过流保护恢复次数,超过该次数后不会自动恢复
#define HWOC_RST_TIMER 6000 // 硬件过流保护自动恢复时间 1ms计数步长,6000-->6s

```

图 34. 软件过流保护参数

5 J-Scope 的调试以及问题排查

5.1 J-Scope 使用说明

J-Scope 是由 SEGGER 公司推出的波形显示软件，主要用于实时监控嵌入式系统中的变量变化。

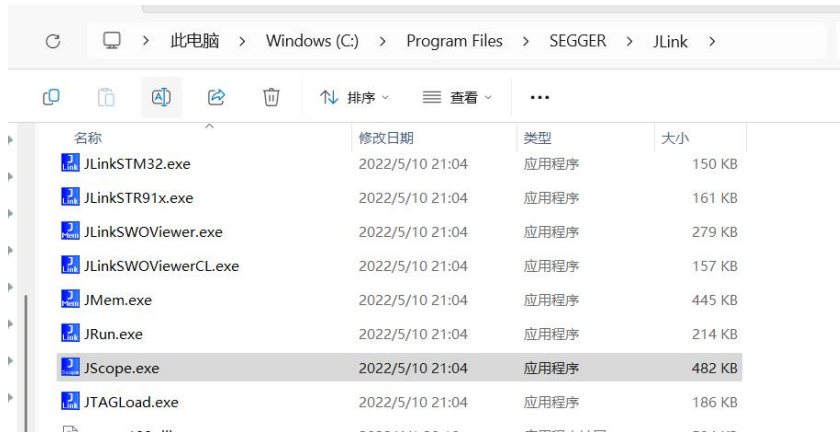


图 35. JScope 路径

找到安装目录 Program Files\SEGGER\JLink，双击 JScope.exe。打开 JScope 软件后，按照以下步骤操作：

1. 创建新项目：点击左上角的“File”菜单，选择“New Project”以创建一个新项目。
2. 配置目标设备：在配置界面中，选择目标设备型号 M0+，并设置接口类型 SWD 以及采样速率（单位为微秒，最小为 1us）。
3. 添加 ELF 文件：将 Keil 工程生成的 *.axf 文件添加到项目中，以便 J-Scope 识别变量。
4. 选择监控变量：在变量列表中勾选需要监控的变量，最多可同时监控 10 个变量。
5. 运行与停止 点击“RUN”按钮开始采样，波形会实时显示在界面上。点击“停止”按钮可结束采样。

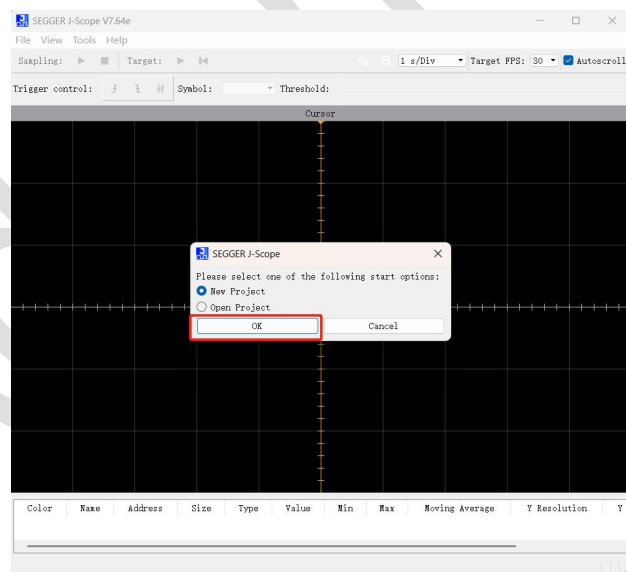


图 36. jscope 界面

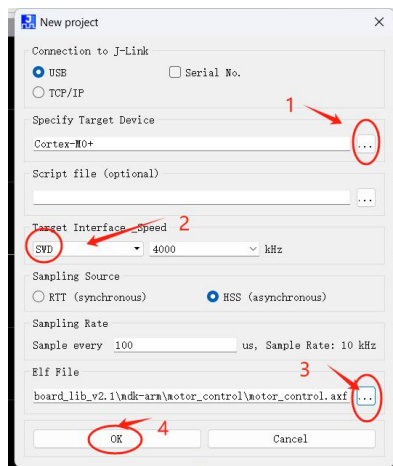


图 37. 配置界面

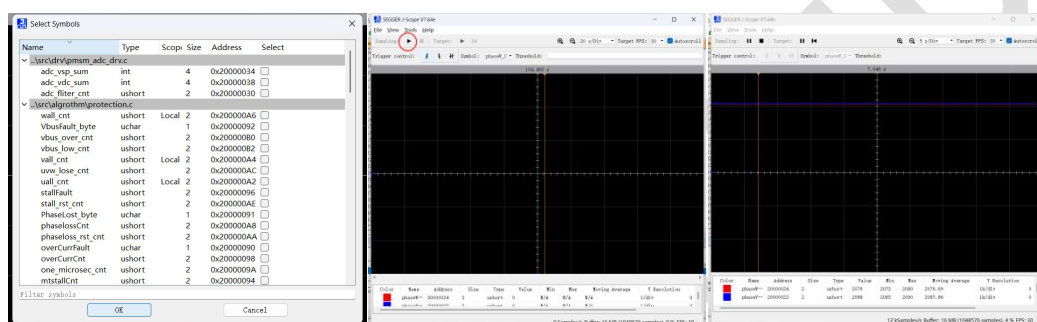


图 38. 变量观测

!!!注意事项!!!

- 1、确保 Jlink 与硬件的连接。
- 2、添加的 axf 文件要与烧录的程序一致。

5.2 硬件排查

5.2.1 输出排查

用示波器接 HU/HV/HW 三相的输出时，可不接电机，软件上按照 TIM8_DutyCycle_Set(1300,1300,1500,1500,1700,1700) 给固定占空比即可。测量三相的输出信号，如果三相信号不完整，则需检查硬件连接是否正常、电路是否虚焊、器件是否损坏等。

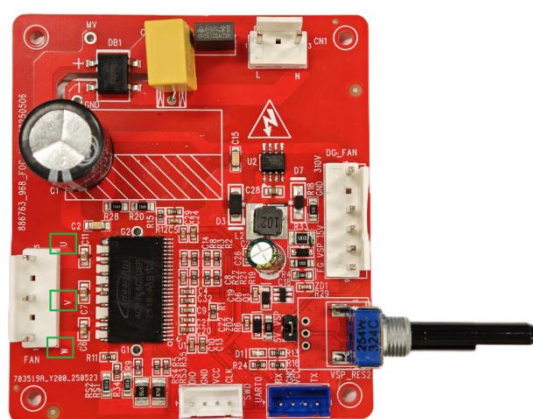


图 39. U/V/W 三相触点

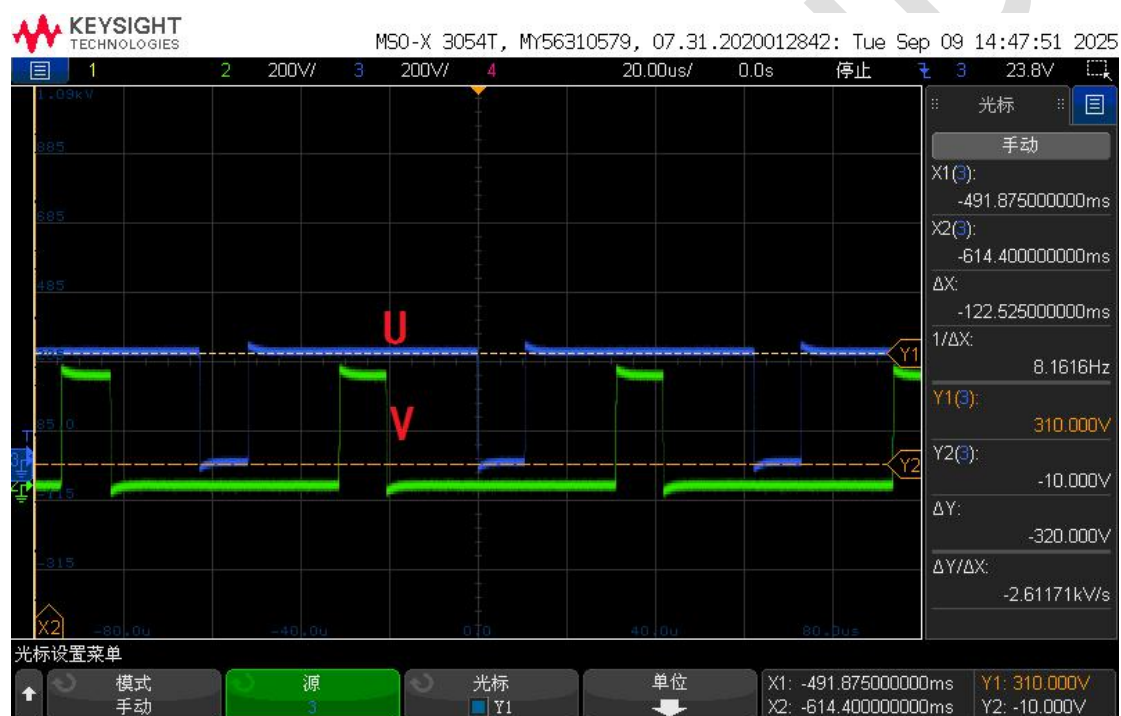


图 40. U/V 两相触点对地输出波形



图 41. V/W 两相触点对地输出波形

!!!注意事项!!!

对于其他高压硬件平台，如 KP88676x，测试 U/V/W 三相触点的输出波形时，需采用高压探头，以免烧毁示波器。

5.2.2 运放排查

给固定占空比，软件只需发固定 PWM 波即可：TIM8_DutyCycle_Set(1300,1300,1500,1500,1700,1700)；接上电机，用电流探头测量相电流。根据发波的情况，可以推测 U 相为正电流，V 相基本为零，W 相为负电流。用 J-scope 读取静态相电流，验证上述结论。如图 4 所示，放大倍数为 10.3，采样电阻为 0.1 欧姆。采样值为 6616； $6616/16834 \times 2.379 = 0.96$ 安培，与实际测量出来的相电流 0.94A 在偏差允许范围内。当计算数值与测量结果偏差较大时，需要查找一下运放的设置以及放大倍数。

```

82 //TIM8_DutyCycle_Set(dutycycle1,dutycycle1,dutycycle2,dutycycle2,dutycycle3,dutycycle3);
83 TIM8_DutyCycle_Set(1300,1300,1500,1500,1700,1700);
84
85 }

```

图 42. 占空比设置

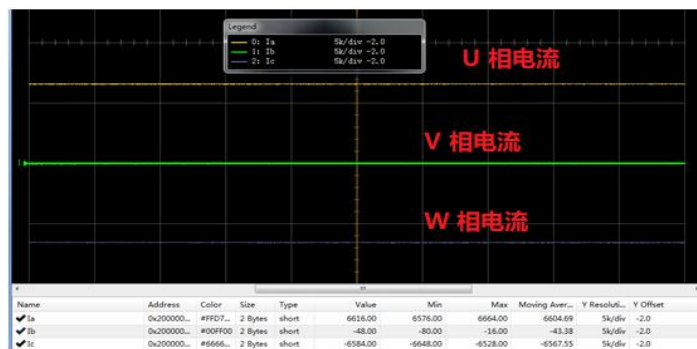


图 43. Jscope 读取相线采样值

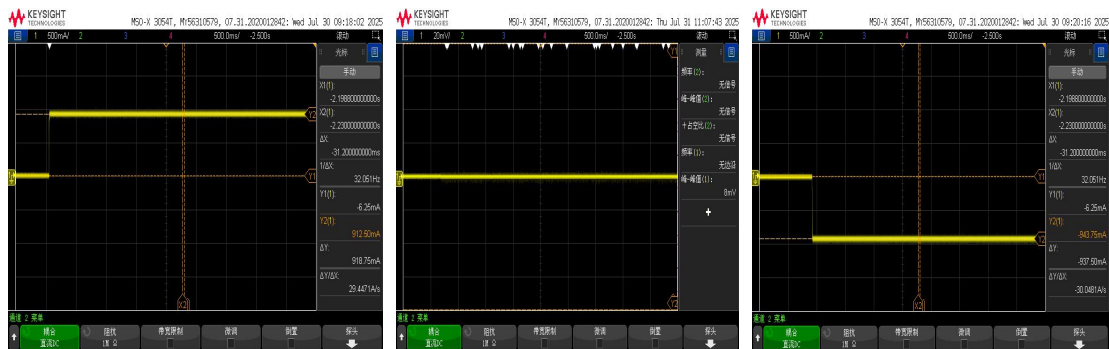


图 44. u/v/w 相线电流

5.2.3 采样排查

电机运行时，使用 J-scope 读取相电流，与实际电流波形对比。如下图，在 J-Scope 中读取 W 相电流的波峰以及波谷值分别为：10960 以及 -10760。对波峰以及波谷，取其绝对值安如下公式进行计算：

$$\text{电流} = (\text{波峰} + \text{波谷}) / 2 / 16384 * 2.379,$$

则：W 相 J_Scope 电流值：lw = (10960 + 10760) / 2 / 16384 * 2.379 = 1.577。实测 W 相 I 峰峰值 3.2125A，电流值 = 3.2125 / 2 = 1.606A。

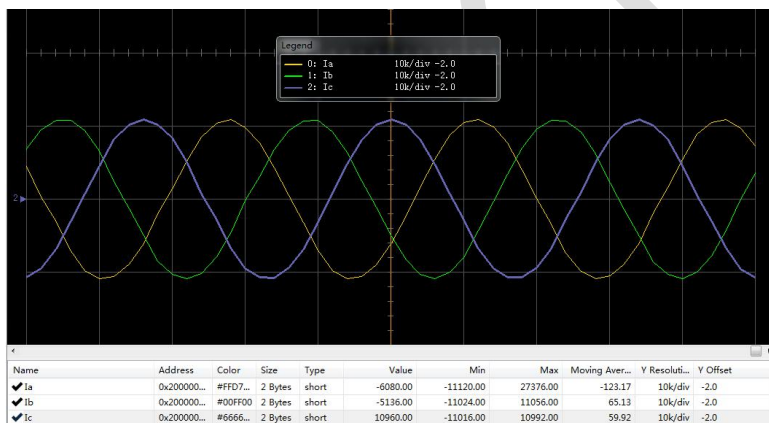


图 45. Jscope 读取的 u/v/w 相电流

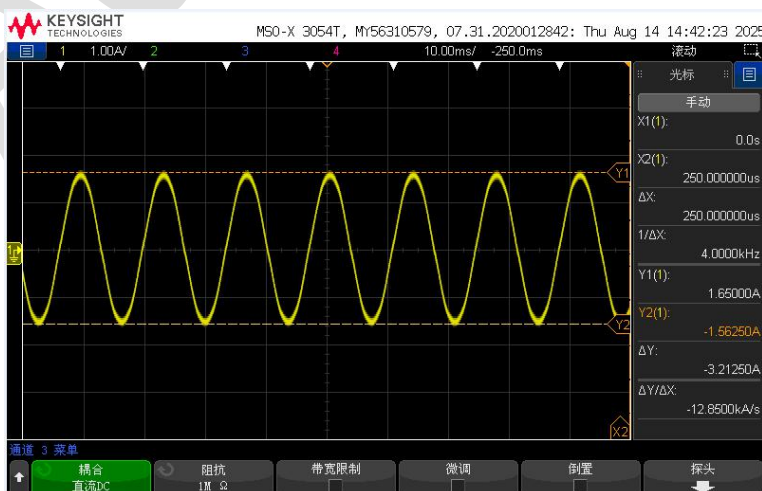


图 46. w 相实测电流

6 电机启动电流波形

使用 KP88676x 高压硬件平台，调试高压空调内风机电机，得到典型启动电流波形如下所示。



图 47. 310V 电机

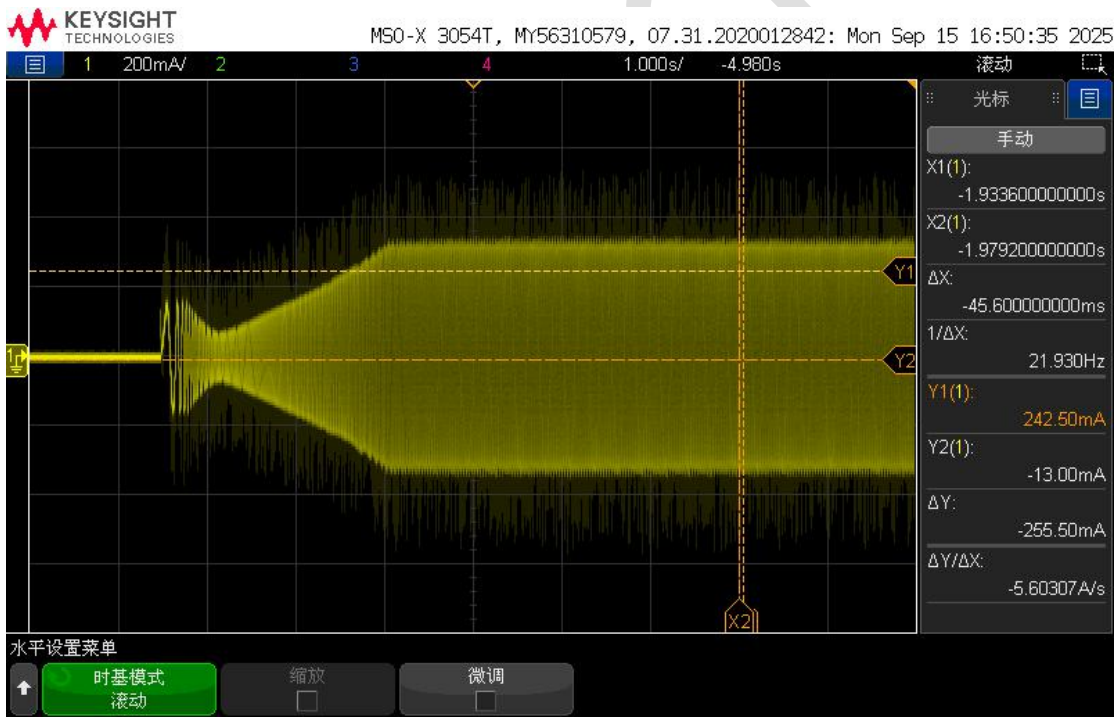


图 48. 静止启动

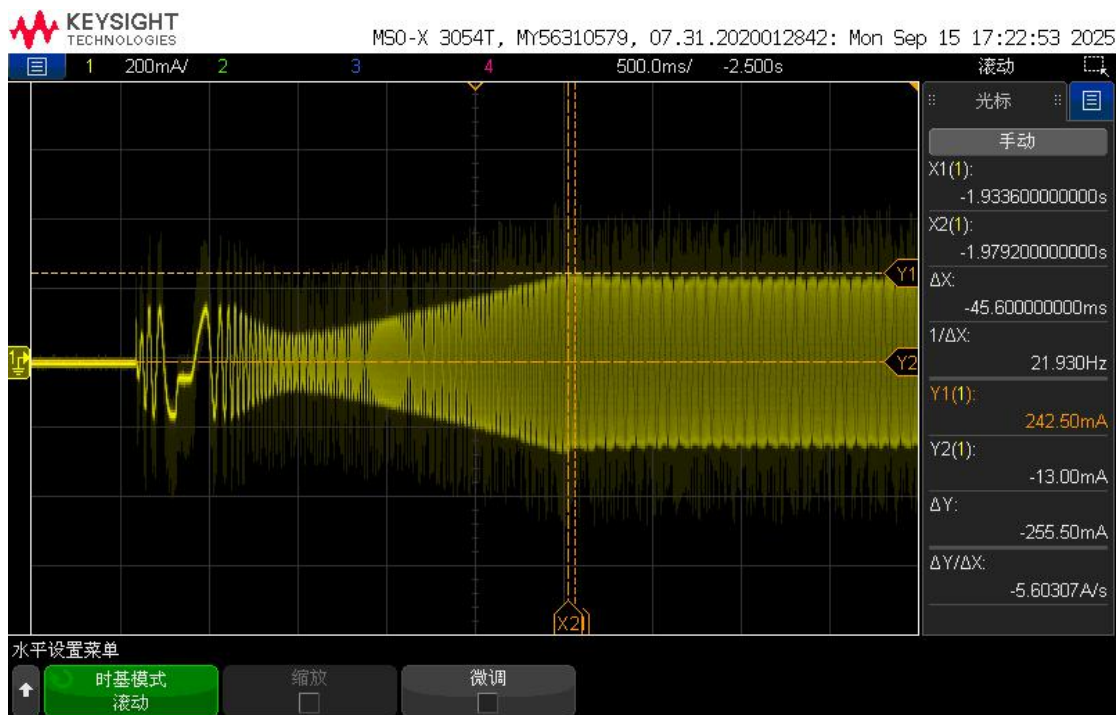


图 49. 逆风启动

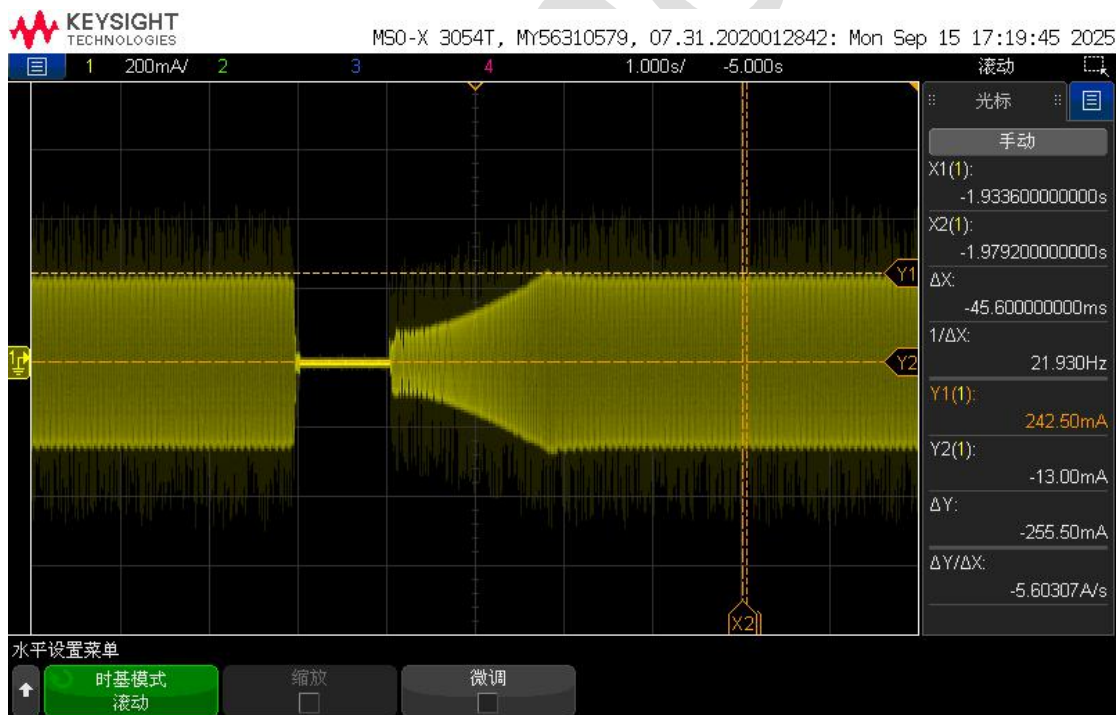


图 50. 顺风启动

7 版本修改记录

版本号	修订日期	修订内容
V1.0	2025-09-09	初始版本