新唐 M451 无感 FOC 方案代码说明

www.nuvoton.com

nuvoTon

概要

- 代码总体架构
- 起转、停转的代码流程
- PWM 输出极性和ADC 配置
- 电机参数配置
- 电流、电压测量电路参数的配置
- 电流PI参数、转速PI参数的调整方法
- 代码中的计算公式
- 数学函数简介

代码架构：main,ADC中断，SysTcik中断

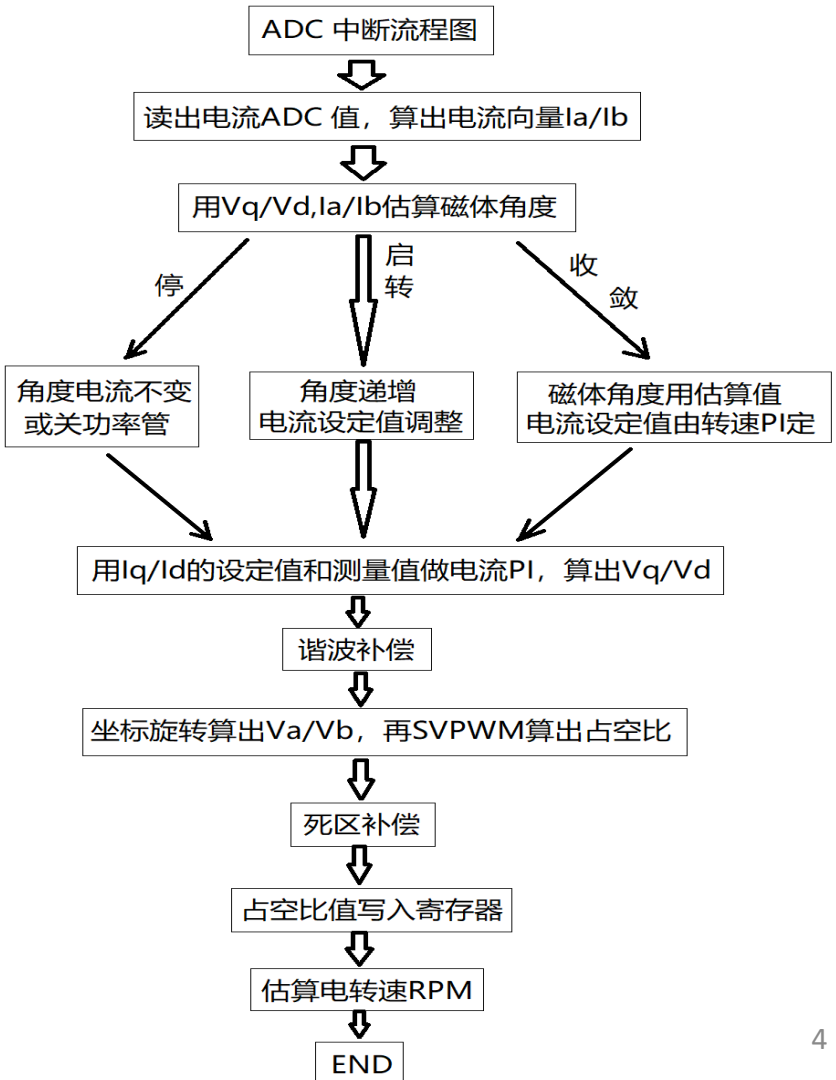
nuvoTon 新唐科技

◆代码架构三大部分：main()+两个中断

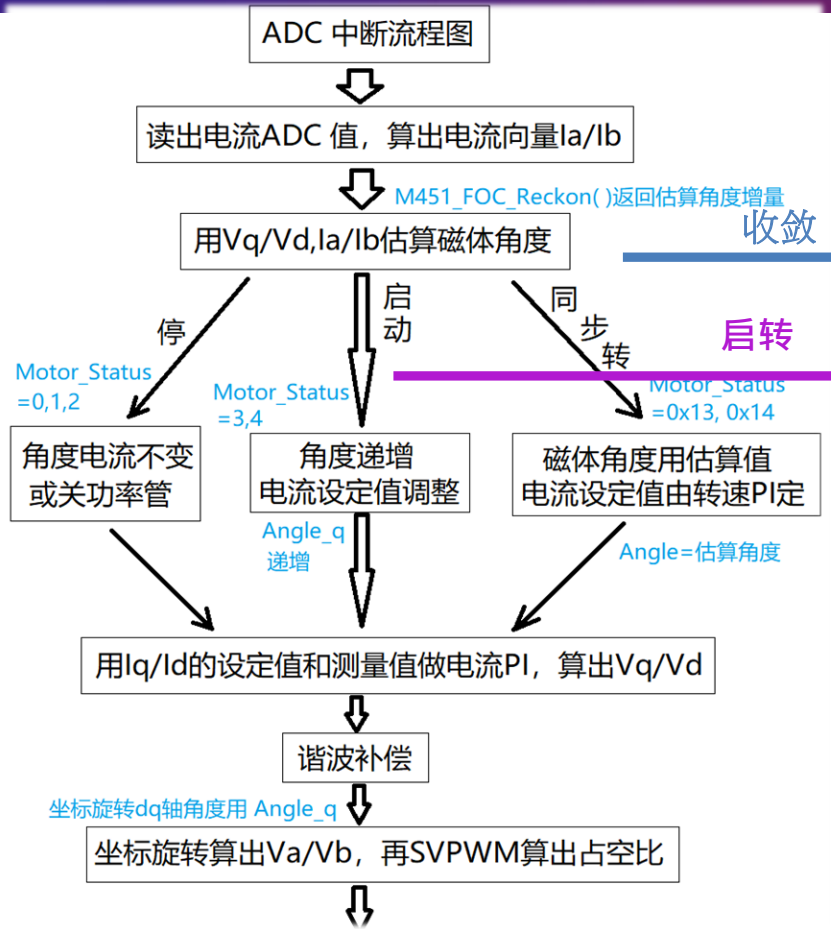
- ◆Main():控制启转、停转,故障监测及后期处理等
  - 判断是否欠压、过温短路，以及处理转速设定值等等
  - 启转：设定转速 RPM_Set 大于最小值,状态0变2,然后启动
  - 停转：设定转速 RPM_Set <= 0,降速停转
- ◆ADC中断：磁体位置估算,电流PI运算,PWM占空比计算
  - 停或转都会执行ADC中断代码，停转时功率管关了，计算没停止。
  - 坐标变换q轴角度总是用 Angle_q
  - 启转时代码控制 Angle_q 递增，并控制电流设定值
  - 同步后 Angle_q 用估算值，电流设定值用转速 PI 运算的结果
- ◆Systick中断：转速PI运算， 故障显示等

ADC 中断代码流程

- 起转，停转，同步由以下状态机控制
  - 状态0，关功率管，不控制电机
  - 状态1，输出0电压，用于刹车
  - 状态2，只下MOS输出，用于自举电容充电
  - 状态3， 从任意角度起转
  - 状态4， 从固定角度起转
  - 状态5， 起转前的锁定， 然后去状态4
  - 状态6， 顺风起转准备，然后去状态4
  - 状态7， 啥也不做，用于调试
  - Bit4=1， 同步转动状态（0x13，0x14）
  - 其它， 变状态0



ADC 中断代码流程



收敛

启转

```
247  if(Motor_Status & 0x10){ Angle_q += temp16 ;          // 已同步,角度加增量, A
248
249  }
250
251  //=== 状态3 拖动电流每转一扇区增大一些 ========================================
252  else if(Motor_Status == 3){                           // 进状态3前Iq_set_f12,
253
254  #ifndef  __ACTIVE_FROM_FIXED_ANGLE                    // 未定义从固定角度起转
255    uint16_t static const *LastptrSection;
```

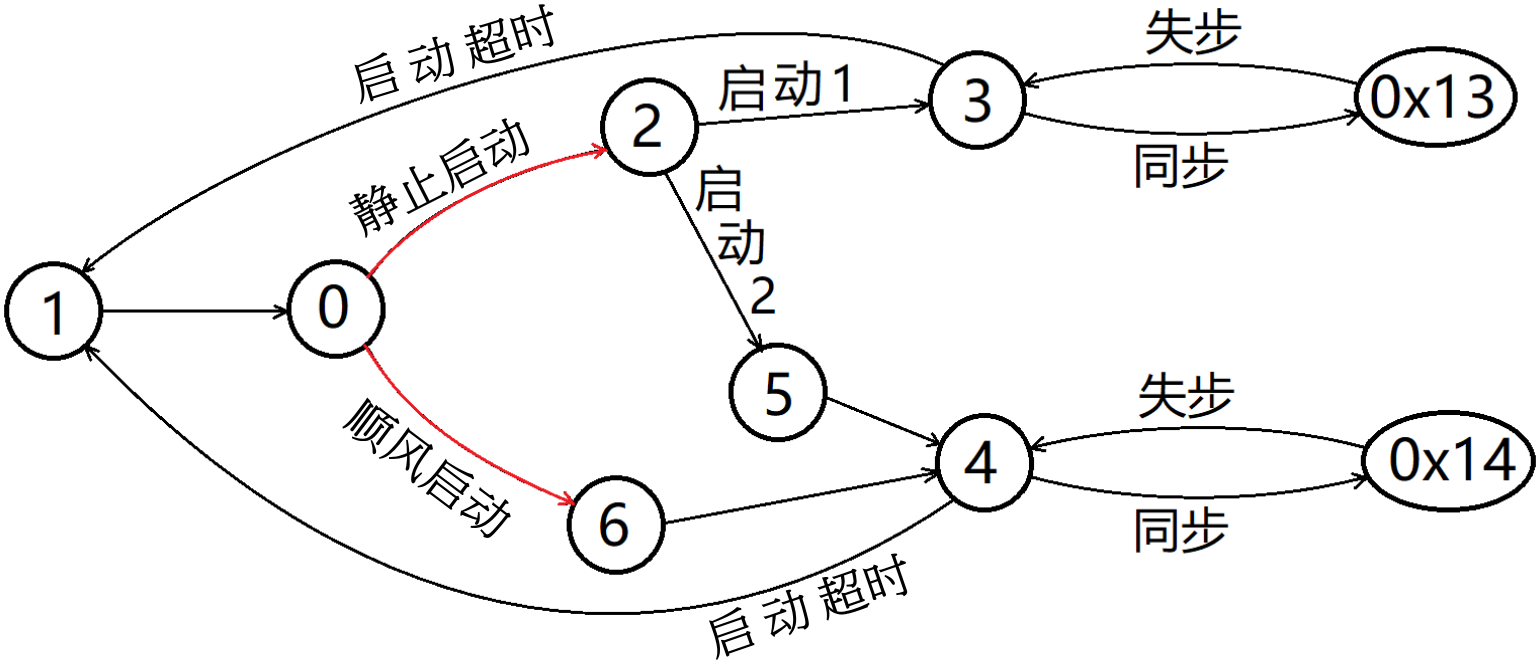
状态机 Motor_Status 控制代码流程

停转时,功率管关了

启动时,启动代码调整角度和电流

同步转时,角度用估算值,电流转速PI 计算结果

ADC中断里的状态机 Motor_Status

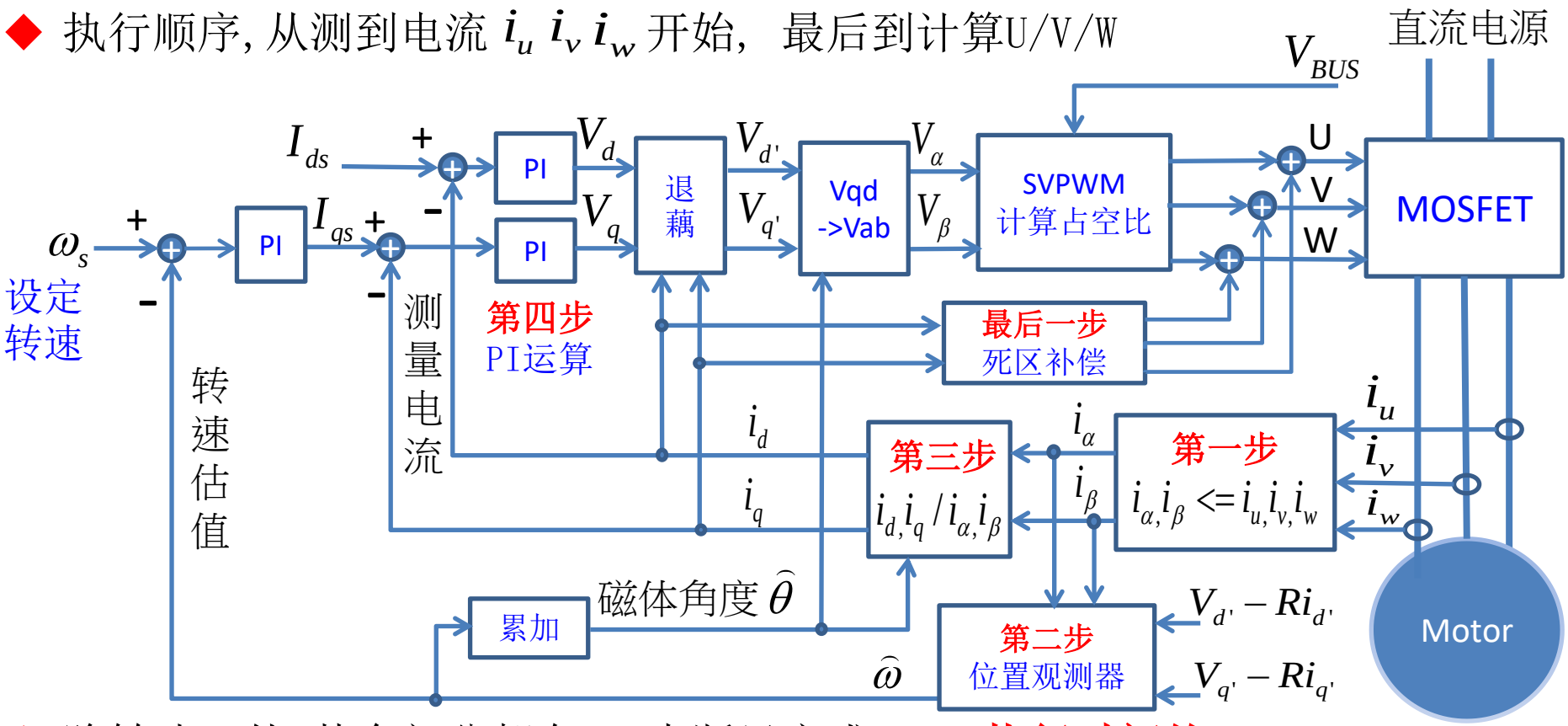


红线在Main()中启动时转变

启动1和启动2, 由宏定义二选一

总体框图

- 执行顺序，从测到电流 i_u i_v i_w 开始， 最后到计算U/V/W



- 除转速PI外，其余部分都在ADC中断里完成，M451**执行时间约20us**

起转、停转的代码流程

nuvoTon 新唐科技

- 1,main()中定时做功率PI算出转速增量，控制加速度后赋值给设定转速RPM_Set，此值若大于转速下限RPM_SET_MIN，后续会变状态2开始启动

```
434       //== 功率 PI 计算转速增量，再按旋钮转速控制增量,取二者较小值,加到 RPM_Set_Target ======================
435
436       temp32 = Power_Limit - Motor_Power ;
437       temp32_1 = Kp_Power*(temp32 - Err_Power) + Ki_Power*temp32 ;   // 功率PI 运算结果，转速增量
438       temp32_1 >>= 8 ;                                              // 功率PI 算出的转速增减量，去掉 8 位小数
439
440       temp32 =  RPM_Command - RPM_Set_Target ;                      // 旋钮增量
441       if(temp32 < -50) temp32 = -50 ;                               // 控制降速
442       else{
443         if(RPM_Measure < RPM_SET_MIN*2){
444           if(temp32 > 40) temp32 = 40 ;                             // 低速时的加速度可以快一点
445         }
446         else if(temp32 > 20) temp32 = 20 ;                          // 加速度
447       }
448                 //== 旋钮增量temp32,功率 PI 增量 temp32_1,取二者较小的加到 RPM_Set_Target ==================
449       if(temp32 > temp32_1) temp32 = temp32_1 ;
450
451       temp32 += RPM_Set_Target ;
452       if(temp32 > RPM_SET_MAX) temp32 = RPM_SET_MAX ;
453       else if(temp32 < 0) temp32 = 0 ;
454       RPM_Set_Target = temp32 ;                                     // 慢变化值 0 ~ RPM_SET_MAX
```

```
466                 //== 如果需要快速停转，此处 RPM_Set 直接赋停转值 RPM_STOP_VALUE ======================
467       RPM_Set = temp32 ;                          // 数值范围: RPM_SET_MIN ~ RPM_SET_MAX 或 =RPM_STOP_VALUE
468
```

起转、停转的代码流程

- 2,若在同步转(332行),检测是否不必等失步、提前停转

```
330     //========================== 在同步转 ====================================
331
332     if((Motor_Status & 0x10) == 0x10){
333       if((RPM_Set<=0) &&((RPM_Measure*65536/60/PWM_Frequency) <(PULL_Ommega_Min_f16 >>16))){  // 转速低于下限
334         Exec_Counter = 1*PWM_10th_sec ;
335                                 // 或发生ADC 中断进状态0x13,0x14,进(RPM_Set<=0)的分支,但下句变状态1
336         Motor_Status = 1 ;                                  // 去状态1,刹车, 准备又立即再次启动
```

- 3,若未在同步转就判断是否需要启转。若RPM_Set>0就在状态0执行结束后开始起动(380行)。
- 4,起动前先测是否在顺风转(383行)

```
378     //========================== 未同步,且设定转速 RPM_Set 大于0,  需要启转 ===============
379     else{                                                  // 状态2,3,4,5,6是在起转,只有状态0不自动变其它状态
380       if(Motor_Status + Exec_Counter ==0){
381
382       #if 1
383         temp32 = Test_Period();                            // 若在顺风转,此函数在 Angle_q =-16384 时刻返回转速
```

起转、停转的代码流程

- 5，在ADC中断里,状态1或2执行次数=0后，若RPM_Set>0，就先做启动前的准备(433行)，准备妥当后,下个PWM周期变状态3开始启动(450行）。

```
421  if(Motor_Status <= 2){                          // Motor_Status=0时看Exec_Counter值可知从哪里跳过来
422    Vout_0v1_f4 = 0;                              // 输出电压的模
423    Motor_Power = 0;                              // 电机功率
424    RPM_Measure = 0;
425    Vq_out_f17  = 0;   Vd_out_f17 = 0;            // 输出0电压，角度值Angle_q 放在中断外写
426    Id_set_f12  = 0 ;
427    Iq_set_f12  = 0;                            // 状态0关功率管,状态1,2输出0电压不变，电流设定值用不到
428
429    if(Exec_Counter) --Exec_Counter ;             // 执行计数
430    else if(Motor_Status != 0){
431      if(RPM_Set < RPM_STOP_VALUE) Motor_Status = 0 ;   // 转速设定值比停转值还负，是在给自举电容充电
432      else if(RPM_Set <=0)Motor_Status =MOTOR_STOP_STATUS; // 这个停转状态可以是0,也可以是5
433      else{
434        Vout_UpLimit_f17 = VOLTAGE_UpLimit_while_Active_f17;   // 启动时的电压，限压可以防止启动时转速上冲
435
436      #ifdef  __ACTIVE_FROM_FIXED_ANGLE             // 定义了从固定角度起转
437        Exec_Counter    = TIME_MotorLock ;
438        Motor_Status = 5 ;                          // 先状态5磁铁吸到固定角度，再跳转到状态4 起转
439
440      #else
441        Iq_set_f12 = CURRENT_Max_f12 >>3;   // 电流初值轻载能转起来,小到轻载转不动没意义,或参考电流上限1/4~1/2
442
443        Angle_q = -16384 -65536;                // -90度起A相电流从0开始正弦,便于观察波形,角度负值仅线性加速
444        Pull_Ommega_f16 = 0 ;
445        Init_Variable(Angle_q, 0, 0);           // 三个参数是：当前角度、转速和反电势
446        ptrSectionClear = 0 ;                   // 赋0值让Motor_Active()清0静态变量(函数内赋非0值)
447
448        Do_Spd_PI = -SECTION_RPM_AVERAGE -2;    // 计算转速时加1，负值转速数据不准，不做转速 PI
449        Exec_Counter = 3 ;                      // 在状态3,4，此值非0 被认为是刚起转
450        Motor_Status = 3 ;                      // 下个PWM 周期执行状态3 代码
```

起转、停转的代码流程

- 6，状态3启动时,函数Motor_Active()（260行）调整拖动转速逐步增加，输出电流每转过一扇区增加一次(291行)。

```
251   //=== 状态3 拖动电流每转一扇区增大一些 ================================================================
252   else if(Motor_Status == 3){                                  // 进状态3前Iq_set_f12,Vout_UpLimit_f17 赋初值
253
254   #ifndef  __ACTIVE_FROM_FIXED_ANGLE                           // 未定义从固定角度起转, 就是从状态3 起转
255     uint16_t static const *LastptrSection;
256
257     Id_set_f12 = 0 ;                                           // 可能是同步转时失步又回到状态3,所以需清0
258     Vd_out_f17 = 0 ;
259
260     temp16 = Motor_Active(10, PULL_Ommega_Inc_f16, PULL_Ommega_Max_f16, 160*1000);  // Angle_q 逐增,或调整
261                                                                                     // Angle_q <0 时仅线性加速
262     //== 判断是否可以变同步转了 ==========================================================================
263     if((Motor_Status & 0x10) == 0 ){                           // 函数 Motor_Active() 未切同步
264       Circle_Tick = Angle_q ;                                  // 起转时若ptrSectionClear=0不会立即同步,会执行到此
265
266       if((RPM_Set <= 0)                                        // RPM_Set 负值,若未同步过则Exec_Counter =3
267                        ||(Exec_Counter == 0)) {                // 同步后失步,负载太重停转时 RPM_Set 是正值
```

```
290       else if(LastptrSection != ptrSectionClear){ LastptrSection = ptrSectionClear;     // 已转过一个扇区
291         if(Iq_set_f12 < CURRENT_Max_f12/2) Iq_set_f12 += CURRENT_Max_f12 >>4;          // 一圈把电流加到上限
292       }
```

起转、停转的代码流程

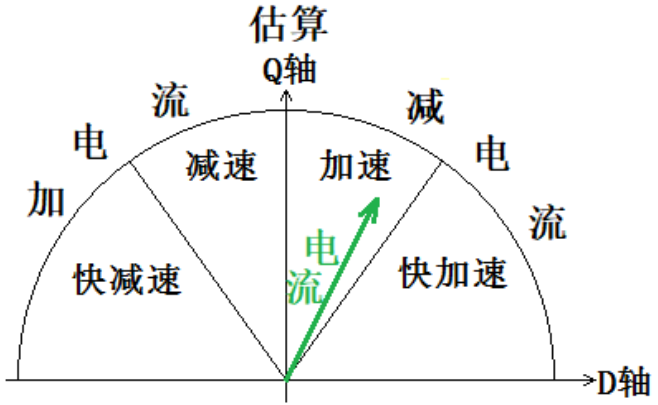
nuvoTon 新唐科技

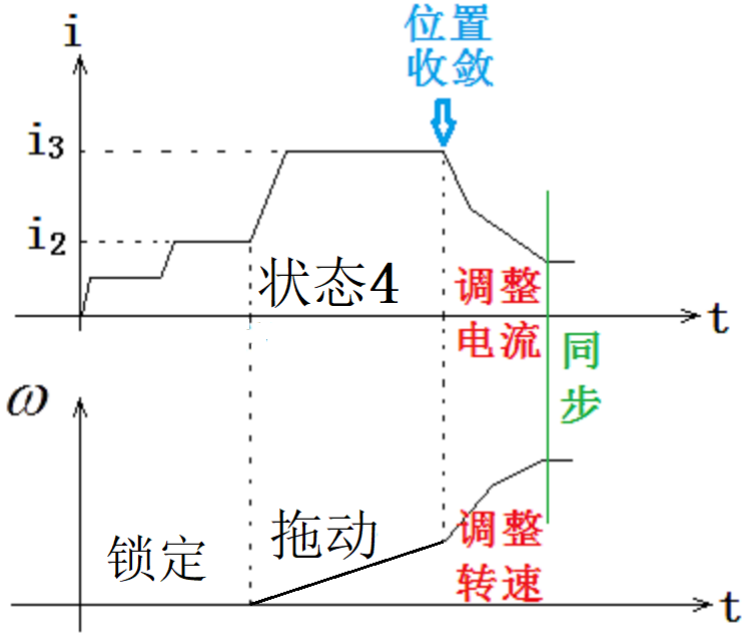
- 7，同步转时，若RPM_Set<0,基本都会转速降到观测器不收敛，又回到状态3(或状态4)，若设定转速已负值并且转速已到下限(333行)，就不再等失步、直接刹车停转，这里也可以变状态0自由停转。

```
330     //========================== 在同步转 ======================================
331
332     if((Motor_Status & 0x10) == 0x10){
333       if((RPM_Set<=0) &&((RPM_Measure*65536/60/PWM_Frequency) <(PULL_Ommega_Min_f16 >>16))){  // 转速低于下限
334         Exec_Counter = 1*PWM_10th_sec ;
335                                 // 或发生ADC 中断进状态0x13,0x14,进(RPM_Set<=0)的分支,但下句变状态1
336         Motor_Status = 1 ;                                  // 去状态1 刹车, 准备又立即再次启动
337         if(Stop_Runing & Stop_POWER_LOW){                   // 低压停转  Exec_Counter = 10*PWM_10th_sec ;
338                                                             // Motor_Status = 0 ;
339         }
340             // 加判其它原因, 或打印 Stop_Runing
341       }
```

I/F 启转过程简介

- 状态4先匀加速托动，位置收敛后调整转速和电流
  - 锁定过程分俩阶段是考滤轻重载
  - 电流方向(绿)与估算Q轴重合时，变为同步





符号定义

- #Define定义的常量，全大写

```
7  #define  VIN_WORK_MIN_UP          (  13*10)          // 停转时的、最低起转电压，0.1V电压值,所以乘10
8  #define  VIN_WORK_MIN             (  12*10)          // 转动时的电压下限，再低就停转
9  #define  VIN_WORK_MAX             (1600*10)          // 最高工作电压，大于1638.3V 坐标旋转溢出
```

- const常量,第一个词全大写,最后词不能全大写,中间词随意

```
44  int32_t const CURRENT_MotorLock_f12 = CURRENT_Max_f12*3 >>5 ;     // 锁定时电流值
45  int32_t const VOLTAGE_UpLimit_while_Active_f17 = 30 << 17 ;       // 起转时电压上限，参考额定电压的10%
```

- 某个变量的位变量，变量名 + 全大写位定义名

```
37  INT_EXT uint16_t  Stop_Runing ;                          // 非0就停转
38  #define  Stop_15V_LOW                  0x0001                  // 15V 电压低
39  #define  Stop_TEMPERATURE_OVER         0x0002                  // 超温
40  #define  Stop_SHORT                    0x0004                  // 短路了
41  #define  Stop_OPEN                     0x0008                  // 缺相
```

- 普通变量，每个词只有首字母大写,中间是否加“_”随意
  - 后缀_f4,_f12,_f16 表示小数位数
  - 电压标准值是0.1V,电流以ADC数据为基准,加小数后缀加 _fxx

PWM 输出极性配置

- 函数PWM0_Init()中，配置PWM引脚输出信号的极性
  - 若PWM024输出高时MOS导通，129行注释掉就可以了

```
128     PWM0->POLCTL = 0x002A ;                    // PWM135 反相，输出0 MOS导通
129   //  PWM024_Out_0_MOS_On() ;
130     PWM135_Out_1_MOS_On() ;
131     PWM0->MSK    = ShutDown_All_MOS ;
132     PWM0->MSKEN  = 0x003F ;                    // 使能 MASK 功能，先关断所有输出
133     PWM0->POEN   = 0x003F ;                    // 低6bit输出使能，但引脚输出值 = ShutDown_All_MOS
```

ADC 配置

nuvoTon 新唐科技

◆ADC引脚转换的先后次序，可任意配置

- 三相电流ADC完成后产生中断,开始计算,计算时后续ADC就完成了

```
23  void ADC_Init(void)
24  {
25    EADC->SCTL[0] = EADC_PWM0TG0_TRIGGER | ADC_CHANNEL_PWM01 ;        // ADC_PWM0零点触发, 低4位是ADC 通道号
26    EADC->SCTL[1] = EADC_PWM0TG0_TRIGGER | ADC_CHANNEL_PWM23 ;        // ADC_PWM23
27    EADC->SCTL[2] = EADC_PWM0TG0_TRIGGER | ADC_CHANNEL_PWM45 ;        // ADC_PWM45
28
29    EADC->SCTL[3] = EADC_PWM0TG0_TRIGGER | ADC_CHANNEL_SPEED ;        // Speed, 调整旋钮
30    EADC->SCTL[4] = EADC_PWM0TG0_TRIGGER | ADC_CHANNEL_VBUS ;         // VBUS
31    EADC->SCTL[5] = EADC_PWM0TG0_TRIGGER | ADC_CHANNEL_TEMPERATURE ;  // 功率管温度
32
33    EADC->SCTL[10] = EADC_SOFTWARE_TRIGGER | 14 ;                     // 软件触发ADC 测初始位置, 用于顺风起转
34                                                                      // ADC参考电压若选片内4096mV,Vref 引脚外接1uF电容,不能再接到5V
35    SYS->VREFCTL    = 0 ;                                             // Vref选择: 0 =外接Vref,0xF=4096mV, 注意与常量定义ADC_VREF_MV
36    SYS->IVSCTL     = 1 ;                                             // 使能片内温度 Sensor 的测量
37    EADC->SCTL[17] = 16 << 24 ;                                       // 片内温感的 ADC 采样时间扩展 16个时钟
38
39    EADC->STATUS2    = 1 ;                                            // 开中断前先清中断标志
40    EADC->INTSRC[0] = 1ul << 2 ;                                      // 模块0,1,2,测完三相电流就进中断开始计算
41
42    NVIC_SetPriority(ADC00_IRQn, 1) ;                                 // 优先级=1, 最高优先级0保留急用
43    NVIC_EnableIRQ(ADC00_IRQn) ;                                      // 使能ADC 中断
44  }
```

电机参数配置

nuvoTon 新唐科技

- Main.c中给Ld,Lq赋值
  - 慢慢转电机测两相电感，最大值除2赋值给 Lq，最小值除2 = Ld
  - 或者三条线测两两电感,最大者是 Lq，最小者是 Ld
  - 必须 Lq >= Ld

```
#if 1
  Lq_Inductor   = 690 ;                          // 电机电感 uH,  风机
  Ld_Inductor   = 665 ;                          // 必须 Lq >= Ld
  Unit_Magnify = CURRENT_Adc1000*25*8 ;          // H=8, 表示电流ADC值乘8后才用于角度估算

#else
  Lq_Inductor   = 690 >>3;                       // 建议LqIq最大29位: 0x1FFF_FFFF
  Ld_Inductor   = 665 >>3;                       // 电感太大若LqIq会溢出(32位符号数),此仨变量都除8
  Unit_Magnify = CURRENT_Adc1000*25 ;            // H=8 与除8 抵消

#endif                                           //电流ADC出12位符号数,乘8后15位, Lq超32.768mH就可以除2,4,8了
```

- 测两相电阻,毫欧值除2后在interrupt.c中赋值给RESISTER_Coil

```
#define       RESISTER_COIL        1000                          // 一相线圈电阻,毫欧值
int32_t const CURRENT_Adc1000     = 50*4096*1000/ADC_VREF_MV ;    // 1安电流ADC值乘1000的常数值(10毫欧5倍)
int32_t const CURRENT_1A_Value_f12 = ((CURRENT_Adc1000<<9)+62)/125; // 12位小数的1A电流值常量(应除1000乘4096)
```

电流、电压测量电路参数的配置

- Interrupt_Fun.c中，1A电流的ADC值，再乘1000的数值，赋值给CURRENT_Adc1000
  - DEMO代码按10毫欧运放5倍配置的，Vref=5000mV，所以1A的ADC值是：10毫欧*5倍 *4096/5V，再乘1000，算式如下

```
26  #define       RESISTER_COIL         1000                              // 一相线圈电阻，毫欧值
27  int32_t const CURRENT_Adc1000     = 50*4096*1000/ADC_VREF_MV ;    // 1安电流ADC值乘1000的常数值(10毫欧5倍)
28  int32_t const CURRENT_1A_Value_f12 = ((CURRENT_Adc1000<<9)+62)/125; // 12位小数的1A电流值常量(应除1000乘4096)
29
```

- 母线电压Vbus_0v1是0.1V的电压数值

```
467       //母线电压=(分压比(91+10)/10)*ADC_VREF_MV*ADC值/1000/4096，乘10变0.1V值=VREF_MV*(91+10)/10*ADC值/100/4096
468     temp32 = (ADC_VREF_MV*(91+10)/10*(EADC->DAT[4]&0xFFFF)/100+2048) >>12;
469  //  Vbus_0v1 = temp32 ;
470     Vbus_0v1 = (Vbus_0v1 + temp32) >>1 ;                    // 若电压波动较大(用薄膜电容)，滤波会让电压数据滞后
471
472     temp32 = Vbus_0v1*150 >>8 ;                             // 调制比=1是0.577 =150/256, 过调制 172/256=2/3
473     if(temp32 >16383)temp32 =16383 ;                        // 电压最大14位 = 16383 (1638.3V)
474     Vout_Max_f17 = temp32 << 17 ;                           // Vdq 限幅值加17位小数, 最大到31位
```

电流PI参数的调整方法

- 电流P参数=ωL，L是电机电感，低通滤波频率转折点 ω 一般取PWM 频率的 15~100分之一
  - 启转时若偶有滋滋声，电流快速波动，就是PI参数过大了，取值小点再测。

```
// 1A电流的ADC 值是 M =(A*r*4096)/5V, 电流 I 的ADC 值是 MI, 做电流 PI 时再增5位小数是 32MI
// 32MI 做比例运算V=Kp*I,得17位小数的0.1V电压值, 所以比例运算是:  (10*2^17)*V = [(10*2^17)*Kp/32M] * (32MI)
// 所以电流数据 32MI 前面的系数 Kp_Current = 10*2^17*Kp/32M = (10/M)*Kp*(2^12) = 50Kp/(Ar)

// Kp 取值 2*3.1415*F*L/N, N 取值 10*3.14159(一般不小于 5*3.14159) 得 Kp =F*L/5, 代入 Kp_Current公式得
// Kp_Current = 10*F*L/(Ar),  F=PI运算频率, L=电机电感, A=运放倍数, r=电流采样电阻

// 积分系数Ki/R <= Kp/L 阶跃响应无上冲, 若加大积分参数, 响应会加快, 但转速调整时会有过冲
// Ki_Current =Ki*T =Kp*R/(F*L) =10R/(Ar),          R=电机电阻, A=运放倍数,r=电流采样电阻

// 本例 L=0.7mH,F=15kHz,R=1欧,Ar=0.05欧, 算得 2100, 200 ( 大多数情况,PI参数可以再大一倍)

int32_t     Kp_Current = 2100,  Ki_Current = 200;    // 电流留5位小数做PI,结果是17位小数电压,所以此值有12位小数
```

转速PI参数的调整方法

- 按转速 Ω 与转动惯量 J 与转矩 M 的关系，理论上比例系数应取值 ωJ 。积分系数一般取比例系数的1/20~1/100

$$J\frac{d\Omega}{dt}+B\Omega=M$$

- 实际应用转动惯量和转矩常常是变化的。简单点可以预估一个小一点的 PI 系数，测试轻重载效果。若觉得转速响应太慢，可适当增大后再测试，只要调速时转速不出现忽快忽慢的波动就可以

```
71  int32_t     Kp_Speed = 400,    Ki_Speed = 2;          // 转速PI运算结果是12位小数的电流设定值,相当于此有12位小数
```

起转电流配置

- 起转时最大电流可先取正常转动时最大电流的一半左右，再按起转效果增减。
- 启转电压的上限，取值参考额定电压的10%

```
39  // 12位小数设定值 =CURRENT_Adc1000 就是=1000A/4096= 约1/4安,  ADC=1时,电流=1/CURRENT_Adc1000 毫安
40  #define       CURRENT_MIN          (30<<7)                    // 做电流 PI 时会先右移7位, 做小数对齐
41  int32_t const CURRENT_Min_f12 = -CURRENT_MIN;                  // 下限负值防0值下漂停不下来,负多了降速充母线
42  int32_t const CURRENT_Max_f12 = 4*CURRENT_1A_Value_f12 +(30<<7); // 正常转动时电流上限, 加一点显示时高位不跳动
43
44  int32_t const CURRENT_MotorLock_f12 = CURRENT_Max_f12*3 >>5 ;    // 锁定时电流值
45  int32_t const VOLTAGE_UpLimit_while_Active_f17 = 30 << 17 ;      // 起转时电压上限, 参考额定电压的10%
```

起转加速度配置

- 拖动转速上限PULL_Ommega_Max_16,参考能同步的最低转速
- 加速度PULL_Ommega_Inc_f16 先小点,磁铁能跟着转,后期再调整
- 拖动转速下限，可先取上限的 ½~¼，后期再调整
  - 一圈角度360 用 65536 表示
  - 这里转速是一个PWM 时间转过的角度,数值很小,所以又加了16位小数

```
75  #define  RPM_ACTIVATE_MAX          (600*POLE_PAIR)  // 拖动转速Pull_Ommega_f16上限,比能闭环转的最高转速略大
76  #define  RPM_ACTIVATE_MIN          (300*POLE_PAIR)  // 拖动转速下限，取值一般比能闭环转的最低速略小一点
77
78  int32_t const PULL_Ommega_Max_f16 = ((RPM_ACTIVATE_MAX*65536/60/PWM_Frequency)<<16);  // 拖动转速变成角度增量
79  int32_t const PULL_Ommega_Min_f16 = ((RPM_ACTIVATE_MIN*65536/60/PWM_Frequency)<<16); // 角度增量下限(转速下限)
80  int32_t const PULL_Ommega_Inc_f16 = PULL_Ommega_Max_f16/(10*PWM_10th_sec);          // 启转加速度，转速增量
```

代码中的计算公式

- 电压、电流、电感计算单位
  - 若1A的ADC值是M，则电流i的ADC值是Mi
  - $V - Ri = Ldi/dt + \varepsilon$　右端分子分母乘1000000M，得

$$V - Ri = \frac{1000000Ld(Mi)/dt + 1000000M\varepsilon}{1000M * 25 * 40}$$

  - 令电流ADC值Mi=i'，微亨值L'，电势变ε'，公式变为

$$\text{输入}(10V - 10Ri) * 4 = \frac{L'di'/dt + \varepsilon'}{1000M * 25} \text{ 估算}$$

电压0.1V的数值，再乘4用于运算，**电感用微亨值，电流用ADC值，**
常数1000M*25赋给全局变量 Unit_Magnify

母线电压不能超过 65535/40=1638.3V，否则坐标旋转时32位溢出

若LI超32位，电感值要除以10或100， 常量Unit_Magnify也除相应值即可

M451适于电机控制的特性

nuvoTon 新唐科技

- 72MHz Cortex_M4内核
  - 5V工作电压,-40~105度工作温度范围
  - 40~256K FLASH 取指令0等待
  - RAM 16/32K，带硬件校验功能
- CAN 2.0 接口(M453型号)
- 96位唯一序列号用于代码加密
- 12位 DAC 实时输出中间变量观察数值变化
- 其它:WDT,UART,SPI,I2C,RTC,EBI,USB-OTG,PDMA 等

数学函数简介

- uint32_t Get_SquareRoot(uint32_t Data)开方函数。如果实参太小,可对实参左移2,4,6,8后再开方,再把结果右移1,2,3,4……
- int16_t Get_Arctan(int64_t Xx, int64_t Yy)求反正切，返回-32768~32767 [-180~180度)
- int64_t Updata_Theta_Value(int32_t V_q,int32_t V_d,int32_t I_beta,int32_t I_alpha)
  迭代运算函数,做一次观测器迭代运算,对结果不做准确性判断。更新了偏差Theta_e (PLL输入,同步转时很小)和磁铁角度估值Estimate_Q_Position，返回值是反电势除Unit_Magnify后的值,返回值小数位与电压实参一样。函数内对I_beta,Ialpha做了静轴到动轴的坐标变换。
- Set_PWM_Frequency_LPF(uint32_t PWM_F,uint32_t LPF) 配置迭代运算频率和低通角频率,如果两次PWM做一次迭代运算,参数一就用PWM频率值的一半。
  用dq轴反电势求反正切前，先做一阶低通运算,减小数据波动

$$y_n = \frac{y_{n-1} f + x_n \omega}{f + \omega}$$

nuvoTon

Thank You !

更多资料见新唐论坛 www.nuvoton-mcu.com