

MDRFD0

Hair Dryer

Application Note

Sensorless Based High-Speed PMSM Solution

目录

目录 2

1. 基本规格参数配置 3

 1.1 电机参数配置 3

 1.2 MOC 及硬件参数配置 4

 1.3 保护参数配置 6

2. 风筒参数调适流程 12

 2.1 启动参数调适 12

 2.2 周边控制功能 16

 2.3 顺/逆风启动参数调适 19

 2.4 保护参数调适 19

 2.5 其它参数配置 20

3. 程序架构 22

 3.1 程式流程 22

4. 参考电路设计 23

 4.1 电源输入电路 23

 4.2 核心单元及周边电路 23

 4.3 三相全桥变频器 24

 4.4 两相采样电路 24

 4.5 BOOTSTRAP 24

 4.6 外部端口 25

 4.7 保护线路 25

 4.8 其他周边 25

1. 基本规格参数配置

1.1 电机参数配置

- 配置文件：MOTOR.h <Configuration Wizard>
- Set motor parameters

参数	数值范围/选项	说明	预设值
Motor Pole	0~30(2的倍数)	马达极数	2
Motor SMO_G	0~32767	$G = Ts / Ls/2$	16000
Motor SMO_F	0~32767	$F = 1 - (G * Rs/2)$	32346
Motor SMO_Kslf	0~32767	Low Pass Filter Gain	8000
Motor SMO Kslide	0~32767	Linear Gain	16000
MaxSmcError	0~32767	SMO电流误差判断值	32767

调适方向建议：

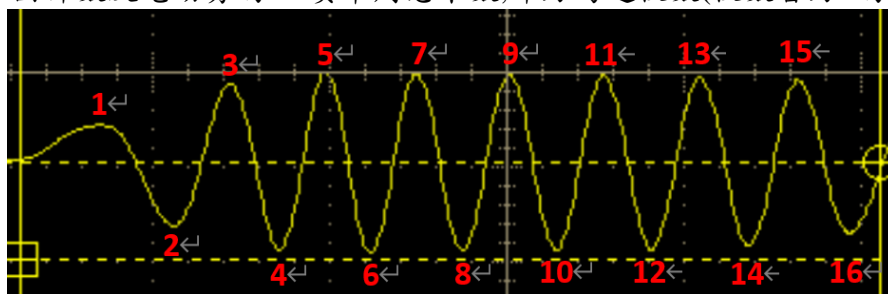
极数量测：

在无法确切得知马达的极数规格时,可以采用量测反电动势来取得极数,方法如下:

Step1. 示波器碳棒随意勾取马达任一两相之间(ex: U对V or V对W...),马达无须接在控制板上

Step2. 利用手转或是外力让马达旋转一圈

Step3. 依照下图计数反电动势的正/负半周总个数,即为马达极数(极数皆为2的倍数)



SMO:

Sliding-Mode Current Observer主要用于估测电机转子位置，对参数变动干扰有一定程度的强健性，因此SMO_G、SMO_F参数无需透过R、L参数计算而得。当电机操作至额定功率期间，若出现电流异常发散导致停机保护，可以试误法方式调适dSMO参数 (**G必须小于F**)。

SMO_Kslf为滑模电流观测器于估测转子位置时的滤波器系数，该参数与电机电气频率呈线性关系，也间接影响实际转子位置与估测转子位置间的相位关系。当电机操作至额定功率期间，若出现电流异常发散导致停机保护，可以试误法方式调适SMO_Kslf参数。

Kslide为SMO线性增益, SMO_Gain为内部数学模型实际增益值，其公式为：

$$SMO_Gain = Kslide/MaxSmcError$$

1.2 MOC及硬件参数配置

■ 配置文件：Pwm.h <Configuration Wizard>

■ Set MPWMDATA

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
Set PWM Frequency	12000~40000(10的倍数)	载波频率	27000	Hz

■ Set MPWMDDB

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
Set Deadband Time	1us/1.5us/2us/3us/4us/5us	设定死区时间	1.5us	--

调适方向建议：

PWM输出频率：

PWM频率设置越高，虽会增加MOSFET的切换损与电机发热，进而影响系统效率，但可有效抑制电机操作于高速应用下的电流/功率/速度涟波、振噪，提升整体系统性能表现；而频率设置低人耳会容易听到(低于16K)，但能提高马达最高转速，建议感量越低的马达设置的载波频率要越大。

死区设定：

根据实际量测上下臂输出波形判断所需要的死区范围，死区过大会影响马达的速度特性，可能会无法提升到额定最高速。

■ 配置文件：Motor.h <Configuration Wizard>

■ Set Rshunt and OPA Gain

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
Rshunt	--	设定采样相电阻阻值	1000	0.1mR
OPA GAIN	1 Gain /2.5 Gain /5 Gain /10 Gain	内部OPA放大倍率	5 Gain	--

调适方向建议：

无感系列内部运算放大器增益有1、2.5、5、10四种放大增益值可供选择，其选配原则取决于电流采样解析度与电机额定相电流。

ShuntR * 马达最大电流(I_{Peak}) < 0.5V

差动两端会限制在0.5V以下，是因为内部OPA两端最大限度电压为0.5V。

OPA Gain * ShuntR * 马达最大电流(I_{Peak}) < 2.5V

会限制2.5V是因为，内部A/D往上Offset了2.5V
相电流有正/负，0~2.5V为负电流，2.5V~5V为正电流。

采样电阻选配建议：

一般电流采样 A/D 建议最大值对应马达 $I_{peak(max)}$ 的两倍，例如：

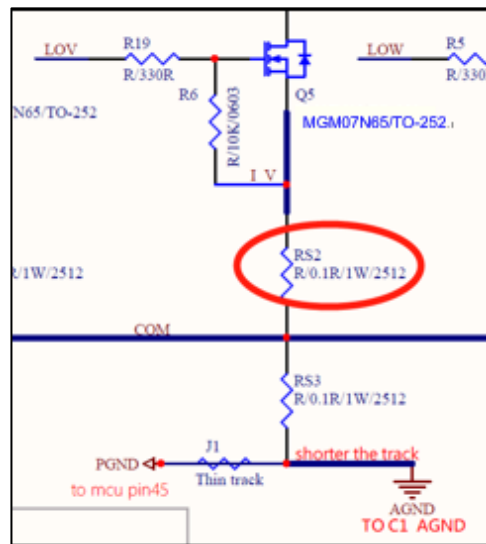
DC24V 马达，在最高额定转速下相电流 $I_{peak} = 2.7A$ ，取 3A，则两倍的采样最大电流为 6A

$R_{Shunt} = 2.5V / Gain / 6A$ ，Gain 先取 5，则 $R_{shunt} = 83mR$ ，取 0.1R 为用。

采样电阻阻值越大，则采样的精度也越高，但也要考虑到采样电阻功耗导致的温升。在保证电阻温升符合要求的情况下，电阻值应尽量提升。

■ 配置文件：Pwm.h <Configuration Wizard>

■ 闸级驱动输出模式



参数	数值范围/选项	说明	预设值
Set MPWM_SWAP	MDRFD0	Gate Driver输出模式	MDRFD0

调适方向建议：
当使用MDRFD0 (MCM：内建N/N-type Gate-Driver，需外部配置MOSFET)时，则选定”MDRFD0”。(Note:此选项千万不能选错,否则可能会造成mos毁坏)

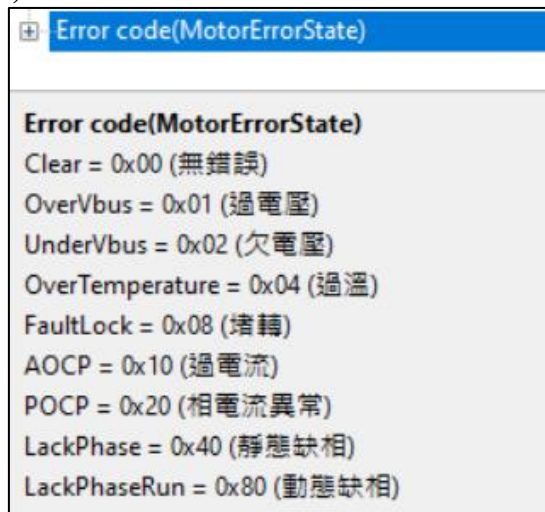
- 配置文件：Moc.h <Configuration Wizard>
- 空间向量脉宽调变(SVPWM)配置
- Set MOTOR_CONT2

参数	数值范围/选项	说明	预设值
SVPWMMODE	7-SVPWM 5-SVPWM	SVPWM模式	5-SVPWM

调适方向建议：
(a). 当产品/系统以效率为优先指标时，可选定”5-SVPWM”，则SVPWM会以5段式切换输出，降低MOSFET切换损与发热，反之，当产品/系统以静音、震动及干扰为诉求与关键指标时，则选定---”7-SVPWM”。

1.3 保护参数配置

- 配置文件：Motor.h <Configuration Wizard>
- 保护/误动作状态辨识 (ErrorStatus)
- Error code(MotorErrorState)



调适方向建议：

当系统发生马达异常停止或是无法启动时，可利用保护状态辨识，得知目前Error_Code输出代号，以厘清系统的保护状态。可在main.c档内(第182行)，找寻if(UartFlag == 1)此判断式，在第187行底下的Debug_(A~F)任一参数下使其等于” MotorErrorState” 此变数，范例如下：

```
if(UartFlag == 1){  
    SFR_PAGE = 0; Debug_A = eprom_data;  
    SFR_PAGE = 0; Debug_B = PI_OUT;  
    SFR_PAGE = 1; Debug_C = PI_OUT;  
    SFR_PAGE = 2; Debug_D = PI_OUT;  
    SFR_PAGE = 2; Debug_E = PI_UI;  
    SFR_PAGE = 3; Debug_F = MotorErrorState;  
  
    Uart_Package_Build();  
    UartFlag = 0;  
}
```

加入此變數

于UartSystem.h <Configuration Wizard>将UART功能Enable，并且打开” DataLogger.exe” 软体即可监看此变数。

配置文件：Motor.h <Configuration Wizard>

- Set motor protection function
- Overvoltage/Undervoltage protection (OVP/UDP) (✓)

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
Set Vbus A/D Channel	CH0~CH7	采样母线电压A/D通道	CH2	--
Set Vbus rate parameter	0~65535	采样母线电压校正参数 = (Vbus_avg / Input voltage)*1000	2160	--
OVP Values	0~4000	过电压值	3800	0.1V
OVP recovery Values	0~4000	过电压恢复值	3750	0.1V
UDP recovery Values	0~4000	欠电压恢复值	1450	0.1V
UDP Values	0~4000	欠电压值	1400	0.1V
BUS_VOLT_DURATION	10~30000	OVP/UDP判断周期	50	ms

调适方向建议：

Vbus rate parameter：

先确认采样Vbus的AD channel，并填入V_BUS_CH内，之后把” Vbus_avg” 此变数放入UART Debug监看(如同上面所提到的方式)，上电后将得到的Vbus_avg除以目前的输入电压，再乘上1000，得出的数值即为Vbus rate parameter，范例如下：

假设在工作电压为DC310V下，所得到的Vbus_avg为670， $670 / 310 = 2.16$
 $2.16 * 1000 = 2160$ ，Vbus rate parameter = 2160。

OVP /UDP setting：

将所希望的过电压保护值以及欠电压保护值，分别填入OVP Values、UDP Values参数，过电压恢复值以及欠电压恢复值，分别填入OVP recovery Values、UDP recovery Values。

BUS_VOLT_DURATION参数为判断OVP/LVP的判断总周期，判断次数每10ms判断一次。

- Locked-rotor protection (LRP) (✓)

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
Motor speed abnormally high value	--	马达速度异常过高数值	13000	10rpm
Motor speed abnormally low value	--	马达速度异常过低数值	600	10rpm
LRP DURATION	10~30000	马达堵转判断周期	500	ms

调适方向建议：

LRP setting :

根据马达的最高/低额定转速，再累加/减一个量，来判断马达为堵转状态，高于**Motor speed abnormally high value**，认为过速保护；低于**Motor speed abnormally low value**，认为欠速保护

LRP judgment cycle 参数为判断LRP的周期，建议不要设定太小，避免误判。

■ Over temperature protection (OTP) (✓)

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
Set OTP A/D Channel	CH0~CH7	采样OTP A/D通道	CH5	--
OTP A/D Values	0~1023	过温A/D值	670	--
OTP recovery A/D Values	0~1023	过温恢复A/D值	620	--
OVER_TEMPATURE_LOAD_REDUCE_VALUE	0~1023	过温降载A/D值	670	
TEMPERTURE_DURATION	10-30000	OTP判断周期	500	ms

调适方向建议：

OTP setting :

先确认OTP的AD channel，并填入**Set OTP A/D Channel**。

OTP A/D Values：为过温保护当下的A/D值

OTP recovery A/D Values：为清除过温保护的A/D值

OVER_TEMPATURE_LOAD_REDUCE_VALUE：超过此A/D值启动降载(减少MOS损耗)

若可得知NTC的R/T表，可直接使用分压公式做推算。

TEMPERTURE_DURATION参数为判断OTP的总周期，每10ms判断一次。

一般NTC摆放位置于mos附近，用来检测mos附近的相对温度(除非有其他用途)，其确认该A/D值，可先将马达超载运作，实际使用K-type量测mos表面温度，在mos表面温度到达认为应该要跳OTP保护的位置，检测该NTC读到的A/D值，在将其填入参数即可。

■ Heat_Temperture_Protect Enable/Disable (✓)

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
Set Heat Temperture A/D Channel	CH0~CH7	采样加热器温度A/D通道	CH3	--
OVER_HEAT_TEMPATURE A/D Values	0~1023	加热器过温A/D值	150	--
HEAT_TEMPATURE_OPEN_CIRCUIT A/D Values	0~1023	加热器开路A/D值	1000	--
HEAT_TEMPATURE_DURATION	10-30000	OTP判断周期	500	ms

调适方向建议：

Heat Temperature setting :

先确认AD channel, 并填入Set Heat Temperture A/D Channel。

OVER_HEAT_TEMPERTURE A/D Values：此值为判断加热器温度过温的A/D值，低于^{*1}此值认为过温。

HEAT_TEMPERTURE_OPEN_CIRCUIT A/D Values：当A/D值超过^{*1}此值，认为加热器断线或是故障。

*1：当NTC分压对地，若分压对Vcc，则需到代码判断过温的副程式内，将大小于符号对换。

■ MotorLackPhase_Fun Enable/Disable (✓)

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
MotorLackPhase_SOP	LEVEL1/ LEVEL2	判断静态缺相的步骤	Level2	--
Set Vq Detection Value	0~4000	设定给定Vq的量	2000	--
Set abs(IaFb) Detection Value	0~1000	判断为静态缺相的IaFb值	25	mA
Set abs(IbFb) Detection Value	0~1000	判断为静态缺相的IbFb值	25	mA
LackPhase_Duration	10~30000	静态缺相判断周期	500	mS

调适方向建议：

MotorLackPhase setting :

此保护是用来设定在马达静止状态下，判断马达三相线是否有缺相(断线)的状态。

先将MotorLackPhase_SOP设置为Level1，并将IaFb、IbFb参数加入至Uart观测，并且记录当任一相线移除后的数值变化。假设在无任何缺相的情况下，马达静止状态的IaFb和IbFb皆为500，当移除任一相线后，IaFa/IaFb往下骤降至110，此时可以估抓IaFb/IbFb低于160时，判断为静态缺相，将其值转换成电流值填入Set abs(IaFb) Detection Value、Set abs(IbFb) Detection Value，公式如下：

Set abs(IaFb) Detection Value = (静态缺相值(IaFb) / I_AMPLIFIER) * 1000

Set abs(IbFb) Detection Value = (静态缺相值(IbFb) / I_AMPLIFIER) * 1000

I_AMPLIFIER = (((R_SHUNT * OPA_GAIN * 1023))/5)*64

假设R_SHUNT = 0.1 ; OPA_GAIN = 5 ; 则I_AMPLIFIER = (0.1*5*1023)/5*64 = 6,547.2

Set abs(IaFb) Detection Value = (160 / 6547.2) * 1000 = 24.4，取整数25

Set abs(IbFb) Detection Value = (160 / 6547.2) * 1000 = 24.4，取整数25

Vq Detection Value：用来调整判断静态缺相时的回授电流大小，若发现当缺相的电流变化性不大时，可以适度提高Vq的量。

LackPhase_Duration：判断静态缺相的总周期，提高此参数可避免杂讯所造成缺相的误判。

当以上参数调适完毕后，请将MotorLackPhase_SOP设置为Level2。

■ MotorLackPhase_Run_Fun Enable/Disable (✓)

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
Set abs(IaFb) Detection Value	0~1000	判断为动态缺相的IaFb值	50	mA
Set abs(IbFb) Detection Value	0~1000	判断为动态缺相的IbFb值	50	mA
Set abs(IaFb-IbFb) Detection Value	0~1000	判断为动态缺相的IaFb-IbFb值	100	mA
LackPhase_Run_Duration	10~30000	动态缺相判断周期	100	ms

调适方向建议：

MotorLackPhase Run setting :

此保护是用来设定在马达运转状态下，判断马达三相线是否有缺相(断线)的状态。

参数设置方式和判断静态缺相雷同，先将IaFb、IbFb、IcFb放到Uart观测，此时纪录在马达运转下的电流数值，可先断开取样Ia、Ib所对应的相线，例如取样Ia的相线为U相，则可在马达运转中断开U相线，观测Uart中的电流数值变化，反之Ib，Ic也是(Ic为没有取样电阻的该相线)，当Ic断线时，Ia、Ib由于电流方向不同，会相差180度，abs(Ia-Ib) 近似于0。判断为动态缺相的参数值，将其值转换成电流值填入，其公式如下：

Set abs(IaFb) Detection Value = (动态缺相值(IaFb) / I_AMPLIFIER) * 1000

Set abs(IbFb) Detection Value = (动态缺相值(IbFb) / I_AMPLIFIER) * 1000

Set abs(IaFb-IbFb) Detection Value = (动态缺相值(IaFb - IbFb) / I_AMPLIFIER) * 1000

I_AMPLIFIER = (((R_SHUNT * OPA_GAIN * 1023))/5)*64

LackPhase_Run_Duration：判断动态缺相的总周期，提高此参数可避免杂讯所造成缺相的误判。

■ Phase current protection (✓)

保留；待验证必要性

- Phase Ia、Ib、Ic parameter (unit : mA) (700)
- PHASE_OCP_DURATION parameter (unit : ms) (50)

调适方向建议：

(a). 相电流异常保护，三相电流中,若大于所设定的Phase Ia、Ib、Ic parameter,认为电流异常保护,设定方向可将IaFb, IbFb放置UR观察,在马达额定转速运转下将其平均值纪录,约抓个1倍左右填入该参数.

(b). PHASE_OCP_DURATION parameter：判断相电流延迟时间

- Set Protection to retry
 - AOCP_Retry_Enable (✓)
 - POCP_Retry_Enable (✓)
 - FaultLock_Retry_Enable (✓)
 - MotorLackPhase_Retry_Enable(✓)
 - MotorLackPhase_Run_Retry_ENABLE (✓)

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
Set the number of retries	0~255	报错后重启次数	10	times
Set retry delay time	0~32767	重启延时时间	3000	ms

调适方向建议：

相对应的保护功能Retry Enable被勾起后，则当该保护发生后，会自动重启，反之则需重新断电。

Set the number of retries：为当错误产生时，马达重启的次数，一旦超过此值，便需要断电重启。

Set retry delay time：为发生错误后到重新启动中间的延时时间。

- 配置文件：Ocp.h <Configuration Wizard>
- 硬件过电流保护设置
- Set AOCPCONT

参数	数值范围/选项	说明	预设值
I_SHORT	0.15V/0.2V/0.25V/0.3V/0.35V/0.4V/0.45V/0.5V	过电流参考电压	0.3V
AOCPEN	Enable/Disable	类比过电流功能	Enable
DOCPEN	Enable/Disable	数位过电流功能	Disable

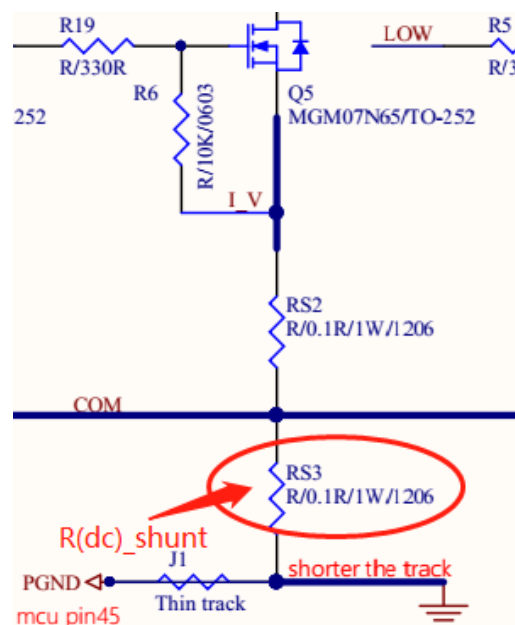
调适方向建议：

MDRFD0提供8组等效过电流电压档位供配置，其母线电流保护点的计算为： $I_SHORT = I_{ocp} * R(dc)_shunt$

AOCPEN为类比输入式OCP，DOCPEN为数位输入式OCP，若外挂Driver为IPM，一般皆设定DOCPEN，反之为AOCPEN。

OCP setting :

过电流值设定约在**马达最大电流(I_Peak)之1.5倍~2倍左右**。



2. 风筒参数调适流程

2.1 启动参数调适

Step1. 对位启动

- 配置文件：Motor.h <Configuration Wizard>
- Set the motor tuning process

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
Set IQ parking duration	1-32767	IQ定位持续时间	10	ms

- Set FOC LOOP Parameter
 - IQ
 - ✓ Set IQ Current parameter

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
Set IQ Initial current	--	IQ初始电流量	0	mA
Set IQ Starting current	--	IQ启动电流量	440	mA

调适方向建议：

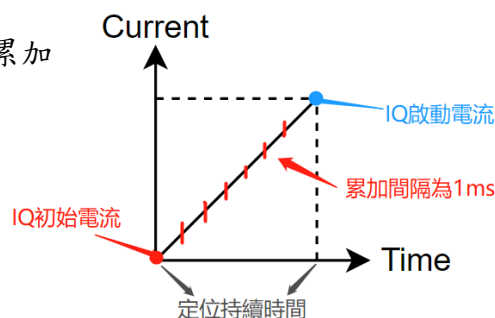
若负载惯量大，在启动期间的启动电流/力矩需大一点，依照负载大小适度调整，如此可有效完成启动、降低震动及倒转机率。时间适度增加可改善启动失败率。

对位电流的加速斜率及时间说明如下：

如右图，定位持续时间为初始电流到启动电流的总时间，而累加间隔时间为Timer0时间(1ms)，故每1ms的累积电流量为：

$(\text{IQ启动电流} - \text{IQ初始电流}) / \text{定位持续时间}$

定位持续时间最小为1ms，若不需要定位可将初始电流=启动电流



Step2. 位置开回路运转(Open loop)

- 配置文件：Motor.h <Configuration Wizard>
- Set the motor tuning process

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
FOC_Control_Stage	Standby/ OpenLoop/ CloseLoop	FOC控制阶段	CloseLoop	--
Set SMO_RAMP acceleration slope	1~32767	PLL累积斜率	1	ms
Set PLL accumulation	1~100	PLL累加量	2	--
Set SMO_PLL initial speed	--	PLL初始转速	1	10rpm
Set SMO_PLL end speed	--	PLL结束转速	300	10rpm

调适方向建议：

FOC Control Stage :

OpenLoop：开回路期间为电流闭环、位置开环。调适初期针对开回路调适时，建议可先将FOC_Control_Stage调为OpenLoop，如此一来马达便只会运转在开回路状态，当马达运转中若出现不可逆的现象时，也可利用FOC_Control_Stage加以分析是开回路出现的问题，还是闭回路的问题。

CloseLoop：可选择速度外环，或是功率外环。

PLL：

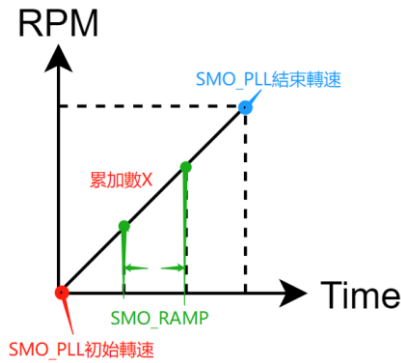
SMO_RAMP减少可有效提高位置观测器收敛速度与减少开回路启动时间，但若太小有可能会

启动太快而失败，须注意此变数值也包含顺/逆风下的PLL加速斜率。开回路加速度斜率及时间说明如下：

如右图，为SMO_PLL初始转速到SMO_PLL结束转速斜率，
每SMO_RAMP的时间去累加一个PLL量(为图中的累加数X)
故**PLL开环的总时间计算为：**

$$\frac{[(\text{SMO_PLL结束转速} - \text{SMO_PLL初始转速}) / (\text{PLL累加量} / \text{POLE PAIRS})] * \text{SMO_RAMP}}$$

Ex : $[(30-5)/(1/7)] * 15\text{ms} = 2625\text{ms}$



Step3. 开回路衔接至闭回路

- 配置文件：Motor.h <Configuration Wizard>
- Set the motor tuning process

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
Set SMO_DELAY Delay time	1-32767	开环进闭环延迟时间	10	ms

SMO_DELAY为内环准备要进闭环的延迟时间，可适度调整此参数。参数预留，暂不使用。

- Set FOC LOOP Parameter
 - IQ>
 - ✓ Set IQ Current parameter

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
Set IQ End current	--	闭环电流初始值	450	mA

调适方向建议：

在开环路结束后的电流即为IQ结束电流，此值在进入闭环后，会直接填入闭环的积分值以及输出值，当位置开回路(电流闭回路)切入闭回路时，由于初始外环PI控制器的积分器为零，为了避免衔接过程中转速异常涟波，需提供外环PI控制器的积分器一个初始值。

Step5. 闭回路运转(Close loop)

- 配置文件：Motor.h <Configuration Wizard>
- Set motor control program
 - Set the main control loop
 - ✓ Phase Current control
 - ✓ Speed control
 - ✓ Power limit
 - ✓ Power control

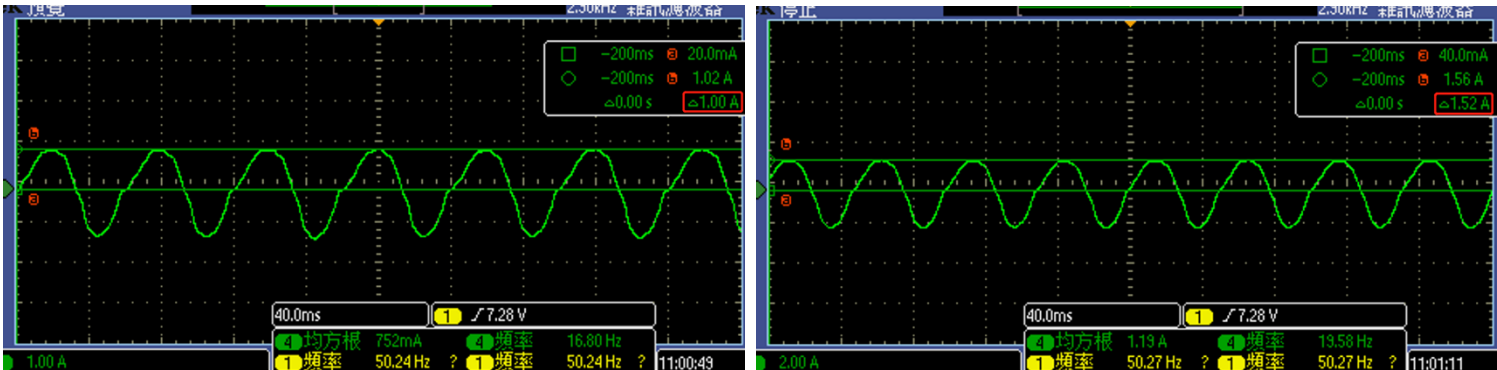
闭环控制共有三种控制模式，分别为相电流控制(Phase Current control)、速度控制(Speed control)、功率控制(Power control)，以下针对这三种模式分别做说明。

相电流控制(Phase Current control)

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
Set the rated output phase current (max)	0~30000	额定输出相电流(max)	540	mA
Set PHASE CURRENT_RAMP slope	1~32767	相电流控制周期	20	ms
Set PHASE CURRENT_CMD accelerate RAMP	0~32767	相电流累加量	5	--
Set PHASE CURRENT_CMD decelerate RAMP	0~32767	相电流递减量	10	--

调适方向建议：

根据马达的最大额定相电流填入设定值，这里所控制的电流为相电流峰值，例如下图所示：



Set the rated output phase current (max) = 1A Set the rated output phase current (max) = 1.5A

电流控制斜率可依据CURRENT_RAMP、CURRENT_CMD accelerate RAMP 以及 CURRENT_CMD decelerate RAMP做调整，方向为每CURRENT_RAMP的时间，去累加/减CURRENT_CMD的量。

累加减相电流量 和 实际累加/减相电流的换算公式为：

实际累加/减相电流 = (相电流累加/减量) / [(R_SHUNT * OPA_GAIN) * (1023/5) * 64]

速度控制(Speed control)

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
Set the rated output speed (max)	0~(32767/ Motor Pole/2)	额定速度(max)	10500	10rpm
Set SPEED_RAMP slope	1~32767	速度控制周期	20	ms
Set SPEED_CMD accelerate RAMP	0~32767	速度累加量	15	--
Set SPEED_CMD decelerate RAMP	0~32767	速度递减量	5	--

调适方向建议：

根据马达的最高额定转速填入设定值，建议可预留一些余量。 马达的转速最高命令控制可利用 **Set the rated output speed (max)** 来设定。

速度控制斜率可依据 **SPEED_RAMP**、**SPEED_CMD accelerate RAMP** 以及 **SPEED_CMD decelerate RAMP** 做调整，方向为每 **SPEED_RAMP** 的时间，去累加/减 **SPEED_CMD** 的量，这里的加减量除上 Pole pairs 即为 rpm。

因内部角速度输出最大值为32767，所以再填入额定转速的最大值的上限为32767/极对数，假设马达的额定转速超过此上限的话，请至Pwm.h [<Configuration Wizard>](#)，将Set Base Angular Velocity此参数填入 = 额定最大转速 * Pole Pairs即可。

功率控制(Power control)

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
Set the rated output power (max)	0~10000	额定功率(max)	1800	0.01W
Set power magnification parameters	--	功率校正	100	--
Set I_BUS A/D Channel	CH0~CH7	采样Ibus A/D通道	CH2	--
POWER_SOP	LEVEL1/LEVEL2		LEVEL2	

调适方向建议：

根据马达的额定功率填入设定值。 马达的功率命令控制可利用 **Set the rated output power (max)** 来设定。

如果实际功率值和填入的功率输出有落差的话，可利用功率校正做微调，如果实际功率比目标功率还要小，则加大校正，反之亦然。

在初期调适时，可先将POWER_SOP设定为LEVEL1，确认功率的准确。

2.2 周边控制功能

VSP速度控制

- 配置文件： Motor.h <Configuration Wizard>
 - Set motor control program
 - ✓ Set Peripheral Control
 - VSP control commands Enable/Disable (✓)

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
Set VSP_CH	CH0~CH7	VSP A/D	CH7	--

- ✓ VSP_CH_Inver Enable/Disable
反向A/D输入值功能
- ✓ Vsp_LookUpTable Enable/Disable

调适方向建议：

VSP外部控制功能，首先先确认VSP的A/D Channel，并填入VSP_CH。

将Vsp_LookUpTable Enable/Disable功能勾选，并且打开LookupTable.h<Configuration Wizard>，

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
Output : LookupTable_Data[1] (unit : Iq_Cmd, SPd_Cmd)	0~32767	电流/速度输出值1	600	--
Output : LookupTable_Data[2] (unit : Iq_Cmd, SPd_Cmd)	0~32767	电流/速度输出值2	700	--

以此类推...

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
Input : Vsp_Data[1] (unit : Vsp_Val)	0~1023	VSP1输入值	204	--
Input : Vsp_Data[2] (unit : Vsp_Val)	0~1023	VSP2输入值	350	--

以此类推...

应用方式为，每一档的 VSP 输入对应到该档的输出值，例如当 Vsp_avg>=VSP1 输入值时，此时便会输出 Out1 的值，VSP2 对应 Out2，以此类推.....

VSP 的输入值设定可将 Vsp_avg 放到 Uart 观测该参数。而输出值根据目前是电流控制或是速度控制而定，若是电流控制，则输出对应到实际相电流的换算公式为：

输出值参数 = 实际相电流(mA)/1000 * I_AMPLIFIER

若是速度控制，则输出对应到实际速度的换算公式为：

输出值参数 = 实际速度(rpm)/10

例如希望在 VSP1=204 时输出峰值 100mA 的相电流，则 Output1 = 100/1000 * 6547.2 = 654.

例如希望在 VSP1=204 时输出 6000rpm 得转速，则 Output1 = 6000/10 = 600.

开关速度控制

■ 配置文件：Application.h <Configuration Wizard>

● Set the switch speed value

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
Speed_Lever_1	0~(32767/ Motor Pole/2)	开关速度档1	8500	10rpm
Speed_Lever_2	0~(32767/ Motor Pole/2)	开关速度档2	10500	10rpm

● Define GPIOs

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
SPEED_ZC_PIN	P0_4/P0_5/P0_6/P0_7 /P3_2/P3_3/P3_4/P3_5	开关速度输入脚设定	P3_3	--

调适方向建议：

先将 SPEED_ZC_PIN 设定为开关输入之 PIN 脚，Speed_Level1/2 为该开关的档位速度值。

Heat 控制

■ 配置文件：Application.h <Configuration Wizard>

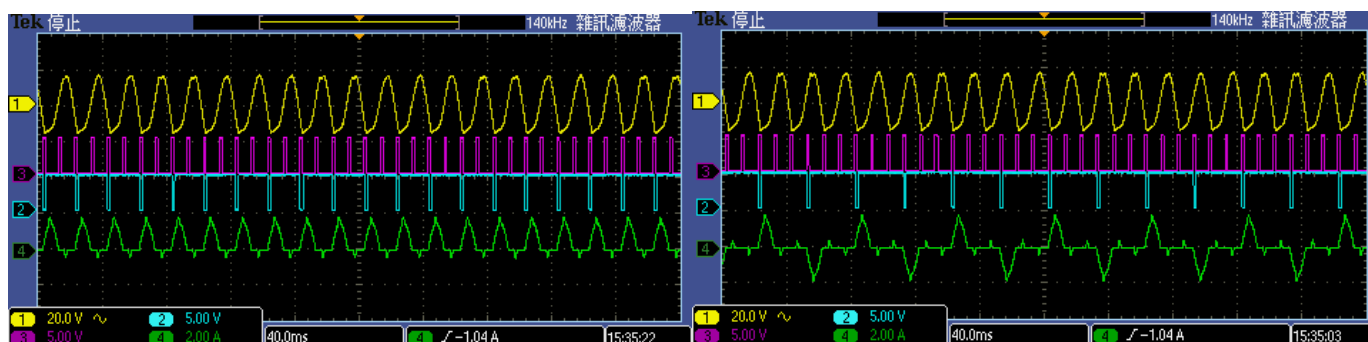
● Set the HEAT value

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
Heat_Level_1	0~1023	加热温度档位1	500	--
Heat_Period_1	2~20	导通循环次数	3	--
Heat_Sin_Period_1	1~5	导通次数	1	
Heat_Level_2	0~1023	加热温度档位2	200	--
Heat_Period_2	2~20	导通循环次数	2	--
Heat_Sin_Period_2	1~5	导通次数	1	
Heat_Level_Error	0~1023	加热温度档位2	150	
Heat_Period_Max	2~20	导通循环次数上限	12	
Heat_Period_Min	2~20	导通循环次数下限	2	

● Define GPIOs

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
HEAT_PIN	P0_4/P0_5/P0_6/P0_7 /P3_2/P3_3/P3_4/P3_5	Heat输出脚设定	P3_4	--
HEAT_SW_PIN	P0_4/P0_5/P0_6/P0_7 /P3_2/P3_3/P3_4/P3_5	Heat开关输入脚设定	P3_5	--
ZERO_PIN	P0_4/P0_5/P0_6/P0_7 /P3_2/P3_3/P3_4/P3_5	AC零点侦测输入脚设定	P3_2	--

调适方向建议：



2.3 顺/逆风启动参数调适

- 配置文件：Motor.h <Configuration Wizard>
- Set Fairwind and Headwind judgment function
 - BEMF Fairwind/Headwind judgment (resistance) Enable/Disable (✓)
 - BEMF Fairwind/Headwind judgment (Diode) Enable/Disable(✓)
 - BEMF TailWind Fun (One BEMF) Enable/Disable(✓)

调适方向建议：

风筒平台暂时不会用到。

2.4 保护参数调适

- 配置文件：Motor.h <Configuration Wizard>
- Set motor protection function
- 过/欠电压保护
 - 参数配置如1.3节(保护参数配置)所示。

调适验证方向：

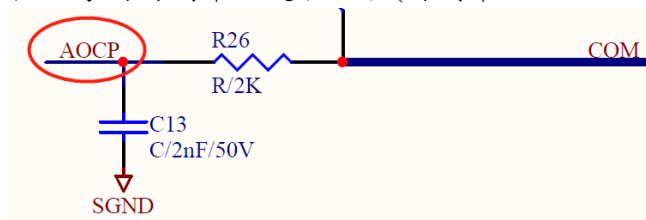
1. 依据客户提供的过、欠电压与回复电压条件进行设定。
2. 过电压及回复测试：启动风筒后，将电源供应器的电压升至过电压准位，确认风筒是否进入停机保护，接着将电源供应器的电压降至过电压回复准位，判断风筒是否正常启动。
3. 欠电压及回复测试：启动风筒后，将电源供应器的电压降至欠电压准位，确认风筒是否进入停机保护，接着将电源供应器的电压升至欠电压回复准位，判断风筒是否正常启动。

■ 过电流保护-测试硬件(重点测试)

- 参数配置如1.3节(保护参数配置)所示。

调适验证方向：

1. 验证硬件，先将AOCP此点和5V短路，马达可不接，利用UART监看是否有跳OCP，确认没问题再做以下短路测试。
2. 启动风筒后，任意将两相(UV or UW or VW)输出进行短路，以判断风筒是否进入停机保护，接着重新上电，确认风筒是否能正常工作，并多次重复该步骤，以确保MOSFET能充分保护。
3. 若短路实验后风筒无法重启，则检查MOSFET的规格是否满足、AOCP回授讯号在布线路径上是否有干扰、AOCP回授讯号的时间常数是否太长(时间常数： $RC \leq 2k * 2nf = 4us$)。



■ 堵转保护

- 参数配置如1.3节(保护参数配置)所示。

调适方向建议：

可利用手拉住扇叶，确认风筒进入失步/高频状态，堵转保护是否正常作动。

2.5 其它参数配置

- 配置文件：**Motor.h <Configuration Wizard>**
- Set motor control program
 - Set other functions

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
Set CW/CCW steering	CW/CCW	转子方向设定	CW	--
Set Stop_Fun stop speed	--	PWM停止输出转速	400	10rpm

调适方向建议：

设定CW/CCW转向依据所需的扇叶方向做修改。

Stop_Fun 停止转速在这里指的是，当遥控器按下停止键时，马达转速低于此参数时，PWM才会停止输出，大于此参数的转速值时，PWM皆还在输出当中，这是为了顺风衔接顺畅而设定的。其值可设定在低速判断不到顺风转速的衔接点。

✓ **IPD Enable/Disable(✓)**

调适方向建议：

此IPD功能需搭配配置文件 **IPD.h <Configuration Wizard>**做调适

- 配置文件 **IPD.h <Configuration Wizard>**
- Set IPD LEVEL

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
I_SHORT	0.15V/0.2V/0.25V 0.3V/0.35V/0.4V 0.45V/0.5V	IPD OCP LEVEL	0.15V	--
AOCPEN	Disable/Enable	类比OCP功能	Enable	--
DOCPEN	Disable/Enable	数位OCP功能	Disable	--
IPD Path Select	IPD Current Compare from AOC Path IPD Current Compare from OPA Path	IPD OCP判断路径	AOC Path	--

- Set IPD IAECYC

参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
IAECYC	48MHz/24MHz/12MHz/6MHz	IPD Counter Frequency	24MHz	--

调适方向建议：

IPD所产生的声音大小，和I_SHORT成正比，若设定至0.15V时声音还是很大，只能增加Shunt R的阻值(须注意电阻的瓦数)。

AOCPEN、DOCPEN、IPD Path Select：不建议更动。

IAECYC：此参数为**IPD重要参数**，用来计数OCP dt数值，转子在不同位置下所执行的IPD，取最小Counter为该位置的Pattern，其Counter最大值为65535，可依照量测的OCP dt宽度，去得知所需要的IAECYC，不同的IAECYC可判定到的最大dt宽度，计算如下：

48MHz : $(1/48\text{MHz}) * 65535 \approx 1.3\text{ms}$

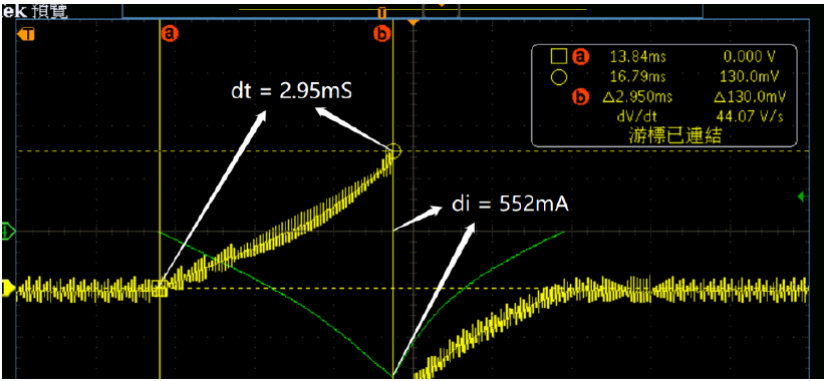
24MHz : $(1/24\text{MHz}) * 65535 \approx 2.6\text{ms}$

12MHz : $(1/12\text{MHz}) * 65535 \approx 5.2\text{ms}$

6MHz : $(1/6\text{MHz}) * 65535 \approx 10.4\text{ms}$

以右图为例，黄色波形为OCP讯号，dt为2.95ms，假设此时IAECYC选择48MHz或24MHz，因为dt皆大于Counter的最大值产生溢位，你会发现马达在启动时马达依然会倒转，所以只dt只适合选择12MHz。

✓ Brake control
Enable/Disable(✓)



参数	数值范围/选项	说明	预设值	单位
Set braking force	0~100	刹车Duty量	10	%

调适方向建议：
刹车力道，顺逆风Diode架构或是内部估测器用，暂时没用到。

3. 程序架构

3.1 程式流程

■ 配置文件：main.c

■ Main Function

- 系统初始化设定
- while(1){
 - ✓ WatchDog_Refresh (); // 更新看门狗
 - ✓ Heat_Control (); // 加热器控制
 - ✓ 急速启动电压零交越点判断与转速估测
- }

■ 配置文件：Interrupt.c

■ Timer 0 ISR(Time Based : 1ms)

- Motor_Control(); // 马达的错误判断、正反转控制、马达启动
- MotorLackPhase_Run_Fun() // 马达运转中缺相判断
- UART丢数据

■ Timer 1 ISR(Time Based : 10ms)

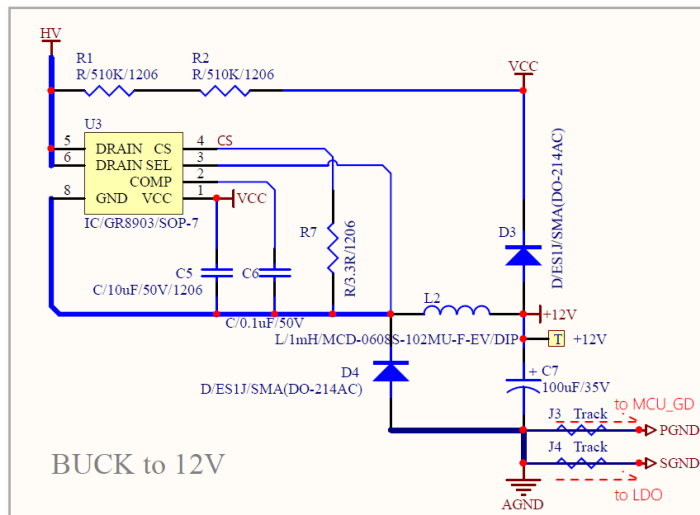
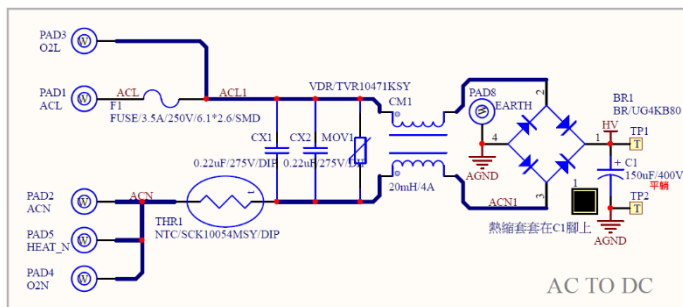
- Vsp_Fun(); // 外部VSP命令接收
- FaultLock_Fun (); // 系统堵转、过/低速保护
- Vbus_Protect_Fun (Vbus_avg); // 系统母线电压侦测、保护判断
- Temperture_Protect_Fun (Temperture_avg); // 系统过温保护
- Phase_OCP_Protect_Fun() // 系统相电流保护
- Heat_Temperture_Protect_Fun() // 加热器过温保护

■ ADC_ISR (Time Based : 1/PWM Frequency)

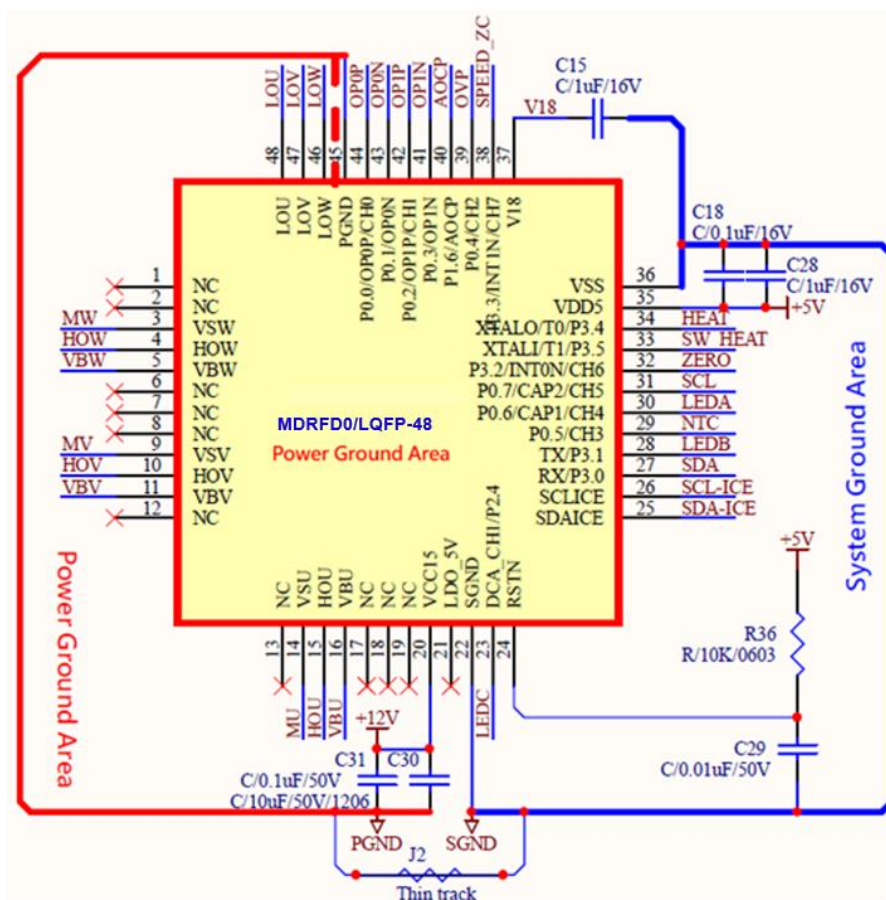
- 各项AD值扫描读取
 - ✓ Vbus_avg
 - ✓ Ibus_avg
 - ✓ Vsp_avg
 - ✓ Tmp
 - ✓ Speed

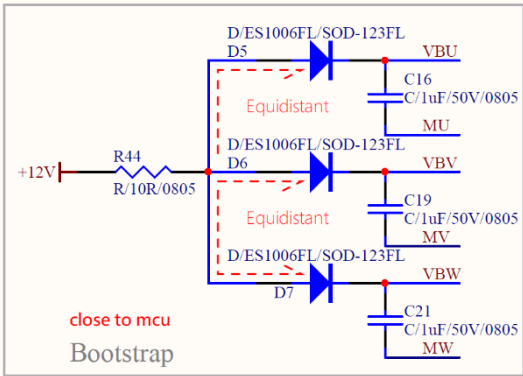
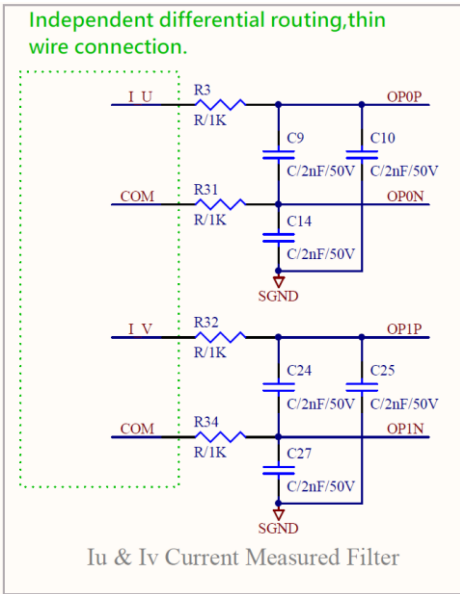
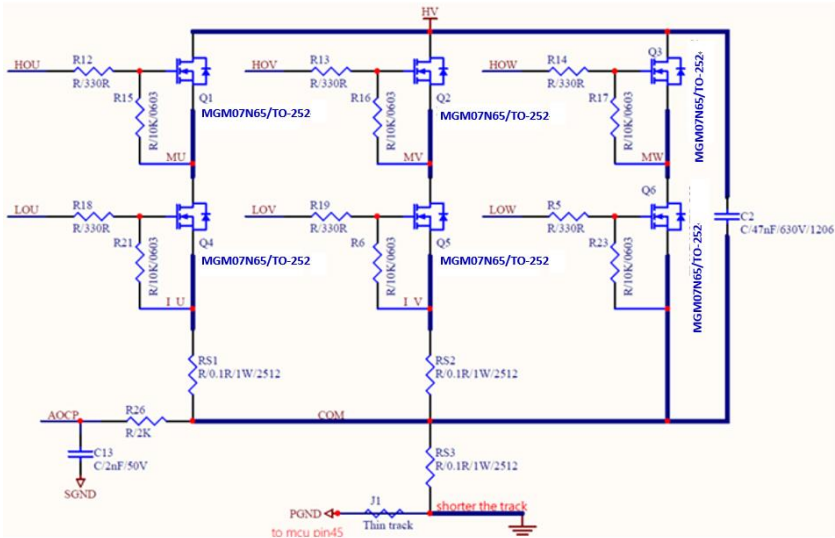
4. 参考电路设计

4.1 电源输入电路

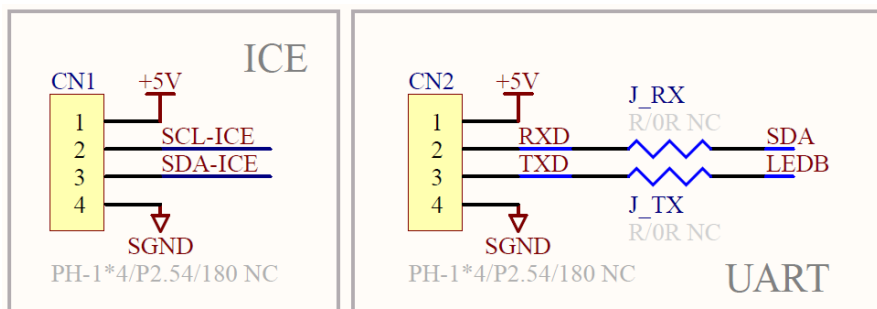


4.2 核心单元及周边电路

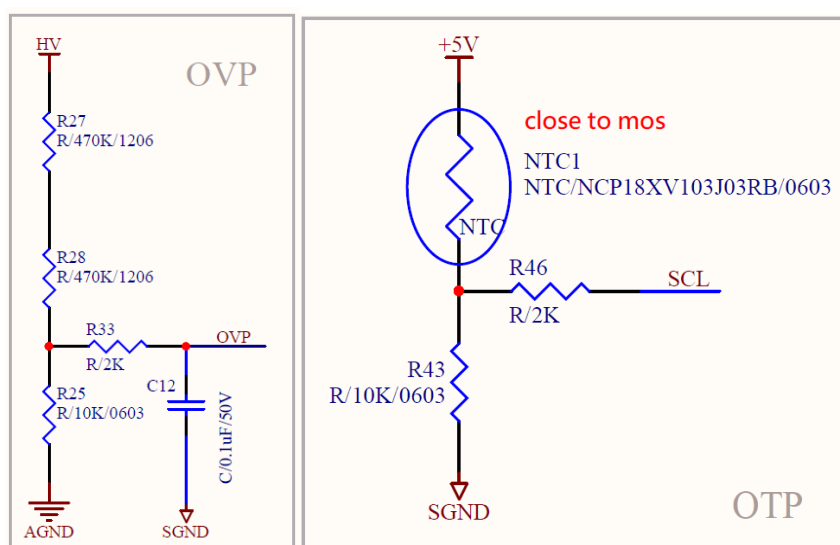




4.6 外部端口



4.7 保护线路



4.8 其他周边

