

目录

目录.....	1
1.概述.....	1
2.工程配置.....	3
2.1 工程环境.....	3
2.2 编译器配置.....	3
3.电机参数测量.....	5
3.1 电感参数测量.....	5
3.2 电阻参数测量.....	5
3.3 磁链参数测量.....	5
3.4 电机极对数测量.....	5
4.调试步骤.....	7
4.1 系统指令部分.....	7
4.1.1 电机转动方向.....	7
4.1.2 IPD 脉冲注入.....	7
4.1.3 控制模式选择.....	7
4.1.4 电机转动指令类型.....	7
4.1.5 FG 信号及摇头电机控制.....	7
4.1.6 VSP 指令设置.....	8
4.2 电机及驱动板参数.....	8
4.2.1 电机本体参数.....	8
4.2.2 电机板硬件参数.....	9
4.3 启动参数配置.....	9
4.4 电机运行控制参数.....	9
4.4.1 速度环及功率环 PI 给定.....	9
5.启动调试.....	10
6.速度环控制参数调节方法.....	12
6.1 设置额定转速.....	12
7.保护机制.....	13
7.1 堵转及启动失败保护.....	13

7.2 过流保护	13
7.3 缺相保护	14
7.4 过欠压保护	14

核心技术
领先一步

1.概述

本调试手册介绍了应用LCP037A 系列电机专用MCU的永磁同步电机（PMSM）双电阻矢量控制（FOC）在落地扇应用中的调试方法。LCP037A系列是基于ARM-Cortex-M0内核的高性能电机控制芯片，最高工作频率可达96 MHz，工作电压为1.8~5.5V；内置32K字节Flash Memory，4K字节SRAM；内置NP合封预驱；多达18通道的一个12位精度ADC；最多30个快速I/O端口；可配置6通道增强型PWM以及输出死区可控的互补型PWM；内置3个比较器；包含为永磁同步电机FOC控制设计的3个可调增益的运放以及1个反电动势采样电路。

◆ 芯片特性：

- 32位 ARM Cortex-M0 内核 MC
- U；
- 内置 32K 字节 FLASH，4K 字节 SRAM；
- 工作电压为 1.8~5.5V；最高工作频率 96MHz；
- 内置高精度上电、掉电复位（POR_PDR）；
- 内置低压检测电路（LVR），8个低压复位点：1.6V、1.8V、2.0V、2.5V、2.8V、3.0V、3.5V、4.0V；
- 可编程电压监测器（LVD），8个电压监测点：2.0V、2.2V、2.4V、2.7V、2.9V、3.1V、3.6V、4.5V；
- 内置 2 个 LDO；
- 内置 4MHz~20MHz 的高速晶振（OSCH），以及内置出厂校准过的 16MHz RC 振荡器（RCH，1%精度）；
- 内置 32KHz 的低速晶振（OSCL），以及内置出厂校准过的 24KHz RC 振荡器（RCL，10%精度）；
- 内置 PLL，最高输出 144MHz，抖动小于 100ps；
- 7 个 16 位定时器；
- 1 个 8 位 WT 定时器；
- 内置 1 个独立看门狗定时器（IWDG）、1 个窗口看门狗定时器（WWDG）；
- 内置 1 个 24 位自减型系统时基定时器；
- 最多支持 30 个快速 I/O 端口；
- 5 个通信接口（2 路 UART 接口，1 路 I2C 接口，2 路 SPI 通讯口）；
- 内置 3 个轨到轨的模拟比较器（ACMP）；
- 内置 3 个轨到轨的运算放大器（OPA）；
- 内置 2 个 10 位 D/A 转换器；
- 内置 18 通道的 12 位精度 ADC，最高转换速率为 1MSPS；
- 内置一个反电动势采样电路（HALL_MID）；

➤ 低功耗：休眠、停机、超低功耗停机；

封装形式：TSSOP24,QFN32(5*5),QFN32(4*4)

更多详细信息请登录领芯微官网查看：<https://www.lnchip.com/>

领芯微

2.工程配置

2.1工程环境

- 芯片平台： LCP037A/B,LCM32F037系列
- 开发语言： C 语言
- 编译环境： Keil uVision 5.2X
- 仿真器： J_Link/创芯工坊
- 软件平台： LCM_FOC_v3.8.3_FAN_LIB（版本不定期更新）

2.2编译器配置

编译器参考配置：

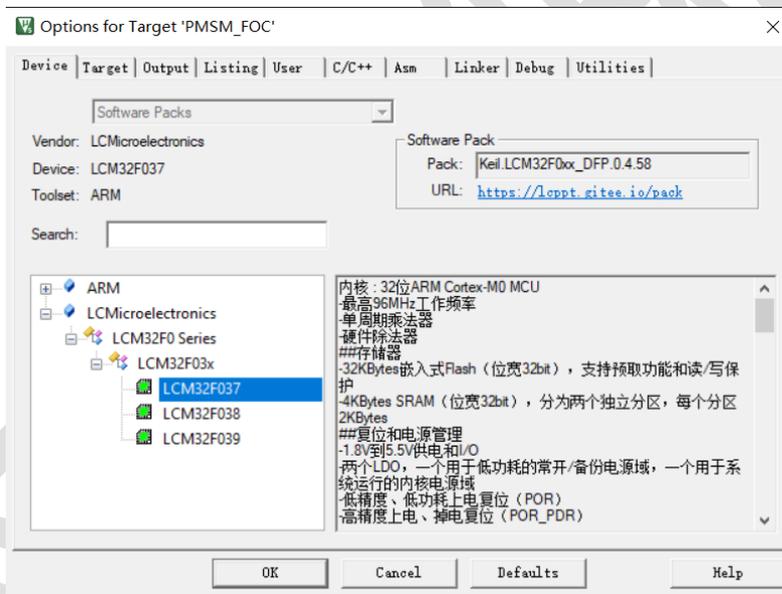


图2-1 工程文件芯片选型

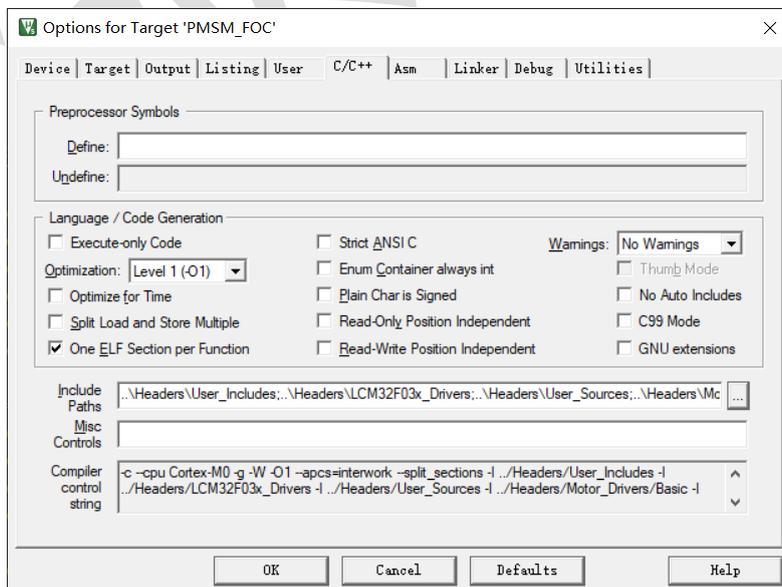


图2-2 工程优化等级选择

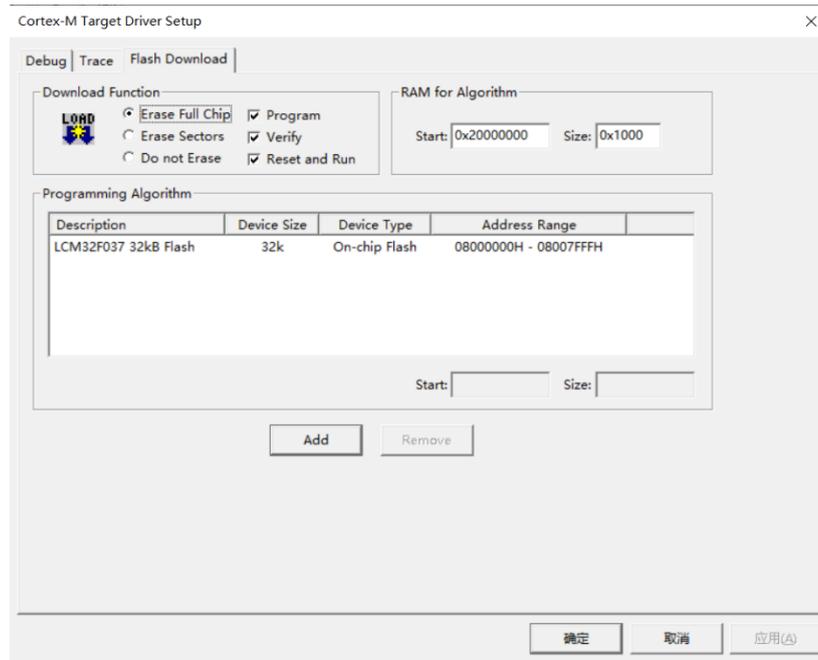


图2-3 仿真及下载文件配置

3.电机参数测量

电机参数不准确性影响无感 FOC 控制性能，因此调试前进行电机参数测量，并在程序中写入电机的准确参数。电机参数测量包括以下步骤。

3.1 电感参数测量

d - q 轴电感 L_d 、 L_q ：电桥测1kHz频率下的两相线电感 L 。缓慢旋转转子，记下电感最大值 L_{max} 和最小值 L_{min} 。如果是表贴式永磁同步电机（SPMSM），则 d - q 轴电感 $L_d=L_q=(L_{max}+L_{min})/2/2$ ；对于SPMSM，一般来说，不需要去旋转转子，直接记录测量的电感值 L ， $L_d=L_q=L/2$ 。如果是内嵌式永磁同步电机（IPMSM），则 $L_d=L_{min}/2$ ， $L_q=L_{max}/2$ 。

3.2 电阻参数测量

相电阻 R_s ：电桥DCR档下测量电机两相线电阻 R ，得相电阻 $R_s=R/2$ 。在规模量产时，需对同一批次的任意10个电机测量后取平均值。详情可参考附件EXCEL表格。

3.3 磁链参数测量

磁链 Ψ_f ：将示波器表笔夹住电机相线，并将地线夹头夹在其他任意两相线之一，转动电机，可得到反电动势波形，如图3-1所示。其一个周期内反电动势波形峰峰值 V_{pp} 为9.76V，频率为827.8Hz。

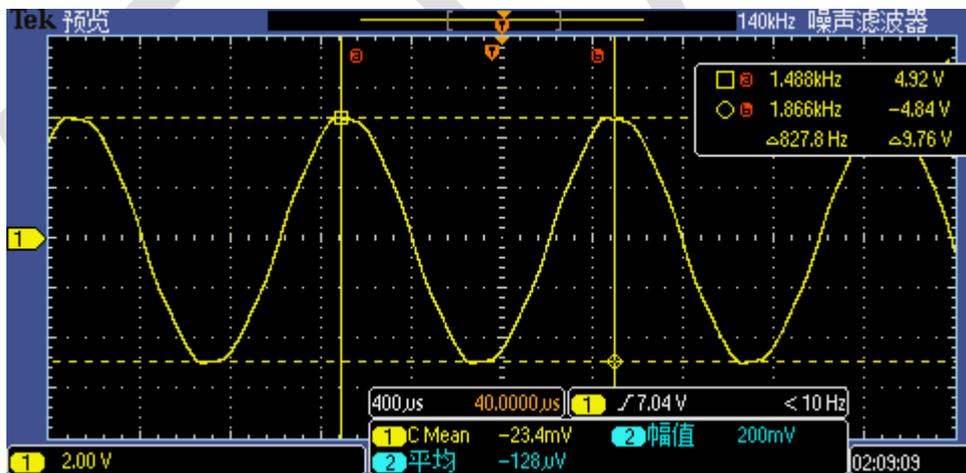


图 3-1 反电动势波形

在不通电得情况下，利用数学模型公式 $\omega_e \psi_f = U_{Peak} / \sqrt{3}$ ，可以获得磁链 Ψ_f ，即

$$\psi_f = \frac{U_{dc}}{\sqrt{3}} \frac{1}{\omega_e} = \frac{V_{peak}}{\sqrt{3}} \frac{1}{\omega_e} = \frac{9.76/2}{\sqrt{3}} \frac{1}{2\pi \cdot 827.8} = 0.0005423 \text{Wb} \quad (3-1)$$

3.4 电机极对数测量

电机极对数 p_n ：三相交流电机每组线圈都会产生N、S磁极，电机每相含有的

磁极个数就是极对数。其方法为：把电机3根相线中的任意两根接上直流电源（即电源正负端，电源电流限制在0.5A左右，直流电压建议从0逐渐增大）；打开电源，用手缓慢转动电机（若转不动，减小限制电流大小），感受所产生的顿落感；转动一圈产生的顿落感次数即是电机的极对数 p_n 。

领芯微

4.调试步骤

调试所需文件主要为：UserParaSetDefine.h及UserParaSetDefineTemp.h因扇类方案为Turn-Key方案，该方案硬件底层IO分配为固定方案（LCP037A系列）。在已从本方案原理图（[摇头无感风扇_LCP037A31ES8_024VDC_SCH_V1.4.sch](#)）的情况下，故不需要更改底层硬件配置代码。

具体调试流程如下：

4.1 系统指令部分

4.1.1 电机转动方向

该指令为在不改变电机相线的情况下，更改电机初始化转动方向：

```
//电机转动方向
#define UPDS_POSITIVE_DIRECTION      (0)           //正方向CW
#define UPDS_NEGATIVE_DIRECTION     (1)           //反方向CCW
#define UPDS_MOTOR_DIRECTION        (UPDS_NEGATIVE_DIRECTION)
```

4.1.2 IPD脉冲注入

该指令为启动时通过注入脉冲，判断初始位置。客户可根据自身需求选择开启与关闭：

```
//IPD, 初始位置辨识, 减少启动反转, 6脉冲注入方法
#define UPDS_IPD_DISABLE             (0)           //初始位置辨识关闭
#define UPDS_IPD_ENABLE             (1)           //初始位置辨识使能
#define UPDS_IPD_SEL                 (UPDS_IPD_ENABLE)
```

4.1.3 控制模式选择

该指令为电机控制模式选择，一般情况下，选择恒转速或恒功率模式：

```
//控制模式
#define UPDS_VF_MODE                 (0)           //VF开环, 一般测试硬件用
#define UPDS_IF_MODE                 (1)           //IF闭环, 测试电流检测是否正确用
#define UPDS_TOQRE_MODE              (2)           //转矩闭环模式
#define UPDS_SPEED_MODE              (3)           //速度闭环模式
#define UPDS_POWER_MODE              (4)           //功率闭环模式
#define UPDS_TEST                    (5)           //VF测试模式, 不做故障判断
#define UPDS_CONTROL_MODE            (UPDS_SPEED_MODE)
```

4.1.4 电机转动指令类型

该指令为控制电机转速的类型，一般常用为VSP,CLOCK,PWM三种方式，客户可根据自身需求选择指令类型：

```
//指令类型
#define UPDS_COMMAND_SOFTTOOL        (0)           //配合LCM_MotorControl上位机使用, 通过上位机发控制指令
#define UPDS_COMMAND_VSP             (1)           //旋钮ADC检测
#define UPDS_COMMAND_PWM             (2)           //PWM占空比
#define UPDS_COMMAND_CLOCK           (3)           //clock调速
#define UPDS_COMMAND_KEIL            (4)           //Keil软件中直接给定
#define UPDS_COMMAND_TYPE            (UPDS_COMMAND_VSP)
```

4.1.5 FG信号及摇头电机控制

```
//FG信号
#define UPDS_FG_SIGNAL_ENABLE        (0)
```

```
#define UPDS_FG_SIGNAL_DISENABLE (1)
#define UPDS_FG_SIGNAL_COMMAND (UPDS_FG_SIGNAL_ENABLE)
//摇头电机
#define UPDS_SHAKING_HEAD_MOTOR_ENABLE (0)
#define UPDS_SHAKING_HEAD_MOTOR_DISABLE (1)
#define UPDS_SHAKING_HEAD_MOTOR_COMMAND (UPDS_SHAKING_HEAD_MOTOR_ENABLE)
```

4.1.6 VSP指令设置

因系统内ADC参考为4V，但一般VSP信号输入为5V，故需要分压电路来同比例缩小电压：

```
//VSP指令（真实值）

/*
      5v
-----
      |
      -
      |//R2
      -
      |
      -
      |//R1
      -
      |
      -
      GND

//VSP分压电阻比例
*/
#define UPDS_VSP_START_V (0.6f)//电机运行外部真实开启电压
#define UPDS_VSP_OFF_V (0.3f)//电机停止外部真实关闭电压
#define UPDS_VSP_MAX_USE_V (4.65f)//VSP指令最大电压
#define UPDS_VSP_MAX_V (4.0f)//ADC参考电压
#define UPDS_VSP_R1_OHM (200000.0f)//分压电阻R1, Unit:Ohm
#define UPDS_VSP_R2_OHM (52000.0f)//分压电阻R2, Unit:Ohm
#define UPDS_USE_MAX_SPEED (960.000000f) //实际最大使用转速
#define UPDS_USE_MIN_SPEED (200.000f) //实际使用最低转速
```

UPDS_VSP_START_V：表示高于 0.6V 电机启动。

UPDS_VSP_OFF_V：表示低于0.3V电机停止转动。

UPDS_VSP_MAX_USE_V：表示高于 4.65V 速度不再升高，

UPDS_USE_MAX_SPEED：表示电机保持最高转速运行。

UPDS_USE_MIN_SPEED：表示电机启动运行的最低转速。

4.2 电机及驱动板参数

4.2.1 电机本体参数：

```
#define UPDS_RS_REAL (0.605f) // *1.05 定子相电阻, 欧姆
#define UPDS_LD_REAL (0.000875f) //d轴电感, H
#define UPDS_LQ_REAL (0.000875f) //q轴电感, H
#define UPDS_PSI_REAL (0.00339f) //永磁体磁链幅值, V/(rad/s)
#define UPDS_PAIRS (5u) //极对数
#define UPDS_MOTOR_J (0.000100f)//电机系统转动惯量, 暂时没用, 可以用默认
#define UPDS_RATED_CURRENT (2.500000f) // 额定电
```

流, A

```
#define UPDS_RATED_SPEED (1300.000000f) //额定转速, rpm
```

UPDS_RATED_CURRENT：表示相电流最大峰峰值。

UPDS_RATED_SPEED：表示电机最大额定转速。

4.2.2 电机板硬件参数

该类参数除母线电压根据实际情况进行调整外，其他参数建议使用默认值：

```
#define UPDS_SAMPLE_CURR_R_REAL (0.050000f) // 相电流采样电阻
#define UPDS_SAMPLE_CURR_OP_REAL (6.000000f) // 相电流采样运放放大倍数
#define UPDS_SAMPLE_VOLT_OP_GAIN (0.090900f) // 母线电压采样增益
#define UPDS_SAMPLE_DCBUS_R_REAL (0.050000f) // 母线电流采样电阻阻值
#define UPDS_SAMPLE_DCBUS_OP_REAL (6.000000f) // 母线电流采样放大倍数
#define UPDS_UDC_REAL (12.000000) // 直流母线电压
#define UPDS_DEADTIME_NS ((u16)500) // 死区时间,单位ns, 0~3500ns
```

4.3 启动参数配置

启动类参数配置可匹配大部分扇叶，如有无法转动的情况，可适当增大或减小UPDS_INJECT_D_CURRENT_A_PU参数，其余参数无特殊需求可不改变：

```
#define UPDS_COMMAND_TIME_IQ1_S (3.500000f) // 指令从0-1PU, 所需时间, 既加减速快慢。
#define UPDS_INJECT_D_CURRENT_A_PU (0.150000f) // 启动电流参数, 增强启动能力, 0-0.5, 可靠启动参数,
大扇叶可是适当增大(标么)
#define UPDS_PWM_FREQ2 ((u16)16000) // 第二频率, 高速运行用, 单位: Hz, fpwm2, //PWM开关频率
(主中断), 频率切换使能后起作用。否则按照PWM2配置
#define UPDS_PWM_FREQ ((u16)12000) // 第一频率, 低速运行用, 单位: Hz, fpwm1
#define UPDS_CURRENT_LOOP_BW_HZ (50.000000f) // 电流环带宽 (Hz), 这个参数不能过大, 否则容易
引起电流不正弦
```

位置观测器增益参数，一般情况下无需修改。

```
//观测器参数1, 2
#define UPDS_OBS_GAIN_Q (0.100000f) //观测器增益1
#define UPDS_OBS_GAIN_D (1.000000f) //观测器增益2
```

4.4 电机运行控制参数

4.4.1 速度环及功率环PI给定

一般情况下，选用速度环与功率环只有一种控制方式存在：

```
//速度环PI参数
#define UPSD_PI_SPEED_KP (0.800000f) //比例
#define UPSD_PI_SPEED_KI (0.3500000f) //积分
#define UPSD_POWER_MAX (31.000000f) // 速度环控制是输出功率最大
值
```

UPSD_POWER_MAX：在本方案中，速度环控制模式采用恒转速、限功率运行方式，所以该参数为电机运行中最大功率，大于此功率会降低电机运行转速。

```
//功率环PI参数
#define UPDS_CP_KP (1.000000f) //比例
#define UPDS_CP_KI (2.000000f) //积分
```

5.启动调试

本方案采用无感闭环启动模式，调试过程较为简洁，现将调试步骤分享如下：

Step 1.

检查芯片是否正常烧入，并检查芯片供电是否正常。

Step 2.

确保芯片外设配置，硬件PCB参数，（参考[4.2.2 电机板硬件参数](#)）电机参数填写正确（参考[4.2.1 电机本体参数](#)）。一般建议使用本案原理图，勿做改动。

Step 3.

屏蔽软件保护代码（此举目的为方便调试，硬件过流保护依然工作中，所以并不用担心硬件损害。待整机调试完毕后可放开软件保护代码）：

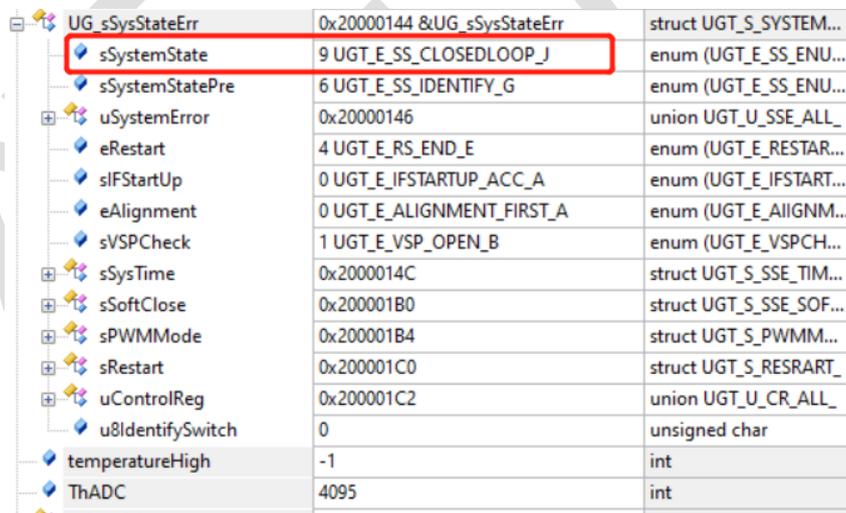
```

1.  if(UG_sSysStateErr.uControlReg.Bits.ControlMode != UGT_E_CM_TES
T)
2.  {
3.  if((UG_sSysStateErr.sSystemState != UGT_E_SS_WAIT_M)&&(UG_s
SysStateErr.sSystemState >= UGT_E_SS_INIT_B))
4.  {
5.  US_vSysErrorCheck();
6.  }
7.  }

```

Step 4.

上24V，但不接电机debug调试。检查是否进入closeloop状态机：



UG_sSysStateErr	0x20000144 &UG_sSysStateErr	struct UGT_S_SYSTEM...
sSystemState	9 UGT_E_SS_CLOSEDLOOP_J	enum (UGT_E_SS_ENU...
sSystemStatePre	6 UGT_E_SS_IDENTIFY_G	enum (UGT_E_SS_ENU...
uSystemError	0x20000146	union UGT_U_SSE_ALL_...
eRestart	4 UGT_E_RS_END_E	enum (UGT_E_RESTAR...
sIFStartUp	0 UGT_E_IFSTARTUP_ACC_A	enum (UGT_E_IFSTAR...
eAlignment	0 UGT_E_ALIGNMENT_FIRST_A	enum (UGT_E_ALIGNM...
sVSPCheck	1 UGT_E_VSP_OPEN_B	enum (UGT_E_VSPCH...
sSysTime	0x2000014C	struct UGT_S_SSE_TIM...
sSoftClose	0x200001B0	struct UGT_S_SSE_SOF...
sPWMMode	0x200001B4	struct UGT_S_PWMM...
sRestart	0x200001C0	struct UGT_S_RESRART_...
uControlReg	0x200001C2	union UGT_U_CR_ALL_...
u8IdentifySwitch	0	unsigned char
temperatureHigh	-1	int
ThADC	4095	int

图5-1 状态机检查

Step 5.

在“Debug”模式下，观察相电流运放的ADC值是否还是“2048”左右。母线电压采样是否正常，由于已上强电，此时母线电压检测应该代表着直流电源供电。例如对于正常24V供电情况下，其对应的ADC通道数据应在“2235”左右(参考[4.2.2 电机板硬件参数](#)分压系数)。

Name	Value
ADCConvertedRawData	0x200005D0 ADCConv...
[0]	2041
[1]	2061
[2]	3013
[3]	2062
[4]	0
[5]	0
[6]	0
[7]	0
[8]	0
[9]	0

← a相电流采样
 ← 直流母线 i_{dc} 电流采样
 ← b相电流采样

图5-2 ADC采样数据

理论上经过上述硬件检测以及参数设置完成后，电机可正常启动。电机正常转动后，可陆续验证并加入软件保护功能。

如若还有问题请联系本公司工程人员。

6.速度环控制参数调节方法

	参数定义	参数调节效果
速度环调试	积分系数 KI: UPSD_PI_SPEED_KI	增大: 快速跟踪设定的目标转速; 参数过大则会导致静态误差无法消除, 甚至造成速度震荡。
		减小: 可减小以及消除静态误差; 但跟踪目标转速较慢, 过小会导致速度调节响应迟钝。
	比例系数 KP: UPSD_PI_SPEED_KP	增大: 速度变化和负载变化时跟随转速目标值较快; 但过大时速度超调严重。
		减小: 跟随速度目标值响应变慢, 速度更平稳; 过小会导致速度调节迟钝。

	参数定义	参数调节效果
功率环调试	积分系数 KI: UPDS_CP_KI	增大: 可快速跟踪给定目标功率; 但过大容易造成功率超调严重, 无法消除静态误差。
		减小: 可减小以及消除静态误差; 但跟踪目标功率较慢, 过小会导致功率调节响应迟钝。
	比例系数 KP: UPDS_CP_KP	增大: 对于给定目标功率值响应变快, 负载变化时功率跟随较快; 但过大容易造成功率超调严重。
		减小: 跟随功率目标值响应变慢, 功率更平稳; 过小会导致功率调节迟钝。

6.1 设置额定转速

首先, 需正确填写极对数, 其次合理设置电机额定转速:

```
#define UPSD_PAIRS (5u) //极对数
#define UPSD_MOTOR_J (0.000100f) //电机系统转动惯量, 暂时没用, 可以用默认值
#define UPSD_RATED_CURRENT (2.500000f) //额定电流, A
#define UPSD_RATED_SPEED (1150.000000f) //额定转速, rpm
#define UPSD_USE_MAX_SPEED (960.000000f) //实际最大使用转速
#define UPSD_USE_MIN_SPEED (200.000f) //实际使用最低转速
```

```
#define UPSD_COMMAND_TIME_IQ1_S (3.500000f) //指令从0-1PU, 所需时间
```

其中, `UPSD_RATED_SPEED` 为电机额定转速配置。 `UPSD_COMMAND_TIME_IQ1_S` 为电机到达设定转速的斜坡时间 (单位为秒)。

在程序中, 转速指令最终的给定是对 `UG_sSystemControllers.s32Command` 赋值, 如 `UG_sSystemControllers.s32Command = IQ (0.4)` 的意思为, 对电机转速赋值为额定转速的0.4倍。

7.保护机制

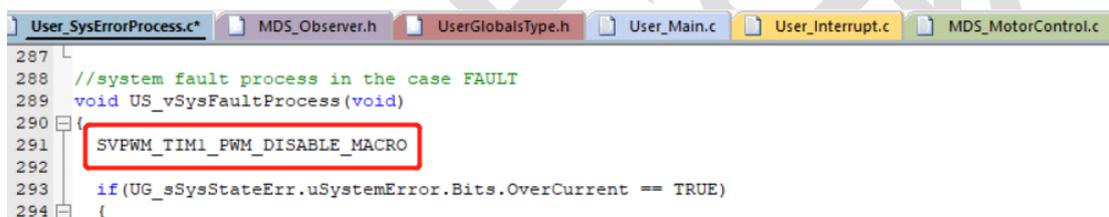
本方案的保护功能包括启动堵转保护，过流保护（硬件过流和软件过流）、限流保护、缺相保护、以及过欠压保护，US_vSysErrorCheck()为保护执行函数（在User_Interrupt.c中）。

```

1.  if(UG_sSysStateErr.uControlReg.Bits.ControlMode != UGT_E_CM_TEST)
2.  {
3.  if ((UG_sSysStateErr.sSystemState != UGT_E_SS_WAIT_M)&&(UG_sSysStateErr.sSystemState >= UGT_E_SS_INIT
_B))
4.  {
5.  US_vSysErrorCheck();
6.  }
7.  }

```

保护功能是在Systick中断中执行，该中断优先级低于DMA中断。保护功能（除限流保护）判断成功后均会进入vFault状态机进行处理，首先关闭PWM输出，然后根据需要设置等待重启或者直接停机。



```

User_SysErrorProcess.c | MDS_Observer.h | UserGlobalsType.h | User_Main.c | User_Interrupt.c | MDS_MotorControl.c
287 |
288 | //system fault process in the case FAULT
289 | void US_vSysFaultProcess(void)
290 | {
291 |     SVPWM_TIM1_PWM_DISABLE_MACRO
292 |
293 |     if(UG_sSysStateErr.uSystemError.Bits.OverCurrent == TRUE)
294 |     {

```

7.1 堵转及启动失败保护

检测电机的运行转速是否低于设定的保护值，触发堵转保护机制。根据需要设置堵转持续时间，达到堵转持续时间值后先关闭PWM，然后再经过等待重启的时间后进行重新启动，超过最大堵转次数则需要系统断电后重新上电。

```

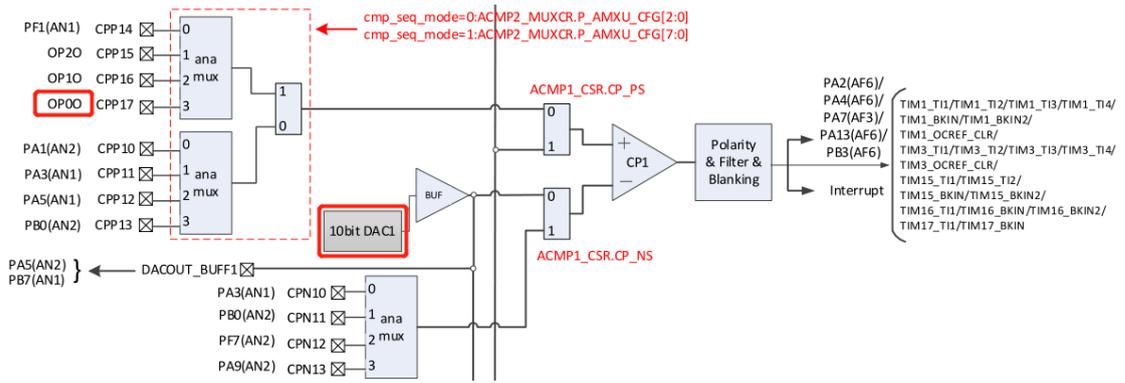
1.  #define UPDS_STARTUP_FAIL_SPEED    (UPDS_USE_MIN_SPEED/4) //启动失败速度上限值
2.  #define UPDS_STARTUP_FAIL_TIME_S  (5.000000f) //启动失败保护时间，在这个时间内，转速必须大于
UPDS_STARTUP_FAIL_SPEED 设置转速
3.  #define UPDS_RE_STARTUP_TIME_S    (5.000000f) //启动失败后，重新启动间隔时间，s
4.  #define UPDS_STARTUP_FAIL_MAX     (u8)(5) //重启次数

```

7.2 过流保护

1、硬件过流保护

设置比较器中断服务子程序，优先级设为最高。通过MCU内部比较器（ACMP0/1）事件触发PWM刹车功能。实现原理：母线电流(I_{bus})流经采样电阻（R）产生一个电压 V_{bus} ，经过运算放大器OPA0/1/2进行信号放大后进入比较器正端（或者直接进入比较器正端）。比较器的负端接DAC0/1输出，可根据参考电压 V_{ref} 自行配置。当母线电流大于一定值时，就会导致比较器的正端电压高于负端电压，MCU产生比较器中断，触发PWM刹车功能，从而实现过流保护。



硬件过流保护点设置如下：

```
1. #define UPDS_HARDOVERCURRENT_A (6.000000f) // 硬件过流保护, Idc 检测运放后到比较器, 进行硬件过流保护
```

2、软件过流保护

通过实时检测电机三相电流，当电流最大值超过设定的保护值，触发软件过流保护。具体参数如下：

```
1. #define UPDS_OVERCURRENT_A (4.000000f) // 过流保护, 定子电流模值, Mag(Is), A
2. #define UPDS_OVERCURRENT_A_TIME_MS (1.000000f) // 触发过流保护所需时间, ms
```

7.3 缺相保护

缺相保护是指电机运行过程中，三相电缺少一相或两相时，该相电流值应该为 0，检测一段时间(触发缺相保护的时间)内某相电流一直为 0，触发缺相保护机制。

```
1. #define US_LOSEPHASE_TIME_S32 (s32)(UPDS_LOSEPHASE_TIME_MS * UPDS_SYS_TICK_HZ/1000)
```

本方案中可设置判断缺相后直接停机或者等待重启。

7.4 过欠压保护

在vStart状态下检测电压，若不在设定范围内，状态机不往下执行。

在运行状态下，电压低于设定的欠压和过压限值，经过判断进入vFault状态并停机，进入vWait状态，等待一定时间进入初始化vInit状态，准备重启。具体参数如下：

```
1. #define UPDS_OVERVOLTAGE_V (26.000000f) // 母线过压保护, V
2. #define UPDS_OVERVOLTAGE_RECOVER_V (25.000000f) // 母线过压恢复电压, V
3. #define UPDS_OVERVOLTAGE_V_TIME_MS (100.000000f) // 触发母线过压保护时间, ms
4.
5. #define UPDS_UNDERVOLTAGE_V (8.000000f) // 母线欠压电压 V
6. #define UPDS_UNDERVOLTAGE_RECOVER_V (8.800000f) // 母线欠压恢复电压 V
7. #define UPDS_UNDERVOLTAGE_V_TIME_MS (100.000000f) // 触发母线欠压保护时间, ms
```